

## ROZŠÍŘENÍ LABORATORNÍHO MODELU „KASKÁDA TŘÍ NÁDRŽÍ“

### Three Tank Cascade Laboratory Model Improvements

Jan Čihák, Stanislav Vrána

**Abstrakt:** Pro ověřování nově vyvíjené samoseřizovací metody a porovnávání dosažených výsledků s výsledky jiných seřizovacích metod je využíván laboratorní model „kaskáda tří nádrží“. Pro tyto účely měl laboratorní model některé nepříznivé vlastnosti, proto bylo rozhodnuto laboratorní model dovybavit.

**Klíčová slova:** laboratorní model, kaskáda nádrží, regulační pochod, seřizovací metoda, regulátor, programovatelný řídicí automat

#### 1. Úvod

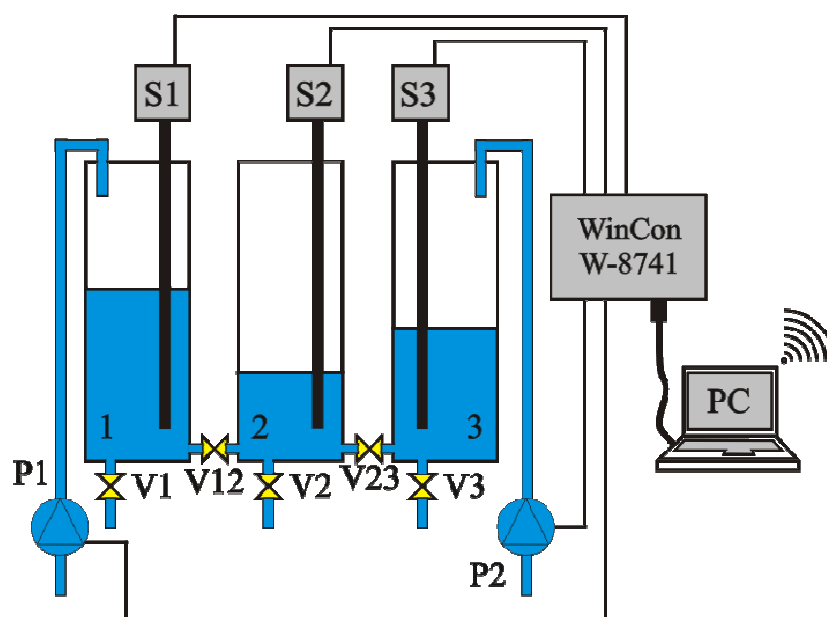
Pro ověřování možností seřizovacích metod regulátorů [1], [8] a porovnání průběhů regulačních pochodů dosažených při nastavení regulátorů podle těchto metod s průběhem regulačního pochodu, kdy je regulátor nastaven pomocí seřizovací metody založené na vyhodnocování indikátorů kvality regulačního pochodu [6], [7], využíváme laboratorní model „kaskáda tří nádrží“. Jedná se o model tří vzájemně propojených nádrží, z nichž každá má i svůj odtokový ventil, voda je přiváděna do dvou krajních nádrží. Tento laboratorní model byl zvolen z několika důvodů: model byl k dispozici, jedná se nelineární model s proměnnými parametry v čase a není složité odvodit jeho matematický model. Po prvních experimentech se ale ukázaly některé nedostatky, které ověřování komplikují. Jedním z těchto nedostatků je nemožnost získat aktuální hodnotu průtoku. Druhým nedostatkem jsou stávající použítá čerpadla, která, pokud je potřebné udržet rovnovážný stav výšek hladin, jsou provozována v režimu, kdy jejich otáčky jsou podstatně menší než otáčky v nominálním režimu a navíc velmi kolísají, čímž způsobují také kolísání průtoku. Proto bylo rozhodnuto doplnit laboratorní model o třetí čerpadlo jiného typu navíc doplněné o měření průtoku, aby bylo možné zajistit konstantní průtok. Možné využití takto rozšířeného laboratorního modelu je popsáno v [5].

#### 2. Výchozí stav

Schéma původního vybavení laboratorního modelu je zobrazeno na obr. 1. Základem laboratorního modelu jsou tři nádrže (1 – 3). Každá z nádrží má svůj odtokový ventil (ventily V1 – V3). Otevřením ventilu V12 je možné propojit nádrže č. 1 a č. 2, otevřením ventilu V23

Ize propojit nádrže č. 2 a č. 3. Měření výšky hladiny je založeno na měření tlaku stlačeného vzduchu v trubici mezi vodní hladinou a snímačem. Jsou použity tlakové snímače Honeywell 142PC01G (snímače S1 – S3). Nádrže č. 1 a č. 3 jsou napájeny pomocí ponorných vodních čerpadel (čerpadla P1 a P2). Původní řídicí jednotka [2] byla později nahrazena programovatelným řídicím automatem WinCon W-8741 [4] vybaveným moduly I-8017H (modul 8kanálového analogového vstupu), I-8024 (4kanálového analogového výstupu), I-8053 (modul 16kanálového digitálního vstupu), I-8064 (8kanálový reléový modul), I-87018 (8kanálový termočlánekový modul) a I-8080 (4/8kanálový čítačový/frekvenční modul). Ne všechny moduly byly využity pro řízení laboratorního modelu, programovatelný řídicí automat byl využíván i pro jiné úlohy, jako například získávání dat z průběhu spalovacího procesu v kotli Verner (součást výzkumného záměru MSM6840770035 – Rozvoj ekologicky šetrné decentralizované energetiky). Jako vnější paměťové médium je možné použít paměťovou kartu Compact Flash (CF).

Softwarově je programovatelný řídicí automat založen na operačním systému Windows CE, díky čemuž je možné využít pro řízení řídicí software Rex. Výhodou řídicího software Rex je především jeho kompatibilita s prostředím Simulink programu Matlab, což zjednodušuje vývoj vlastních řídicích algoritmů. Je také možné předávat parametry ze Simulinku do programovatelného řídicího automatu a stejně tak programovatelný řídicí automat může předávat vybrané hodnoty zpět do Simulinku.

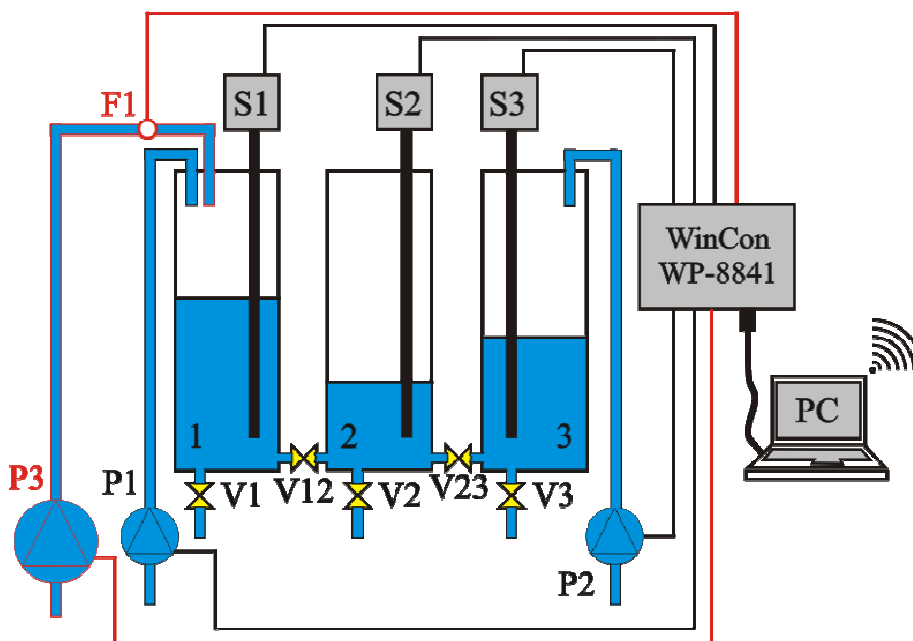


*Obr. 1 Schéma laboratorního modelu ve výchozím stavu*

### **3. Rozšíření laboratorního modelu**

Protože jedním z nedostatků stávajícího vybavení byly kolísající otáčky čerpadel, nejdůležitější změnou je přidání dalšího čerpadla. Na základě zkušeností popsanych v [3] bylo zvoleno čerpadlo KELLER 5,5 l/min 0,4 bar a současně s ním přidán i průtokoměr VISION

2006 2F66. Schéma laboratorního modelu po dovybavení je zobrazeno na obr. 2, přidané čerpadlo je označeno jako P3, přidaný průtokoměr je označen jako F1. Ovládací elektronika přidaného čerpadla je založena na operačním zesilovači OPA548T, frekvenční výstup průtokoměru je převáděn na napěťový pomocí převodníku PXF-20.924/RS.



Obr. 2 Schéma laboratorního modelu po dovybavení

Došlo také k výměně programovatelného řídicího automatu za WinPAC WP-8841 vybaveným zásuvnými moduly I-817HW (8kanálový analogový vstupní modul), I-8024W (4kanálový analogový výstupní modul) a I-8064W (8kanálový výstupní modul). Jako vnější paměťové médium je možné použít paměťovou kartu micro Secure Digital (micro SD). Z hlediska software se opět jedná o programovatelný řídicí automat softwarově založený na Windows CE, takže výhody poskytované řídicím softwarem Rex mohou být využity také. Výhodou programovatelného řídicího automatu WinPAC proti programovatelnému řídicímu automatu WinCon je přítomnost interního disku pro uživatelská data. Programovatelný řídicí automat WinCon tento interní disk neobsahuje, tudíž použití paměťové karty je v jeho případě nezbytné.

#### 4. Závěr

Dovybavení laboratorního modelu třetím vodním čerpadlem odstranilo podstatný nedostatek tohoto modelu, kterým jsou kolísající otáčky původních čerpadel a tím i průtok, jsou-li tato čerpadla provozována při nižších otáčkách, než jsou otáčky nominální. Také umožňuje získat hodnotu aktuálního průtoku, která může být využita jako zpětnovazební veličina pro regulační algoritmus. I po výměně programovatelného řídicího automatu zůstávají výhody poskytované řídicím softwarem Rex.

## **Poděkování**

Za ochotné zapůjčení laboratorního modelu kaskády k prováděným experimentům a podporu rekonstrukce prof. Hofreiterem oba autoři děkují. Model umožňuje ověřit poznatky, které jsou uplatňovány nejenom v rámci výzkumu s podporu grantu GAČR č. 101/07/1667, ale jsou navázány na právě dokončované závěrečné práce obou autorů (u Ing. Vrány doktorská dizertace, u Bc. Čiháka diplomová práce).

## **Literatura**

- [1] Åström, K. J., Hägglund, T. *Advanced PID Control*. USA: ISA, Research Triangle Park, NC, 2006. ISBN 978-1-55617-942-6
- [2] Hajník, F. 1996. *Návrh, realizace a řízení laboratorní úlohy "Spojené nádoby"*. Diplomová práce, ČVUT v Praze, 1996.
- [3] Hlava, J., Šulc, B. *Advanced Modelling and Control using a Laboratory Plant with Hybrid Processes*. In: Chung, M. J., Misra, P., Shim, H. (eds.) *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control*, Seoul, Korea, July 6-11, 2008. Seoul: IFAC, 2008, p. 14636-14641
- [4] Vrána, S. *Three Tanks Cascade Control with the Use of Rex Control System*. In: *Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008, p. 128-133. ISBN 978-80-01-04087-4
- [5] Vrána, S., Čihák, J., Šulc B. *Three Tank Cascade Improvement for Model-free Autotuning Testing*. In: *XXXIV. Seminar ASR '2009 "Instruments and Control"*. Ostrava: VŠB - Technická Univerzita Ostrava, 2009.
- [6] Vrána, S., Šulc, B. *Control Quality Indicators in PID Controller Autotuning*. In: *The 4<sup>th</sup> International Conference on Cybernetics and Information Technologies, Systems and Applications: CITSA 2007 Jointly with The 5<sup>th</sup> International Conference on Computing, Communications and Control Technologies: CCCT 2007 PROCEEDINGS Volume II*. Orlando: IIS - International Institute of Informatics and Systemics, 2007, p. 280-285. ISBN 978-1-934272-08-4
- [7] Vrána, S., Šulc B. *Frequency Based Autotuning Tested on a Laboratory Set-up in Comparison with Other Setting Techniques*. In: *Automatizácia a riadenie v teórii a praxi ARTEP 2009 – Zborník príspevkov*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009, s. 7-1-7-11.
- [8] YU, C. C. *Autotuning of PID Controllers*. London: Springer – Verlag London Limited. 1999. ISBN 3-540-76250-7

## **Kontaktní adresa**

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Odbor automatického řízení a inženýrské informatiky, Technická 4, Praha 6 - Dejvice, Česká republika, +420 2 2435 2651, jan.cihak@fs.cvut.cz, stanislav.vrana@fs.cvut.cz