

VIZUALIZÁCIA SIMULOVANEJ SÚSTAVY RIADENEJ SYSTÉMOM SIMATIC S7-300

Igor Béla, György Gyepes, Ján Jovankovič

Katedra automatizácie a regulácie, STU Bratislava, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Abstrakt:

Príspevok obsahuje opis vizualizácie simulovanej sústavy pomocou Virtual Reality Toolbox-u systému Matlab R12.1. Model sústavy je realizovaný v prostredí Real-Time Windows Target. Riadenie zabezpečuje PLC SIMATIC radu S7-300, ktoré je spojené so sústavou prostredníctvom analógových signálov. V príspevku je uvedený princíp vizualizácie sústavy a prepojenie simulačného a vizualizačného modelu.

1 Úvod

V procese výuky sa na našom pracovisku používa riadiaci systém SIMATIC S7-300 v spojení s jednoduchými riadenými sústavami.

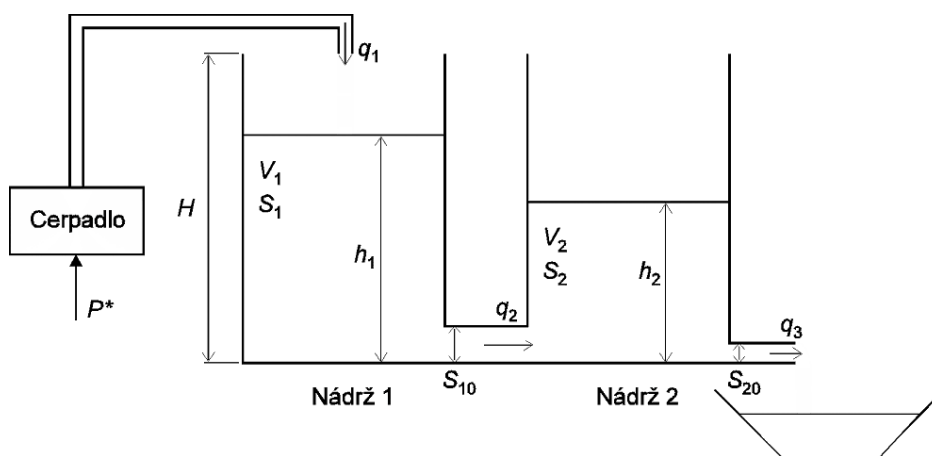
Cieľom tvorby modelu bolo vytvoriť programátorovi PLC ilúziu, že pracuje s reálnou sústavou, ktorá generuje a spracováva elektrické analógové vstupné a výstupné signály. Na real time (RT) implementáciu sme zvolili sústavu spojených nádrží s voľným odtokom a riadeným prítokom kvapaliny.

Naše nároky na RT model plne spĺňa programový balík Matlab/Simulink s knižnicou Real-Time Windows Target (RTWT), ktorý umožňuje realizovať RT modely sústav s periódou vzorkovania rádovo stoviek μs a vyššou. Obsahuje ovládače pre rad I/O dosiek. Programovanie modelu sústavy je plne grafické - v prostredí Simulink.

V príspevku je opis modelu riadenej sústavy, opis riadiaceho algoritmu, a opis vizualizácie vo virtuálnom trojrozmernom (3D) priestore.

2 Opis riadenej sústavy

Uvažujeme dvojhladinovú sústavu nádrží s voľnými hladinami a voľným odtokom podľa Obr.1.



Obr. 1 Spojené nádrže

Sústava pozostáva z dvoch nádrží výšky H a s konštantným prierezom S . Tieto nádrže sú v spodnej časti spojené. Prítok kvapaliny do prvej nádrže q_1 je generovaný čerpadlom, ktorého výkon P^* riadime plynule v rozsahu 0 až 100%. Objem kvapaliny v prvej nádrži je V_1 , a výška hladiny h_1 . Vplyvom gravitácie kvapalina voľne preteká do druhej nádrže prietokom q_2 trúbkou s prierezom S_{10} . Objem kvapaliny v druhej nádrži je V_2 , jeho výška h_2 . Výtok z druhej nádrže má prierez S_{20} , kvapalina z nej voľne odteká odtokom q_3 .

Matematický model sústavy spojených nádrží

Pre dvojhladinovú sústavu dvoch spojených nádrží z Obr. 1 platí pre zmenu objemu $V_1(t)$ a $V_2(t)$ sústava diferenciálnych rovníc:

$$\frac{dV_1(t)}{dt} = q_1(t) - q_2(t) \quad (1)$$

$$\frac{dV_2(t)}{dt} = q_2(t) - q_3(t) \quad (2)$$

Pre prítok kvapaliny do prvej nádrže platí:

$$q_1 = Ku(t) \quad (3)$$

Kde K je zosilnenie akčného člena [mm^3/s] a $u(t)$ akčný zásah.

$$\text{Nech } K_s = \frac{K}{S} \quad (4)$$

Potom výšku hladiny kvapaliny v nádržiach vyjadrujú rovnice (5) a (6).

$$\frac{dV_1(t)}{dt} = u(t) \cdot K_s - \alpha \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} \quad (5)$$

$$\frac{dV_2(t)}{dt} = \alpha \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} - \beta \sqrt{h_2(t)} \quad (6)$$

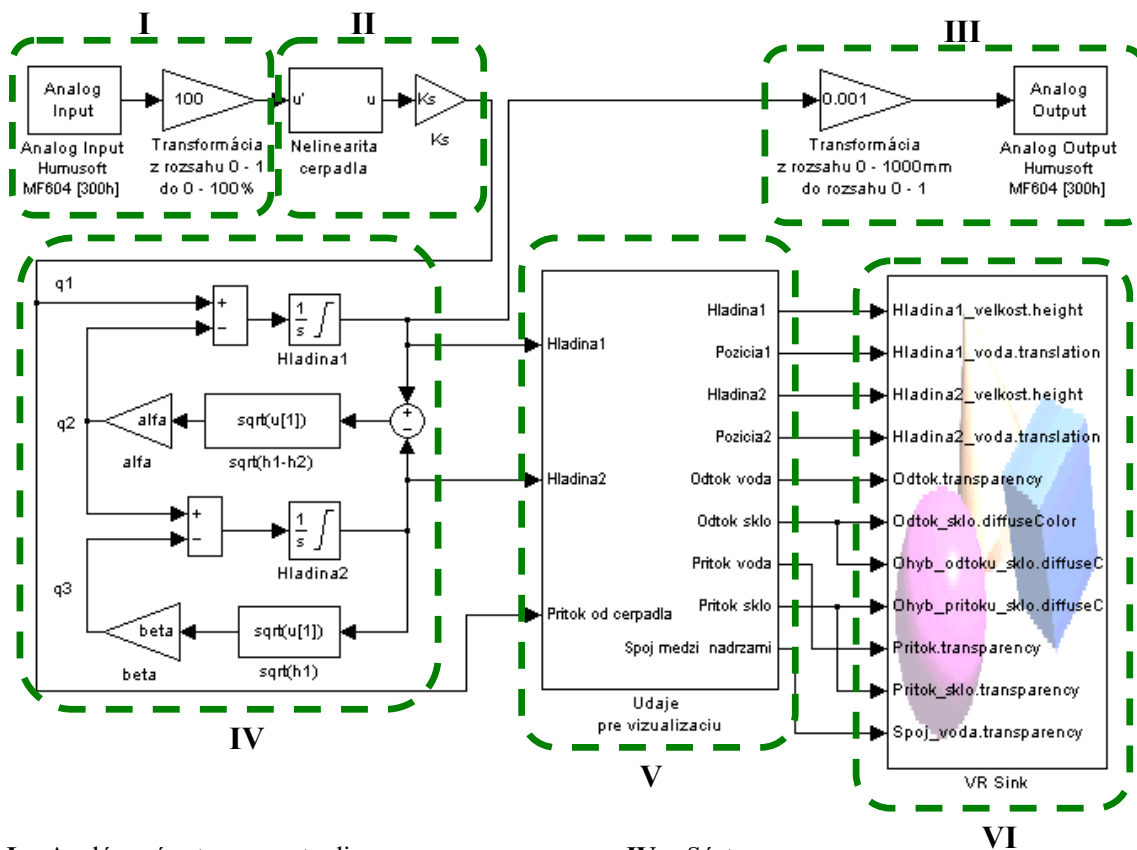
Koeficienty α , β sú závislé na veľkosti prierezov výtokov z nádrží 1, 2. Ich hodnoty ako aj hodnotu zosilnenia K uvádzame v Tab. 1.

Koeficienty	K_s [mm^3/s]	α [$\text{mm}^{1/2}/\text{s}$]	β [$\text{mm}^{1/2}/\text{s}$]
Číselné hodnoty	0.139	0.7752	0.2665

Tab. 1 Číselné hodnoty jednotlivých koeficientov modelu

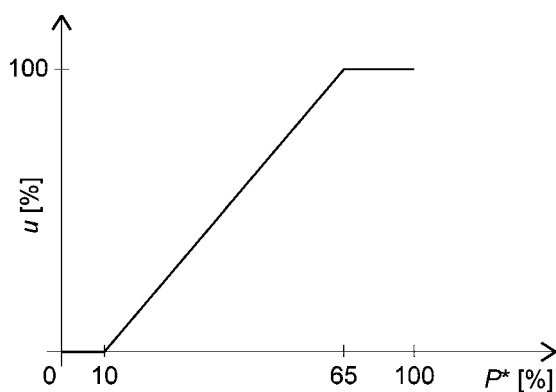
Simulačný model sústavy spojených nádrží

Simulačný model sústavy vznikol prepisom rovníc (5), (6) do podoby blokového diagramu, ale obsahuje aj ďalšie bloky Obr. 2. Sú to vstupný a výstupný blok pre komunikáciu s riadiacim systémom, blok reprezentujúci nelinearitu čerpadla (viď. Obr. 3), ďalej blok pre úpravu veličín pre vizualizáciu a samotný blok ktorý zabezpečuje komunikáciu s modelom vo virtuálnom svete.



- I. Analógový vstup z prostredia
- II. Čerpadlo
- III. Analógový výstup
- IV. Sústava
- V. Úprava veličín pre vizualizáciu
- VI. Blok zabezpečujúci spojenie s vizualizačným modelom

Obr. 2 Simulačný model sústavy



Obr. 3 Nelinearita čerpadla

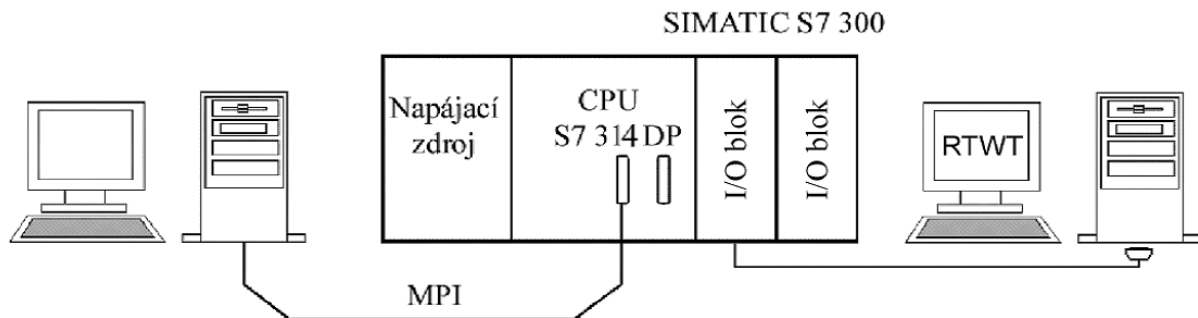
3 Algoritmus riadenia a jeho implementácia

Riadenou veličinou sústavy je výška hladiny kvapaliny v nádrži 1. Riadenie sústavy zabezpečujeme pomocou PLC SIMATIC S7-300 (viď. Obr. 4), v ktorom je implementovaný PI regulátor s nasledovným prenosom:

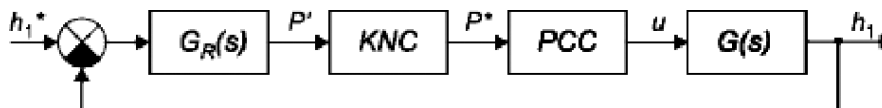
$$G_R(s) = 0.914 + \frac{0.1174}{s} \quad (7)$$

Procesorová jednotka je typu SIMATIC CPU 314-2DP, v ktorej sú integrované analógové vstupy a výstupy. Prenáša sa analógový vstupný signál reprezentujúci výšku hladiny riadenej sústavy h_1 a analógový výstupný signál P^* predstavujúci akčný zásah (výkon čerpadla v %).

Na Obr. 5 uvádzame blokovú štruktúru uzavretého regulačného obvodu. Blok *KNC* kompenzuje nelinearitu prevodovej charakteristiky čerpadla (je realizovaný v riadiacom algoritme). Nelinearitu čerpadla reprezentuje blok *PCC*.



Obr. 4 Schematická štruktúra regulačného obvodu



Obr. 5 Bloková štruktúra uzavretého regulačného obvodu

4 Vizualizácia a Virtual Reality Toolbox (VRT)

V praxi sa používa model, pri ktorom zber veličín prebieha z procesnej úrovne. Tieto sú ďalej distribuované do riadiaceho systému. Všetky veličiny, ktoré je nutné vizualizovať sú sprístupnené z tohto systému.

V našom prípade je riadený systém realizovaný RT modelom v Matlabe. Jeho vizualizáciu je možné v zásade riešiť dvomi spôsobmi:

- na vizualizáciu je použitý softvér z oblasti vizualizácie procesov, napr. WinCC, InTouch a iné,
- vizualizácia je realizovaná prostriedkami Matlabu.

Z hľadiska prepojenia modelu sústavy (Matlab) a prostriedkov vizualizácie, najprirodzenejšie riešenie (v našom prípade) je použiť VRT, ktorý je súčasťou Matlabu a priamo podporuje prenos hodnôt premenných medzi RT modelom sústavy a modelom vo virtuálnom svete.

Virtual Realty Toolbox je produkt umožňujúci vizualizáciu dynamických systémov v trojrozmernom virtuálnom priestore. Objekty virtuálneho priestoru sú vytvorené v jazyku VRML97. Tieto objekty je umožnené vytvárať ručne (písaním skriptu v tomto jazyku), či pomocou programového prostriedku tzv. builder-a, ktorý je súčasťou Virtual Reality Toolbox-u, alebo pomocou iných nástrojov.

Náš model sme vytvorili pomocou V-Realm Builder-a. Jeho výhodou je, že obsahuje knižnicu 3D objektov, z ktorých je možné zostaviť vlastný virtuálny 3D svet.

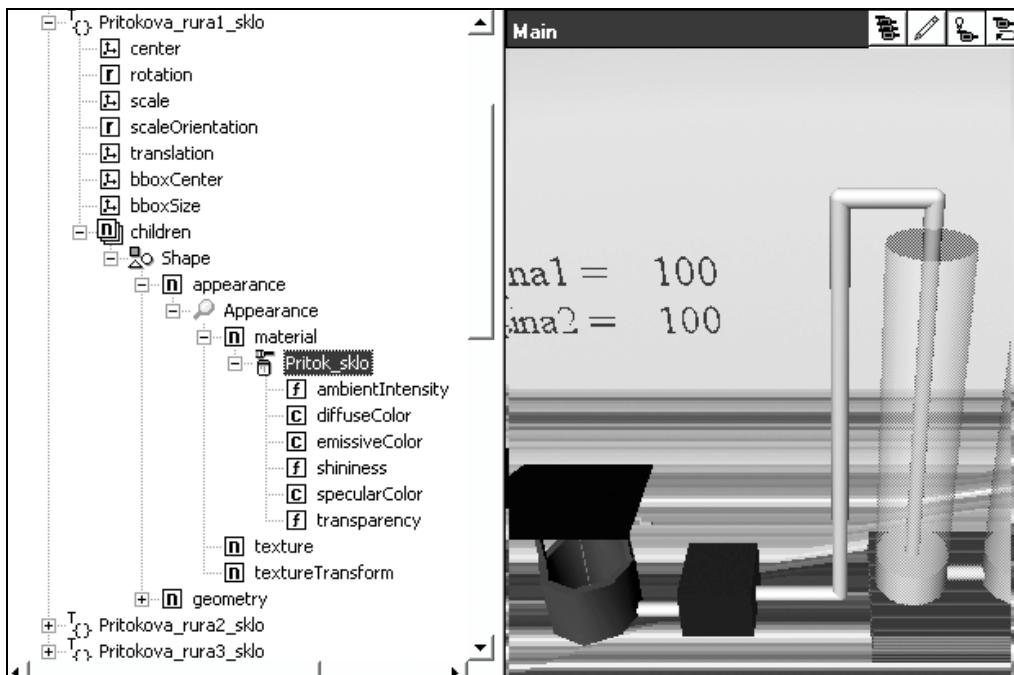
5 Spojenie Simulinku s virtuálnym svetom

Zbiehaním modelov vytvorených v Simulinku dostávame výstupy. Spojením týchto výstupov s virtuálnym svetom dokážeme ovplyvniť jednotlivé vlastnosti jeho objektov. Ide o ich veľkosť, pozíciu, farbu, atď. Produkt Virtual Reality Toolbox ponúka niekoľko nástrojov, ktoré môžeme využiť pri komunikácii s virtuálnym svetom. Pre naše účely nám stačí blok VR Sink, ktorý umožňuje spojenie s virtuálnym svetom a posielat' doň signály.

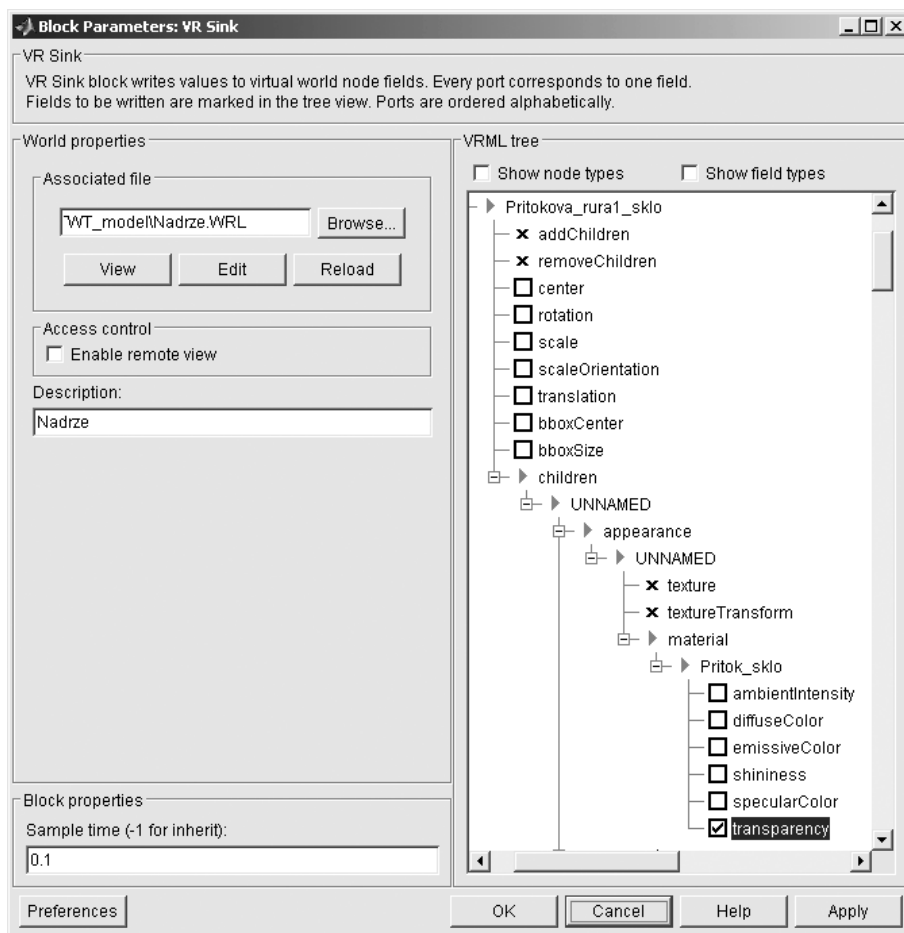
Pri vizualizácii zo Simulinku sú ovplyvňované vybrané vlastnosti objektov nášho virtuálneho sveta. Pri vytváraní vizualizačného modelu sa premenovávajú tie uzly, ktorých položky chceme sprístupniť zo Simulinku. Na Obr. 6 je uvedený príklad editácie nášho vizualizačného modelu v programe V-Realm Builder, keď sprístupňujeme vlastnosti materiálu prítokovej rúry. Nastavovaná vlastnosť mení priehľadnosť steny prítokovej rúry v závislosti na prítomnosti vody v rúre (ak je prítok väčší ako $0 \text{ m}^3/\text{s}$).

Kvôli možnosti prenosu údajov medzi modelom v Simulinku a virtuálnym svetom je ešte nutné vhodne nastaviť blok VR Sink. V časti VRML Tree tohto bloku sa vyberajú položky premenovaných uzlov, ktoré reprezentujú požadované správanie objektov virtuálneho sveta. Na Obr. 7 uvádzame príklad výberu priehľadnosti prítokovej rúry.

Údaje o výške hladín vody v nádržiach sú zobrazované pomocou skriptov v jazyku Java (viď Obr. 8).



Obr. 6 Vizualizačný model v programe V-Realm Builder



Obr. 7 Otvorený blok VR Sink

```

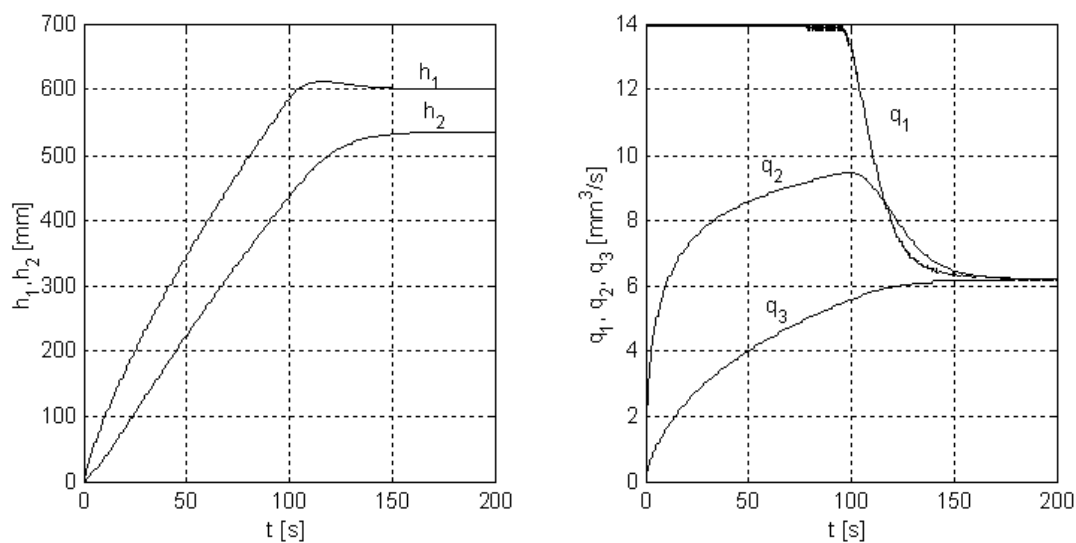
javascript:
function Hladina1_in(value) {
    Hladina1_out[0] = 4*(Math.round(100*Hladina1_in[1])+250);
}

```

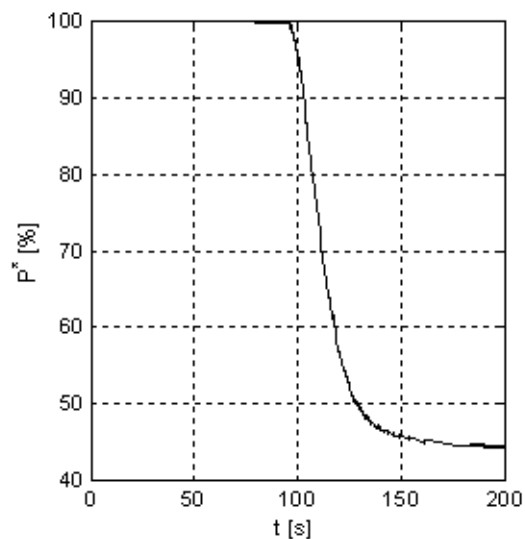
Obr. 8 Skript použitý pri zobrazovaní údajov o výške hladiny v prvej nádrži

6 Namerané výsledky

Činnosť regulačného obvodu výšky hladiny je ilustrovaná na výsledkoch experimentu, ktoré sú na Obr. 9 a 10. Experiment zobrazuje priebehy hladín, prietokov a akčného zásahu pri skokovej zmene žiadanej hodnoty h_{1z} z 0 na 600 mm. Čas simulácie bol 200 s, perióda vzorkovania modelu $T_{vzmodel} = 2$ ms a perióda vzorkovania regulátora $T_{vzreg} = 10$ ms.



Obr. 9 Priebehy hladín a prietokov



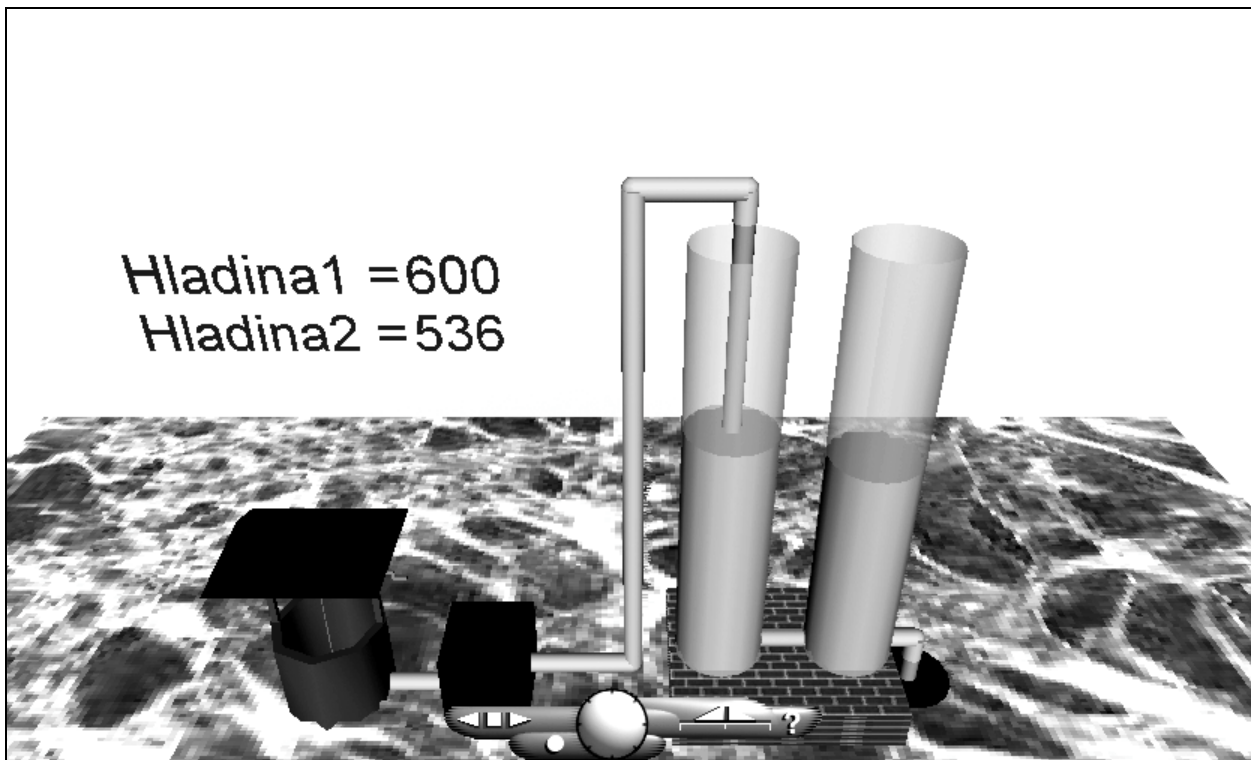
Obr. 10 Priebeh akčného zásahu

Výstupné hodnoty z modelu sústavy boli prenášané do 3D virtuálneho sveta, záber na ktorý je na Obr. 11. Samotná vizualizácia prebieha v okne internetového prehliadača pomocou vizualizačného plug-in-u „Blaxxun Contact Version 4.4 VRML“.

Do virtuálneho sveta sú prenášané hodnoty výšky hladín v nádržiach a prietoky. Výšky hladín ovplyvňujú nasledovné vlastnosti objektov virtuálneho sveta:

- výšky vodných stĺpcov v nádržiach,
- zobrazované číselné údaje (Hladina₁, Hladina₂).

Prietoky q_1 , q_2 , q_3 ovplyvňujú zafarbenie stien prítokových a odtokových rúr.



Obr. 11 Vizualizácia pomocou VRT

7 Záver

Cieľom príspevku bolo opísať princíp implementácie a vizualizácie RT modelu sústavy pomocou toolboxov Real-Time Windows Target a Virtual Reality Toolbox. Tento model bol prepojený s reálnym PLC typu SIMATIC S7.

Pri implementácii modelu sústavy bol použitý počítač typu PC s CPU Intel Celeron, taktovacou frekvenciou procesora 1 GHz a 128 MB RAM. Perióda vzorkovania modelu sústavy bola 2 ms. Na prevod analógových vstupných a výstupných signálov modelu bola použitá doska firmy Humusoft typu MF604.

Vizualizácia bola realizovaná na tom istom počítači ako RT model sústavy. VRT umožňuje prenos údajov do/z virtuálneho sveta aj prostredníctvom lokálnej siete, táto možnosť v našom prípade nebola využitá.

Literatúra

- [1] Masár, I., Ivanov, I.: Aplikácie reálneho času v programovom prostredí MATLAB/SIMULINK. Vydavateľstvo STU Bratislava, 2001. ISBN 80-227-1601-4.
- [2] Humusoft: MF 604, Data Acquisition Card – User's manual. 1999.
- [3] Siemens: SIMATIC S7-300 Automation system, CPU specifications: CPU 31xC and CPU 31x, Reference Manual. June 2003.
- [4] Mathworks: Virtual Reality Toolbox for use with Matlab and Simulink, Users guide.V2. 2001.

Kontaktná adresa

Igor Bélai, Katedra automatizácie a regulácie, STU, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovensko. E-mail: ibelai@kar.elf.stuba.sk.