

Oponentský posudek bakalářské práce

Autor bakalářské práce: Lukáš Paur

Název práce: Zjednodušený strukturní model pěnového materiálu

Oponent: Ing. Petr Šulc, Ph.D., Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8

Předložená bakalářská práce o 107 stranách a 2 přílohách se zabývá popisem mechanických vlastností polyuretanové pěny jako visko-elastického materiálu. Tento popis je realizován pomocí reologického přístupu, který vyjadřuje mechanické vlastnosti pěnového materiálu s rozložením do jednotlivých buněk, kde se každá strukturní buňka skládá z kombinace tlumičů a pružin.

Cílem této práce je popis některých důležitých mechanických vlastností pěnového materiálu pro různé druhy zatěžovacích režimů.

Kapitola 1 seznamuje s polyuretanovými materiály, jejich složením, vlastnostmi a využitím.

Kapitola 2 se zabývá popisem struktury polyuretanového materiálu, a to nejen z pohledu chemického, ale především strukturního, s využitím citované literatury. Struktura je realizována jako soubor zjednodušených stavebních buněk, tvořící nosnou část ve formě nosníků nebo podpěr dané pěnové struktury s nahrazením meziprostoru pomocí koule. Tyto buňky jsou většinou velmi rozměrově nepravidelné. Autor popisuje využití statistického rozdělení pravděpodobnosti pro možné generování hodnot náhodných veličin, které popisují náhodně rozložené parametry modelu a simulují dané mechanické chování z pohledu silové odezvy při deformaci, a to i z hlediska nepravidelnosti vnitřní struktury a vlivu na tuto odezvu.

V kapitole 3 jsou popsány mechanické vlastnosti pěnového materiálu s typickými fázemi zatížení, kterými jsou borcení vnitřní struktury, plateau fáze a zhušťovací fáze. Dále je zde popsán heterogenní charakter deformace vnitřní struktury. Obě tyto kapitoly jsou rešeršního charakteru s řádným citováním literatury.

Kapitola 4 je z pohledu naplnění celé práce stěžejní. Autor uvažuje buzení jako kinematické buzení základny a testuje dva režimy buzení, a to za a) kvazistatický, kde uvažována funkce buzení je lineární funkcí času pro co nejnižší rychlost deformace, za b) dynamický, kde je buzení realizováno harmonickou a trojúhelníkovou funkcí. V další části této kapitoly je navržen strukturní model s paralelním řazením jednotlivých buněk, které jsou realizovány pomocí Kelvin-Voightova modelu. V modelu je uvažovaná vratná síla jako součet síly z první fáze zatížení, která je exponenciální funkcí, a síly z druhé a třetí fáze zatížení (plateau a zhušťovací), jako funkce polytropické závislosti. Vratná síla je v Kelvin-Voightově modelu charakterizována pružinou. Tyto funkční závislosti jsou získány z disertační práce školitele. Tlumící síla je vyjádřena lineární závislostí. Pro sestavení pohybových rovnic je použita silová rovnováha mezi jednotlivými buňkami. Autor tento vybraný model nejdříve testoval pro 4 buňky, a tedy 3 neznámé posuvy, čímž získal soustavu o 3 rovnicích, kterou převedl do maticového tvaru a řešil pomocí matlabovského řešiče soustav diferenciálních rovnic. Tato soustava rovnic je poté zobecněna pro libovolný počet buněk. Tuto rovnici autor řešil pro

jednotlivé dříve popsané budicí režimy a volené hodnoty pro výpočet parametrů náhodným rozdělením. Výstupem pro kvazistatický režim jsou časová závislost výchylky a závislost vratné síly na výchylce pro první buňku. V časové závislosti je ukázán vliv jednotlivých složek sil - vratné a tlumící, na celkovou sílu buňky. Je sestaven histogram relativních četností poměrných deformací buněk. Pro kvazistatický režim uvažuje autor vliv ztráty stability. Pro dynamický režim jsou zásadní výsledky závislosti tlumící a celkové síly na výchylce (hysterezní smyčky) a časová závislost celkové síly buňky.

V kapitole 5 je vypočtena práce tlumící síly pro harmonickou a trojúhelníkovou budicí funkci a je vyjádřena závislost této tlumící práce na budicí frekvenci pro těchto 12 hodnot budicích frekvencí od 0.1 do 10 Hz, a to pro oba typy dynamické budicí funkce. Harmonické buzení vykazuje, na rozdíl od buzení trojúhelníkového, skoro lineární průběh.

Kapitole 6 jsou porovnány hysterezní smyčky ze zde navrženého modelu s experimentálními hysterezními smyčkami reálné polyuretanové pěny naměřené školitelem, které jsou prezentované v jeho disertační práci. Z tohoto porovnání autor dochází k úvaze, že lineární závislost ve vztahu pro tlumící sílu je nedostatečná.

V kapitole 7 je uvažováno zlepšení chování modelu tím, že je s využitím citované literatury zavedena nelineární tlumící síla. V této kapitole je však pouze sestavena soustava pohybových rovnic pro případ nelineární tlumící síly. Absentuje tak samotné řešení této soustavy, potažmo nelineární tlumící síly.

V závěru práce autor zhodnocuje výsledky své práce a zamýšlí se, proč nedošlo k lepší shodě s převzatými experimentálními výsledky. Navrhuje též další přístup k zlepšení jeho výsledků.

Hodnocení bakalářské práce:

Obsahově je tato práce přehledně řešena a řeší vytyčené zadání. Po úvodu práce se autor v kapitolách 2 a 3 zabývá cílenou rešerší. Vlastní práce autora je pojata v kapitolách 4 až 8. Přílohy jsou dvě, a to strukturální model polyuretanové pěny školitele prezentované v jeho disertační práci a zdrojové programy. Svým rozsahem patří tato bakalářská práce spíše k práci magisterské. Jediná má výtka směřuje vůči obsahu kapitoly 7, která je, dle mého názoru, redundantní, neboť přináší pouze návrh nelineární tlumící síly z citované literatury, sice s novým sestavením soustavy silových pohybových rovnic, avšak bez získání řešení této soustavy a potažmo též nové tlumící síly, a nemá tudíž žádný přínos. Nadto je návrh nelineární tlumící síly správně diskutován v závěru práce.

Úroveň technického provedení je dobrá. Písemný projev je smysluplný, s občasnými překlepy, které však neruší čtení textu. Výhradu mám k popisování obrázků, a to napříč celou prací. Pokud je více obrázků v jednom, jsou obrázky nepřehledné, neboť autor označuje číslem jak soubor více obrázků (viz str. 15, *Obrázek 2.4:*), tak obrázky jednotlivé (viz str. 15, *Obrázek 2.2:*, *Obrázek 2.3:*), což budí dojem, že buď jeden obrázek chybí, nebo jsou dva obrázky navíc. Domnívám se, že soubor obrázků by měl vždy být popsán jako celek jedním číslem, ať již obsahuje jakýkoliv počet obrázků. Pro přehlednost by jednotlivé obrázky souboru měly být značeny písmeny, tj. číslo obrázku, za ním a), b) apod. Nadto je v obr. 4.24 a obr. 4.25 uveden

shodný popis grafu a v obr. 4.17 se popis grafu neshoduje s grafem samotným. Jako podstatný nedostatek však vnímám skutečnost, že hodnoty na jednotlivých osách grafů jsou popsány velmi malými, takřka nečitelnými písmeny.

Další mé výhrady směřují vůči tomu, že v silových soustavách rovnic 4.20, 4.23, 7.4 a 7.8 nejsou členy $F_{Vi}(z(t) - x_i)$ pro $i = 1, 2, \dots, n$ silami, ale jsou to mechanické práce těchto sil. Na obranu autora musím říci, že v maticové podobě jsou rovnice zapsány správně. Dle mého názoru by autor měl zdůraznit fungování rovnic v cyklu, kde v prvním kroku vstupují do silové soustavy rovnice síly F_{Vi} z dříve vyjádřených vztahů sil a počátečních podmínek, v dalším kroku se do rovnic sil F_{Vi} vrací vyřešené výchylky z této soustavy rovnic a tak dále. Autor rovněž měl do výše zmíněné soustavy rovnic zapsat jen označení síly F_{Vi} a připsat do této soustavy rovnic vztahy pro vyjádření síly F_{Vi} . Tyto mé připomínky nicméně nesnižují úroveň práce, ale měly by být zpětnou vazbou pro autora.

Řešení přináší cenné poznatky z oblasti mechanických vlastností polyuretanových materiálů, které mohou být uplatněny v praxi, protože tento materiál má široké průmyslové použití (čalounění sedaček automobilů, nábytkářství, biomedicína a podobně).

Předložená bakalářská práce splňuje cíle zadání i požadavky na udělení akademického titulu bakalář uchazeči v případě úspěšné obhajoby.

Navrhuji pro tuto bakalářskou práci známku

výborně

V Praze dne 3. 8. 2016

Ing. Petr Šulc, Ph.D.

