

Aplikačný toolbox SimHydraulics v modelovaní hydraulických systémov s krátkym vedením

Anna JADLOVSKÁ, Jakub ČERKALA, Matúš TOMČÁK,

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

anna.jadlovska@tuke.sk, jakub.cerkala@tuke.sk, matus.tomcak@student.tuke.sk,

Abstrakt —V tomto článku predstavujeme aplikačný toolbox SimHydraulics a uvádzame použitie jeho základných blokov, ktoré sú nutné pre zostavenie modelu v tomto aplikačnom toolboxe. Na základe vhodného príkladu ilustrujeme zapojenia hydraulického systému dvoch nádrží pod tlakom s potrubím a čerpadlom. V modelovaní hydraulického systému v aplikačnom toolboxe SimHydraulics sa podrobnejšie venujeme spôsobu zapojenia snímačov a tvorbe subsystémov, ktoré sú potrebné pri zostavení simulačnej schémy zložitejšieho hydraulického systému. V závere prezentujeme výsledky simulácii na danom modeli.

Kľúčové slová —SimHydraulics, hydraulický systém, toolbox, čerpadlo, potrubie

I. ÚVOD

Modelovaním hydraulických systémov sa venuje viacero prác [1], [4]. Existuje viacero nástrojov, ktoré umožňujú modelovanie hydraulických systémov a v tomto článku sa zameriame na prostredie Matlab/Simulink. V tomto prostredí máme možnosť modelovať hydraulické systémy pomocou jeho štandardných blokov alebo špecializovaním aplikačným toolboxom SimHydraulics [3]. Tento článok sa zameriava na predstavenie tejto aplikačnej knižnice a to v modelovaní dvoch nádrží pod tlakom s potrubím a čerpadlom.

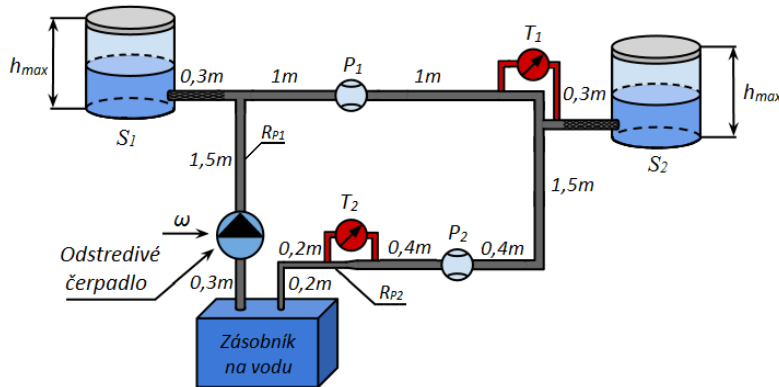
II. PRÁCA S APLIKAČNÝM TOOLBOXOM SIMHYDRAULICS

Od verzie Matlab-u R2006a bol pridaný aplikačný toolbox SimHydraulics medzi už existujúce aplikačné toolboxy, určený špeciálne pre modelovanie pokročilých hydraulických systémov. Aplikačný toolbox SimHydraulics spadá pod aplikačnú knižnicu *Simulink/Simscape*, kde sú umiestnené aj ďalšie aplikačné toolboxy ako *SimMechanics*, *SimElectronics* a pod., ich prepájaním môžeme vytvárať tzv. „multi-domain“ systémy. Väzby medzi blokmi odpovedajú priamo reálnemu modelu systému a spojenie medzi nimi odpovedá prenosu energie hydraulického systému, ktorý budeme modelovať. Vytváranie väzieb medzi blokmi analogicky s reálnym hydraulickým systémom umožňuje zrýchliť tvorbu simulačného modelu, ktorý by inak bolo potrebné riešiť pomocou analytickej identifikácie. Symboly blokov spĺňajú normu ISO 1219, štandardných silových kvapalín a ponúkajú širokú škálu nastavení. Po namodelovaní hydraulického systému preto dostávame hotovú hydraulickú schému. Aplikačný toolbox SimHydraulics obsahuje viac ako 75 hydraulických a mechanických komponentov, ako sú čerpadlá, nádrže, ventily a pod. Modelovanie v aplikačnom toolboxe SimHydraulics nájde široké uplatnenie v ťažkých strojoch, automobilovom priemysle alebo pri modelovaní vodovodov s krátkym alebo dlhým vedením a podobne [1].

III. MODELOVANIE HYDRAULICKÝCH SYSTÉMOV S KRÁTKYM VEDENÍM V PROSTREDÍ MATLAB/SIMULINK/SIMHYDRAULICS

Pre ilustráciu modelovania hydraulického systému sme zvolili systém, ktorého schéma je na Obr. 1. Tento systém pozostáva z dvoch valcových nádrží pod tlakom s potrubím a čerpadlom. Tento systém by bolo možné identifikovať, ale máme možnosť ho priamo zostaviť v aplikačnom toolboxe SimHydraulics [2]. Ako už bolo vyššie spomenuté, väzby medzi blokmi odpovedajú priamo reálnemu modelu. Modelovaný hydraulický systém pozostáva z dvoch digitálnych

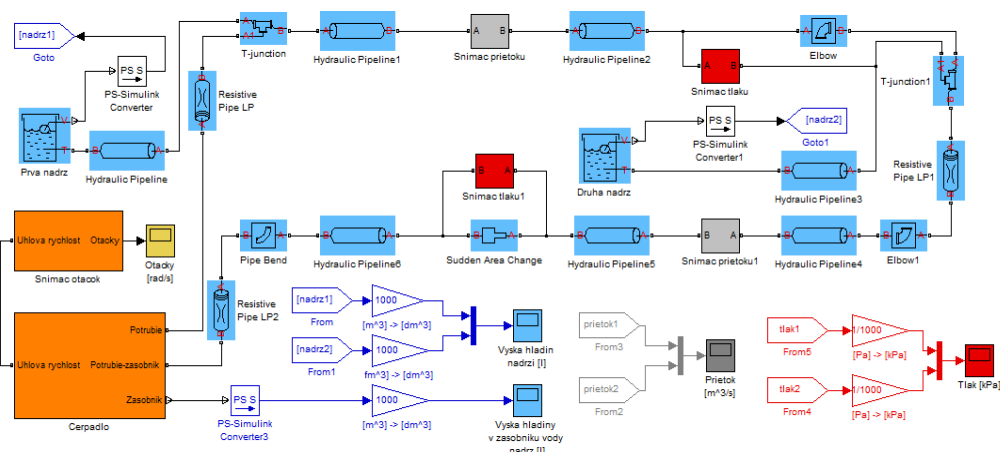
prietokomerov P_1 , P_2 , diferenčných tlakomerov T_1 , T_2 , nádrží pod tlakom a jedného odstredivého čerpadla so zásobníkom na vodu, vrátane potrubí.



Obr. 1 Schéma zapojenia hydraulického systému s krátkym vedením dvoch nádrží pod tlakom s potrubím a čerpadlom

V aplikačnom toolboxe SimHydraulics modelujeme aj potrubia, uvažujeme prepájanie systému pevným potrubím s uvedenými prierezmi a dĺžkami, pričom obidve nádrže sú pripojené cez flexibilné, gumené hadice s rovnakým priemerom R_{p1} . Nádrže systému sú uzatvorené, pričom uvažujeme aj tlak v nádržiach. Digitálne prietokomery P_1 , P_2 sú objemové, čo znamená, že merajú množstvo vody v m^3/s . Za druhým prietokomerom P_2 je zúžený priemer trubice R_{p2} . Snímače tlakovej diferencie T_1 , T_2 sú umiestnené tak, aby bolo vidieť stratu tlaku pred kolénom druhej nádrže a vplyv zúženia priemeru potrubia, z priemeru R_{p1} na priemer R_{p2} . Pripojenie diferenčných tlakomerov T_1 , T_2 do obvodu hydraulického systému je pre odlišenie zvýraznené červenou farbou. Digitálne prietokomery sú odlišené svetlomodrou farbou. Zobrazenie zásobníka vody hydraulického systému je len ilustratívne. V tomto prípade použijeme odstredivé čerpadlo, aby sme sa lepšie priblížili k realite.

Všetky základné časti, ktoré potrebujeme na vytvorenie simulačného modelu ako čerpadlo, potrubie, kolena a pod. sa nachádzajú v *Simscape/SimHydraulics*. Snímacie prvky tlaku a prietoku sú umiestnené v *Simscape/Foundation Library/Hydraulic*. Bloky, ako solver, porty a konverzia signálov sú umiestnené v priečinku *Simscape/Utilities*. Bloky, ako sú potrubia, snímače tlaku a prietoku majú svoj hydraulický vstup označený písmenom A a hydraulický výstup označený písmenom B. Toto označenie znázorňuje smer, v akom prúdi kvapalina v hydraulickom systéme. Pre rozsiahlosť schémy sú tlakomery, prietokomery a aktívny prvok, čerpadlo v tvare subsystému, ktoré budú ďalej bližšie vysvetlené. Výsledná schéma zostavená na základe schémy zapojenia hydraulického systému podľa Obr. 1 je v aplikačnom toolboxe SimHydraulics realizovaná nasledovne:



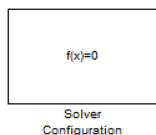
Obr. 2 Schéma hydraulického systému dvoch nádrží pod tlakom s potrubím a čerpadlom

IV. DOPLŇUJÚCE FUNKČNÉ SUBSYSTÉMY A ZDÔVODNENIE ICH POUŽITIA

Hydraulický systém dvoch nádrží pod tlakom s potrubím a čerpadlom pozostáva zo subsystémov snímačov tlaku, prietoku, otáčok a odstredivého čerpadla.

A. Základné bloky potrebné pre modelovanie hydraulických systémov v aplikačnom toolboxe SimHydraulics

Nakoľko nepotrebujeme zostavovať matematicko-fyzikálny model hydraulického systému, je potrebné, aby každý prvok modelovaného systému obsahoval tzv. „solver“, ktorého blokové znázornenie je na Obr. 3. Tento solver má za úlohu vytvoriť schému v Simulinku, na základe väzieb medzi jednotlivými blokmi modelovaného hydraulického systému v aplikačnom toolboxe SimHydraulics.

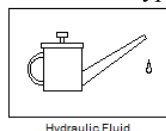


Obr. 3 Blok solver configuration na zostavenie modelu v Simulink-u

V nastavení **Simulation/Configuration Parameters**: nepoužívame solver *ode45*, bežný pri modelovaní časovo definovaných dynamických systémov v Simulinku, pretože riešenie systému by bolo časovo náročné a uvažuje sa hmotou v systéme. Ak spustíme simuláciu so solver-om *ode45*, budeme upozornení v príkazovom riadku Matlabu o jeho nevhodnosti pre tento typ simulácie.

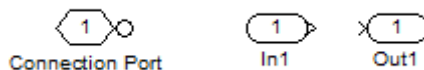
Pre riešenie fyzikálnych modelov z aplikačnej knižnice *Simscape* sú určené solver-y *ode23t*, *ode15s* alebo *ode14x* s variabilným automatickým krokom, ktoré je určené pre riešenie obyčajných diferenciálnych rovníc.

Charakteristiky hydraulických systémov závisia aj na vlastnostiach kvapalín, ktoré využívajú. Ďalším nutným prvkom, ktorý musí obsahovať každý modelovaný hydraulický systém je blok **Hydraulic fluid** (Obr. 4). V tomto bloku si nastavujeme typ hydraulickej kvapaliny, jej teplotu, viskozitu a pod., pričom už obsahuje predefinované typy kvapalín.



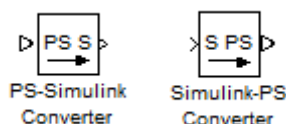
Obr. 4 Blok na definovanie štruktúry hydraulickej kvapaliny

Bloky knižnice SimHydraulics obsahujú dva typy portov (Obr. 5). Toto odlišenie zabezpečí prepojenie len zhodných typov portov – fyzické, cez ktoré sa v systéme prenáša hmota a signálové. Snímacie prvky alebo nádrže majú signálový výstup, nameranú veličinu ako je napr.: množstvo kvapaliny v nádrži, tlak, prietok a pod. Aktívne prvky majú signálový vstup, ako napr.: otvorenie/zatvorenie ventilu alebo hodnota tlaku, uhlovej rýchlosti atď. Pre zapuzdrenie blokov do subsystému potrebujeme použiť port pripojenia. Fyzická väzba ma špeciálny blok, ktorý slúži ako vstup alebo výstup podľa smeru zapojenia. Na Obr. 5 vľavo je zobrazený fyzický port, na porovnanie je na pravej strane vstupný a výstupný blok simulačného prostredia Matlab/Simulink. V nastavení fyzického portu je možné zvoliť stranu, na ktorej sa bude nachádzať port subsystému s popisom.



Obr. 5 Porovnanie fyzického portu knižnice Simscape so signálovými portami v Simulink-u

Aby bola možná spolupráca medzi blokmi SimHydraulics a základnými blokmi Simulinku existujú konvertory signálov, zobrazené na Obr. 6. Blok vľavo umožňuje konverziu signálu medzi Simulink-om a SimHydraulics-om, na pravej strane je konvertor plniaci opačnú funkciu. Konvertorom *PS-S* prevádzame signálový výstup fyzickou štruktúrou z blokov knižnice Simscape na signál bez fyzickej štruktúry v Simulinku. Konverziu signálu bez fyzickej štruktúry v Simulinku na fyzickú štruktúru blokov aplikačnej knižnice Simscape, realizujeme blokom *S-PS*. V nastavení bloku si zvolíme typ jednotky signálu, ktorý vstupuje/vystupuje z bloku.

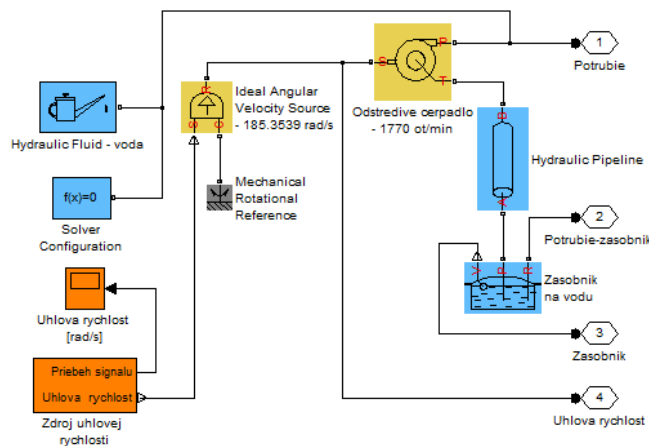


Obr. 6 Konvertor na prevod signálu medzi signálom Simulink-u a SimHydraulics a naopak

Podrobnejší popis blokov sa nachádza v používateľskej príručke SimHydraulics [3], alebo na stránke Matlabu.

B. Subsystem odstredivé čerpadlo

Blok čerpadla, zvýraznený oranžovou farbou v základnej schéme (Obr. 2) obsahuje prepojenie mechanických častí z knižnice *Simscape/Mechanical* s odstredivým čerpadlom a zásobníkom vody.



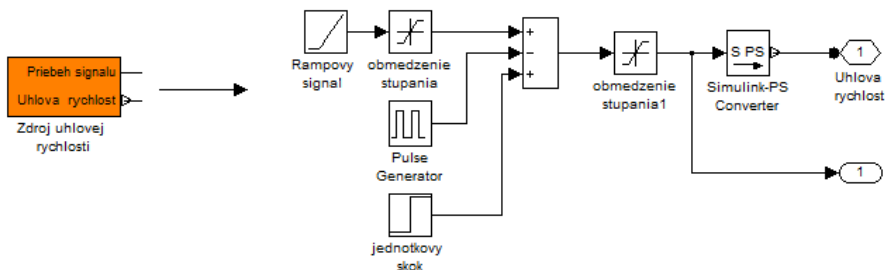
Obr. 7 Subsystem odstredivého čerpadla

Vstupom do subsystemu čerpadla je mechanický port S , uhlová rýchlosť ω , ktorá sa používa spolu s blokom ideálnej uhlovej rýchlosti. Pod ideálnym zdrojom uhlovej rýchlosti sa rozumie zdroj, ktorý je dostatočne silný na udržanie nami zadanej rýchlosti, bez ohľadu na krútiaci moment. Vstupom je mechanický rotačný pohyb, definovaný referenciou voči zemi a signálový port S , na ktorý je privedená požadovaná uhlová rýchlosť.

Čerpadlo prečerpáva vodu medzi hydraulickým vstupom T , na ktorý pripájame zásobník vody a P , od ktorého ďalej pokračuje potrubie. Parametre čerpadla boli ponechané ako preddefinované, avšak je možné zadať aj vlastné hodnoty napríklad z katalógového listu. Nastavovaním parametrov čerpadla sa venujú samostatné články [1]. Nádrž na vodu obsahuje kvapalinu pod stanoveným tlakom, port P je vo vzťahu s čerpadlom a port R zasa vo vzťahu s posledným potrubím HS.

C. Blok zdroja uhlovej rýchlosti

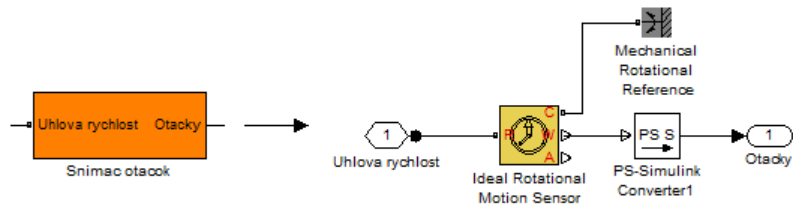
Subsystem zdroja uhlovej rýchlosti zobrazený na obrázku Obr. 8 je zložený z blokov pulzného generátora, jednotkového skoku a rampy pre dosiahnutie vstupného signálu uhlovej rýchlosti (zmenu otáčok odstredivého čerpadla).



Obr. 8 Subsystem uhlovej rýchlosti

D. Blok snímača otáčok odstredivého čerpadla

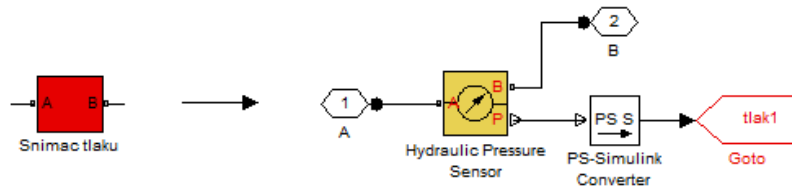
Blok snímača uhlovej rýchlosti sa nachádza v knižnici *Simscape/Foundation Library/Mechanical/Sensors*. (Obr. 9) Porty R a C sú rotačno-mechanické a výstupom cez signálový port dostávame otáčky v rad/s .



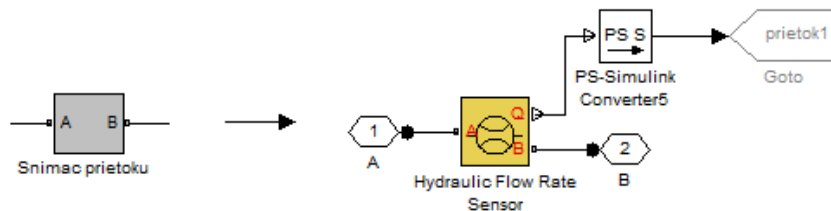
Obr. 9 Subsystem sniMACa otáčok odstredivého čerpadla

E. Bloky sniMACa tlakovej diferencie a objemového prietoku

Snímač tlakovej diferencie je zobrazený na Obr. 10 a digitálny prietokomer zobrazený na Obr. 11. Sensory merajú od portu A k portu B. Signálové porty P, Q merajú tlak v Pa. resp. objemový prietok v m³/s.



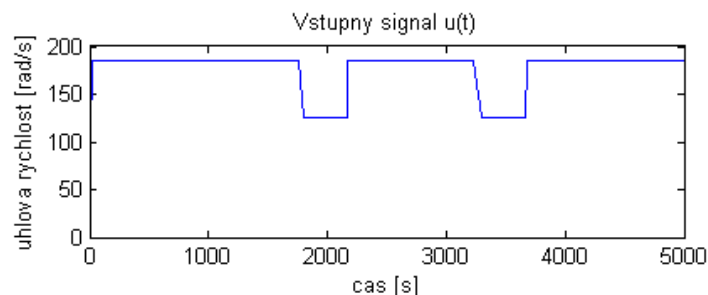
Obr. 10 Subsystem sniMACa tlakovej diferencie



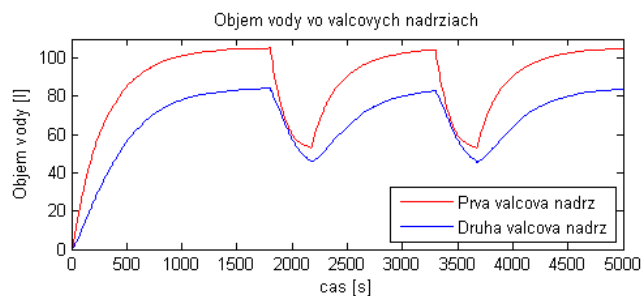
Obr. 11 Subsystem sniMACa objemového prietoku

V. SIMULAČNÉ EXPERIMENTY NA MODELOVANOM HYDRAULICKOM SYSTÉME

Vstupom do hydraulického systému je budiaci signál uhlovej rýchlosti čerpadla s priebehom zobrazeným na obrázku 12.

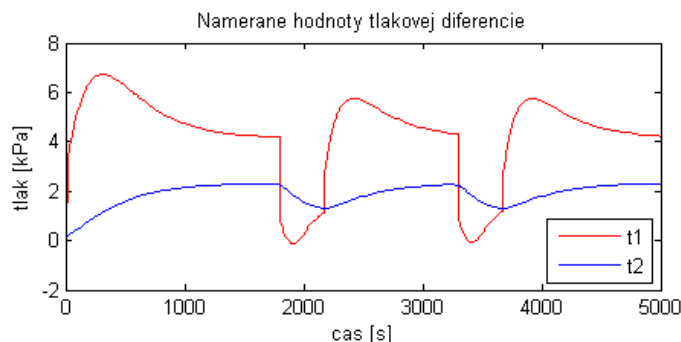


Obr. 12 Vstupný signál uhlovej rýchlosti odstredivého čerpadla



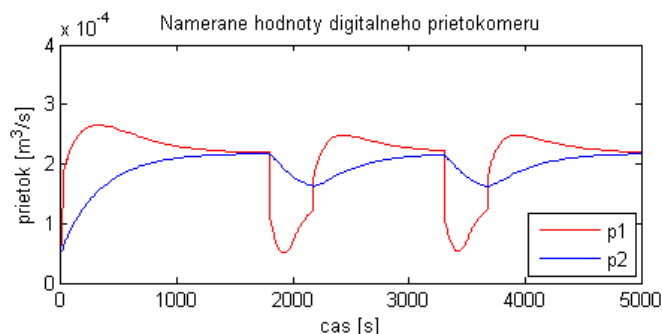
Obr. 13 Priebeh naplnenia a vypúšťania prvej a druhej valcovej nádrže

Priebeh výšky hladín prvej a druhej valcovej nádrže na grafe (Obr. 13), má pomalý nábeh na ustálenú hodnotu a v čase 1800 s znížením otáčok z 1770 ot/min na 1200 ot/min sa začnú vyprázdňovať obidve valcové nádrže. Oneskorenie medzi prvou a druhou nádržou vplyvom potrubia je viditeľné aj na výške hladiny druhej valcovej nádrže.



Obr. 14 Zmena objemu tlakovej diferencie prvého a druhého diferenčného tlakomeru

Graf zmeny tlakovej diferencie (Obr. 14) zobrazuje tlak $t1$ nameraný na kolene pred druhou nádržou, ktorý dosahuje takmer 6 kPa. Tlak na tlakomeri $t2$ je značne menší oproti tlaku pred druhou nádržou. V obvode hydraulického systému vidieť určité tlakové straty spôsobené potrubím.



Obr. 15 Zmena prietoku meraná prvým a druhým objemovým prietokomerom

Pred ustálením objemu v nádržach sa dostáva aj prietok do ustáleného stavu.

VI. ZÁVER

Nesporňovanou výhodou aplikačného toolboxu SimHydraulics je to, že uvažuje aj s tlakom a fyzikálnymi zákonmi prúdenia kvapaliny v potrubí. Z výsledných grafov môžeme sledovať priebeh zmeny objemu oboch valcových nádrží, ako aj zásobníka vody. Zároveň môžeme sledovať zmenu tlaku v obvode hydraulického systému, kde vplyvom potrubia nastávajú tlakové straty.

Ako bolo naznačené aplikačný toolbox SimHydraulics nachádza široké uplatnenie pri modelovaní hydraulických systémov alebo vodovodov s dlhým vedením, kvôli možnostiam zotavenia simulačného modelu, zahrnutia množstva parametrov a fyzikálnych veličín.

POĎAKOVANIE

Tento článok bol podporený Vedeckou grantovou agentúrou Slovenskej Republiky v projekte Vega č.1/0286/11 Dynamické hybridné architektúry v multiagentových sieťových riadiacich systémoch (70%) a projektu Kega č. 021TUKE-4/2012 pod názvom CyberLabTrainSystem - demonštrátor a trenažér informačno-riadiaceho systému (30%)

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] M. KOZUBKOVÁ: *Simulace a modelování hydraulických systémů*, Ostrava 2009. 128 s. Dostupné na internete [cit. 2013-05-22]: <<http://www.338.vsb.cz/PDF/Simulace2009.pdf>>.
- [2] P. NOSKIEVIČ: *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: Montanex a. s. 1999. 276 s. ISBN 80-7225-030-2
- [3] *The MathWorks Inc.: SimHydraulics User's Guide*, Version 1.8, The MathWorks Inc., Natick, 2010
- [4] M. TOMČÁK: *Spracovanie tutoriálov aplikačného využitia hydraulických systémov a Toolboxu SimHydraulics v modelovaní hydraulických systémov*. Bakalárska práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2013. 54 s. Vedúca práce: Anna Jadlovská