Experimentální Analýza Napětí 2007

DYNAMIC PROPERTIES OF PARTICULATE COMPOSITE MATERIALS

DYNAMICKÉ VLASTNOSTI ČÁSTICOVÝCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Josef Formánek[1]

Abstract: *When conducting experimental dynamic analysis of a new composites materials - polymer concrete with the aid of diagnostic measuring software, the required data and characteristics of the studied material can be very accurately obtained. The information obtained- natural frequencies, damping, materials and the resulting damping coefficient - is the most important data for a given material. The measurement is carried out in a real model with real apparatus and with all external factors taken into account, e.g. imperfect fastening, faults in the material, imprecision of form, etc.*

Keywords: *polymer concrete, natural frequencies, damping coefficient*

1. Úvod

Polymerbeton je moderní kompositní materiál (viz obr. 1.) skládající se z vytvrditelné organické matrice a anorganického plniva. Zhotovování výrobků z tohoto materiálu se provádí odléváním do klasických forem (podobného uspořádání jako pro odlévání litinových dílů), které jsou z důvodů lepšího a vyššího zhutnění směsi umístěny na vibračních stolech. Během vytvrzování probíhá exotermická reakce, při níž dochází k ohřevu odlitku maximálně na teplotu 55 °C. Odlévání probíhá za pokojové teploty. Polymerbeton je označován v zahraniční literatuře jako Mineralguss, Reaktionsharzbeton, polymer concrete, či mineral casting.

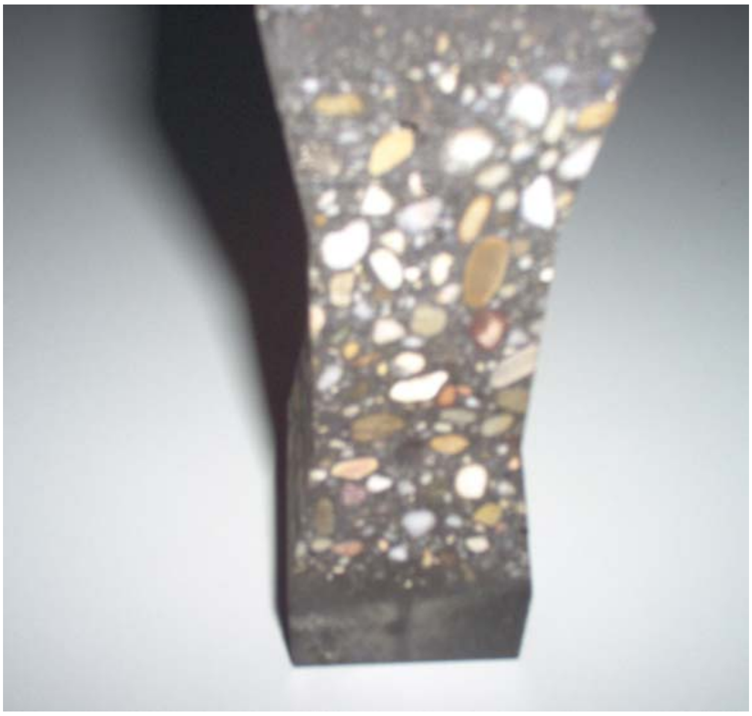
Plnivo tvoří přibližně 80 % celkového objemu. Používají se přírodní nebo umělé materiály různé zrnitosti. Mezi plnivem a matricí nesmí docházet k žádné chemické reakci. Jako plnivo se používají převážně minerální materiály jako jsou žula, křemenec, basalt, živec, čedič, které svými vlastnostmi ovlivňují výsledné materiálové charakteristiky kompozitu. Jako příměsi plniva lze použít moučky (filery) kameniva, drobné částice kovů a skel, v množství, které nesmí nepříznivě ovlivnit vlastnosti daného polymerbetonu. K vytvoření odlitku s dobrými technickými parametry je třeba kompaktní struktura s co možná nejhrubšími zrny. Vzniklé dutiny jsou vyplněny jemnějšími částicemi a pojivem. Maximální velikost zrn plniva je ovlivněna rozměrem a tvarem odlitku.

Matrice bývá dvou komponentní a skládá se z pryskyřice a tvrdidla. Nejčastěji používaná pryskyřice je epoxid. Epoxidová pryskyřice se oproti metacrylátové a nenasycené polyesterové pryskyřici vyznačuje menším objemovým smrštěním a delší dobou zpracovatelnosti. Materiály s těmito pryskyřičnými matricemi nejsou vhodné do provozů s teplotou vyšší než cca 80 °C. [4]

---

[1] Ing. Josef Formánek, Ph.D., ZČU v Plzni, FST, Katedra konstruování strojů, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, tel.: +420 377638265, e-mail: formanek@kks.zcu.cz

Zjištění potřebných hodnot o kompozitním materiálu – polymerbetonu (viz obr. 1) pomocí experimentálního měření je výhodné v tom, že lze změřit požadované hodnoty na reálném vzorku nebo již zhotoveném výrobku. Toto měření je nedestruktivní a lze jím zjišťovat jak samotné vlastnosti měřeného objektu, tak i různé kombinace materiálových spojení navrhovaných konstrukcí, apod. Takto experimentálně získané a matematicky určené hodnoty lze pak využít pro další výpočtové modely v 3D CAD systémech. Takto zjištěné hodnoty vlastností (rezonanční oblasti, vlastní tlumení materiálu, atd.) zadané do CAD systému, lze pak využívat pro další kombinace materiálů při hledání potřebných vlastností v návrhu nových konstrukcí součásti, komponent nebo celkového zařízení. Tohoto přenosu informaci o materiálu (transferu znalostí o materiálu) do CAD systémů umožní dalším konstruktérům již přímo vytvářet výrobky, simulačně je testovat nebo výpočetně kontrolovat pomocí metody MKP v pracovní stanici s používaným CAD systémem.



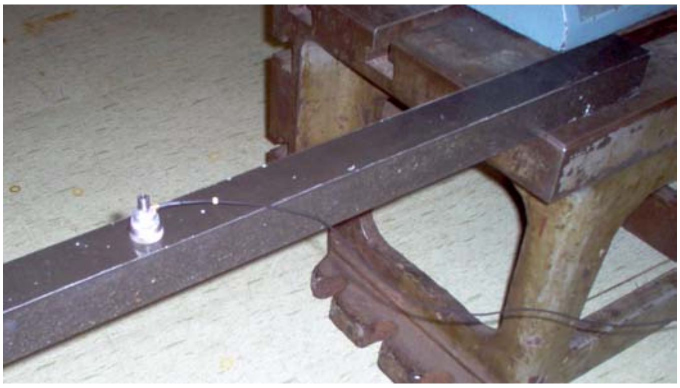
Obr. 1. Materiálová struktura částicového kompozitu - polymerbetonu

2. Experimentální analýza vlastností

Analýza je provedena na vzorku z materiálu polymerbeton (Obr. 2.) čtvercového průřezu o rozměrech 40mm x 40mm a délky 1110mm. Tento vzorek se skládá z vytvrditelné organické matrice a anorganického plniva o zrnitosti do 6mm. Výsledné hodnoty vlastních frekvencí, matematického určení vlastního tlumení a komplexního modulu pružnosti jsou získány pomocí experimentálního měření na tomto vzorku kompozitového materiálu.

2.1 Zjištění spektra efektivních hodnot pro daný vzorek

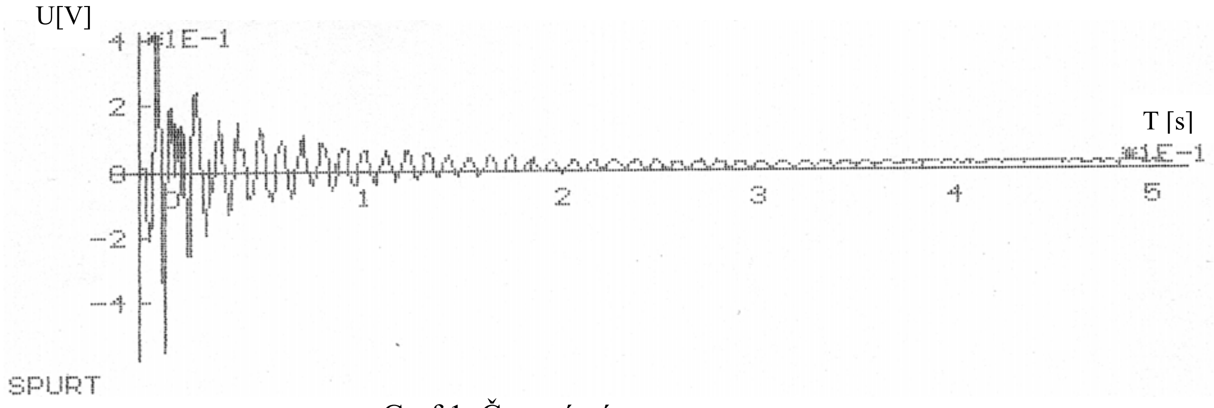
Měření bylo provedeno v laboratorních podmínkách (Obr. 3) s pomocí měřícího systému SPURT. Časový záznam (Graf. 1) a spektrum efektivních hodnot (Graf. 2) vybuzeného rázovým kladívkem ve frekvenční oblasti 0 Hz až 3 kHz vykreslený měřícím programem SPURT.



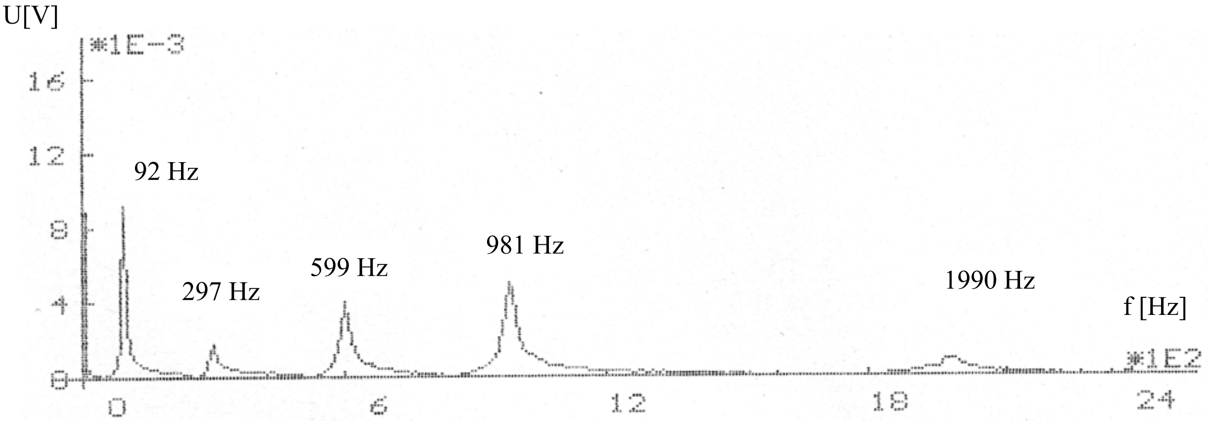
Obr. 2 Testovaný vzorek z polymerbetonu

Obr. 3 Celkový pohled na měřicí přístroje

Časový záznam a spektrum efektivních hodnot pro částicový kompozit - polymerbeton.



Graf 1. Časový záznam



Graf 2. Spektrum efektivních hodnot

Vyčtené hodnoty vlastních frekvencí pro daný vzorek polymerbetonu jsou uvedeny v tab. 1.

Vlastní frekvence	Částicový kompozit
První	92 Hz
Druhá	297 Hz
Třetí	599 Hz

Tab. 1. Hodnoty vlastních frekvencí částicového kompozitu

2.2 Určení koeficientu tlumení pro kompozitní materiál - polymerbeton

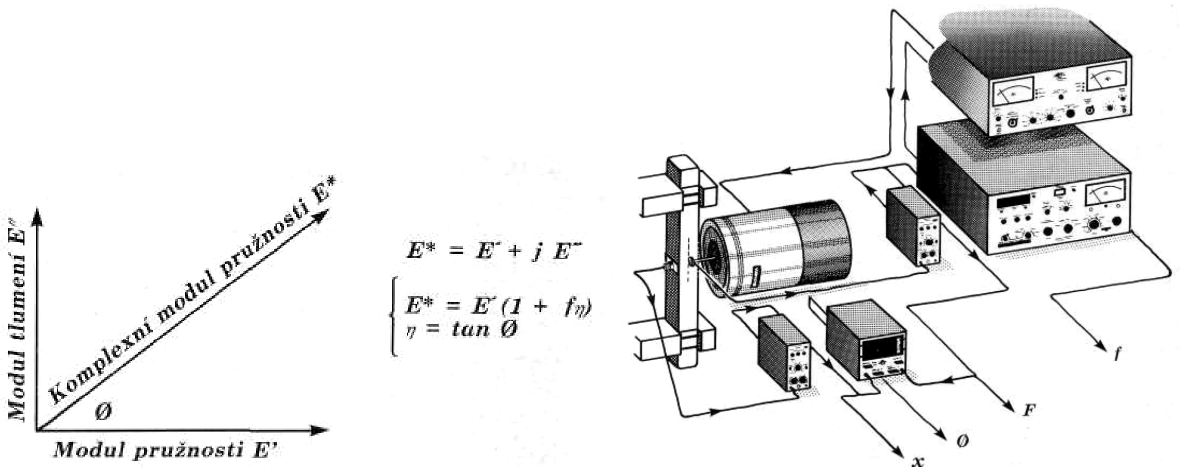
Z grafu časového záznamu (Graf. 1) a z grafu spektra efektivních hodnot (Graf. 2) byl matematicky určen koeficient vlastního materiálového tlumení pro dané frekvence. Hodnota matematicky vypočteného materiálového tlumení testovaného vzorku polymerbetonu je 2,601% (0,02601) v provedeném experimentálním měření. Hodnoty materiálového tlumení udávaný výrobci se pohybuje od 2 % do 3 % (0,02 až 0,03) [4] viz tabulka 2.

2.3 Určení komplexního modulu pružnosti

Modul pružnosti je podle definice určen poměrem mechanického napětí k poměrné deformaci. Hodnoty statického modulu pružnosti nezahrnují ztráty působené vnitřním tlumením. Použití statického modulu pružnosti v oblasti mechanické dynamiky vede k porušení náležitých fázových vztahů mezi napětími a deformacemi. U materiálů s nezanedbatelným vnitřním tlumením, například u plastických hmot, asfaltu, betonu a jiných viskoelastických materiálů, je nutno brát v úvahu jejich komplexní modul pružnosti.

Při určování komplexního modulu pružnosti (obr. 4.) se zkoumaný objekt (například vzorek materiálu) budí konstantní silou a měří se výchylka mechanického kmitání a fázový úhel mezi signály, úměrnými síle a výchylce.

Experimentálně zjištěný a matematicky určený modul pružnosti E pro daný testovaný vzorek byl 37.450 N/mm^3 cca 37 kN/mm^3. Hodnoty modul pružnosti E udávaný výrobci se pohybuje od 35 kN/mm^3 do 45 kN/mm^3 [4] viz tabulka 2.



Obr. 4. Celkové uspořádání pro měření komplexního modulu pružnosti

5. Závěr

Využívání těchto nových druhů kompozitních materiálů (polymerbetonu) je převážně jako „výplň“ konstrukčních prvků výrobních strojů a zařízení pro své specifické vlastnosti. Polymerbeton má velice vysokou statickou i dynamickou tuhost a s tím související velmi vysokou schopnost tlumení rázů a to až 6-10x rychleji než dnes používaná šedá litina, což má za následek vyšší životnost nástrojů o 20-30 % a vyšší kvalitu obráběné plochy. Dále pak má tento druh materiálu nízkou teplotní vodivost, vysokou tepelná kapacitu, to znamená, že téměř na ně nereaguje při krátkodobé nebo rychlé změně teploty, čímž se též zvyšuje důležitá přesnost obráběných dílů. Další vlastnosti jsou např. odolnost proti korozi a odolnost proti abrazivním a agresivním mediím, jinak řečeno chemická stálost při použití obvyklých chladících a mazacích medií. Z konstrukčního hlediska je polymerbeton velice variabilní, to je dáno technologií „odlévání“ do prostorů, které vyplní bez přídavné tepelné reakce a tím ovlivnění těchto vnějších zařízení. Dále tato technologie umožňuje snadnou integraci dalších potřebných částí, jako jsou např. apod. Další možností je spojení nebo oprava dílů pomocí lepení. Díky minimálnímu smrštění a rozměrové přesnosti odpadá v mnohých případech dodatečné obrábění k dosažení požadovaných tolerancí. Dále je též nutné zmínit při dosloužení stroje o likvidaci nebo spíše recyklaci použitých materiálů a to u polymerbetonu jde o jeho rozdrcení a tím možnost dalšího zpracování nebo využití jako stavební materiál pro základy nových strojů nebo zařízení.

Využití tohoto novodobého materiálu je v široké paletě výrobků které zahrnují díly o hmotnosti několika kilogramů až několika tun. V současné době jsou z polymerbetonu převážně vyráběny podstavce pro obráběcí a měřící stroje, které se využívají ve strojírenském, elektrotechnickém, potravinářském a chemickém průmyslu.

Proto je velmi důležité při používání CAD systémů umožňujících navrhování součásti, komponent nebo celkového zařízení zadávat pokud možno co nejvěrohodnější počáteční podmínky pro výpočtovou kontrolu pevnosti, výpočet vlastních frekvencí nebo potřebných dalších hodnot. Z tohoto porovnání se jeví jako nelepší varianta využít možnosti experimentálního nebo diagnostického měření jak na modelech, prototypech nebo již zhotovených zařízeních, tak nových součástí nebo zařízení z kompozitových materiálů. Tohoto postupu a následného transferu znalostí o materiálu do databázového systému lze využit i pro další potřebné kombinace materiálů a konstrukčních prvků pro jiné využití.

Celkové zhodnocení některých důležitých veličin je uvedeno v následující tabulce 2.

Název a jednotky		**BETON**	**POLYMERBETON**	**ŠEDÁ LITINA**	**OCEL**
hustota	kg/dm^3	2,5	2,3	7,15	7,85
E-modul	kN/mm^3	35 - 45	30 - 40	80 - 140	210
pevnost v tahu	N/mm^2	0,8 - 5	10 - 15	150 - 400	400 - 1600
pevnost v tlaku	N/mm^2	10 - 35	110 - 125	600 - 1000	250 - 1200
pevnost v tahu při ohybu	N/mm^2	0,8 - 5	25 - 35	250 - 490	-
tlumení - log. dekrement	-	-	0,02 - 0,03	0,003	0,002
tepelná vodivost	W/mK	1,28 - 1,54	1,3 - 2	50	50
specifická tepelná kapacita	kJ/kgK	-	1	0,5	0,5
koeficient teplotní roztažnosti	K^{-1}	-	14 - 16	11	12

Tab.2. Hodnoty a porovnání různých druhů materiálů

V tomto experimentálním měření bylo prokázáno, že lze pomocí měřicích metod zjišťovat vlastnosti nově využívaných kompozitních materiálů a následně tyto vlastnosti aplikovat při konstrukci strojních zařízení. Využívání moderních kompozitních materiálů – polymerbetony v konstrukcích strojírenských zařízení je výhodné v tom, že tyto materiály mají mnohem lepší útlum při rázech, respektive při eliminaci tvrdších rázů a následného šíření do ostatních částí stroje, zařízení nebo obslužných pracovišť.

Výsledné hodnoty měření (experimentálně naměřené vlastní frekvence, určení koeficientu tlumení a komplexního modulu pružnosti v tomto příkladu) budou úspěšně využity jako vstupní informace při konstrukci zařízení částí kolejových vozidel pomocí CAD systému a budou též zaneseny do databáze materiálů s využitím pro tvorbu nových konstrukčních variant.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory interního grantu Fakulty strojní, ZČU v Plzni na téma: „Optimalizace konstrukce strojů za pomoci virtuálního modelování, virtuálního měření a jeho verifikace měřením na skutečném díle.“

Literatura

[1] Formánek, J.: *Experimental Analyses of Dynamic Materials Properties.* ATDC 2005 – Advanced Technologies for Developing Countries, 4. DAAAM International Conference, Slavonski Brod, Croatia, 2005, p.509-512, ISBN 935-6048-29-9, ISBN 3-901509-49-6 (DAAAM International).

[2] Formánek, J.: *Experimental determination of dynamic properties of sandwich structure materials.* CADAM 2006 - 4th International conference on computer aided design and manufacturing, Supetar - Croatia. — Rijeka, 2006, ISBN 953-7142-19-1

[3] Brűel&Kjær: *Vibrační analýza.* DK-2850, Naerum, Denmark, 1984

[4] Wikipedie, otevřené encyklopedie, http://cs.wikipedia.org/wiki/Polymerbeton

[5] Software: SPURT, LabVIEW, I-DEAS