

PŘÍSPĚVEK K MĚŘENÍ VIBRACÍ VYVOLANÝCH PŘI RAŽBĚ TUNELŮ

CONTRIBUTION TO MEASUREMENTS OF VIBRATION DURING DRIVING OF TUNNELS

Zdeněk Kaláb¹, Blažej Pandula², Martin Stolárik³, Julián Kondela⁴

Abstrakt

Článek shrnuje experimentální seizmologická měření vibračních projevů trhacích prací. Představená data pocházejí z různých lokalit a zahrnují jak měření povrchová, tak i měření v tunelech. K představení výsledků je využito korelace maximálními amplitudami rychlosti kmitání na redukované vzdálenosti, což umožňuje zohlednit velikost nálože. V představených případech se hmotnost nálože v jednom časovém stupni pohybovala v rozmezí od 32 do 3,1 kg. Získané závislosti jsou statisticky významné, volnější závislosti jsou zpravidla získány pro malé hodnoty vzdáleností (resp. redukovaných vzdáleností). Z toho plyne, že kvazihomogenní geologické celky, v nichž by se definoval zákon útlumu seizmických vln pro malé vzdálenosti, musí být definovány s menší variabilitou posuzovaných parametrů.

Abstract

This paper summarizes results of experimental seismological measurements; seismic waves were generated by blasts. Presented signals were performed in different sites and they are presented both surface experiments and measurements during driving of tunnels. Relation between maximum velocity amplitudes and reduced distances were used for presentation of obtained results. Using of reduced distances enables to take into account weight of explosives; this weights range from 32 to 3.1 kg (per charge in time). Obtained results are statistically significant; however, looser correlations are obtained for small values of distances (reduced distances). It means that quasi-homogenous units, for which is possible to define relation mentioned above, must be specify for smaller units with smaller variability of evaluated parameters.

Klíčová slova

trhací práce, seizmologická měření, zákon útlumu

1 Úvod

Při ražbě tunelů je možno sledovat řadu různých vlivů na bližší či vzdálenější okolí stavby. Jedním z nejdiskutovanějších efektů jsou vibrace, přičemž nejvýznamnější vibrace jsou vyvolávány používáním trhacích prací. V tomto příspěvku se zaměříme na provedení souhrnu výsledků z experimentálních seizmologických měření, a to na hodnoty maximálních velikostí amplitud kmitání, které jsou naměřeny v malých vzdálenostech od zdroje kmitání. Pro porovnání jsou uvedeny také výsledky experimentálních měření kmitání vyvolaných ve větších vzdálenostech, případně v okolí lomů.

Hodnoty maximálních velikostí vyvolaných amplitud kmitání po odstřelech trhavin jsou ovlivněny mnohými faktory. Přesto jsou dnes pro odhad těchto velikostí používány poměrně jednoduché vztahy. Většinu z nich lze zapsat ve formální úpravě ve tvaru $v = f(Q,R)$, ve kterém je v maximální rychlost kmitání, Q je hmotnost trhavin (zpravidla v jednom časovém stupni) a R je vzdálenost mezi zdrojem vibrací a posuzovaným místem. Tento obecný vztah můžeme v literatuře nalézt v různých tvarech. Podrobnější seznam těchto vztahů z různých lokalit lze nalézt např. v publikacích Dojčár et al. (1996) nebo Pandula a Kondela (2010).

Řada příkladů z České i Slovenské republiky, následně zpracovaných do grafů, umožňuje sestavit souhrnnou informaci ve formě jednoho z běžně používaných vztahů. V grafu je použita tzv. redukováná vzdálenost, což umožňuje zohlednit hmotnost použité trhavin.

2 Vztahy používané pro povrchové lomy

Výbuch nálože trhavin generuje krátký, ale intenzivní impuls. Rozsah vyvolaných maximálních amplitud pohybu po odstřelu nálože je 1 až 200 μm (tj. cca 0,2 až 50 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ nebo 0,02 až 1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$). Jeho spektrum je spojitě a obsahuje frekvence od nižších hodnot až po velmi vysoké hodnoty – zpravidla 1 až 300 Hz. Tyto hodnoty se mohou v závislosti na použitém literárním zdroji nevýznamně měnit. Obecně je nutno dodat, že pro stanovení velikostí maximálních amplitud kmitání je nutno vzít do úvahy typ a vlastnosti rozpojovaných hornin, parametry trhavin a technologii prováděných trhacích prací.

Pro stanovení maximálních hodnot rychlosti kmitání ve vzdálené zóně se používá empirický vztah, tzv. Langeforsův nebo též Kochův (např. Bongiovanni et al., 1991, Dojčár et al., 1996). Tento vztah, který se používá především pro hodnocení seizmického efektu trhacích prací v povrchových lomech, se často uvádí ve tvaru

$$V_{\max} = K \times Q^m \times l^{-n}, \quad (1)$$

kde V_{\max} – maximální rychlost kmitání [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$],

Q - hmotnost nálože [kg],

l – vzdálenost od zdroje [m],

K , m a n jsou empirické parametry.

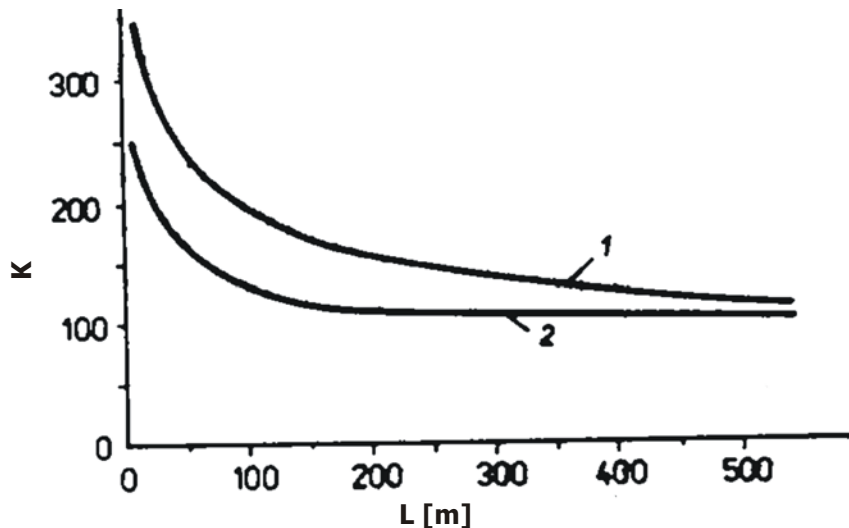
Grafy jsou sestavovány buď jako závislost maximální rychlosti kmitání V_{\max} na vzdálenosti, nebo na tzv. redukováné vzdálenosti L_R , což je poměr vzdálenosti l a druhé odmocniny hmotnosti odpálené nálože Q ($L_R = l/\sqrt{Q}$). Vyjdeme-li z české normy ČSN 73 0040 nebo slovenské normy STN 73 0036, pak hodnoty empirických konstant v exponentech uvažujeme ve velikostech $m=0,5$ a $n=1$). Uvedený vztah tedy přechází na tvar

$$V_{\max} = K \times \frac{\sqrt{Q}}{l}. \quad (2)$$

Tento vztah, nazývaný zákon útlumu seizmických vln, může být velmi dobře definovaný, pro složité geologické poměry však může mít velmi nízkou korelaci (např. Holub, 2006, Dojčár et al., 1996, Pandula a Leššo, 2005, Pandula et al., 2007). Pro sestavení vztahu lze

**Tab. 1 Informační hodnoty konstanty přenosu energie K [$\text{kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
(dle ČSN 73 0040 a STN 73 0036)**

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. 1 Závislost konstanty přenosu K na vzdálenosti L (podle Dojčár et al., 1996);
1 podloží ze skalních a podskalních hornin se střední až velmi malou hustotou diskontinuit;
2 ostatní horniny mimo horniny ve zvodněném prostředí**

využít nejen záznam vibračního projevu jako celku, ale také jednotlivé části záznamu odpovídající jednotlivým časovým stupňům (pokud lze jednotlivé stupně rozseparovat).

Uvedené normy definují informativní hodnoty konstanty přenosu K pro podloží ze skalních a poloskalních hornin a ostatních hornin mimo horniny ve zvodněném prostředí v závislosti na vzdálenosti od místa odstřelu (Tab. 1). Tato orientační tabulka se používá pro odhad maximální amplitudy rychlosti kmitání za pomoci posledního vztahu, pokud nejsou k dispozici podrobnější informace o horninovém prostředí.

Tyto hodnoty z tabulky 1 jsou vhodné zvláště pro trhací práce velkého rozsahu v povrchových lomech a pro vzdálenosti ve stovkách metrů od místa odstřelu. Hodnoty konstanty přenosu K můžeme vyjádřit také graficky (Obr. 1).

Stejný vztah je v následujícím textu použit i pro hodnocení v tunelech, a to jak pro velké, tak i malé vzdálenosti.

3 Příklady výsledků z měření ve větších vzdálenostech od zdroje kmitání

3.1 Ražba tunelu Klimkovice u Ostravy

Příklad výsledků, které byly získány z dlouhodobého monitoringu seizmických projevů trhacích prací, pochází z ražby tunelu Klimkovice

u Ostravy, který je součástí dálnice D47 (např. Pechman, 2006). Tunel samotný je dlouhý 1080 m. Prochází terénní vyvýšeninou mezi Klimkovicemi a částí Hýlov.

Ražba tunelu probíhala ve skalním podloží neproduktivního karbonu; typickým horninovým prostředím byla kombinace pelitických jílovců a prachovců s drobnými a drobovými pískovci ve formě flyšových souvrství. Právě toto rytmické flyšové střídání jílovitých a pískovcových vrstev je pro Ostravsko typické a může přinášet geotechnické potíže. Sklon vrstev se v průběhu díla mírně mění (60 – 70°) a je protkán častými nespojitostmi, většinou kolmo k vrstevnatosti. Dále bylo indikováno pět poruchových pásů procházejících většinou zešikma k ose tunelu. Podzemní voda je vázána především na pukliny a tektonické poruchy. Celkově je prostředí masivu proměnlivé a je charakterizováno jako méně propustné. Ověřené přítoky vody při ražbě většinou nepřesáhly 1 – 2 l.s⁻¹.

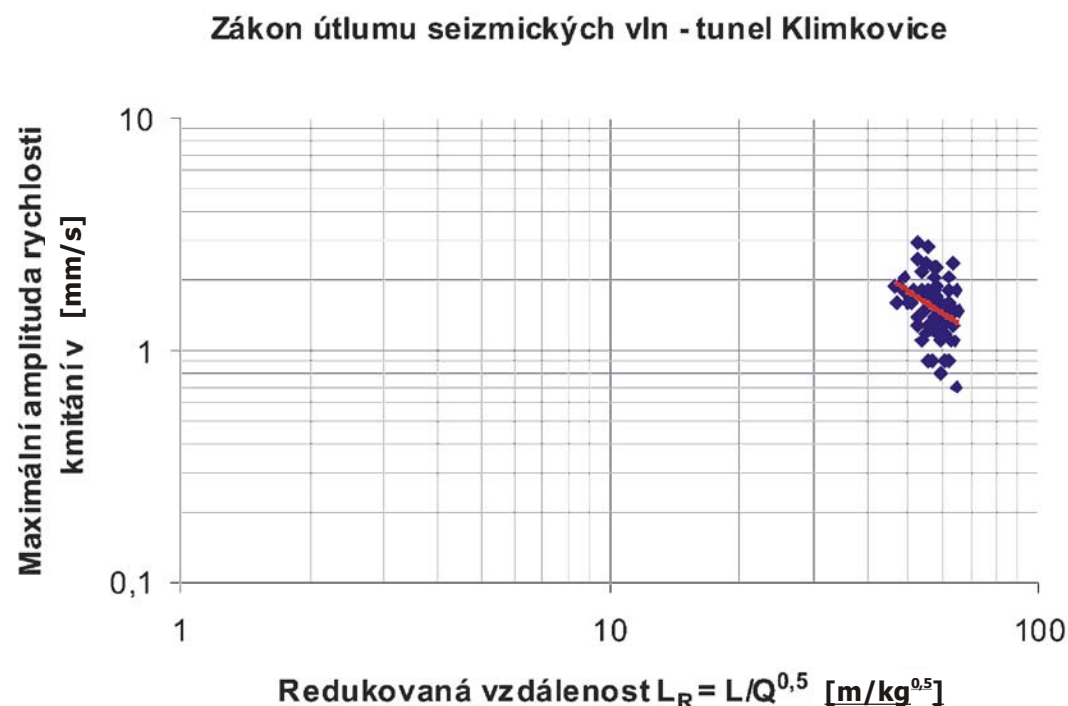
Z vybraných dat byla sestavena korelace maximálními amplitudami rychlosti kmitání na redukované vzdálenosti (Obr. 2). Tento vztah není dobře definovaný, protože rozsah redukovaných vzdáleností je velmi malý. Z tohoto vztahu definujeme dvě hodnoty konstant přenosu $K = V_{\max} \times l / \sqrt{Q}$, a to pro nejmenší (K1) a největší (K2) redukovanou vzdálenost při maximální amplitudě rychlosti kmitání v dané redukované vzdálenosti:

$$K1 = 89,68, K2 = 97,19 \text{ [kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

3.2 Lom Brekov

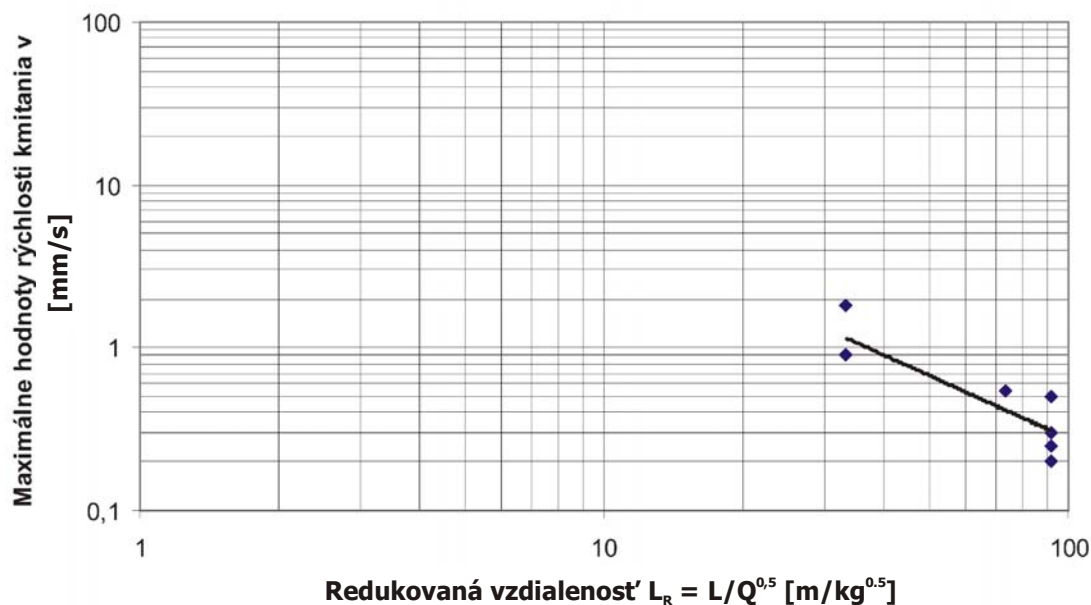
Území je součástí křižňanského příkrovu, avšak litologicky se částečně odlišuje od typických profilů této tektonické jednotky. Předpokládá se, že se může jednat o plytký sedimentační prostor, ve kterém sedimentovali karbonáty mezozoika Humenských vrchů. Hlubokovodní sedimentace vápenců pokračuje až do spodní křídy (Jacko ml., 1997).

Experimentální měření vibrací probíhalo v okolí jeskyně, která se nachází v prostoru lomu Brekov (Obr. 3). Při tomto měření bylo získáno malé množství dat (pouze tři redukované vzdálenosti), získaná relace je ale poměrně dobře definována. Získané krajní konstanty přenosu nabývají hodnot: $K1 = 62,74, K2 = 45,75 \text{ [kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$.



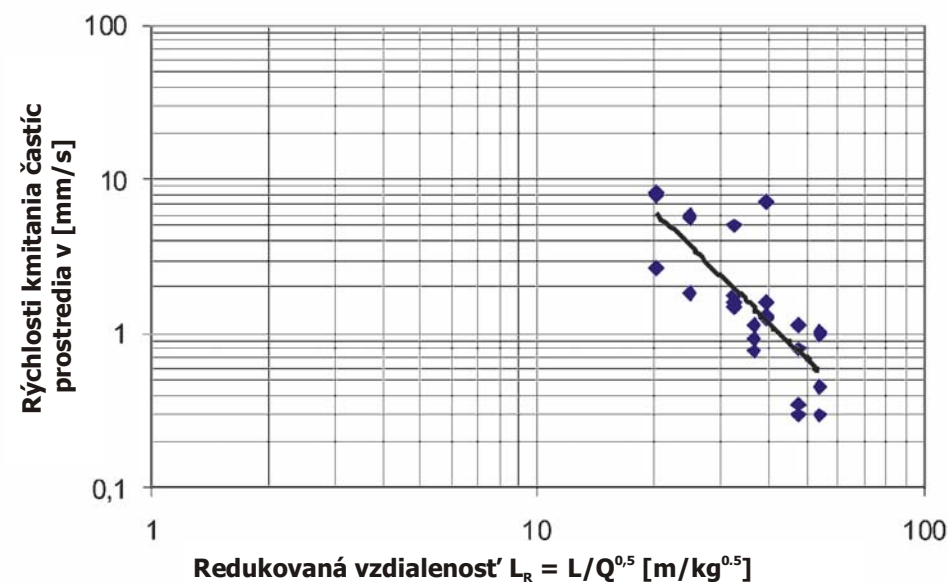
Obr. 2 Grafická závislost maximálních hodnot rychlostí kmitání na redukované vzdálenosti při experimentálním měření u tunelu Klimkovice zákon útlumu seismických vln

Zákon útlmu seizmických vln - Lom Brekov



Obr. 3 Grafická závislosť maximálnych hodnôt rýchlostí kmitaní na redukované vzdálenosti pri experimentálnom merení v lomě Brekov zákon útlumu seizmických vln

Zákon útlmu seizmických vln - tunel Bôrik



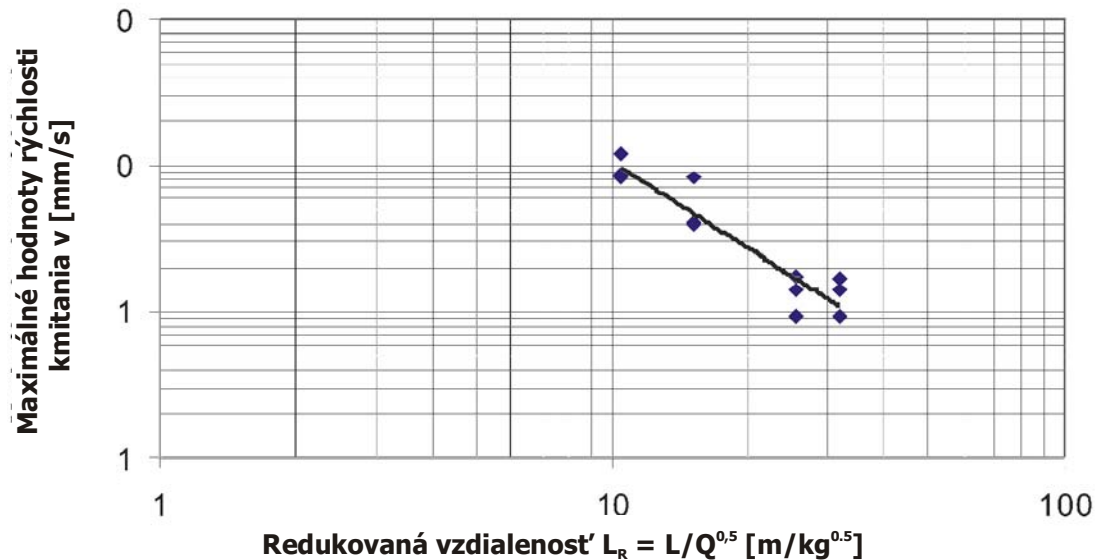
Obr. 4 Grafická závislosť maximálnych hodnôt rýchlostí kmitaní na redukované vzdálenosti pri experimentálnom merení; tunel Bôrik zákon útlumu seizmických vln

3.3 Tunel Bôrik

Chráněná krajinná oblast Bôrik se nachází v katastrálním území obcí Mengusovce a Lučivná. Komplexy dolomitů vytvářejí výrazný horský reliéf terénu. V úseku obou tunelových trub je masív budovaný komplexem dolomitických hornin s různým stupněm zvětrání a alterace a s polohami jílu až jílovitého písku proměnlivé tloušťky. Hydrogeologické poměry jsou jednoduché, v celém úseku tunelových trub nebyly zaregistrované podstatné přítoky podzemní vody. Hladina podzemní vody je předpokládána v hloubce 14 m pod niveletou tunelových trub. Geologická stavba území sestává z hornin pro vodu nepropustných a nebo velmi málo propustných. Vrstevnatost dolomitů je velmi proměnlivá, celé souvrství je mírně zvlňené, což způsobuje rozdílné hodnoty směru sklonu vrstevnatosti. Tektonické poměry v tunelových trubách reprezentují systémy puklin a zlomů, majících většinou nepříznivý průběh vzhledem na směr ražby. Získaný vztah (vzdálenosti 115 až 270 m) i přes větší rozsah redukovaných vzdáleností je poměrně těsný (Obr. 4). Získané krajní konstanty přenosu nabývají hodnot:

$$K1 = 162,97, K2 = 57,23 \text{ [kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

Zákon útlumu seismických vln v lome Kučín



Obr. 5 Grafická závislost maximálních hodnot rychlosti kmitání na redukované vzdálenosti při experimentálním měření v lomě Kučín; zákon útlumu seismických vln

3.4 Lom Kučín

Těleso zeolitového tufu vytváří na povrchu pás SZ-JV směru s mírným vyklenutím na SV v střední a JV části. V litologické poloze zeolitového tufu, v jeho SZ části se vyskytují partie s vyšším zastoupením klastického živce. Směrem do hloubky (po úkloně) poloha zeolitového tufu pokračuje pod nadložními klastikami a aluviálními sedimenty Ondavy. Při tomto měření bylo měřeno pouze ve čtyřech redukovaných vzdálenostech (Obr. 5), avšak vztah je poměrně těsný. Získané krajní konstanty přenosu nabývají hodnot:

$$K1 = 125,25, K2 = 56,18 [\text{kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Shrňme-li poznatky pro měření ve větších vzdálenostech (představeny výsledky z lokalit Klimkovice, Brekov, Bôrik, Kučín, tj. rozsah 60 až 270 m), pak můžeme konstatovat:

- získané závislosti maximálních amplitud rychlosti kmitání na redukovaných vzdálenostech jsou zpravidla velmi těsné,
- posuzovaná místa se nacházejí ve větších vzdálenostech (také hodnoty redukované vzdálenosti jsou větší),
- není nutno uvažovat malé změny v geologické stavbě a drobnou tektoniku.

4 Příklady výsledků z měření v malých vzdálenostech od zdroje kmitání

4.1 Železniční tunel Banská Bystrica

Geologická stavba v okolí sledovaného tunelu je velmi pestrá. Samotný tunel je vyražený v horninovém prostředí šedých až tmavošedých vápenců a slinutých vápenců mráznického souvrství. V nadloží mráznického souvrství jsou deluviálně-soliflukční, kamenité, písčito-kamenité a kamenito-hlinité deluviální svahoviny a sutiny. Směrem na sever a východ od tunelu se nachází tektonická troska chočského příkrovu, která je budována klastickými horninami. Tektonicky jsou vápence, ve kterých je tunel vyražený, značně porušené. Dominantně jsou rozpukané jedním systémem puklin po vrstevnatosti. Ostatní pukliny nemají dominantní směry, pukliny jsou všesměrné.

Měření probíhalo ve vzdálenostech pouze 12 až 22 m (Obr. 6), korelace je ještě poměrně těsná. Získané krajní konstanty přenosu nabývají hodnot:

$$K1 = 120,33, K2 = 52,8 \text{ [kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

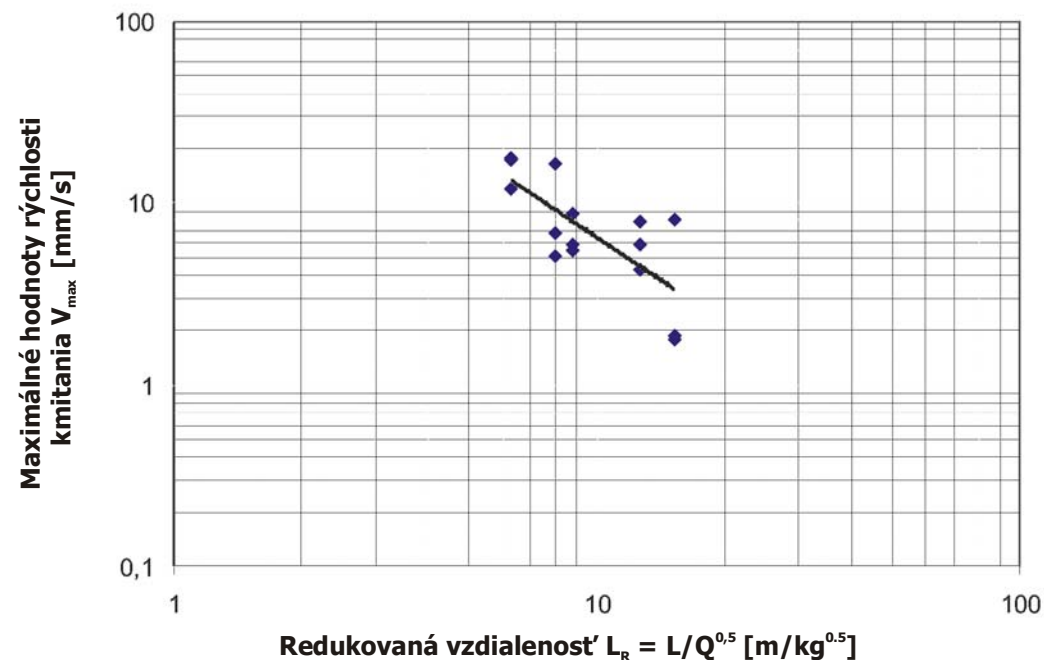
4.2 Ražba tunelů Olbramovice a Tomice u Benešova

Olbramovický a Tomický tunel budovaného IV. železničního koridoru jsou součástí transevropské železniční magistrály E55 vymezené na našem území trasou Děčín státní hranice – Praha – České Budějovice – Horní Dvořiště státní hranice a nacházejí se na úseku trati Votice – Benešov u Prahy.

Zájmové území patří do geomorfologické soustavy Jihočeská vysočina, celku Benešovské pahorkatiny. Území se nachází při jihovýchodním okraji středočeského plutonu, v blízkosti výběžku moldanubika, a je budováno zejména paleozoickými vyvřelinami, hlubinnými a žilnými. Horniny jsou zde obecně velmi variabilní a jsou charakteristické značnou petrografickou pestrostí. Převažujícími horninovými typy v daném zájmovém území jsou drobnozrné žilné granity a aplity, v části území pak také porfyrické, středně zrnité, amfibol-biotitické žuly a porfyrické, středně zrnité biotitické žuly s amfibolitem sedlčanského typu. Ražba probíhala převážně ve zvětralých a tektonicky porušených rulách s polohami aplitických žul a grafitických břidlic oproti předpokládaným granitoidům. Celé prostředí je charakterizováno jako velmi málo propustné (např. Špona a Kossler, 2010).

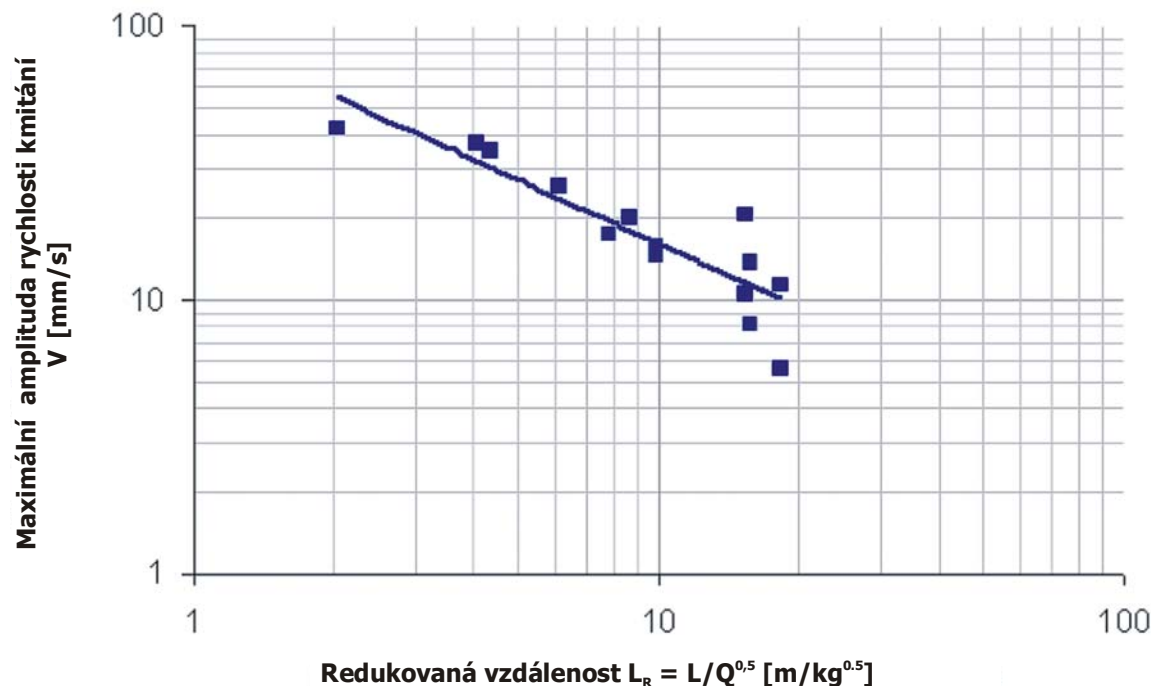
Specifikum měření v budovaném olbramovickém a tomickém tunelu je umístění senzorů i do malých vzdáleností od zdroje kmitání (v tzv. blízké zóně). V našem případě byl nejbližší senzor umístěn jen 6,5 m od zdroje. Získané empirické závislosti maximální amplitudy rychlosti kmitání na redukované vzdálenosti jsou opět lineární a poměrně těsné (Obr. 7 a 8), což zřejmě souvisí s jednotnou technologií provádění trhacích prací a též jednoduchou geologií v místě měření. Získané krajní konstanty přenosu pro tunel Olbramovice nabývají hodnot: $K1 = 85,47, K2 = 206,27 \text{ [kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$, a pro tunel Tomice: $K1 = 137,62, K2 = 157,03 \text{ [kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$.

Zákon útlmu seismických vln - tunel Banská Bystrica



Obr. 6 Grafická závislost maximálních hodnot rychlosti kmitání na redukované vzdálenosti při experimentálním měření na tunelu Banská Bystrica; zákon útlumu seismických vln

Zákon útlumu seizmických vln - tunel Olbramovice



Obr. 7 Grafická závislost maximálních hodnot rychlostí kmitání na redukované vzdálenosti při experimentálním měření na tunelu Olbramovice; zákon útlumu seizmických vln

v rozmezí od 32 do 3,1 kg. V tomto příspěvku nejsou uvažovány frekvenční rozsahy v jednotlivých záznamech.

Geologická situace na jednotlivých lokalitách byla různá. K hodnocení je použit tzv. zákon útlumu seizmických vln, který byl použit jak pro měření ve větších vzdálenostech, tak i v blízké zóně. Získané závislosti jsou statisticky významné, volnější závislosti jsou zpravidla získány pro malé hodnoty vzdáleností (resp. redukovaných vzdáleností). Z toho plyne, že kvazihomogenní geologické celky, v nichž by se definoval zákon útlumu seizmických vln pro malé vzdálenosti, musí být definovány s menší variabilitou posuzovaných parametrů. Koeficient K (závisící na podmínkách odstřelu, vlastnostech přenosového prostředí, druhu trhaviny, ...) nabývá hodnot z velmi širokého intervalu ($X_0 - X_{00} \text{ kg}^{-1/2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Pro každý představený případ byly vypočteny dvě hodnoty konstant přenosu $K = V_{max} \times 1 / \sqrt{Q}$, a to pro nejmenší (K_1) a největší (K_2) redukovanou vzdálenost (při maximální amplitudě rychlosti kmitání v dané redukované vzdálenosti). Tento graf (Obr. 9) znovu dokladuje výše uvedený poznatek, že pro větší vzdálenosti získáváme poměrně homogenní soubor koeficientů K ,

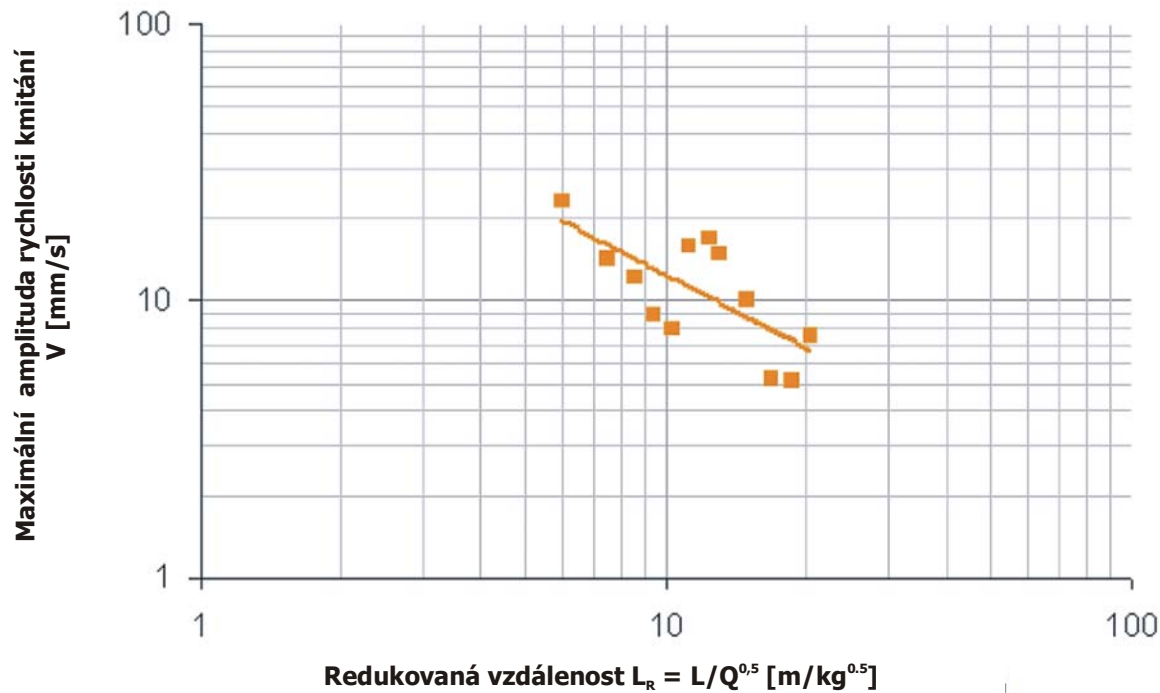
Poslední tři uvedené příklady z tunelů Banská Bystrica, Olbramovice a Tomice (vzdálenosti již od 6,5 m, minimální redukovaná vzdálenost pouze 2 m.kg^{-0,5}) ukazují na tato pravidla:

- posuzovaná místa se mohou nacházet již ve velmi malých vzdálenostech,
- získané závislosti bývají volnější než v předchozích případech,
- je nutno uvažovat také poměrně malé změny v geologické stavbě a drobnou tektoniku,
- naměřené hodnoty amplitud rychlosti kmitání nabývají i značných hodnot (v pevných horninách se uvádí hodnoty přesahující 300 mm.s⁻¹),
- nutno dostatečně kotvit senzory (především kvůli dobrému přenosu vyšších frekvencí).

5 Závěr

V tomto článku jsou představeny výsledky experimentálních měření maximálních amplitud rychlostí kmitání vyvolaných při používání trhacích prací jako součásti technologie ražby tunelů. V představených případech se hmotnost nálože v jednom časovém stupni pohybovala

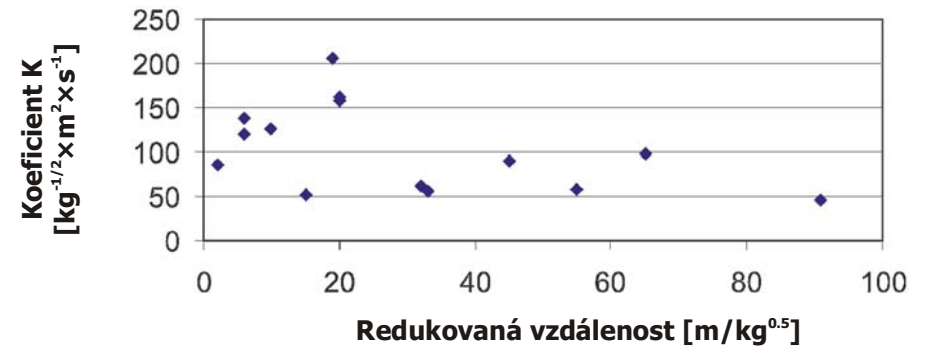
Zákon útlumu seizmických vln - tunel Tomice



Obr. 8 Grafická závislost maximálních hodnot rychlostí kmitání na redukované vzdálenosti při experimentálním měření na tunelu Tomice; zákon útlumu seizmických vln

Literatura

- BAJANÍK Š., IVANIČKA J., MELLO J., REICHWALDER P., PRISTAŠ J., SNOPOKO L., VOZÁR J., VOZÁROVÁ A. Geologická mapa slovenského rudohoria – východná časť. *GÚDŠ, Bratislava*, 2. vydanie, 1991.
- BONGIOVANNI G., GORELLI V., RIENZO G., RINALDIS D. Experimental Studies of Vibrations Caused by Blasting for Tunnel Excavations. In: *Earthquake, Blast and Impacts: Measurements and Effects of Vibration*, Elsevier Applied Science, 1991, p. 201-210.
- DOJČÁR O., HORKÝ J., KOŘÍNEK R. Trhacia technika. *Montanex, a.s., Ostrava*, 1996, 421 s.
- HOLUB K. Vibrace vyvolané trhacími pracemi a jejich účinky na podzemní díla, povrchovou zástavbu a obyvatelstvo. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), řada stavební*, roč. VI, č.2/2006, 2006, p. 113–123.
- HOLZER R., LAHO M., WAGNER P., BEDNARIK M. Inžinierskogeologický atlas hornín Slovenska, *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 2009.
- JACKO S. ml. Prehľad stavby mezozoika humenských vrchov. *Acta Montanistica Slovaca*, 1997.



Obr. 9 Závislost koeficientu K na redukované vzdálenosti pro data z výše uvedených příkladů

pro redukované vzdálenosti pod 30 m.kg^{-0,5} však tato závislost není definovatelná. To souvisí mj. také s použitím dat z lokalit s různou geologickou stavbou.

Poděkování

Příspěvek byl zpracován za částečné finanční podpory GAČR, projekt č. 105/09/1415 „Studium seizmických projevů trhacích prací a dalších vibrací v blízké zóně vyvolaných při ražbě mělkých podzemních děl“.

- PANDULA B., LEŠŠO I. Spektrálna analýza komorového odstreľu. *Transactions (Sborník vedeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), řada stavební*, roč. V, č.2/2005, 2005, p. 105–112.
- PANDULA B., KONDELA J. Metodológia seizmiky trhacích prác, *SSTVP Banská Bystrica, DEKI Design, s. r. o.*, 2010, 156 s.
- PANDULA B., BOCAN J., KONDELA J., SASVÁRI T. Seizmika komorového odstreľu. *Transactions (Sborník vedeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), řada stavební*, roč. VII, č.2/2007, 2007, p. 239–251.
- PECHMAN J. Tunel Klimkovice, dálnice D47. *Tunel, Časopis ČTK a STA ITA/AITES*, č. 1, roč. 15, 2006, p. 32–34.
- ŠPONAR R., KOSSLER M. Ražba tunelů na dopravní stavbě Modernizace tratí Votice-Benešov u Prahy. *Tunel*, roč. 19., č. 3, Praha, 2010, s. 14–21.
- ČSN 730040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. Český normalizační institut, 1995, 28 s.
- STN 730036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcii, Ústav pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, Bratislava, 1977, 68 s.

Autoři

- ¹ prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, též VŠB-TU Ostrava, FAST, L. Poděšť 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz
- ² Doc. Blažej Pandula, CSc. – Ústav Geovied F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice, Slovensko, blazej.pandula@tuke.sk
- ³ Ing. Martin Stolarik – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, též VŠB-TU Ostrava, FAST, L. Poděšť 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, martin.stolarik@vsb.cz
- ⁴ Mgr. Julián Kondela, PhD. – Ústav Geovied F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 15, 043 84 Košice, Slovensko, julian.kondela@tuke.sk