

Úloha: Měření, zpracování a hodnocení vibrační budovy s ohledem na nepříznivé účinky na stavební konstrukce a jejich uživatele

Sestavení této úlohy podpořil Fond rozvoje vysokých škol v rámci projektu číslo 2670/2011.

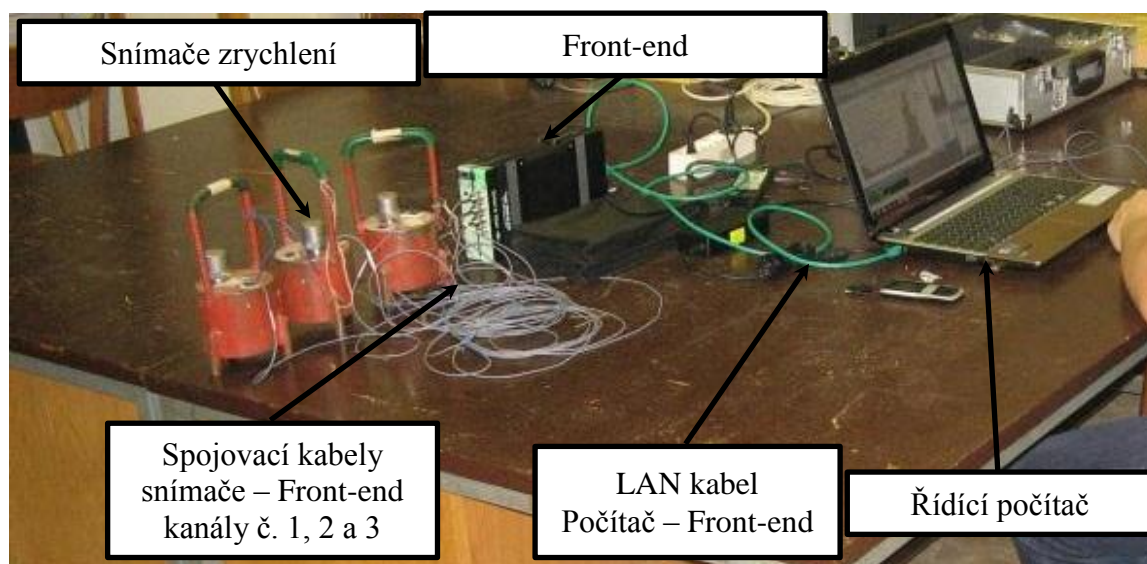
Zadání úlohy:

- Změřte vibrace budovy ve třech na sebe kolmých směrech na třech různých stanovištích:
 - Stanoviště č. 1 – nosný sloup v učebně,
 - Stanoviště č. 2 – nosná zeď v učebně,
 - Stanoviště č. 3 – podlaha učebny.
- Naměřená data vyhodnoťte a posuďte z pohledu dynamického účinku na stavební konstrukci podle postupů a kritérií ČSN ISO 4866 „Vibrace a rázy - Vibrace budov - Směrnice pro měření vibrací a hodnocení jejich účinku na budovy“ a ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“.
- Naměřená data vyhodnoťte a posuďte z pohledu vlivu na uživatele staveb podle postupů a kritérií ČSN ISO 2631-2 „Vibrace a rázy – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím – Část 2: Vibrace v budovách (1Hz až 80 Hz)“ a Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“ č. 272/2011.

Použité přístrojové vybavení

- čtyřkanálový multianalyzátor Brüel&Kjaer – Front-end PULSE 3050-B-040,
- program PULSE 16.0 pro přípravu, řízení měření a zpracování získaných dat v časové a frekvenční oblasti,
- tři snímače zrychlení Brüel&Kjaer typ 8344,
- notebook Packard Bell Easy Note TS.

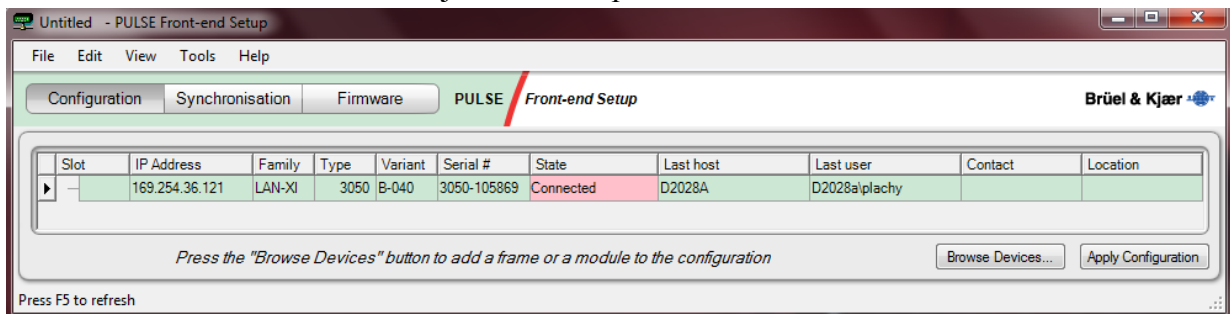
Měřicí linka



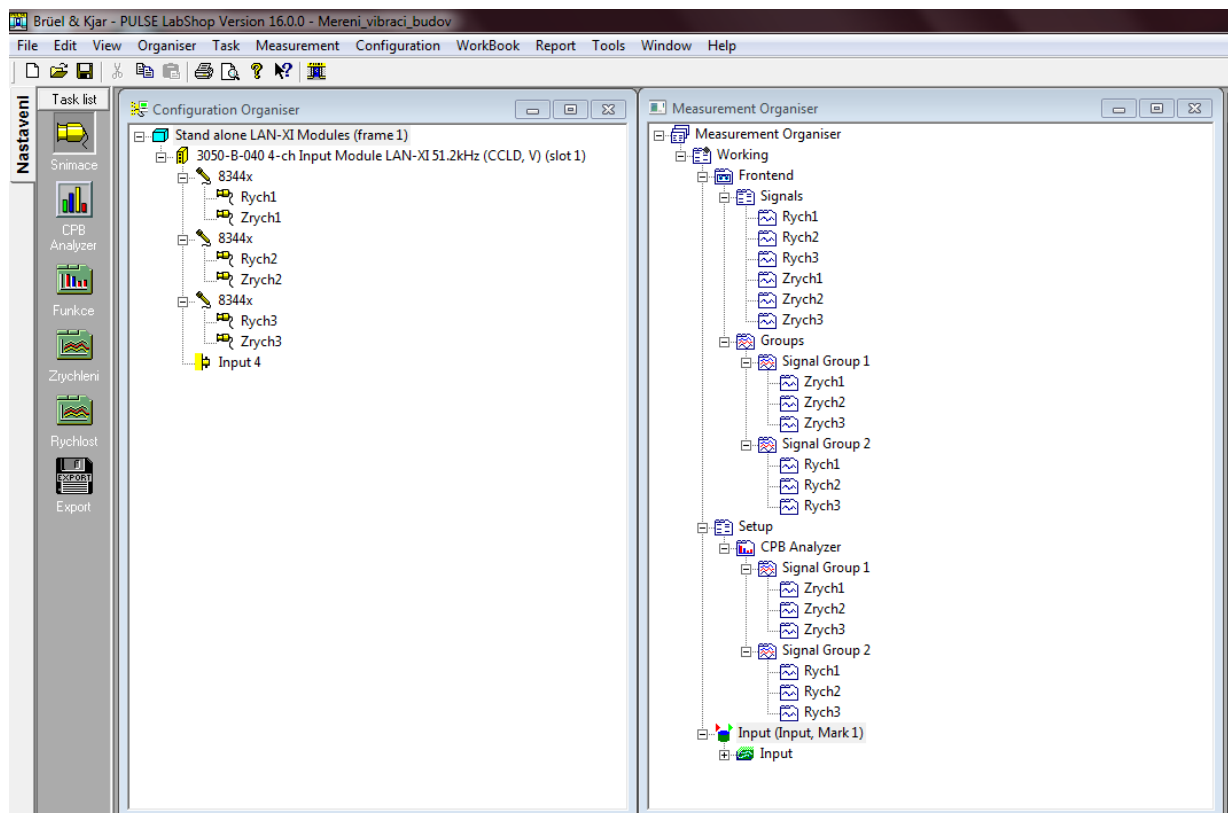
Obr. 1 Měřicí linka.

Měření vibrační budovy:

- 1) Vždy přečtete celý bod postupu a až pak provedte instrukce v bodu obsažené.
- 2) **Nikdy nestoupejte na kabely snímačů!!**
- 3) Zkontrolujte propojení měřicí linky podle Obr. 1. V případě, že propojení měřicí linky neodpovídá Obr. 1, zavolejte vyučujícího.
- 4) Zapněte měřicí ústřednu Front-end Brüel&Kjaer Type 3050-B-040 (černá skříňka za notebookem) zastrčením napájecího adaptéru do zdířky na zadní straně ústředny (zdířka pod LAN kabelem). Pokud je ústředna zapnutá, svítí minidisplay vpravo nahoře nad vstupními konektory kanálů.
- 5) Otevřete notebook a zapněte ho (tlačítko vlevo nahoře).
- 6) Přihlaste se pod jménem *student*, heslo *eak*.
- 7) Otevřete *Front-end Setup* dvojklikem levým tlačítkem myši na ikonu na ploše.
- 8) V nově otevřeném okně zkontrolujte nastavení podle Obr. 2.

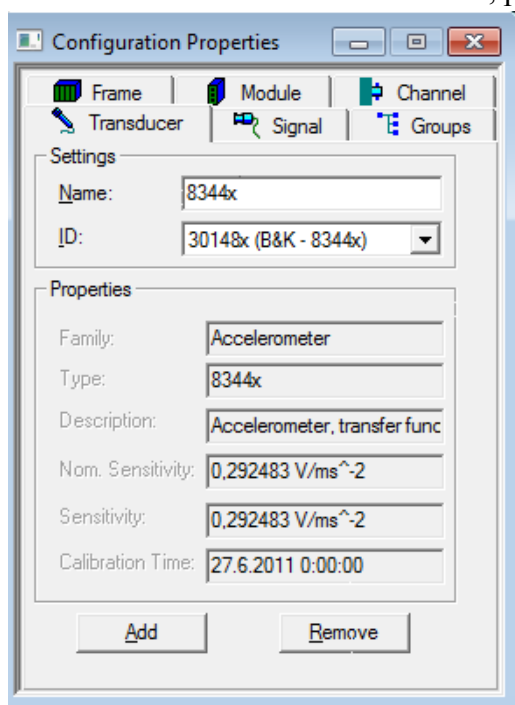


Obr. 2. PULSE Front-end Setup.



Obr. 3. Projekt *Mereni_vibraci_budov* – nastavení snímačů a signálů pro měření vibrací.

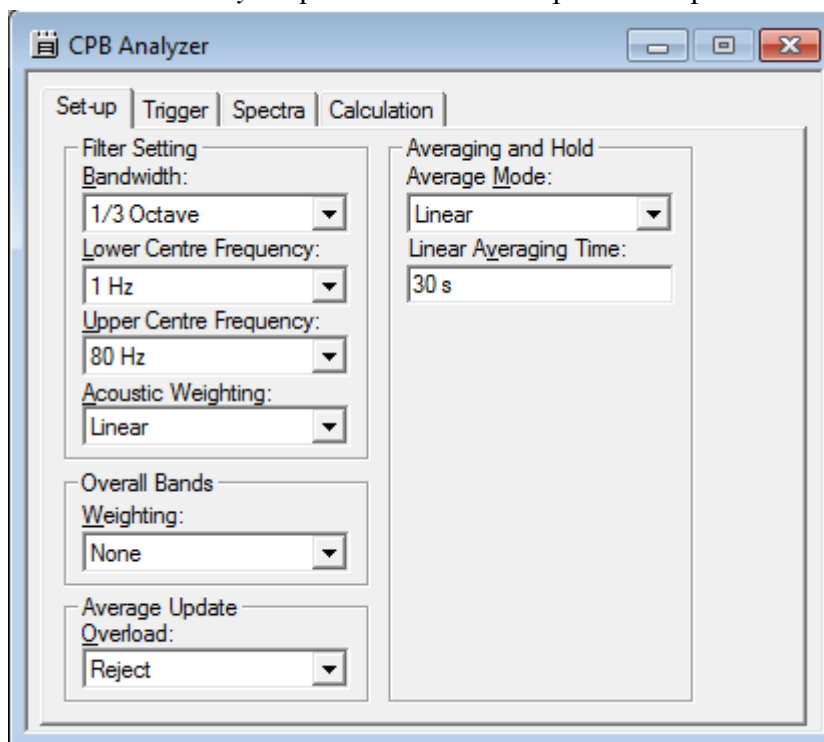
- 9) V případě, že vše souhlasí, pokračujte bodem 12 návodu, pokud ne, klikněte na *Browse Devices*.
- 10) V okně *Device Browser* klikněte na řádek, ve kterém se objevil nový Front-end LAN-XI, a v dolním menu klikněte na *Add*.
- 11) Zkontrolujte nastavení podle Obr. 2 a nastavení odešlete pomocí *Apply Configuration*.
- 12) Zavřete okno *PULSE Front-end Setup* (křížek vpravo nahoře).
- 13) Otevřete projekt *Mereni_vibraci_budov* dvojklikem levým tlačítkem myši na ikonu na ploše.
- 14) Na levé straně okna projektu *Mereni_vibraci_budov* klikněte na svislou záložku *Nastavení* a v ní klikněte na ikonu *Snimace*.
- 15) Zkontrolujte nastavení v *Configuration Organiser* a v *Measurement Organiser* podle Obr. 3.
- 16) V okně *Configuration Organiser* klikněte pravým tlačítkem myši na první ze tří snímačů *8344x* a otevřete záložku *Properties*.
- 17) V nově otevřeném okně *Configuration Properties* (viz Obr. 4) klikněte na záložku *Transducer*. Zkontrolujte, zda v okénku *ID*: je číslo *30148x*. Ponechte okno *Configuration Properties* otevřené a postupným klikáním na další dva snímače *8344x* v okně *Configuration Organiser* zkontrolujte, zda v okénku *ID*: okna *Configuration Properties* jsou pro tyto snímače čísla *30151x* a *30152x*. Pokud vše souhlasí, pokračujte bodem 20 návodu.



Obr. 4. Nastavení snímačů.

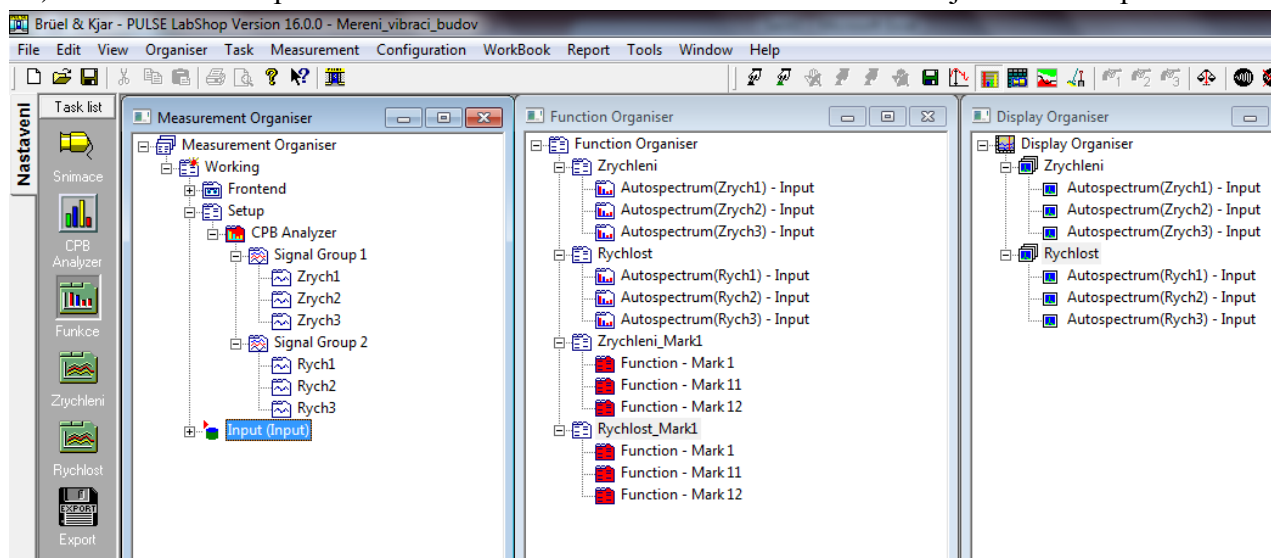
- 18) Pokud jsou čísla zpřeházená, prohodte kabely na kanálech 1, 2 a 3 měřicí ústředny Front-end Bruel&Kjaer Type 3050-B-040 tak, aby na kanálu 1 byl připojen snímač č. 30148, na kanálu 2 snímač č. 30151 a na kanálu 3 snímač č. 30152.
- 19) V horním menu programu PULSE LabShop otevřete *Configuration* a záložku *Detect Front-end*. Počkejte na dokončení detekce Front-endu a zopakováním bodů 16-18 zkontrolujte správné pořadí snímačů.
- 20) V levém sloupečku *Task list* klikněte na ikonu *CPB Analyzer*.

21) V okně *CPB Analyzer* proveďte nastavení parametrů podle Obr. 5



Obr. 5. Nastavení CPB Analyzátoru.

22) V levém sloupečku *Task list* klikněte na ikonu *Funkce* a zkontrolujte nastavení podle Obr.6



Obr. 6 Nastavení jednotlivých signálů a funkcí pro měření vibrací.

23) Jednotlivé snímače umístěte do prvního měřeného stanoviště podle pokynů vyučujícího.

24) Stiskněte F2 (*Activate Template*) a vyčkejte, dokud ukazatel na dolní liště *Setling in progress* neukončí svoji činnost, tj. na dolní liště se opět neobjeví nápis *For Help, press F1*. V okně *Level Meter* začnou jednotlivé signály ze snímačů (sloupečky v grafu) ukazovat měnící se úroveň signálů. Vyčkejte, dokud se měnící se úroveň signálu neustálí v určitém rozmezí.

25) Stiskněte F3 (*Autorange*) a vyčkejte, dokud ukazatel na dolní liště *Autorange in progress* neukončí svoji činnost, tj. na dolní liště se opět neobjeví nápis *For Help, press F1*.

26) Klikněte na ikonu *Zrychleni* (nebo *Rychlost*) v levém sloupečku *Task list*. Stiskněte F5 (*Start Measurement*) pro start měření. V jednotlivých grafech *Zrychleni* (nebo *Rychlost*) můžete

sledovat průběh měření v měřeném místě. Měření se automaticky ukončí po 30s, v pravém menu každého grafu se objeví *Averaging time: 30s*.

- 27) Klikněte na ikonu *Export* v levém sloupečku *Task list*.
- 28) Stiskněte F7 (*Save Measurement*). V okně *Measurement Organiser* se přidá nová položka *Measurement (Measurement1, Measurement2, atd.)*.
- 29) Požádejte vyučujícího o zadání dalších stanovišť pro měření vibrací budovy. V levém sloupečku *Task list* klikněte na ikonu *Funkce* a pro všechna další měření zopakujte body 24-28.
- 30) Otevřete si v *MS Excelu* dva nové sešity. Do jednoho budete ukládat naměřené hodnoty zrychlení a do druhého hodnoty rychlosti.
- 31) Vraťte se zpět k programu PULSE LabShop projektu *Mereni_vibraci_budov*.
- 32) Klikněte na ikonu *Export* v levém sloupečku *Task list*.
- 33) V okně *Measurement Organiser* klikněte pravým tlačítkem myši na první z uložených měření *Measurement*, najed'te myši na záložku *Add/Remove Measurement Mark* a označte měření *Mark 1*.
- 34) V okně *Function Organiser* klikněte pravým tlačítkem myši na *Zrychlení Mark1* najed'te myši na záložku *Copy* a stiskněte levé tlačítko myši.
- 35) Uložte data z Clipboardu do samostatného Listu prvního Sešitu v *MS Excelu*.
- 36) V okně *Function Organiser* klikněte pravým tlačítkem myši na *Rychlost Mark1* najed'te myši na záložku *Copy* a stiskněte levé tlačítko myši.
- 37) Uložte data z Clipboardu do samostatného Listu druhého Sešitu v *MS Excelu*.
- 38) Opakujte body 33 – 37 pro všechna uložená měření. (Každé měření vždy znovu označte *Mark1*, neoznačujte *Mark2*, či jinak).
- 39) Oba sešity *MS Excelu* uložte pod názvy *VašeJméno_zrychleni* a *VašeJméno_rychlost* do adresáře C:\STUDENTI\Soubory_studentu.
- 40) Zkontrolujte, zda každý soubor obsahuje počet Listů shodný s počtem měření a v každém Listu jsou údaje ze tří snímačů, resp. Signálů.

Vyhodnocení měření vibrací budovy z pohledu jejich účinků na stavební konstrukci

- 1) Otevřete excelovský soubor *VašeJméno_rychlost*. Tento soubor obsahuje v každém listu tři třetinooktávová spektra v rozmezí 1 až 80 Hz, a to srovnaná pod sebou. V prvním sloupci je uvedeno pořadové číslo jednotlivých třetin oktávy, ve druhém sloupci je uvedena střední hodnota frekvence dané třetiny oktávy a ve třetím sloupci je uvedena efektivní hodnota rychlosti pro danou třetinu oktávy.
- 2) Pro každé spektrum efektivních rychlostí naměřené buď ve směru X, Y nebo Z vypočtete celkovou efektivní hodnotu rychlosti. Výpočet se provede podle vzorce

$$v_{efX} = \sqrt{v_{ef1X}^2 + v_{ef2X}^2 + \dots + v_{efNX}^2},$$

kde v_{ef1} až v_{efN} jsou naměřené hodnoty efektivních rychlostí pro jednotlivé třetiny oktávy.

- 3) Celková efektivní hodnota rychlosti se pak vypočítá jako součet výsledných efektivních hodnot rychlostí naměřených v jednotlivých směrech X, Y a Z

$$v_{ef} = \sqrt{v_{efX}^2 + v_{efY}^2 + v_{efZ}^2}$$

- 4) Výpočet celkové efektivní hodnoty rychlosti proved'te pro všechna měření.
- 5) Vypočtené celkové efektivní hodnoty rychlosti posuďte z pohledu dynamického účinku na stavební konstrukci podle kritérií z ČSN 730040 „Zatížení stavebních objektů technickou

seizmicitou a jejich odezva“ (viz Kap. „Posouzení dynamické odezvy stavebních konstrukcí na technickou seizmicitu podle ČSN 73 0040“).

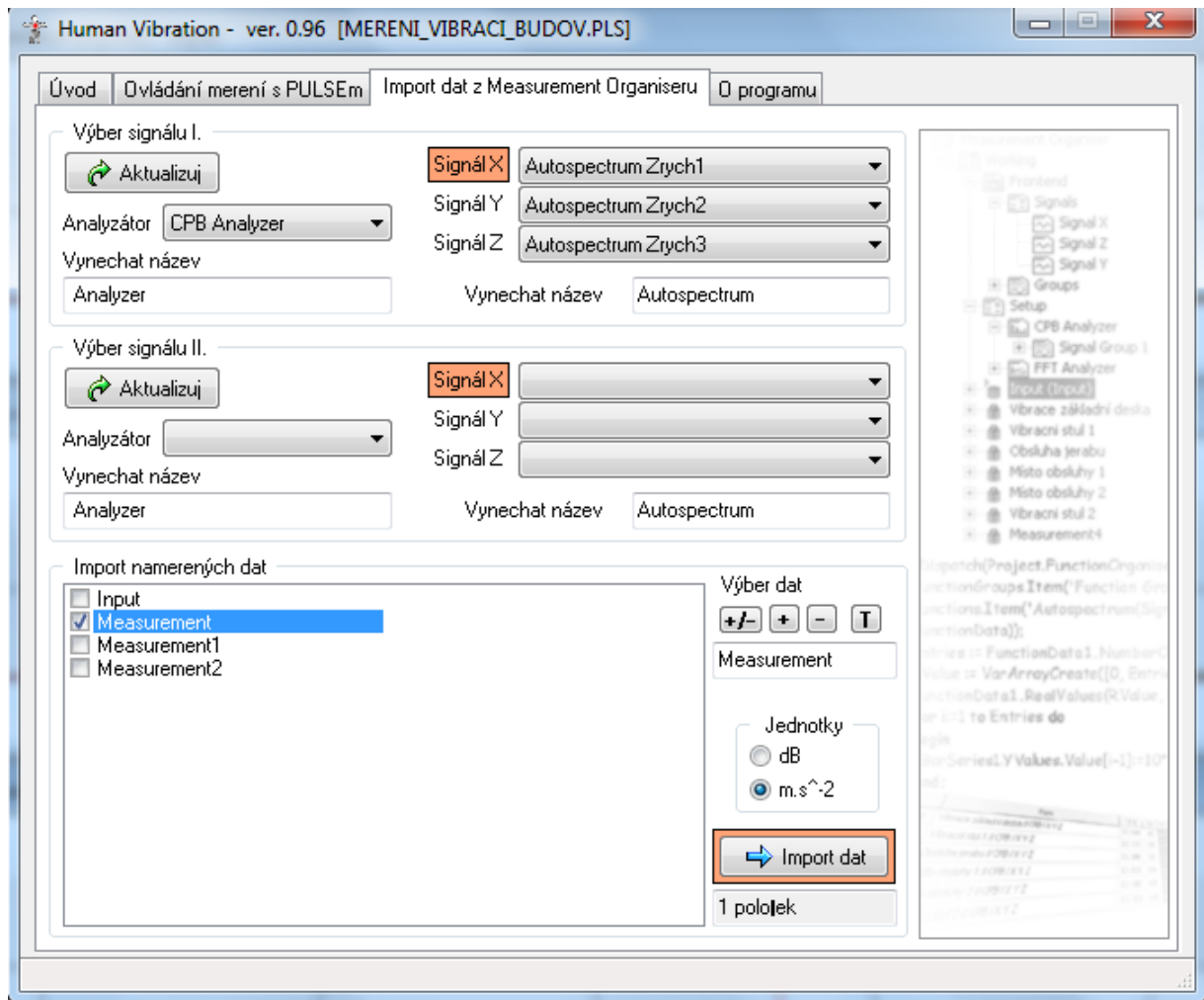
Vyhodnocení měření vibrací budovy z pohledu jejich účinků na uživatele staveb

- 1) Pravým tlačítkem myši klikněte na ikonu *Human Vibration* na ploše a v menu vyberte *Run as Administrator*.
- 2) Otevře se aplikační software pro PULSE Human Vibration (viz Obr. 7.)



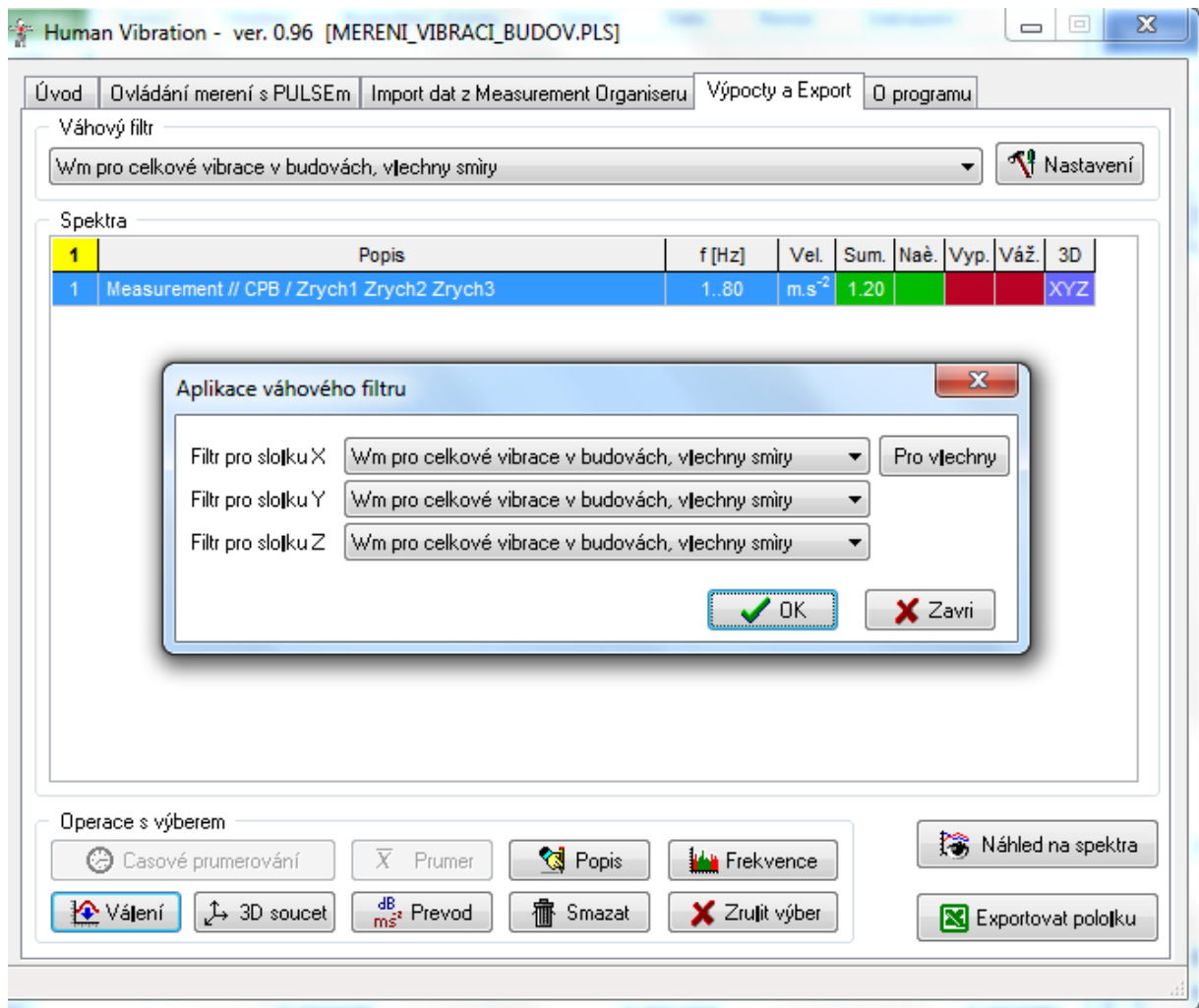
Obr. 7 Aplikační software *Human Vibration*.

- 3) Do okének *Cesta k souboru PLS* a *Soubor PLS* nastavte adresář a soubor podle Obr. 7.
- 4) Klikněte na ikonu *SPUSTIT Pulse*.
- 5) Po cca 10s se na horní liště okna programu *Human Vibration* objeví záložky *Ovládání měření s PULSEm*, *Import dat z Measurement Organiseru* a *O programu*. Otevřete záložku *Import dat z Measurement Organiseru*.
- 6) V nově otevřeném okně *Import dat z Measurement Organiseru* zaškrtněte v okénku *Import naměřených dat* příslušné měření *Measurement* (resp. *Measurement1*, *Measurement2*, atd.) viz Obr.8.



Obr. 8 Import dat z Measurement Organiseru.

- 7) V menu *Výběr signálu I.* vyberte *Analyzátor CPB Analyzer* a signály *Signál X*, *Signál Y* a *Signál Z* nastavte *Autospectrum Zrych 1*, *Autospectrum Zrych 2* a *Autospectrum Zrych 3*, viz Obr. 8.
- 8) Nastavte jednotky $m.s^{-2}$ a klikněte na ikonu *Import dat*.
- 9) Na horní liště se objeví nová záložka *Výpočty a Export*, na kterou klikněte.
- 10) V nově otevřeném okně *Výpočty a Export* klikněte v okně *Spektra* na položku *Measurement//CPB/Zrych1Zrych2Zrych3* (viz Obr. 9.)



Obr. 9. Výpočty a Export výsledků.

- 11) Vpravo dole klikněte na ikonu *Válení* (viz Obr.9) a v okně *Aplikace váhového filtru* vyberte pro všechny tři směry filtr *Wm*. Potvrďte stisknutím *OK*.
- 12) Vypočtou se nová vážená spektra a v okně *Popis spektra* je nabídnut jejich název *Váhový filtr // Measurement // CPB / Zrych1 Zrych2 Zrych3*, který můžete přepsat na vlastní název. Pak potvrďte *OK*.
- 13) Z kolonky *Sum.* v příslušném řádku vážených spekter *Váhový filtr // Measurement // CPB / Zrych1 Zrych2 Zrych3* si opište celkovou váženou efektivní hodnotu zrychlení pořízeného záznamu kmitání budovy.
- 14) Body 6 až 13 zopakujte pro všechna měření.
- 15) Zaznamenané celkové vážené hodnoty zrychlení naměřené na jednotlivých stanovištích posuďte podle kritérií z Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“ č. 272/2011 (viz Kap. „Přípustné úrovně vibrací podle Nařízení vlády č. 272/2011 – výtah“).

Základní definice, názvosloví

Technická seizmicita – seizmické otřesy vyvolané umělým zdrojem (např. dopravou, průmyslovou činností, trhacími pracemi, pulzací vodního proudu apod.).

Referenční stanoviště – 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.

Efektivní hodnota zrychlení a – je definována vztahem

$$a_{\text{RMS}} \cong a_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

Efektivní hodnotu je možné vyhodnotit na základě ekvivalentů této rovnice ve frekvenční oblasti.

Tab. 1 – hodnoty váhových funkcí W_m , W_k a W_d pro jednotlivá frekvenční pásma třetinooktávového frekvenčního spektra.

Střední frekvence třetinooktávového spektra [Hz]	Váhová funkce		
	W_m	W_k	W_d
	činitel x 1000	činitel x 1000	činitel x 1000
0.50	368	418	853
0.63	530	459	944
0.80	700	477	992
1.00	833	482	1011
1.25	907	484	1008
1.60	934	494	968
2.00	932	531	890
2.50	910	631	776
3.15	872	804	642
4.0	818	967	512
5.0	750	1039	409
6.3	669	1054	323
8.0	582	1036	253
10.0	494	988	212
12.5	411	902	161
16.0	337	768	125
20.0	274	636	100
25.0	220	513	80
31.5	176	405	63.2
40	140	314	49.4
50	109	246	38.8
63	83.4	186	29.5
80	60.4	132	21.1
100	40.1	88.7	14.1
125	24.1	54.0	8.63
160	13.3	28.5	4.55

Váhová funkce – Intenzita vibrací se shodnou úrovní vibrací ale s různými frekvencemi je osobami subjektivně vnímaná odlišně. Pro přiblížení úrovně měřených vibrací subjektivnímu vjemu jejich intenzity bez závislosti na frekvenci se užívá smluvních váhových křivek, které zohledňují "frekvenční charakteristiku" lidského vnímání vibrací.

Norma ČSN ISO 2631-2 pro hodnocení expozice člověka celkovým vibracím v budovách předepisuje použití váhové křivky W_m bez ohledu na směr měření. Tato norma připouští, je-li stanovena poloha uživatele, lze použít frekvenční vážení předepsaná v ČSN ISO 2631-1.

Norma ČSN ISO 2631-1 pro hodnocení expozice člověka celkovým vibracím předepisuje použití dvou základních váhových křivek W_k (pro vibrace ve vertikálním směru pro stojící a ležící osobu) a W_d (pro vibrace v horizontálním směru pro stojící a ležící osobu).

Frekvenčně vážená efektivní hodnota zrychlení a_w – je dána vzorcem

$$a_w = \sqrt{\sum_i (W_i a_i)^2}$$

kde W_i je hodnota váhová funkce z i -tého třetinooktávového pásma a a_i je efektivní hodnota zrychlení v i -tém třetinooktávovém pásmu.

Posouzení dynamické odezvy stavebních konstrukcí na technickou seizmicitu podle ČSN 73 0040

Dynamickou odezvu konstrukce způsobenou technickou seizmicitou, která má charakter déle trvajícího rázového zatížení nebo ustáleného periodického zatížení, z hlediska mezních stavů 1. skupiny (mezních stavů únosnosti) není třeba dále analyzovat, pokud na referenčním stanovišti (viz Kap. „Základní definice, názvosloví“) efektivní rychlost pohybu nepřesáhne mezní hodnoty podle Tab. 2.

Tab. 2 – mezní hodnoty efektivní rychlosti v_{ef} v $[\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}]$ na referenčním stanovišti.

Třída odolnosti objektu	$v_{ef(1)}$			
	Třída významu objektu (podle ČSN 73 0031)			
	U	I	II	III
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

Pozn.: Podle ČSN 73 0031 patří budova fakulty stavební (budova školy) do třídy významu I, zařazení podle třídy odolnosti objektu je možné provést podle Tab. 5.

V Tab. 3 jsou uvedeny efektivní rychlosti kmitání důležitého místa v objektu (např. průřezu s maximálním ohybovým momentem nebo posouvající silou), na základě kterých lze provést kategorizace zjištěné dynamické odezvy – zda existuje riziko poškození stupně 1 (viz Tab. 4), zda je potřebné provést posouzení na základě dynamického výpočtu nebo zda dynamický výpočet není potřeba.

Tab. 3 – kategorizace odezvy důležitého místa konstrukce podle efektivní rychlosti v_{ef} v $[mm \cdot s^{-1}]$ zjištěné v tomto místě.

Třída odolnosti objektu	$v_{ef}^{(1)}$									
	Třída významu objektu (podle ČSN 73 0031) ¹⁾									
	U		I		II		III		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	S % 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) Meziřádkové hodnoty tříd významu se posuzují podle úvahy.
2) Jde o poškození stupně 1, viz tabulka 13.

Tab. 4 – stupně poškození stavebních objektů podle ČSN 73 0040

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 (ve stropních fabionech).	1
Lehká rozrušení s malými škodami. Trhliny šířky do 5 mm 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 rozrušení 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. Trhliny i v železobetonu.	5

Tab. 5 – třídy odolnosti objektů podle ČSN 73 0040

Třída odolnosti objektu	Objekty bytové, občanské, průmyslové a zemědělské	Objekty inženýrské	Objekty podzemní	Podzemní inženýrské sítě a kabely
A	chatrné stavby, neodpovídající stavební předpisům, zříceniny; historické budovy z neopracovaného kamene nebo cihel s klenutými průhledy, průvlaků 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;			
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 tvárnic, 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 hrázdné stavby s dobrým ztužením, prostý beton	opěry mostů z opracovaného kamene, monolitické vodojemy	cihelné, kamenné a tvárnice vyzdívky 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 větší 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

Stanovení mechanického napětí v konstrukčním prvku na základě změřené rychlosti kmitání

V ČSN ISO 4866 a v [6] je uveden vzorec pro stanovení σ_{dyn} mechanického napětí ve stavebním konstrukčním prvku (např. v nosníku nebo v desce), které je vyvoláno vibracemi tohoto prvku, na základě naměřené rychlosti kmitání v charakteristickém průřezu prvku:

$$\sigma_{\text{dyn}} = v \cdot \frac{K_k \cdot K_M \cdot K_h}{\sqrt{K_I}} \cdot \frac{1}{\lambda^2} \cdot \sqrt{\rho \cdot E}$$

kde E je modul pružnosti materiálu a ρ je objemová hmotnost materiálu, ze kterého je postaven konstrukční prvek, v je změřená rychlost kmitání v charakteristickém průřezu prvku, λ je bezrozměrný frekvenční parametr charakterizující uložení a tvar kmitání konstrukčního prvku, K_k je konstanta charakterizující tuhost prvku, K_M je konstanta popisující vztah mezi osamělou silou a ohybovým momentem, K_h je konstanta závislá na vzdálenosti krajních vláken průřezu od těžiště a K_I je konstanta svázaná s momentem setrvačnosti průřezu.

Pokud je se zkoumaným konstrukčním prvkem svázáno podstatné ostatní stálé zatížení, je potřebné korigovat objemovou hmotnost materiálu ρ podle vztahu

$$\rho_k = \rho \cdot \frac{G_{\text{tot}}}{G_{\text{el}}} = \rho \cdot \frac{G_{\text{el}} + G_{\text{other}}}{G_{\text{el}}}$$

kde G_{el} je tíha zkoumaného konstrukčního prvku a G_{other} je tíha ostatního stálého zatížení působícího na prvek.

Pro oboustranně kloubově uložený nosník s obdélníkovým průřezem kmitajícím ve tvaru, který je blízký prvnímu ohybovému tvaru kmitání, leží charakteristický průřez uprostřed rozpětí prvku a konstanty vychází takto:

$$K_k = 48 \quad K_M = \frac{1}{4} \quad K_h = \frac{1}{2} \quad K_I = \frac{1}{12} \quad \lambda = \pi$$

Pro oboustranně vetknutý nosník s obdélníkovým průřezem kmitajícím ve tvaru, který je blízký prvnímu ohybovému tvaru kmitání, leží charakteristický průřez uprostřed rozpětí prvku a konstanty vychází takto:

$$K_k = 192 \quad K_M = \frac{1}{8} \quad K_h = \frac{1}{2} \quad K_I = \frac{1}{12} \quad \lambda = 4,73004$$

Přípustné úrovně vibrací podle Nařízení vlády č. 272/2011 – výťah

Nařízení vlády č. 272/2011 „o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“ ze dne 24. srpna 2011 s platností od 1. listopadu 2011 stanovuje tyto přípustné expoziční limity vibrací:

Celkové vibrace na pracovišti:

- Celkové vertikální a horizontální vibrace přenášené na zaměstnance: přípustný expoziční limit vibrací $a_{\text{ew},8\text{h}} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- Přípustný expoziční limit celkových vibrací se vztahuje na ustálené i proměnné vibrace a otřesy nebo rázy, pokud hlavní část jejich energie je obsažena ve sledovaném kmitočtovém pásmu.
- Přípustný expoziční limit průměrných vážených hodnot zrychlení vibrací pro jinou než osmihodinovou směnu T v minutách

$$a_{\text{ew},T} = a_{\text{ew},8\text{h}} \cdot k_T \quad \text{kde} \quad k_T = \sqrt{\frac{480}{T}} \quad [-].$$

- Pro expozice celkovým vibracím po dobu 10 minut a kratší je přípustný expoziční limit průměrných vážených hodnot zrychlení $3,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- Při hodnocení vibrací, které pronikají na pracoviště, se při stanovení přípustného expozičního limitu postupuje jako u vibrací v chráněných vnitřních prostorách staveb.

Tab. 6 – korekce pro stanovení hygienického limitu vibrací v chráněném vnitřním prostoru staveb podle využití prostor, denní doby a povahy vibrací.

Druh chráněného vnitřního prostoru	Denní doba	Povaha vibrací	
		Přerušované a nepřerušované vibrace	Opakující se otřesy
		korekce	korekce
		[-]	[-]
Operační sály	den	1	1
	noc	1	1
Obytné místnosti	den	2	16
	noc	1.41	1.41
Pokoje pro pacienty v sanatoriích a nemocnicích	den	2	16
	noc	1.41	1.41
Učebny a pobytové místnosti jeslí, mateřských škol a školských zařízení	den	2	16
	noc	1.41	1.41
Ostatní chráněné vnitřní prostory staveb	nepřetržitě	4	128

Maximálně jsou přípustné 1 až 3 výskyty otřesů za den.

Vibrace v chráněných vnitřních prostorech staveb:

- Hygienický limit (přípustný expoziční limit) vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb vyjádřený průměrnou váženou hodnotou zrychlení vibrací $a_{ew,T}$ je roven $0,0056 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- Hygienický limit vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb uvedený v předchozím odstavci se vztahuje na horizontální a vertikální vibrace v místě pobytu osob a k době trvání vibrací T.
- Korekce $a_{ew,T}$ zohledňující typ chráněného prostoru a denní a noční dobu je uvedena v Tab. 6.

Literatura:

- [1] Nařízení vlády č. 272/2011.
- [2] ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva
- [3] ČSN ISO 4866+Amd.1 a Amd. 2 Vibrace a rázy – Vibrace budov – Směrnice pro měření a hodnocení jejich účinků na budovy.
- [4] ČSN ISO 2631-1 Vibrace a rázy – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím – Část 1: Všeobecné požadavky.
- [5] ČSN ISO 2631-2 Vibrace a rázy – Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím – Část 2: Vibrace v budovách (1 Hz až 80 Hz).
- [6] Miláček, S.: Měření a vyhodnocování mechanických veličin. Vydavatelství ČVUT v Praze, Praha, 2001.