

ČESKÉ VYSOKÉ ÚČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra geotechniky



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Bezbariérové zpřístupnění stanice metra
Jiřího z Poděbrad – měření a vyhodnocení
dynamických účinků na okolní objekty**

Vypracovala: Bc. Sofia Zavrylina

Vedoucí diplomové práce: Doc. Dr. Ing. Jan Pruška

Praha, 2023

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracovala samostatně pouze s použitím literatury uvedené v seznamu citované literatury a podkladů od firmy INSET s.r.o.

V Praze dne:

.....

Bc. Sofia Zavyrylina

Poděkování

Chtěla bych poděkovat docentu Janu Pruškovi za možnost psát diplomovou práci pod jeho vedením. Také bych chtěla vyjádřit vděčnost inženýru Martinu Čermákovi z firmy INSET s.r.o. za jeho cennou pomoc, věnovaný čas, odborné rady a podporu.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Zavryyilina</u>	Jméno: <u>Sofia</u>	Osobní číslo: <u>461285</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra geotechniky</u>		
Studijní program: <u>Katedra geotechniky</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Jiřího z Poděbrad – měření a vyhodnocení dynamických účinků na okolní objekty</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Barrier-free access to the Jiřího z Poděbrad metro station - measurement and evaluation of dynamic effects on surrounding objects</u>	
Pokyny pro vypracování: Obecný popis technické seizmicity (zdroje, vlny, šíření), obecný popis měření dynamické odezvy - metody, vyhodnocení ..., popis geologie prostředí dané stavby, popis vlastní stavby z hlediska konstrukce a provádění, měření dynamické odezvy při výstavbě bezbariérového zpřístupnění, Vyhodnocení měření, závěr k výsledkům měření	
Seznam doporučené literatury: Pruška Dynamika geotechnických konstrukcí, ČVUT 2017 Odpovídající ČSN a EN - EN 1998-5, ČSN 73 7501/1993 časopis TUNEL stránky CzTA	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Dr. Ing. Jan Pruška</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>24. 2. 2023</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>22. 5. 2023</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>24. 02. 2023</u>	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na monitorování a vyhodnocení dynamických účinků technické seismicity a trhacích prací při ražbě podzemních staveb, konkrétně při výstavbě bezbariérového přístupu do stanice metra Jiřího z Poděbrad v Praze. Teoretická část se zabývá vysvětlením termínů a legislativou, která je potřebná pro správné provádění měření a vyhodnocení naměřených hodnot. V praktické části je popsán proces výstavby bezbariérového přístupu a měření dynamických účinků. Výsledky měření umožňují získat představu o možných vlivech dynamických účinků na zájmové objekty, což je užitečné pro bezpečnou výstavbu a minimalizaci negativních účinků na okolní objekty.

Klíčová slova:

seismicita, dynamická odezva, snímač rychlosti kmitání, akcelerometr, měřicí linka, technická seismicita, trhací práce, fyziologické účinky.

Abstract

The master's thesis focuses on monitoring and evaluating of the dynamic effects of technical seismicity and blasting during the excavation of underground structures, specifically during the construction of an accessible entrance to the Jiří z Poděbrad metro station in Prague. The theoretical part deals with the explanation of terms and legislation necessary for the proper implementation of measurements and evaluation of measured values. The practical part describes the process of constructing the accessible entrance and measuring the dynamic effects. The measurement results allow for an understanding of the possible impacts of dynamic effects on the objects of interest, which is useful for safe construction and reducing negative effects on the surroundings.

Keywords:

seismicity, dynamic response, vibration velocity sensor, accelerometer, measuring line, technical seismicity, blasting works, physiological effects.

Obsah:

Úvod.....	9
1 Seismicita	11
1.1 Přírozená seismicita.....	11
1.2 Antropogenní seismicita.....	12
1.2.1 Indukovaná.....	12
1.2.2 Technická.....	12
2 Seismické vlny.....	12
2.1 Podélné P-vlny.....	12
2.2 Příčné S-vlny.....	12
2.3 Rayleigho vlny.....	13
2.4 Loweho vlny.....	13
3 Základní pojmy.....	14
4 Měření seismické odezvy.....	19
4.1 Snímače.....	19
4.1.1 Snímače rychlosti kmitání.....	20
4.1.2 Snímače zrychlení – akcelerometry.....	21
4.1.3 Metrologie a kalibrace snímačů.....	23
4.2 Převod elektrické veličiny do počítače.....	24
4.3 Výstup z měření.....	26
5 Limitní hodnoty dynamické odezvy.....	27
5.1 Normy a legislativa pro posuzování dynamických účinků.....	27
5.1.1 Technická seismicita.....	28
5.1.2 Trhací práce.....	31
5.1.3 Fyziologické účinky (vibrace v budovách).....	35
6 Výstavba bezbariérového přístupu ke stanici Jiřího z Poděbrad.....	37
6.1 Popis vlastní stavby z hlediska konstrukce a provedení.....	38
6.2 Geologické poměry.....	43
6.2.1 Horniny skalního podloží.....	43
6.2.2 Tektonická stavba skalního podloží.....	44
6.2.3 Zvětralinový plášť skalního podloží.....	44
6.2.4 Pokryvné útvary.....	45
7 Trhací práce při výstavbě bezbariérového přístupu do stanice Jiřího z Poděbrad.....	46

8	Měření dynamických účinků	49
8.1	Monitorování dynamických účinků	50
8.1.1	V kostele Nejsvětějšího srdce Páně	51
8.1.2	V metru stanice Jiřího z Poděbrad.....	52
8.1.3	V objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská	53
8.2	Kontrolní měření	54
8.3	Fyziologické účinky (vibrace v budovách)	55
9	Vyhodnocení dynamické odezvy	56
9.1	Programy pro vyhodnocení	56
9.2	Technická seismicita	57
9.2.1	V kostele Nejsvětějšího srdce Páně	57
9.2.2	V metru stanice Jiřího z Poděbrad.....	59
9.2.3	V objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská	60
9.3	Trhací práce.....	60
9.3.1	V kostele Nejsvětějšího srdce Páně	61
9.3.2	V metru stanice Jiřího z Poděbrad.....	63
9.3.3	V objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská	65
9.4	Fyziologické účinky (vibrace v budovách)	67
10	Další měření přímo související s měřením dynamických účinků.....	67
10.1	Měření hluku	68
10.2	Měření bludných proudů	68
10.3	Měření prašnosti	69
11	Závěr	70
	Použité zdroje	72

Úvod

S rostoucím počtem cestujících a potřebou zvyšovat bezpečnost a pohodlí cestujících v Praze se zvyšuje počet rekonstrukcí a výstaveb nových stanic metra. Tyto stavební práce mohou mít vliv na okolní objekty, a proto je důležité pečlivě sledovat a zhodnocovat vliv těchto staveb na okolní prostředí. Pro každou stavbu je připraven plán geotechnického monitoringu, podle kterého jsou prováděna všechna potřebná měření pro sledování vlivů v průběhu stavby.

Cílem geotechnického monitoringu je zajistit bezpečnost stavby včetně okolních budov a konstrukcí během stavby, a to prostřednictvím včasného zjištění změn sledovaných parametrů konstrukcí a základových púd. Provádějí se sledování pozemních a podzemních objektů včetně hlubokých stavebních jam.

Ve své diplomové práci se zabývám měřeními a vyhodnocováním dynamických účinků na okolní objekty v souvislosti s výstavbou bezbariérového zpřístupnění stanice metra Jiřího z Poděbrad. Měření dynamických účinků je součástí geotechnického monitoringu pro danou stavbu spolu s řadou dalších měření.



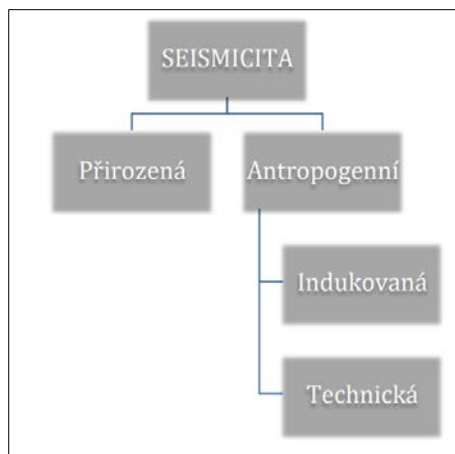
Obrázek 1: náměstí Jiřího z Poděbrad, vlastní archiv

Cílem této práce je projít celý proces měření a vyhodnocení dynamických účinků od začátku, tj. od norem a předpisů, dokumentů ke stavebnímu povolení, projektové dokumentace a jejích podkladů, potřebné pro zahájení stavby a trhacích prací až po konec, tj. po vyhodnocení naměřených hodnot a jejich posouzení na základě potřebné teorie.

V práci se zaměřím na teoretické základy, na provádění měření seismické odezvy, včetně typů snímačů, na dokumentaci pro stanovení limitních hodnot a vyhodnocení získaných dat.

1 Seismicita

Seismicitu můžeme rozdělit na dvě kategorie – **přírozenou**, což zahrnuje procesy způsobené přírodou, a **antropogenní**, což zahrnuje procesy způsobené činnostmi lidí. Dal se antropogenní seismicita dělí na **indukovanou** a **technickou**.



Obrázek 2: rozdělení seismicity, podle [15]

1.1 Přírozená seismicita

Jsou to procesy pohybu hornin, magmatu a tekutin v litosféře a plášti Země, které jsou schopné generovat seismickou energii a realizovat ji prostřednictvím mechanických impulsů, projevující se jako zemětřesení, sopečné erupce, sesuvy, skalní řícení, tsunami, emise hornin a plynu ze zemského povrchu.



Obrázek 3: sopečná erupce, podle [2]



Obrázek 4: tsunami, podle [3]

1.2 Antropogenní seismicita

1.2.1 Indukovaná

Seismické otřesy vyvolané přídavnou napjatostí v přirozeném poli napjatosti (tj. změna primární napjatosti horninového/zemního masivu) vlivem člověka.

Indukovaná seismicita je spojená s důlní činností, změnami v zatížení povrchu, nadměrným čerpáním podzemních tekutin.

1.2.2 Technická

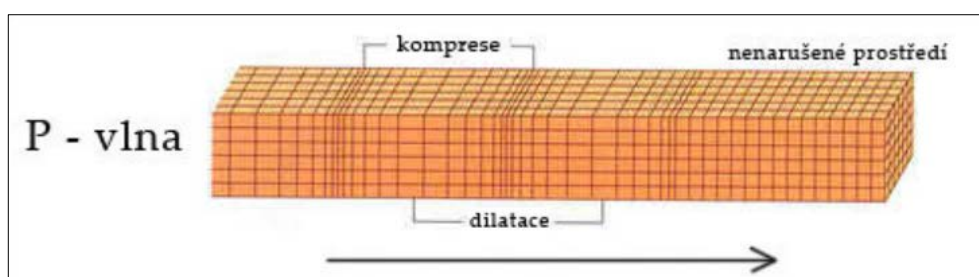
Seismické otřesy vyvolané umělými zdroji např. dopravou, průmyslovou činností, trhacími pracemi, pulzací vodního proudu aj.

2 Seismické vlny

Seismické vlny se vyskytují ve čtyřech základních typech: P-vlny, S-vlny, Rayleighovy vlny a Loveovy vlny.

2.1 Podélné P-vlny

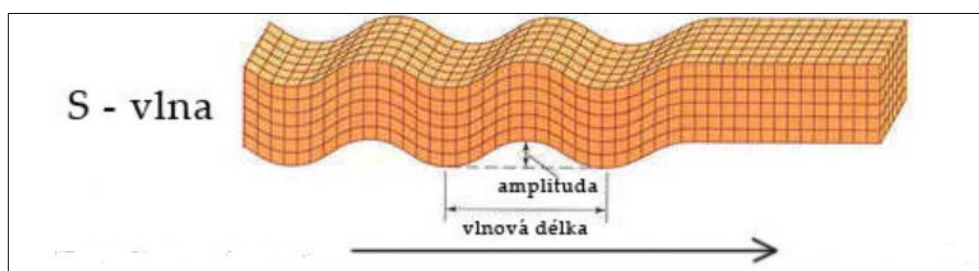
Podélné seismické vlny přenášejí objemové změny (komprese a expanze částic) v tělese/hmotě. Expandují ve směru šíření a prochází napříč celým zemským tělesem. Tyto vlny jsou nejrychlejší a způsobují minimální škody. Podélné vlny se šíří všemi druhy prostředí.



Obrázek 5: princip šíření podélných P-vln, podle [4]

2.2 Příčné S-vlny

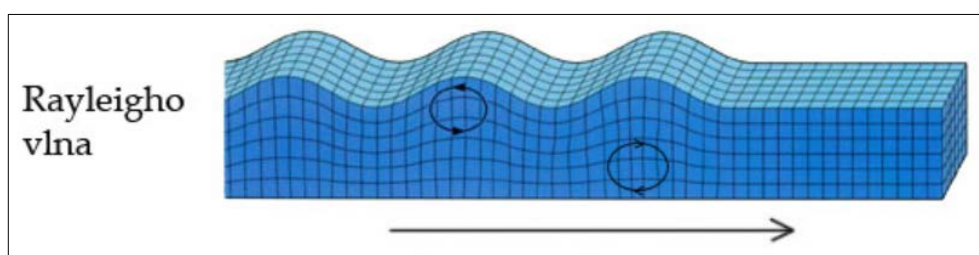
Částice kmitají kolmo na směr šíření vlny, horizontálně nebo vertikálně. Způsobují největší škody. Tyto vlny se šíří pouze v pevném prostředí.



Obrázek 6: princip šíření příčných S-vln, podle [4]

2.3 Rayleighovy vlny

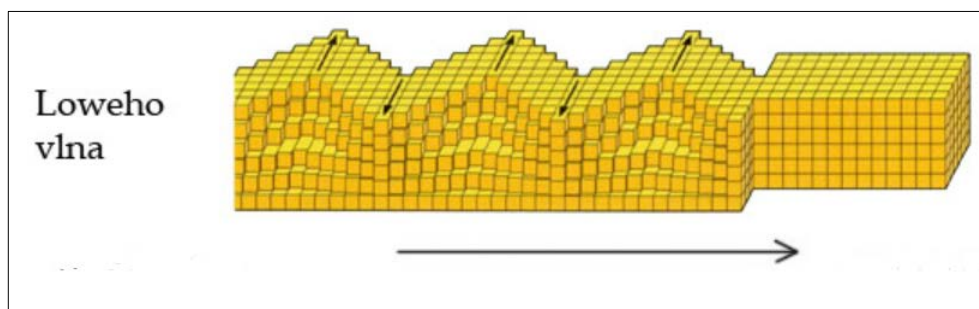
Amplituda povrchových vln se zmenšuje s hloubkou. Jejich hlavní energie se šíří v horní vrstvě Země o tloušťce řádově vlnové délky, a to pouze ve dvou rovinách. Proto se rozpadají se vzdáleností pomaleji než objemové a dominují na seismogramech zaznamenaných ve velkých vzdálenostech od zdroje. Rychlosti povrchových vln (tedy i Rayleighovy) závisí na frekvenci a jsou vždy menší než rychlosti objemových vln.



Obrázek 7: princip šíření příčných Rayleighovy vln, podle [4]

2.4 Loveho vlny

Loveho vlny jsou vázány na blízkost povrchu, částice se u nich pohybují kolmo ke směru šíření. Podmínkou jejich vzniku je podložní poloprostor o rychlosti vyšší, než je přípovrchová vrstva a jsou vždy disperzivní (jejich rychlost závisí na frekvenci), při vysoké frekvenci se šíří přípovrchovou vrstvou svojí specifickou rychlostí, pokud je frekvence nízká, šíří se rychlostí blízkou rychlosti podloží.



Obrázek 8: princip šíření příčných Loweho vln, podle [4]

3 Základní pojmy

Vibracemi se nazývá mechanické kmitání a chvění pružných částic kolem rovnovážné polohy.

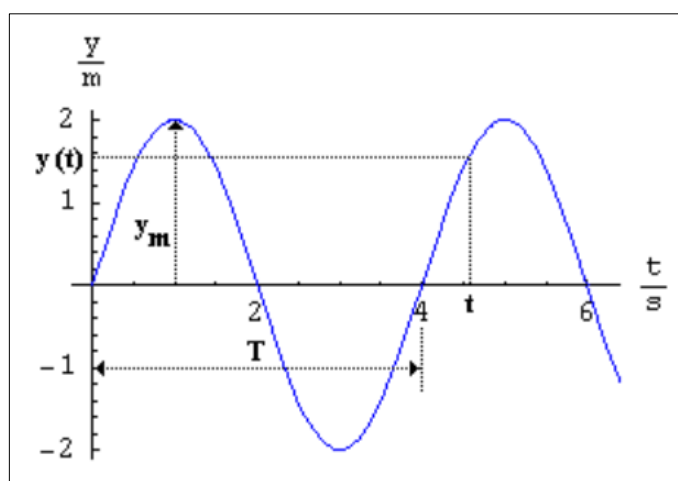
Vibrace jsou charakterizovány frekvencí, amplitudou, periodou, okamžitou výchylkou a úhlovou rychlostí.

- **frekvence f (Hz)** – je počet kmitů za sekundu, která se popisuje vztahem:

$$f = 1/T$$

kde T (s) je perioda, tj. doba jednoho kmitu;

- **amplituda y_m (m)** – je maximální výchylka;
- **okamžitá výchylka y (m)** – je vzdálenost polohy těžiště tělesa od rovnovážné polohy tělesa;



Obrázek 9: základní symboly popisu okamžité výchylky, podle [6]

- **úhlová rychlost** ω (rad·s⁻¹):

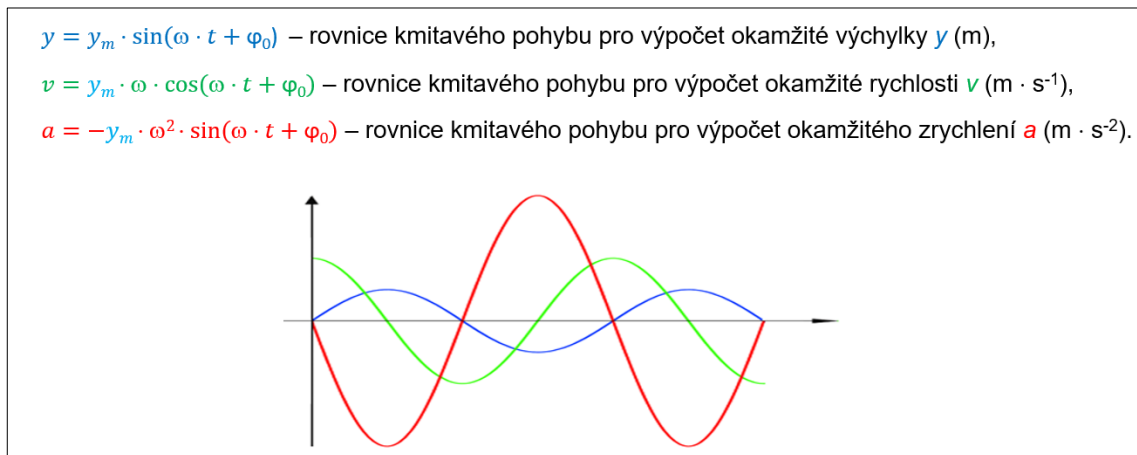
$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

Rovnice pro výpočet okamžité výchylky v případě harmonického kmitání:

$$y = y_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

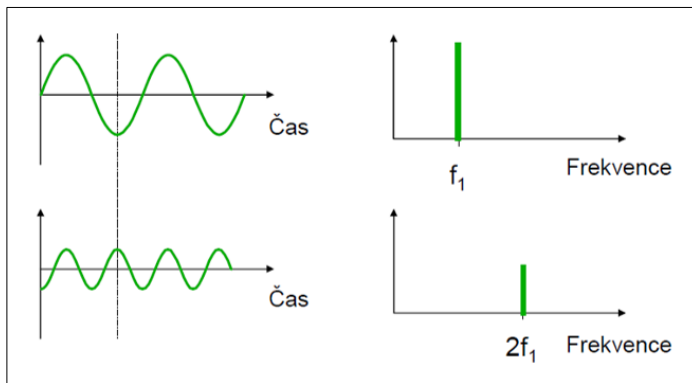
kde φ_0 (rad) je počáteční fáze.

Pomocí rovnice pro dynamickou výchylku se dá vypočítat okamžitá výchylka a také okamžitá rychlost a okamžité zrychlení prostřednictvím derivací této rovnice.

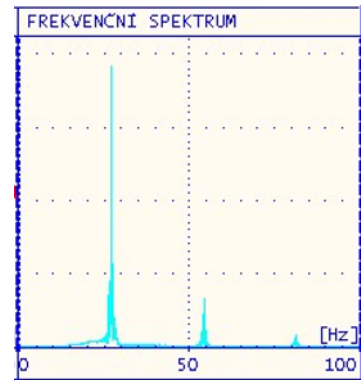


Obrázek 10: rovnice kmitavého pohybu, podle [7]

Dalším důležitým pojmem je **frekvenční spektrum**. Frekvenční spektrum je závislost amplitudy měřené veličiny na frekvenci.



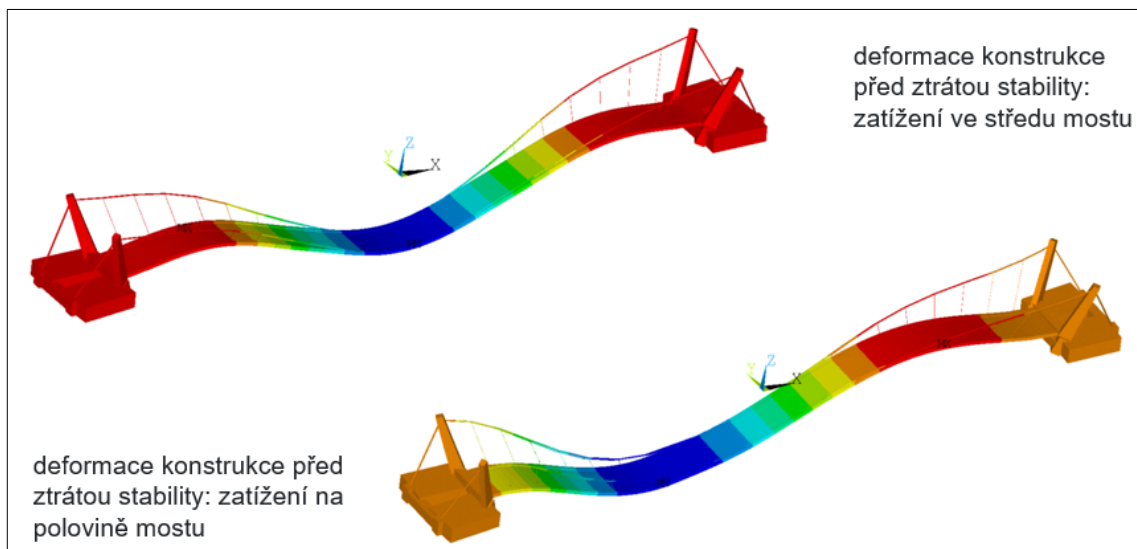
Obrázek 11: frekvenční spektrum, podle [7]



Obrázek 12: frekvenční spektrum, archiv firmy INSET

Frekvenční spektrum je zobrazení určitých frekvencí z pohledu opakování, síly frekvence, nebo také amplitudy (viz obrázek 11). Z frekvenčního spektra jsou pak patrné ty frekvence jednoduchých kmitavých pohybů, které mají na výsledný složený průběh největší vliv. Frekvenční spektrum zobrazujeme pomocí spektrálního analyzátoru (viz. obrázek 12).

Dalšími důležitými pojmy jsou **vlastní tvar** a **vlastní frekvence** konstrukce. Vlastní tvar – popisuje taková deformace, které prvek dosáhne při kmitání vlastní frekvencí. Vlastní frekvence je vlastnost tělesa nebo soustavy, při které dochází k dokonalé přeměně potenciální energie na kinetickou a naopak. Díky vlastním frekvencím a vlastním tvarům tak dostaneme představu, jak se systém při dynamickém zatížení chová. Amplitudy vlastních tvarů nejsou vhodné pro technické kvantitativní posouzení stavebního prvku (při řešení se musí vhodně upravit v měřítku). Vyjádření vlastního tvaru využijeme spíše pro kvalitativní posouzení dynamiky stavebního prvku.



Obrázek 13: příklad vlastních tvarů mostů, podle [7]

V případě, že dojde ke shodě vlastní frekvence a budící frekvence – dojde k rezonanci.

Rezonance je ve fyzice popsána jako snaha systému kmitat na větší amplitudě – více při určitých frekvencích než při ostatních frekvencích. Tyto frekvence se nazývají rezonančními frekvencemi. Při těchto frekvencích mohou i malé pravidelné síly způsobovat velké amplitudy kmitů, protože systém uchovává energii kmitání. Mechanická rezonance, tedy shoda vlastních mechanických kmitočtů stavební konstrukce s kmitočtem přicházejících impulsů (kmitů, rázů) je nežádoucím jevem, neboť může způsobit poškození kmitající části i částí, na které se kmitání přenáší. Síly buzené dynamickým zatížením (u mostů např. chodci nebo dopravou) ve frekvenci totožné s některou vlastní frekvencí konstrukce může zapříčinit vznik rezonance.

Ještě jedním důležitým pojmem je **referenční stanoviště** (viz norma ČSN 73 0040). Odezva na zatížení technickou seizmicitou se zpravidla posuzuje hodnotou efektivní rychlosti kmitání v nejnižším podlaží, nebo na základech objektu. Tato místa se nazývají referenčními stanovišti. V jiných místech konstrukce mohou být zjištěné rychlosti kmitání větší než na referenčním stanovišti.



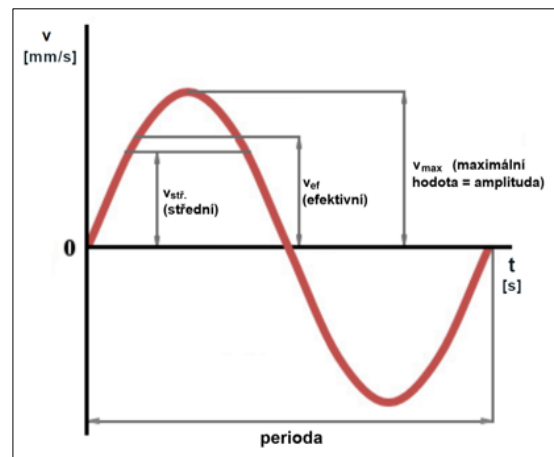
Obrázek 14: referenční stanoviště I, archiv firmy INSET



Obrázek 15: referenční stanoviště II, archiv firmy INSET

Hodnocení zatížení objektu je prováděno podle ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“. Obecně je **efektivní rychlost kmitání** v_{ef} zjištěna numerickou integrací záznamu rychlosti kmitání $v = f(t)$ použitím vztahu:

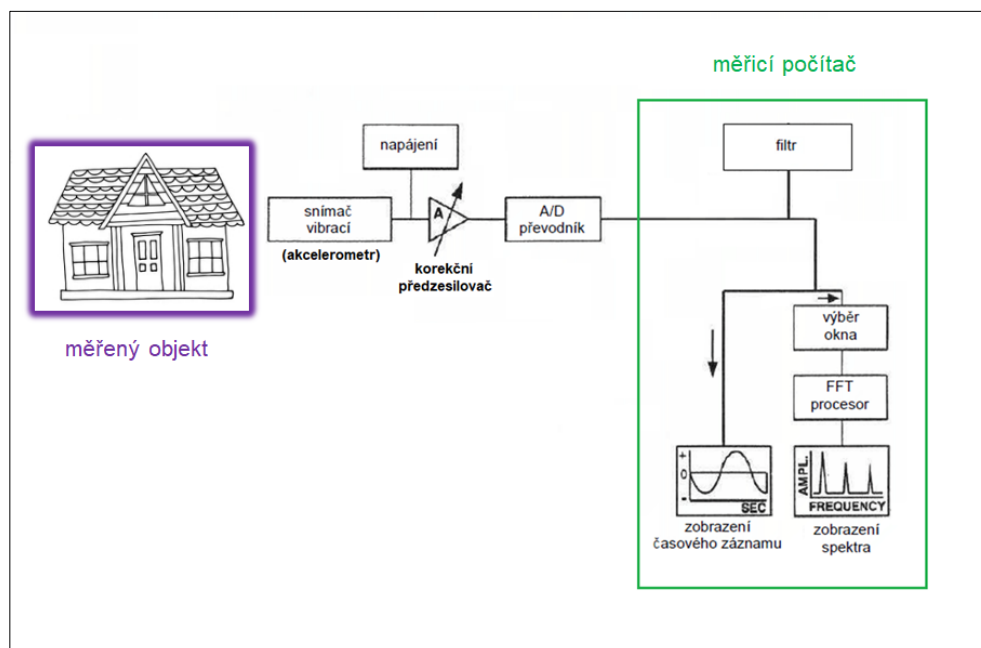
$$v_{ef}^2 = \frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} v^2(t) \cdot dt$$



Obrázek 16: veličiny popisující harmonický pohyb, podle [7]

4 Měření seismické odezvy

Měření je prováděno „měřicí linkou“, která se obvykle skládá ze: snímače, analog-digitálního (A/D) převodníku a záznamového zařízení (dnes obvykle počítač).



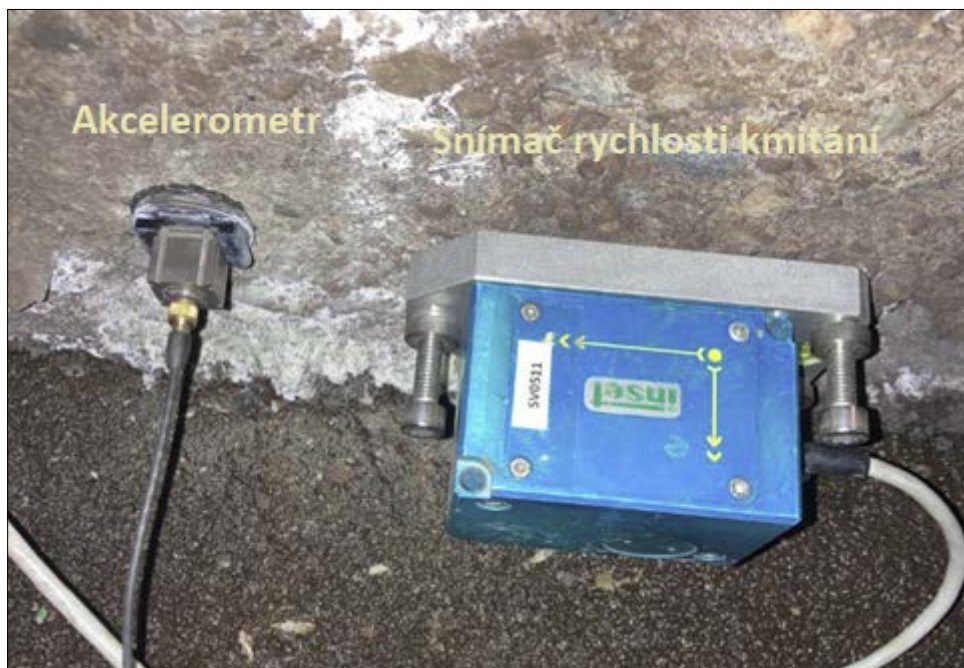
Obrázek 17: schéma měřicí linky, podle [7]

Pro zvýšení citlivosti a úpravu amplitudové závislosti odezvy na frekvenci můžou být používány u snímačů rychlosti kmitání vestavěné nebo externí korekční předzesilovače.

4.1 Snímače

K měření seizmického signálu se používají snímače vibrací. Snímače vibrací převádí fyzikální veličinu (rychlost kmitání, zrychlení) na elektrickou veličinu.

V dnešní době se nejčastěji používají **snímače rychlosti kmitání** a **snímače zrychlení** – akcelerometry.



Obrázek 18: akcelerometr a snímač rychlosti kmitání, vlastní archiv

U trojosých snímačů rychlosti nebo zrychlení je směr horizontální podélné složky dán nejdelším rozměrem pouzdra snímače (pravidlo ve společnosti INSET s.r.o., může být také dáno výrobcem snímače).

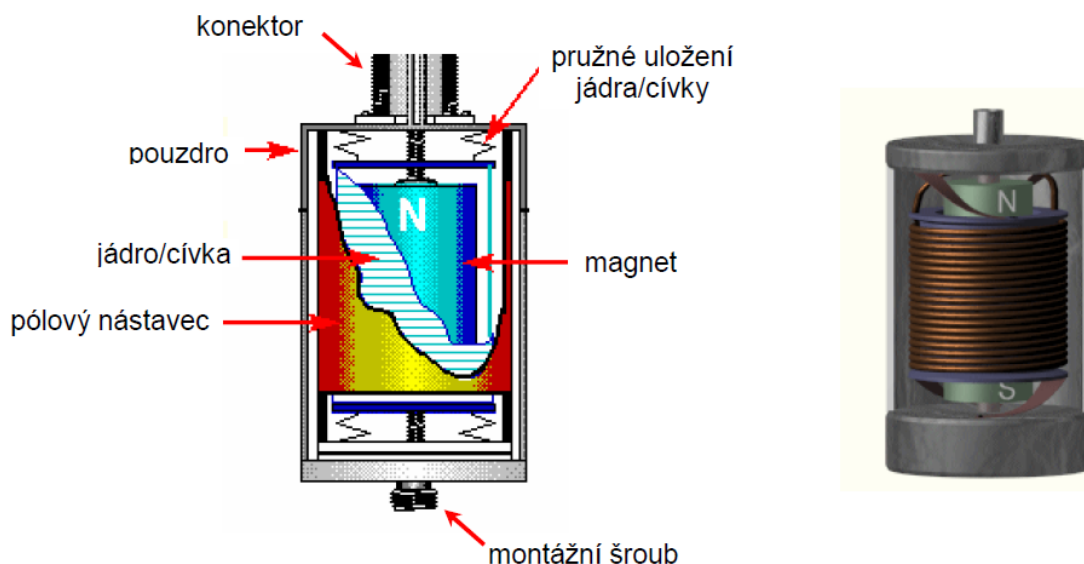
4.1.1 Snímače rychlosti kmitání

Snímače rychlosti fungují na základě elektromagnetické indukce, když se cívka pohybuje v magnetickém poli, což vytváří napětí na výstupech cívky. Tento jev je způsoben přenosem energie z magnetického pole do cívky, a velikost indukovaného napětí je přímo úměrná rychlosti relativní mezi cívkou a magnetickým polem.

Snímač rychlosti je tvořen permanentním magnetem, který je pevně spojen s tělískem snímače, a cívkou (duté jádro ovinuté drátem), která je uložena na měkkých pružinách (viz. obrázek 19).

Princip fungování snímače je v tom, že cívka kvůli své setrvačnosti zůstává v klidu, zatímco permanentní magnet kmitá s tělískem.

Rezonanční frekvence snímače je obvykle pod 10 Hz a použitelný frekvenční rozsah snímače se pohybuje mezi 10 až 1000 Hz. Aby se zvýšilo tlumení rezonanční frekvence, může být pouzdro snímače naplněno olejem.



Obrázek 19: snímač rychlosti, podle [13]

Výhody a nevýhody:

- + cena – snímače rychlosti jsou levné;
- + citlivost;
- náchylnost na otřesy z důvodu jejich křehké konstrukce;
- nejsou vhodné pro "ruční" měření (kvůli své velikosti a hmotnosti);
- vyžadují častou kontrolní kalibraci.

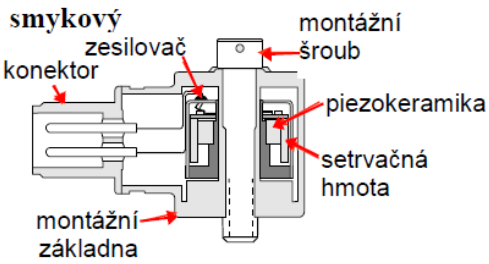
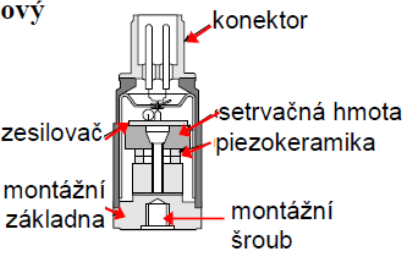
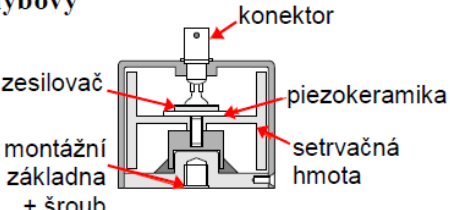
4.1.2 Snímače zrychlení – akcelerometry

Snímače zrychlení – akcelerometry se používají pro měření statického nebo dynamického zrychlení, jsou vhodné nejen pro měření odstředivých a setrvačných sil, ale i pro určování pozice tělesa, jeho naklonění nebo vibrací. Používají se v ojedinělých případech.

Výhody a nevýhody:

- + trvanlivost a spolehlivost vzhledem k tomu, že neobsahují žádné pohyblivé části;
- + malé a lehké;
- + nevyžadují častou kontrolní kalibraci;
- + snadná instalace;
- + dostupnost v provedení i pro vysoké provozní teploty;
- nevhodné pro měření velmi malé odezvy (málo citlivý) v kombinaci s malými frekvencemi.

Akcelerometry se vyrábějí ve trojím provedení – tlakový, ohybový a smykový typ. Výhody a nevýhody jednotlivých typů jsou uvedeny v následujícím obrázku.

Typ akcelerometru	výhody	nevýhody
<p>smykový</p> 	<p>široký frekvenční rozsah</p> <p>relativně odolný</p> <p>nízký teplotní vliv</p>	<p>menší citlivost</p>
<p>tlakový</p> 	<p>široký frekvenční rozsah</p> <p>odolný na rázy</p>	<p>náchylný na teplotní vlivy</p> <p>náchylný na deformaci základny</p>
<p>ohybový</p> 	<p>měří velmi nízké frekvence</p> <p>má velmi vysokou citlivost</p>	<p>křehký, citlivý na rázy</p>

Obrázek 20: typy akcelerometrů, podle [13]

4.1.3 Metrologie a kalibrace snímačů

Metrologie je vědní a technický obor, který se zaměřuje na měření různých technických a fyzikálních veličin. Tím zahrnuje vývoj metod měření a studium vztahu mezi naměřenou a skutečnou hodnotou.

Firma INSET má zpracovaný metrologický řád, který definuje procesy pro zajištění zákonných požadavků státních orgánů, požadavků norem ČSN EN ISO 9001 v platném znění, ČSN EN ISO/IEC 17025 v platném znění a požadavků organizace INSET s.r.o., včetně vymezení pravomocí a odpovědnosti v oblasti metrologie. Metrolog je odpovědný za jednotlivé činnosti metrologického zabezpečení (viz státní metrologické předpisy, interní předpisy společnosti) a za jednotné řízení a dozor nad metrologickým pořádkem společnosti.

Pro měřidla používaná ve společnosti INSET s.r.o. i pro vybraná měřidla používaná Technickou zkušebnou INSET CZ je zpracován podrobně diagram životního cyklu měřidla. Jedním z nejdůležitějších bodů kromě rozhodnutí o pořízení měřidla je kalibrace měřidla.

Kalibrace je proces, kterým se určuje vztah mezi měřenými hodnotami a přesnými standardy za určitých podmínek. Průběh kalibrace se obvykle skládá z několika kroků:

- **Nastavení referenčních hodnot:** kalibrační zařízení je nastaveno na přesně známé rychlosti kmitání, které slouží jako referenční hodnoty. Tyto hodnoty mohou být definovány normami nebo můžou být jinak specifikované.
- **Připojení snímače:** snímač je připojen ke kalibračnímu zařízení. Zajišťuje se správné umístění snímače a připojení v souladu s instrukcemi výrobce.
- **Kalibrace:** kalibrace začíná postupným přenášením různých známých rychlostí kmitání na snímač. Kalibrační zařízení generuje vibrace s přesně známými parametry, a snímač měří tyto hodnoty.
- **Porovnání s referenčními hodnotami:** naměřené hodnoty snímače jsou porovnány s referenčními hodnotami. Pokud existuje odchylka, provedou se korekce, například úpravou

kalibračních koeficientů a citlivostí. Snímače rychlosti kmitání nemívají tak dobrou závislost v celém frekvenčním pásmu použití (např. 1 až 200 Hz) jako akcelerometry, které mají tuto závislost víceméně jako přímku.



Obrázek 21: kalibrační zařízení, vlastní archiv



Obrázek 22: připojení snímače ke kalibračnímu zařízení, vlastní archiv

Kalibrace snímačů je důležitým procesem pro správné fungování a spolehlivost měření. Přesná kalibrace umožňuje dosáhnout přesných výsledků a eliminuje možné odchylky, které by mohly ovlivnit interpretaci naměřených dat.

Firma INSET disponuje zařízeními pro interní kalibraci některých měřidel – viz obr. 21 a 22.

4.2 Převod elektrické veličiny do počítače

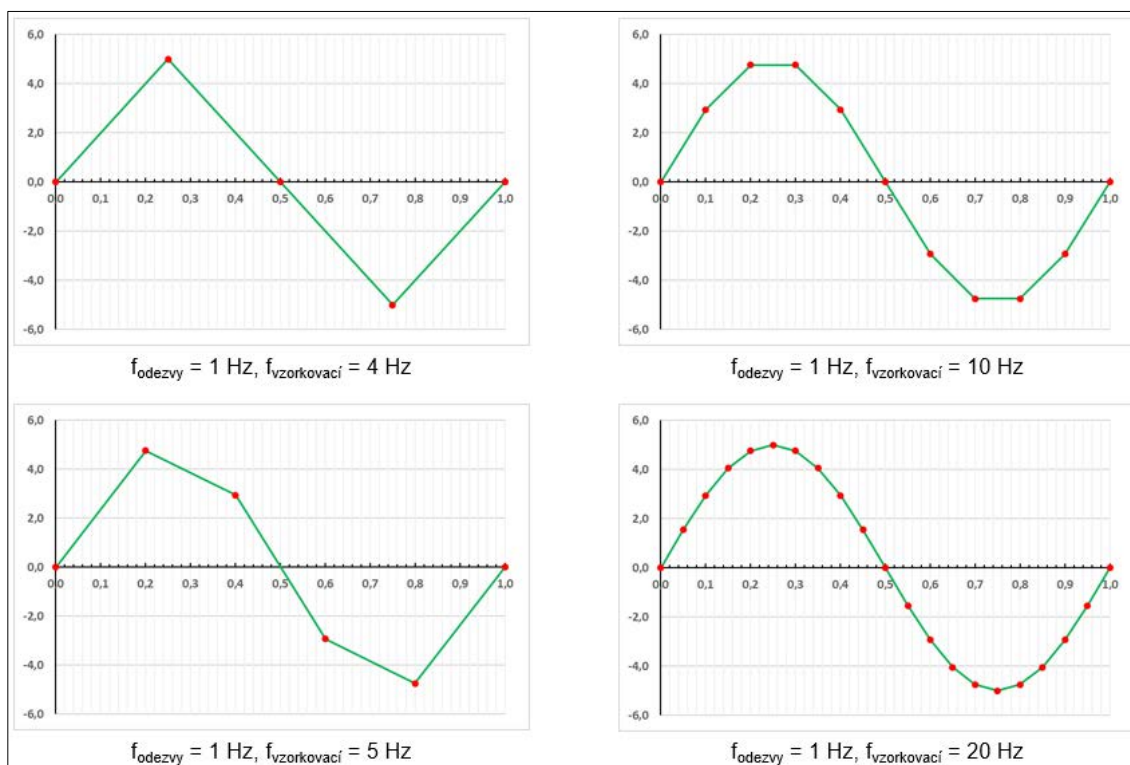
Analogově-digitální převodník (zkratky A/D, v angličtině i ADC) je zařízení určené k převodu spojitého (neboli analogového) signálu na signál diskrétní (digitální). Důvodem převodu je umožnit zpracování původně analogového signálu na číslicových počítačích.

Důležitým parametrem A/D převodníků je počet bitů, který určuje jejich rozlišovací schopnost. Čím vyšší je počet bitů, tím přesněji dokáže převodník reprezentovat hodnoty analogového signálu. Například A/D převodník s 12 bity má 2^{12} (4096) různých možných hodnot, což umožňuje jemnější rozlišení než převodník s nižším počtem bitů. V současné době se běžně používají 16bitové A/D převodníky, což umožňuje měřicí rozsah rozdělit na 2^{16} (65536) částí.

Dalším faktorem je počet vzorků na ose "y", což je řešeno vzorkovací frekvencí signálu. Vzorkovací frekvence je vyjádřena v hertzech (Hz) a určuje, kolik vzorků je za jednu sekundu (jak často jsou hodnoty signálu vzorkovány). Vzorkování je proces, při kterém se periodicky měří hodnoty analogového signálu a převádějí se na digitální formát.

Vzorkovací frekvence je klíčovým faktorem při digitalizaci analogového signálu. Příliš nízká vzorkovací frekvence může vést k nedostatečnému zachycení detailů a zkreslení signálu. Naopak, příliš vysoká vzorkovací frekvence může zbytečně zvyšovat nároky na zpracování a paměťové prostředky, zejména při velkém objemu dat.

Vzorkovací teorém, známý také jako Nyquistův-Shannonův teorém, stanovuje, že vzorkovací frekvence by měla být alespoň dvojnásobkem nejvyšší frekvence přítomné v analogovém signálu. Tím se zajišťuje, že signál bude správně rekonstruován z digitálních vzorků bez ztráty informací.



Obrázek 23: vliv vzorkovací frekvence na zaznamenanou odezvu (odezva ve tvaru sinusovky s frekvencí 1 Hz), podle [7]

Správná volba počtu bitů A/D převodníku a vzorkovací frekvence závisí na konkrétní aplikaci a požadované přesnosti a rozlišovací schopnosti měření. Je důležité vybrat vhodné parametry, které budou odpovídat požadavkům daného měření nebo zpracování signálu.

4.3 Výstup z měření

Výstupem z měření jsou obvykle:

- Seismogram – časový průběh měřené veličiny (vibrogram).
- U seismogramu nebo samostatně jsou pak vyhodnocení kmitu s největší amplitudou měřené veličiny a vyhodnocení frekvenčního spektra.
- Záznam z měření, v kterém jsou údaje o datu a času měření, lokalitě měření, umístění snímačů, informace o zdroji kmitání a můžou zde být i údaje popisující kmit s největší amplitudou

- V textové části dále můžou být uvedeny údaje o kalibraci měřidel a snímačů, nejistotách měření aj.

Časový průběh měřené veličiny je důležitým podkladem např. u měření dynamických účinků trhacích prací, a to k určení času, kdy došlo k vyšším dynamickým účinkům než pro ostatní části odstřelu – tj. pro určení problému v zálomových, přibírkových nebo obrysových vrtech. Tyto věci je vhodné následně řešit se střelmistrem.

5 Limitní hodnoty dynamické odezvy

Limitní hodnoty dynamické odezvy jsou stanoveny jako maximální přípustné úrovně odezvy, které nesmí být překročeny. Tyto hodnoty slouží jako referenční ukazatele pro posouzení a hodnocení odezvy a umožňují identifikovat případné rizikové situace.

5.1 Normy a legislativa pro posuzování dynamických účinků

Základní normou pro vyhodnocení dynamické odezvy je ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“. Norma je rozdělena na šest částí. V páté části s názvem: „Odezva a její posouzení“ je popsáno **posouzení déle trvajícího rázového zatížení**, popř. **ustáleného periodického zatížení** a tabulka Mezních hodnot efektivních rychlostí. Pokud nebudou tyto rychlosti na referenčním stanovišti dosaženy, není potřeba dynamickou odezvu posuzovat z hlediska únosnosti. Posuzované objekty jsou zde rozděleny podle tříd následků a tříd odolnosti objektu. V případě, že by nebylo možné získat hodnoty rychlosti na referenčním stanovišti, je v normě uvedena tabulka s informativními vzdálenostmi od zdroje technické seizmicity.

Pro **posouzení odezvy objektů od trhacích prací** je uvedena tabulka maximální rychlosti kmitání s uvážením oboru frekvence otřesu v závislosti na stupni poškození, druhu objektu a na základové půdě. Pomocí tabulky lze zjistit velikosti rychlosti kmitání, při kterém by mohlo nastat poškození objektu dle specifikací stupňů poškození objektu.

Limitní hodnoty pro fyziologické účinky se stanovují podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ve znění pozdějších předpisů „Nařízení vlády o ochraně

zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“, přičemž to se odkazuje na ustanovení zákona č. 258/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů „Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů“.

Vyhodnocení se provádí v souladu s ČSN ISO 2631–1 „Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím. Část 1: Všeobecné požadavky“ a ČSN ISO 2631–2 „Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím. Část 2: Nepřerušované vibrace a rázy v budovách (1 až 80 Hz)“.

5.1.1 Technická seismicita

Posuzované objekty se zatřídí podle:

- tříd odolnosti objektů (tabulka 9 ČSN 73 0040);

Dle tabulky 9 ČSN 73 0040 jsou objekty rozděleny do šesti tříd s písmenným označením A až F v závislosti na způsobu využití objektu a jeho umístění (objekty bytové, inženýrské a podzemní). Ve třídě A se nacházejí objekty nejvíce náchylné k poškození. Jsou zde chatrné objekty, které neodpovídají dnešním stavebním podpisům např. historické památky. Ve třídě B se nacházejí běžné cihelné stavby. Do třídy C se řadí velké budovy z cihel a tvárnic, kamenné mosty, kamenné obklady podzemních objektů, kameninové potrubí. Ve třídě D se jedná o budovy s ocelovým nebo betonovým skeletem, kamenné opěry mostů, cihelné a tvárnicové obezdívky, litinová potrubí. Do třídy E jsou zařazeny železobetonové a ocelové konstrukce, železobetonové inženýrské sítě, betonové monolitické konstrukce podzemních objektů, žilové a koaxiální sdělovací kabely. V třídě F se nacházejí nejvíce odolné objekty, které mají železobetonové a ocelové ostění, úkryty civilní obrany a ocelové potrubí.

Tabulka 9 - Třídy odolnosti objektů				
Třída odolnosti objektu	Objekty bytové, občanské, průmyslové a zemědělské	Objekty inženýrské	Objekty podzemní	Podzemní inženýrské sítě a kabely
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 plastikou výzdobou; budovy ve zvláštní památkové péči; archeologické objekty;			
B	běžné cihelné stavby, izolované nebo řadové domky s půdorysnou plochou do 200 m ² , nejvýše o 3 podlažích			
C	veliké budovy z cihel a tvárnice, dobře ztužené stavby panelové a montované z betonových prvků; zdivo na cementovou maltu	kamenné mosty (sochy a ozdoby) opěrné a ochranné zdi z kamene a cihel, zděné vodojemy	keramické a kamenné obklady a dlažby v podzemních objektech metra, v podchodech	potrubí osinkocementové, kameninové, kabelové spojky, Pupinovy skříně na sdělovacích kabelech
D	budovy ze skeletu ocelového nebo betonového, dřevěné a hrázděné stavby s dobrým ztužením, prostý beton	opěry mostů z opracovaného kamene, monolitické vodojemy	cihelné, kamenné a tvárnice vyzdívký v podzemních objektech	potrubí litinové, betonové, potrubí z umělých hmot
E	železobetonové a ocelové konstrukce, výrobní a provozní objekty, železobetonová síla a zásobníky	železobetonové inženýrské stavby, ocelové stožáry	betonové monolitické konstrukce podzemních objektů; vyzdívané a monolitické štoly kruhového a vejčitého tvaru; stoky a technologické tunely z dílců a trub o průměru větším než 800 mm; podzemní železobetonové stěny, kotvení - kořeny kotev	kabely žilové a koaxiální sdělovací kabely
F			železobetonové a ocelové ostění tunelů metra a kolektorů; úkryty civilní obrany	potrubí ocelové

Obrázek 24: třídy odolnosti objektů, podle [11]

- tříd následků (tabulka A.1 ČSN EN 1991-1-7).

Dle tabulky A.1 ČSN EN 1991-1-7 jsou objekty rozděleny do čtyř tříd následků: CC1, CC2a, CC2b a CC3. Třída CC1 má význam malý, třídy CC2a a CC2b mají význam střední. Jako třída CC2a je označena skupina objektů s menším rizikem. Třídou CC2b je označena skupina objektů s větším rizikem. Třída CC3 má význam velký.

Tabulka A.1 – Kategorizace podle tříd následků

Třída následků CC	Příklady kategorizace podle typů pozemních staveb a jejich používání
1 malá	Samostatné obytné domy do 4 podlaží Zemědělské stavby Stavby s občasným výskytem osob za předpokladu, že každá část takové stavby je vzdálena od další obytné budovy nebo oblasti navštěvované lidmi alespoň o 1,5násobek výšky stavby
2a střední – skupina menšího rizika	Samostatné 5 podlažní obytné domy Hotely do 4 podlaží Budovy s byty, apartmány a další rezidenční budovy do 4 podlaží Administrativní budovy do 4 podlaží Průmyslové stavby do 3 podlaží Obchodní plochy do 3 podlaží, s plochou každého podlaží max. 1 000 m ² Školní zařízení o 1 podlaží Veškeré budovy nepřesahující 2 podlaží, kde je povolen vstup veřejnosti a plocha jednotlivých podlaží je nanejvýš 2 000 m ²
2b střední – skupina většího rizika	Hotely, budovy s byty, apartmány a další obytné budovy vyšší než 4 podlaží, avšak nanejvýš 15 podlaží Školská zařízení vyšší než 1 podlaží, avšak nanejvýš 15 podlaží Obchodní plochy vyšší než 3 podlaží, avšak nanejvýš 15 podlaží Nemocnice do 3 podlaží Administrativní budovy vyšší než 4 podlaží, avšak nanejvýš 15 podlaží. Všechny budovy s přístupem veřejnosti a s plochou podlaží větší než 2 000 m ² , avšak na každém podlaží nanejvýš 5 000 m ² Parkoviště nanejvýš 6 podlaží
3 velká	Všechny stavby, které přesahují omezení ploch jednotlivých podlaží a jejich počtu ve třídách následků 2a a 2b Všechny stavby, kde se shromažďuje značný počet osob Stadióny s více než 5 000 diváky Stavby s nebezpečnými látkami nebo technologickými procesy

POZNÁMKA 1 Pro budovy, které jsou plánovány pro víceúčelové využití, má být třída následků vztažena k nejdůležitější třídě.

Obrázek 25: kategorizace podle tříd následků, podle [12]

Podle normy se posouzení technické seizmicity s výjimkou odezvy od trhacích prací provádí pomocí tabulky 8 ČSN 73 0040. V tabulce se nacházejí hodnoty efektivní rychlosti kmitání. Pokud jsou na referenčním stanovišti naměřeny menší hodnoty než uvedené, není třeba je z hlediska mezního stavu únosnosti dále posuzovat. V tabulce jsou uvedeny mezní hodnoty pro třídy odolnosti objektu v závislosti na třídách následků.

Tabulka 8 – Mezní hodnoty efektivní rychlosti $v_{ef}^{(1)}$ v mm·s⁻¹

Třída odolnosti objektu	$v_{ef}^{(1)}$			
	kategorizaci staveb (podle ČSN EN 1991-1-7)			
	Třída CC3	Třída CC2b	Třída CC2a	Třída CC1
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	2,35	3,5
E	1,1	2,5	3,0	4,0
F	1,5	3,0	4,0	5,0

Obrázek 26: mezní hodnoty rychlosti v_{ef} v mm·s⁻¹, podle [11]

Pakliže by byly uvedené hodnoty překročeny, tak hodnotíme podle tabulky 10. Obdobně jako v předchozí tabulce jsou zde uvedeny hodnoty efektivní rychlosti kmitání.

Tabulka 10 – Kategorizace odezvy konstrukce podle efektivní rychlosti pohybu $v_{ef}^{(1)}$ v $mm \cdot s^{-1}$

Třída odolnosti objektu	$v_{ef}^{(1)}$									
	kategorizaci staveb (podle ČSN EN 1991-1-7) ¹⁾									
	Třída CC3		Třída CC2b		Třída CC2a		Třída CC1		Pro všechny třídy významu	
	není třeba dynamický výpočet	je třeba dynamický výpočet	není třeba dynamický výpočet	je třeba dynamický výpočet	není třeba dynamický výpočet	je třeba dynamický výpočet	není třeba dynamický výpočet	je třeba dynamický výpočet	Možnost poruch	5% objektů je poškozeno ²⁾
A	0,2	0,6	0,6	1,8	0,8	2,2	1,2	3,6	4,5	7,0
B	0,4	1,6	1,0	3,6	1,4	4,0	2,0	6,0	9,0	14,0
C	0,95	3,8	1,8	5,0	2,4	6,8	3,0	9,0	25,0	50,0
D	1,1	4,5	2,4	7,0	2,8	9,0	4,0	12,0	40,0	80,0
E	1,6	5,0	3,0	10,0	4,0	15,0	6,0	20,0	60,0	100,0
F	2,0	7,0	4,0	14,0	6,0	17,0	8,0	25,0	70,0	120,0

¹⁾ Mezihraní hodnot tříd významu se posuzují podle úvahy.
²⁾ Jde o poškození stupně 1, viz tabulka 13.

Obrázek 27: kategorizace odezvy podle efektivní rychlosti pohybu v_{ef} v $mm \cdot s^{-1}$, podle [11]

5.1.2 Trhací práce

Pro stanovení přípustných hodnot rychlosti kmitání je nutné zatřídit objekt podle odolnosti, stanovit přípustný stupeň poškození objektu a druh základové půdy.

Zatřídění podle odolnosti objektů pro posouzení odezvy způsobené trhacími pracemi se provádí stejně jako při vyhodnocení dynamické odezvy od technické seismicity dle tabulky 9 ČSN 73 0040 (viz. podkapitola 3.1.1). Dále se před určením maximální rychlosti kmitání stanovuje:

- **stupeň poškození objektů** (tabulka 13 ČSN 73 0040);

Pomocí tabulky 13 ČSN 73 0040 se dá určit jaká poškození lze očekávat ve chvílích, kdy dojde k překročení hodnot rychlostí kmitání. Jednotlivá poškození jsou rozdělena do šesti skupin podle závažnosti s tím, že stupněm poškození 0 jsou označené objekty, u kterých nedojde ke škodám a stupněm poškození 5 objekty, u kterých dojde k úplnému rozrušení či destrukci. Obvykle se návrhy

trhacích prací provádí tak, aby nedošlo k žádným škodám na okolních objektech, tj. pro stupeň poškození „0“.

Popis poškození	Stupně poškození
Bez poškození. Nevznikají žádná viditelná poškození. Funkce objektů, jako např. vodotěsnost nádrží apod., jsou plně zachovány.	0
První známky poškození. Trhliny šířky do 1 mm na styku stavebních prvků (např. styk stěny a stropu).	1
Mírnější porušení s malými škodami. Trhliny v omítce, příčkách, v kominovém zdivu, opadávání omítky, uvolnění krytiny.	2
Střední porušení s vážnými škodami. Stabilita není ohrožena. Trhliny širší než 5 mm v příčkách i nosných zdech. Opadávání krytiny a částí kominů.	3
Značné porušení s nebezpečnými škodami. Trhliny v nosných zdech a překladech ohrožující jejich statickou funkci. Zřícení příček, výplňového zdiva a kominů. 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

Obrázek 28: stupně poškození objektů, podle [11]

- **druh základové půdy** (odstavec 6.5.3 ČSN 73 0040): do kategorií a), b) a c).

Podle odstavce 6.5.3 ČSN 73 0040 je základová půda členěna do tří kategorií na základě hodnoty návrhové únosnosti základové půdy a zároveň na úrovni hladiny podzemní vody pod základovou spárou. Pozn.: v případě, že není známa úroveň hladiny podzemní vody pod základovou spárou, tak se bere nejnepříznivější stav.

<p>6.5.3 Druhy základové půdy</p> <p>6.5.3.1 Pro tuto normu je základová půda členěna do tří kategorií (kategorie a, b, c):</p> <p>Kategorie a) 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.</p> <p>Kategorie b) 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 $R_{dt} \leq 0,15$ MPa a jestliže je hladina podzemní vody trvale v rozsahu 1 m až 3 m pod základovou spárou.</p> <p>Kategorie c) 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.</p>

Obrázek 29: druhy základové půdy, podle [11]

V závislosti na třídě odolnosti objektu, stupni poškození objektu a druhu základové půdy se stanovuje maximální rychlost kmitání podle převládajícího

frekvenčního rozsahu dynamické odezvy, a to ve třech frekvenčních pásmech (oborech frekvence otřesu):

- pro hodnoty frekvencí pod 10 Hz,
- pro pásmo frekvencí 10 až 50 Hz,
- pro frekvence vyšší než 50 Hz.

Hodnoty rychlostí kmitání se obvykle interpolují podle frekvence odezvy. Pro obor frekvence vyšší než 50 Hz se bere jako horní mez frekvence 100 Hz (konzultováno se spoluautorem normy). Dále je nutné přihlížet k frekvenčnímu spektru dynamické odezvy.

Tabulka 14 – (informativní) – Závislost stupně poškození na maximální rychlosti kmitání $v_{\max}^{(1)}$, $u_{\max}^{(1)}$, $w_{\max}^{(1)}$ na druhu objektu a na základové půdě

$v_{\max}^{(1)}$, $u_{\max}^{(1)}$, $w_{\max}^{(1)}$ mm·s ⁻¹ pro obor frekvence otřesu			Stupeň poškození (tabulka 13)	Třída odolnosti objektu (tabulka 9)	Druh základové půdy (6.5.3)
$f < 10$ Hz	10 Hz $< f < 50$ Hz	$f > 50$ Hz			
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 ¹⁾	0	B	b, c
				C	a
			1	A	a
				C	b
8 až 15	15 až 30	20 až 40	0	B	c
				A	b, c
			1	B	a
				C	c
10 až 20	20 až 30	30 až 50	0	D	a
				B	b
			1	C	a
				A	a
			2	A	a
				D	b, c
15 až 25	25 až 40	40 až 70	0	E	a
				C	b
			1	B	c
				A	b, c
			2	B	a
				C	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
				D	b, c
			1	E	a
				C	b
			2	C	b

¹⁾ Hodnoty uvedené ve sloupci pro $f > 50$ Hz nelze použít pro potrubí uložená v zásypu.

Obrázek 30: závislost stupně poškození, podle [11]

5.1.3 Fyziologické účinky (vibrace v budovách)

Ke stavebnímu povolení se dokládá vyjádření státních orgánů s podmínkami pro provádění stavby. Hygienická stanice podle zákona č. 258/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů vydává stanovisko ke stavebnímu řízení a v rámci toho uvádí podmínky pro provádění stavební činnosti. U staveb, při kterých je plánováno rozpojovat horninu pomocí trhacích prací, tak může být jednou z podmínek sledování hladiny zrychlení vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb, měření ve vnitřním nebo vnějším chráněném prostoru staveb aj. Pozn.: obvyklý způsob, jak se to sleduje – provádí se měření při zahájení trhacích prací.

V zákonu č. 258/2000 Sb. jsou popsány obecné požadavky na to, co by se mělo sledovat. V nařízení vlády č. 272/2011 Sb. jsou pak uvedeny pro konkrétní případy konkrétní limitní hodnoty. V páté části nařízení vlády č. 272/2011 Sb. s názvem „Vibrace v chráněných vnitřních prostorech staveb a na pracovištích“ v §18 jsou uvedeny limitní hodnoty:

- [1] „Hygienický limit vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb vyjádřený průměrnou váženou
 - a) hladinou zrychlení vibrací $L_{aw,T}$ se rovná 75 dB, nebo
 - b) hodnotou zrychlení vibrací $a_{ew,T}$ se rovná $0,0056 \text{ m/s}^2$.
- [2] Hygienické limity vibrací uvedené v odstavci 1 v chráněných vnitřních prostorech staveb se vztahují na horizontální a vertikální vibrace v místě pobytu osob a k době trvání vibrací T.
- [3] Korekce hygienického limitu podle odstavce 1 jsou v závislosti na typu prostoru, denní době a povaze vibrací upraveny v příloze č. 5 k tomuto nařízení.“

Výpočet hladiny zrychlení L_a se provádí podle vzorce $L_a = 20 \log (a/a_0)$, kde $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$.

V tabulce v příloze č. 5 jsou uvedeny korekce k základním limitům dle druhu chráněného vnitřního prostoru, doby dne a povahy vibrací. Chráněné vnitřní prostory jsou tady rozděleny do pěti skupin: operační sály, obytné místnosti, nemocniční pokoje, přednáškové síně a ostatní. Obytnou místností dle

vyhlášky č. 268/2009 Sb. „Vyhláška o technických požadavcích na stavby“ se míní „část bytu, která splňuje požadavky předepsané touto vyhláškou, je určena k trvalému bydlení a má nejmenší podlahovou plochu 8 m². Kuchyň, která má plochu nejméně 12 m² a má zajištěno přímé denní osvětlení, přímé větrání a vytápění s možností regulace tepla, je obytnou místností. Pokud tvoří byt jedna obytná místnost, musí mít podlahovou plochu nejméně 16 m²; u místností se šikmými stropy se do plochy obytné místnosti nezapočítává plocha se světlou výškou menší než 1,2 m“.

Příloha č. 5 k nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Korekce na využití prostoru ve stavbách a chráněném vnitřním prostoru staveb, denní dobu a povahu vibrací

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba dne	Povaha vibrací			
		Přerušované a nepřerušované vibrace		Opakující se otřesy	
		Korekce			
		[dB]	[-]	[dB]	[-]
1. Operační sály	Denní doba	0	1	0	1
	Noční doba	0	1	0	1
2. Obytné místnosti	Denní doba	6	2	24	16
	Noční doba	3	1,41	3	1,41
3. Nemocniční pokoje	Denní doba	6	2	24	16
	Noční doba	3	1,41	3	1,41
4. Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání	Denní doba	6	2	24	16
	Noční doba	3	1,41	3	1,41
5. Ostatní chráněné vnitřní prostory staveb	Nepřetržitě	12	4	42	128

Maximálně jsou přípustné 3 výskyty otřesů za den.

Obrázek 31: hodnoty korekcí k základním limitním hodnotám, podle [8]

Důležitou poznámkou tady je, že pro jednotlivé počty dynamických otřesů za den platí různé limitní hodnoty, kdy platí určitý limit pro maximálně tři výskyty otřesů za den a pro vyšší počet jiný, a to s podstatným rozdílem, kdy rozdíl hodnot korekcí je $24 - 6 \text{ dB} = 18 \text{ dB}$, což představuje osminásobek ve velikosti amplitudy zrychlení.

Vyhodnocení pro fyziologické účinky se provádí v souladu s ČSN ISO 2631–1 a ČSN ISO 2631–2.

6 Výstavba bezbariérového přístupu ke stanici Jiřího z Poděbrad

Jedná se o rekonstrukci a stavební úpravu dokončené veřejné dopravní stavby. Stanice metra Jiřího z Poděbrad je v současné době bezbariérově nepřístupná. Navržená úprava zajistí bezbariérové zpřístupnění z úrovně nástupiště stanice na úroveň chodníku v ulici Vinohradská. Zpřístupnění je navrženo pomocí dvojice výtahů z uliční úrovně do zalomené podzemní přestupní chodby, umístěné výškově nad stanicí a další dvojice výtahů z této přestupní chodby na nástupiště, z nástupiště do přestupní chodby a dále na terén vede ještě únikové schodiště, které v úrovni terénu končí zdvihacím poklopem.

Poloha výtahů v podélném i příčném směru stanice vychází z konstrukční skladby nosné konstrukce stanice a je umístěna tak, aby minimalizovala nutné zásahy do dispozičního řešení technologických prostor pod nástupištěm. Z uvedených důvodů jsou výtahy na nástupišti umístěny v prostoru předpokládaného druhého výstupu ze stanice metra.

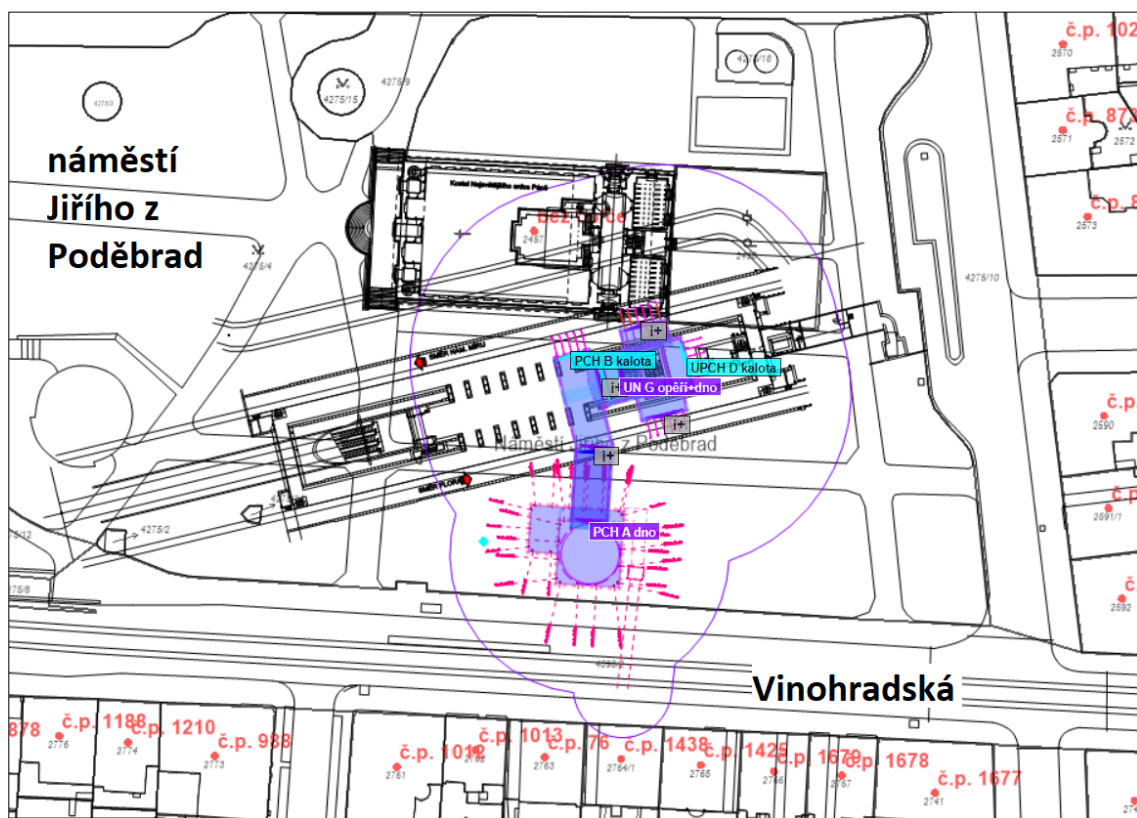
Přístup na toto únikové schodiště je z nástupiště za výtahy.



Obrázek 32: vizualizace bezbariérového přístupu ke stanici metra Jiřího z Poděbrad, podle [1]

6.1 Popis vlastní stavby z hlediska konstrukce a provedení

Zařízení staveniště pro stavbu je umístěno v parkové ploše jižní části náměstí Jiřího z Poděbrad. Realizační plocha záboru je 1680 m². Výstavba byla zahájena dne 1. 9. 2021. Dne 20. 1. 2022 byly zahájeny trhací práce. Dne 13. 2. 2023 bylo provedeno proražení do stanice metra Jiřího z Poděbrad, což spočívalo v rozřezání původní železobetonové stěny ve stanici. Ukončení stavebních prací a zprovoznění bezbariérového přístupu do stanice je naplánováno na jaro roku 2024.



Obrázek 33: situace stavby v portálu Sahure, archiv firmy INSET
(a s vyznačením hloubených a ražených úseků)

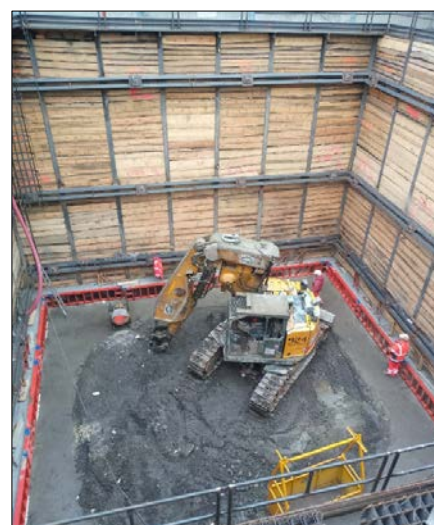
Dle článku od Metroprojektu [9] je popis stavby z hlediska konstrukce a provádění uveden:

Stavební jáma sloužila k hloubení šachty Š1, ražbě navazujících podzemních konstrukcí a zároveň k výstavbě definitivní konstrukce hloubené

části výstupního objektu. Jáma je dvoustupňová s první úrovní o rozměrech 15,6 x 18,9 m v hloubce cca 4,4 m pod terénem. Druhá úroveň jámy má tvar čtverce se stranou délky 12,9 m a její dno leží v hloubce cca 9,5 m pod terénem. Jáma je zajištěna záporovým pažením se třemi řadami ocelových převázek, které jsou kotveny dočasnými pramencovými kotvami. V úrovni dna jámy je navíc provedeno rozepření pažení pomocí železobetonového prahu.



Obrázek 34: stavební jáma – první stupeň dne 04.11.21, archiv firmy INSET



Obrázek 35: stavební jáma – druhý stupeň dne 13.12.21, archiv firmy INSET

Šachta Š1 byla hloubena ze dna stavební jámy do úrovně těsně pod přestupní chodbou. Je kruhová s průměrem 12,6 m a hloubkou 21,7 m. Primární ostění je ze stříkaného betonu SB C20/25 tloušťky 350 mm, vyztužené v každém záběru ocelovým příhradovým rámem a dvěma polohami výztužných ocelových sítí 8/150x150 mm. Zajištění je doplněno ocelovými samozávrtnými svorníky délky 4 a 6 m s cementovou injektáží. Délka záběru je podle technologických tříd 1,5 m, resp. 1,0 m. Pro zajištění přístropí rozrážky v úrovni přestupní chodby UPCH byl v předstihu realizován ochranný jehlový deštník délky 6 m.



Obrázek 36: šachta Š1 dne 13.12.21, archiv firmy INSET



Obrázek 37: šachta Š1 dne 02.05.21, archiv firmy INSET

Přestupní chodba UPCH slouží k propojení obou výtahových šachet Š1, Š2.2 a i paralelních únikových schodišť. Z důvodu prostorových nároků, směrového vedení a nutnosti provádění bočních rozrážek je tvořena pěti různými profily A, B, C, D a E. Všechny profily mají podkovovitý tvar se spodní klenbou, avšak jiné rozměry. Šířka teoretického výrubu dosahuje 7,5–9,7 m, výška 7,0–8,8 m. Celková délka všech profilů přestupních chodeb v UPCH dosahuje 72,5 m. Primární ostění je ze stříkaného betonu SB C20/25 tloušťky 300 mm, vyztužené v každém záběru ocelovým příhradovým rámem a dvěma polohami výztužných ocelových sítí 8/150x150 mm, případně 10/150x150 mm a přídatnou prutovou výztuží. Podle jednotlivých technologických tříd (TT) bylo zajištění doplněno ocelovými samozávrtnými svorníky délky 3 a 4 m s cementovou injektáží. Přístropí a předpolí čelby je zajištěno pomocí ocelových samozávrtných jehel délky 4 m osazovaných v každém druhém záběru. Čelbové svorníky byly navrženy také pro všechny čelní stěny v rastru 1,5x1,5 m.



Obrázek 38: přestupní chodba, vlastní archiv

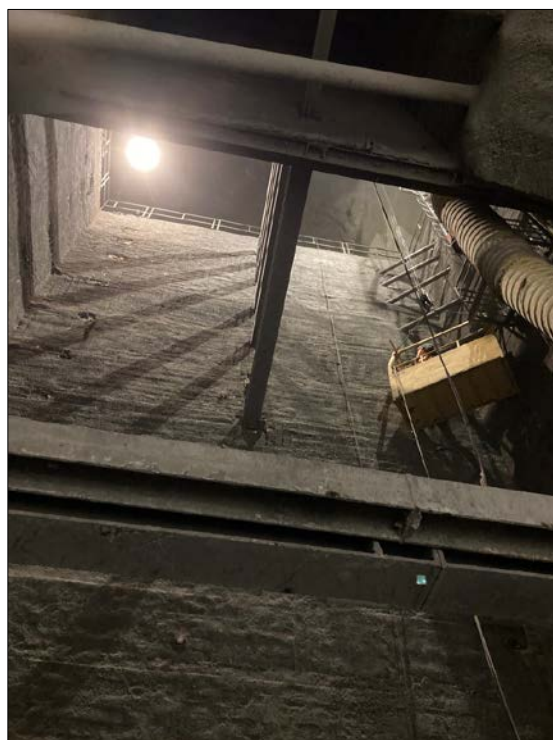


Obrázek 39: přestupní chodba, vlastní archiv

Dvojice navazujících obdélníkových šachet Š2.1 a Š2.2 spojuje úroveň přestupní chodby (UPCH) a úroveň nástupiště (UN). Větší schodišťová šachta Š2.1 má rozměry 10,2x5,5 m a celkovou hloubku 21,6 m. Menší výtahová šachta Š2.2 s rozměry 5,7x4,3 m je hluboká pouze 12,5 m, protože její spodní část tvoří průnik s klenbou přestupní chodby v UN. Ostění je opět ze stříkaného betonu SB C20/25 tloušťky 300 mm, vyztužené tentokrát v každém záběru rámem z válcovaných profilů HEB 200 a dvěma polohami výztužných ocelových sítí 8/150x150 mm. Větší šachta Š2.1 byla navíc uprostřed rozepřena v každém záběru rozpěrou HEB 200 a čtyřmi trubními rozpěrami v rozích šachty.



Obrázek 40: šachta Š2.2, vlastní archiv



Obrázek 41: šachta Š2.2, vlastní archiv

Poslední raženou částí spojující šachtu Š2.1 s čelem střední lodě nástupiště stanice je **přestupní chodba v UN** vedená rovnoběžně mezi z boků přiléhajícími staničními tunely. V převážné délce 6,9 m je navržena ražba pomocí NRTM s horizontálním členěním výrubu, tentokrát bez použití trhacích prací vzhledem k těsné blízkosti staničních tunelů. Zajištění je obdobné jako u přestupní chodby v UPCH. Avšak vzhledem k umístění profilu mezi staniční tunely a přísné limity pro jejich maximální dovolené deformace je navrženo tužší ostění s tloušťkou 400 mm, dvěma vrstvami výztužných ocelových sítí 8/150x150 mm a příložkami. Dále je doplněna dočasná protiklenba kaloty, která bude při dobírání dna nahrazena dočasnými ocelovými rozpěrami ve stejné úrovni. Kotvení a jehlování je samozřejmě možné pouze v prostoru mezi stávajícími tunely.



Obrázek 42: šachta Š2.1 – rozpěry v šachtě, (pohled zdola), vlastní archiv



Obrázek 43: prorážka do stanice, vlastní archiv

6.2 Geologické poměry

Geologické poměry stavby byly stanoveny Geotechnickým průzkumem, který byl proveden firmou PUDIS a.s. v roce 2017 (viz [10]).

6.2.1 Horniny skalního podloží

Skalní podloží zájmového území tvoří horniny severovýchodní části ordovické barrandienské synklinály. Celý ordovický komplex představuje pestrou škálu střídajících se pelitických až psamitických hornin. Všeobecně lze geologické poměry ordovického skalního podloží v zájmovém území charakterizovat jako složité, je to dáno tektonickými poměry, proměnlivou puklinovou zvodní, provrásněním hornin a možným narušením horninového masivu při výstavbě metra trasy II A.

6.2.2 Tektonická stavba skalního podloží

Mocnost tektonických poruch s výplní jílu se střípky břidlic se obvykle pohybuje od 0,5 až do 3,0 m, max. 7,0 m. V místech poruch se vyskytují břidlice značně rozpuhané až rozdrčené, střípkovitě rozpadavé, s výplní „tektonického jílu“. Pukliny jsou často otevřené s jílovitou nebo s křemenokalcitovou výplní až 2-10 mm mocnou. Převládající směr vrstevnatosti se předpokládá JZ-SV převážně se sklonem k JV (200 až 700), ale vzhledem k provrásnění i k SZ. Ostatní plochy diskontinuity, tj. tektonické poruchy (většinou kolmé na vrstevnatost). Novým vrtem NV1 byl ověřen relativně nižší stupeň tektonického porušení. Maximální mocnost tektonické brekcie 0,4 m charakteru jílu se střípky břidlic byla zastižena v hloubce 39,9 až 40,3 m pod terénem. Při ražbě štoly směrem od šachty se předpokládá nepříznivý směr sklonu vrstev do výrubu – možnost vyjíždění bloků horniny. Tektonické poruchy mohou být během ražeb zastiženy.

6.2.3 Zvětralinový plášť skalního podloží

Jednotlivé stupně zvětrání skalního podloží směrem do větší hloubky lze charakterizovat následujícími kvazihomogenními celky:

- **horizont zcela zvětralé (rozložené) břidlice W5** je reprezentován soudržnou zeminou charakteru jílu, se střední plasticitou s proměnlivým obsahem příměsí střípků a ostrohranných úlomků břidlic. Zatřídění dle ČSN P 73 1005 tř. F 6 a těžitelnost tř. I.
- **horizont silně až mírně zvětralé břidlice W4/W3** tvoří úlomkovitě rozpadavé břidlice. Svými mechanickými vlastnostmi se blíží ještě více k nesoudržným zeminám než horninám. Zatřídění podle ČSN P 73 1005: převažuje třída R5 až R4 a dle těžitelnosti tř. III až II.
- **horizont navětralé břidlice W2** lze přiřadit již podle mechanického chování ke skalním, resp. poloskalním horninám. Hornina je tvrdá, rozpojitelna poklepem kladívka. Zatřídění podle ČSN P 73 1005 ve třídě R4 a těžitelnost tř. III.

- **horizont zdravé, neztříděné, břidlice W1** – v neztříděném stavu jsou břidlice tlustě deskovité vrstevnaté, těžko rozpojitelné, dle ČSN P 73 1005 ve třídě R3-R2 a těžitelnost tř. III.

Při hloubení jámy a ražbě bezbariérového přístupu do stanice metra Jiřího z Poděbrad bude zastiženo souvrství letenské v monotónním vývoji, které patří k ordovickým horninám. Převládají zde písčito-prachovité břidlice s písčitymi závalky, místy s vrstvami pevných křemenných pískovců a křemenců.

6.2.4 Pokryvné útvary

Pokryvné útvary v zájmové lokalitě rozdělujeme na jednotlivé geotechnické typy podle geneze a geomechanických vlastností na recentní sedimenty a deluviální sedimenty.

RECENT – k recentním sedimentům řadíme v zájmovém území 2 základní typy zemin. Jedná se o navážky a půdní horizont.

PT – půdní horizont lze v rámci stavby očekávat prakticky v celém rozsahu hloubené šachty (mocnost 0,1 - 0,2 m). Geotechnickým složením se jedná převážně o hlíny písčité s organickou příměsí. Bude před výstavbou v souladu s platnou legislativou skryt a následně použit pro rekultivaci a úpravy okolí.

AN – Antropogenní sedimenty – navážky se vyskytují v nejsvrchnějším patře v celém rozsahu území o mocnosti 3 – 5 m a řadíme je k recentním sedimentům. Často se vyskytuje stavební suť, překopaný místní materiál a písčité hlíny. Dle ČSN P 73 1005 je řadíme vesměs do třídy I.

DE – Deluviální sedimenty – převážně se jedná o jíl štěrkovitý (při bázi) až jíl písčitý (svrchní část) s pevnou konzistencí a úlomky břidlic. Z hlediska inženýrskogeologického a geotechnického popisu (ČSN P 73 1005) lze jednotlivé litologicko-genetické typy charakterizovat následovně: tříd F4 a F2, dle ČSN EN ISO 14688-2 převážně saCl. Podle ČSN P 73 1005 pak do třídy I.

7 Trhací práce při výstavbě bezbariérového přístupu do stanice Jiřího z Poděbrad

Ke stavebnímu povolení a provádění trhacích prací se vydává řada vyjádření státními institucemi. Jedním z nejvýznamnějších je vyjádření (rozhodnutí) Baňského úřadu, kterým se povoluje provádění trhacích prací s požadavky na dodržení konkrétních podmínek. Druhým nejvýznamnějším je vyjádření Hygienické stanice, které může také uvádět řadu dalších podmínek. Další podmínky můžou být uvedeny i v jiných dokumentech.

Podle kritérií ČSN 73 0040 byly stanoveny podmínky po bezpečné provádění trhacích prací. Dále byl stanoven rozsah měření pro kontrolu dynamické odezvy a splnění předpokladů projektovaných hodnot trhacích prací. Zároveň byla stanovena opatření, která respektují ochranu práv a právem chráněných zájmů osob a organizací.

Trhací práce se prováděly v následujících úsecích:

- 10,5 m – 27,1 m v šachtě Š1,
- 7,6 m – 27,6 m v přestupní chodbě „A“ při rozpojování kaloty,
- 10,6 m – 21,1 m v přestupní chodbě „A“ při rozpojování opěří,
- 21,1 m – 18,1 m v přestupní chodbě „A“ při rozpojování dna,
- 3,6 m – 4,8 m v přestupní chodbě „C“ při rozpojování kaloty,
- 6,1 m – 22,6 m v přestupní chodbě „D“ při rozpojování kaloty,
- 2,7 m – 1,4 m v přestupní chodbě „E“ při rozpojování kaloty,
- 3,0 m – 11,0 m v šachtě Š2.1,
- 3,0 m – 11,0 m v šachtě Š2.2.

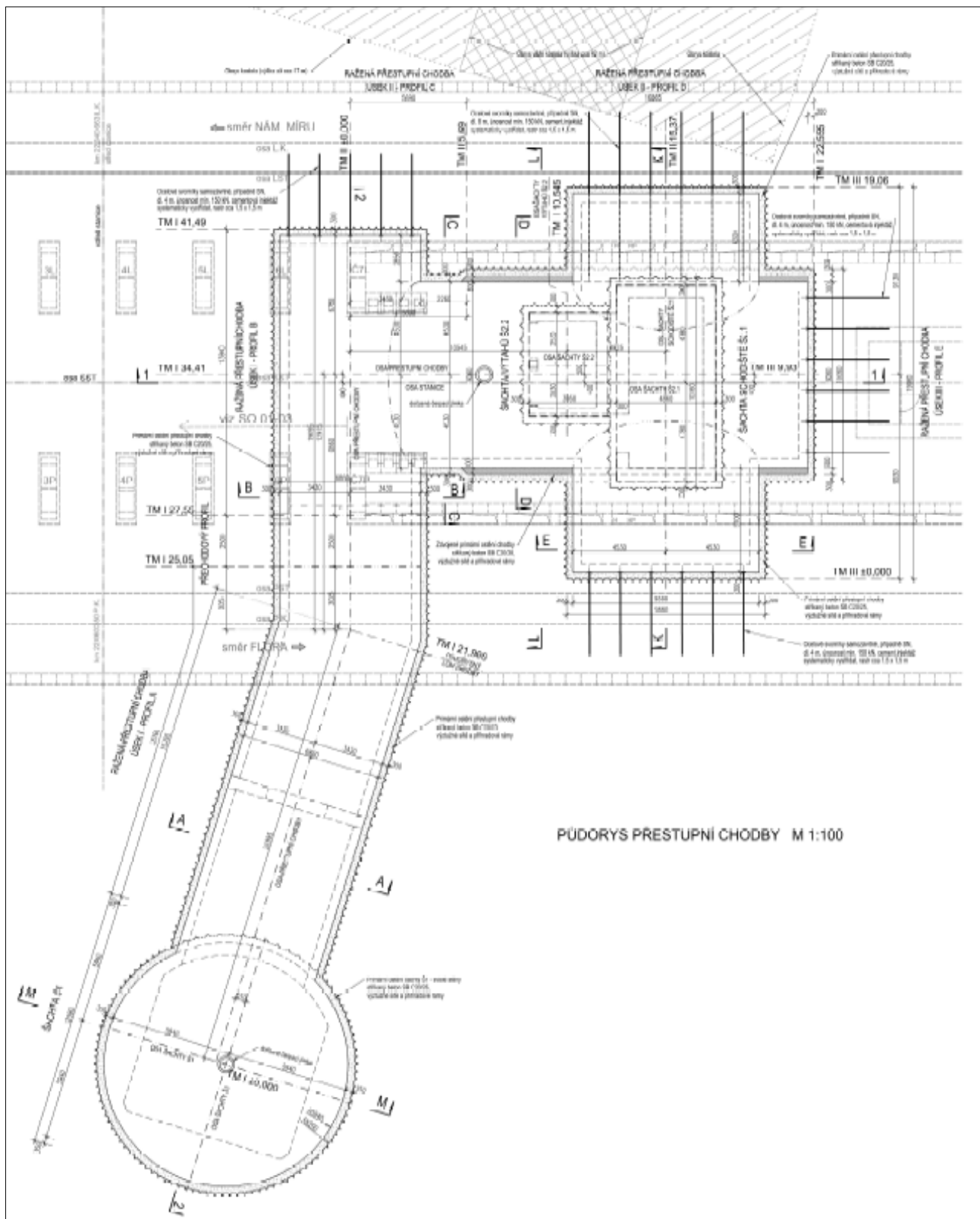
V krátkých úsecích ražby byly k rozpojení horniny použity plynové expandéry, a to především mezi staničními tunely metra.



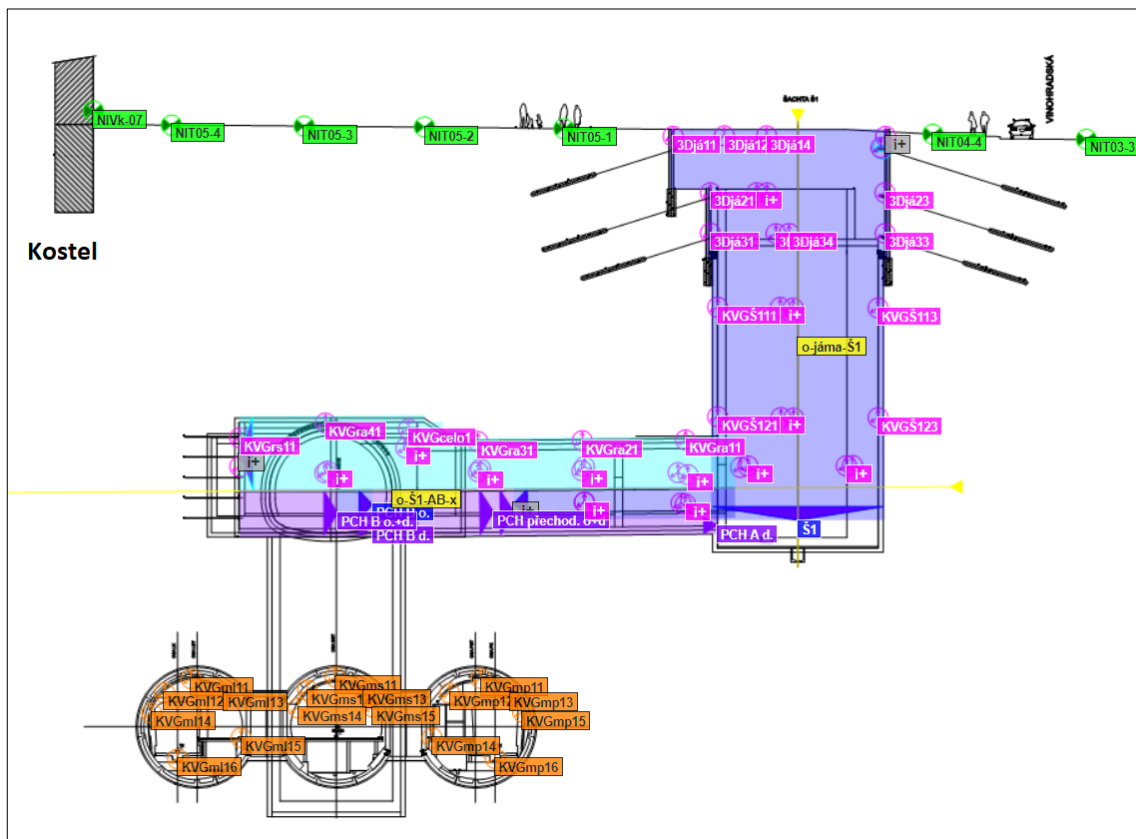
Obrázek 44: vrtání vrtacím kladivem PERMON, vlastní archiv



Obrázek 45: propojení roznětné sítě, vlastní archiv



Obrazek 46: půdorys přestupní chodby, archiv firmy METROPROJEKT



Obrázek 47: rez „2“ viz. obrázek 46 z informačního portálu SAHURE, archiv firmy INSET

8 Měření dynamických účinků

Při měření dynamické odezvy se provádí instalace snímačů a měřicích zařízení na zkoumané objekty s cílem získat přesná a kvantitativní data o jejich reakci na vnější vlivy.

Měření probíhá ve dvou variantách, a to jako **průběžný monitoring** seismického zatížení monitorovacími stanicemi a jako **kontrolní měření** (úřední měření nejsou prováděna). Průběžný monitoring se prováděl trvale po čas stavby na rozdíl od kontrolního měření, která probíhala jednotlivě na objektech např. při zahájení trhacích prací.

8.1 Monitorování dynamických účinků

Monitorování dynamických účinků se provádělo na třech místech. Konkrétně v kostele Nejsvětějšího srdce Páně (dáno návrhem geotechnického monitoringu), v metru stanice Jiřího z Poděbrad (dáno rozhodnutí o povolení trhacích prací báňským úřadem) a v objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská (na základě zkušeností zhotovitele geotechnického monitoringu se stížnostmi obyvatel doplněno v projektu geotechnického monitoringu).

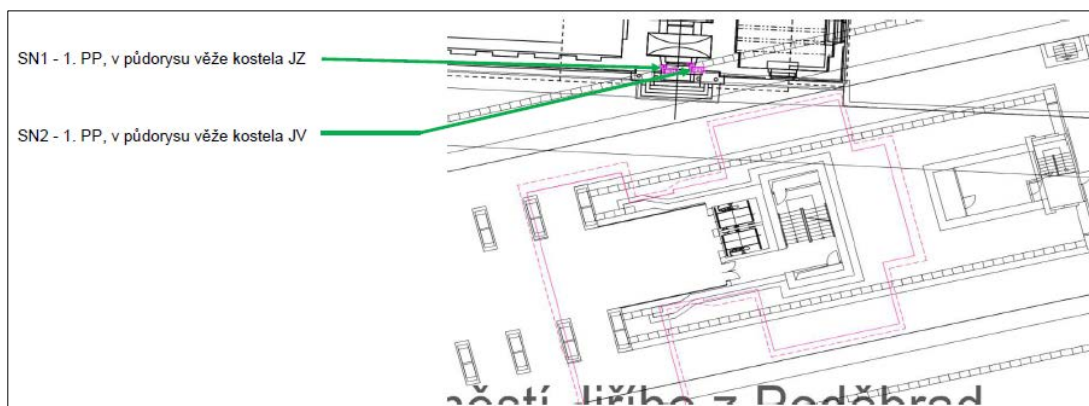
Pro zajištění kontinuálního monitoringu odezvy trhacích prací byly do uvedených objektů instalovány snímače připojené k monitorovací stanici. Na monitorovací stanici jsou v programu, který řídí provádění záznamů, nastaveny podmínky pro provedení záznamu – obvykle stanoveno překročením spouštěcí úrovně rychlosti kmitání na kanálech v kombinaci s váhami kanálu, na kterých má dojít k překročení spouštěcí úrovně a dalších parametrů. Monitorovací stanice se kromě snímačů sestávají z vybavení pro neprodlené odeslání maximální rychlosti kmitání ze záznamu formou SMS na zadaná telefonní čísla. V případě, že byly limitní hodnoty rychlostí kmitání stanoveny ve vztahu k frekvencím kmitání, tak je nutné naměřené záznamy přenášet do kanceláře monitoringu k jejich podrobnému vyhodnocení.

Monitorovací stanici do objektu je vhodné instalovat nejméně se dvěma snímači za účelem rozeznání dějů, které nesouvisí s prováděním trhacích prací. Dynamická odezva se zaznamenává a ukládá na monitorovací stanici, pokud jsou splněny určité podmínky pro vytvoření záznamu. Tyto podmínky zahrnují obvykle rychlost vibrací a různé váhy pro jednotlivé složky na snímačích. Tímto způsobem lze regulovat to, aby se nezaznamenávaly opakovaně záznamy odezvy, které nesouvisejí s předmětem měření, jako je pohyb v objektu (např. bouchání dveří) nebo průjezdy vozidel poblíž objektu.

Monitorování je vhodné provádět tak, aby byla vždy v provozu alespoň jedna monitorovací stanice z důvodu prokázání velikosti dynamických účinků ze všech prováděných odstřelů.

8.1.1 V kostele Nejsvětějšího srdce Páně

Pro zajištění kontinuálního monitoringu odezvy trhacích prací a technické seismicity byly do kostela Nejsvětějšího srdce Páně instalovány seismické snímače připojené k monitorovací stanici s automatickým ukládáním záznamu v případě splnění podmínek pro vytvoření záznamu.



Obrázek 48: půdorys umístění snímačů v kostele (archiv firmy INSET)

Snímače rychlosti kmitání jsou ukotveny k měřené konstrukci v 1. PP v jižní části půdorysu věže nejbližší prováděné stavbě bezbariérového zpřístupnění stanice metra – viz obr. 49 až 50.



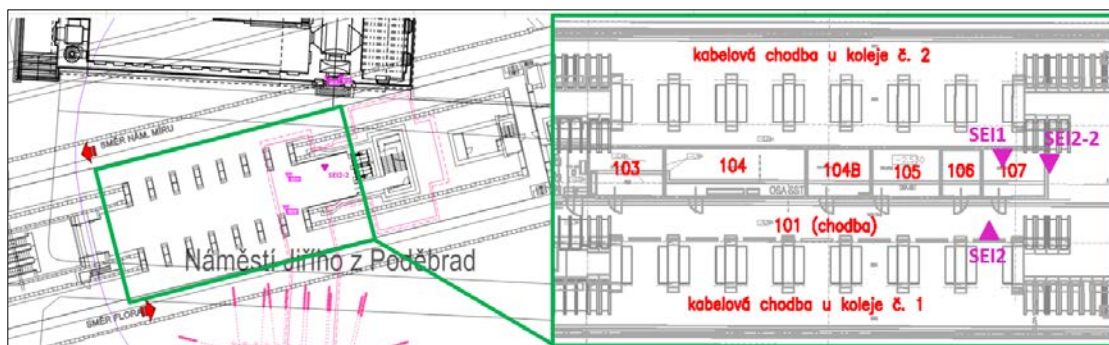
Obrázek 49: umístění monitorovací stanici a snímače č.2 v kostele (archiv firmy INSET)



Obrázek 50: umístění snímače č.2 v kostele (archiv firmy INSET)

8.1.2 V metru stanice Jiřího z Poděbrad

S ohledem na znění rozhodnutí Obvodního báňského úřadu (OBÚ) byla také monitorovací stanice umístěna do objektu metra. Seismické snímače jsou připojené k monitorovací stanici s automatickým ukládáním záznamu v případě splnění podmínek pro vytvoření záznamu. (viz obr. 52 až 53).



Obrázek 51: půdorys umístění snímačů v metru stanice Jiřího z Poděbrad (archiv firmy INSET)

Snímače rychlosti kmitání jsou ukotveny v jedné z provozních místností metra v úrovni pod nástupištěm a na ostění tunelové trouby vedoucí směrem na Floru.



Obrázek 52: umístění snímače č.1 v metru (archiv firmy INSET)



Obrázek 53: umístění snímače č.1 v metru (archiv firmy INSET)

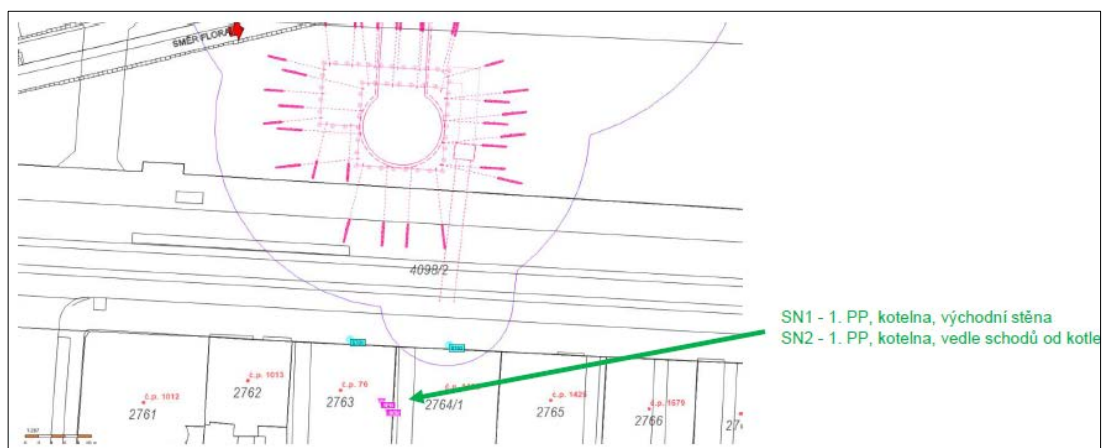
Snímače jsou zapojené do jedné monitorovací stanice, která se nachází v místnosti č. 107.



Obrázek 54: umístění monitorovací stanice, (archiv firmy INSET)

8.1.3 V objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská

Pro zajištění kontinuálního monitoringu odezvy trhacích prací a technické seismicity jsou do objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská instalovány seismické snímače připojené k monitorovací stanici s automatickým ukládáním záznamu v případě splnění podmínek pro vytvoření záznamu.



Obrázek 55: půdorys umístění snímačů v objektu č.p. 76/68 (archiv firmy INSET)

Po dohodě se správcem objektu byly snímače rychlosti kmitání přikotveny ke stěnám kotelny v 1. PP.



Obrázek 56: umístění snímače č.1 v objektu č. p. 76/68 (archiv firmy INSET)



Obrázek 57: umístění snímače č.2 v objektu č. p. 76/68 (archiv firmy INSET)

8.2 Kontrolní měření

Jedná se o jednorázové kontroly dynamické odezvy od provádění trhacích prací. Ověřují se stanovené limity i na konstrukcích, které nejsou monitorovány a dále se ověřují účinky z hlediska hygienických limitů (snímače jsou umísťovány v místech pobytu osob obvykle uprostřed obytných místností). Dle potřeby je použito na jedno měřicí stanoviště 2 a více snímačů (obvykle do 10 snímačů). Předpokládá se měření vždy při zahájení trhacích prací a dále dle potřeby a postupu stavební činnosti. Měření byla prováděna na inženýrských sítích (vodovodní šoupata), kamenných obkladech v metru a byla rozšířena místa monitorování na objektech o další místa.



Obrázek 58: kontrolní měření na obkladech v metru stanice Jiřího z Poděbrad (archiv firmy INSET)



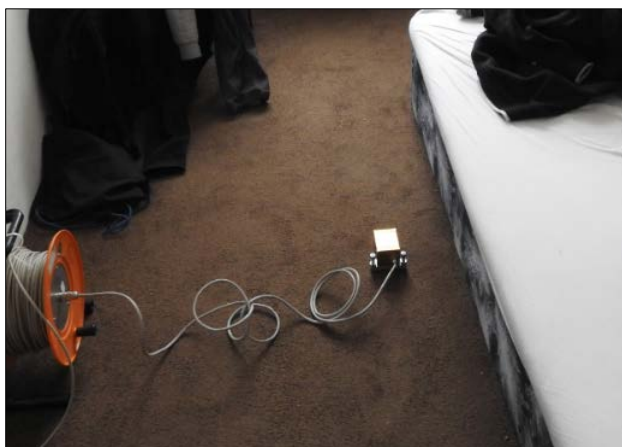
Obrázek 59: kontrolní měření na obkladech v metru stanice Jiřího z Poděbrad (archiv firmy INSET)

8.3 Fyziologické účinky (vibrace v budovách)

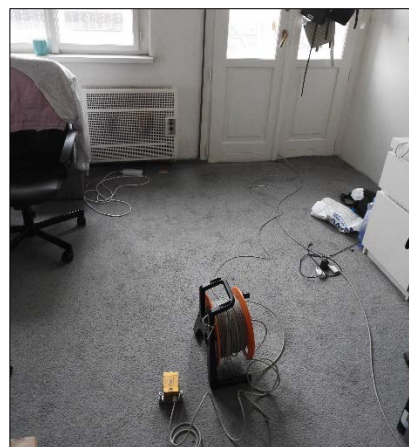
Tato měření jsou hodnocena podle hygienických limitů pro místa pobytu osob dle Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Měření proběhlo v průběhu prvního použití trhacích prací v objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská. Společně se zástupcem Hygienické stanice bylo dohodnuto, kde by mohlo být provedeno měření, což bylo dáno možností měření v nejbližším objektu od šachty Š1 a po dohodě se správcem tohoto objektu.

Na základě provedeného měření byl vydán samostatný výstup s výsledky měření, který by byl předložen Hygienické stanici pro doložení výsledků požadovaného měření dle jejich stanoviska.



Obrázek 60: měření pro fyziologické účinky, snímač č. 1 (archiv firmy INSET)



Obrázek 61: měření pro fyziologické účinky, snímač č. 1 (archiv firmy INSET)

Při měření pro hodnocení fyziologických účinků (vibrace v budovách) se snímače můžou pokládat na jakýkoliv povrch obytných místností, např. na beton, linoleum, parkety, koberce, plovoucí podlahy a podobně.

9 Vyhodnocení dynamické odezvy

Při vyhodnocení dynamické odezvy se analyzují naměřená data a provádí se komplexní hodnocení zájmových objektů v souvislosti s působením dynamických sil a vln způsobených technickou seismicitou a trhacími pracemi. Tato analýza zahrnuje vyhodnocování parametrů odezvy, jako je amplituda, frekvence, doba trvání, fáze a další charakteristiky, s cílem zhodnotit dopady těchto jevů na konstrukce.

Získané hodnoty z měření jsou klíčové pro posouzení bezpečnosti a stability, což přispívá k lepšímu návrhu, optimalizaci a monitorování těchto objektů.

9.1 Programy pro vyhodnocení

Existuje řada softvérového vybavení pro vyhodnocení dynamických účinků. V rámci své diplomové práce jsem používala programy, které jsou vlastními produkty firmy INSET.

- **WOscilo** – program slouží k nastavení parametrů měření jak pro kontrolní měření, tak i pro monitoring. Dále se používá pro zobrazení záznamů. U zobrazení průběhu prostorových rychlostí kmitání jsou uvedeny maximální prostorové rychlosti kmitání. Hodnoty, které byly získány programem MioMax pro efektivní prostorové rychlosti kmitání pro různě dlouhé časové okno lze zobrazit i ve WOscilu.
- **MioFilt** – program slouží k provádění hromadných filtrací záznamů. Zaměřujeme se především na frekvence v rozmezí 1 až 100 Hz, které jsou pro stavební konstrukce nejzajímavější (v pásmu frekvencí do 10 Hz jsou u většiny stavebních konstrukcí vlastní frekvence).
- **MioOffs** – program slouží k hromadnému odstranění offsetu (statické složky), které vznikají například při použití nestandardně dlouhých prodlužovacích kabelů nebo různě dlouhých kabelů. Jeho účelem je odstranit tuto statickou složku ze všech záznamů.

- **MioMax** – program je určen především k vyhodnocování efektivní prostorové rychlosti kmitání $v_{ef,p}$ pro zadanou délku časového okna. Jeho výhodou je zjištění výsledků během krátkého času.

9.2 Technická seismicita

Před samotným vyhodnocením je nutné provést následující kroky:

- Nejprve se provádí kontrola záznamu:
 - přebuzení – mělo by být zkontrolováno už v terénu (ořezaná maxima/minima);
 - rušení užitečného signálu (chůze někoho kolem snímačů, průjezdy aut, které nebyly předmětem měření aj.) – vyloučení snímače/záznamu z dalšího vyhodnocení nebo použití pouze části záznamu;
- následně je zapotřebí odstranit ofsety (statické složky) – vznikají např. při nestejně dlouhých propojovacích kabelech od snímačů.

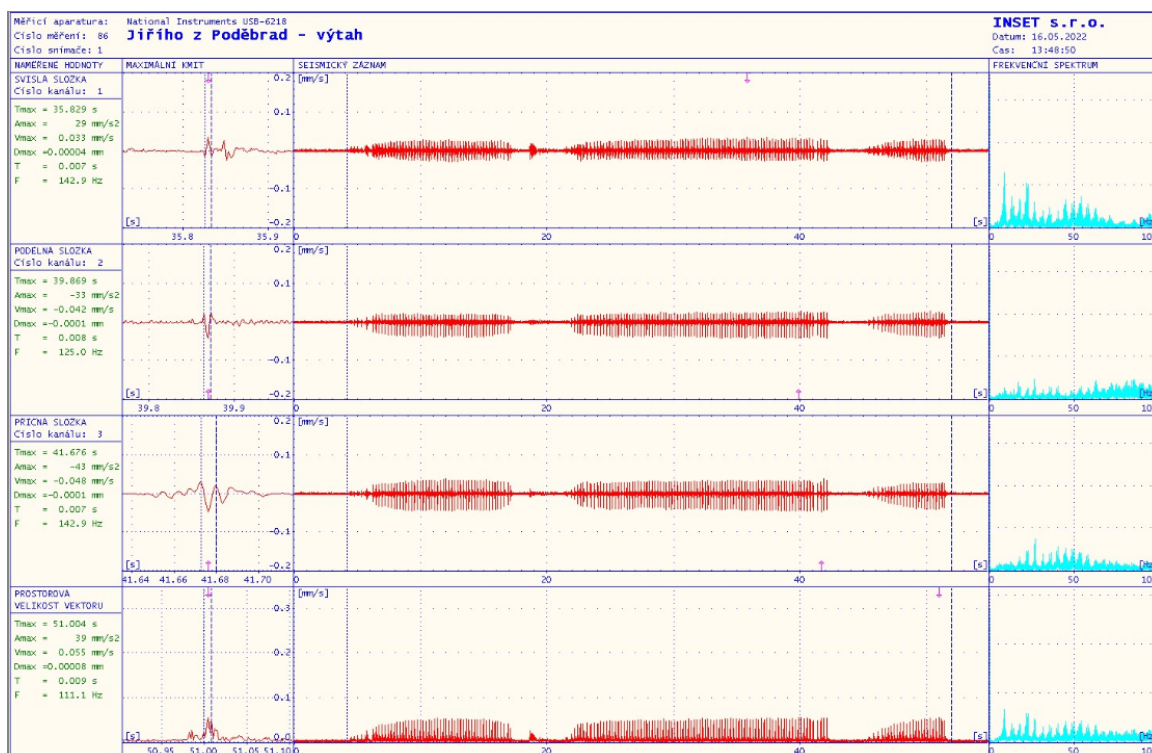
9.2.1 V kostele Nejsvětějšího srdce Páně

Limitní hodnoty prostorové efektivní rychlostí kmitání pro technickou seismicitu byly stanoveny znaleckým posudkem zpracovaným pro objekt kostel Nejsvětějšího srdce Páně soudním znalcem, který vycházel z výstupů pasportizace a dalších podkladů.

Tabulka 1: limitní hodnota prostorové efektivní rychlostí kmitání pro technickou seismicitu

Hodnota rychlosti kmitání doporučená
$v_{ef,p} = 0,275 \text{ mm/s}$

Pro vyhodnocování dynamické odezvy jsem vybrala data z průběžného měření (monitorování) číslo 86, které proběhlo 16.05.2022 v 13:48:45. Na obrázku č. 62 je zobrazen vibrogram kanálů a prostorové velikosti vektoru prvního snímače.



Obrázek 62: vibrogram z měření dynamické odezvy na monitorovací stanici v kostele Nejsvětějšího srdce Páně, snímač č.1 (vlastní zpracování programem firmy INSET)

Na daném záznamu jsem provedla odstranění offsetu programem MioOffs od firmy INSET. Vyhodnocení hodnot rychlosti kmitání $v_{ef,p}$ programem MioMax od firmy INSET jsem provedla pro velikost časového okna 200 ms. Výsledné hodnoty jsem zpracovala do tabulky.

Tabulka 2: výsledky vyhodnocení dynamické odezvy na monitorovací stanici v kostele Nejsvětějšího srdce Páně

Snímač / Kanál	Hodnota rychlosti kmitání v_{ef}	Limit v_{max} / v_{ef}	Dosaženo jednotlivé složky	Dosaženo za záznam	Zhodnocení
[-]	[mm/s]	[mm/s]	[%]	[%]	[-]
1	0,014	0,275	5,1	5,1	VYHOVUJE
2	0,012	0,275	4,4		

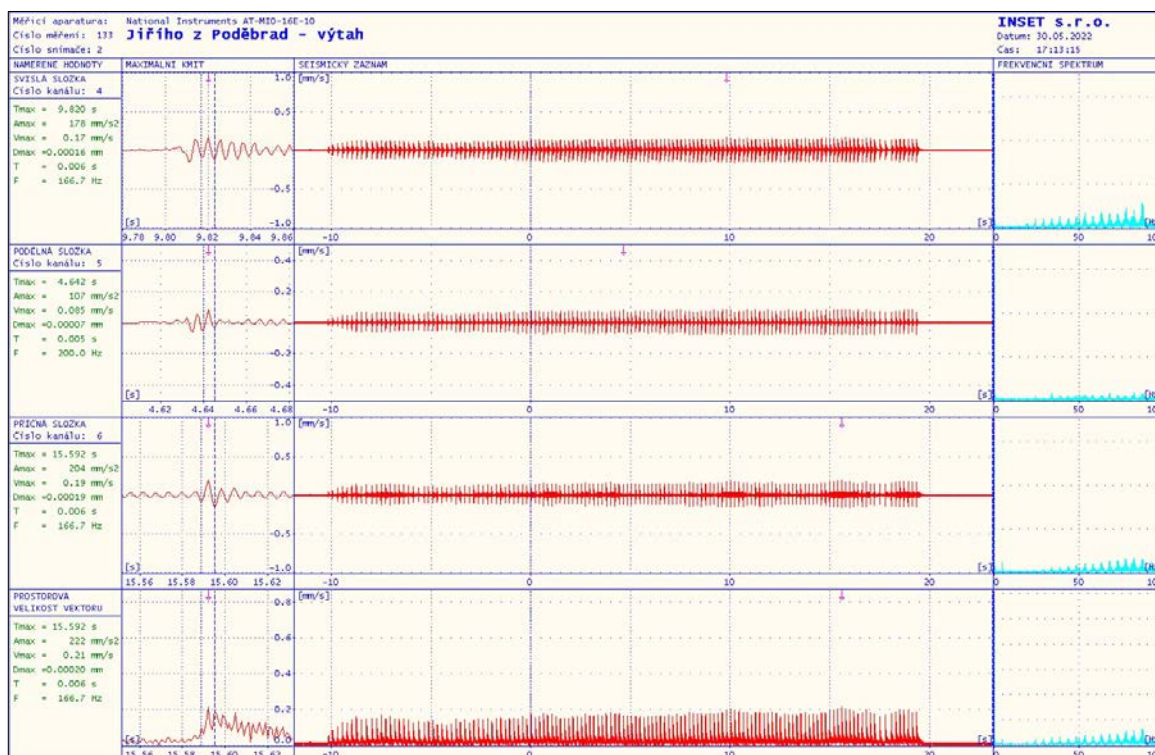
9.2.2 V metru stanice Jiřího z Poděbrad

Limitní hodnoty prostorové efektivní rychlostí kmitání pro technickou seismicitu byly stanoveny znaleckým posudkem zpracovaným pro objekt metra.

Tabulka 3: limitní hodnota prostorové efektivní rychlostí kmitání pro technickou seismicitu

Hodnota rychlosti kmitání doporučená
$v_{ef,p} = 2,625 \text{ mm/s}$

Pro vyhodnocování dynamické odezvy jsem vybrala data z průběžného měření číslo 133, které proběhlo 30.5.2022 v 17:13:15. Na obrázku č. 63 je zobrazen vibrogram kanálů a prostorové velikosti vektoru prvního snímače.



Obrázek 63: vibrogram z měření dynamické odezvy na monitorovací stanici v metru stanice Jiřího z Poděbrad, snímač č.1 (vlastní zpracování programem firmy INSET)

Na daném záznamu jsem provedla odstranění offsetu v programu MioOffs od firmy INSET. Vyhodnocení hodnot rychlosti kmitání $v_{ef,p}$ v programu MioMax od firmy INSET pro velikost časového okna 200 ms. Výsledné hodnoty jsem zpracovala do tabulky.

Tabulka 4: výsledky vyhodnocení dynamické odezvy na monitorovací stanici v metru stanice Jiřího z Poděbrad

Snímač / Kanál	Hodnota rychlosti kmitání v_{ef}	Limit v_{max} / v_{ef}	Dosaženo jednotlivé složky	Dosaženo za záznam	Zhodnocení
[-]	[mm/s]	[mm/s]	[%]	[%]	[-]
1	0,023	2,6	0,9	2,2	VYHOVUJE
2	0,059	2,6	2,2		

9.2.3 V objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská

Limitní hodnoty prostorové efektivní rychlostí kmitání pro technickou seismicitu byly stanoveny znaleckým posudkem zpracovaným pro objekt č. p. 76/68 v ulici Vinohradská.

Tabulka 5: limitní hodnota prostorové efektivní rychlostí kmitání pro technickou seismicitu

Hodnota rychlosti kmitání doporučená
$v_{ef,p} = 0,375 \text{ mm/s}$

S ohledem na vzdálenost zdroje vibrací a měřeného objektu nebyl proveden žádný záznam, protože účinky technické seismicity jsou prakticky nulové a nepřekračovaly spouštěcí úroveň pro provedení záznamu. Dynamické účinky provozu vlakových souprav tramvají, které jezdí před objektem, jsou v tomto případě dokonce větší.

9.3 Trhací práce

V případě realizace trhacích prací při hloubení/ražbách jsou prováděna měření dynamických účinků. Tato měření jsou hodnocena z hlediska nenarušení stavebních objektů a jiných zařízení podle ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva“.

Dynamická měření se provádí s cílem ověřit předpoklady Návrhu trhacích prací (NTP), v kterém jsou stanoveny velikosti náloží a zároveň mají za účel minimalizovat účinky trhacích prací tak, aby nebyly překročeny mezní hodnoty zatížení stanovené v NTP nebo v posudcích k jednotlivým objektům,

kteřé navíc zhodnocují konkrétní stav konstrukcí, případně ověřit, že nejsou překračovány limitní hodnoty, které vycházejí i z jiných podkladů.

Základní práce se záznamy a jejich kontrola jsou totožné s vyhodnocováním technické seismicity. Rozdíly jsou až v rámci vyhodnocení dynamických účinků na objekty.

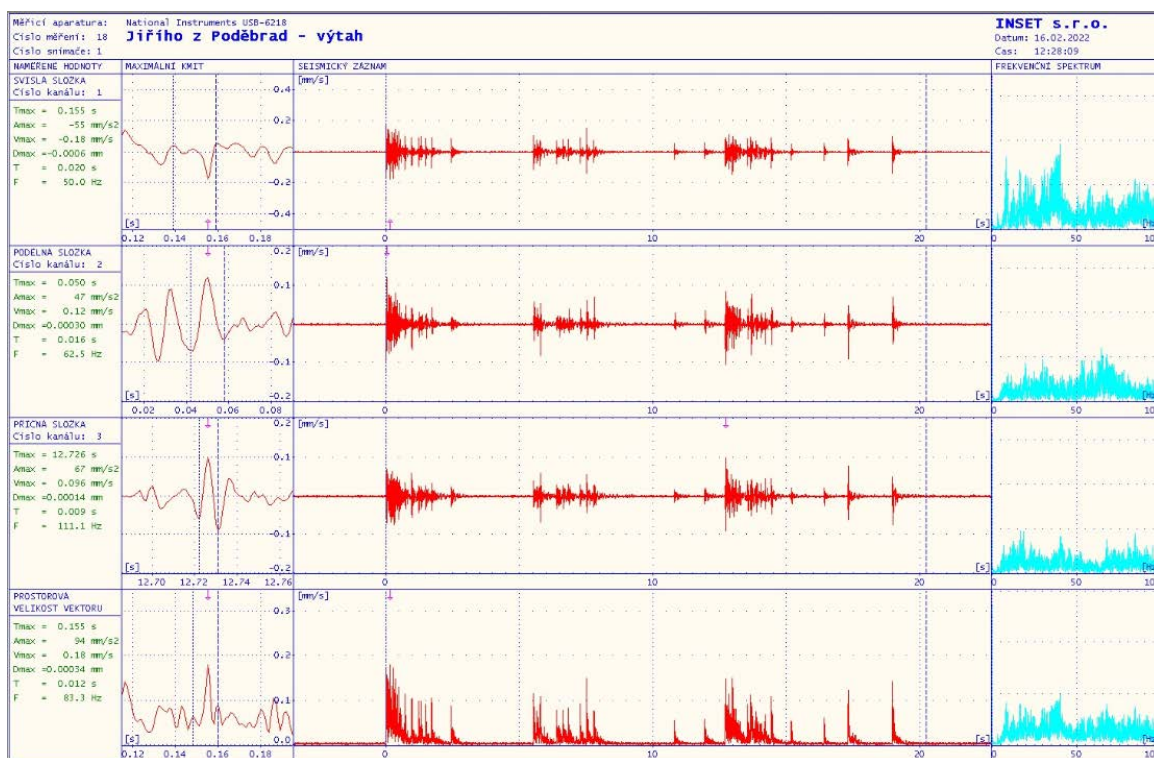
9.3.1 V kostele Nejsvětějšího srdce Páně

Limitní hodnoty maximálních rychlostí kmitání pro účinky trhacích prací byly stanoveny znaleckým posudkem zpracovaným pro objekt kostel Nejsvětějšího srdce Páně.

Tabulka 6: limitní hodnoty max. amplitud rychlostí kmitání v závislosti na frekvenci maximálního kmitu pro ODPALY

Frekvenční rozsah	Hodnota rychlosti kmitání v_{max}
< 10 Hz	0,75 - 1,5 mm/s
10 až 50 Hz	1,5 - 3,0 mm/s
> 50 Hz	3,0 - 5,0 mm/s

Pro vyhodnocování dynamické odezvy jsem vybrala data z průběžného měření číslo 18, které proběhlo 16.02.2022 v 12:27:53. Na obrázku č. 64 je zobrazen vibrogram kanálů a prostorové velikosti vektoru prvního snímače.



Obrázek 64: vibrogram z měření dynamické odezvy na monitorovací stanici v kostele Nejsvětějšího srdce Páně, snímač č.1 (vlastní zpracování programem firmy INSET)

Na daném záznamu jsem prováděla odstranění offsetu v programu MioOffs od firmy INSET. Dále jsem nastavovala hranice výřezu pouze relevantní části obsahující užitečný signál. Z toho je patrné, kdy a jaká odezva se vyskytuje. Dále jsem nastavila nulu na začátek dynamické odezvy a upravila jsem kurzory pro správné nastavení délky periody a dalších parametrů. Vyhodnocení hodnot rychlosti kmitání v_{max} a frekvencí maximálních složek rychlostí kmitání jsem prováděla v programu WOscilo od firmy INSET. Výsledné hodnoty jsem zpracovala do tabulky.

Tabulka 7: výsledky vyhodnocení dynamické odezvy na monitorovací stanici v kostele Nejsvětějšího srdce Páně

Snímač / Kanál	Hodnota rychlosti kmitání V_{max}	Frekvence max. složky rychlosti kmitání	Limit V_{max} / V_{ef}	Dosaženo jednotlivé složky	Dosaženo za záznam	Zhodnocení
[-]	[mm/s]	[Hz]	[mm/s]	[%]	[%]	[-]
1 / 1	0,18	52,6	3,1	5,8	5,8	VYHOVUJE
1 / 2	0,12	66,7	3,7	3,3		
1 / 3	0,10	111,1	5,0	1,9		

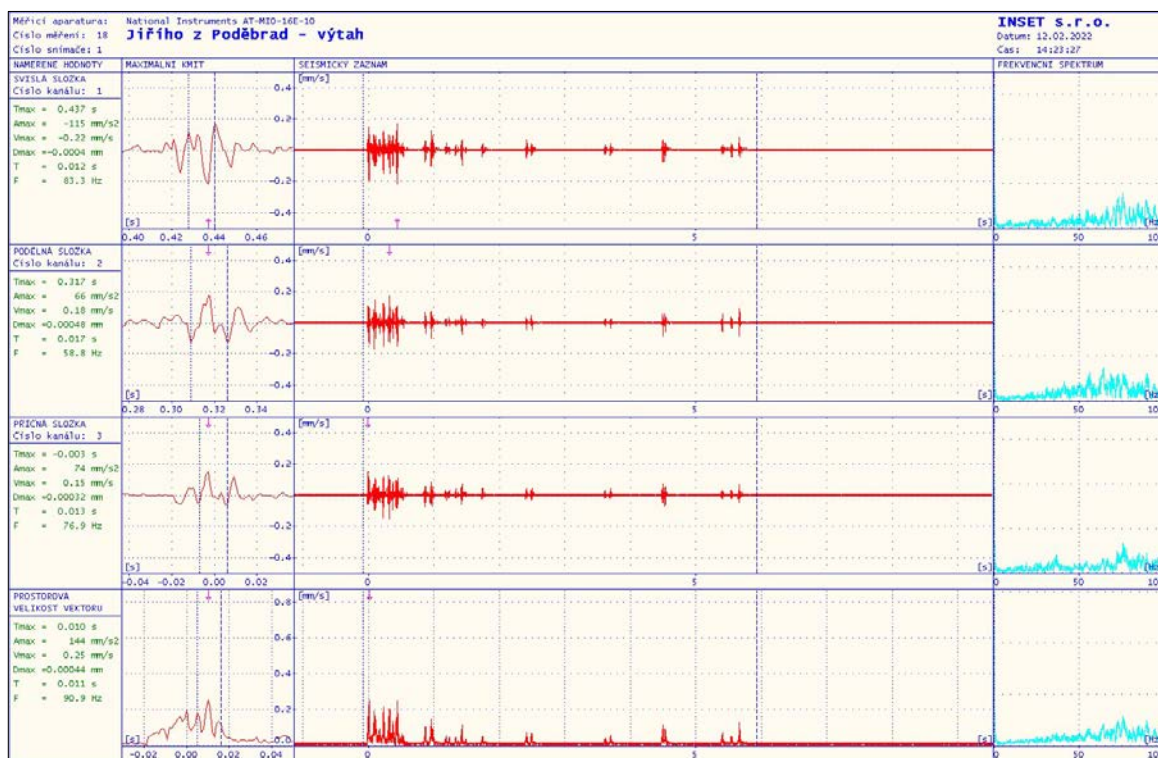
9.3.2 V metru stanice Jiřího z Poděbrad

Limitní hodnoty maximálních rychlostí kmitání pro účinky trhacích prací byly stanoveny znaleckými posudky zpracovanými pro objekt metro.

Tabulka 8: limitní hodnoty max. amplitud rychlostí kmitání v závislosti na frekvenci maximálního kmítu pro ODPALY

Frekvenční rozsah	Hodnota rychlosti kmitání V_{max}
< 10 Hz	4,5 - 7,5 mm/s
10 až 50 Hz	7,5 - 15,0 mm/s
> 50 Hz	11,25 - 22,5 mm/s

Pro vyhodnocování dynamické odezvy jsem vybrala data z průběžného měření číslo 18, které proběhlo 12.02.2022 v 14:23:09. Na obrázku č. 65 je zobrazen vibrogram kanálů a prostorové velikosti vektoru prvního snímače.



Obrázek 65: vibrogram z měření dynamické odezvy na monitorovací stanici v metru stanice Jiřího z Poděbrad, snímač č.1 (vlastní zpracování programem firmy INSET)

Na daném záznamu jsem provedla odstranění offsetu v programu MioOffs od firmy INSET. Dále jsem nastavovala hranice výřezu pouze relevantní části obsahující užitečný signál. Z toho je patrné, kdy a jaká odezva se vyskytuje. Dále jsem nastavila nulu na začátek dynamické odezvy a upravila jsem kurzory pro správné nastavení délky periody a dalších parametrů. Vyhodnocení hodnot rychlostí kmitání v_{\max} a frekvencí maximálních složek rychlostí kmitání jsem prováděla v programu WOscilo od firmy INSET. Výsledné hodnoty jsem zpracovala do tabulky.

Tabulka 9: výsledky vyhodnocení dynamické odezvy na monitorovací stanici v metru stanice Jiřího z Poděbrad

Snímač / Kanál	Hodnota rychlosti kmitání v_{max}	Frekvence max. složky rychlosti kmitání	Limit v_{max} / v_{ef}	Dosaženo jednotlivé složky	Dosaženo za záznam	Zhodnocení
[-]	[mm/s]	[Hz]	[mm/s]	[%]	[%]	[-]
1 / 1	0,22	83,3	18,7	1,2	1,4	VYHOVUJE
1 / 2	0,18	58,8	13,2	1,4		
1 / 3	0,15	76,9	17,3	0,9		

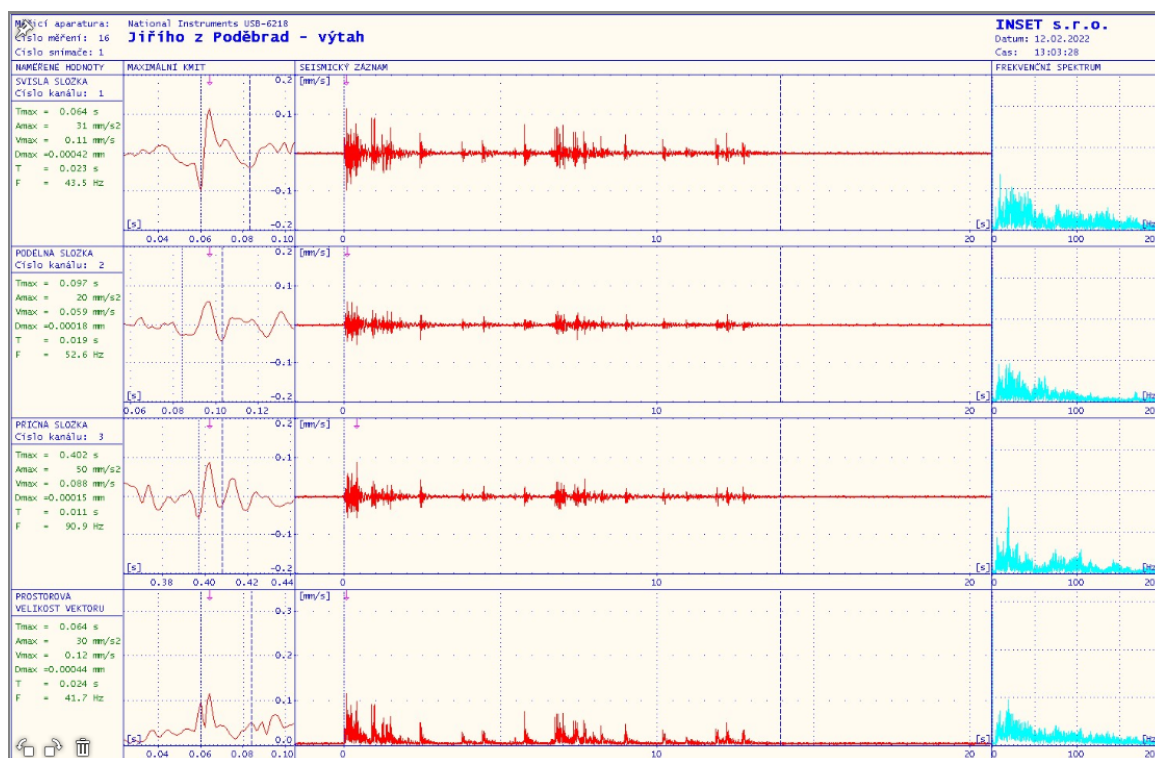
9.3.3 V objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská

Limitní hodnoty maximálních rychlostí kmitání pro účinky trhacích prací byly stanoveny znaleckými posudky zpracovanými pro objekt č. p. 76/68 v ulici Vinohradská.

Tabulka 10: limitní hodnoty max. amplitud rychlostí kmitání v závislosti na frekvenci maximálního kmitu pro ODPALY

Frekvenční rozsah	Hodnota rychlosti kmitání v_{max}
< 10 Hz	2,0 - 3,75 mm/s
10 až 50 Hz	3,75 - 7,5 mm/s
> 50 Hz	5,0 - 10,0 mm/s

Pro vyhodnocování dynamické odezvy jsem vybrala data z průběžného měření číslo 16, které proběhlo 16.02.2022 v 12:27:59. Na obrázku č. 66 je zobrazen vibrogram kanálů a prostorové velikosti vektoru prvního snímače.



Obrázek 66: vibrogram z měření dynamické odezvy na monitorovací stanici v objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská, snímač č.1 (vlastní zpracování programem firmy INSET)

Na daném záznamu jsem provedla odstranění offsetu v programu MioOffs od firmy INSET. Dále jsem nastavovala hranice výřezu pouze relevantní části obsahující užitečný signál. Z toho je patrné, kdy a jaká odezva se vyskytuje. Dále jsem nastavila nulu na začátek dynamické odezvy a upravila jsem kurzory pro správné nastavení délky periody a dalších parametrů. Vyhodnocení hodnot rychlosti kmitání v_{max} a frekvencí maximálních složek rychlostí kmitání jsem prováděla v programu WOscilo od firmy INSET. Výsledné hodnoty jsem zpracovala do tabulky.

Tabulka 11: výsledky vyhodnocení dynamické odezvy na monitorovací stanici v objektu č. p. 76/68 v ulici Vinohradská

Snímač / Kanál	Hodnota rychlosti kmitání V_{max}	Frekvence max. složky rychlosti kmitání	Limit V_{max} / V_{ef}	Dosaženo jednotlivé složky	Dosaženo za záznam	Zhodnocení
[-]	[mm/s]	[Hz]	[mm/s]	[%]	[%]	[-]
1 / 1	0,61	90,9	9,1	6,7	12,6	VYHOVUJE
1 / 2	0,40	38,5	6,4	6,2		
1 / 3	0,79	62,5	6,3	12,6		

9.4 Fyziologické účinky (vibrace v budovách)

Z pořízených záznamů se vybírá pouze časový úsek s dynamickou odezvou od konkrétního posuzovaného děje. Z tohoto výřezu se potom provádí třetinooktávová analýza (ve firmě INSET se používá programem Oktáva) v pásmu 1 až 80 Hz. Tyto hodnoty jsou následně váženy váhovou funkcí (viz ČSN ISO 2631-2). Z rozložení váhových činitelů je zřejmé, že nejdůležitějšími kmitočty jsou ty s nízkými hodnotami – kvůli vnímání lidského těla (mozku a upnutí orgánu v dutině břišní).

Výsledná průměrná vážená hladina zrychlení vibrací $L_{aw,T}$ je potom dána součtem účinků za jednotlivá třetinooktávová pásma.

10 Další měření přímo související s měřením dynamických účinků

Obvykle je měření dynamických účinků doprovázeno ještě dalšími druhy měření. Můžou jimi být měření hluku, které je prováděno současně s měřením dynamické odezvy; měření bludných proudů, které samotným trhacím pracím, při kterých je použit elektrický roznět trhavin, předchází případně v době přiblížení k potenciálnímu zdroji bludných proudů je zopakován; měření prašnosti aj.

10.1 Měření hluku

Vibrace jsou jakožto negativní zdroj vnímány obvykle společně s hlukem. Hluk se může šířit vzduchem nebo se ve formě vibrací šíří podloží (v Nařízení vlády č. 272/2011 nazýváno jako „hluk šířící se podložím“), které se následně v objektech projevuje jako hluk v důsledku přenosu vibrací konstrukcí. Měření hluku se obvykle u trhacích prací provádí při prvním odstřelu, a to ve venkovním nebo ve vnitřním chráněném prostoru staveb. Hluk od trhacích prací se venkovním chráněném prostoru hodnotí jako vysokoenergetický impulsní hluk.

V případě technické seismicity se pak měří a vyhodnocuje hluk ze stavební činnosti.

10.2 Měření bludných proudů

Jeden typ měření bludných proudů se zabývá měřením velikosti bludných proudů a zdánlivého měrného odporu jako součástí posouzení lokální korozní agresivity zemního prostředí – tato měření nejsou prováděna v souvislosti s prováděním trhacích prací.

Měření bludných proudů je prováděno pro zajištění bezpečnosti práce při používání elektrického roznětu trhavin a je předepsáno Vyhláškou ČBÚ „O výbušninách“ č. 72/1988 Sb. §60. Měření velikosti bludných proudů slouží jako podklad pro zvolení elektrické odolnosti rozbušek před započítáním trhacích prací a jako kontrola bezpečnosti práce během jejich provádění.

Bludné proudy můžeme rozdělit podle způsobu jejich vzniku do dvou kategorií. Do první zařazujeme přirozené zemní proudy, které vznikají v horninách geofyzikálními pochody. Jejich velikost je většinou tak malá, že nemohou elektrický roznět ovlivnit. Vážným nebezpečím jsou však proudy z druhé kategorie, které jsou způsobeny lidskou činností. Patří sem proudy způsobené nedokonalou izolací elektrických zařízení a proudy vznikající při poruchách a zkratech v rozvodných sítích. Měření bludných proudů se obvykle provádí v blízkosti železnice, tramvajových tratí, trafostanic aj.

10.3 Měření prašnosti

Prašnost se měří za účely:

- stanovení imisní koncentrace prachu v ovzduší na pracovištích,
- stanovení imisních koncentrací prachu jako znečišťující látky pro posouzení úrovně znečištění životního prostředí.

11 Závěr

Diplomová práce je zaměřena na monitorování a vyhodnocení dynamických účinků technické seismicity a trhacích prací při ražbě podzemních staveb, konkrétně při výstavbě bezbariérového přístupu do stanice metra Jiřího z Poděbrad. Cílem této práce je seznámit čtenáře s danou problematikou od potřebné teorie a projít celý proces měření a vyhodnocení dynamických účinků od začátku, tj. od norem a předpisů, dokumentů ke stavebnímu povolení, projektové dokumentace a jejích podkladů, potřebné pro zahájení stavby a trhacích prací až po konec, tj. po vyhodnocení naměřených hodnot a jejich posouzení.

Teoretická část práce se zabývá vysvětlením termínů, které se používají v daném oboru a legislativou, která je potřebná pro správné provádění měření a vyhodnocení naměřených hodnot.

V prvních dvou kapitolách jsou popsány takové základní termíny jako je „seismicita“ a „seismické vlny“, rozdělení seismicity a uvedeny druhy seismických vln.

Třetí kapitola se zabývá teorií, která je potřebná pro popis harmonického kmitání. Uvádí řadu pojmů jako je vlastní frekvence, vlastní tvar, rezonance a další, které se používají v této problematice.

Čtvrtá kapitola se věnuje měření seismické odezvy. Rozebírá měřicí linku, typy snímačů, kterými se měří v dnešní době, a výstupy z měření.

Pátá kapitola se zabývá normami a legislativou, podle kterých se určují limitní hodnoty a provádí se zhodnocení naměřených hodnot pro dynamické účinky technické seismicity, trhací práce a pro fyziologické účinky.

Šestou kapitolou tato práce přechází do praktické části a zabývá se popisem a vizualizací výstavby bezbariérového přístupu do stanice Jiřího z Poděbrad. Podkapitoly se věnují popisu vlastní stavby z hlediska konstrukce, provádění a geologickým poměrům.

V sedmé kapitole je uvedeno, na jakých úsecích se provádělo rozpojování horniny pomocí trhacích prací.

Osmá kapitola se věnuje měřením dynamických účinků z hlediska jeho provádění, která se dělí na monitorování a kontrolní měření. Také jsou v dané

kapitole popsána místa umístění snímačů a objekty, ve kterých se prováděla měření. Poslední podkapitola se zabývá měřením z hlediska fyziologických účinků.

V poslední deváté kapitole jsou uvedeny limitní hodnoty stanovené soudním znalcem a vyhodnocení naměřených hodnot na objektech od dynamických účinků od technické seismicity a trhacích prací.

Výsledky měření dávají výbornou možnost získat představu o možných vlivech dynamických účinků na zájmové objekty.

Vzhledem k tomu, že se práce zabývá měřením a vyhodnocením dynamických účinků technické seismicity a trhacích prací při ražbě podzemních staveb, poskytuje čtenářům důležité informace o potenciálních rizicích a vlivech na zájmové objekty, což může být velmi užitečné pro inženýry, projektanty a stavební firmy, které se podílejí na podobných projektech. Díky podrobnému popisu teorie, legislativy, měřicích metod a výsledků měření se práce může stát cenným zdrojem informací pro všechny, kteří se zajímají o oblast geotechniky a monitorování dynamických účinků na objekty v blízkosti výstavby.

Během tvorby diplomové práce bylo nutné osvojit si potřebnou teorii, normy, předpisy a dokumenty potřebné ke stavebnímu povolení a k vyhodnocení. Osvojit si postup provádění měření, práci s programy pro vyhodnocování dynamických účinků aj. Praktická část práce pro mě byla mnohem zajímavější, protože jsem měla příležitost osobně navštěvovat staveniště a účastnit se diskusí se střeľmistem, který mi poskytl podrobné informace o provádění trhacích prací. I tato zkušenost mi výrazně pomohla lépe porozumět celému procesu výstavby. Navštěvování staveniště a možnost fotografování přispěly k lepšímu vizuálnímu vzhledu diplomové práce.

Díky této práci jsem se naučila nové zajímavé věci, což je do budoucna dobrým základem pro moji kariéru při zakázkách týkajících se geotechnického monitoringu.

Použité zdroje

- [1] *Zahájení revitalizace stanici metra Jiřího z Poděbrad* [online]. Praha: Metroprojekt, 2021 [cit. 2022-10-24]. Dostupné z: <https://www.metroprojekt.cz/aktuality/aktuality/zahajeni-revitalizace-stanice-metra-jiriho-z-podebrad>
- [2] *Ohromující fotky Čechů z erupce sopky na Islandu.* [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-10-24]. Dostupné z: <https://magazin.aktualne.cz/obrazem/mistnik-ni-chodi-jako-do-hospody-architekti-zaznamenali-eru/r~a4ecf3e6c2cf11eb9f15ac1f6b220ee8/>
- [3] *11 FACTS ABOUT TSUNAMIS* [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.aktualne.cz/wiki/veda-a-technika/tsunami/r~i:wiki:1241/>
- [4] *Užitá geofyzika: Seismické vlny* [online]. Praha: Radek Klanica, 2018 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <http://geofyzika.webz.cz/vlnseism.php>
- [5] *ABC: Zemětřesení – Síly skryté pod povrchem* [online]. Praha: Redakce ABC, 2021 [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <https://www.abicko.cz/clanek/precti-si-priroda/7513/zemetreseni-sily-skryte-pod-povrchem.html>
- [6] *Encyklopedie fyziky* [online]. Jaroslav Reichl, Martin Všeticka, 2006 – 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/156-harmonicke-kmitani>
- [7] ČERMÁK, Martin. *Dynamická odezva od technické seizmicity: teorie.* Praha, 2023. Interní prezentace firmy INSET s.r.o. o vibracích.
- [8] *Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.* In: Praha, 23.09.2011, 272/2011 Sb.
- [9] Jan Korejčík, Zdeněk Žižka, Michal Kolevski. *PROJEKT BEZBARIÉROVÉHO ZPŘÍSTUPNĚNÍ STANICE METRA JIŘÍHO Z PODEĚBRAD.* (podklad k odbornému článku) METRPROJEKT, 2023/XX.
- [10] PUDIS a.s. *Geotechnický průzkum: Výměna pohyblivých schodů 613-1-119 až 121, revitalizace a vybudování bezbariérového zpřístupnění ve stanici metra A Jiřího z Poděbrad.* Listopad 2017.
- [11] ČSN 73 0040: *Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva.* 04/2019. Praha.

- [12] ČSN EN 1991-1-7: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení - Mimořádná zatížení*. Praha.
- [13] Mgr. Ing. Alena Bilošová, Ph.D. a Dr. Ing. Jan Biloš. *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů a vývojářů: část Vibrační diagnostika*. Ostrava 2012.
- [14] Ctírad Smetana a kolektiv. *Hluk a vibrace: Měření a hodnocení*. Sdělovací technika, Praha 1998. ISBN 80-90 1936-2-5.
- [15] Doc. Dr. Ing. Jan Pruška. *DYNAMIKA GEOTECHNICKÝCH KONSTRUKCÍ: NAVRHOVÁNÍ GEOTECHNICKÝCH KONSTRUKCÍ ODOLNÝCH ÚČINKŮM ZEMĚTŘESEŇÍ*. ČVUT, 2017.