



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

Testování podpory srdečního selhání

Musil J.*, Leitemann D.**

*Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8

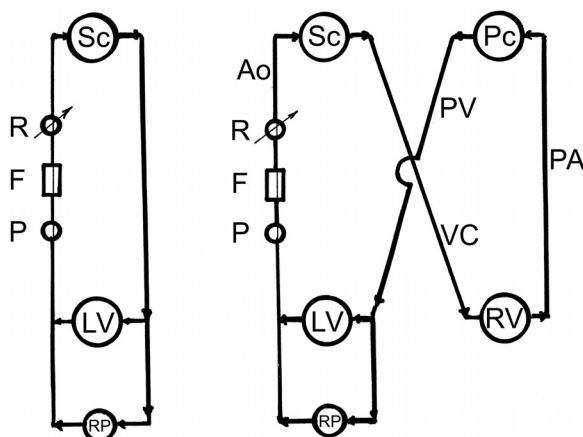
**ČVUT Praha, Technická 4, 166 07 Praha 6

Abstrakt: Vliv rotačního čerpadla zapojeného na selhávající srdeční komory zapojené v serii byl studován na testovací lince. Činnost podpůrného rotačního čerpadla byla sledována za podmínek zvyšující se frekvence pulsací selhávajících srdečních komor, při zvyšujícím se odporu na výstupní větvi levé komory a při zvyšování rychlosti rotací centrifugálního čerpadla. Testování bylo provedeno na jednoduchém a dvojitým okruhu. Výsledky testování na okruhu se dvěma srdečními čerpadly se lišily od výsledků dosažených na jednoduchém okruhu, t.j. s jedním pulzním čerpadlem za stejných podmínek. Rozbor výsledků ukázal na důležitost řízení a kontroly činnosti rotačního podpůrného čerpadla v závislosti na vypočtených hodnotách hydraulického odporu z toku a tlaku v podporovaném oběhu.

Klíčová slova: srdeční selhání, podpora rotačním čerpadlem, okruh s jedním pulzním čerpadlem (komorou), okruh se dvěma pulzními čerpadly (v sérii), hydraulický odpor

Úvod

Vasokonstrikční mechanismy vyvolané nepulzním prouděním v systémovém oběhu srdečně cévního systému jsou důsledkem použití rotačních čerpadel (RČ), jak při jejich použití při mimotělním oběhu, tak i při mechanické podpoře farmakologicky nezvládnutelného srdečního selhání [1]. Příspěvek [2] se týkal sledování účinků RČ na hodnoty tlaku a toku v jednoduchém okruhu (JO) mechanické testovací linky s jedním pulzním čerpadlem. Práce provedená na dvojitým okruhu (DO), t.j. se dvěma tepajícími komorami zapojenými v sérii a jedním RČ napojeným paralelně k levému pulzujícímu čerpadlu (levé komoře), posloužila ke srovnání. Schématická zapojení (JO) a (DO) ukazuje obrázek číslo 1.



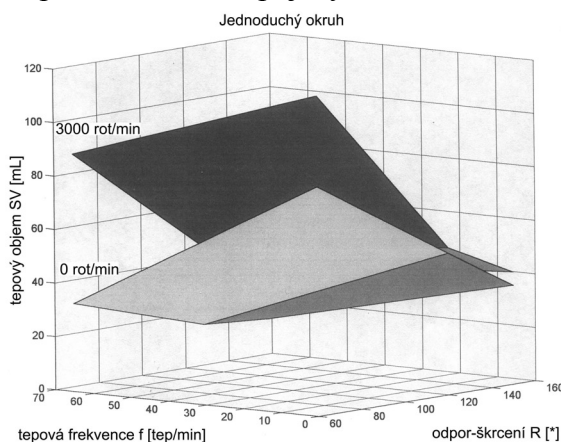
Obrázek 1: Schémata jednoduchého (LV) a zdvojeného okruhu (LV, RV) s paralelně nasazeným rotačním čerpadlem (RP). SV, RV - levá a pravá komora, Sc, Pc - systémové a plicní oddíly, R- škrťací ventil, F - průtokoměr, P - tlakové čidlo, Ao - aorta, VC - vena cava, PV - plicní žíla, PA - plicní tepna.

Metody a postupy

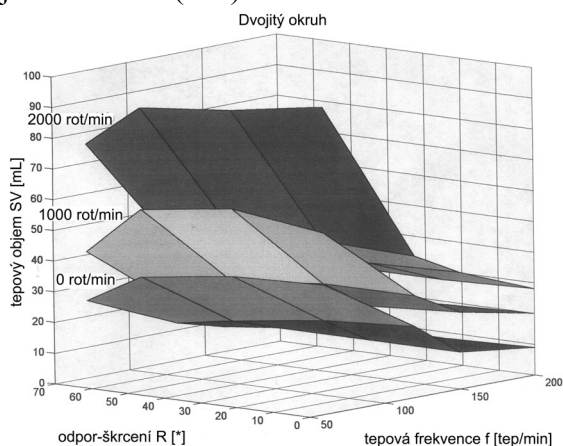
Laboratorní soustava testovací linky sestávala ze dvou pulzních čerpadel, před stavující levou a pravou srdeční komoru pracující v sérii s vřazenými oddíly plic a systémového oddílu, t. j. těla, a RČ (typ SARNS—USA) , umístěného paralelně s levou komorou. Selhávající činnost srdce byla přiblížena neměnným pohonným tlakem při stoupající tepové frekvenci (od 60 , 120, 150 a 200 tepech/min.). Škrťací ventil vřazený do výstupní větve z levé komory sloužil k vytvoření zvyšujícího se hydraulického odporu (od 25, 50 a 65 stupňů uzavěru jak bylo demonstrováno na kalibrační křivce (viz. [2]). Měřidla, t.j. tlakoměr a průtokoměr, byla předřazena škrťacímu odporovému ventilu. Všechna data měření, t.j. srdeční tepová frekvence, rotační rychlost RČ, tlaky a hodnoty průtoku z levé srdeční komory, byla registrována a vyhodnocena na počítači. Tepové objemy levé komory a vypočtené hodnoty hydraulického odporu byly sestaveny do zvláštních grafů.

Výsledky

Tepové objemy (TO) pulzního čerpadla (komory) zapojeného v jednoduchém okruhu (JO) klesaly se zvyšující se tepovou frekvencí , podobně jako u dvou pulzních čerpadel -komor- zapojených sériově ve dvojitém okruhu (DO) .



Obr. 2

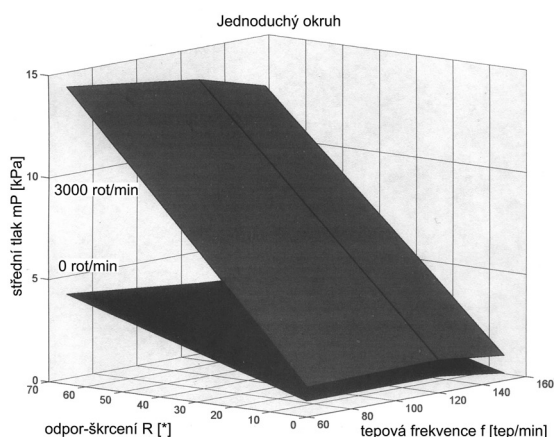


Obr. 3

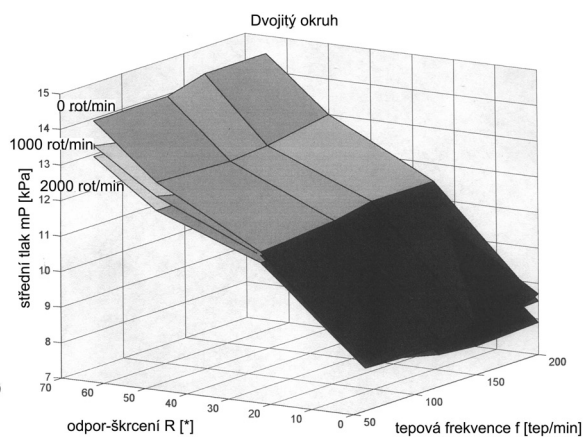
Prostorové grafy tepových objemů v závislosti na změřené tepové frekvenci (f /min) a velikosti odporu (R) na jednoduchém a dvojitém okruhu (2, 3). Zobrazené plochy na grafu č. 2 byly získány při nulové

činnosti RČ (spodní plochy), vyšší plochy potom při zapojení RČ na obr. 2 při 3000 ot/min, na obr. 3 při 1000 a 2000 ot/min.

Pokles TO byl zjevný i při zvyšujícím se odporu v obou testovacích okruzích (JO, DO). Zapojení pomocného RČ paralelně na levou selhávající komoru zvýšilo významně v obou testovacích okruzích hodnoty TO a to v přímé závislosti na hodnotách rotací. Hodnoty středních tlaků stoupaly se zvyšováním odporu v JO řádově, zvláště při zapojení RČ. V případě DO se vzestup tlaku v závislosti na zvyšující se tepové frekvenci a odporu projevil méně výrazně, ovšem zapojení RČ hodnoty tlaku snižovalo v závislosti na stoupající rotační rychlosti RČ.



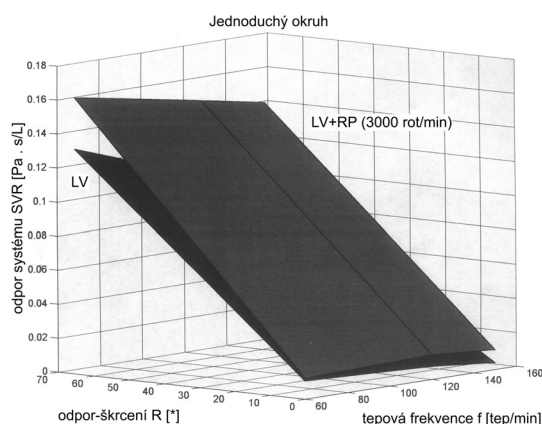
Obr. 4



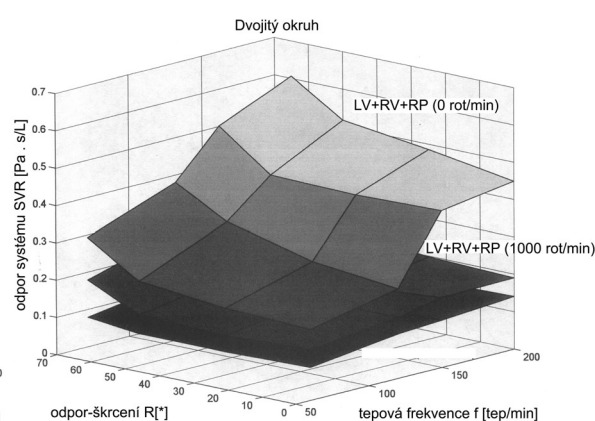
Obr. 5

Prostorové grafy hodnot středních tlaků (mP [kPa]) v závislosti na změně frekvence tepů (f/min), změně odporů (R [kPa sL⁻³]) v jednoduchém (4) a dvojitěm okruhu (5) bez zapojení rotačního čerpadla a po jeho zapojení při zvýšení jeho otáček. Tlak v jednoduchém okruhu prudce stoupá, zatímco ve dvojitěm okruhu mírně klesá se zvyšujícím se odporem a zvyšujícími se otáčkami.

Výsledné hodnoty vypočteného odporu v JO a DO se chovaly podobně jako hodnoty změřeného tlaku za týchž podmínek frekvence a hodnot tlaků a toků systémem (obr. 6,7).



Obr. 6



Obr. 7

Grafy hodnot odporů v JO a DO. Prostorové grafy vypočtených hodnot systémových odporů (Pa s/L) v závislosti na tepové frekvenci pulzujícího srdce (tep. frekvence/min) a odporu vyvolaného škrcením R(*), a to bez činnosti rotačního čerpadla (RP) a při jeho otáčkách (rot/min). Odpor v jednoduchém okruhu stoupá při činnosti RP (3000 rot/min), nicméně v okruhu dvojitěm (obr. 7) klesá odpor se zvyšující se rychlostí otáček RP (1000 rot/min a 2000 rot/min). Mírný pokles odporu SVR je patrný se zvyšujícími se hodnotami tepové frekvence (obr. č. 6), mírný vzestup hodnot SVR je však patrný se zvyšující se tepovou frekvencí a činností RP na obr. č. 7.

Rozprava a závěry

Rozdílnost chování testovacího systému v JO a DO ukazuje na skutečnost, že přílišná zjednodušení v experimentu mohou vést k rozdílným závěrům a interpretacím výsledků. V případě DO je zřejmé, že trvalé sledování hodnot tlaků a toků v podporovaném systému je nutné pro ovládání podpůrné činnosti RČ při selhávající činnosti pulzního čerpadla [2,3], jakož i kontrola rotací RČ v závislosti na vypočtených hodnotách odporů podporovaného systému. [4]. Vysvětlení rozdílnosti chování tlaků a vypočtených odporů v JO a DO vyplývá z tokové a tlakové bilance v obou okruzích. Z uvedených důvodů by bylo vhodné věnovat pozornost případnému vývinu zařízení – procesoru – na zmíněnou kontrolu a ovládání RČ.

Literatura

- [1] Lewis T., Graham T.R.: *Mechanical circulatory support*. ISBN 0340576022, Arnold., 1995.
- [2] Musil J., Pražák J., Leitemann D.: *Circuit resistance modeling in failing heart rotary pump support*. Engin., Mechanics 2001, Svratka 14–17 May, Proceedings, pp. 178-179, CD/ ROM ISBN 80-80918-64-1.
- [3] Musil J., Převorovská S., Leitemann D., Pražák J., Maršík F.: *Pulsatory flow under rotary pump used to failing heart support*. Mechatronics, robotics and biomechanics 2001, 3rd. Internat. Conf. Třešť, 10.9.-12.9. 2001, pp. 229-234, Proceedings.
- [4] Yu, Y.-C. J.R. Boston, M. Simaak and J.F. Antaki: *Estimation of systemic vascular bed parameters for artificial heart control*. IEEE. Trans, Autom. Control, 1996.