

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní

Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering

Dr.Ing.Mgr. Jaroslav Hlava

Aplikace teorie systémů se zpožděním v modelování a řízení textilních strojů

Application of the theory of time delay systems in modelling and control of textile machines

Summary

The introduction of modern process automation and control technology to the field of textile engineering has relatively lagged behind other engineering fields. Moreover, control of textile machines and processes has mostly been neglected by control engineering literature. However, there exist a considerable potential of improvement in the terms of both product quality and productivity that can be achieved by modern methods of systems and control theory. This lecture is focused on one particular aspect of this problem. It deals with carding and textile sliver drafting processes. These processes are closely coupled and they have a considerable impact on the quality of the final product. Despite their importance, they have hardly been mentioned in the control engineering literature. Available mathematical models have been developed exclusively by textile engineering specialists and they suffer from fundamental drawbacks that prevent them from being used for control purposes.

Mathematical models of both processes include multiple delays both in inputs and outputs and in internal feedback loops. Thus, time delay systems theory is a promising tool for modelling and control of these processes. The objective of this lecture is to promote the application of the time delay systems theory to the field of textile engineering. The lecture starts with a brief description of the mathematical model of the carding machine. It is shown that carding machine can be modelled as a non-linear system with delays in states and in control. As this model is too complex to be adequately treated in this short lecture, the main part of the lecture is then focused on textile sliver drafting process. The treatment starts with an analysis of limitations and drawbacks of the older models that have hitherto been proposed in the literature. Based on this analysis, an improved model of the textile sliver drafting process is proposed. This model is a non-linear system with distributed delays. In the next step, it is transformed to a linearized irrational transfer function model with lumped delays. The identification of model parameters is outlined and discussed. The lecture is concluded with an outline of an application of the developed model to the controller synthesis using anisochronic internal model control concept.

Souhrn

Stroje a procesy textilního průmyslu jsou oblastí, do níž automatizace proniká relativně opožděně a která leží téměř mimo oblast zájmu literatury z oboru automatického řízení. Zároveň zde však existuje velký potenciál zlepšení, jichž lze aplikací moderních metod teorie systémů a teorie řízení dosáhnout. Tato přednáška se zaměřuje na jeden dílčí aspekt této problematiky. K velmi důležitým textilním procesům patří mykání a protahování textilního pramene. V literatuře z oblasti automatického řízení jim zatím téměř nebyla věnována pozornost. Existující matematické modely byly vytvořeny odborníky z oblasti textilního inženýrství a z hlediska použití pro účely řízení mají zásadní nedostatky.

Zároveň se jedná o systémy, v jejichž struktuře jsou netriviálním způsobem přítomna dopravní zpoždění. Teorie systémů se zpožděním je tedy vhodným nástrojem pro modelování těchto zařízení a návrh jejich řízení a právě na toto téma se tato přednáška zaměřuje. V první části je stručně popsán matematický model mykacího stroje a je ukázáno, že se jedná o nelineární systém obsahující zpoždění ve stavu i v řízení. Vzhledem ke složitosti tohoto modelu a omezenému rozsahu přednášky se pak pozornost obrací k navazujícímu procesu protahování textilního pramene. Jsou analyzovány nedostatky modelů protahování textilního pramene, které byly navrženy v literatuře z oboru textilního inženýrství. Na základě tohoto rozboru je pak vytvořen nelineární model s rozloženými zpožděními zahrnující vliv jemnosti vstupního pramene i rychlosti otáčení výstupního válečkového páru na jemnost výstupního pramene. V návaznosti na to je navržen linearizovaný přenosový model se soustředěnými zpožděními. Součástí popisu modelu je také návrh postupu identifikace jeho parametrů. V závěru práce je pak naznačeno využití navrženého modelu při návrhu řízení tohoto procesu pomocí anisochronních regulátorů s vnitřním modelem.

Klíčová slova:

Systémy se zpožděním, kvazipolynomy, transcendentní přenosy, anisochronní regulátory, řízení s vnitřním modelem, modelování technologických procesů, mykání, protahování textilního pramene

Keywords:

Time delay systems, quasipolynomials, irrational transfer functions, anisochronic controllers, internal model control, modelling of processes, carding, textile sliver drafting

Obsah

1. ÚVOD	6
2. PROCES MYKÁNÍ.....	6
3. PROCES PROTAHOVÁNÍ TEXTILNÍHO PRAMENE	8
4. MATEMATICKÝ MODEL PROCESU PROTAHOVÁNÍ TEXTILNÍHO PRAMENE.....	9
4.1 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ DOSTUPNÝCH V LITERATUŘE	9
4.2 NELINEÁRNÍ MODEL PROCESU PROTAHOVÁNÍ	10
4.3 LINEARIZOVANÝ MODEL A PŘENOSY PROCESU PROTAHOVÁNÍ	12
4.4 IDENTIFIKACE PARAMETRŮ MATEMATICKÉHO MODELU	16
5. NÁSTIN NÁVRHU ŘÍZENÍ PROCESU PROTAHOVÁNÍ S VYUŽITÍM POPSANÝCH MODELŮ..	17
6. ZÁVĚR.....	20
SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY	21
DR.ING.MGR. JAROSLAV HLAVA - ODBORNÝ ŽIVOTOPIS.....	22

1. Úvod

V odborné literatuře z oblasti automatického řízení a modelování technologických procesů je běžně zmiňováno dopravní zpoždění přítomné na vstupu či výstupu řízené soustavy. Vedle systémů se zpožděním na vstupu či výstupu však existují také systémy, které obsahují i jedno či více zpoždění ve vnitřních zpětných vazbách. Zpoždění navíc nemusí mít pouze charakter bodového soustředěného zpoždění, ale může se jednat o tzv. rozložená zpoždění. Vliv zpoždění na chování systému je v takovýchto případech výrazně složitější než u zpoždění pouze na vstupu či výstupu a odpovídajícím způsobem narůstá také složitost analýzy vlastností těchto systémů stejně jako návrhu řízení.

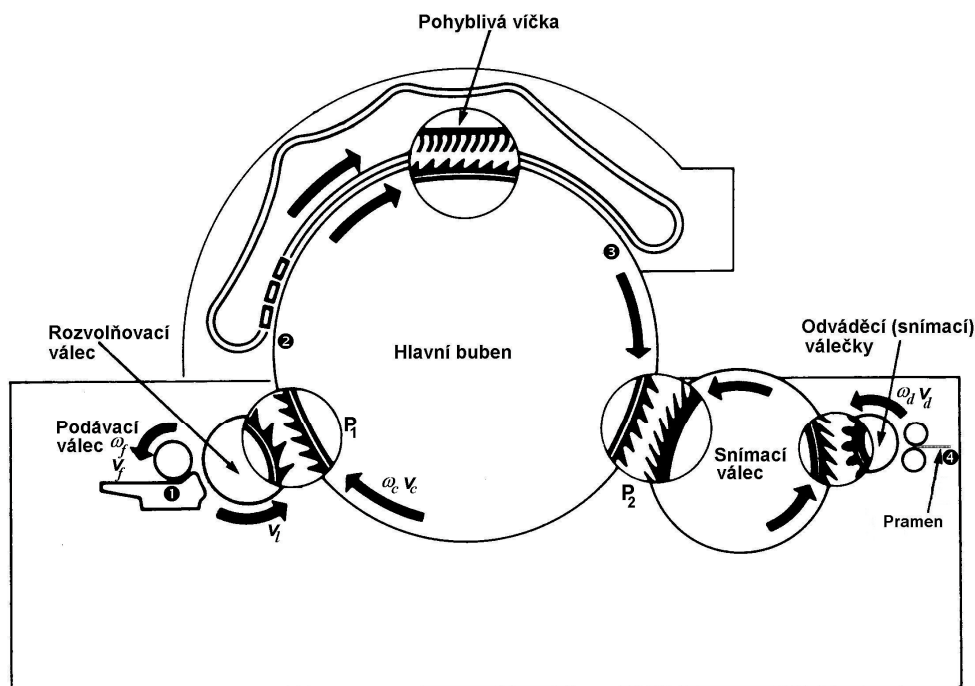
Problematika těchto složitějších struktur systémů se zpožděním je v běžné literatuře z oboru automatického řízení často opomíjena. Příčin je více. Jistou roli hraje již i samotná matematická složitost spjatá s modelováním a analýzou těchto systémů. Významnější příčinou však patrně je způsob, jak je tato problematika obvykle traktována ve specializovaných člancích a monografiích, které jí jsou věnovány. Způsob pojednání se v nich většinou pohybuje na rovině vysloveně ilustrativních příkladů nereprezentujících žádný reálný systém. Možné praktické aplikace jsou nanejvýše náznakem zmíněny kdesi v úvodu a pak již následuje pojednání v naprosto teoretickém duchu, v němž chybí byť i jen simulační ověření. Četné články i monografie, v nichž se téměř nevyskytují systémy se zpožděním zadané jinak než prostým uvedením jakýchsi numerických hodnot stavových matic a zpoždění bez vazby na jakoukoliv reálnou úlohu tak vzbuzují pochybnosti, zda je příslušný teoretický aparát vůbec na nějaké praktické úlohy aplikovatelný.

Cílem této přednášky je alespoň v hrubých rysech ukázat, že i přes tento stav je teorie systémů se zpožděním nástrojem dobře použitelným k modelování, analýze i návrhu řízení prakticky významných zařízení. Konkrétně se zaměříme na vybrané procesy textilního průmyslu. Zde se jedná o prakticky důležité systémy se zpožděním, jimž zatím byla v literatuře z oblasti automatického řízení věnována jen minimální pozornost. Na rozdíl od třeba chemického průmyslu či energetiky, které představují klasickou oblast, jež je námětem nespočtu odborných knih a článků z oblasti řízení, existuje jen velmi málo textů zabývajících se modelováním a řízením textilních strojů a procesů. Tato přednáška proto představuje jeden z prvních pokusů v této dosud značně zanedbávané oblasti.

2. Proces mykání

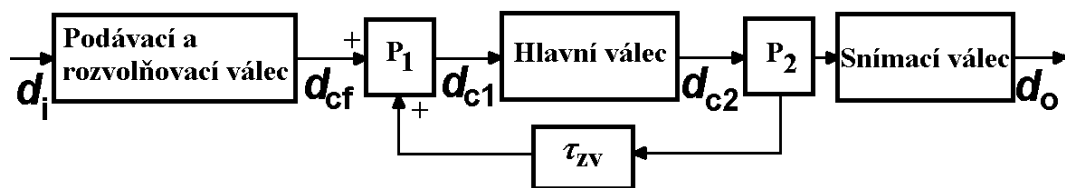
Za výchozí bod můžeme vzít střední fázi zpracování textilního materiálu, v níž amorfni surovina přechází v délkový útvar se zřetelnou strukturou. V tomto přechodu hraje klíčovou roli mykací stroj. Uspořádání tzv. víčkového mykacího stroje je na obr. 1. Na jeho vstup přichází textilní rouno vytvořené z již částečně rozvolněných vložek textilního materiálu. Postupně se materiál dostává až na povrch hlavního bubnu (místo přechodu P_1), kde mezi pomalu se

pohybujícími víčky a rychle se otáčejícím bubnem dochází k vlastnímu mykání. Během něho jsou vlákna výrazně napříměna a paralelizována. V místě vzájemného působení povlaků hlavního bubnu a snímacího válce (P_2) menší (cca 5-10%.) část vláken přechází na povrch snímacího válce. Zbytek se vrací na místo vzájemného působení povlaků rozvolňovacího válce a hlavního bubnu a tím vytváří vnitřní zpožděnou kladnou zpětnou vazbu.



Obr. 1. Schematické uspořádání víčkového mykacího stroje

Dostáváme tak systém s vnitřním zpožděním, který lze popsat blokovou strukturou podle obr. 2 (viz Hlava, 2001)



Obr. 2 Bloková struktura mykacího stroje

V ní symboly d s příslušným indexem označují délkovou hustotu (běžně označována také jako jemnost a udávána v kilotexech 1 ktex=1kg/1000 m délky materiálu) v příslušném místě stroje. Matematický model lze vyjádřit ve tvaru

$$\dot{d}_{c2}(t) = \frac{1}{T_{fl}} (k_{12}(1-\eta)d_{c2}(t-\tau_m-\tau_r) + k_{12}d_{cf}(t-\tau_m) - d_{c2}(t)) \quad (1)$$

$$d_{cf}(t) = \frac{r_f \omega_f}{r_c \omega_c} d_i(t - \tau_l - \frac{l_f}{\omega_f r_f}) \quad (2)$$

$$d_o(t) = \frac{r_c \omega_c}{r_d \omega_d} \eta d_{c2}(t - \tau_d) \quad (3)$$

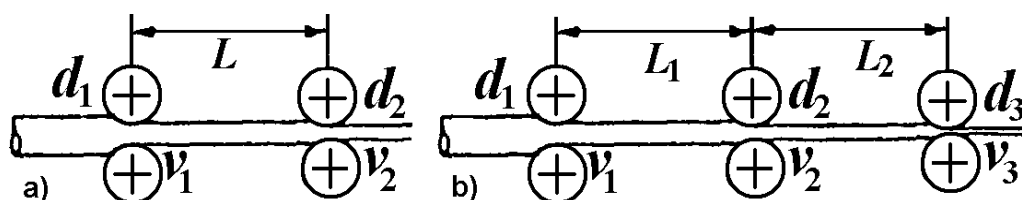
Vidíme, že zde figuruje vnitřní zpoždění a jelikož rychlost otáčení podávacího válce ω je možnou akční veličinou, také proměnné zpoždění a nelinearita. Analýza tohoto komplikovaného systému se zpožděním, jímž lze modelovat mykací stroj, by nás zavedla příliš daleko. Podíváme se proto na jednodušší přesto však velmi významný proces, jenž na mykací stroj přímo navazuje. Vlákna, jež přestoupila na povrch snímacího válce, jsou totiž, jak je zřejmé z obr. 1, odváděna dále za pomoci odváděcích válečků a shrnována v tzv. pramen. Tím je poměrně silný (průměr až několik cm) svazek tenkých vláken, jež jsou již do značné míry paralelizována a napříměna. Z hlediska kvality navazujícího produktu (příze) hraje zásadní roli požadavek, aby jemnost pramene po délce nekolísala, ale byla v maximální možné míře konstantní.

3. Proces protahování textilního pramene

Ke splnění tohoto požadavku přispívá řada faktorů. Významný vliv má již samotná konstrukce mykacího stroje a jeho dílčích regulačních obvodů. K odstranění nerovnoměrností, jež na výstupu mykacího stroje i přesto zůstávají, pak slouží průtahové ústrojí, které je připojeno na výstup stroje buď jako jeho integrální součást nebo jako přídatné zařízení. To pracuje s proměnným průtahovým poměrem. V případě, že okamžitá jemnost pramene vzroste, lze průtah zvětšit a naopak. Protahování tak umožňuje kompenzovat kolísání jemnosti pramene. Na jeho výsledku tedy výrazně závisí kvalita vyrobené příze i všech dalších textilních produktů. Zároveň je to zajímavý systém s rozloženými zpožděními, jehož modelování a řízení doposud nebyla v literatuře z oblasti automatického řízení věnována pozornost.

V přednášce si nejprve ukážeme, jak můžeme za pomoci teorie systémů se zpožděním analyzovat příčiny problémů, na nichž se zastavily předchozí pokusy o vytvoření matematického modelu procesu protahování. Jejich autory totiž byli prakticky výlučně odborníci z oblasti textilního inženýrství, kteří problematiku systémů se zpožděním neznali. V návaznosti na to pak provedeme rozšíření modelu do podoby, která je vhodná pro účely automatického řízení. Tento bod bude představovat těžiště celé přednášky. Zároveň má značnou praktickou důležitost, neboť neexistence matematického modelu komplikuje návrh řízení procesu. V návaznosti na odvození a analýzu modelu pak v závěru stručně naznačíme, jak lze tento model použít při návrhu řízení procesu protahování.

Průtahové ústrojí může být uspořádáno různým způsobem. Nejjednodušší varianta s jednou průtahovou zónou je zachycena na obr. 3 a). Skládá se ze dvou párů válečků umístěných ve vzdálenosti L a otáčejících se různými rychlostmi (aby docházelo k protahování musí být $v_2 > v_1$). V praxi se obvykle používají složitější uspořádání s větším počtem průtahových zón. Běžné jsou např. dvě zóny znázorněné na obr. 3 b). Skutečný vzhled ústrojí se dvěma zónami je na obr. 4. Na jeho levé straně je pohled shora na válečky, na pravé straně je pohled ze strany na ústrojí, které bylo vyjmuto z mykacího stroje, aby jej bylo možné použít pro samostatné experimenty. Existují i složitější konfigurace.



Obr. 3 Schematické znázornění jedno- a dvouzónového průtahového ústrojí



Obr. 4 Skutečný vzhled průtahového ústrojí

Z hlediska matematického modelování je podstatné, že i v těchto složitějších konfiguracích je průtah proměnný pouze v jedné (poslední) zóně, zatímco zbývající zóny pracují s konstantním průtahovým poměrem. Je tedy třeba najít především matematický model jednozónového ústrojí. Rozšíření na složitější ústrojí zahrnující více průtahových zón v sérii pak již není zásadním problémem.

4. Matematický model procesu protahování textilního pramene

4.1 Shrnutí výsledků dostupných v literatuře

Nečetné práce, jež se modelováním tohoto procesu doposud zabývaly lze rozdělit do dvou skupin. Jeden přístup (viz např. Matsumoto *et al*, 1988; Germanova-Krasteva & Georgiev, 2001) se snaží vytvořit počítačový simulační model. Při tom využívá v zásadě diskrétního charakteru simulovaného procesu. Do takto koncipovaného modelu lze zahrnout řadu odchylek od ideální struktury pramene a ideálního průtahu jako zahnutí vláken, odchylky vláken od osy pramene, různé varianty přechodu vláken na vyšší rychlost výstupních válečků atd. Výsledný model je značně výpočetně náročný, především však není v takovém tvaru, aby jej bylo možné jednoduše analyzovat a posléze použít jako základ pro návrh regulátoru.

Druhý přístup (Ihara & Nogai, 1976; Севостьянов & Севостьянов, 1984; Djiev, 1994; Novák, 1995) usiluje o model ve tvaru přenosu a tedy přímo použitelný pro návrh řízení. Většinou je také použití pro účely automatického řízení zmiňováno v úvodcích či nadpisech těchto textů jako hlavní důvod, proč byly napsány. Daní za to, že model je přijatelně jednoduchý, je přijetí určitých idealizovaných předpokladů o struktuře pramene (vlákna jsou rovnoběžná s osou pramene, mají stejný průřez i hustotu, nejsou zvlněná ani nevytvářejí háčky, nedochází k jejich ztrátám ani trhání).

Z hlediska, které je sledováno v této přednášce, však tyto idealizace nepředstavují prvořadý problém. Jejich validita a vhodnost jsou v první řadě otázkou pro textilní odborníky a jelikož všechny publikované práce byly vytvořeny specialisty na textilní inženýrství, lze předpokládat, že byly zvoleny rozumně. Podstatné je naopak, že modely popsané v literatuře jsou většinou jen dílčí a neobsahují podstatné části a navíc se vyznačují nedostatky, které i pouhé ověření kvality modelu např. srovnáním odezev modelu a reálného ústrojí v časové oblasti prakticky vylučují.

Pozornost se v nich soustřeďuje téměř výhradně na vztah mezi vstupní a výstupní jemností pramene při konstantních rychlostech v_1, v_2 . Tento problém je snazší, neboť takto definovaný systém je lineární a lze jej popsat přenosem, jenž je vlastně přenosem poruchové veličiny. Přenos akční veličiny je zmíněn pouze v (Djiev, 1994) pro nejjednodušší a prakticky nevýznamný případ pramene s vlákny jednotné délky. Chybí však odvození a popis postupu, jakým autor dospěl k přenosu pro nelineární systém stejně jako náznak možného rozšíření na obecnější tvar rozložení délek vláken. Navíc práce se omezují na odvození přenosů. Analýza jejich vlastností, stability, chování v časové oblasti a vůbec použitelnosti je však nedostatečná. Omezuje se obvykle jen na chování ve frekvenční oblasti, navíc často analyzované na základě aproximací, v nichž byly členy se zpožděním nahrazeny Padého aproximacemi prvního řádu.

Jediným autorem, který se pokusil o zkoumání vlastností přenosu průtahu v časové oblasti je (Novák, 1995). Ten však konstatoval, že simulovaná odezva jím odvozeného přenosu je nestabilní. O zjištění příčin nestability se nepokusil. Zjistil jen, že odezva je stabilní, pokud transcendentní přenos aproximujeme racionálním přenosem pomocí Padého aproximací prvního řádu. Tato aproximace však zároveň znamená výrazné zkreslení průběhu odezev.

Podivně proto působí takové texty jako např. článek (Huang & Bai, 2001) uveřejněný v jednom z nejvýznamnějších mezinárodních časopisů z oboru textilního inženýrství (Textile Research Journal). Jeho autoři z modelů navržených v (Djiev, 1994) převzali ten nejjednodušší, odvozený pro jednotnou délku vláken. Exponenciální členy nahradili Padého aproximacemi, čímž se, aniž to tušili, zbavili problému s nestabilitou. Pro takto zjednodušený model, jehož nepřesnost dále zvýšili přibližnou diskretizací Eulerovou metodou, navrhli regulátor a v simulaci jej odzkoušeli. Hodnota takovýchto textů je evidentně poněkud pochybná. Dosud publikované výsledky tak sice poskytují řadu cenných podnětů, je však nutná jejich důkladná analýza a rozšíření.

4.2 Nelineární model procesu protahování

Ve zkratce si nyní naznačme odvození matematického modelu, který nebude mít uvedené nedostatky. Pro podrobné odvození viz (Hlava, 2003a) a (Hlava, 2003b). Uvažujme ústrojí podle obr. 3 a), do kterého vstupuje pramen o jemnosti d_1 . Skládá se z množství vláken (stovky až tisíce vláken na průřezu). Jednotlivá vlákna nemají stejnou délku. Pro zjednodušení uvažujeme již

zmíněnou idealizovanou strukturu pramene. Při průtahu klesá jemnost a úměrně narůstá délka pramene. Mechanismus protahování spočívá v tom, že přední konce vláken přebírané druhým párem válečků jsou v důsledku vyšší rychlosti těchto válečků umísťovány dále od sebe. Mění se tedy jen vzájemná poloha vláken. Samotná vlákna však nejsou při protahování nijak trvale deformována.

Měřitelnými veličinami jsou jemnosti vstupního a výstupního pramene. Ty však nelze bezprostředně uvést do vztahu. Základní veličinou charakterizující pramen je hustota předních konců vláken (vztahená na jednotku délky) v příslušném bodě a čase. Rychlost prvního válečku ústrojí na obr. 3 a) je konstantní. Vztah mezi hustotou předních konců vláken $n_1(t)$ a jemností pramene na vstupu $d_1(t)$ tak lze vyjádřit na základě úvahy, že k celkové jemnosti pramene na vstupu ústrojí přispívají ta vlákna, jejichž přední konec již prošel bodem svěru prvního páru válečků, nedospěl však ještě tak daleko, aby tímto bodem prošel i zadní konec vlákna. Matematicko to lze formulovat vztahem

$$d_1(t) = a\rho \int_0^{l_{\max}} n_1(t - l/v_1) f_c(l) dl \quad (4),$$

v němž a označuje průřez jednotlivého vlákna, ρ objemovou hustotu materiálu vláken, v_1 rychlost vlákna na vstupu ústrojí, $n_1(t)$ hustotu předních konců vláken na vstupu ústrojí a $f_c(l)$ udává pravděpodobnost, že vlákno přispívá k jemnosti pramene v místě, které leží ve vzdálenosti l od předního konce vlákna. Jedná se tedy vlastně o komplementární distribuční funkci rozložení délek vláken

$$f_c(l) = 1 - \int_0^l f(l) dl \quad (5)$$

V textilní terminologii se tato funkce označuje jako staplový diagram. Její průběh závisí na druhu textilního materiálu. Vztah (1) definuje systém s rozloženým zpožděním. Po zavedení $\tau = l/v_1$ jej lze převést do tvaru

$$d_1(t) = a\rho v_1 \int_0^{l_{\max}/v_1} f_c(v_1\tau) n_1(t - \tau) d\tau \quad (6)$$

Dále je třeba sledovat i chování vláken v dalších částech ústrojí a především v oblasti výstupního páru válečků. Zatím jen částečně vyřešeným problémem je otázka rychlostí, jimiž se vlákna pohybují v jednotlivých částech ústrojí. Ve shodě s většinou literatury budeme uvažovat tzv. dvourychlostní model, kde změna rychlosti z v_1 na v_2 nastává skokově v okamžiku, kdy se přední konec vlákna dostane do svěru druhého válečkového páru. Vztah mezi hustotou předních konců vláken na vstupu a na výstupu ústrojí je pak

$$n_2(t) = (1/P(t)) n_1(t - \tau_d) \quad (7)$$

kde P označuje průtah $P(t) = v_2(t)/v_1$ a τ_d je čisté dopravní zpoždění mezi vstupem a výstupem. Pro dvourychlostní model platí pro jedno a dvouzónové ústrojí následující vztahy (τ_{d1} jednozónové obr. 3 a, τ_{d2} dvouzónové obr. 3 b)

$$\tau_{d1} = L/v_1; \quad \tau_{d2} = L_1/v_1 + L_2/v_2 \quad (8)$$

Výraz pro jemnost výstupního pramene lze odvodit analogicky jako vztah (4). Rychlost v_2 popř. v_3 však je proměnná a dobu potřebnou k tomu, aby přední konec vlákna urazil vzdálenost l nelze vyjádřit vztahem $\tau(l) = l/v_1$, ale pouze

pomocí implicitní funkce $l = \int_{t-\tau(l,t)}^t v_2(\alpha) d\alpha$. Výstupní jemnost pak je

$$d_2(t) = a\rho v_1 \int_0^{l_{\max}} \frac{n_1(t - \tau_d - \tau(l,t))}{v_2(t - \tau(l,t))} f_c(l) dl \quad (9)$$

Po zavedení pomocné proměnné $x(t) = \int_0^t v_2(\alpha) d\alpha$ přejde (9) do tvaru

$$d_2(t) = a\rho v_1 \int_0^\infty n_1(t - \tau_d - \tau) f_c(x(t) - x(t - \tau)) d\tau \quad (10)$$

4.3 Linearizovaný model a přenosy procesu protahování

Popsaný systém je nelineární a analýzu jeho vlastností navíc komplikují i rozložená zpoždění a implicitní funkce přítomná v modelu. Pro účely simulace odezev lze realizovat numericky přímo vztahy (6) a (10). Z hlediska numerických vlastností výpočtu je to dokonce poměrně výhodná varianta (viz Hlava, 2003a). Pro analýzu vlastností systému a pro návrh regulátoru však je tento model nevhodný. Průtahové ústrojí je ovšem umístěno až za mykacím strojem a jemnost pramene vstupujícího do ústrojí se mění jen v relativně úzkém rozmezí. Nabízí se tedy možnost linearizace. Jmenovitý pracovní bod lze definovat hodnotami d_{10} , n_{10} , d_{20} , v_{20} a lineárně rostoucí funkcí x : $x_0(t) = v_{20}t$. Hodnoty d_{10} a v_{20} jsou dány, n_{10} a d_{20} lze spočítat z (6) a (10) pro konstantní $v_2 = v_{20}$. Linearizovaný tvar (10) v okolí tohoto pracovního bodu je pak

$$\Delta d_2(t) = a\rho v_1 \int_0^{\frac{l_{\max}}{v_{20}}} \left\{ \Delta n_1(t - \tau_d - \tau) f_c(v_{20}\tau) + \right. \\ \left. + n_{10} \frac{df_c}{dl}(v_{20}\tau) \Delta x(t) - n_{10} \frac{df_c}{dl}(v_{20}\tau) \Delta x(t - \tau) \right\} d\tau \quad (11)$$

Ten spolu s lineární vstupní rovnicí (6) udává linearizovaný model procesu. Obě rovnice obsahují rozložená zpoždění. Abychom dostali model implementovatelný např. v Simulinku, je nutné je transformovat na soustředěná zpoždění. Postup transformace byl popsán v (Hlava, 2003b). Je-li váhová funkce na intervalu, kde je nenulová, popsána polynomem nebo kombinací exponenciálních a goniometrických funkcí vede tento postup na přenos retardovaného systému se soustředěnými zpožděními. Po jeho aplikaci a několika jednoduchých úpravách dostaneme

$$D_2(s) = \frac{F_{c2}(s)}{F_{c1}(s)} e^{-s\tau_d} D_1(s) - \frac{a\rho n_{10} v_1}{v_{20}} F_{c2}(s) V_2(s) = G_d(s) D_1(s) + G_u(s) V_2(s) \quad (12)$$

Symboly $F_{c1}(s)$, $F_{c2}(s)$ označují Laplaceovy transformace funkcí $f_c(v_1\tau)$ a $f_c(v_{20}\tau)$, symboly Δ byly pro přehlednost vynechány.

Vztahy (12) představují linearizovaný matematický model v podobě přenosů, jejichž tvar závisí na rozložení délek vláken. V současnosti neexistují žádné standardní aproximace typických rozložení délek vláken jednotlivých přírodních materiálů a lze se tak setkat s různými volbami vhodných rozložení. Řada publikací se spokojuje s předpokladem, že všechna vlákna mají stejnou délku l_v . Ten je však sporný i pro umělá vlákna a pro přírodní vlákna je zcela nerealistický. Jako přesnější alternativa je v některých publikacích používán tzv. trojúhelníkový staplový diagram předpokládající rovnoměrné rozdělení délek od nuly až do $l_{\max}$. Hustota pravděpodobnosti je pak

$$f(l) = 1/l_{\max} \text{ pro } 0 \leq l \leq l_{\max} \quad f(l) = 0 \quad \text{jinde} \quad (13)$$

Ani tato aproximace však není příliš dobrá, neboť hustota pravděpodobnosti rozložení délek přírodních i umělých vláken obvykle není konstantní, ale má více či méně výrazné maximum. V hledání přesnější aproximace, jež by byla vhodná pro bavlnu, kterou jsem používal k experimentům, jsem proto nakonec následoval článek (Ihara & Nogai, 1976), jenž navrhuje použít jinak málo užívané Pearsonovo rozdělení 1. druhu. Jeho výhodou v této aplikaci je nenulovost hustoty pravděpodobnosti jen na intervalu konečné délky a flexibilita umožňující její průběh volbou parametrů modifikovat a přizpůsobit dané aplikaci. Obecný tvar hustoty pravděpodobnosti tohoto rozložení je

$$f(l) = g_0(l - l_{\min})^m(l_{\max} - l)^n \text{ pro } l_{\min} \leq l \leq l_{\max} \quad \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(l)dl = 1 \Rightarrow g_0 \quad (14)$$

$$f(l) = 0 \text{ jinde}$$

Volbou parametrů m a n lze ovlivňovat koeficienty šikmosti i špičatosti rozdělení. K přijatelné aproximaci průběhů typických pro bavlnu postačí $m=2$ a $n=1$, přičemž $l_{\min}$ lze pokládat za nulové.

Pro uvedené průběhy rozložení délek vláken nyní můžeme sestavit přenosy. Pro trojúhelníkový staplový diagram dostaneme

$$G_d(s) = P \frac{\tau_2 s + e^{-s\tau_2} - 1}{\tau_1 s + e^{-s\tau_1} - 1} e^{-s\tau_d} \quad G_u(s) = -\frac{2d_{10}v_1}{l_{\max}^2} \frac{\tau_2 s + e^{-s\tau_2} - 1}{s^2} \quad (15)$$

Pro Pearsonovo rozdělení (14) s volbou $m=2$, $n=1$ a $l_{\min}=0$ dostaneme

$$G_d(s) = P^4 \frac{\tau_2^4 s^4 - 12\tau_2^2 s^2 e^{-s\tau_2} - 24\tau_2 s(1 + 2e^{-s\tau_2}) + 72(1 - e^{-s\tau_2})}{\tau_1^4 s^4 - 12\tau_1^2 s^2 e^{-s\tau_1} - 24\tau_1 s(1 + 2e^{-s\tau_1}) + 72(1 - e^{-s\tau_1})} e^{-s\tau_d} \quad (16)$$

$$G_u(s) = -\frac{5d_{10}v_1}{3v_{20}^2\tau_2^5} \frac{\tau_2^4 s^4 - 12\tau_2^2 s^2 e^{-s\tau_2} - 24\tau_2 s(1 + 2e^{-s\tau_2}) + 72(1 - e^{-s\tau_2})}{s^5}$$

Na základě předchozích výsledků lze snadno analyzovat zdroj problémů s nestabilitou konstatovaných v (Novák, 1995). Pokus simulovat odezvu v časové oblasti byl v této práci učiněn pro přenos poruchové veličiny odvozený za předpokladu jednotné délky vláken l_v . Tento přenos je dán vztahem

$$G_d(s) = (1 - e^{-s\tau_2}) / (1 - e^{-s\tau_1}) e^{-s\tau_d} \quad (17)$$

Jmenovatel obsahuje zpoždění. V citované práci je implementován jako sériová kombinace $(1 - e^{-s\tau_1})^{-1}(1 - e^{-s\tau_2})e^{-s\tau_d}$, člen se zpožděním ve jmenovateli je realizován pomocí kladné zpětné vazby. U (17) však lze analyticky ukázat, že nemá žádné nestabilní póly, má ale nekonečný počet ryze imaginárních pólů. Je proto nepoužitelný. Otázkou je, jaké jsou vlastnosti složitějších přenosů odvozených na předchozích stránkách. V jejich jmenovatelích jsou buď složitější kvazipolynomy, jejichž kořeny nelze spočítat analyticky, nebo členy s^2 či s^5 vyvolávající dojem astaticismu. Z (12) je zřejmé, že v jejich dynamice figurují Laplaceovy obrazy příslušných komplementárních distribučních funkcí rozložení délek vláken. Ty lze vyjádřit vztahem

$$F_{ci}(s) = \int_0^{l_{\max}/v_i} f_c(v_i\tau) e^{-s\tau} d\tau \quad (18)$$

Z něho je patrné, že s ohledem na vlastnosti funkce $f_c(v_i t)$ nemůže $F_{ci}(s)$ mít v počátku ani pól ani nulu. Přenos akční veličiny proto nemá astatický charakter. Zároveň z toho také vyplývá, že přenosy poruchové veličiny mají v čitateli i jmenovateli dvoj- resp. pětinasobný kořen v počátku. Ty se navzájem krátí a na stabilitu přenosů tak nemají vliv. Je ovšem nutné na ně brát zřetel při realizaci přenosů. Kdybychom použili stejný princip realizace, jako v (Novák, 1995) došlo by k rychlé akumulaci numerických chyb a numerické nestabilitě řešení.

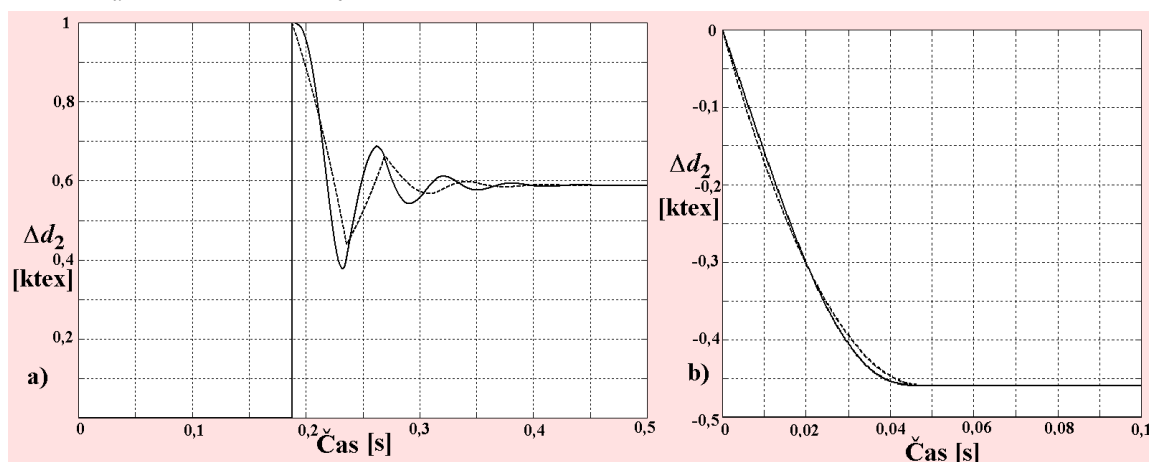
Nejprve je však nutné se zabývat jejich stabilitou. Vedle kořenů v počátku mohou i jmenovatele přenosů $G_d(s)$ mít další kořeny na mezi stability obdobně jako (17), popř. i kořeny nestabilní. Použití kritérií stability pro systémy se zpožděním (např. Pontrjaginovo) by bylo neúnosně komplikované. Vhodnější je vyjít z (18). Lze dokázat, že vzhledem k vlastnostem funkce $f_c(l)$ (kladná, nerostoucí) nemá $F_{ci}(s)$ pro libovolné $l_{\max}/v_i$ žádné nulové body v nestabilní oblasti. Je-li tato funkce na celém intervalu, kde je nenulová, také klesající, lze ukázat, že (18) nemá žádné nulové body ani na imaginární ose. Jelikož čítec (18) se podle (12) objevuje v čitateli i jmenovateli přenosů $G_d(s)$ zaručuje splnění těchto podmínek i stabilitu těchto přenosů. Tyto podmínky jsou splněny pro rozložení (13) i (14), pro jednotnou délku vláken však nejsou. Přenosy (15) i (16) jsou proto stabilní a ryze imaginární kořeny na mezi stability jsou specifikem (17). Použití maximálně zjednodušujících předpokladů o rozložení délek vláken je tedy v tomto případě kontraproduktivní. Vzhledem ke krácení kořenů v počátku mohou však i přenosy (15) a především pak (16) být za jistých okolností numericky problematické (Hlava, 2003a). Při jejich realizaci je především nutné nepoužívat obdobný princip jako (Novák, 1995), ale realizovat je vhodněji např. převodem na stavovou strukturu. Přenos $G_d(s)$ v (15) tak dostaneme ve tvaru

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= \frac{1}{\tau_1} x_1(t) - \frac{1}{\tau_1} x_1(t - \tau_1) + (1 - \frac{\tau_1}{\tau_2}) d(t - \tau_d) - d(t - \tau_1 - \tau_d) + \frac{\tau_1}{\tau_2} d(t - \tau_2 - \tau_d) \\ y(t) &= \frac{1}{\tau_1} x_1(t) + d(t) \end{aligned} \quad (19)$$

Složitější přenosy v (16) lze realizovat obdobně, příslušné vztahy jsou ale složitější. S jejich využitím lze provést simulaci odezev systému v časové oblasti. Přechodové odezvy G_d (skok z 0 na 1 ktex v $t=0$) jsou zachyceny na obr. 5 a), odezvy G_u (skok z 0 na 0,1 m/s v $t=0$) jsou na obr. 5 b). Odezvy jsou zakresleny pro hodnoty parametrů nastavených na zařízení používaném k praktickým experimentům s protahováním pramene.

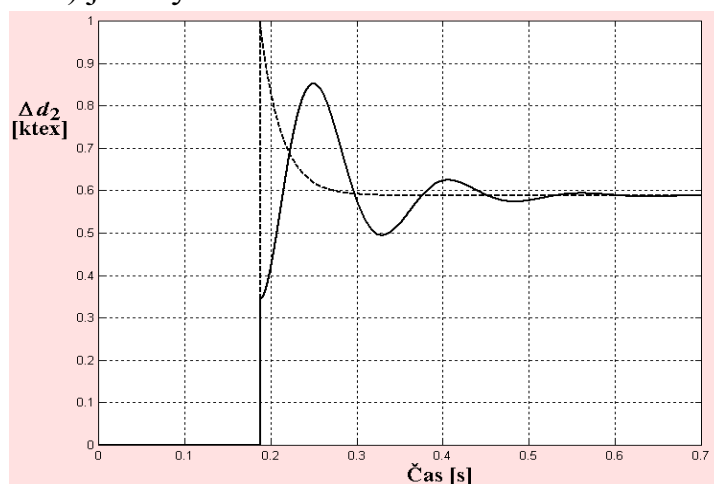
$$l_m = 0,04 \text{ m}; v_1 = 0,489 \text{ ms}^{-1}; v_{20} = 0,832 \text{ ms}^{-1} \Rightarrow \tau_1 = 81,7 \text{ ms}; \tau_2 = 48,1 \text{ ms} \quad (20)$$

$$P = 1,7 \quad \tau_d = 0,1876 \text{ s}; d_{10} = 6,5 \text{ ktex}$$



Obr. 5 Přechodové odezvy modelů, (16) plnou čarou, (15) čárkovanou čarou

Patrný je velmi kmitavý průběh odezvy na změny jemnosti vstupního pramene. Tvar rozložení délek vláken průběh odezev znatelně ovlivňuje. Jejich základní charakter je nicméně pro obě uvažovaná rozdělení podobný a podobná je i doba ustálení. K výrazné deformaci odezev by ale vedla v literatuře běžně užívaná náhrada exponenciálních členů Padého aproximacími 1. řádu. Jak by pak průběh odezev G_d vypadal, ukazuje obr. 6 (aproximace (16) plnou čarou, (14) čárkovanou čarou). Výrazná deformace průběhů oproti obr. 5 a) je evidentní. Snaha zjednodušovat takto přenosy ústrojí nebo na těchto zjednodušených přenosech dokonce zakládat návrh regulace jako již zmíněný (Huang & Bai, 2001) je tedy rozhodně velmi nevhodná.



Obr. 6 Nevhodnost používání Padého aproximace

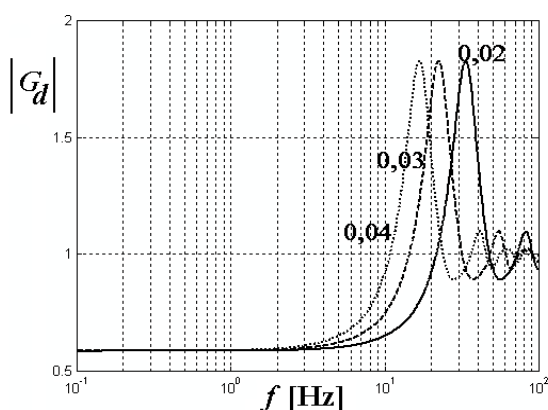
4.4 Identifikace parametrů matematického modelu

Za obdobných předpokladů o vlastnostech a struktuře pramene, jaké jsou v literatuře běžně používány, umožňují výsledky nastíněné v této přednášce exaktně analyzovat nedostatky dříve navržených modelů a navrhnout modely zlepšené a rozšířené. S navrženými modely lze také pracovat v časové oblasti, což je úloha, o kterou se dřívější práce buď vůbec nepokoušely nebo se zastavily hned na jejím počátku.

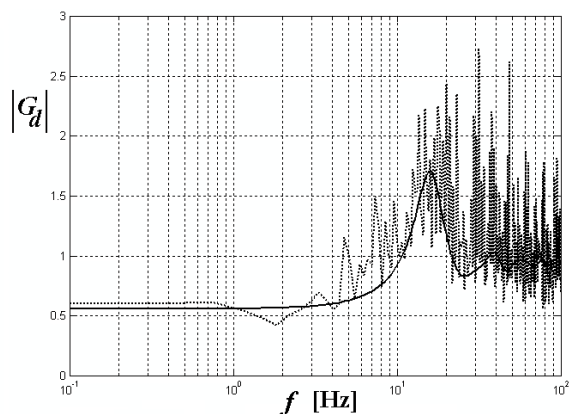
Je ovšem třeba navrhnout postup identifikace parametrů modelu. Většinu parametrů lze zjistit snadno (rychlosti válečků a mechanické rozměry ústrojí). Největším problémem je parametr $l_{\max}$. Stanovení na základě analýzy vzorku textilního materiálu je komplikované. Vhodnější je zkoumat vliv $l_{\max}$ na chování ústrojí. V časové oblasti se změna $l_{\max}$ projeví na frekvenci kmitů přechodové odezvy (snižování frekvence s růstem $l_{\max}$). Identifikace v časové oblasti ovšem naráží na technické problémy dané velkou citlivostí běžně používaných snímačů jemnosti pramene na mechanické rušení. Důsledkem je pak často nezcela přesvědčivá identifikace z rušením znehodnocených dat.

Lepší je tedy pracovat ve frekvenční oblasti, kde $l_{\max}$ ovlivňuje frekvenci, na níž je dosaženo prvního a největšího vrcholu amplitudové frekvenční charakteristiky. Z obr. 7 je patrné, že klesající hodnota $l_{\max}$ posouvá tento vrchol k vyšším frekvencím. Rušení se projeví i zde, počáteční náběh amplitudy však lze i tak dobře vysledovat. To je zřejmé i z obr. 8. Tam je zakreslena amplitudová frekvenční charakteristika ústrojí stanovená experimentálně z výkonových spektrálních hustot vstupního a výstupního signálu. Použito bylo dvouzónové průtahové ústrojí s následujícím nastavením rychlostí a odpovídajících frekvencí otáčení válečků

$$\begin{aligned} v_1 &= 0,29 \text{ m/s}; & v_2 &= 1,3v_1 = 0,377 \text{ m/s}; & v_3 &= 0,487 \text{ m/s} \Rightarrow P = 1,68 \\ f_1 &= 2,65 \text{ Hz}; & f_2 &= 3,44 \text{ Hz}; & f_3 &= 4,44 \text{ Hz} \end{aligned} \quad (21)$$



Obr. 7 Vliv $l_{\max}$ na průběh amplitudové frekv. charakteristiky



Obr. 8 Srovnání $|G_d(j\omega)|$ z (16) s experimentálně zjištěnou char.

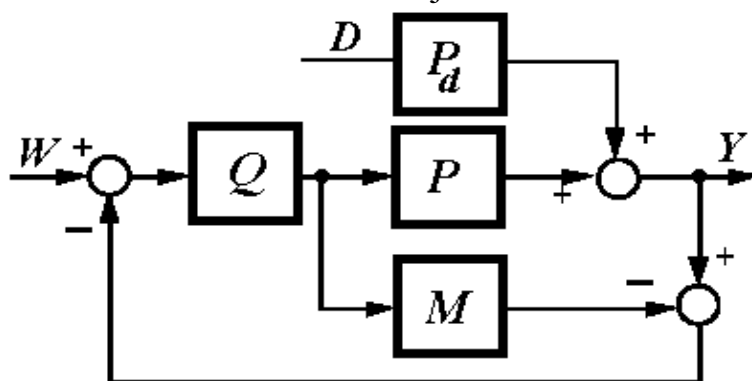
V obr. 8 je zakreslena také frekvenční charakteristika přenosu G_d z (16). Parametr $l_{\max}$ byl zvolen tak, aby počátek experimentálně zjištěné frekvenční charakteristiky byl proložen optimálně ve smyslu nejmenších čtverců. Soulad

počáteční části frekvenční charakteristiky je poměrně dobrý a úloha nalezení $l_{\max}$, které vede na optimální proložení počátku experimentální frekvenční charakteristiky má výrazné globální minimum. U špiček experimentálně zjištěné charakteristiky lze snadno najít jejich původ v rušení pocházejícím od otáček jednotlivých válečků. Takto lze navíc i průběžně aktualizovat hodnotu $l_{\max}$ za provozu řídicího systému a chování regulátoru tak přizpůsobovat měnícím se charakteristikám textilního materiálu.

Překvapením však je hodnota $l_{\max}$, která k tomuto optimálnímu proložení vede. Oproti $l_{\max}$ zjištěnému při pokusu stanovit staplový diagram zpracovávané bavlny dostaneme hodnoty až o několik desítek procent menší. Příčina je zřejmě dvojitá. a) Nedokonalá paralelizace vláken: průmět vlákna svírajícího nenulový úhel s osou pramene do směru osy pramene je oproti délce vlákna kratší a vlákna se tedy jeví kratší než skutečně jsou. b) Aproximativní charakter rozložení (14). S tím souhlasí i skutečnost, že řešíme-li stejnou úlohu pro hrubší aproximaci (13) je rozdíl ještě o něco výraznější.

5. Nástin návrhu řízení procesu protahování s využitím popsaných modelů

Přenosy akční i poruchové veličiny průtahového ústrojí jsou transcendentní. Popisují systémy se zpožděním, kde je zpoždění přítomno nejen na vstupu či výstupu ale i ve vnitřních zpětných vazbách. Pro tyto systémy je k dispozici jen málo použitelných metod návrhu regulátoru. Z hlediska praktické aplikace pokládám za nejvhodnější postup anisochronní rozšíření řízení s vnitřním modelem. Toto rozšíření metody, jež byla původně vypracována pro systémy bez zpoždění resp. jen se vstupním zpožděním (Morari & Zafiriu, 1989), bylo navrženo v (Zítek, 1998) a podrobně rozpracováno v (Zítek & Hlava, 2001). Aplikaci tohoto postupu si naznačíme pro případ jednodušších přenosů (15). Obecné schéma řízení s vnitřním modelem je na obr. 9.



Obr. 9 Řízení s vnitřním modelem

Toto uspořádání lze v případě potřeby rozšířit na dva stupně volnosti popř. kombinovat s dopředným řízením pro potlačení měřitelných poruch. K výhodám řízení s vnitřním modelem patří průhledný vztah mezi přenosem regulátoru a chováním regulačního obvodu ve jmenovitém případě (tzn. jsou-li soustava a model identické $P=M$). Pak platí

$$Y(s) = M(s)Q(s)W(s) + (1 - M(s)Q(s))P_d(s)D(s) \quad (22)$$

Návrhář tak má bezprostřední kontrolu na průběhem odezev regulačního obvodu. Navíc lze snadno analyzovat robustnost regulačního obvodu a regulátor navrhovat (výpočtem popř. experimentálně) tak, aby jeho nastavení bylo vhodným kompromisem mezi jmenovitou kvalitou regulace a robustností. Uspořádání podle obr. 9 lze využít i pro implementaci regulátoru nebo jen jako užitečnou návrhovou pomůcku a regulátor pak přepočítat na ekvivalentní regulátor ve standardním uspořádání zpětnovazebního regulačního obvodu.

Budeme-li uvažovat řízení průtahového ústrojí je předně nutné zvolit regulační strukturu. Ústrojí z obr. 3 b) může být vybaveno snímači d_1 a d_3 nebo jen jedním z nich (obvykle d_1). Je-li k dispozici pouze snímač d_1 připadá v úvahu jen dopředná kompenzace poruchové veličiny. Máme-li i snímač d_3 , záleží na jeho umístění. V uspořádání, s nímž jsem pracoval, bylo ke snímání jemnosti d_3 využito sledování vertikálního posuvu horního válečku třetího válečkového páru tzn. snímání bylo prakticky bez zpoždění. V tomto případě je nejvhodnější variantou zpětnovazební řízení. Pokud by byl snímač umístěn až za třetím válečkem bylo by nejvhodnější tuto strukturu doplnit ještě o dopřednou kompenzaci poruchy odvozenou od d_1 .

Budeme uvažovat řízení v uspořádání podle obr. 9, tzn. pouze zpětnovazební bez doplnění o dopřednou kompenzaci. Návrh je založen na faktorizaci přenosu modelu řízeného systému ve tvaru

$$M(s) = M_O(s)M_I(s) \quad (23)$$

kde $M_O(s)$ je vnější (invertibilní) a $M_I(s)$ je vnitřní (neinvertibilní) faktor. Jak $M_O(s)$ tak $M_I(s)$ mohou být transcendentní. Regulátor pak lze navrhnout jako

$$Q(s) = (M_O(s))^{-1} F(s) \quad (24)$$

Regulátor (24) je stabilní i kauzální. Filtr $F(s)$ se volí s ohledem na robustnost a průběh odezvy obvodu. Relativní řád $F(s)$ musí být takový, aby regulátor byl ryzí. Pro jednoduchost předpokládáme, že dynamiku pohonu třetího válečku lze zanedbat a popsání postup je tak možné aplikovat přímo na $G_u(s)$ z (15)

$$M_O(s) = -\frac{2d_{10}v_1}{l_{\max}^2} \frac{\tau_2 s + e^{-s\tau_2} - 1}{s^2} \Rightarrow Q(s) = \frac{l_{\max}^2}{2d_{10}v_1} \frac{s^2}{(1 - \tau_2 s - e^{-s\tau_2})(\lambda s + 1)} \quad (25)$$

$M_I = 1$

Pro ryzost regulátoru postačil filtr prvního řádu. Parametr λ ovlivňuje rychlost odezvy regulačního obvodu. Menší hodnota vede na rychlejší odezvu (přenos uzavřené smyčky je $1/(\lambda s + 1)$), zároveň však klesá robustnost regulátoru. Vhodné kompromisní nastavení je možné provést výpočtem (viz Zítek & Hlava, 2001). Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o jeden parametr je také možné experimentální nalezení nejvhodnější hodnoty přímo v provozu. Jak již bylo řečeno je pro implementaci vhodné regulátor přepočítat na ekvivalentní regulátor ve standardním zpětnovazebním uspořádání. Pak dostaneme

$$C(s) = \frac{l_{max}^2}{2d_{10}v_1\lambda} \frac{s}{(1 - \tau_2 s - e^{-s\tau_2})} \quad (26)$$

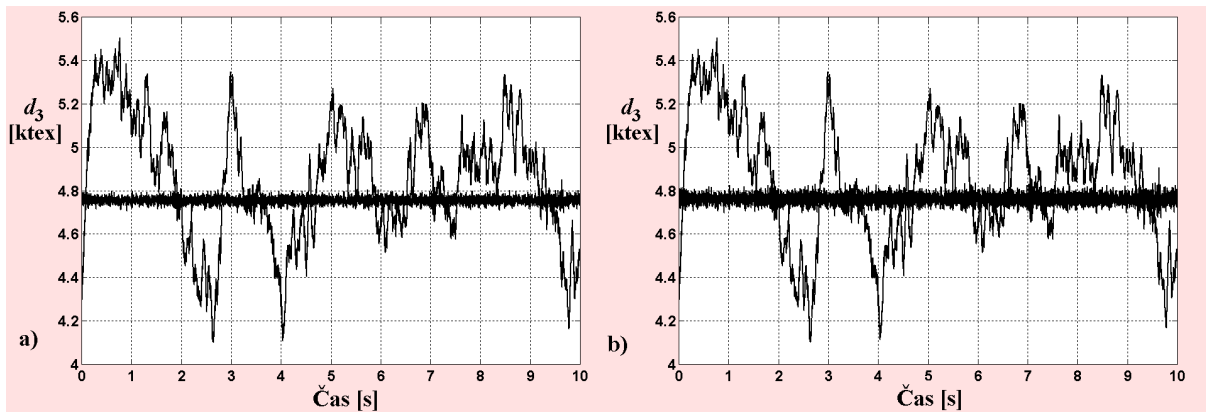
Společným rysem regulátorů (26) i (25) je fakt, že obsahují vedle integrátorů také zpoždění jako samostatný prvek. Např. přenos (26) je realizován vztahy

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \frac{1}{\tau_2} \left(x_1(t) - \frac{k_c}{\tau_2} e(t) - x_1(t - \tau_2) + \frac{k_c}{\tau_2} e(t - \tau_2) \right) \\ u(t) &= x_1 - \frac{k_c}{\tau_2} e(t); \quad k_c = \frac{l_{max}^2}{2d_{10}v_1\lambda} \end{aligned} \quad (27)$$

Obdobně by byl realizován i regulátor $Q(s)$ z (25), příslušné rovnice by pouze obsahovaly dvě stavové proměnné. Derivace vnitřního stavu (27) zřejmě závisí i na hodnotách této derivace v dřívějších a tedy odlišných časových okamžicích, jedná se proto o anisochronní regulátor.

Ukázky odezev na typický průběh změn jemnosti pramene na výstupu mykacího stroje jsou uvedeny na obr. 10 pro parametry (21) a $\lambda=1$ ms. Na obr. 10 a) je zachycen průběh v nominálním případě, tzn. jako regulovaná soustava jsou v simulaci použity přímo přenosy (15). Zachycen je jednak průběh výstupu regulovaného průtahového ústrojí a jednak průběh, který by se na výstupu objevil, pokud by průtahové ústrojí běželo s pevným průtahovým poměrem bez regulace. Výrazné zlepšení stejnoměrnosti pramene dosažené regulací je zřejmé z grafu. Číselně jej lze vyjádřit pomocí variačního koeficientu. Ten je 8,3% pro průběh bez regulace a 0,26% s regulací.

Tento případ je ovšem příliš idealizovaný. Na obr. 10 b) je proto zachycen průběh regulační odezvy v případě, kdy regulátor je realizován opět podle (26), jako řízený systém je však použit numericky realizovaný nelineární model z kap. 4.2 pracující s Pearsonovým rozložením délek vláken (14). V tomto případě se chování řízeného systému a modelu neshoduje, dosažená kvalita regulace je však stále poměrně dobrá: variační koeficient výstupního průběhu je 0,38%. Je tak patrná i dobrá robustnost tohoto regulátoru.



Obr. 10 Regulační průběhy

6. Závěr

V přednášce byly naznačeny některé významné možnosti aplikace teorie systémů se zpožděním v oblasti modelování a řízení textilních strojů, tedy v oblasti, jež dosud ležela povětšinou mimo sféru zájmu odborníků z oblasti řízení. Vedle mykacího stroje, jehož matematický model byl vzhledem k jeho složitosti spíše jen naznačen, se hlavní pozornost soustředila na proces protahování textilního pramene. Nejprve bylo nutné kriticky zhodnotit starší práce prováděné textilními odborníky, které ač často motivovány aplikacemi v oblasti řízení, mají zásadní nedostatky (modely nezahrnují vliv akční veličiny, nestabilita, nepoužitelnost ani pro simulaci).

V návaznosti na tuto kritickou analýzu pak přednáška vyšla z obdobných předpokladů o struktuře a vlastnostech textilního pramene, s jakými pracovaly dřívější publikace na toto téma, a snažila se odstranit nedostatky v nich popsaných modelů. Soustředila se nejprve na vytvoření matematického modelu ústrojí zahrnujícího vliv akční i poruchové veličiny. Tímto modelem je nelineární systém s rozloženými zpožděními. V další fázi pak byl navržen linearizovaný model se soustředěnými zpožděními, jehož součástí je vedle přenosu akční veličiny také přenos mezi vstupní a výstupní jemností pramene, který je svojí strukturou v zásadě podobný přenosům navrženým v literatuře. S jeho pomocí byly analyzovány příčiny nestabilních odezev modelů popsaných v literatuře. Zároveň bylo také ukázáno, že běžná snaha zjednodušovat přenosy ústrojí pomocí Padého aproximace vede k naprosto nepoužitelným výsledkům.

V další části pak byl navržen postup identifikace parametrů modelu. Obtížné je především určení maximální délky vláken. Nejvhodnějším postupem se ukázalo stanovení tohoto parametru z experimentálně zjištěné frekvenční charakteristiky ústrojí. Lze tak říci, že při uvažování obdobných předpokladů o vlastnostech a struktuře pramene, jaké jsou v textilní literatuře běžně používány, byly analyzovány a pokud to principu bylo možné, také odstraněny matematické a systémově teoretické nedostatky starších modelů. Zcela nově byl navržen úplný matematický model zahrnující i vliv akční veličiny a to jak v nelineární, tak ve zjednodušené linearizované podobě. V závěru přednášky pak bylo naznačeno použití modelu pro návrh řízení s využitím metodiky anisochronních regulátorů s vnitřním modelem.

Seznam citované literatury

- Djiev, S. N. (1994), Modelling a Double-Zone Drafter as an Object of Control, *Textile Research Journal*, ročník 64, s. 449-456
- Germanova-Krasteva D., & Georgiev I. (2001), Cotton Sliver Simulation Modelling, *International Textile Bulletin*, č. 4
- Hlava, J. (2003a), Modelling and Control of Cotton Sliver Drafting Process, *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, ročník 2, č. 4, s. 808-813
- Hlava, J. (2003b), Time Delay Systems Applications in Textile Industry – Modelling of Sliver Drafting Process, *Time Delay Systems 2003 – A Proceedings volume from the 4th IFAC workshop*, Oxford: Elsevier, s. 287-292
- Hlava, J. (2001), Anisochronic Modelling of a Flat-Top Carding Machine, *Proceedings of the 12th International DAAAM Symposium*, Jena - Germany, October 2001, s. 181-182
- Huang, Ch.-Ch., & Bai, J.-Ch. (2001), Minimum Variance Control in Leveling Slivers, *Textile Research Journal*, ročník 71, č. 7, s. 621-625.
- Ihara, M. & Nogai, T. (1976), Study on Transfer Function of Drafting Process, *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, ročník 22, č. 1, s. 13-19
- Matsumoto, Y., Kyuma, H. & Tsuchiya, I. (1988), Changes of Sliver Irregularity in Two-Zone Roller Drafting, *Journal of the Textile Machinery Society of Japan (English edition)*, č. 3, s. 65-73
- Morari M., & Zafiriou E. (1989), *Robust Process Control*, Prentice-Hall
- Novák, P. (1995), *Modelování procesu protahování z hlediska transformace hmotové nestejnoměrnosti*, disertační práce, TU Liberec, Fakulta textilní
- Севостьянов, А., Г., & Севостьянов, П., А. (1984), *Моделирование технологических процессов в текстильной промышленности*, Москва: Легкая и пищевая промышленность
- Zítek, P., & Hlava, J. (2001), Anisochronic Internal Model Control of Time Delay Systems, *Control Engineering Practice*, ročník 9, č. 5, s. 501-516
- Zítek, P. (1998), *Time Delay Control System Design Using Functional State Models*, Praha: Vydavatelství ČVUT, v řadě CTU Reports č. 1/1998

Dr.Ing.Mgr. Jaroslav Hlava - odborný životopis

Datum a místo narození: 17. března 1968 v Jablonci nad Nisou

Rodinný stav: ženatý, tři děti

Vzdělání:

2001: Mgr., FF UK v Praze, obor Filosofie - Historie

1998: Dr., FS ČVUT v Praze, obor Technická kybernetika

1991: Ing., FEL ČVUT v Praze, obor Technická kybernetika

Zaměstnání:

2000 – TU Liberec, Fakulta mechatroniky, Katedra řídicí techniky, vědecko-pedagogický pracovník, od května 2005 vedoucí Katedry řídicí techniky

1993-2002, ČVUT Praha, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Odbor automatického řízení a inženýrské informatiky, odborný asistent (2000-2002 zaměstnán na částečný úvazek na obou pracovištích zároveň)

Odborné zaměření a aktivity:

První důležitou oblastí jeho odborného zájmu jsou **systémy se zpožděním**, jejich analýza a návrh robustního řízení pro tyto systémy. Touto problematikou se začal zabývat již v době svého působení na FS ČVUT. Úkoly řešené v rámci **výzkumného centra Textil** v Liberci jej pak přivedly také k aplikacím teorie systémů se zpožděním v oblasti modelování a řízení textilních strojů.

Další výzkumnou tematikou jsou tzv. **hybridní systémy**, tzn. systémy, jejichž dynamické chování je výsledkem netriviální interakce spojitých veličin a subsystémů s veličinami a subsystémy, které jsou logické či obecněji diskrétní v úrovni. Do této oblasti je také orientován **projekt GAČR 101/04/1182 Hybridní koncepce v pokročilých metodách řízení a modelování tepelně-energetických procesů**, jehož je odpovědným spoluřešitelem. V rámci výzkumného záměru **VZ 1453 Vibroizolační prvky a systémy** se v současné době začíná zabývat také problematikou aktivních vibroizolací.

Od roku 2002 je členem IFAC Technical Committee on Nonlinear Control Systems TC2.3 a IFAC Technical Committee on Robust Control TC2.5.

Pedagogické zaměření:

Již osm let přednáší předmět Prostředky automatického řízení, nejprve na FS ČVUT Praha, nyní na TU v Liberci. Dále je garantem dvou povinně volitelných předmětů magisterského studia zaměřených na robustní řízení a pokročilé řídicí algoritmy. V doktorandském studiu je garantem předmětů zaměřených na systémy se zpožděními a robustní řízení. Je autorem či spoluautorem tří vysokoškolských skript.

Jazykové znalosti:

Aktivně ovládá angličtinu a němčinu, pasivně klasickou a helénistickou řečtinu, ruštinu a středověkou scholastickou latinu.