

## CONTROL OF SANITARY COACH AT STATE OF EQUILIBRIUM

R. Votrubec\*

**Summary:** *The paper deals with control and measure system of sanitary coach. A prototype of active sanitary coach was developed in our hydrodynamic laboratory. It consists of three independently movable plates, which are propelled by set of six pneumatic springs equipped with electrical valves and pressure detectors. Coach is equipped with three sensors of position too. All these elements are connected to measuring cards in PC. It was necessary to create amplifiers of signals from all sensors and to configure amplifiers to actuation of electrical valves. Measuring and control software was created in Labview. An algorithm of control of pressure inside every spring was designed using PID controllers. Control circuit of position of all plates was designed too. Finally initial horizontal position of the whole sanitary coach was tested in case of the various loading and state of equilibrium of restraint moment.*

### 1. Úvod

Příspěvek se zabývá dílčím úkolem v rámci výzkumu aktivního sanitního lehátka, a sice návrhem a realizací měřicího a řídicího systému. Prototyp lehátka byl vytvořen v hydrodynamické laboratoři v Doubí. Po mechanické stránce byl prototyp dokončen, a to včetně osazení pneumatickými pružinami. Úkolem bylo osadit lehátko pneumatickými ventily, čidly tlaku a polohy a navrhnout propojení s měřícím a řídicím počítačem.

### 2. Popis lehátka

Fotografie lehátka je na Obr. 1. Lehátko je vytvořeno z hliníkových rámců. Spodní základní rám lehátka je připevněn na červenohnědý ocelový křížový rám umožňující připevnění lehátka na pracovní válce hydrodynamického pulzátoru. První pohyblivý rám tvoří paralelogram a umožňuje zvednutí lehátka ve vertikálním směru. Druhý a třetí rám jsou upevněny na kloubech umožňujících naklápění každý v jedné ose.

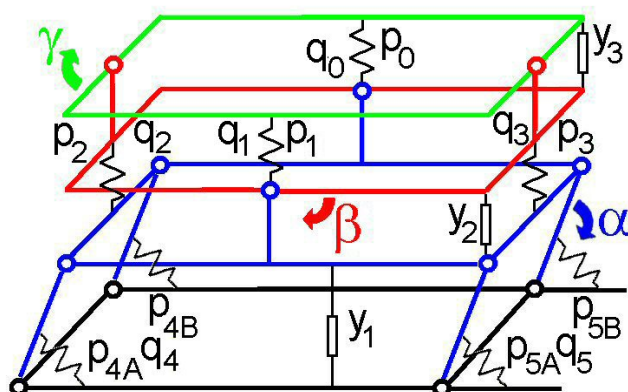
---

\* Ing. Radek Votrubec, PhD., Department of Applied Cybernetics, Technical University of Liberec, Studentska 2; 461 17 Liberec CZ; tel.: +420 485 351 111, fax: +420 485 351 112; e-mail: radek.votrubec@tul.cz



Obr. 1 Sanitní lehátko

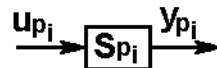
Rozložení akčních členů a snímačů je na Obr. 2. Ramena paralelogramu jsou zvedána dvěma dvojicemi pružin. Každá dvojice pružin jednoho ramene je připojena přes jeden ventil  $q_4$  a  $q_5$  a opatřena jedním snímačem tlaku  $p_4$  a  $p_5$ . V druhé fázi byly všechny čtyři pružiny spojeny na pouze jeden ventil  $q_4$  a jeden snímač tlaku  $p_4$ . K původní konfiguraci však možno se kdykoli vrátit. Polohu paralelogramu snímá čidlo polohy  $y_1$ . První otočný rám je uložen na pružinách pracujících proti sobě se samostatnými ventily  $q_2$  a  $q_3$  a čidly tlaku  $p_2$  a  $p_3$ . Jeho polohu snímá čidlo  $y_2$ . Druhý otočný rám je uložen na pružinách pracujících proti sobě se samostatnými ventily  $q_0$  a  $q_1$  a čidly tlaku  $p_0$  a  $p_1$ . Jeho polohu snímá čidlo  $y_3$ .



Obr. 2 Rozložení akčních členů a čidel

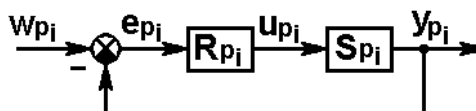
### 3. Řídicí systém lehátka

Veškeré aplikace pro práci se sanitním lehátkem jsou vytvářeny v prostředí LabView. Pro měření, ovládání a řízení lehátka byl vytvořen soubor aplikací. Prvním krokem bylo zprovoznit nastavení hodnot analogových výstupů a tím ovládání otevírání ventilů a současně provádět měření všech analogových vstupů připojených na čidla tlaku a polohy, Obr.3. Tento problém je řešen na třech úrovních. Zaprvé bez synchronizace, zadruhé s hardwarovou synchronizací vstupů a výstupů obou karet a zatřetí se softwarovou synchronizací.



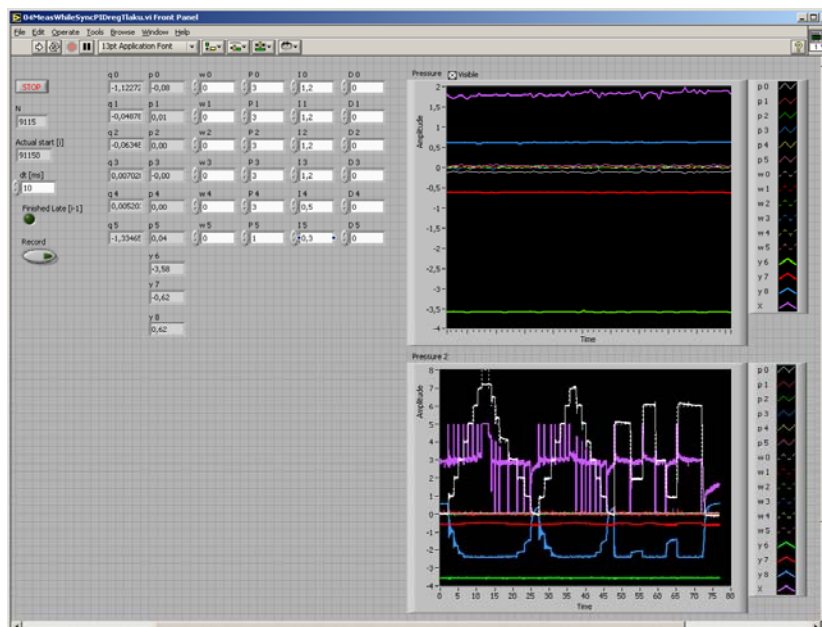
Obr. 3 Ovládání vstupů a výstupů

Následuje řízení tlaku v pružinách pomocí PID regulátorů zapojených ve zpětných vazbách, Obr. 4.



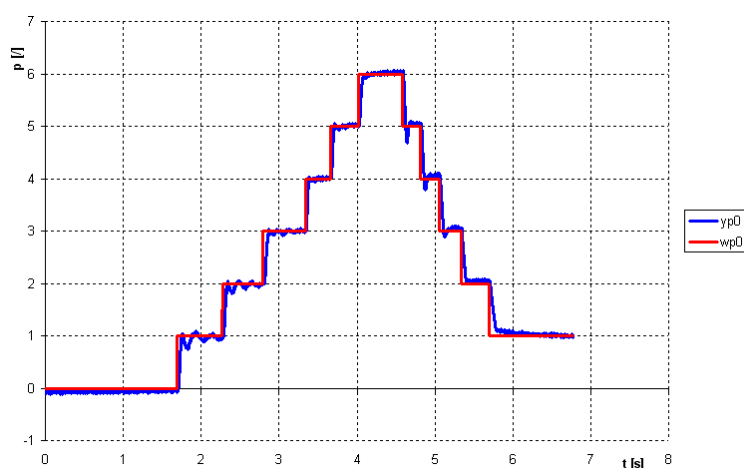
Obr. 4 Regulace tlaků v pružinách

Aplikace pro řízení tlaku v pružinách je na Obr. 5. Umožňuje snadné ruční seřízení konstant všech regulátorů.

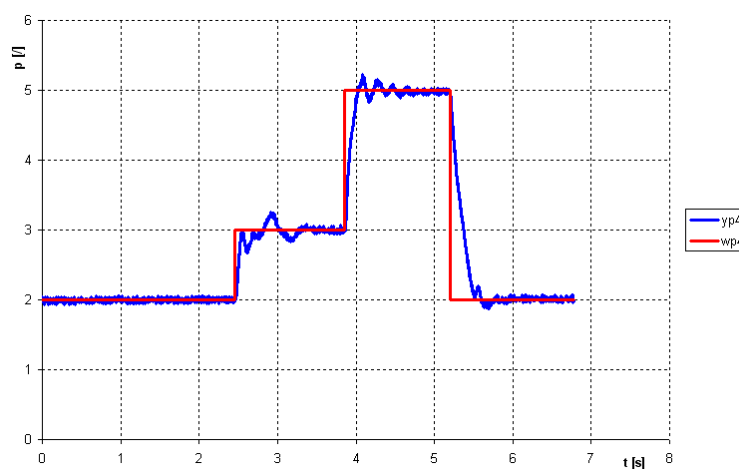


Obr. 5 Aplikace pro řízení tlaku

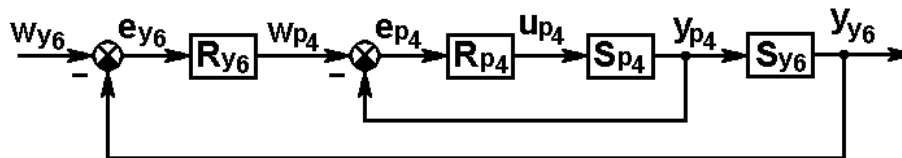
Na lehátku jsou z hlediska řízení tlaku dvě podobné skupiny pružin. Jednak jsou to vrchní čtyři pružiny otočných rámců s tlaky  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  a  $p_3$ . Rámy se sice liší délkou svých ramen a zatížením (spodní rám nese navíc rám vrchní), ale parametry popisujícího dynamického systému jsou podobné. O zcela jinou dynamickou soustavu se jedná v případě paralelogramu se spodními pružinami s tlaky  $p_4$  a  $p_5$  nebo po spojení pouze  $p_4$ . Obě skupiny vyžadují odlišné nastavení parametrů regulátoru. Zástupcem první skupiny je řízení tlaku v pružině  $p_0$  na Obr. 6. Z grafu je vidět, že pro malé tlaky je soustava kmitavá, jelikož je měřena bez zátěže a rám se rozkmitává. Pro větší tlaky rám dosedne do krajní polohy a nehýbe se, kmitání soustavy ustává a časové konstanty se rapidně zmenšují do řádu desítek milisekund.

Obr. 6 Řízení tlaku  $p_0$ 

Řízení tlaku  $p_4$  je na Obr. 7. Dynamika paralelogramu je odlišná od chování horních otočných rámců. Je mnohem náchylnější na kmitání a vyznačuje se nesymetrií způsobenou tíhou lehátka při zvedání a snižování paralelogramu. Časová konstanta se pohybuje kolem jedné desetiny sekundy.

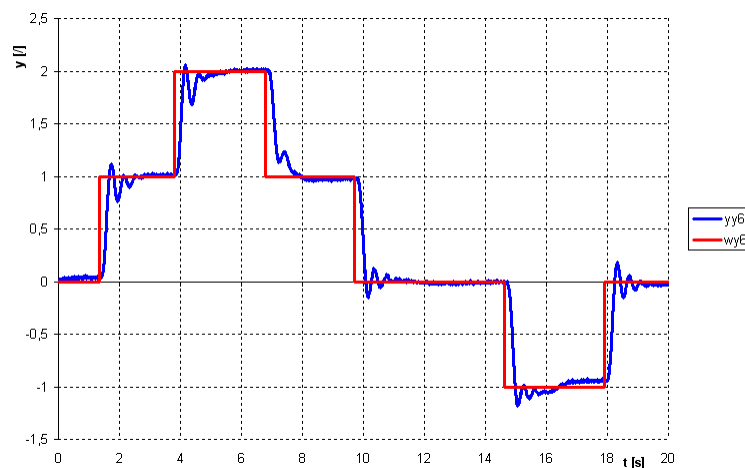
Obr. 7 Řízení tlaku  $p_4$

Po realizaci řízení tlaku v jednotlivých pružinách je možno přejít k řízení polohy paralelogramu. Schéma regulačního obvodu polohy paralelogramu je na Obr. 8. Žádaná hodnota tlaku  $p_4$  v pneumatických pružinách paralelogramu je v tomto případě akční veličinou, kterou udává regulátor polohy  $y_6$ . Konstanty obou regulátorů  $R_{y6}$  a  $R_{p4}$  jsou nastaveny tak, aby časové konstanty vnitřní regulační smyčky byly alespoň desetkrát menší než časové konstanty vnější regulační smyčky a tím byl celý systém stabilní.



Obr. 8 Regulační obvod polohy paralelogramu

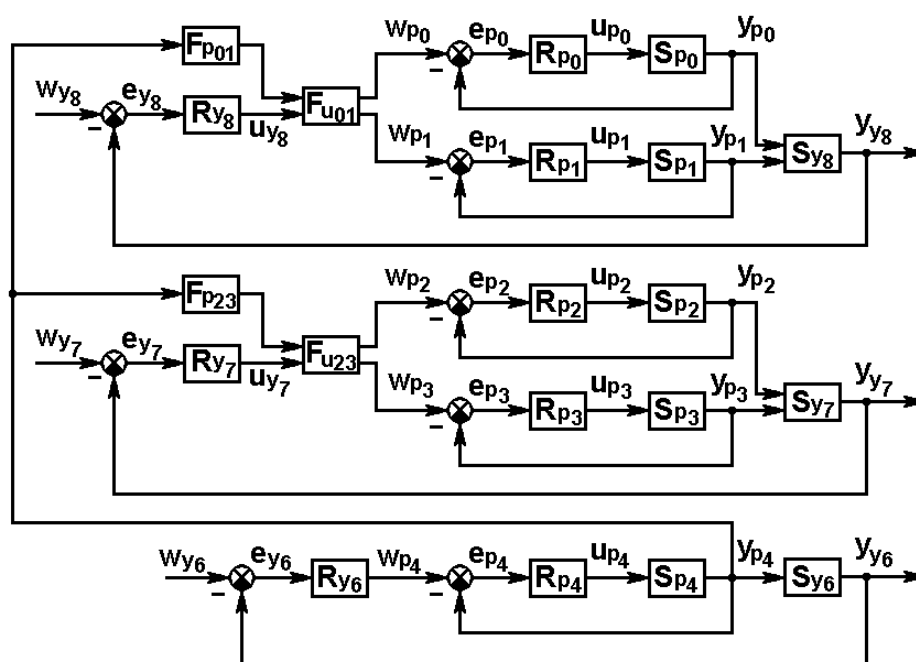
Výsledek nastavení regulačního obvodu pro řízení polohy rámu paralelogramu je na Obr. 9



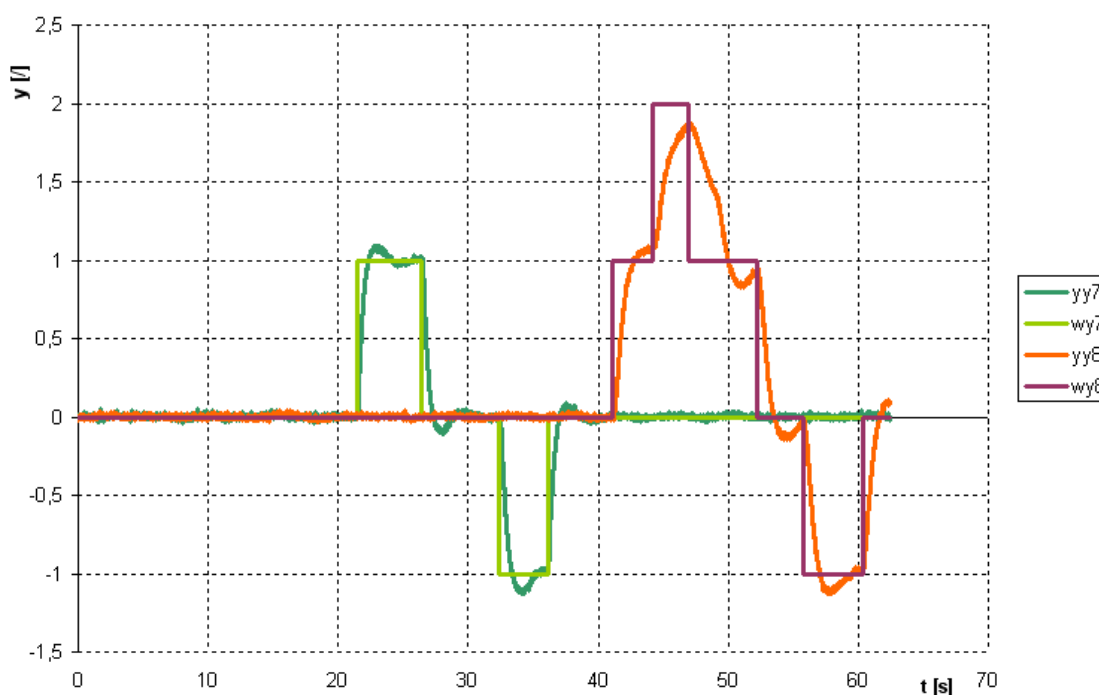
Obr. 9 Regulace polohy paralelogramu

Schéma regulačního obvodu polohy paralelogramu a horních otočných ráků je na Obr. 10. Systém se skládá z regulačního obvodu polohy paralelogramu, u kterého regulátor  $R_{y6}$  určuje požadovaný tlak pro spodní pružiny. Součty tlaků v jednotlivých dvojicích pružin horních otočných ráků vycházejí z měřeného tlaku  $p_4$ . Jejich poměr rozdělení do obou pružin pak určují regulátory  $R_{y7}$  a  $R_{y8}$ . Pro určení požadovaného součtu tlaků pro dvojice pružin horních otočných ráků bylo nutné provést měření závislosti tlaku  $p_4$  na zatížení lehátka.

Výsledek nastavení regulačního obvodu pro řízení polohy horních otočných ráků je na Obr. 11.

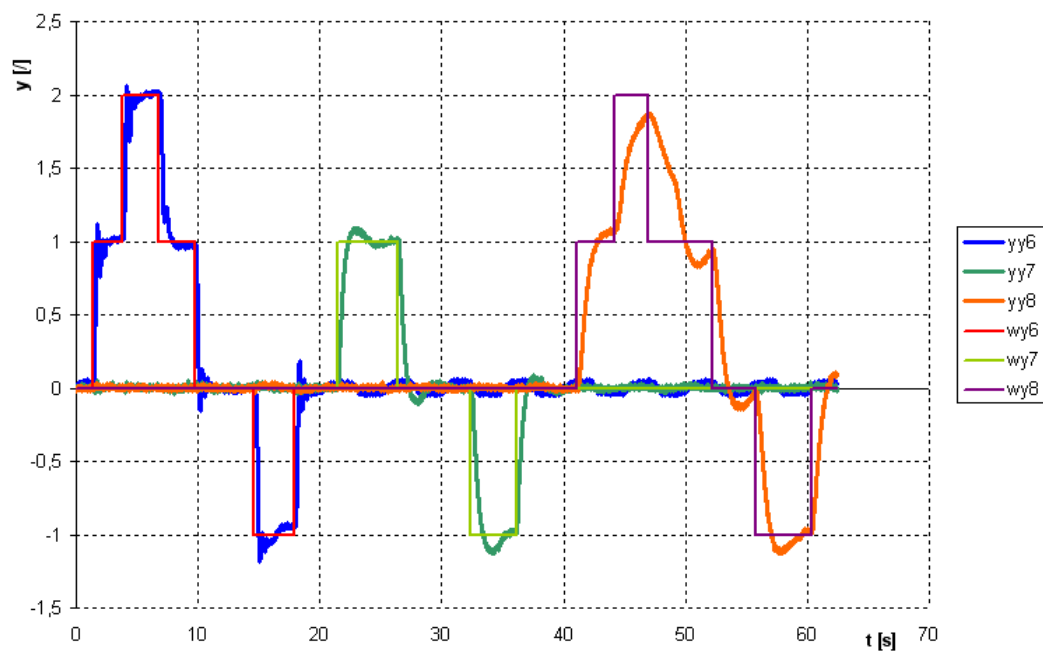


Obr. 10 Regulační obvod polohy paralelogramu a horních otočných rámců

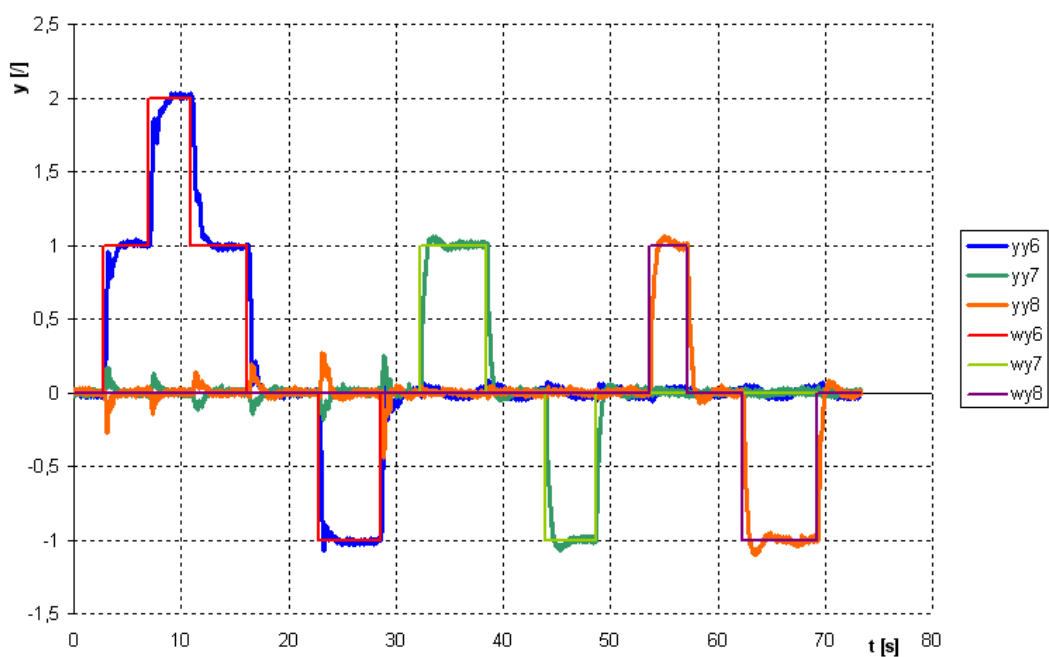


Obr. 11 Regulace polohy horních otočných rámců

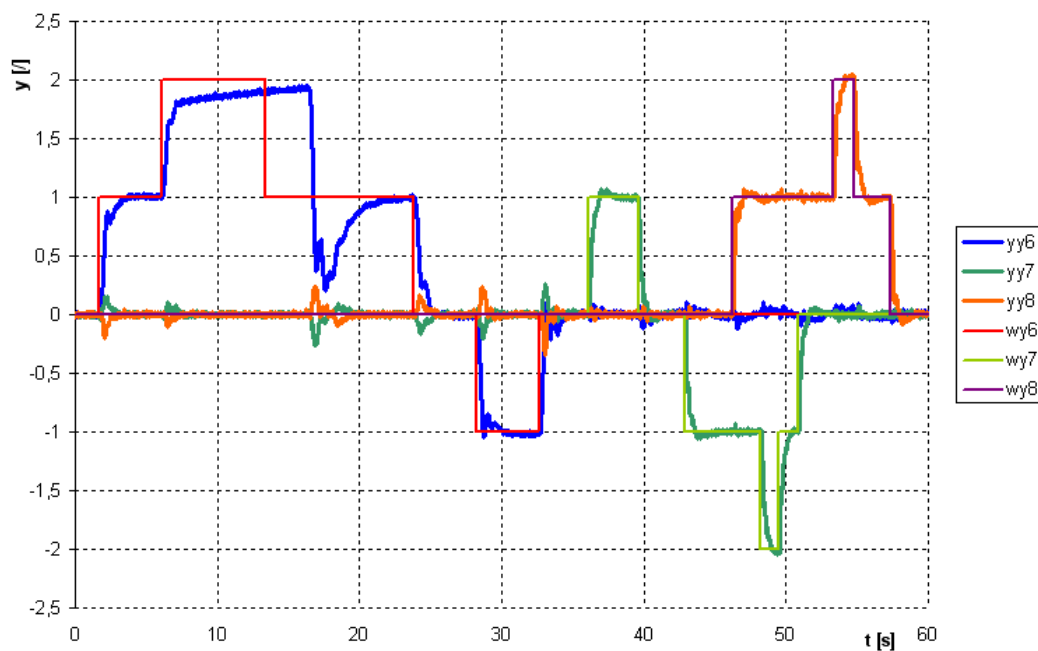
Na dalších grafech je dokumentováno řízení poloh všech rámců lehátka v momentové rovnováze. Na prvním grafu na Obr. 12 je řízení lehátka bez zátěže. Na dalším grafu na Obr. 13 je řízení lehátka s asymetricky uloženou zátěží 50 kg. Na posledním grafu na Obr. 14 je pak řízení lehátka se zátěží 100 kg.



Obr. 12 Regulace polohy všech rámů bez zátěže

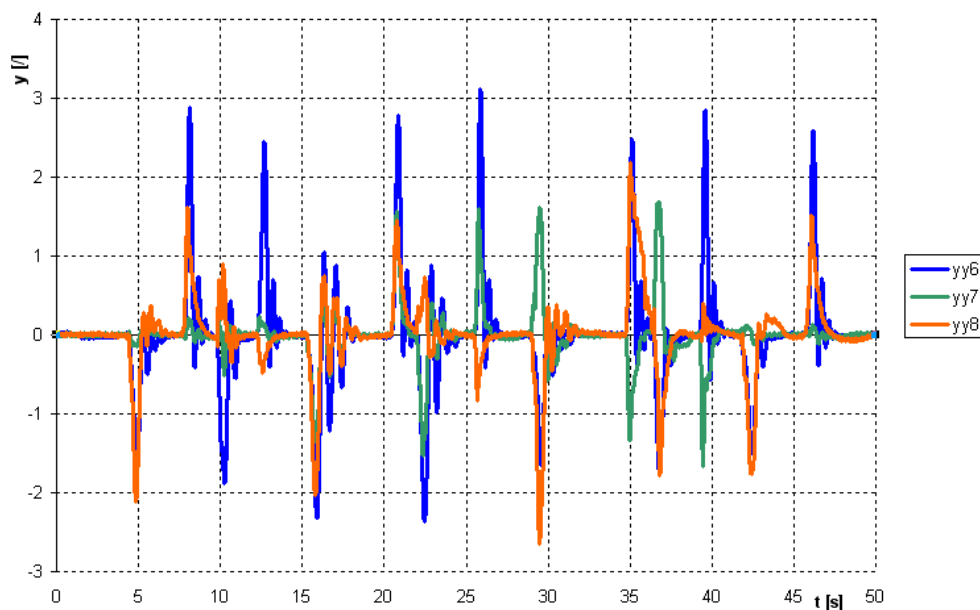


Obr. 13 Regulace polohy všech rámů se zátěží 50 kg



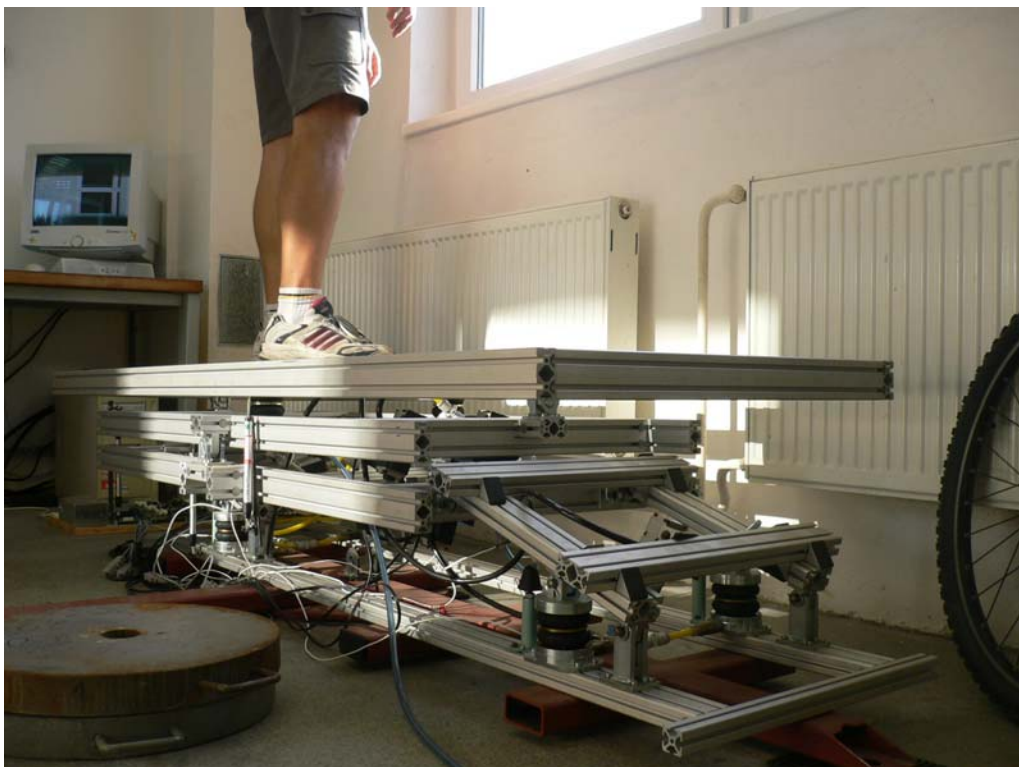
Obr. 14 Regulace polohy všech rámu se zátěží 100 kg

Posledním dílčím úkolem je řízení do základní vodorovné polohy všech tří rámu lehátka, které spočívá v regulaci na všechny žádané hodnoty rovné nule, tj.  $wy_6 = 0$ ,  $wy_7 = 0$  a  $wy_8 = 0$ . Řízení do základní nulové polohy je testováno chozením po horním rámu lehátka, přičemž dochází k vyrovnávání, jak je zřejmé z Obr. 16 a Obr. 17. Graf s hodnotami všech tří poloh při přecházení po lehátku je na Obr. 15.



Obr. 15. Polohy všech rámu při přecházení po horním rámu lehátka



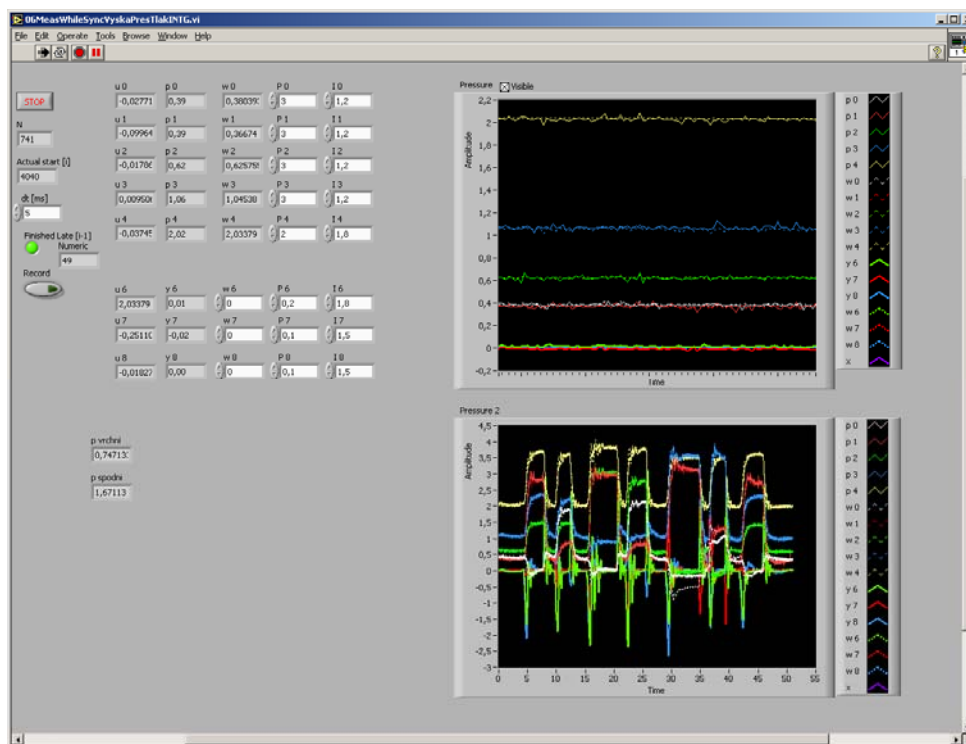


Obr. 16. Přecházení po horním rámu lehátka



Obr. 17. Přecházení po horním rámu lehátka

Na Obr. 18 je pak zobrazeno okno aplikace pro řízení polohy všech tří rámu.



Obr. 18. Aplikace pro řízení polohy

#### 4. Závěr

Hlavní cíl této etapy výzkumu sanitního lehátka byl splněn. Lehátko bylo plně vybaveno všemi potřebnými akčními členy a snímači. Byly navrženy a realizovány zesilovače a přizpůsobující členy umožňující jejich propojení s měřicími kartami v PC. V LabView byl vytvořen soubor aplikací pro ovládání lehátka a pro měření všech snímaných veličin na lehátku. Bylo navrženo a seřízeno řízení tlaku v jednotlivých pružinách. Dále byl navržen řídicí systém pro polohu jednotlivých rámců lehátka. Speciálním případem je pak nastavení lehátka do základní rovnovážné polohy, navíc při dodržení momentové rovnováhy horních otočných rámců.

Pro další etapu je naplánováno měření s lehátkem na elektrodynamickém pulzátoru, kdy bude odspodu buzeno třemi válci. Na základě provedených měření pak bude možno měnit seřízení popř. strukturu řídicího obvodu a bude možno zvážit doplnění lehátka o tlumiče.

#### 5. Acknowledgement

This work was supported by the subvention from Ministry of Education of the Czech Republic under Contract Code MSM 4674788501.

#### 6. References

Skliba, J.; Votrubec, R.; Zubek, T.: The Application of Controlled Dampers in the SpringEmbedded Ambulance Stretcher. In: Vibroengineering 2004, Kaunas University of Technology, Litva 2004, ISSN 1392-9716.