

SIMULACE DYNAMICKÉHO CHOVÁNÍ UZAVŘENÉHO REGULAČNÍHO OBVODU

František Dušek, Daniel Honc

KŘPVT FCHT Univerzita Pardubice

tel: 049-6037125

e-mail: frantisek.dusek@upce.cz

Abstrakt

Optimální nastavení parametrů diskrétní regulace nelineární soustavy při respektování dalších nelinearit regulačního obvodu se provádí obvykle experimentálně. Cílem tohoto příspěvku je ukázat použití simulačního experimentu pro usnadnění procesu odladění konkrétního regulačního algoritmu a nastavení jeho parametrů.

Byl vytvořen spojitý dynamický nelineární matematický model průtokového ohřivače. Z naměřených časových průběhů tří vstupních a jedné výstupní veličiny byly v MATLABu (vyhledání minima funkce více proměnných) nalezeny hodnoty 8 neznámých parametrů modelu. V prostředí SIMULINK byl vytvořen simulační model uzavřeného regulačního obvodu respektující spojitý model řízené soustavy, způsob realizace řízení příkonu předehříváče šířkově modulovanými pulsy a diskrétní nelineární regulační algoritmus. Model byl sestaven tak, aby umožnil použít naměřené průběhy vstupních poruchových veličin a porovnat průběh skutečné regulace se simulovaným průběhem.

Tento model byl použit pro ověření chování použitého nelineárního regulačního algoritmu a odhad nastavení jeho parametrů.

Řízená soustava a její model

Řízenou soustavou jsou průtokový předehříváč refluxu O2 a nástřiku O1 poloprovozní rektifikační kolony pro rozdělávání směsi metanol-voda. Požadavkem je, aby výstupní teplota ohřívaného média sledovala průběh řídicí veličiny - žádané teploty (obecně závislé na koncentraci). Principiální schéma zařízení je na obr. 1.

Základem řídicí jednotky ŘJ je mikroprocesor Philips 87C752 (2 kB EPROM, 64 B RAM blíže viz např. [1],[2]), který zajišťuje:

- ☞ měření dvou regulovaných T_1, T_2 a dvou žádaných P_1, P_2 teplot ($4 \times 0-5$ V)
- ☞ měření dvou průtoků Q_1, Q_2 ($2 \times$ pulsy 0-300 Hz)
- ☞ měření stavu čtyř dvoupolohových přepínačů

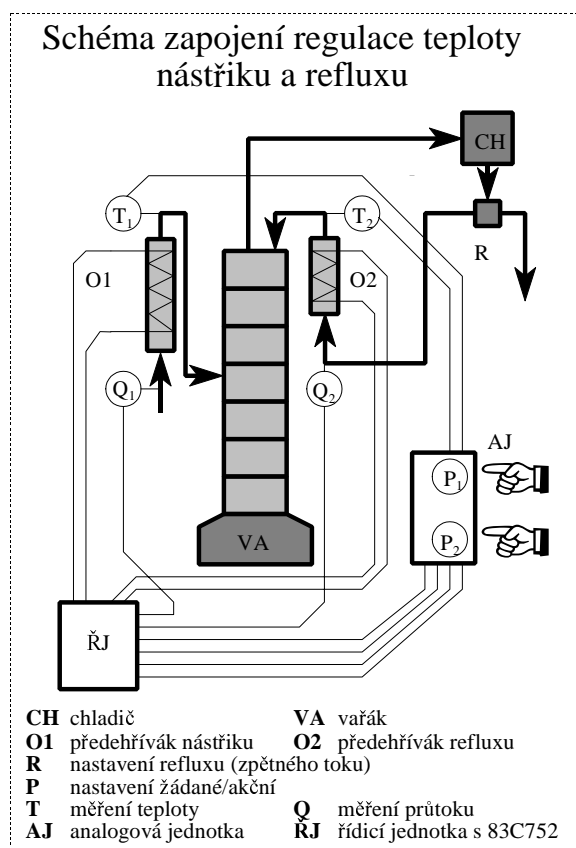


Figure 1 Nové zapojení regulace předehříváčů

- ☞ ovládání dvou polovodičových relé - Solid State Relay (2× TTL)
- ☞ softwarovou realizaci šířkově modulovaných pulsů (Pulse Width Modulated output)
- ☞ realizaci dvou jednoduchých nelineárních diskretních regulátorů
- ☞ realizaci logiky přepínání režimů MANUAL/AUTOMAT

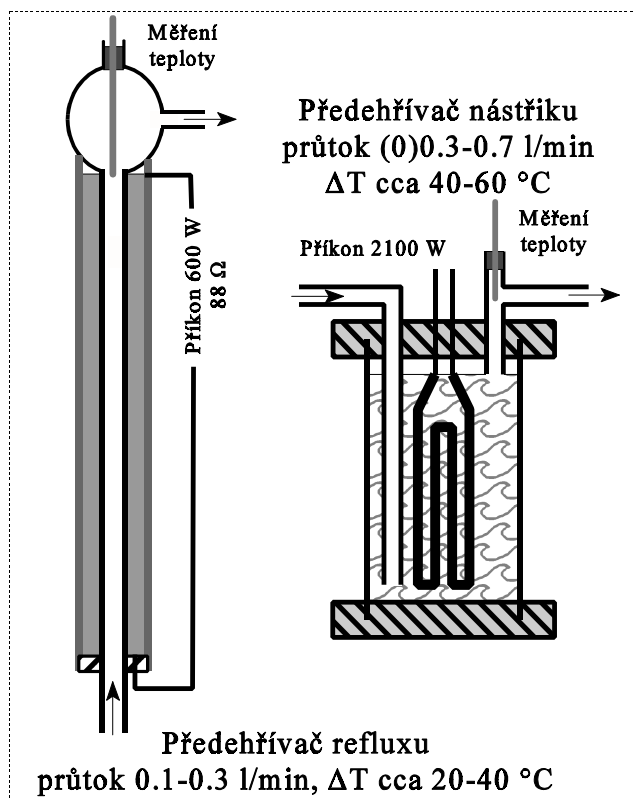


Figure 2 Provedení předehříváčů

tridiagonální, kde prvky příslušných diagonál jsou tvořeny čtvercovými maticemi \mathbf{m}_1, \mathbf{m} a \mathbf{m}_2 . Rozměry těchto matic se liší podle popisovaného předehříváče.

Vstupem modelu jsou časové průběhy tří veličin - průtok ohřívaného média (promítne se do hodnot některých prvků matice \mathbf{M}), jeho vstupní teplota (první prvek vektoru \mathbf{T}) a příkon topné spirály (obsažen v některých prvcích vektoru \mathbf{p}). Výstupem modelu je výstupní teplota ohřívaného média (poslední prvek vektoru \mathbf{T}). Struktura modelu je dána zavedenými předpoklady a konstrukčním řešením příslušného předehříváče. Číselné hodnoty některých parametrů jsou potom dány rozměry (délka, tloušťka atd.), některé hodnoty jsou známé fyzikální konstanty (hustota, tepelná kapacita) a některé hodnoty je nutno určit (koeficienty prostupu tepla, tepelná kapacita a hustota izolace atd.). Např. ve výsledném modelu předehříváče refluxu tvořeném 10 čtveřicemi stejných diferenciálních rovnic bylo potřeba určit 8 neznámých hodnot parametrů.

Identifikace neznámých parametrů matematického modelu

Cílem návrhu matematického modelu bylo dosáhnout maximální shody časového průběhu výstupní teploty předehříváče a modelu při známém průběhu vstupních veličin. Tato situace je z hlediska určení hodnot neznámých parametrů příznivá neboť umožňuje volit přímočarý způsob identifikace, kdy se do identifikovaných hodnot promítne nepřesnost použité struktury modelu i nepřesnost určení "známých" parametrů. V případě, že by nás zajímala skutečná hodnota parametrů (ve smyslu fyzikálního významu) není dále popsán postup použitelný.

Průtokový ohříváč (viz obr. 2) je typická soustava s rozloženými parametry a pokud uvažujeme i proměnný průtok tak i s výrazným nelineárním chováním. V závislosti na průtoku se mění dopravní zpoždění, zesílení i dynamika. Přesto se podařilo sestavit poměrně jednoduchý spojitý matematický model ve formě diferencně-diferenciálních rovnic s časově proměnnými parametry, který dostatečně přesně (přirozeně pouze v pracovním rozsahu sledovaných veličin a do úvahy přicházejících frekvencí změn) vystihuje charakteristické chování průtokového ohříváče [3]. Tento model lze zapsat (pro oba předehříváky) jednoduše v maticovém zápisu

$$\mathbf{M} \times \mathbf{T} + \mathbf{p} = \frac{d\mathbf{T}}{dt} \quad (1)$$

- vektor \mathbf{T} představuje charakteristické teploty jednotlivých dílů každé kapacity
- vektor \mathbf{p} zahrnuje vliv teploty okolí, příkonu topné spirály a okrajových podmínek
- čtvercová matice soustavy \mathbf{M} je

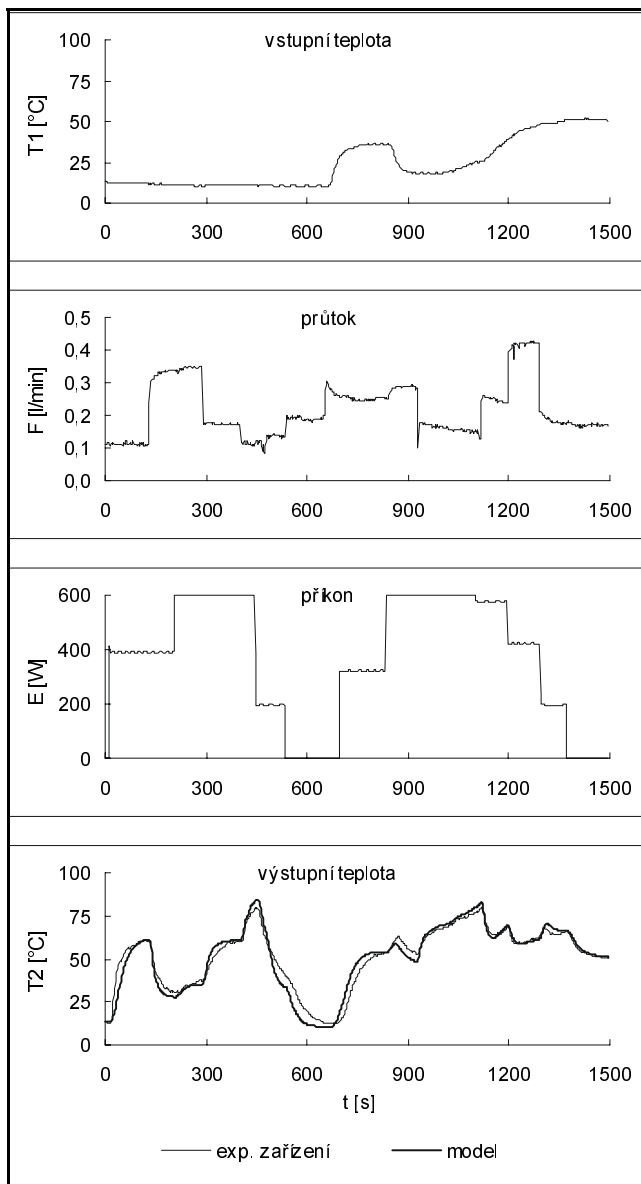


Figure 3 Identifikace modelu předehříváče refluxu

Pokud chceme nalézt neznámé parametry modelu takové, aby bylo dosaženo maximální shody mezi výstupní teplotou měřenou na příslušném předehříváku a výstupní teplotou modelu, můžeme definovat kritérium shody např. jako kvadrát rozdílu mezi časovým průběhem skutečné a počítané výstupní teploty pro dané průběhy vstupních veličin. Potom je cílem identifikace nalézt takové hodnoty neznámých koeficientů, které minimalizují dané kritérium. V našem případě situaci komplikoval způsob realizace příkonu předehříváčů ve formě šířkově modulovaných pulsů. Záznam experimentu bylo nutno mít ve formě, která umožňovala určit časový okamžik, kdy došlo k vypnutí či zapnutí topení předhříváče. Více viz [4]. Samozřejmě i výpočet odezvy modelu bylo nutné provádět s respektováním této informace.

Pokud úlohu definujeme tímto způsobem, je řešení s využitím MATLABovské funkce *fmins* jednoduché. Druhá věc je časová náročnost řešení. V případě identifikace parametrů modelu předehříváče refluxu, kdy měřené hodnoty představovaly (25 min experimentu se vzorkováním 500 msec) 4×3000 hodnot, byla doba vyhledání minima kritéria (Pentium 133 MHz, 32 MB RAM, MATLAB 5.2) asi 30 minut. Časové průběhy vstupní teploty, průtoku, příkonu a odpovídající skutečná výstupní a (na základě modelu s optimálními hodnotami parametrů) vypočítaná teplota je na obr. 3.

Regulační algoritmus

Vzhledem k omezením daným použitým mikroprocesorem bylo nutné navrhnout regulační algoritmus co nejjednodušší. Byla použita diskrétní verze PI algoritmu s zahrnutím omezení akční veličiny a integrální složky (anti-windup). Pro potlačení nelinearity byl aplikován princip adaptivního řízení Gain Scheduling, kde za vyjádření stavu systému byl považován průtok.

Simulační model regulačního obvodu

Simulační model byl vytvořen ve dvou variantách. Jedna varianta s konstantními (volitelnými) hodnotami vstupních poruchových veličin (vstupní teplota a průtok ohřívaného média) a druhá varianta, kde se hodnoty těchto veličin braly z datového souboru s naměřenými hodnotami.

První varianta byla použita pro vyhledání "optimálních" hodnot parametrů regulátoru. Pod pojmem optimální je myšleno subjektivní vyhodnocení regulačního pochodu (pro vybraný průtok) takové, že při změně žádané hodnoty dojde k cca 5-10% překmitnutí.

Druhá varianta byla použita pro porovnání skutečného a simulovaného průběhu regulace pro stejný průběh poruchových veličin a žádané výstupní teploty. Celkové simulační schéma této varianty

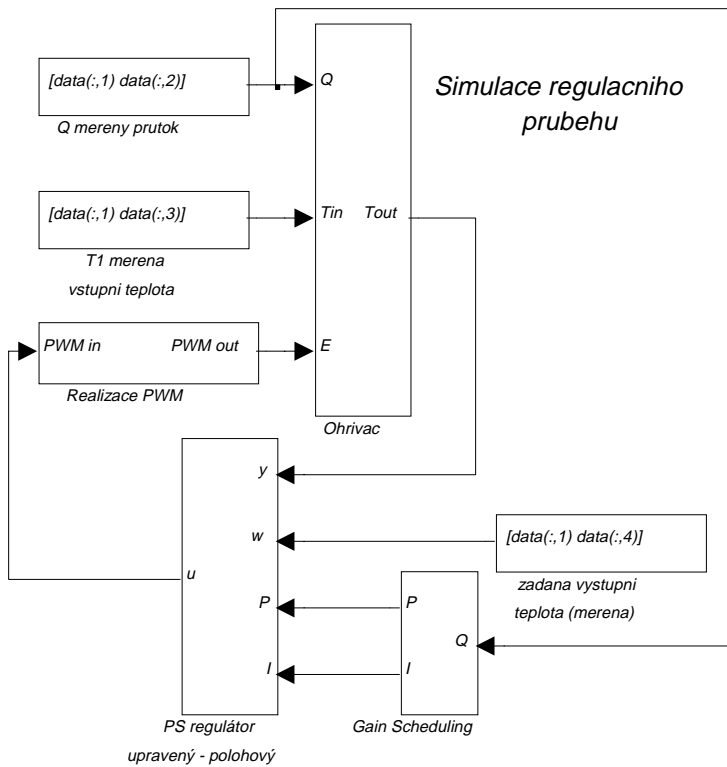
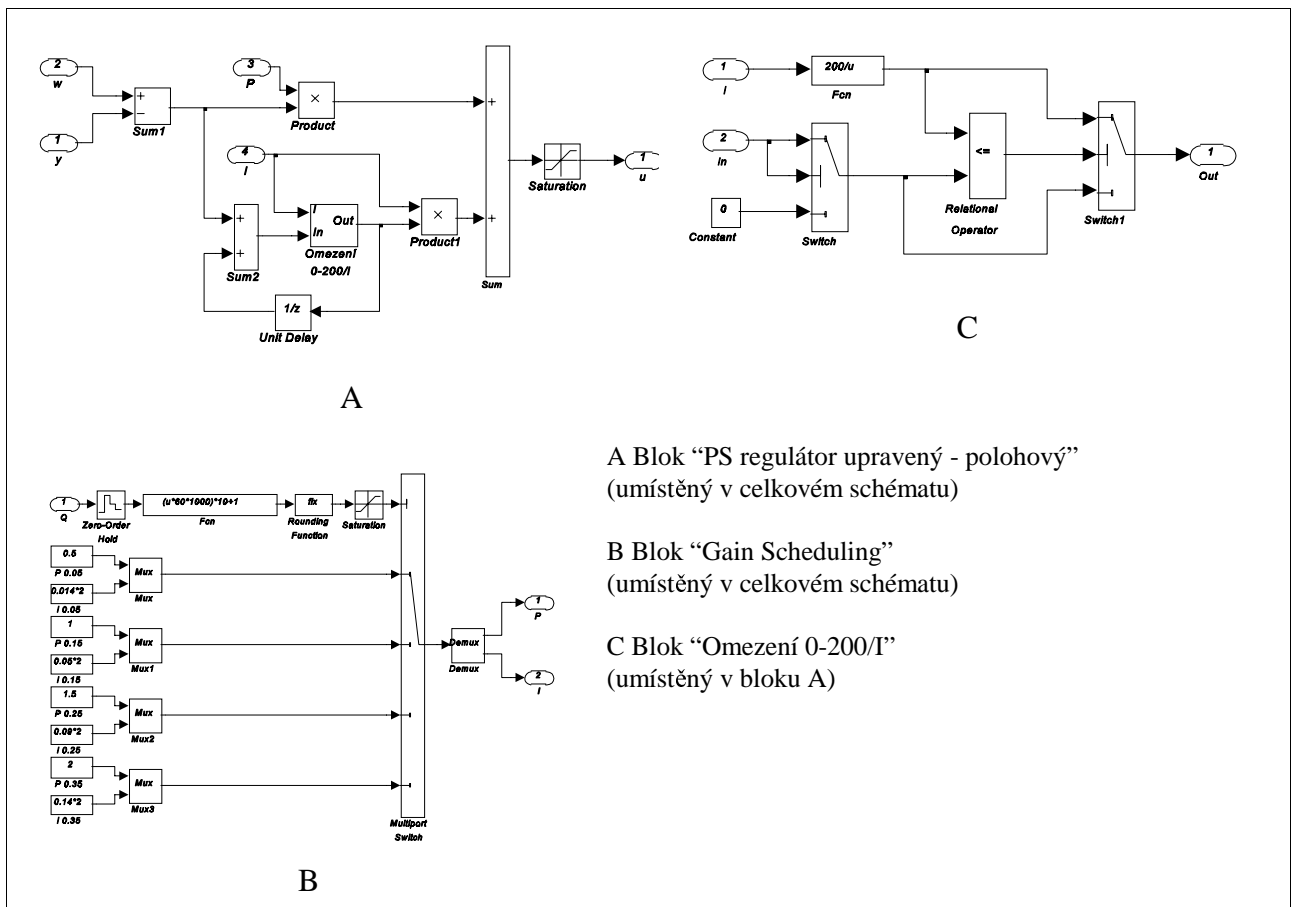


Figure 5 Celkové schéma simulačního modelu

je na obr. 4.

Vzhledem ke struktuře modelu tvořené sériovým zapojením deseti stejných čtveřic diferenciálních rovnic bylo sestavení modelu soustavy (blok *Ohrivac* v obr.4) v SIMULINKu relativně jednoduché.

Poněkud složitější, ale stále přímočará, byla realizace diskrétního regulačního algoritmu, který je tvořen dvěma bloky v schématu na obr.4. Blok *PS regulátor* realizuje diskrétní PI regulátor (interval vzorkování 2 sec) s respektováním omezení akční veličiny, omezením integrální složky a proměnnými hodnotami parametrů. Blok *Gain Scheduling* zajišťuje aplikaci principu adaptivního řízení Gain Scheduling přepínáním předpřipravených parametrů regulátoru podle aktuální hodnoty průtoku. SIMULINKové schéma těchto bloků je na obr. 5.



Obrázek 4 Schéma bloků regulátoru

Realizace chování PWM

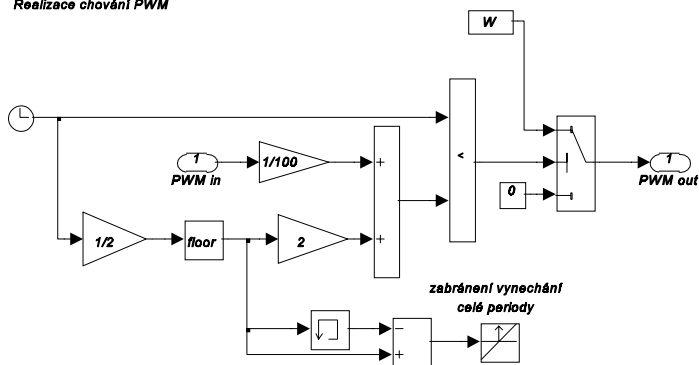


Figure 6 Schéma bloku “Realizace PWM”

okamžikem výpočtu při proměnném kroku výpočtu. Toto “vynucení výpočtu” v požadovaném čase zajišťuje zdánlivě zbytečná slepá větev v dolní části schématu na obr. 6.

Závěr

Ačkoliv původním záměrem bylo využít simulační model pouze pro odladění regulačního algoritmu a pro počáteční odhad nastavení hodnot parametrů regulátoru, nakonec se ukázalo, že model vystihuje chování reálného uzavřeného regulačního obvodu natolik dostatečně, že nalezené hodnoty parametrů regulátoru nebylo potřeba v reálném zařízení měnit. Na obr.6 je ukázán průběh skutečného a simulovaného regulačního průběhu při změně žádané hodnoty výstupní teploty a změně průtoku..

Použití MATLABu a SIMULINKU usnadnilo vytvoření nelineárního regulačního obvodu s jednoduchým mikroprocesorem.

Literatura

- [1] 80C51-Based 8-Bit Microcontrollers. Philips 1997
- [2] [Http://www.semiconductors.philips.com](http://www.semiconductors.philips.com)
- [3] Dušek,F.-Honc,D.: Průtokový ohřívač - matematický model. In: 12.konference PROCESS CONTROL'99, Tatranské Matliare 31.5.-3.6.1999, Slovak Republic
- [4] Honc,D.- Dušek,F.: Průtokový ohřívač - experimentální zařízení. In: 12.konference PROCESS CONTROL'99, Tatranské Matliare 31.5.-3.6.1999, Slovak Republic

Nejnáročnější byla realizace převodu hodnoty akčního zásahu regulátoru na šířkově modulované pulsy s periodou 2000 msec. Tento blok (viz schéma na obr. 6) musí zajistit přepnutí výstupní hodnoty PWM out v takovém čase od začátku periody, který je úměrný aktuální hodnotě vstupu PWM in. Konkrétně, je-li při dané periodě hodnota vstupu 120 (z intervalu 0-200), potom má dojít k přepnutí výstupu z hodnoty W na hodnotu 0 po 1200 msec od počátku periody. Problémem je, že tento okamžik se neshoduje s časovým

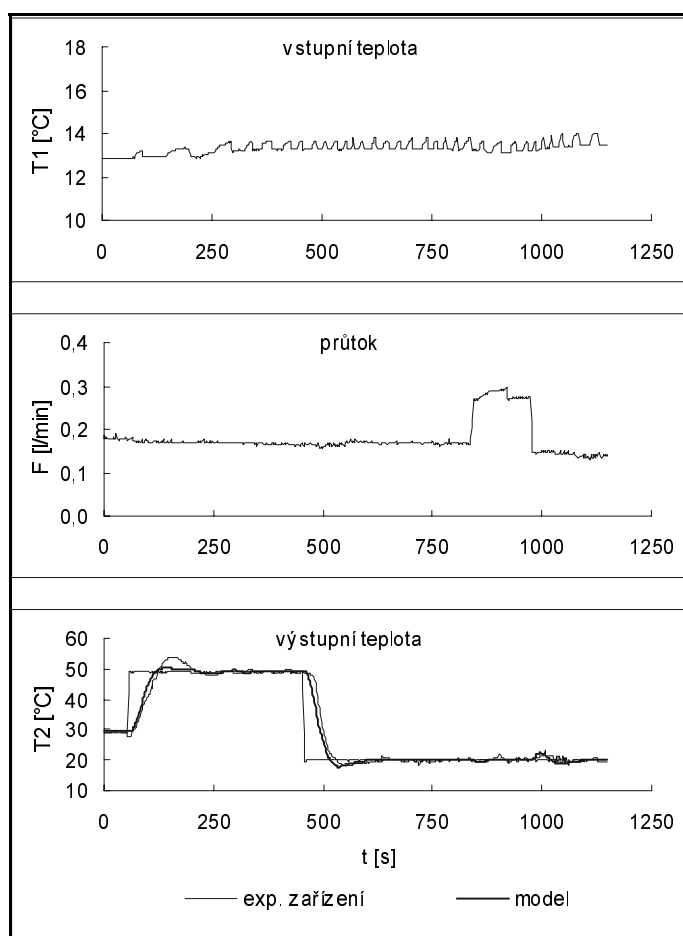


Figure 7 Skutečný a odpovídající simulovaný průběh regulace - reflux