



Dokumentace zařízení pro modální analýzu

Typ:	FVZ – Funkční vzorek
Kategorie:	Funkční vzorek
Název originál.:	Zařízení pro modální analýzu kovových konstrukcí
Název anglicky:	Measuring equipment for modal analysis of metal structures
Anotace orig.:	Měřicí zařízení pro modální analýzu a zatěžovací zkoušky kovových stavebních konstrukcí a jejich prvků. Navržená konfigurace tohoto univerzálního zařízení je určena pro dynamické zkoušky litinových sloupů.
Anotace angl.:	Measuring equipment for modal analysis and loading tests of civil engineering structures and its parts. The proposed configuration of the universal equipment is intended for dynamic tests of iron casted columns.
Hlavní obor:	JN – Stavebnictví
Vedlejší obor:	AL - Umění, architektura, kulturní dědictví
Klíčová slova angl.:	civil engineering, loading tests, measuring equipment, metal structures, modal analysis
Vlastník:	Vlastníkem dokumentace je ČVUT v Praze, IČ: 68407700
Umístění:	ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, oddělení mechaniky (popis, zařízení, návod k použití)
Aplikace:	litinové sloupy v areálu Císařských lázní v Karlových Varech litinové sloupy altánu Šlechtovy restaurace v Praze litinové sloupy z nádraží v Karlových Varech v závodě v Dublovicích
Technické parametry:	Snímač síly IEPE 1x, snímač zrychlení IEPE 2x USB jednotka pro moduly vstupů 1x Vstupní modul se 3 kanály IEPE nebo AC/DC; maximální vzorkovací frekvence 12800 Hz/kanál, 24 bitů Řídící počítač (notebook)
Ekonomické parametry:	V oblasti hodnocení litinových konstrukcí činí hospodářská činnost Kloknerova ústavu 50 tis. Kč ročně. Předpokládá se, že rozšířením nabízených služeb (uplatněním funkčního vzorku) vzroste objem zakázek na 75 tis. Kč ročně.
Číselná identifikace:	DG16P02M050-4 (v rámci grantu NAKI II řešeného ČVUT v Praze, poskytovatel Ministerstvo kultury ČR)
Licence:	Využití výsledku jiným subjektem je možné bez nabytí licence (výsledek není licencován). Toto ustanovení se nevztahuje na zdrojové kódy programu, ale pouze na aplikační soubor typu „.exe“.
Poplatek:	Poskytovatel licence na výsledek nepožaduje licenční poplatek.
Kategorie podle nákladů:	menší nebo rovna 5 mil. Kč (pořizovací cena v roce 2018 činila přibližně 95 000 Kč bez DPH).

Autor: Ing. Jaromír Král, CSc., ČVUT v Praze, Kloknerův ústav,
jaromir.kral@cvut.cz

Datum: 09. 11. 2018

Obsah

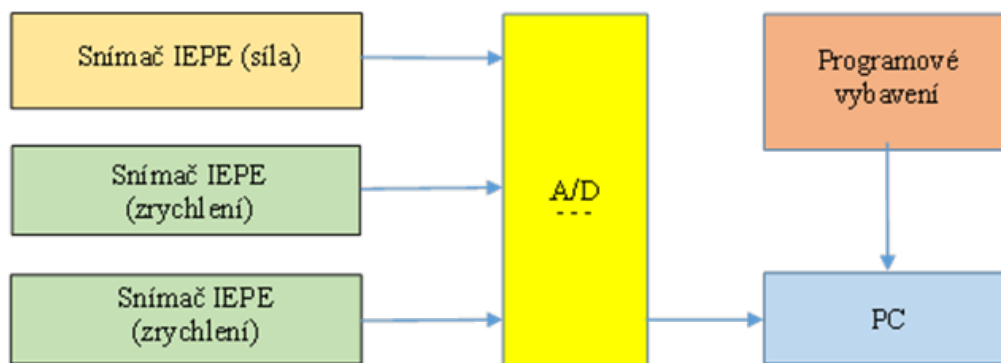
Obsah	2
1. Úvod	2
2. Popis zařízení	2
2.1 Seznam prvků zařízení pro modální analýzu	3
2.2 Popis funkce	3
2.3 Fotografie zařízení a jeho částí	4
2.4 Specifické užité vlastnosti zařízení	5
3. Programové vybavení	5
4. Návod k použití	6
4.1 Příprava sloupu k měření	6
4.2 Obsluha zařízení	6
4.3 Specifické problémy při použití zařízení při zkouškách sloupů	7
Příloha P	8
P.1 Zkoušky sloupů v areálu Císařských lázní v Karlových Varech (2016)	8
P.2 Zkoušky sloupů z altánu Šlechtovy restaurace v areálu PRE v Praze Kobylisích (2018)	9
P.3 Zkoušky sloupů z Horního nádraží v Karlových Varech v areálu firmy OK-BE v Dublovicích	10

1. Úvod

Modální analýza je základní nástroj pro ověřování dynamických vlastností konstrukcí a nepochybně má své místo i při posuzování vlastností a provozního stavu historických kovových konstrukcí nebo jejich částí. Standardní postup vychází z existence výpočtového modelu konstrukce, jehož dynamické vlastnosti jsou stanoveny dynamickým výpočtem a modální analýza je nástrojem pro jejich experimentální ověření. Tento postup je použitelný i pro prvky konstrukcí (sloupy, nosníky, příčníky apod.) s tím rozdílem, že postačí ověřit dynamické vlastnosti „reprezentanta“ určité skupiny prvků a experimentálně zjištěné vlastnosti ostatních prvků téže skupiny s nimi porovnávat. Takový postup je podstatně jednodušší a rychlejší. Je použitelný i pro posuzování vlivu poškození, kvality oprav, okrajových podmínek apod.

2. Popis zařízení

Koncepčně univerzální zařízení bylo konstrukčně navrženo pro modální analýzu litinových sloupů jako typických prvků historicky chráněných kovových konstrukcí. Blokové schéma základní konfigurace zařízení pro jeho modální analýzu je na obr. 1. Skládá se ze snímače síly a dvou snímačů zrychlení, USB převodníku A/D, řídicí jednotky (notebook) a programového vybavení. Řídicí program byl vytvořen v prostředí LabVIEW (NI) a převeden na nezávislou aplikaci.



Obr. 1 - Blokové schéma zařízení

2.1 Seznam prvků zařízení pro modální analýzu

- 1) 1 ks - impulsní kladívko se snímačem síly typ O86C03 výrobce PCB Piezotronics;
- 2) 2 ks – snímač zrychlení IEPE typ 4526, výrobce Bruel&Kjaer;
- 3) 1 ks - jednotka USB typ cDAQ – 9171 pro moduly řady C, výrobce National Instruments;
- 4) 1 ks – modul řady C NI9230: 3 kanály IEPE & AC/DC, 24 bit, výrobce National Instruments;
- 5) 1 ks - notebook typ E31 a napájecí zdroj, výrobce Lenovo;
- 6) Řídicí program
- 7) Příslušenství: pouzdro, kabely USB, kabely AC 0005, nalepovací terčíky se závitem, lepidlo.



Obr. 2 – Fotografie přípravku

2.2 Popis funkce

K rozkmitání konstrukce je použito kladívko se snímačem síly, který měří časový průběh impulsu síly. Impuls síly současně spustí měření. Snímače zrychlení měří odezvu sloupu ve zvoleném místě ve dvou kolmých směrech. Časové průběhy měřených veličin jsou digitalizovány převodníkem A/D a kabelem USB přeneseny do počítače. Použitý program

zajistí uložení naměřených dat do paměti počítače, vyhodnocení spekter a přenosových funkcí mezi odezvou a impulsem síly. Výsledky měření jsou uloženy do paměti počítače a současně zobrazeny na obrazovce PC. Zařízení se automaticky připraví na provedení další zkoušky.

2.3 Fotografie zařízení a jeho částí

Celé zařízení pro modální analýzu je na obr. 2. Na obr. 3 jsou snímače zrychlení s magnety. Impulsní kladívko se snímačem síly je na obr. 4. Na obr. 5 je tříkanálový vstupní modul s převodníkem A/D a jednotka USB v rozloženém stavu.



Obr. 3 Snímače zrychlení s magnety, kabely a konektory BNC



Obr. 4 Kladívko se snímačem síly, kabelem a zesilovačem IEPE



Obr. 5 USB jednotka a modul řady C (3x vstup IEPE) s převodníkem A/D

2.4 Specifické užité vlastnosti zařízení

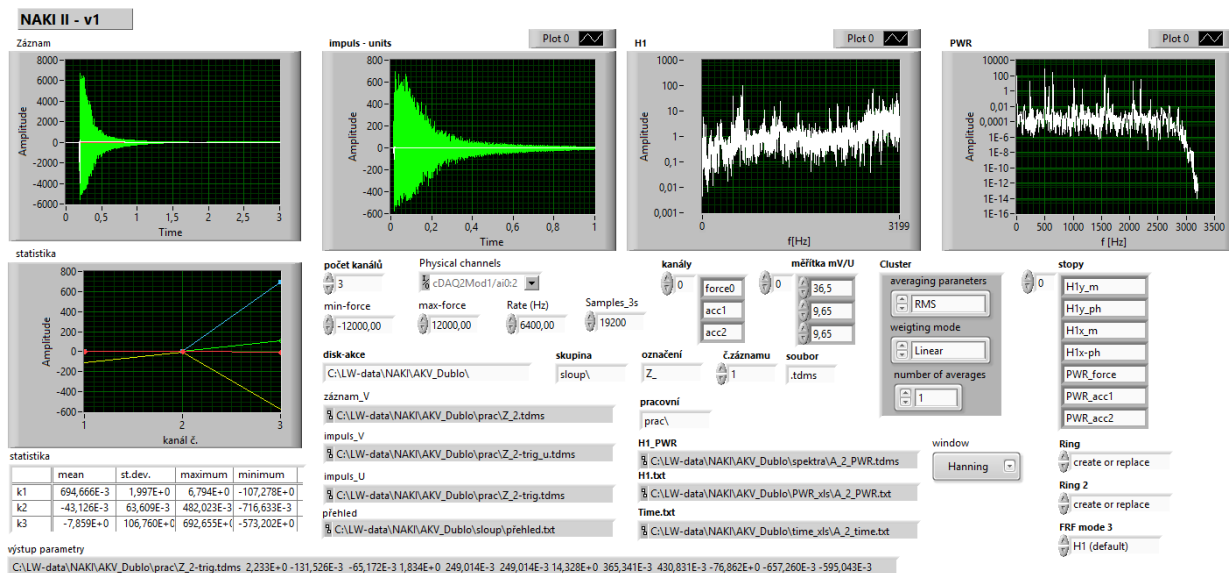
- a) Zařízení je malé a snadno přenosné.
- b) Zařízení je napájené z baterie PC přes USB.
- c) Zařízení je univerzální.
- d) Umožňuje sledování a identifikace sloupů podle modálních charakteristik.

Poznámka 1 Zkoušky cca 30 sloupů ze třech historických objektů ukazují, že modální vlastnosti sloupů stejného typu a se stejnými okrajovými podmínkami jsou podobné, ale nikdy nejsou stejné. Je to způsobeno odchylkami rozměrů při výrobě (tolerance rozměrů), odchylkami geometrie při lití, mechanickým poškozením nebo úbytkem materiálu v důsledku koroze apod.. Provedením modální analýzy je možné zafixovat aktuální vlastnosti každého sloupu (vlastní frekvence a útlum) a v budoucnu sledovat jejich případné změny.

3. Programové vybavení

Programové vybavení vychází z principů modální analýzy. Program byl vytvořen v prostředí LabVIEW firmy National Instruments (USA) a využívá jeho matematických prostředků pro výpočet autospekter, vzájemných spekter a přenosových funkcí ze záznamů impulsu síly a odezvy zkoušené konstrukce.

Pro práci s programem byl vytvořen ovládací panel (viz obr. 6), který umožňuje zadat vstupní parametry zkoušky, definuje adresáře pro ukládání dat a zobrazuje dílčí výsledky zkoušky. Z tohoto panelu se aktivuje řídicí program pro provedení zkoušky. Vlastní spuštění programu je odvozeno z impulsu síly. Záznamy časových průběhů napětí se ukládají do paměti PC a před dalším zpracováním se převádějí na záznamy měřených veličin, upravují okénky pro zmenšení šumu a následně se z nich postupně vypočtou přenosové funkce mezi budicí silou a odezvou v měřeném místě. V této fázi lze již identifikovat vlastní frekvence, vlastní tvary kmitání (pokud jsou pro daný účel potřebné) se odvozují ze souboru měření na každém sloupu.



Obr. 6 - Ovládací panel

4. Návod k použití

4.1 Příprava sloupu k měření

1. Do jednotky USB se vloží modul vstupů.
2. Volně položený sloup na pevné podlaze se podloží ocelovými podložkami tak, aby byl stabilní a jeho uložení bylo jednoznačně definováno. U stojících sloupů je třeba odstranit vše, co by mohlo ovlivňovat měřené veličiny.
3. Volba míst měření odezvy závisí na geometrii sloupu. Do zvolených míst na sloupu se upevní snímače zrychlení. Kabely snímačů se připojí na kanály č. 1 a č. 2 modulu vstupů. Doporučuje se zavést systém označování míst měření a dodržovat ho u všech zkoušených sloupů.
4. Na sloupu se označí zvolená místa poklepů klávkem. Klávkem se připraví k měření a připojí se na kanál č. 0 modulu vstupů. Doporučuje se zavést systém označování místa poklepů a dodržovat ho u všech zkoušených sloupů.

4.2 Obsluha zařízení

5. Před zkouškou je třeba na disku řídicího počítače vytvořit adresáře pro uložení záznamů a výsledků měření z dané akce. Odkazy na tyto adresáře se vloží do odpovídajících okének vstupního panelu po spuštění programu pro měření. Jde o tyto adresáře (příklad pro umístění adresáře na disku C) :

- a) C:\akce\sloup\prehled.txt
- b) C:\akce\prac\spektra\PWR_xls\A_nn_PWR.txt
- c) C:\akce\prac\ time_xls\A_nn_time.txt
- d) C:\akce\spektra\A_nn_PWR.tdms
- e) C:\akce\prac\Z_nn.tdms

„Akce“ je zkrácené označení souvisejících dat např. podle místa zkoušení – např. zde „Dublo“. Názvy adresářů lze podle potřeby změnit v zadávacím panelu. Soubor „prehled.txt“ obsahuje základní informace o všech provedených měřeních a statistický popis výsledků (číslo, střední, maximální a efektivní hodnoty všech veličin). Textové soubory „A_nn_time.txt“

a „A_nn_PWR.txt“ obsahují výsledky měření a jsou určeny pro další zpracování např. pomocí programu MS Excel. V označení souborů je „nn“ číslo měření. Soubory „A_nn_PWR.tdms“ a „Z_nn.tdms“ jsou pracovní soubory programu a slouží i jako záložní soubory.

Poznámka 2 Tento krok lze provést před měřením. Vložené informace budou po uložení programu zachovány. Před měřením se doporučuje ověřit, zda výše uvedené adresáře existují a jsou dostupné provedením kontrolního měření.

6. Modul USB se připojí kabelem k řídicímu počítači a spustí se počítač.

Po kliknutí na políčko Run na obrazovce se aktivuje program. Program se spustí poklepem kladívka na sloup po dosažení nastavené minimální velikosti síly. Při překročení maximální předpokládané síly je měření chybné a musí se opakovat. Pokud je indikováno klepnutí po odrazu kladívka (dvojitě klepnutí), projeví se to na výsledcích zkoušky a je doporučeno měření opakovat. Tyto skutečnosti jsou zjevné na grafech na obrazovce i později po vytvoření grafů z uložených dat.

7. Doporučuje se vést záznam o provedených měřeních pro každý sloup odděleně a chybně provedené poklepy v něm označit. Zjednoduší to vyhodnocování zkoušky.

8. Zkoušku je možné kdykoliv přerušit nebo zastavit a později v ní pokračovat. Před zahájením dalších zkoušek je nutné zkontrolovat, zda číslo nového záznamu odpovídá zápisu o zkoušce.

9. Záznamy měřených veličin i výsledky jejich vyhodnocení lze snadno převést do programu MS EXCEL a vytvořit z nich tabulky nebo grafy pro další zpracování nebo výstupy.

4.3 Specifické problémy při použití zařízení při zkouškách sloupů

a) Okrajové podmínky při zkouškách demontovaných sloupů.

Poznámka 3 Demontované sloupy jsou zpravidla různým způsobem položeny na dřevěných trámech nebo hranolech. Pro potřebu modální analýzy je třeba sloupy podepřít tak, aby okrajové podmínky byly jednoznačné a dobře reprodukovatelné. Podložky by měly být ocelové a vzdálenost podpor by měla být co největší. Provedení podpor závisí na tvaru sloupů v místě dočasných podpor (plocha, válec, hrana).

b) Upevnění snímačů na sloupy.

Poznámka 4 Vnější povrchy sloupů jsou zpravidla neobrobené a vykazují značné geometrické odchylky od ideálního tvaru. Z tohoto důvodu je vhodnější nalepit na konstrukci malé terčiky se závitem a snímače na ně našroubovat. Pokud je povrch sloupu kvalitní, lze snímač upnout také pomocí magnetu – viz obr. 3.

Příloha P

P.1 Zkoušky sloupů v areálu Císařských lázní v Karlových Varech (2016)



Obr. 7 Měřené sloupy – pracovní označení A (krátký) a B (dlouhý)



Obr. 8 Měřené sloupy nahoře i dole (vetknutý a zatížený) – pracovní označení C (zabudované)



Obr. 9 Zabudovaný sloup dole vetknutý – pracovní označení D

P.2 Zkoušky sloupů z altánu Šlechtovy restaurace v areálu PRe v Praze Kobylisích (2018)



Obr. 10 Sloupy připravené ke zkoušce v areálu PRe



Obr. 11 Sloup připravený ke zkoušce. Vpravo podepřen ocelovým válcem.

P.3 Zkoušky sloupů z Horního nádraží v Karlových Varech v areálu firmy OK-BE v Dublovicích



Obr. 12 První skupina zkoušených sloupů



Obr. 13 Druhá skupina zkoušených sloupů



Obr. 14 Třetí skupina zkoušených sloupů



Obr. 15 Detail podpory sloupu



Obr. 16 Umístění snímačů na sloupu