

F.2.4

INVESTOR:	Magistrát města Brna Odbor investiční Kounicova 67, 601 67 Brno	B R N O
-----------	---	------------------------

ZHOTOVITEL DOKUMENTACE:	SPOLEČNOST	"TT BYSTRC - KAMECHY"	ČLEN SPOLEČNOSTI
VEDOUcí SPOLEČNOSTI PROJEKTOVÁ KANCELÁŘ OSSENDORF BRNO		METROPROJEKT	AMBERG ENGINEERING
PK OSSENDORF s.r.o. Tomešova 503/1, 602 00 Brno · www.pk-ossendorf.cz tel.: +420 543 516 526 · info@pk-ossendorf.cz		METROPROJEKT Praha a.s. Argentinská 1621/36, 170 00 Praha 7 · www.metroprojekt.cz tel.: +420 296 154 105 · info@metroprojekt.cz	AMBERG Engineering Brno a.s. Ptašínského 10, 602 00 Brno · www.amberg.cz tel.: +420 541 432 611 · amberg@amberg.cz
HLAVNÍ INŽENÝR PROJEKTU:	ING. PETR VYSKOČIL		Č. ZAKÁZKY: 2018 120.1
HLAVNÍ KOORDINÁTOR PROJEKTU:	ING. VLASTISLAV NOVÁK, Ph.D.		

VEDOUcí PROJEKTANT	ING. VLASTIMIL HORÁK		AMBERG ENGINEERING
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT	ING. VERONIKA KOČÍČKOVÁ		
VYPRACOVAL	ING. LUDĚK BARTOŠ		
KONTROLOVAL	ING. VLASTIMIL HORÁK		
KRAJ: JIHO-MORAVSKÝ	KAT. ÚZ.: BRNO-BYSTRC, ŽEBĚTÍN	DATUM	04/2022
STAVBA	PRODLOUŽENÍ TRAMVAJOVÉ TRATI BYSTRC - KAMECHY SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTACE	FORMÁT	A4
		MĚŘÍTKO	-
		ÚČEL	DUR
		ČÍS. ZAKÁZKY	259 - 2/2
ČÁST PD	STUDIE SEISMICKÝCH A DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ	ČÍS. SOUPRAVY	ČÍS. PŘÍLOHY F.2.4

ING. LUDĚK BARTOŠ

znalec v oboru stavebnictví, seizmické účinky technických otřesů a trhací práce

602 00 Brno - Veverčí, Nerudova 322/8

e-mail : ludekbartos@volny.cz

info@seismika-bartos.cz

tel. + 420 602738407

IČ: 127 00 134

DČ: CZ350520409

S T U D I E **seizmických a dynamických účinků**

Stavební akce : „Prodloužení tramvajové trati Bystřice – Kamechy
– studie proveditelnosti a DUR“

Objednatel : Amberg Engineering Brno a.s.
Ptašínského 10/313, 602 00 BRNO

Objednávka č.: B259-2/1/2022/01, ze dne 28.4.2022

ING. LUDĚK BARTOŠ
ZNALEC A PORADCE V OBOŘI TRHACÍ PRÁCE
A TECHNICKÉ OTŘESY, ÚŘEDNÍ MĚŘENÍ
602 00 BRNO, NERUDOVA 322/8
IČ: 127 00 134



.....
zhotovitel

Brno, duben 2022

OBSAH

0.	Úvod	str.3
1.	Základní údaje o stavbě	str.4
2.	Geologické poměry	str.6
3.	Charakteristika nežádoucích účinků od trhačích prací	str.6
4.	Objekty a sítě v zájmové oblasti stavby	str.7
5.	Omezení nežádoucích účinků trhačích prací	str.8
6.	Kriterium posuzování dynamického zatížení staveb a inž. sítí od trhačích prací	str.8
7.	Stanovení dynamické odolnosti staveb od seizmických účinků trhačích prací	str.11
8.	Stanovení dynamické odolnosti stavebních objektů od vibrací a otřesů způsobených stavební činností a dopravou	str.12
9.	Stanovení bezpečných vzdáleností obytné zástavby od kolejí tramvajové tratě	str.14
10.	Tlakovzdušné účinky trhačích prací	str.15
11.	Hygienické limity hluku a vibrací	str.15
12.	Vibrace v chráněných prostorách staveb	str.17
13.	Výpočet náloží	str.18
14.	Výpočet izoseist – pásmo indukované seizmicity	str.19
15.	Návrh maximálních náloží pro ražení tunelu	str.20
16.	Technologie trhačích prací – parametry náloží	str.21
17.	Dynamické účinky od stavebních strojů a jejich vliv na okolí	str.22
18.	Prognóza dynamických účinků od tramvajového provozu v tunelu v chráněných prostorách staveb	str.22
19.	Kontrolní měření otřesů a vibrací	str.23
20.	Návrh doplňujících opatření	str.25
	Závěr	str.25

Přílohy :

1. Situace – průběh izoseisty 7,5 mm/s povrchem území
2. Podélný řez tunelem– trhačí práce

0. ÚVOD

Předložená studie (posudek) řeší problematiku seizmických a dynamických účinků od stavebních činností a jejich vlivu na zástavbu, životní prostředí a infrastrukturu pro stavební akci „Prodloužení tramvajové tratě Bystrc – Kamechy - studie proveditelnosti a DUR, pro stavební část: Objekty podzemních staveb.

Studie je zaměřena zejména na posouzení

- vlivu nežádoucích účinků (seizmické a akustické účinky) od technologie trhacích prací, která se předpokládá při ražení podzemních objektů,
- vlivu otřesových účinků od strojních mechanismů, které vyvolávají rázy a vibrace,
- intenzity vibrací od provozu tramvají na novém kolejovém tělese

Použité podklady :

1. „Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy“ D.1.9 Podzemní stavby, výběr z výkresové dokumentace a koncept TZ, Amberg Engineering Brno a.s., 04/2022.
2. „Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy“ Předběžný geotechnický průzkum pro trasu a tunel, závěrečná zpráva Geotest a.s. Brno, 06/2016
3. ČSN 730040 "Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva".
4. ČSN EN 1991-1-7 (730035) Eurokód 1.Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – mimořádná zatížení
5. Technické podmínky výstavby metra sv.10“Trhací práce a kontrola jejich nežádoucích účinků "
6. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
7. Zákon ČNR č. 61/1988 Sb. o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě , ve znění zákona ČNR č. 425/1990 Sb a zákona ČNR č. 542/1991/Sb – ve znění pozdějších předpisů.
8. Vyhláška ČBÚ č. 72/1988 Sb. o výbušninách, ve znění Vyhl. ČBÚ č. 173/1992 Sb. o používání výbušnin - ve znění pozdějších předpisů “.
9. O. Dojčár, J.Horký, R. Kořínek „ Trhací technika“ Montanex, a s. Ostrava 1996
10. J. Henrych „ Dynamika výbuchu a její užití“ Akademia - nakl. ČSAV Praha, 1973.
11. Z p r á v a o úředním měření otřesů a vibrací vyvolaných povrchovým dopravním provozem i průjezdem vlakových souprav Metra, působících do prostoru stavební jámy stavby „Bytového domu Sedmikráska“ v Praze 9 – Libni. Měření dne 22. a 27. listopadu 2012, Bartoš.Eng.
12. Zpráva o výsledku a hodnocení úředního měření vibrací vyvolaných průjezdy tramvají po Myslbekově ulici na objektu 153 č.p. 712/3 v ulici Patočkova v Praze 6, měření dne 2.5.2013, Bartoš - Eng.
13. Zpráva o výsledku úředního měření otřesů a vibrací přenášejících se od dopravního provozu po ul. Sokolovská a Rohanské nábřeží do prostoru budoucího staveniště pro administrativní objekt Rustonka 2, Praha – Karlín, dne 22.11.2016, Bartoš, Eng.
14. Zpráva o výsledku a hodnocení úředního měření otřesů a vibrací přenášejících se od provozu vlaků Metra, od dopravního provozu po ul. Křižíkova a od provozu tramvají po Sokolovské ulici do prostoru budoucího staveniště rezidenčního areálu Karolína Plaza 2, měření dne 13.3.2017, Bartoš- Eng.
15. Zpráva o výsledku a hodnocení úředního měření otřesů a vibrací od dopravního provozu v prostoru křižovatky Dornych - Koliště v návaznosti na projektovanou stavbu hotelu Clarion, měření dne 27.12.2018, Bartoš – Engineering, 01/2019

1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ

Situování tramvajové trasy

Tramvajová trasa bude stavěna v délce 1475 m, vč. cca 320 m dlouhého dvojkolejného tunelu v kopcovitém terénu. Od stávající smyčky tratě stanice Ečerova, která se nachází na kótě cca 304,5 m n.m. trať stoupá podél okružní komunikace ul. Vejrostovy. Na úrovni ulice Teyschlovy 4, na kótě cca 330,8 m n.m. ve staničení 0,862 50 (0,00 TM) začíná 40 metrový úsek přesýpaného tunelu. Ražený (východní) portál je ve st. 0,902 50 v úrovni 330,77 m n.m., při výšce nadloží cca 6,8 m. Tunel bude ražen ve stoupání 1,0 až 1,33 %, podchází terénní elevaci u stávající prodejny Albert s ukončením pod ulicí Říčanská v místě erosní rýhy mezi stávajícími obytnými bloky.

Výjezdový ražený portál je v km. 1,147 50 (285 TM), následuje 35 m úsek přesýpaného tunelu. Trasa pokračuje mezi ulicí Listnatá a ulicí Přírodní směrem k okružní silnici Hostislavova, kde bude ukončena nově vybudovanou smyčkou na budoucí ulici Kocanovská, nacházející se ve výšce 315 až 318 m n.m.

SO 600 – OBJEKTY PODZEMNÍCH STAVEB

Tramvajový tunel převádí projektovanou dvoukolejnou tramvajovou trať v km 0,862 50 – km 1,182 50 (staničení koleje1). Trasa je vedena raženým tunelem s hloubenými příportálovými úseky.

Tunel je členěn na následující stavební objekty:

SO 601 - Stavební jáma východ (Bystřec)

Provizorní portál tunelu je vytvořen z kotvené pilotové stěny ve tvaru „U“. Výška stěny v místě zarážky tunelu je 14,00 m, stěna je kotvena ve třech úrovních, kotvy jsou spojeny železobetonovými prahy. Stavební jáma dále navazuje kotveným záporovým pažením. Vpravo od tramvajové tratě je stěna ze záporového pažení zalomena za provozně-technologický objekt a slouží jako ztracené bednění.

SO 602 - Přesýpaný tunel a portál východ (Bystřec)

Přesýpaný tunel tvořící příportálový úsek na straně Bystřec je navržen v délce 40,0 m. Kolej zde vstupuje do tunelu v levostranném směrovém oblouku. Profil tunelu je klenbový s vnitřním poloměrem oblouku 4,68 m, opěří z vnější strany je tvořeno svislými stěnami. Tunel je složen z jednotlivých železobetonových pasů založených na železobetonových patkách. Konstrukce tunelu bude trvale chráněna deštníkovou hydroizolací, podél tunelu budou umístěny drenáže. Výška zásypu tunelu roste ve směru staničení a pohybuje se v rozmezí 2,36 m – 5,90 m.

Portálová stěna je tvořena konstrukcí z vyztužené zeminy s lícem z ocelových panelů a kameniva.

SO 603 - Ražený tunel – ražba, primární ostění

Ražený tunel převádí dvoukolejnou tramvajovou trať o vzdálenosti os kolejí 3,100 – 3,107 m. Délka ražené části je 245,0 m (km 0,902 50 – km 1,147 50 dle staničení koleje 1). Výrubová plocha činí 73,92 m². Šířka tunelu v patě klenby je 1,355 m, výška základního obrysu výrubu je 8,170 m. Výška kaloty se předpokládá cca 5,5 m, mocnost lávky (opěří) cca 2,670 m.

Směrově je tunel trasován podle trasy koleje. Na začátku ražené části vstupuje kolej do tunelu v levostranném směrovém oblouku, ten přechází v km 0,924 03 do přechodnice. V km 0,978 01 se nachází inflexní bod, za nímž následuje přechodnice do pravostranného směrového oblouku, který začíná v km 1,032 00. V km 1,126 15 začíná přechodnice, na níž v km 1,180 15 navazuje přímá.

Sklon nivelety tunelu je 1,00 % v km 0,862 50 – km 0,924 03, v km 0,924 03 – km 0,978 01 1,33 %, dále opět 1,00 % až do začátku vrcholového zakružovacího oblouku v km 1,155 99.

V trase raženého tunelu jsou umístěny čistící výklenky pro drenáž a ražená rozvodna.

Tunel bude ražen observační metodou (metodou NATM) pomocí trhacích prací v granodioritovém masivu, v méně pevné hornině mechanickým rozpojováním.

Předpokládá se horizontální členění výrubu na kalotu a spodní lávku (jádro profilu), dále případně pro omezení účinků ražby na povrch vertikální rozdělení kaloty na dvě nebo tři části, v návaznosti na výsledky podrobného IG průzkumu. Bude prováděna dovrchní ražba s gravitačním odvodněním čelby (ražba ze strany portálu Bystřice). Primární ostění bude tvořeno svorníky, stříkaným betonem a výztužnými sítěmi. Nepředpokládá se nutnost provádění spodní klenby. Tato bude provedena pouze v krátkých úsecích poruchových zón s projevy nestability počvy.

SO 605 - Přesypaný tunel a portál západ (Žebětín)

Přesypaný tunel tvořící příportálový úsek na straně Žebětín je navržen v délce 35,0 m. Kolej zde přechází z pravostranné přechodnice do přímé. Profil a konstrukce tunelu jsou shodné s přesypaným úsekem na straně Bystřice. V km 1,167 50 se nachází přesypaná rozvodna.

Portálová stěna je tvořena konstrukcí z vyztužené zeminy s lícem z ocelových panelů a kameniva.

SO 606 - Stavební jáma západ (Žebětín)

Provizorní portál tunelu a zajištění stavební jámy je provedeno ze železobetonových pilot. Výška odkopu v místě zarážky tunelu je 16,00 m. Stěny jsou kotveny ve čtyřech úrovních.

2. GEOLOGICKÉ POMĚRY

Předkvartérní podklad

Z pohledu regionální geologie náleží zájmové území z větší části k brněnskému masivu, převážně magmatických hornin neoproterozoického stáří.

Granodiority jsou horniny všesměrně zrnité, středně až hrubozrnné, s převažujícím složením křemene, živce a slídy. Celkově jsou zbarveny do šeda, růžova až červenohněda.

Diority v nezvětralém stavu jsou zelené až šedozelené. Jsou to horniny odlišného petrografického složení, kde základní minerály jsou plagioklas a amfibol, méně častý je biotit. Jsou středně až jemnozrnné, textury všesměrné.

V zájmovém území byly zastíženy elevace hornin metabazitové zóny (vrty J-6, J-5, J-17), vystupující mělce pod povrchem a jedna hlouběji v prostoru vrtu J-12. Elevace jsou budovány metabazaltem (intenzivně hydrotermálně přeměněná vulkanická hornina) jemnozrnným, šedozelené barvy, hojně protkaným kalcitickými hydrotermálními žilkami. Na lokalitě byly též zastíženy horniny metamorfního pláště západní části brněnského masivu, jež jsou zapracovány do metabazitové šupiny v prostoru vrtu J-6, tvořené migmatizovanou biotitickou pararulou. Magmatické horniny jsou v povrchových partiích charakteru eluvia (drobný štěrk až hrubozrnný štěrk), zvětralé, níže pak zvětralé. Místy a hlavně hlouběji přechází v horniny zdravé.

Stratigraficky podstatně mladší zde zastoupenou jednotkou jsou neogenní spodnobádenské vápnité jíly (tégly). Jsou to zeminy převážně šedozelené až šedomodré, více či méně vápnité.

Geotechnické poměry pro ražbu

Tunel bude ražen observační metodou (metodou NATM) v Brněnském masívu tvořeném granodioritem. Dle IGP je masiv přípovrchově intenzivně zvětralý, hlouběji méně intenzivně zvětralý. V horní části profilu bude tunel zasahovat do eluvia granodioritu G typu 6, v části trasy do metabazaltů G typu 9, v dolní části bude profil veden méně zvětralým granodioritem G typu 7. Podzemní vodu lze očekávat v eluvii granodioritu (G typ 6), na styku silně zvětralých a méně zvětralých granodioritů. Zvodnění je vázáno především na atmosférické srážky. Větší množství vody lze očekávat v dílčích terénních depresích.

3. CHARAKTERISTIKA NEŽÁDOUCÍCH ÚČINKŮ OD TRHACÍCH PRACÍ

3.1 Seizmické účinky

Trhací práce budou projektovány podle podmínek stanovených tímto posudkem a podle ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“ s respektováním normových hodnot pro stupeň porušení 0, t.j. beze škod na stavebních objektech a inženýrských sítích. Touto přípustnou hodnotou je rychlost kmitání, stanovená podle typu stavební konstrukce a její dynamické odolnosti. Podle stanovených přípustných hodnot budou vypočteny mezní nálože pro rozpojování pevných skalních hornin při ražení podzemních objektů.

Kontrola správnosti stanovených náloží i skutečného dynamického zatížení bude prováděna kontrolními úředními seizmickými měřeními i průběžným monitorováním veškerých trhacích prací v celém úseku stavby. V případě překročení stanovených limitních hodnot budou doporučeny úpravy technologie trhacích prací a sníženy mezní nálože.

Trhací práce budou realizovány v horninových podmínkách, kdy již nejsou účinné strojní způsoby rozpojování horniny. Podle geotechnických vlastností horniny a jejich zatřídění bude stanovena délka postupu ražení. Pro odstřel horniny na stanovený postup bude stanoveno vrtné schéma a max. nálože ve vrtech. Vrtné schéma představuje plošné rozmístění vrtů v rovině čelby tunelu. Odstřel horniny na stanovený postup bude prováděn odčasným způsobem, kdy jednotlivé nálože (nebo sekce náloží) jsou vzájemně odčasnávány v intervalech zpoždění v rozmezí od 0,025s až 0,5 s. Tímto způsobem je celková nálož na odstřel rozdělena na jednotlivé dílčí nálože ve vrtech. Seizmické účinky jsou minimalizovány a projevují se jako dílčí impulsy v časovém sledu několika sekund.

Rozložení odstřelu na delší dobu postupné iniciace malých náloží v časových stupních podstatně eliminuje celkový seizmický účinek a umožňuje i zvýšení postupu ražení.

Charakter přerušovaných vibrací je podle hmotnosti použitých náloží obvykle v oboru středních až vyšších kmitočtů cca 20 až 80 Hz s amplitudou výchylky dráhy cca 0,01mm až 0,05 mm. Tyto otřesy v žádném případě neohroží stavební konstrukci, je vyloučeno její rezonanční rozkmitání a vlnění proběhne jako dynamická odezva bez vzniku jakéhokoli porušení stavebního objektu. Podle frekvenčního charakteru otřesů však dochází k rezonančnímu kmitání drobných předmětů, jejichž vlastní frekvence je blízká budící frekvenci otřesů a osobami v místnostech je vnímáno jako nepříjemné a eventuelních stížností.

3.2 Akustické účinky

Při trhacích pracích se vyústěním podzemních děl na povrch šíří přetlakové akustické vlny do širšího okolního prostoru. Časovaná iniciace náloží je příčinou impulsního charakteru přetlakové vlny. Tyto účinky odstřelů mohou být důvodem stížností na pociťované detonace a otřesy.

K eliminaci přetlakových účinků do okolního prostoru k zástavbě budou navržena opatření, spočívající v krytí ústí tunelu a stanoveny limitní nálože. K prošetření intenzity akustických vln budou prováděna příslušná měření v chráněném venkovním prostoru staveb podle hygienického předpisu (6) i měření akustického tlaku.

V noční době nebudou trhací práce prováděny.

4. OBJEKTY A SÍTĚ V ZÁJMOVÉ OBLASTI STAVBY

Území stavby se nachází ve zvláště terénu v blízkosti obytné zástavby sídliště na k.ú. Bystřice a Žebětín. Projektovaný tunel není situován pod žádnými stavebními objekty, podchází pouze část parkovacích ploch a silniční komunikace Říčanské a Teyschlovy ulice.

V blízkém okolí se nachází 9 ti podlažní obytné domy v ul. Teyschlově, s nejbližším domem č. 1112/2 cca 20 m. Vedle domu ve směru k tunelu se nachází objekt trafostanice E-on (cca 15 m od tunelu).

Ostatní obytná zástavba vyšších domů v řadové zástavbě je v nejbližší vzdálenosti cca 60 m. Obchodní středisko Albert v ul. Javůrecké je ve vzdálenosti cca 50 m.

Podél komunikací (pod vozovkou i chodníky) se nachází inženýrské sítě městské infrastruktury, které budou v místech kontaktu s realizovanou stavbou jejich správci vytýčeny.

K ochraně okolních objektů a jiných zařízení před působením nežádoucích účinků od trhacích prací budou stanoveny limitní hodnoty, respektující platné normy a předpisy a další omezující podmínky pro jejich provádění, podle tohoto posudku.

Zóna ovlivnění a sledování okolních objektů bude pro vlastní tunel vymezena dosahem indukovaných účinků ražby – trhacích prací (izoseistou rychlosti kmitání 7,5 mm/s).

Součástí DÚR je pasportizace objektů v blízkosti ražené tunelové trasy, týká se především objektů na ulici Teyschlova.

5. OMEZENÍ NEŽÁDOUCÍCH ÚČINKŮ TRHACÍCH PRACÍ

K eliminaci nežádoucích účinků od trhacích prací (zejména seizmické a akustické účinky) na životní prostředí a stavební objekty v zájmovém území se stanovují základní podmínky splňující tyto požadavky:

1. Respektování přípustných hodnot dynamického zatížení stavebních objektů, inženýrských sítí aj. zařízení dle ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“.
2. Dodržení přípustné hodnoty akustického tlaku, vylučující poškození okolních staveb (dle „Technických podmínek výstavby metra v Praze“, sv. 10)
3. Respektování hygienických limitů hluku a vibrací dle „Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“
4. Dodržení stanovených maximálních dílčích náloží k provádění trhacích prací (odborným posudkem a dle projektové dokumentace TP).

6. KRITERIUM POSUZOVÁNÍ DYNAMICKÉHO ZATÍŽENÍ STAVEB A INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ OD TRHACÍCH PRACÍ

Mez dynamického zatížení je dle ČSN 730040 "Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva" stanovena příslušnou hodnotou rychlosti kmitání, kdy poměrná deformace ještě nevyvolá křehká porušení zdiva a omítek u staveb nebo trhlinky ve spojích potrubních řadů nebo na izolaci kabelových vedení.

Rychlost kmitání se měří obvykle přímo na objektu a to na úrovni terénu, příp. na nejnižším nadzemním podlaží (tzv. referenční stanoviště). Pokud je místem měření nadzemní stavební konstrukce, jedná se o měření dynamické odezvy.

Inženýrské sítě se mohou měřit rovněž přímo na obnaženém vedení nebo na terénu nad jejich uložením.

Stupně poškození objektů (čl. 6.5.2)

V tabulce jsou uvedeny stupně poškození objektů :

<i>Popis poškození</i>	<i>Stupně poškození</i>
Bez poškození. Nevznikají žádná viditelná poškození. Funkce objektů, jako např. vodotěsnost nádrží apod. jsou plně zachovány	0
První známky poškození. Trhliny do šířky 1 mm na styku stavebních prvků (např. styk stěny a stropu).	1
Mírnější porušení s malými škodami. Trhliny v omítce, příčkách, v komínovém zdivu, opadávání omítky, uvolnění krytiny.	2
Střední rozrušení s vážnými škodami. Stabilita není ohrožena. Trhliny širší než 5 mm v příčkách i nosných zdech. Opadávání krytiny a částí komínů.	3
Značné porušení s nebezpečnými škodami. Trhliny v nosných zdech a překladech, ohrožující jejich statickou funkci. Zřícení příček, výplňového zdiva a komínů. Trhliny v prostém betonu. Porušení stability.	4
Úplné rozrušení a destrukce. Zřícení cihelných staveb nebo jejich částí s hlavními nosnými prvky. Významné trhliny v železobetonu.	5

Dle čl. 6.4.2, tab 9. ČSN 730040 jsou třídy odolnosti **objektů bytových, občanských, průmyslových a zemědělských** klasifikovány takto :

- tř. **A** : chatrné stavby, neodpovídající stavebním předpisům, zříceniny; historické budovy z neopracovaného kamene nebo cihel s klenutými překlady, průvlaky a plošnými klenbami nad místnostmi v přízemí a suterénu; kamenné a zděné pomníky a kašny; budovy s rozsáhlou plastickou výzdobou, budovy ve zvláštní památkové péči; archeologické objekty.
- tř. **B** : běžné cihelné stavby, izolované nebo řadové domy s půdorysnou plochou do 200 m², nejvýše o 3 podlažích.
- tř. **C** : velké budovy z cihel a tvárnic, dobře ztužené stavby panelové a montované z betonových prvků; zdivo na cementovou maltu.
- tř. **D** : budovy s ocelovým nebo betonovým skeletem, dřevěné a hrázděné stavby s dobrým ztužením, prostý beton.
- tř. **E** : železobetonové a ocelové konstrukce, výrobní a provozní objekty, železobetonová síla a zásobníky.

Zatřídění inženýrských objektů:

- tř. **C** : Kamenné mosty, opěrné zdi, zděné vodojemy
- tř. **D** : Opěry mostů z opracovaného kamene, monolitické vodojemy
- tř. **E** : Železobetonové inženýrské stavby.

Zatřídění podzemních objektů:

tř. C: Keramické a kamenné obklady a dlažby v podzemních objektech metra a podchodech

tř. D: Cihelné, kamenné a tvárnice obzdvíky v podzemních objektech

tř. E: Betonové monolitické konstrukce podzemních objektů, podzemní stěny

tř. F: Železobetonové a ocelové ostění tunelů metra a kolektorů

Zatřídění podzemních inženýrských sítí a kabelů:

Tř. C: Potrubí kameninové, kabelové spojky,

Tř. D: Potrubí litinové, betonové, potrubí z umělých hmot.

Tř. E: Kabely žilové, koaxiální sdělovací kabely.

Tř. F: Potrubí ocelové.

Druhy základové půdy (čl. 6.5.3)

Základová půda je členěna do tří kategorií (kategorie a, b, c):

- horniny všech tříd při návrhové únosnosti $R_{dt} < 0,15$ MPa a jestliže je hladina podzemní vody trvale ve hloubce o rozsahu 1 m až 3 m pod základovou spárou.
- Horniny všech tříd při návrhové únosnosti $R_{dt} < 0,15$ MPa a jestliže je hladina podzemní vody trvale ve hloubce větší než 3 m. Do této kategorie patří také horniny všech tříd při návrhové únosnosti $R_{dt} \geq 0,15$ MPa a jestliže je hladina podzemní vody trvale v rozsahu 1 m až 3 m pod základovou spárou.
- Horniny všech tříd při návrhové únosnosti $R_{dt} > 0,15$ MPa a jestliže je hladina podzemní vody trvale ve hloubce větší než 3 m pod základovou spárou. Do této kategorie patří i skalní horniny při návrhové únosnosti $R_{dt} > 0,6$ MPa pokud hladina podzemní vody je trvale ve hloubce větší než 1,0 m.

Závislost stupně poškození na maximální rychlosti kmitání, na druhu objektu a na základové půdě dle tab. 14 normy :

<i>Rychlost kmitání (mm/s) pro obor frekvence otřesu</i>			<i>Stupeň poškození (tab. 13)</i>	<i>Tř. odolnosti objektu (tab. 9)</i>	<i>Druh základové půdy (5.5.3)</i>
<i>$f < 10$ Hz</i>	<i>10 až 50 Hz</i>	<i>$f > 50$ Hz</i>			
do 3	3 až 6	6 až 15	0	A	a
3 až 6	6 až 12	12 až 20	0	A	b,c
				B	a
6 až 10	10 až 20	15 až 30	0	B	b,c
				C	a
8 až 15	15 až 30	20 až 40	1	A	a
				C	b
			1	B	c
				A	b,c
10 až 20	20 až 30	30 až 50	0	B	a
				C	c
			1	D	a
				B	b
			2	C	a
				A	a

Rychlost kmitání (mm/s) pro obor frekvence otřesu			Stupeň poškození (tab. 13)	Tř. odolnosti objektu (tab. 9)	Druh základové půdy (5.5.3)
$f < 10 \text{ Hz}$	$10 \text{ až } 50 \text{ Hz}$	$f > 50 \text{ Hz}$			
15 až 25	25 až 40	40 až 70	0	D	b,c
				E	a
			1	C	b
				B	c
			2	A	b,c
				B	a
20 až 40	40 až 60	60 až 100	0	E	b,c
				F	a
			1	C	c
				D	a
			2	B	b,c
				C	a
30 až 50	50 až 100	100 až 150	0	F	b,c
			1	D	b,c
				E	a
			2	C	b

7. STANOVENÍ DYNAMICKÉ ODOLNOSTI STAVEB OD SEIZMICKÝCH ÚČINKŮ TRHACÍCH PRACÍ

Podle uvedených kritérií je provedeno informativní zařazení stavebních objektů, sítí a jiných zařízení, se stanovením přípustného zatížení technickou seismicitou (rychlosti kmitání). Frekvenční charakteristika otřesových účinků se pro navrhované trhací práce předpokládá v rozmezí dominantních kmitů 30 až 80 Hz, druh základové půdy je klasifikován b, c.

Pro stupeň porušení 0 (beze škod) jsou přípustné hodnoty rychlosti kmitání, podle dominantních frekvencí:

Posuzovaný objekt -charakteristika	Třída odolnosti	Příp. $u^{(1)}$ pro f 10-50 Hz (mm/s)	Příp. $u^{(1)}$ pro $f > 50 \text{ Hz}$ (mm/s)
Staré, historické stavby - chatrný stav, kamenné zdivo stavby v památkové ochraně	A	6	12
Běžné cihelné stavby (do 3 nadzemních podlaží, plochy do 200 m ²), stavebně - technický stav dobrý, neporušené	B	15	20
Dtto, v horším stavebně - techn.stavu, drobné trhlinky v omítkách, staticky neporušené	B	10	15
Malé zděné objekty, montované stavby, garáže apod.	B	15	20
Velké budovy z cihel a tvárnic, stavby panelové a montované, stavebně - techn. stav dobrý	C	20	25
Velké haly, obchodní a skladové objekty, a p.	C	25	30
Budovy ze skeletu betonového nebo ocelového, (s opláštěním v různém provedení)	D	30	35

Posuzovaný objekt -charakteristika	Třída odolnosti	Příp. $u^{(1)}$ pro f 10-50 Hz (mm/s)	Příp. $u^{(1)}$ pro $f > 50$ Hz (mm/s)
Regulační stanice plynu	B	25	30
Trafo stanice (vč. zařízení)	B	25	30
Opěrné zdi – betonové konstrukce	E	60	80
Zděné, kamenné zídky (horší stav)	C	30	40
Ocelové stožáry (patky stožárů VVN, vysílače a p.)	E	60	80
Stoky, betonové potrubí, kameninové potrubí	D	40	60
Vodovodní litinová potrubí (stará)	D	25	40
Potrubí PE a j. z technických hmot	D	60	80
Ocelová potrubí – starší než 30 roků	F	50	60
Ocelová potrubí (plynová) STL, VTL pod 30 roků.	F	60	80
Žilové kabely elektrické (silové, VO)	E	80	100
Spojové coax. kabely, kabelové spojky, OPTK	E	50	60
Spojové kabely ostatní	E	60	80
Kolektorové (kanálové) trasy (prefa aj.)	D	60	80
Tramvajové těleso		80	100
Objekty stavby : pažící konstrukce	F	200	250
stříkané obezdvíčky B20	F	250	300
svorníky , kotvy	F	200	250

Úprava přípustné hodnoty dynamického zatížení objektů v zájmové oblasti stavby může být provedena na základě výsledků seizmických měření a podle frekvenční charakteristiky otřesů, znalcem.

8. STANOVENÍ DYNAMICKÉ ODOLNOSTI STAVEBNÍCH OBJEKTŮ OD VIBRACÍ A OTŘESŮ ZPŮSOBENÝCH STAVEBNÍ ČINNOSTÍ A DOPRAVOU

K posouzení odezvy způsobené technickou seizmicitou charakteru déletrvajícího rázového zatížení popř. ustáleného periodického zatížení (čl. 6.4 ČSN 730040), podle mezních stavů 1. a 2. skupiny se pozemní stavební objekty klasifikují dle třídy následků, podle typu staveb a charakteru užívání (ČSN EN 1991-1-7) takto:

Třída následků CC		Příklady kategorizace podle typu pozemních staveb a jejich užívání
1	malá	Samostatné obytné domy do 4 podlaží, zemědělské stavby
2a	střední skupina menšího rizika	Samostatné 5 podlažní obytné domy, školní zařízení do 1 podlaží, obchodní plochy do 3 podlaží
2b	střední skupina většího rizika	Obytné budovy vyšší než 4 podlaží, nanejvýš 15 podlaží, obchodní plochy nad 3 podlaží, parkoviště nejvýš 6 podlaží
3	velká	Všechny stavby, která přesahují omezení ploch a počtu podlaží ve tř. následků 2a a 2b, stadiony, stavby s nebezpečnými látkami a pod.

Pro posouzení platí kriteria stanovená podle místa měření seizmicity na objektu tj:

1. Na referenčním stanovišti (nejnižší podlaží, v úrovni terénu)
2. Na stavební konstrukci (dynamická odezva)

ad1/

Dynamickou odezvu způsobenou déle trvajícím rázovým zatížením nebo ustáleným periodickým chvěním z hlediska mezních stavů 1. skupiny není třeba dále analyzovat, pokud na referenčním stanovišti efektivní rychlost kmitání $v_{ef}^{(1)}$ v mm/s nepřesáhne uvedené hodnoty dle čl. 5.4.1, tab. 8 normy :

Tř. odolnosti objektu	Rychlost kmitání $v_{ef}^{(1)}$ mm/s			
	Třída následků podle kategorizace objektu			
	CC 3	CC 2b	CC 2a	CC 1
A	0,2	0,4	0,7	1,1
B	0,4	0,6	1,0	1,8
C	0,7	1,5	2,0	2,8
D	0,9	2,0	2,5	3,5
E	1,1	2,5	3,0	4,0
F	1,5	3,0	4,0	5,0

Zatřídění obytné zástavby v zájmovém území stavby :

Třída odolnosti : C (velké budovy z cihel a tvárníc, v řadové zástavbě, vyšší než 4 podlaží)
 Stupeň porušení : 0
 Třída následků: CC 2b

Přípustné dynamické zatížení (vibrační i rázové účinky strojních mechanismů) :

Efektivní hodnota rychlosti kmitání $v_{ef} = 1,5$ mm/s
 Maximální hodnota rychlosti $v = 2,1$ mm/s
 (efektivní hodnota rychlosti kmitání pro harmonický pohyb je $v_{ef} = v_{max} / \sqrt{2}$)

ad/2

Kategorizace odezvy konstrukce podle efektivní rychlosti pohybu $v_{ef}^{(1)}$ (dle tab. 10 čl. 5.4.4. normy):

Třída odolnosti objektu	Rychlost kmitání $v_{ef}^{(1)}$ (mm/s)								
	třída následků podle kategorizace staveb								
	CC 3		CC 2b		CC 2a		CC 1		Možnost poruch
	DV ne	DV ano	DV ne	DV ano	DV ne	DV ano	DV ne	DV ano	
A	0,2	0,6	0,6	1,8	0,8	2,2	1,2	3,6	4,5
B	0,4	1,6	1,0	3,6	1,4	4,0	2,0	6,0	9,0
C	0,95	3,8	1,8	5,0	2,4	6,8	3,0	9,0	25,0
D	1,1	4,5	2,4	7,0	2,8	9,0	4,0	12,0	40,0
E	1,6	5,0	3,0	10,0	4,0	15,0	6,0	20,0	60,0
F	2,0	7,0	4,0	14,0	6,0	17,0	8,0	25,0	70,0

Pozn. DV ne - dynamický výpočet není třeba
DV ano - dynamický výpočet je třeba

Přípustná hodnota se stanoví v rozmezí hodnot v_{ef} podle stavebního, technického a statického stavu posuzované konstrukce (tj. dynamické odolnosti objektu). Vzhledem k dobré dynamické odolnosti nové zástavby je přípustná mez stanovena na 80 % - ní horní hodnotě uvedeného rozmezí, kdy není třeba dynamický výpočet z hlediska mezních stavů 1. skupiny.

Zatřídění obytné zástavby v zájmovém území stavby :

Třída odolnosti : C (budovy z cihel a tvárnic – viz výše)
Stupeň porušení : 0
Třída následků: CC 2b

Přípustné dynamické zatížení (vibrační i rázové účinky strojních mechanismů) :

Efektivní hodnota rychlosti kmitání $v_{ef} = 4,0 \text{ mm/s}$
Maximální hodnota rychlosti $v = 5,64 \text{ mm/s}$

9. STANOVENÍ BEZPEČNÝCH VZDÁLENOSTÍ OBYTNÉ ZÁSTAVBY OD KOLEJÍ TRAMVAJOVÉ TRATĚ

Na žádost objednatele studie je provedena predikce intenzity a vlivu otřesových účinků od budoucího provozu tramvají na okolní zástavbu s použitím přísl. ustanovení ČSN 730040.

Pokud nelze získat hodnoty rychlosti kmitání na referenčním stanovišti nebo přímo na objektu měřením, je možné pro účinky kolejové a silniční dopravy a seizmické zatížení od jiných zdrojů použít tabulku č. 11 podle čl. 6.4.5 ČSN 730040 s informativními vzdálenostmi budícího zdroje. Je - li zdroj ve větší vzdálenosti než uvádí tabulka není pravděpodobné, že z hlediska mezních stavů únosnosti ovlivňuje posuzovaný objekt. Tabulka neplatí, jestliže mezi zdrojem a posuzovaným objektem je tuhá vrstva působící jako vlnovod (např. betonová deska, zvodnělé vrstvy, zmrzlá vrstva zeminy).

Vzdálenosti účinků silniční dopravy se měří od okraje vozovky. Vzdálenosti účinků od kolejové dopravy se měří od osy nejbližší koleje.

Tabulka 11 – informativní vzdálenosti zdroje L (m) :

Třída odolnosti objektů	Vzdálenost od zdroje L – od železniční a tramvajové dopravy			
	Kategorizace staveb (podle ČSN EN 1991-1-7)			
	Třída CC3	Třída CC2b	Třída CC2a	Třída CC1
A	35	30	25	20
B	30	25	20	15
C	25	20	15	12
D	20	15	12	10
E	18	13	10	8
F	16	12	9	6

Závěr:

Pro nejbližší okolní obytnou zástavbu, zařazenou do třídy odolnosti **C** a třídy následků **CC2b** se předpokládá bezpečná vzdálenost pro tramvajovou dopravu $L = 20$ m od nejbližších objektů. Uvedené hodnocení je ve shodě s poznatky a výsledky vlastních měření.

10. TLAKOVZDUŠNÉ ÚČINKY TRHACÍCH PRACÍ

Vliv tlakovzdušných účinků trhacích prací na okolí bude být pozorován v prostoru vyústění tunelů (portálů) v širším okolí stavby .

Přípustná hodnota akustického tlaku (P_{\max}) při kterém nenastane poškození skleněných ploch a keramických obkladů, střešní krytiny ani uvolnění okenních rámců či dveřních zárubní je dle technických podmínek (5):

$$P_{\max} = 0,15 \text{ kPa}$$

Podle konfigurace terénu, situování tunelu a při splnění stanovených ochranných opatření (krytí ústí tunelu) budou přetlakové účinky v oblasti blízké zástavby podstatně nižší než je stanovený limit (bude prokázáno měřením).

11. HYGIENICKÉ LIMITY HLUKU

Akustické účinky trhacích prací se budou šířit ústím tunelu i do vzdálenějšího okolí. Z toho důvodu je třeba respektovat stanovené hygienické limity dle „Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“

Hlukové účinky trhacích prací na stavbě se budou šířit do okolního prostoru vzduchem i horninovým prostředím.

Šíření akustické vlny od časovaného odstřelu horninovým prostředím se přenáší do chráněných prostor staveb jako přerušovaný hluk.

Podle hygienického předpisu „Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. (6) platí tyto přípustné hodnoty:

§ 10 Hygienické limity hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb.

Odst. 1

Hodnoty hluku se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A_{L_{AEQ,T}}$ a maximální hladinou akustického tlaku $A_{L_{Amax}}$. V denní době se stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin, v noční době pro nejhlučnější hodinu.

Odst. 2

Hygienický limit v hladině maximálního akustického tlaku A se stanoví pro hluk šířící se ze zdrojů uvnitř objektu součtem základní hladiny maximálního akustického tlaku A $L_{Amax} = 40$ dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného vnitřního prostoru a denní a noční době podle přílohy č.2 k tomuto nařízení tj:

$L_{AEQ,T}$ základní	40 dB
Korekce na druh chráněné místnosti (obytné místnosti, hotelové pokoje)	0 dB
(ostatní místnosti)	10 dB
$L_{AEQ,T}$ přípustná ...(obytné místnosti, hotelové pokoje).....	40 dB
(ostatní místnosti, učebny, laboratoře)	50 dB
Korekce na denní dobuden (06 – 22 hod.)	0 dB
Korekce na denní dobunoc (22 - 06 hod.)	- 10 dB

Pro obytne místnosti:

$L_{AEQ,T}$ přípustnáden (06 – 22 hod.)	40 dB
$L_{AEQ,T}$ přípustnánoc (22 – 06 hod.)	30 dB
Pro ostatní např. restaurační i kulturní zařízení (po dobu používání)	50 dB

Způsob výpočtu hygienického limitu $L_{Aeq,s}$, pro hluk ze stavební činnosti po dobu kratší než 14 hodin se vypočte ze vztahu:

$$L_{Aeq,s} = L_{Aeq,T} + 10 \cdot \lg (429 + t_1) / t_1$$

t_1 – doba trvání hluku (odstřelu) v hodinách v době mezi 7. a 21. hodinou

$L_{Aeq,s}$ – hygienický limit stanovený podle § 10 odst. 2

§ 11 Hygienické limity hluku v chráněném venkovním prostoru staveb a v chráněném venkovním prostoru

Odst.5

Hygienický limit v ekvivalentní hladině akustického tlaku C vysokoenergetického impulsního hluku se stanoví

- pro denní dobu $L_{Ceq,8h}$ se rovná 83 dB,
- pro noční dobu $L_{Ceq,1h}$ se rovná 40 dB.

Ekvivalentní hladina akustického tlaku C $L_{Ceq,T}$ vysokoenergetického impulsního hluku se vypočte způsobem upraveným v příloze č. 3 k tomuto nařízení, tj :

$$L_{Ceq,T} = 2,0 L_{CE} - 93 + 10 \cdot \lg (N/No) - 10 \cdot \lg (T/To) \quad \text{pro } L_{CE} > 100 \text{ dB}$$

nebo

$$L_{Ceq,T} = 1,18 L_{CE} - 11 + 10 \cdot \lg (N/No) - 10 \cdot \lg (T/To) \quad \text{pro } L_{CE} < 100 \text{ dB}$$

Kde N je počet impulsů za dobu T (s), No = 1 a To = 1 s

Pozn. Trhací práce v noční době nebudou prováděny

12. VIBRACE V CHRÁNĚNÝCH VNITŘNÍCH PROSTORÁCH STAVEB

Vibrace v chráněných vnitřních prostorech staveb se posuzují dle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, které je zákonným předpisem.

Hygienický limit vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb vyjádřený průměrnou váženou

- hladinou zrychlení vibrací $L_{aw,T}$ se rovná 75 dB nebo

- hodnotou zrychlení $a_{ew,T}$ se rovná $0,0056 \text{ m/s}^2$

se vztahuje na horizontální a vertikální vibrace v místě pobytu osob a k době trvání vibrací T.

Korekce základního hygienického limitu jsou v závislosti na typu prostoru, denní době a povaze vibrací upraveny v tabulce přílohy č. 5 k tomuto nařízení :

Druh chráněného vnitřního prostoru	Denní doba	Povaha vibrací			
		Přerušované a nepřerušované vibrace		Opakující se otřesy	
		Korekce			
		dB	(1)	dB	(1)
1. Obytné místnosti	den	6	2	24	16
	noc	3	1,41	3	1,41
2. Ostatní chráněné vnitřní prostory staveb	nepřetržitě	12	4	42	128

L_{awp} - hygienický limit vážené hladiny zrychlení vibrací

a_{ewp} - hygienický limit hodnoty zrychlení

Za vibrace ze zdrojů uvnitř budovy se pokládají i otřesy (vibrace), šířící se ze zdrojů mimo tento objekt, které do tohoto objektu pronikají jiným způsobem, zejména konstrukcemi nebo podložími (horninou) jako strukturální hluk.

Přípustné vážené hodnoty zrychlení vibrací (hygienický limit) pro přerušované a nepřerušované vibrace v denní a noční době vztahující se na vnitřní prostory staveb jsou uvedeny v následující tabulce:

Typ prostoru	L_{awp} (dB)		a_{ewp} (m/s^2)	
	6 - 22 hod	22 - 6 hod	6 - 22 hod	22 - 6 hod
Obytné místnosti	81	78	0,0112	0,0079
Ostatní místnosti	87		0,0224	

Při hodnocení vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb se uplatňuje kombinovaná rozšířená nejistota měření. Výsledná hodnota určující veličiny vibrací v chráněných prostorech staveb prokazatelně splňuje hygienický limit snížený o kombinovanou rozšířenou nejistotu měření.

Hygienický limit snížený o kombinovanou rozšířenou nejistotu měření A i B ($u_{AB} = \pm 10 \%$):

Typ prostoru	L _{awp} (dB)		a _{ewp} (m/s ²)	
	6 - 22 hod	22 - 6 hod	6 - 22 hod	22 - 6 hod
Obytné místnosti	80	77,0	0,01	0,0071
Ostatní místnosti	86,0		0,020	

13. VÝPOČET NÁLOŽÍ

Provádění trhacích prací v systému časovaných náloží ve vrtech na stavbě tunelu bude limitováno maximálními náložemi, které budou respektovat bezpečnost všech objektů v zájmové oblasti vůči vlivu seizmických účinků podle jejich dynamické odolnosti.

Pro výpočet tzv. ekvivalentních náloží (pro časovaný způsob iniciace jednotlivých náloží) je použit vztah dle ČSN 730040 čl. 5.7.5 stanovený pro rovnici přenosu :

$$m_{ev,n} = (u^{(1)} \cdot L_p / K)^2 \quad /1/$$

kde :

- $m_{ev,n}$ - ekvivalentní nálož (kg)
- $u^{(1)}$ - rychlost kmitání (mm/s)
- L_p - vzdálenost od středu odstřelu k posuzovanému objektu (prostorová) m
- K - koeficient přenosu seizmického vlnění závislý na geologickém prostředí a na vzdálenosti, stanovený pro potřeby studie z informativních hodnot K podle ČSN, tab. 2 čl. 5.7.5 odpovídajících průměrným hodnotám pro skalní a ostatní horniny).

Pozn. Pro horninové podmínky **in situ** lze stanovit (zpřesnit) hodnoty K z analýzy výsledků kontrolních seizmických měření (prováděných při realizaci stavby), nebo provedením „Inženýrsko - seizmického průzkumu“ jako dílčí části doplňujícího IGP s využitím vhodných průzkumných vrtů pro odpaly zkušebních náloží.

Tabulka vypočtených náloží:

L _p (m)	K	Nálož $m_{ev,n}$ (kg) při rychlosti kmitání $u^{(1)}$ (mm/s)							
		3	5	10	20	30	40	50	60
5	400	0,00	0,00	0,02	0,06	0,14	0,25	0,39	0,56
6	380	0,00	0,01	0,02	0,10	0,22	0,40	0,62	0,90
7	360	0,00	0,01	0,04	0,15	0,34	0,60	0,95	1,36
8	340	0,00	0,01	0,06	0,22	0,50	0,89	1,38	1,99
10	300	0,01	0,03	0,11	0,44	1,00	1,78	2,78	4,00
15	283	0,03	0,07	0,28	1,12	2,53	4,49	7,02	10,11
20	275	0,05	0,13	0,53	2,12	4,76	8,46	13,22	19,04
25	263	0,08	0,23	0,90	3,61	8,13	14,46	22,59	32,53
30	250	0,13	0,36	1,44	5,76	12,96	23,04	36,00	51,84
40	225	0,28	0,79	3,16	12,64	28,44	50,57	79,01	

Lp (m)	K	Nálož $m_{ev,n}$ (kg) při rychlosti kmitání $u^{(1)}$ (mm/s)							
		3	5	10	20	30	40	50	60
50	200	0,56	1,56	6,25	25,00	56,25	100,00		
60	190	0,90	2,49	9,97	39,89	89,75			
70	180	1,36	3,78	15,12	60,49				
80	170	1,99	5,54	22,15	88,58				
90	160	2,85	7,91	31,64					
100	150	4,00	11,11	44,44					
125	140	7,17	19,93	79,72					
150	130	11,98	33,28						
175	120	19,14	53,17						
200	110	29,75	82,64						

Podle tabulky lze pro konkrétní situaci tj. posuzovaný objekt a příslušnou vzdálenost odstřelu stanovit odpovídající nálož $m_{ev,n}$.

Z ekvivalentní nálože se provede výpočet dílčích náloží podle intervalu časování takto:

- Nálož v milisekundové fázi (interval zpoždění $\leq 0,050$ s) $m_{j,n} = 0,5 m_{ev,n}$
- Nálož v milisekundové fázi (interval zpoždění 0,075 s až 0,100 s) $m_{j,n} = m_{ev,n}$
- Nálož v sekundové fázi (interval zpoždění $\geq 0,200$ s) $m_{j,n} = 1,5 m_{ev,n}$
(pokud se jedná o 3 a více náloží ve vrtech)
- pro jednotlivé vrty platí $m_{l,} = m_{ev,n}$
- m_l – nálož ve vrtu
- m_{jn} – celková nálož (součet náloží) v jednom časovém stupni

Celková nálož je určena součtem náloží v časových stupních a počtem časových stupňů příslušné řady časovaných iniciátorů.

Pro časovaný roznět náloží se doporučuje použití rozšířené řady elektrických časovaných rozbušek (DeM, DeD a DeP), nebo použití tunelové řady neelektrických rozbušek Indet shock.

14. VÝPOČET IZOSEIST - PÁSMO INDUKOVANÉ SEIZMICITY

Oblast zastiženou seizmickým vlněním uvedené intenzity určují tzv. izoseisty. Průběh izoseisty (i) příslušné hodnoty rychlosti kmitání povrchem území se stanoví výpočtem podle vztahu (1) v závislosti na hmotnosti nálože. Uvedeným náloží odpovídají tyto prostorové vzdálenosti izoseist:

$m_{ev,n}$ (kg)	Vzdálenost izoseisty (prostorová) m			
	$u^{(1)} = 5$ mm/s	7,5 mm/s	10 mm/s	15 mm/s
0,6	34	27	21	15
0,8	40	30	24	17
1,2	45	35	28	20

$m_{ev,n}$ (kg)	Vzdálenost izoseisty (prostorová) m			
	$u^{(1)} = 5$ mm/s	7,5 mm/s	10 mm/s	15 mm/s
2,4	60	43	35	26
3,6	70	50	41	31
4,8	78	57	45	36
6,0	82	62	50	39
10,0	98	75	60	45

V celkové situaci (DÚR) je vykreslen průběh izoseisty 7,5 mm/s, odpovídající stanoveným maximálním náložím pro ražení tunelu.

Stavební objekty, nacházející se uvnitř pásma vymezeného izoseistou rychlosti kmitání 7,5mm/s se doporučují k provedení pasportizační prohlídky (tj. do 50 % hodnoty přípustného dynamického zatížení.

15. NÁVRH MAXIMÁLNÍCH NÁLOŽÍ

Návrh maximálních tzv. ekvivalentních náloží vychází z konkrétní situace vedení trasy tunelu, podle vzdálenosti okolní zástavby, jejího zařazení a s respektováním stanovených přípustných hodnot dynamického zatížení. Je informativního charakteru pro účely studie k posouzení vlivu seizmických účinků na okolí.

Navržené nálože jsou stanoveny pro nejbližší obytnou zástavbu, trafo - objekt a obchodní objekt Albert s respektováním bezpečnější hodnoty dynamického zatížení (cca 80 % příp. hodnoty) v oboru středních kmitočtů 10 až 50 Hz:

Posuzovaný objekt - charakteristika	Třída odolnosti	$u^{(1)}$ přípustná (mm/s)	Doporučená snížená $u^{(1)}$ mm/s
Velké budovy z cihel a tvárnic, stavby panelové a montované, stavebně - techn. stav dobrý – <i>obytná vícepodlažní zástavba</i>	C	20	15
Velké haly, obchodní, skladové objekty, a p. – <i>obchodní objekty Albert</i>	C	25	20
Objekt trafostanice	B	25	20

Návrh max. náloží podle úseků stavby tunelu:

Stavební objekt	Staničení od km	Staničení do km	$m_{ev,n}$ (kg)
Přesýpaný tunel (Bystrc)	0,862 5	0,902 5	1,2
Ražený tunel	0,902 5	0,930	1,2
Ražený tunel	0,930	1,000	2,4
Ražený tunel vč. rozvodny	1,000	1,147 5	6,0
Přesýpaný tunel (Kamechy)	1,147 5	1,182 5	6,0

Celková nálož na odstřel bude určena podle počtu použitých časových stupňů přísl. řady časovaných rozněcovadel.

Trhací práce (odpovídající nálož) budou použity v pevných skalních horninách, kdy strojní rozpojování nebude účinné.

Podle IGP se trhací práce v úseku přesýpaného tunelu „Bystrc“ nepředpokládají (pro účely studie ale nelze opomenout případnou nutnost jejich použití).

16. TECHNOLOGIE TRHACÍCH PRACÍ – PARAMETRY NÁLOŽÍ

K posouzení seizmických účinků se předpokládá použití trhacích prací s maximálními náložemi podle postupu ražení.

16.1 Ražení tunelu

Technologie trhacích prací musí být přizpůsobena navrženému projektovému členění výrubu, stanoveným postupům a konkrétním horninovým podmínkám na čelbě. Vrtací práce budou prováděny vrtnou soupravou s průměrem vrtů cca 40 až 50 mm.

Podle horninových podmínek se pro stanovené délky záběru předpokládají dílčí nálož (Perunitu 20, Danubitu 1 a obdobných typů trhavin) v rozmezí:

Výlom kaloty:

<i>Druh vrtů</i>	<i>Hmotnost nálože (kg)</i>				
	<i>Postup 1 m</i>	<i>1,5 m</i>	<i>2,0 m</i>	<i>2,5m</i>	<i>3,0m</i>
zálomové	0,3 - 0,4	0,6 - 0,8	1,0 - 1,2	1,2 – 1,6	2,0 – 2,2
přibírkové	0,3 - 0,4	0,7 - 0,9	1,0 - 1,5	1,6 – 2,0	2,2 – 2,6
počevní	0,4 - 0,6	0,8 - 1,1	1,4 - 1,8	2,0 – 2,5	2,8 – 3,2
obrysové	0,4 - 0,5	0,8 – 1,0	1,2 – 1,6	1,8 – 2,2	2,5 – 3,0

Výlom opěří:

<i>Druh vrtů</i>	<i>Hmotnost nálože (kg)</i>			
	<i>Postup 2,0 m</i>	<i>Postup 2,5 m</i>	<i>3m</i>	<i>4 m</i>
těžební	1,2 – 1,5	1,8 – 2,2	2,8 – 3,4	4,5 – 5,0
počevní	1,2 – 1,8	2,0 – 2,5	3,0 – 3,6	5,0 – 6,0

16.2 Hloubení přesýpaného tunelu

Podle mocnosti pevných skalních hornin budou trhací práce prováděny systémem menších plošných odstřelů na výšku těžebního stupně přizpůsobenému úrovni kotvení pažící stěny.

Maximální nálož bude respektovat seizmickou odolnost pažící konstrukce.

Předpokládané maximální nálože podle výšky těžebního stupně :

Výška stupně	1,5 m	2 m	2,5 m	3 m	4 m
Nálož trhaviny	1,2 kg	1,7 kg	2,5 kg	4,0 kg	6,0 kg

17. DYNAMICKE ÚČINKY OD STAVEBNÍCH STROJŮ, JEJICH VLIV NA OKOLÍ

Uvedené údaje vychází z poznatků a výsledků měření na obdobných-dopravních stavbách.

Strojní rozpojování

Těžní bagry i drapákové soupravy (při hloubení rýhy pro zakládání podzemních stěn), vyvolávají rázy proměnlivé intenzity podle způsobu zabírání lžice a dle podmínek uložení horniny. Frekvenční obor rázů je dosti proměnný, od velmi nízkých frekvencí (2 až 5 Hz) až po střední frekvence cca 20 až 40 Hz. Doba působení na objekt (stavební konstrukci) je poměrně dlouhá a je určena dobou nasazení bagru pro rozpojování. Dynamickou odezvu vibrací na stavebních konstrukcích v nadloží ve vzdálenostech do cca 15 m lze předpokládat o rychlostech kmitání 0,5 až 1,0 mm/s v závislosti na dominantních frekvencích kmitů.

Použití těžkého sbíjecího kladiva (impaktoru), které je v případě nepoužití trhacích prací nezbytné, vyvolává dlouhodobě působící dynamické účinky poměrně značné intenzity v závislosti na vzdálenosti a podle typu kladiva. Frekvenční rozsah dominantních kmitů je podle úderových rázů kladiva cca 8 Hz, s modulací kmitů ve vysokých frekvencích 120 až 160 Hz. Dynamickou odezvu vibrací na stavebních konstrukcích do vzdálenosti cca 15 m lze předpokládat o rychlostech kmitání 1,0 až 2,0 mm/s.

Frézování i vrtání do horniny se projevuje ve středních až vyšších frekvencích 40 až 80 Hz s delší dobou nasazení. Dynamickou odezvu vibrací na stavebních objektech v okolí (do 15 m) lze předpokládat o rychlostech kmitání pod 1 mm/s. Použití frézy je však odvislé od navržené technologie ražení a použitých strojních sestav.

Vzhledem ke vzdálenosti stavby tunelu od nejbližších stavebních objektů nebudou dynamické účinky od strojních mechanismů představovat žádné riziko vzniku škod (porušení trhlinkami).

18. PROGNÓZA DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ OD TRAMVAJOVÉHO PROVOZU V TUNELU V CHRÁNĚNÝCH PROSTORÁCH STAVEB

Vibrační účinky od provozu vlakových souprav (tramvají) šířící se přes horninu do spodní stavby objektu jako strukturální hluk se posuzují podle kritérií stanovených v kap. 12 „Vibrace v chráněných prostorách staveb“ (studie).

K prognóze vibračních účinků šířících se horninovým prostředím byly použity výsledky dynamických měření (lit. 11 – 15) od tramvajového provozu i od provozu metra v Praze, které lze považovat za relevantní k provedené predikci pro posuzovaný tunel a podmínky šíření vibrací do blízkých domů obytné zástavby.

K informaci uvádím vyhodnocené max. hodnoty vibrací od stavebních akcí (lit. 11 – 15):

Akce	Zdroj otřesů	Lit.	Vzdálenost m	L_{aw} (dB)	a_{aw} m/s^2
Praha 10 - obytný dům Sedmikrásky	metro	11	25	65,4	0,0019
Praha 6 – Myslbekova ul. (stavba tunelu Blanka)	tramvaje	12	20	68,5	0,0027
Praha 8 – Rustonka, Libeň	tramvaje	13	15	72,7	0,0044
Praha 8 – Křižíkova, Sokolovská	metro	14	30	45,2	0,00018
Brno – Dornych, hotel Clarion	tramvaje	15	14	76,3	0,0066

Hygienické limity zrychlení vibrací (strukturálního hluku) v chráněných vnitřních prostorech staveb podle „Nařízení vlády č. 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací:

Typ prostoru	L_{awp} (dB)		a_{ewp} (m/s^2)	
	6 - 22 hod	22 - 6 hod	6 - 22 hod	22 - 6 hod
Obytné místnosti	81	78	0,0112	0,0079
Ostatní místnosti	87		0,0224	

Predikce vibrací pro chráněné vnitřní prostory staveb od tramvajového provozu v tunelu Kamechy:

Podle vnějších podmínek a situování obytné zástavby k nové tramvajové trati vedené tunelem (v betonovém korytě a s antivibrační vystýlkou) v nejbližší vzdálenosti 20 m od krajní koleje je reálný předpoklad dosažení max. hladiny zrychlení vibrací L_{aw} v chráněných vnitřních prostorech staveb :

$$L_{aw} = 70,0 \text{ dB} < 78 \text{ dB resp.}$$

$$a_{ew} = 0,0031 m/s^2 < 0,0079 mm/s^2$$

Závěr:

Predikované hladiny zrychlení vibrací, šířící se z provozu tramvají v tunelu horninovým prostředím jako strukturální hluk do chráněných vnitřních prostorů nejbližších objektů zástavby, splňují stanovené hygienické limity pro denní i noční dobu.

19. KONTROLNÍ MĚŘENÍ OTŘESŮ A VIBRACÍ

Měření technických otřesů a vibrací od použitých trhacích prací, resp. navazujících stavebních prací bude prováděno:

1. Kontrolními úředními měřeními, jež náleží do povinností dodavatele stavebních prací k prokázání správnosti používaných náloží i technologických postupů při respektování bezpečnosti všech chráněných objektů.
2. Průběžným monitorováním veškerých otřesů od probíhajících trhacích prací resp. i od stavebních činností na díle, jež jsou v povinnostech investora stavby tj. dozoru a kontroly stavebních činností (resp. podle „Projektu geotechnického monitoringu“).

19.1 Úřední měření

Měření dle podmínek ČSN 730040 : na stanovených místech a na vytypovaných objektech (referenční místo, dynamická odezva) s registrací celého průběhu otřesů, s vyhodnocením max. rychlosti kmitání ($u^{(1)}$), zrychlení vibrací, výchylkou dráhy kmitů, frekvenční analýzou FFT a posouzením vlivu a přípustnosti otřesů podle kritérií stanovených tímto posudkem.

Vyhodnocování měření:

O výsledku měření bude vyhotoven protokol (zpráva) o měření vč. protokolárních příloh záznamů měření a jejich vyhodnocení ve formátu PDF. Součástí protokolu bude vyhodnocení výsledku měření, zejména ve vztahu k dynamické bezpečnosti prošetřovaných objektů.

Požadavky na přesnost a kvalitu měření

Měřidla musí splňovat podmínku o metrologické návaznosti měřidel (dle Zákona o metrologii č. 505/1991 Sb. o metrologii ve znění pozdějších předpisů a Vyhl. MPO č. 262/2000 Sb. Ve znění vyhl. MPO č. 344/2002 Sb). Snímače rychlosti kmitání v rozsahu frekvencí od 2 až 250 Hz, amplitudy 0,001 až 200 mm/s.

Výstup měření

Závěrem hodnocení měření bude doporučení pro další postup trhacích prací, tj. budou potvrzeny nebo přepočteny stanovené max. nálože, případně bezpečné vzdálenosti od chráněných objektů s event. návrhem úpravy technologie rozpojování.

Předpokládaný program měření:

Měření bude provedeno při zahájení trhacích prací při ražení tunelu i na přesýpaném tunelu a při změně maximálních náloží, na nejbližších objektech okolní zástavby, podle situování odstřelu.

19.2 Průběžné monitorování veškerých otřesů a vibrací

Monitorovací systém měření umožní průběžnou registraci intenzity otřesových účinků vyvolaných trhacími pracemi i stavebními mechanizmy při ražení tunelu. Doporučuje se osazení 1 až 2 stanovišť na nejbližších obytných domech, v závislosti na postupu ražení.

Podmínky i rozsah měření, způsob hodnocení a předávání výsledků měření bude stanoven v realizačním projektu, nebo bude stanoven „Projektem geotechnického monitoringu stavby“.

19.3 Měření akustického tlaku

Měření akustického tlaku na jednom stanovišti (ve venkovním prostoru před obytným domem) bude provedeno jako součást kontroly účinků trhacích prací při úředních měřeních otřesů.

20. NÁVRH DOPLŇJÍCÍCH OPATŘENÍ

- K eliminaci působení přetlakových účinků trhacích prací, šířících se ústím tunelu do okolního prostoru se doporučuje provedení překrytí ústí díla vhodným způsobem.
- K vyloučení rozletu horniny z otevřené jámy přesypaného tunelu se doporučuje provedení krytí rozpojovaného bloku horniny vhodným způsobem (speciálními rohožemi, pletivem + tkaninou a pod.- bude stanoveno v technologickém postupu TP.)
- Stavební objekty nacházející se v zájmové oblasti stavby vymezené izoseistou rychlosti kmitání 7,5 mm/s se doporučují k provedení dokumentační prohlídky (tzv. pasportizace objektu.)

Z á v ě r

Předložená studie ovlivnění zájmového území od seizmických a dynamických účinků při realizaci stavby „Tunelu Kamechy“ s použitím trhacích prací i nasazených strojních mechanismů je zpracována s použitím platných technických norem a navazujících předpisů a na základě poznatků, zkušeností a výsledků měření na obdobných podzemních a dopravních stavbách v ČR. Ve studii jsou stanoveny základní podmínky možné realizace trhacích prací při ražení tramvajového tunelu, respektující ochranu i zajištění bezpečnosti okolních objektů, infrastruktury i ochrany životního prostředí s dodržáním hygienických limitů vlivem působení hluku a vibrací.

Prognóza působení otřesů a vibrací při ražení tunelu od trhacích prací i ostatních stavebních činností na okolní stavební objekty, sítě a jiná zařízení je příznivá s předpokladem nepřekročení přípustných hodnot otřesů stanovených ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva“ pro stupeň porušení 0 (beze škod).

Vibrační účinky způsobené veškerou stavební činností a hodnocené dle hygienického předpisu „Nařízení vlády č. 172/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“ pro chráněné prostory staveb, se předpokládají v přípustných mezích při dodržení podmínek uvedených v posudku.

Predikované hladiny zrychlení vibrací, šířící se z provozu tramvají v tunelu horninovým prostředím jako strukturální hluk do chráněných vnitřních prostorů objektů nejbližší zástavby, splňují stanovené hygienické limity pro denní i noční dobu.

Kontrola skutečné intenzity seizmických i dynamických účinků bude zajištěna příslušnými měřeními podle doporučeného návrhu resp. podle projektu geotechnického monitoringu.

Studie má informační účel k projektové dokumentaci DÚR.

Protože významnou technologií rozpojování skalních hornin při ražení tunelu budou trhačí práce, doporučuji v další fázi přípravy a projektování stavby, nebo v rámci doplňujícího geologického průzkumu provedení „Inženýrsko - seizmického průzkumu“ (ISP) s využitím vybraných průzkumných vrtů pro odpaly zkušebních náloží ke zjištění a vyhodnocení konstant přenosu šíření seizmických vln v horninovém masivu a v podmínkách stavby in situ. Ve studii byly k výpočtům použity informativní normové hodnoty přenosových součinitelů k predikci seismicity.

Výsledky „ISP“ budou vstupními hodnotami pro vyhotovení posudku „Návrhu trhačích prací“, který bude přílohou následné projektové dokumentace (DSP) i k vypracování "Technické dokumentace trhačích prací" (dle Vyhl. ČBÚ č. 72/1988, ve znění pozdějších předpisů) k řešení střetů zájmů s "Návrhem opatření k ochraně práv a právem chráněných zájmů občanů a organizací".

Přílohy :

1. Situace – průběh izoseisty 7,5 mm/s povrchem území
2. Podélný řez tunelem– trhačí práce

