

# REGULAČNÍ SYSTÉM MYKACÍHO STROJE

Oldřich Večerek, Miloš Schlegel, Pavel Balda

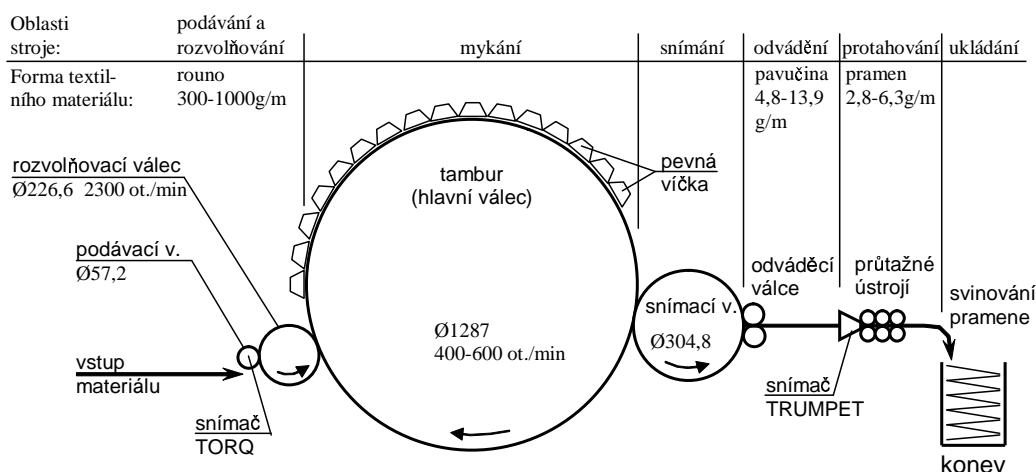
Katedra kybernetiky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni

**Abstrakt:** Příspěvek popisuje vývoj regulačního systému textilního mykacího stroje pomocí programového systému Simulink, zařízení dSPACE a knihovny funkčních bloků pro průmyslovou regulaci RexLib. Vysoká kvalita regulace jemnosti výstupního pramene je dosažena kombinací kaskádní a IMC regulace s dopřednou vazbou a automatickým doladováním. Kromě regulační struktury jsou popsány výsledky simulace a experimentálního ověření řídicího systému na stroji.

## 1 Úvod

Závažným problémem současné technologie výroby příže je příprava kvalitního bavlněného pramene (meziprodukt), neboť výsledná kvalita příže podstatným způsobem závisí na jeho hmotové stejnoměrnosti. Řešení tohoto problému nabízí mykací stroj typu Sliver-Machine. Jde o stroj se stacionárními víčky, průtažným ústrojím a regulačními okruhy umožňujícími vyrovnávání hmotové nestejnoměrnosti pramene v krátkých, středních a dlouhých úsecích [1], [2].

Principiální schéma mykacího stroje je na obr. 1. Vločková bavlna vstupuje do stroje přes



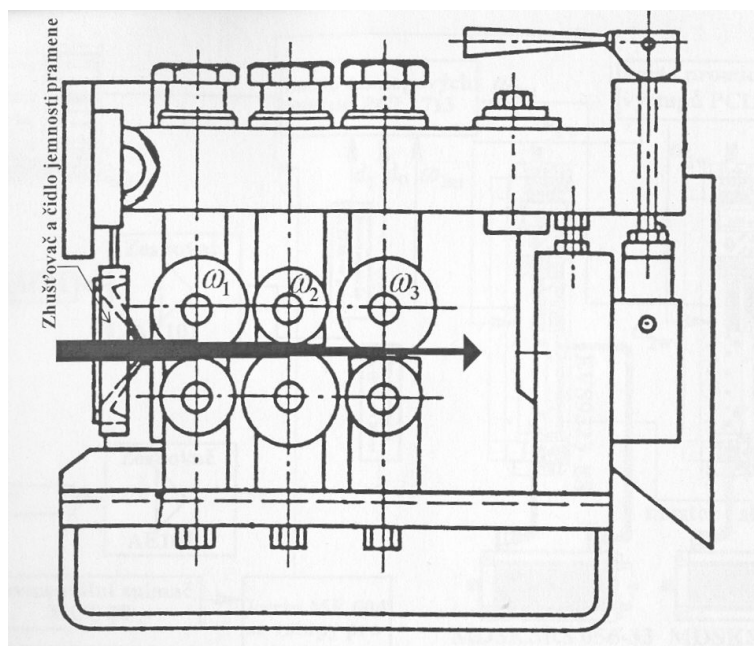
Obrázek 1: Zjednodušené schéma mykacího stroje typu Sliver Machine.

podávací váleček. Na něj působící moment poháněcího motoru je při konstantní rychlosti otáčení přibližně úměrný množství vstupujícího materiálu. Následují procesy rozvolňování, mykání, snímání a odvádění. Na jejich konci obdržíme mykaný pramen. Jeho hmotnost na jednotku délky – tzv. jemnost ( $[tex]=1[g]/1[km]$ ) je měřena snímačem typu TRUMPET. Pramen pak dále prochází průtažným ústrojím (viz obr. 2), jehož cílem je vyrovnat hmotovou nestejnoměrnost na pokud možno co nejkratších úsecích (tzv. úsečkách). Kvalitu pramene lze měřit pomocí tzv. střední kvadratické nestejnoměrnosti

$$CV = \frac{100}{\bar{m}} \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (m(l) - \bar{m})^2 dl}, \quad [\%] \quad (1)$$

kde  $L$  je délka integrovaného úseku,  $\bar{m}$  je střední hodnota a  $m(l)$  je okamžitá hodnota hmoty pramene na jednotku délky.

Výstupní jemnost pramene je kontrolována dalším snímačem jemnosti na třetím páru válečků průtažného ústrojí, který měří velikost mezery mezi válečky.



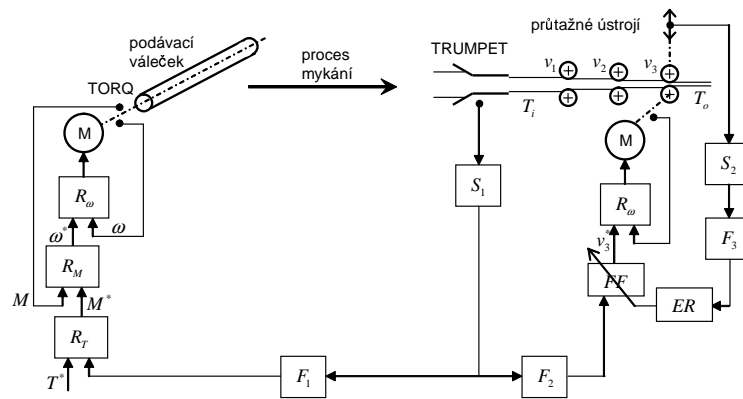
Obrázek 2: Průtažné ústrojí.

## 2 Koncepce řízení mykacího stroje

V provozních podmínkách lze jemnost mykaného pramene ovlivňovat jednak množstvím vstupující bavlny (řízením podávacího válečku) a jednak změnou rychlosti  $v_3$  třetího páru pracovních válečků průtažného ústrojí, viz obr. 3. Řízená soustava, jejíž vstup je hodnota požadovaných otáček  $\omega^*$  podávacího válečku a výstup změřená jemnost  $T_i$  snímačem TRUMPET, je soustava s velkým normalizovaným zpožděním (poměr doby průtahu k době náběhu). Odtud plyne, že je vhodné použít kaskádní regulaci. Vnitřní smyčka reguluje moment  $M$  na hřídeli podávacího válečku a vnější smyčka řídí jemnost pramene  $T_i$  před průtažným ústrojím. Vnější regulátor řídí soustavu s dominantním dopravním zpožděním a proto je zde vhodné použít IMC strategii řízení (Smithův prediktor) [3]. Z důvodu zpracování různých vstupních materiálů mykacím strojem je vhodné, aby oba regulátory  $R_M$  i  $R_T$  byly vybaveny funkcí jednorázového automatického seřízení (na povel operátora). Při najíždění stroje na minimální provozní rychlost je regulace jemnosti  $T_i$  vypnuta a otáčky podávacího válečku jsou řízeny regulátorem rychlosti  $R_\omega$  (regulátor  $R_M$  pracuje v manuálním režimu).

Jemnost pramene před průtažným ústrojím je kontaminována různými neměřitelnými poruchami působícími na proces mykání. Tyto poruchy na středních a krátkých úsečkách nelze potlačit výše popsaným zpětnovazebním řízením jemnosti, neboť šířka pásma vnější regulační smyčky je z důvodu stability omezena vyskytujícím se dopravním zpožděním v procesu mykání.

Zvýšení rovnoměrnosti výstupní jemnosti pramene  $T_o$  lze však dosáhnout kompenzačním řízením (tj. řízením v otevřené smyčce). Při konstantních hodnotách obvodové rychlosti  $v_1$  a  $v_2$  ( $v_2 > v_1$ ) prvních dvou párů pracovních válečků průtažného zařízení lze totiž řízením obvodové rychlosti  $v_3$  třetího páru válečků účinně kompenzovat hmotovou nerovnoměrnost výstupního pramene. Pro nalezení vhodného algoritmu dopředného řízení  $FF$  však potřebujeme znát dostatečně přesný matematický model průtažného ústrojí, přesněji přenosovou funkci ze vstupní jemnosti  $T_i$  a požadované rychlosti  $v_3^*$  na výstupní jemnost  $T_o$ . Takovýto matematický model sice lze v ideálním případě získat, avšak předpoklad, že proces protahování bude tímto modelem dostatečně přesně popsán za všech provozních podmínek je nerealistický. Z tohoto důvodu je vhodné doladovat parametry dopředné vazby přímo za provozu, například na počátku zpracování určité dávky vstupního materiálu. K tomuto účelu slouží snímač výstupní jemnosti pramene na třetím páru válečků a blok extrémální regulace  $ER$ , který doladuje vybrané parametry bloku  $FF$  tak, aby výsledná střední kvadratická nestejnomyernost daná vztahem (1) byla minimální.



Obrázek 3: Návrh regulace mykacího stroje typu Sliver–Machine:  $R_\omega$  regulátor otáček pohonu;  $R_M$  regulátor momentu podávacího válečku;  $R_T$  regulátor jemnosti pramene před průtažným zařízením;  $FF$  dopředná vazba kompenzující hmotovou nestejnou měřenou snímačem TRUMPET;  $ER$  automatické doladování parametrů dopředné vazby podle kvality pramene měřené snímačem zdvihu na třetím páru válečků průtažného zařízení;  $S_1$  přenosová funkce snímače TRUMPET;  $S_2$  přenosová funkce snímače zdvihu;  $F_1$ ,  $F_3$  FIR kauzální filtry;  $F_2$  FIR nekauzální filtr;  $M$  motor.

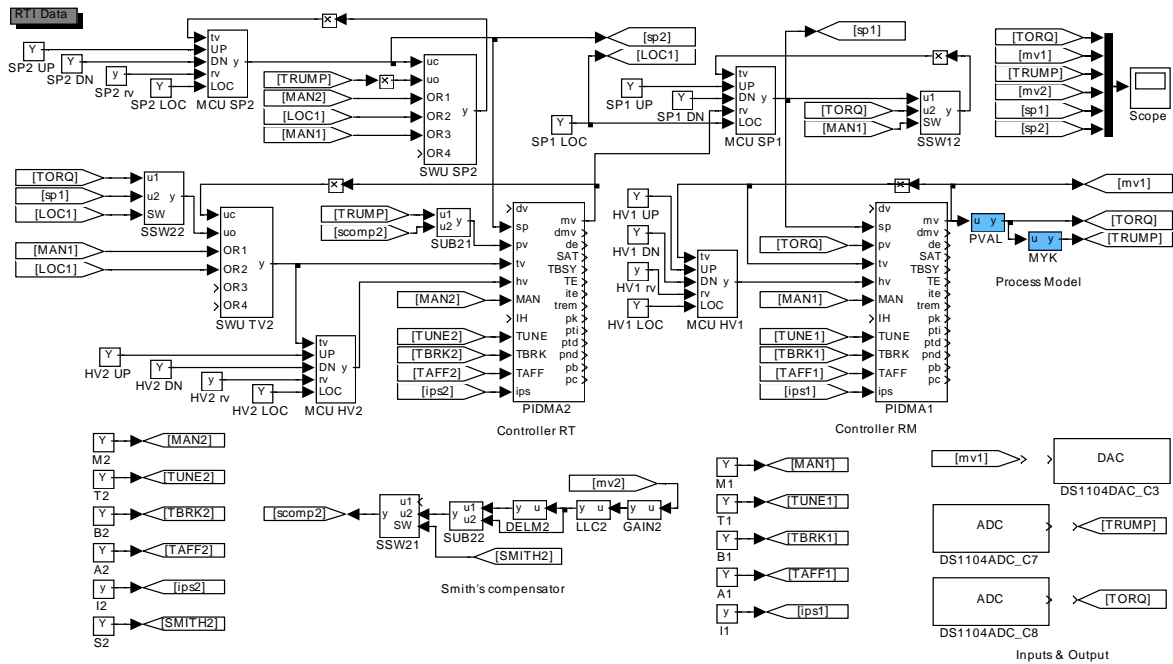
Použití signálu z tohoto snímače jemnosti též pro zpětnovazební řízení je možné, avšak jeho účinek je problematický, neboť zpoždění ve smyčce nelze kompenzovat tak, jak je to možné u dopředné vazby.

### 3 Zpětnovazební řízení jemnosti

V tomto oddílu je stručně popsán návrh a simulace zpětnovazebního kaskádního řízení jemnosti pramene před průtažným ústrojím. Na procesu jsou měřeny tři veličiny: otáčky podávacího válečku  $\omega$ , moment poháněcího motoru  $M$  a jemnost pramene  $T_i$  tenzometrickým snímačem TRUMPET (obr. 3). Otáčky motoru  $\omega$  jsou vstupem do regulátoru otáček  $R_\omega$ , který je pevně zabudován ve výkonové jednotce pohonu, a vyžaduje proto pouze takové seřízení parametrů, aby odezva na změnu požadovaných otáček byla co možná nejrychlejší a bez překmitu. Poháněcí moment motoru  $M$  měřený čidlem TORQ je vstupem regulátoru momentu podávacího válečku  $R_M$ , který generuje požadovanou hodnotu otáček  $\omega^*$  pro výkonový člen. Tato regulační smyčka neobsahuje významné dopravní zpoždění a proto je použit PID regulátor. Signál z čidla TRUMPET je nelineární funkcí  $S_1$  přepočítán na jemnost  $T_i$ , která je dále vyhlazena filtrem  $F_1$  a slouží jako vstup regulátoru jemnosti  $R_T$ , který generuje požadovanou hodnotu momentu  $M^*$  pro regulátor  $R_M$ . Proces mykání obsahuje dominantní dopravní zpoždění a proto je regulátor  $R_T$  navržen jako PI regulátor se Smithovým prediktorem. Jako model procesu je uvažován systém prvního řádu s dopravním zpožděním.

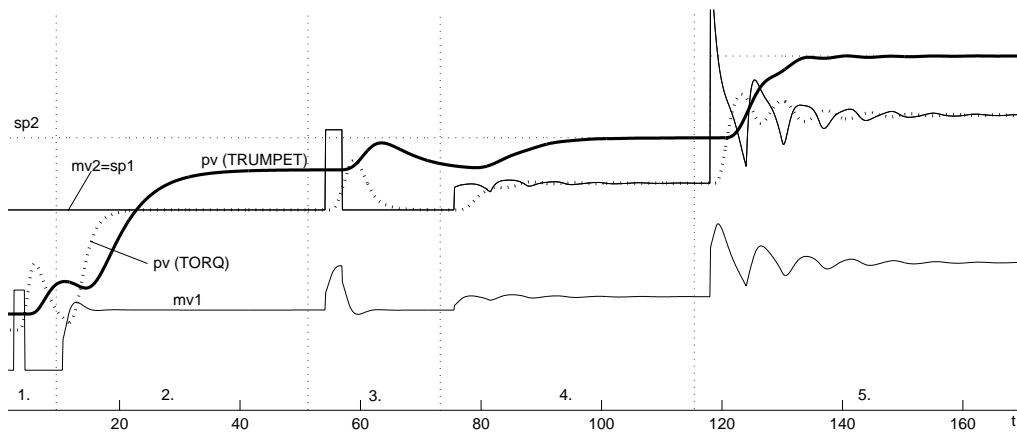
Protože při najíždění stroje na minimální otáčky se uplatní pouze regulace otáček (regulátor  $R_M$  v manuálním režimu) a při zavádění pramene je požadován konstantní moment motoru (regulátor  $R_M$  v automatickém režimu,  $R_T$  v manuálním režimu), musí být oba regulátory umožňovat vysledování v závislosti na jejich režimech.

Na obr. 4 je schéma realizace zpětnovazebního řízení jemnosti bloky z knihovny RexLib [7]. Ve schématu není z důvodu přehlednosti zahrnuta realizace filtrů  $S_1$  a  $F_1$  z obr. 3. Pro oba regulátory  $R_M$  i  $R_T$  je použit blok PIDMA, což je univerzální PID regulátor vybavený funkcemi vysledování vnitřního stavu regulátoru, bezrázového přepínání parametrů a navíc s možností jednorázového automatického nastavení parametrů. Požadovaná hodnota (sp) v automatickém režimu a ruční řízení (hv) v manuálním režimu jsou zadávány pomocí jednotek MCU, které umožňují změnu výstupní hodnoty pomocí logických signálů (tlačítek) UP a DOWN v lokálním režimu, nebo kopírují vstupní signál rv na výstup ve vzdáleném režimu. Bloky SWU a SSW zajišťují správné vysledování regulátorů PIDMA a jednotek MCU v závislosti na požadovaných režimech regulátorů. Regulátor PIDMA2 (realizuje regulátor  $R_T$  na obr. 3) je navíc doplněn odpojitelnou kladnou zpětnou vazbou (Smithovým kompenzátozem). V současné době



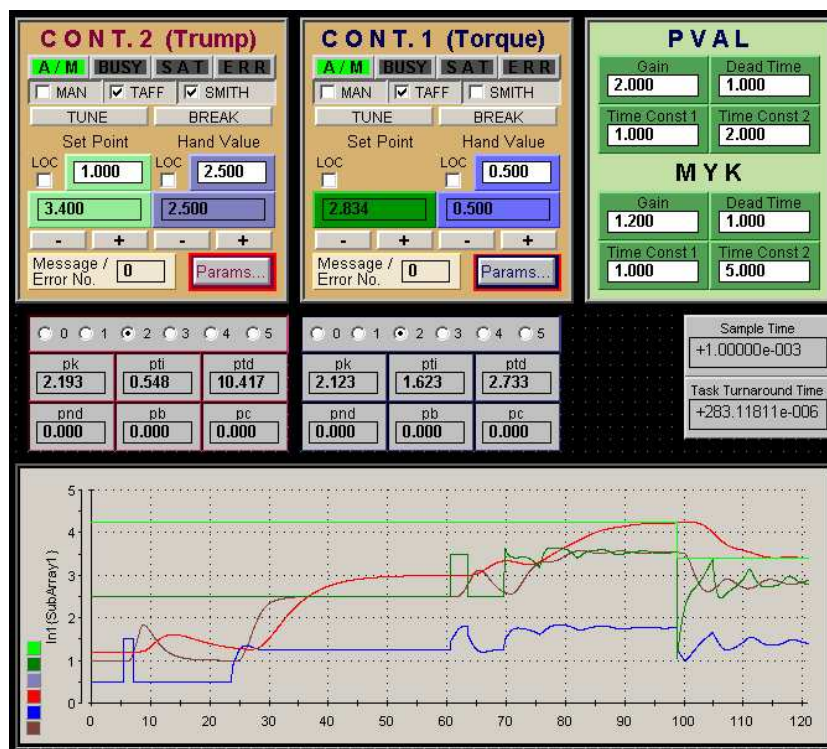
Obrázek 4: (a) Schéma realizace zpětnovazebního řízení jemnosti funkčními bloky z knihovny RexLib, operátorský snímek zpětnovazebního kaskádního řízení jemnosti v programu ControlDesk.

se připravuje rozšíření bloku PIDMA o funkci jednorázového automatického nastavení parametrů Smithova prediktoru [4]. Schéma navíc obsahuje model řízeného procesu (bloky PVAL a MYK), které umožňují simulaci v systémech Matlab-Simulink a dSPACE. V pravé dolní části obrázku je naznačeno, jak propojit jednotlivé signály se vstupně-výstupními bloky systému dSPACE pro řízení skutečného stroje.



Obrázek 5: Automatické nastavení parametrů kaskádní regulace: 1. automatické nastavení parametrů regulátoru vnitřní smyčky (oba regulátory v manuálním režimu), 2. přepnutí regulátoru vnitřní smyčky do automatického režimu, 3. automatické nastavení parametrů regulátoru vnější smyčky, 4. přepnutí regulátoru vnější smyčky do automatického režimu, 5. změna požadované hodnoty jemnosti.

Na obr. 5 je zobrazen simulovaný časový průběh identifikačních experimentů nutných pro automatické nastavení parametrů regulátorů. Data byla získána simulací na hardwaru dSPACE 1104 s použitím programu ControlDesk [5], [6]. Na obr. 6 je znázorněno uživatelské rozhraní použité pro simulaci řízení jemnosti, vytvořené v programu ControlDesk.

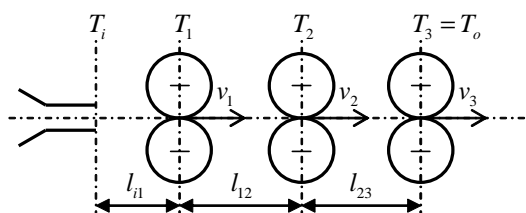


Obrázek 6: Operátorský snímek zpětnovazebního kaskádního řízení jemnosti v programu ControlDesk. Kromě parametrů regulátoru je možno zadávat ještě parametry modelu mykacího stroje (PVAL, MYK – systémy druhého řádu s dopravním zpožděním) a sledovat aktuální dobu potřebnou k vykonání jednoho cyklu kódu (Task Turnaround Time).

#### 4 Kompenzační řízení procesu protahování

V tomto oddílu stručně popíšeme návrh, simulaci a praktické ověření kompenzačního řízení procesu protahování.

Uvažujme zjednodušené schéma průtažného ústrojí zobrazené na obr. 7. Zanedbáme-li všechny



Obrázek 7: Schéma průtažného ústrojí.

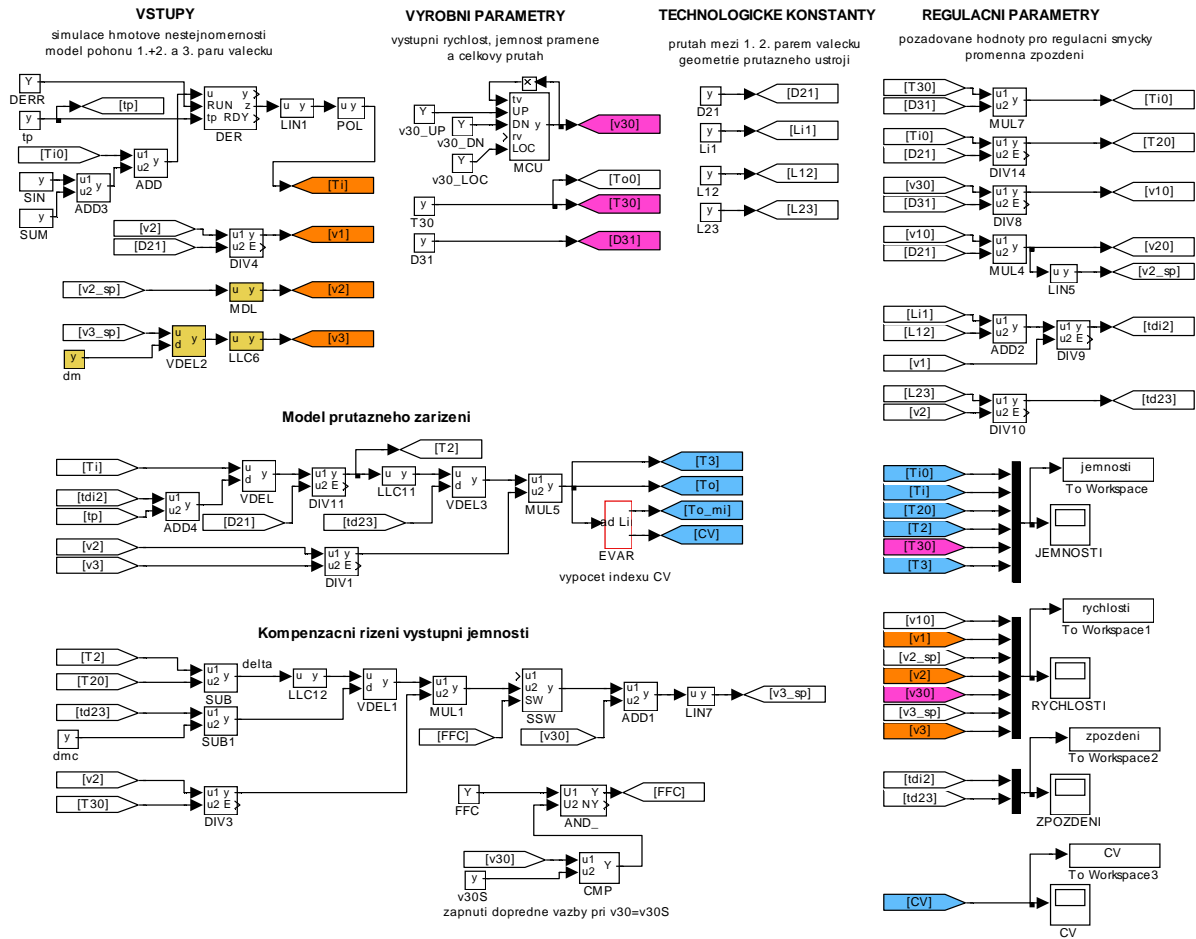
dynamické jevy procesu protahování, kromě zřejmých dopravních zpoždění při průchodu pramene mezi snímačem TRUMPET a jednotlivými páry pracovních válečků, potom z obr. 7 a rovnice kontinuity obdržíme následující vztahy

$$T_1(t) = T_i \left( t - \frac{l_{i1}}{v_1(t)} \right), \quad (2)$$

$$T_2(t) = \frac{v_1(t)}{v_2(t)} T_1 \left( t - \frac{l_{i1} + l_{12}}{v_1(t)} \right), \quad (3)$$

$$T_3(t) = \frac{v_2(t)}{v_3(t)} T_2 \left( t - \frac{l_{23}}{v_2(t)} \right), \quad (4)$$

kde  $T_k(t)$ ,  $k = 1, 2, 3$ , označují jemnosti pramene mezi  $k$ -tým párem pracovních válečků (obr. 7).



Obrázek 8: Schéma realizace dopředné vazby funkčními bloky z knihovny RexLib.

Požadujeme-li konstantní výstupní jemnost  $T_3(t) = T_{30}$ , potom z (4) obdržíme

$$v_3(t) = \frac{v_2(t)}{T_{30}} T_2 \left( t - \frac{l_{23}}{v_2(t)} \right) = v_{30}(t) + \frac{v_2(t)}{T_{30}} \delta(t - \tau_{d23}), \quad (5)$$

kde  $v_{30}(t)$  je požadovaná (průměrná) rychlost výstupního pramene, dále

$$\delta(t) = T_2(t) - D_{32}(t)T_{30}, \quad (6)$$

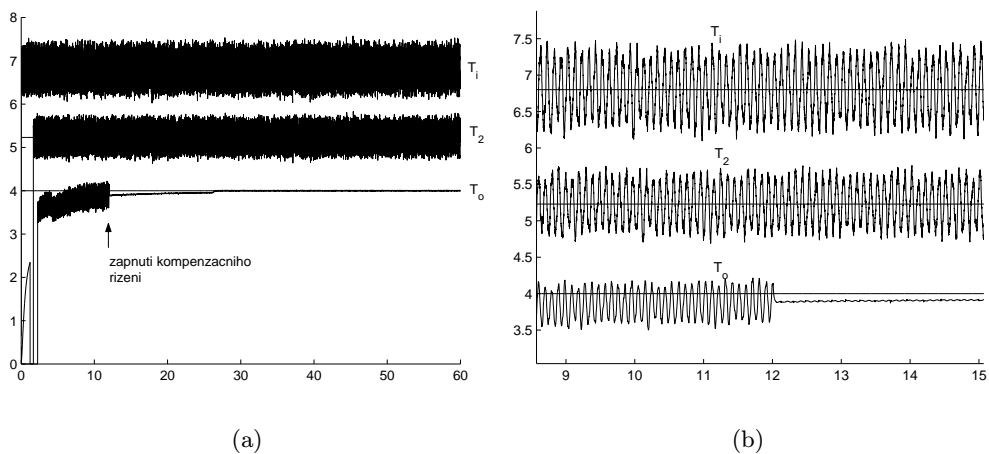
$$\tau_{d23} = \frac{l_{23}}{v_2(t)} = l_{23} \frac{D_{31}(t)}{D_{21}} \frac{1}{v_{30}(t)} \quad (7)$$

a  $D_{21} = v_2(t)/v_1(t) = \text{konst}$  je průtah mezi prvním a druhým párem válečků,  $D_{32} = v_3(t)/v_2(t)$  je průtah mezi druhým a třetím párem válečků a konečně  $D_{31} = D_{21}D_{32}$  je celkový průtah mezi prvním a třetím párem válečků. Vztah (5) definuje potřebnou rychlost třetího páru válečků pro úplné odstranění hmotové nerovnoměrnosti výstupního pramene v uvažovaném ideálním případě.

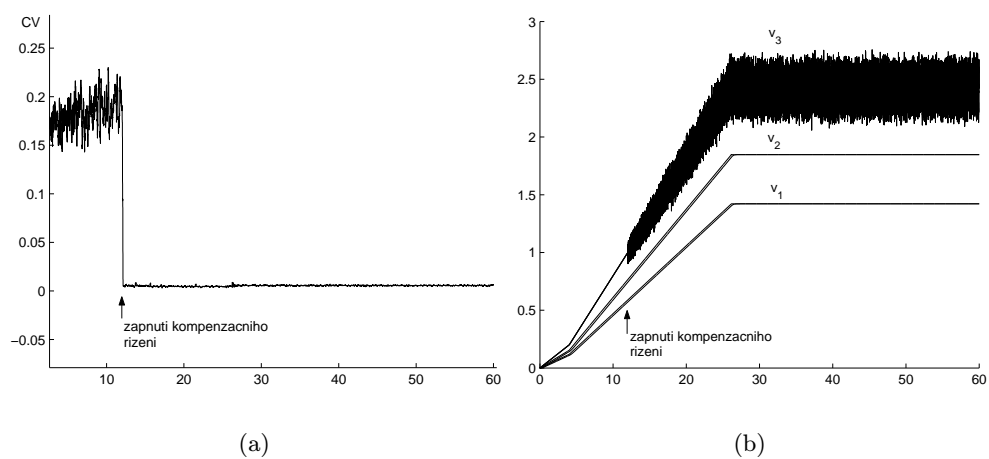
Pro větší přiblížení reálnému procesu protahování je vhodné pozměnit vztah mezi  $T_2(t)$  a  $T_3(t)$  tak, že přenos z jemnosti  $T_2$  na jemnost  $T_3$  je dán přenosem

$$F_{23}(s) = e^{-\tau_{d23}s} \frac{1}{\vartheta_{23}s + 1},$$

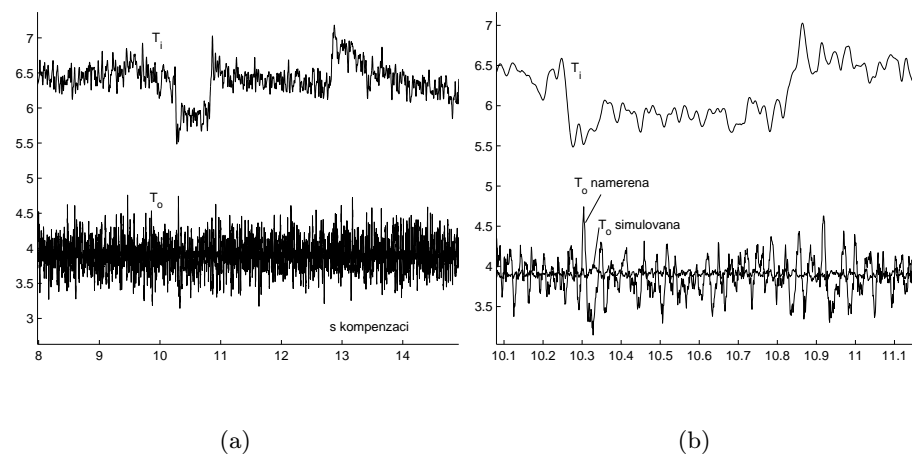
tedy přenosem prvního řádu s dopravním zpožděním. V důsledku toho je samozřejmě nutné příslušně upravit i vztah (5). Dále je nutné uvažovat dynamiku pohonu třetího páru válečků a též dynamiku snímače TRUMPET a zpoždění způsobené užitím nekauzálního filtru  $F_2$  (obr. 3).



Obrázek 9: (a) Simulované časové průběhy jemností, (b) detail.



Obrázek 10: (a) Simulovaná střední kvadratická nestejnomyňnost výstupního pramene, (b) simulované průběhy rychlostí.



Obrázek 11: (a) Časový průběh vstupní a výstupní jemnosti naměřený na reálném stroji, (b) detail.

Realizace takto zpřesněné dopředné vazby pomocí funkčních bloků z knihovny RexLib je uvedena na obr. 8. Simulaci v Simulinku byly získány průběhy jemností  $T_i, T_2$  a  $T_o$ , které jsou uvedeny na obr. 9. Simulovaný průběh střední kvadratické nestejnomyernosti výstupního pramene je uveden na obr. 10(a) a simulovaný průběh rychlostí jednotlivých párů válečků průtažného soustrojí při najíždění stroje je uveden na obr. 10(b). Obr. 11 ukazuje časové průběhy vstupní a výstupní jemnosti změřené na skutečném průtažném soustrojí při experimentu, kdy byla jemnost vstupujícího pramene záměrně uměle upravena odebráním a přidáním části jeho hmoty.

## 5 Závěr

Příspěvek ukazuje výhody použití hardwaru dSPACE a knihovny funkčních bloků pro průmyslovou regulaci RexLib pro zefektivnění a podstatné zrychlení návrhu prototypu složitějšího regulačního systému na praktickém příkladu, neboť jednou vytvořené algoritmy řízení v prostředí Matlab/Simulink je možno bez větších úprav použít pro simulaci v Simulinku, s použitím Real Time Workshopu pro simulaci a prototypové řízení na zařízeních dSPACE a s využitím řídicího systému REX pak pro realizaci finálního řídicího systému na libovolném otevřeném hardwaru s překladačem jazyka C/C++, např. s operačními systémy Windows 9x/2000/XP, Windows CE, Pharlap ETS apod.

Tato práce byla částečně podpořena Ministerstvem školství ČR, projekt č. MSM 2352 00004 a Grantovou agenturou ČR, projekt č. 102/02/0425.

## Reference

- [1] Ursíny, P.: *Teorie předení I*. Skripta VŠST v Liberci, 1980.
- [2] *Zlepšení parametrů mykacího stoje*. Technická zpráva č. ISRN TUL-VCT/C-MŘTP/TZ-02/01/CZ, Výzkumné centrum - Textil, Technická univerzita v Liberci, 2002.
- [3] Goodwin, G.C., Graebe, S.F., Salgado, M.E.: *Control system design*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 2001.
- [4] Večerek, O.: *Robustní metody pro automatický návrh regulátoru pro procesy s dominantním dopravním zpožděním*. Disertační práce, ZČU v Plzni, 2003.
- [5] *Real-Time Interface (RTI and RTI-MP) Implementation Guide*. dSPACE GmbH, Paderborn, 2001.
- [6] *ControlDesk Experiment Guide*. dSPACE GmbH, Paderborn, 2001.
- [7] Schlegel, M., Balda, P., Štětina, M.: Knihovna C MEX bloků pro průmyslovou regulaci s aplikačními příklady. In: *Sborník konference Matlab 2001*, Humusoft s.r.o., Praha, 2001.
- [8] [www.rexcontrols.cz](http://www.rexcontrols.cz)

## Kontaktní informace

Ing. Oldřich Večerek, e-mail: [vecer@kky.zcu.cz](mailto:vecer@kky.zcu.cz),  
Doc.Ing. Miloš Schlegel, CSc., e-mail: [schlegel@kky.zcu.cz](mailto:schlegel@kky.zcu.cz),  
Ing. Pavel Balda, e-mail: [balda@rexcontrols.cz](mailto:balda@rexcontrols.cz),  
Katedra kybernetiky, ZČU v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň.