

Ing. Patrik Zima, Ph.D.
Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i.
Dolejškova 1402/5
182 00 Praha 8

Posudek diplomové práce Bc. Jaroslava Kodeše „Diagnostika vzniku kavitace v hydraulickém tlumiči“ na fakultě strojní Technické univerzity v Liberci

- 1) Shrnutí a zhodnocení obsahu
- 2) Přínos práce a hodnocení
- 3) Otázky
- 4) Příloha 1: Připomínky k formální stránce práce
- 5) Příloha 2: Doporučení k formální stránce práce

1 SHRnutí A ZHODNOCENí OBSAHU

Práce si klade za cíl experimentálně diagnostikovat kavitaci za škrticím prvkem modelu automobilového hydraulického tlumiče v hydraulické komoře, ověřit výskyt kavitace numerickými prostředky, popsat základní druhy a funkce hydraulických tlumičů a provést rešerši technik detekce kavitace.

V úvodu a části 2 student shrnuje druhy, princip a použití tlumičů používaných v automobilovém průmyslu. Poté definuje místa vzniku kavitace na konkrétním typu hydraulického dvouplášťového teleskopického tlumiče. Přestože přechod od různých druhů tlumičů k jedinému vybranému typu není zdůvodněn, hodnotím přehled jako adekvátní stanoveným cílům.

Část 3 popisuje podstatu kavitace. Vznik kavitace je přisouzen nárůstu kavitačních jader, která jsou v kapalině vždy přítomná v podobě nerozpuštěného plynu zachyceného na nečistotách nebo v nerovnostech povrchu nádoby. Ačkoliv je tento „heterogenní“ mechanismus vzniku kavitačních bublin v hydraulickém tlumiči pravděpodobný, bylo by vhodnější popsat kavitaci nejprve obecně (viz otázka níže) a až poté přejít ke konkrétnímu mechanismu očekávanému v tlumiči. V části 3.7 je stručně zhodnocen vliv kavitace na činnost tlumiče. Zmíněno je riziko eroze škrticího prvku a spalování oleje. Tyto jevy ale nemají souvislost s prodlevou, která je v úvodu práce zmíněna jako hlavní problém tlumičů a kvůli které se kavitace v tlumičích studuje. Rešeršní část se nevěnuje aktuálnímu stavu řešené problematiky v literatuře a obsahuje četné faktické i formální nedostatky (viz příloha 1). Rešeršní část práce věnovanou podstatě kavitačního děje hodnotím jako nedůslednou a neúplnou a není z ní zřejmé, zda student pochopil podstatné aspekty studovaného děje.

Část 4 uvádí přehled optických a akustických metod diagnostiky kavitace. Principy optických metod jsou popsány letmo a neuceleně. Dle textu metoda PIV „spočívá v zavedení částic do proudu tekutiny a následném vyhodnocení změny jejich pohybu“. Není zmíněno, že těmito částicemi jsou samotné bubliny a případné zavedení dalších částic má jen podpůrný význam. Jako další optická metoda je uvedena metoda „vysokorychlostní kamera“, která ale v úvodním dělení metod není. Přehled akustických metod se omezuje na jejich vybrané aspekty. Popis metody ABS není úplný, přestože je klíčovým nástrojem studenta v experimentu, a nezasvěcenému čtenáři neposkytuje všechny informace k pochopení fyzikální podstaty metody. Obrazovky softwaru převzaté z webu výrobce spektrometru ABS by bylo vhodnější nahradit podrobnějším popisem principu metody. Rovnice a v nich použité veličiny nejsou vysvětleny ani citovány. Student dostatečně nevysvětluje důvody výběru metod použitých dále v práci k řešení zadaného problému. Část 4 hodnotím jako příliš stručnou vzhledem k tomu, že by měla vysvětlit fyzikální podstatu metody použité k diagnostice studovaného jevu.

Část 5 popisuje experimentální zařízení k diagnostice kavitace. V popisu chybí informace o snímačích použitých pro měření tlaku a teploty. Schéma experimentu neobsahuje popisky jednotlivých částí zařízení, např. měřící komory a její vysokotlaké a nízkotlaké části. Naopak značný prostor je věnován fotografiím zařízení a laboratoře. Část 5 není úplná, obsahuje však důležité informace v uspokojivé podobě.

Část 6 se věnuje hydraulickému oleji. Uvádí se, že přísady ovlivňují vlastnosti oleje (hustotu, viskozitu, stlačitelnost, teplotní roztažnost, měrnou „teplotní“ kapacitu, povrchové napětí) a že tyto vlastnosti mohou „zmírnit vznik kavitace“. Bylo by vhodné upřesnit, které z těchto vlastností mohou mít měřitelný vliv na vznik

kavitace. Bylo by také vhodné věnovat více pozornosti pojům, jako je měrná kapacita, která je správně „tepelná“, nikoliv „teplotní“, protože látka akumuluje teplo, nikoliv teplotu.

Část 7 a Závěr se věnují vyhodnocení měření. Výsledky nejsou srozumitelně vysvětleny. Nejsou například definovány pojmy „maximální počet bublin“ a „průměrný počet bublin“ použité na obrázcích 7.4 a 7.5. Z popisu obr. 7.2 např. nevyplývá, jak měření probíhalo, zda vycházelo ze zvolených počátečních teplot oleje apod. Nepracuje se s hodnotami teploty, ale s horní hranicí teploty (do 25 °C, do 30 °C, do 35 °C), smysl této hranice však není vysvětlen. Ani vysvětlení v Závěru k pochopení nepřispívá. Nevhodně zvolené jsou popisky obrázků, např. obr. 7.3: „Závislost rozdílů tlaků na čase $t=14$ [sec] do 35 [°C]“. V úvodu části 7 student uvádí, že zařízení v dané konfiguraci měří pouze poloměry 25 a 35 mikronů a že probíhá úprava zařízení tak, aby bylo možno měřit větší rozsah poloměrů. Podle očekávání pak obr. 7.4 a 7.5 uvádějí výsledky jen pro tyto 2 poloměry. Překvapivě však obrázek 7.6 prezentuje výsledky pro 4 poloměry vč. 45 a 55 mikronů a v přílohách jsou pak výsledky pro mnohem vyšší počet poloměrů. Skutečnost, že měření nakonec proběhlo pro celou škálu poloměrů, není v textu diskutována.

Interpretace obr. 7.6 je chybná. Student uvádí, že počet bublin od poloměru 45 mikronů stoupá do teploty 30 °C. Ve skutečnosti do této teploty stoupá počet bublin o poloměru 25, 35 a 45 mikronů, čili do poloměru 45 mikronů. Dále je zmíněno, že počet bublin od poloměru 45 mikronů nad teplotou 30 °C klesá. Ve skutečnosti je klesající trend nad teplotou 30 °C patrný pouze u poloměru 45 mikronů, zbylé poloměry stoupají nebo stagnují. Není diskutováno, co z těchto trendů vyplývá.

Popis numerické části práce je neucelený. Není uvedeno, jaké konkrétní okrajové podmínky byly k výpočtu použity, pouze že byly stejné jako v experimentu. Není tedy zřejmé, jaký byl průtok či zda byl uvažován přenos tepla. Byl použit vícefázový model softwaru ANSYS-Fluent, konkrétně Schnerr-Sauer. Použitý model však není ocitován ani vysvětlen rovnicemi či alespoň slovně. Není zmíněno, jaké počáteční parametry byly k výpočtu použity – tj. hustota plynné fáze (vzduch, či pára?), objemový podíl plynu (páry) na vstupu do výpočetní domény. Není vysvětleno, co znamenají procenta na obr. 7.10. Objemový podíl plynu (páry)? Není diskutováno, jaký vztah mají výsledky výpočtu k výsledkům experimentu s ohledem na skutečnost, že výpočet uvažuje nejspíše homogenní model, přestože skutečnost obsahuje diskrétní bubliny. Ačkoliv je použitý numerický model přiměřený možnostem studenta, výsledky jsou předloženy bez další diskuse.

Závěr práce obsahuje shrnutí, nikoliv však hodnocení výsledků. Výsledky nejsou zasazeny do širšího kontextu (souvislost s prodlevou, příp. s dalším probíhajícím výzkumem). V hodnocení se bubliny vždy považují za plynové, není ale například diskutován obsah rozpuštěného plynu v oleji a není diskutována možnost, že by bubliny mohly být parní a vznikaly lokálním poklesem tlaku pod tlak nasycených par.

2 PŘÍNOS PRÁCE A HODNOCENÍ

Přínos práce spočívá ve zprovoznění experimentálního zařízení, potvrzení vzniku kavitace za škrticím prvkem v modelu hydraulického tlumiče pomocí kvalitativního optického pozorování a kvantitativního měření počtu a velikosti kavitačních bublin akustickým spektrometrem. Dále práce pomáhá numerickou cestou identifikovat pravděpodobné místo vzniku kavitace a kvantifikuje vliv zaoblení hrany škrticího prvku na velikost kavitační oblasti.

Smyslem diplomové práce na univerzitě je prokázat, že student si osvojil postupy vědecké práce, že je schopen zorientovat se v aktuálním stavu řešené problematiky, pochopit podstatu studovaného problému, zdůvodnit volbu metod použitých k řešení problému, kriticky zhodnotit získané výsledky, zasadit je do širšího kontextu a vyvodit závěry pro případné další pokračování výzkumu.

Student prokázal schopnost připravit a realizovat experiment metodami doporučenými v zadání práce. Dále prokázal schopnost realizovat výpočty ve softwaru ANSYS-Fluent. Bohužel rešeršní část práce je zpracována povrchně, nepokouší se jít do hloubky ani naznačit aktuální stav řešené problematiky a obsahuje nedostatky zmíněné výše. Volba použitých metod není dostatečně zdůvodněna. Popis použitých metod je neucelený. Výsledky nejsou kriticky zhodnoceny, jsou spíše jen stručně shrnuty až v samém závěru. Text je maximálně roztažený a řídký, obsahuje mnoho zbytečných obrázků, které zabírají prostor, který mohl být využit k lepší rešerši, popisu metod a zhodnocení výsledků. Práce obsahuje četné přílohy s experimentálními a numerickými výsledky, které však nejsou v textu ani odkazovány ani nejsou nijak zhodnoceny či diskutovány. Přílohy používají pojmy (objemový podíl, obsah plynné fáze apod.), které nejsou v textu definovány.

Problematická je práce s citacemi. V práci je použito 9 odkazů na zdroj 19 (vyhledávač Google) a 4 odkazy na zdroj 18 (Wikipedia). Dovolil bych si připomenout, že Google není zdroj informací, nemůže být tudíž citován. Wikipedia zase není typem zdroje informací, který by byl vhodný pro rešeršní práci, protože informace v ní nejsou ani původní, ani recenzované. Za problematické považuji také přejímání obrázků s anglickými popisky z internetu, aniž by v českém popisu obrázku došlo k jejich popisu. Právě nekvalitní práce s informačními zdroji se zdá být v pozadí nedostatečné kvality rešeršních částí práce.

Hodnocení: Přestože výsledný písemný výstup práce trpí mnohými obsahovými a formálními nedostatky, téma je aktuální. Zadání formulované školitelem je kvalitní a metody doporučené v zadání jsou adekvátní. Student prokázal samostatnou schopnost realizovat experiment a předložil zajímavé experimentální a numerické výsledky, které mají využití ve výzkumu prodlevy hydraulického tlumiče. Práci doporučuji k obhajobě a navrhuji známku „dobře“.

3 OTÁZKY

- 1.) Hlavní důvod, proč se studuje kavitace v hydraulickém tlumiči, je výskyt prodlevy v jeho charakteristice. Jakým způsobem se podle vás může kavitace na výskytu prodlevy podílet?
- 2.) Předpokládejme, že do láhve s dokonale hladkými vnitřními stěnami nalejeme vysoce čistou vodu zbavenou plynu a pevných nečistot a poté ji nasytíme plynem pod vysokým tlakem a uzavřeme. Natlakováním docílíme rozpuštění veškerého volného plynu. Nebudou tedy splněny žádné z podmínek, které jsou v práci uvedeny jako podmínky vzniku kavitace z kavitačních jader. Jaký bude v tomto případě mechanismus vzniku kavitačních bublin? Jak můžeme určit, zda kavitace v tlumiči vznikne tímto mechanismem, nebo z kavitačních jader?
- 3.) V části 2 se uvádí: „Mezi pracovním a vnějším válcem je vyrovnávací prostor, který kompenzuje objemové rozdíly, vzniklé ohřevem kapaliny“. Jaký důsledek by mělo odstranění nebo uzavření tohoto prostoru na olej nad pístem při pohybu pístu dolů?
- 4.) Která strana křivky na obr. 3.5 odpovídá stabilní rovnováze bubliny a která nestabilní?
- 5.) V části 6 je uvedeno, že „přísady ovlivňují vlastnosti oleje (hustotu, viskozitu, stlačitelnost, teplotní roztažnost, měrnou „teplotní“ kapacitu, povrchové napětí)“ a že „tyto vlastnosti mohou zmírnit vznik kavitace“. Které z uvedených vlastností mohou mít podle vás měřitelný vliv na vznik kavitace?

V Praze dne 8. června 2015

Ing. Patrik Zima, Ph.D.



4 PŘÍLOHA 1: PŘIPOMÍNKY K FORMÁLNÍ STRÁNCE PRÁCE:

V rovnicích 3.1 až 3.8 je označení p_k použito k popisu tří různých tlaků – hydrostat. tlaku ve statické rovnováze pro libovolný poloměr R (rovnice 3.1 a 3.3), hydrostat. tlaku pro počáteční poloměr R_0 (rovnice 3.6) a kritické hodnotě hydrostat. tlaku (rovnice 3.8). Bylo by žádoucí značení odlišit, např. jako p_{k0} , p_{k0} a p_{kCRIT} . V rovnicích 3.5 a 3.6 je zaveden tlak p , který odpovídá hydrostat. tlaku po změně poloměru bubliny z R_0 na R (odpovídá spíše rovnici 3.1). V textu není vysvětleno, jak se p liší od p_k a tlak p není uveden v seznamu symbolů v úvodu práce.

Obr. 3.5 znázorňuje závislost hydrostat. tlaku na poměru $m = R/R_0$ podle rovnice 3.6. Graf obsahuje konkrétní křivku, která však není jen funkcí m , ale také funkcí p_0 , p_n , σ a R_0 . Hodnoty těchto veličin použité k vykreslení grafu však nejsou v popisu obrázku uvedeny. Není například ani zřejmé, zda bylo použito povrchové napětí vody či oleje, jaká byla hodnota p_k (atmosférický tlak, či jiný?) a jaké byly hodnoty R_0 a p_n (závisí na teplotě). Bylo-li záměrem poskytnout pouze ilustrační křivku, neměly by být na osách x a y číselné hodnoty.

V části 3.6 jsou rozebrány důsledky křivky na obrázku 3.5: „Stabilní část větve je v tomto definována hodnotou $m = 2$ “. Z uvedeného ani z dalšího textu však nevyplývá, že hodnota $m = 2$ nedefinuje stabilní část, ale rovnováhu tvořící hranici mezi stabilní a nestabilní částí, a není uvedeno, která větev křivky je stabilní a která nestabilní.

Vztah 3.7 je převzat z literatury (Brdička), ovšem s chybou. Správně má být ve vzorci počáteční tlak plynu $p_{p0} = p_p / m^3$, nikoliv tlak p_p .

Ve vztahu 3.8 je kritický poloměr označen jako R_c , zatímco v seznamu symbolů i ve vztahu 3.7 je označen jako R_k .

Část 4.3.2 odkazuje na neexistující obrázek 8.1 a rovnici 8.1 a následně je bez bližšího vysvětlení představena soustava rovnic 4.1 až 4.8, v nichž vystupuje 15 veličin, které nejsou nijak popsány ani v textu ani v seznamu symbolů. Je také zřejmé, že rovnice byly „vyříznuty“ ze zdrojové publikace jako celek, včetně anglického textu „Total Number of bubbles per unit volume“.

V obr. 4.3 chybí část b) inzerovaná uvedená v popisku.

Obrázek 5.9 je opakováním obrázku 4.2 z části 4, je však opatřen zcela odlišným popiskem.

Symbol μ použitý pro dynamickou viskozitu v části 6 není uveden v seznamu symbolů v úvodu práce.

Obr. 7.8 obsahuje nepřeložené anglické popisky.

5 PŘÍLOHA 2: DOPORUČENÍ K FORMÁLNÍ STRÁNCE PRÁCE:

- 1) Doporučuji zaměřit se na práci s informačními zdroji a řádné používání citací. Doporučuji číslování odkazů na literaturu podle pořadí použití v textu. Dále doporučuji používat citace u tvrzení, která nejsou všeobecně zřejmá, např.

Při kolapsu bublin ve volné tekutině (daleko od stěn) dochází ke značnému stlačení plynu uvnitř bublinky a značnému lokálnímu zvýšení teploty, při kterém může docházet ke spalování tlumičové kapaliny.

Podtržené tvrzení by bylo záhodno doložit citací.

Teoretická pevnost čisté kapaliny je desetkrát vyšší než pevnost reálné kapaliny.

Opět – toto tvrzení je vhodné doložit citací nebo příkladem.

- 2) Před odevzdáním jakýkoliv případných budoucích prací a zpráv doporučuji studentovi text po sobě přečíst a provést korekturu. Práce obsahuje stovky typografických a gramatických chyb, z nichž některé ovlivňují srozumitelnost textu, například:

Při provozu hydraulického tlumiče dochází průtokem hydraulické kapaliny přes škrtkové elementy při daném tlakovém k lokálnímu zvýšení rychlosti kapaliny a tak ke zvýšení tlaku.

METODY DIAGNOSTIKUJÍCÍ KAVITACE

Samotný záznam spektra kavitačních bublin je od toho kruhy oddělen a tím je i samostatně řízen pomocí ABS.

Charakter uvedená závislosti ovlivňuje povrchové napětí mezi kapalinou a obsahem bublinka a počáteční poloměr bublinky R_0 .

Hydraulických olej ve svém objemu obsahuje jádra bublin, které se změnou tlaku (prodlevou) mohou narůst do velikostí makroskopických bublin.

Způsoby diagnostiky kavitace lze je rozdělit na...

Zobrazení průběhů signálů vyslaný převodníky

Pokud by zůstala pístitice v prostoru testovací komory během napouštění, vytvořila vzduchová mezera, nebo vzduchové bubliny mezi vysokotlakou a nízkotlakou částí...

atd. atd.

- 3) V části 7 je popsán nejprve obr. 7.1, pak 7.3 a nakonec 7.2. Obrázky je vhodnější v textu popisovat v pořadí číslování.