

# IDENTIFIKACE SOUSTAVY SEDAČKY (SEDAČKA C.I.E.B TYPOVÉ ŘADY 5) A NÁVRH REGULAČNÍHO OBVODU

GHAZZI SAYED MOHSEN

Technická univerzita v Liberci, fakulta strojní, katedra aplikované kybernetiky,

✉ Hájkova 6, 461 17 Liberec, ☎ (048) 5353284, 📠 (048) 5105882,

📧 [sayed\\_mohsen\\_gharazi@vslib.cz](mailto:sayed_mohsen_gharazi@vslib.cz)

**Abstract:** Tento příspěvek se zabývá identifikací a regulací soustavy automobilové sedačky C.I.E.B typové řady 5 při různých vstupech signálu. Sedačka je vybavena nelineárním tlumičem, který je nastavitelný, tak aby se choval buď jako tvrdý nebo měkký tlumič. Při měření vstupních a výstupních signálů byl regulátor polohy odpojen, aby nezasahoval do dynamických vlastností samostatného systému.

Příspěvek bude rozdělena do tří hlavních částí. V první části budou analyzovány naměřené signály. V druhé části bude identifikována soustava sedačky na podkladě naměřených signálů. Poslední část se bude zabývat regulací identifikované soustavy.

Uvedená práce ( identifikace, regulace a modelování soustavy) byla realizovaná v programu MATLAB od firmy Mathworks.

**Klíčová slova:** parametrická identifikace, neparametrická identifikace, impulzní, přechodová charakteristika, diferenční rovnice.

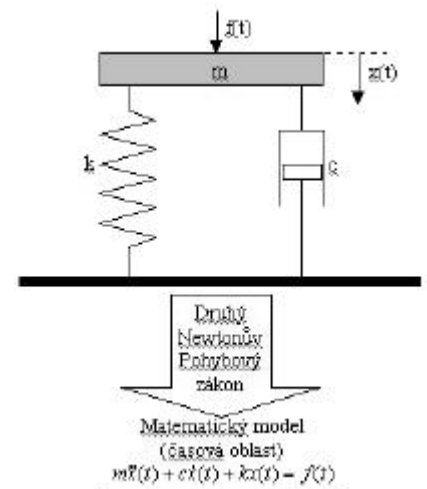
## 1. Matematický model identifikované soustavy

Metody výpočtu nelineárních soustav jsou obtížnější a časově náročnější, než metody řešení u lineárních soustav. Využíváme proto často různé matematické modely pro jejich zjednodušení. Matematické modely jsou účelné nebo nutné z následujících důvodů :

- pro pochopení a popis chování mechanických soustav při dynamickém namáhání
- pro modelování odezev na předpokládané vnější síly
- pro modelování dynamických charakteristik, měnících se v důsledku modifikací

Matematické modely nejsou obecnými modely vlastních soustav a konstrukcí, ale ve skutečnosti se jedná modely dynamických vlastností těchto soustav a konstrukcí.

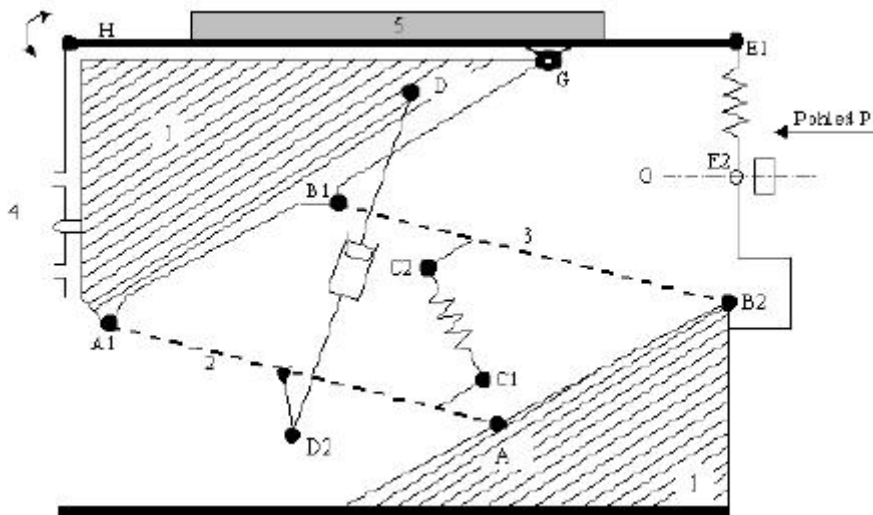
Matematický model dané soustavy v časové oblasti může být odvozen na základě analytického modelu pomocí druhého Newtonova pohybového zákona. Sestavením rovnosti vnitřních sil (setrvačných, tlumících a pružných sil ) a vnějších sil ( budících sil ) je získán matematický model ve tvaru diferenční rovnice druhého řádu.



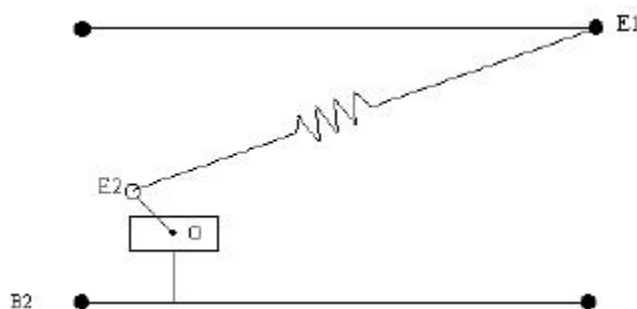
Obr. 1 Zjednodušený model dynamického systému

## 2. Základní popis identifikovaného systému

Sedačka má paralelogramové uspořádání s polohovou regulací, nastavitelný tlumič ATESO, vzduchová pružina je dvouvlná, dorazová soustava je pevná s pryžovými silenbloky. Tlumič je upevněn v podélné ose sedačky mezi spodním ramenem paralelogramu a nepřímým vrchním rámem podstavce. Nastavení tvrdosti tlumiče se provádí plynule páčkou bez zajištění polohy. Nastavení výšky sedáku vzhledem k podlaze kabiny se provádí ručním kolečkem s přesuvnou maticí na osičce. Přesuvná matice je s polohovým regulátorem spojena táhlem přes vinutou pružinu. Pro identifikaci dynamických vlastností soustavy byl odpojen regulátor polohy sedačky. Vzduchová pružina byla uzavřena, tlak v pružině byl nastaven na  $p=0.25$  Mp



Obr. 2 Kinematické schéma identifikovaného systému



Obr. 3 Pohled P

1	základní rám a buzená část (neodpružená část)	D1, D2	úchyty tlumiče
2,3	ramena mechanismu sedačky	E1, E2	přenosová člen ovládaní regulátor
4	aretační páka se třemi otvory	G	otáčení
5	zátěž	H	desky
E2O	rameno regulátoru	I	odpružená část
A2, B2	klouby základního rámu	O	osa polohového regulátoru
A1, B1	klouby kotevního rámu sedačky	●	kotevní klouby
I, C2	úchyty pružiny	○	pohyblivý kloub

### 3. Signály

Důležitou součástí identifikace je volba a generování vhodných testovacích signálů. Tyto signály mohou být deterministické, stochastické nebo tzv. pseudonáhodné.

Deterministické signály lze analyticky popsat a patří mezi ně skoková změna, rampový signál, impuls, obdélníkový harmonický signál atd.

Stochastické signály jsou charakteristické tím, že jsou analyticky nepopsatelné. Každá taková realizace je náhodná a neopakovatelná. Klasickým představitelem tohoto druhu signálu je bílý šum.

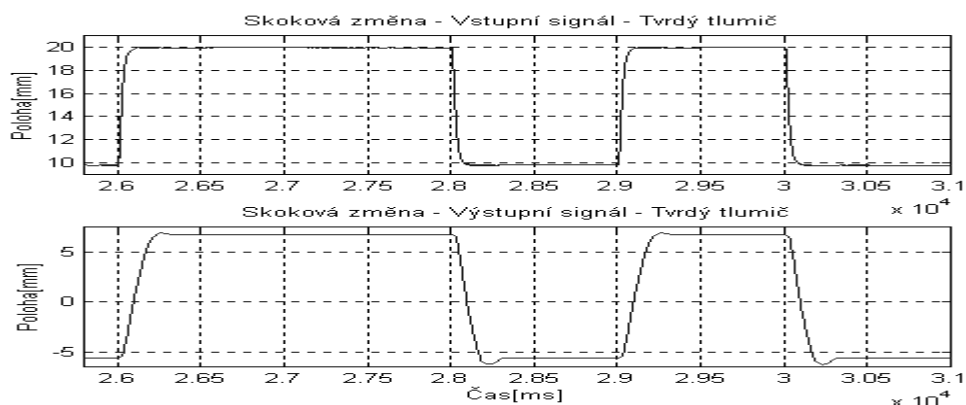
Pseudonáhodné signály lze popsat jako náhodné signály, jejichž vlastnosti mohou být za daných podmínek stejné jako u stochastických signálů, ale jsou získané deterministickým způsobem a jsou tedy opakovatelné.

Pro buzení identifikovaného systému byly použity 3 druhy signálů :

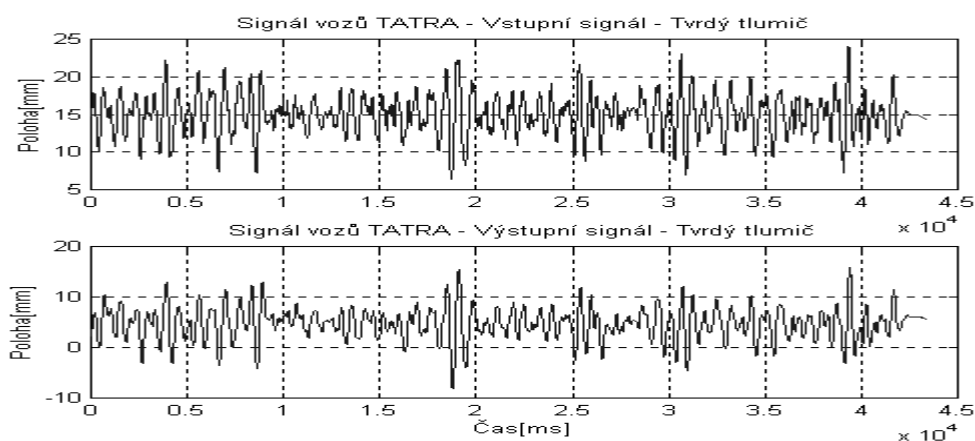
- skokové změny s amplitudou 10 mm vytvořené s pomocí programu Matlabu
- signál, který byl naměřen v kabině vozu TATRA během jízdy na dálnici (signál vozu TATRA).

c) signál, který byl naměřen v kabině vozu LIAZ 400 během jízdy na silnici (signál vozu LIAZ 400).

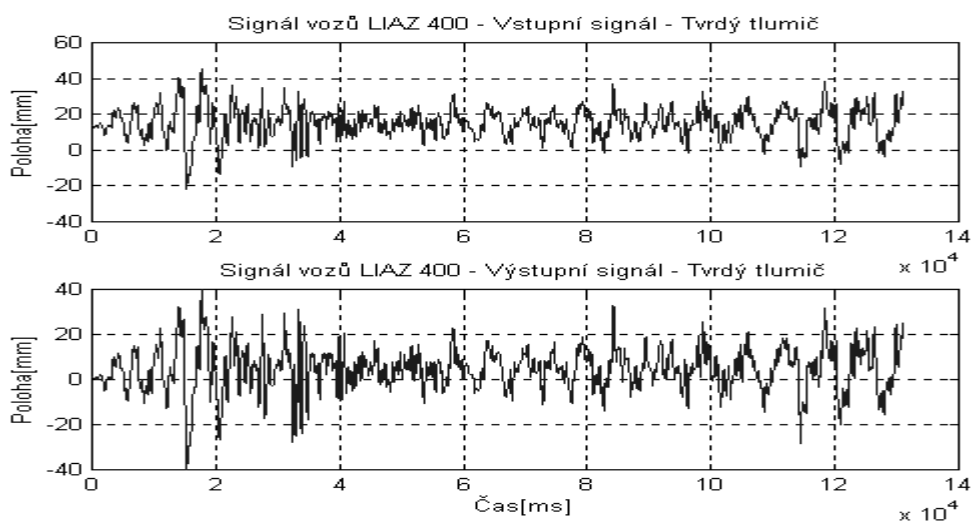
Přehled generovaných a výstupních signálů:



Obr. 4 Časový průběh vstupní a výstupní skokové změny



Obr. 5 Časový průběh vstupního a výstupního signálu vozu TATRA



Obr. 6 Časový průběh vstupního a výstupního signálu vozu LIAZ 400

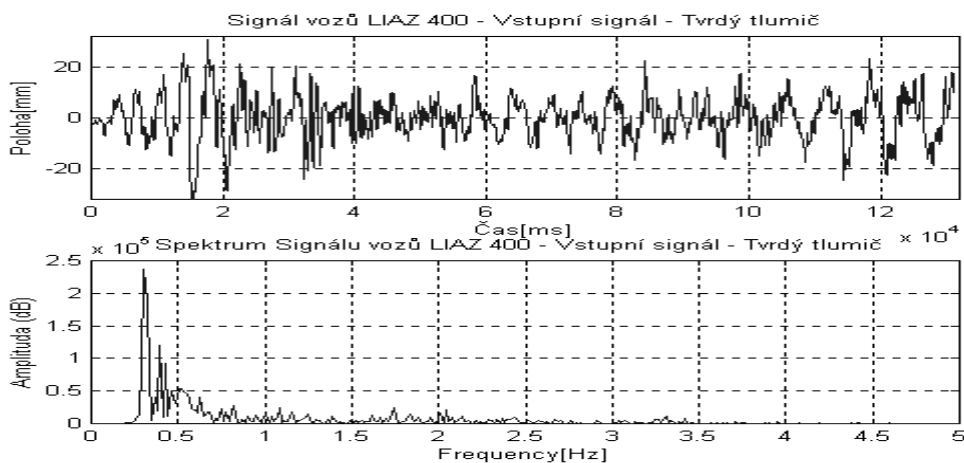
### 3.1 Fourierova transformace vygenerovaných vstupních signálů

Rozklad obecného, tj. nejen periodického ale také neperiodického signálu, na harmonické složky, lze určit pomocí Fourierovy transformace. Tento rozklad obsahuje obecně složky o všech frekvencích s infinitesimální (nekonečně malou) amplitudou. Spektrum je spojitá funkce frekvence ( viz obr. 7 až obr. 9 ) Definiční vzorce přímé a zpětné (inverzní)

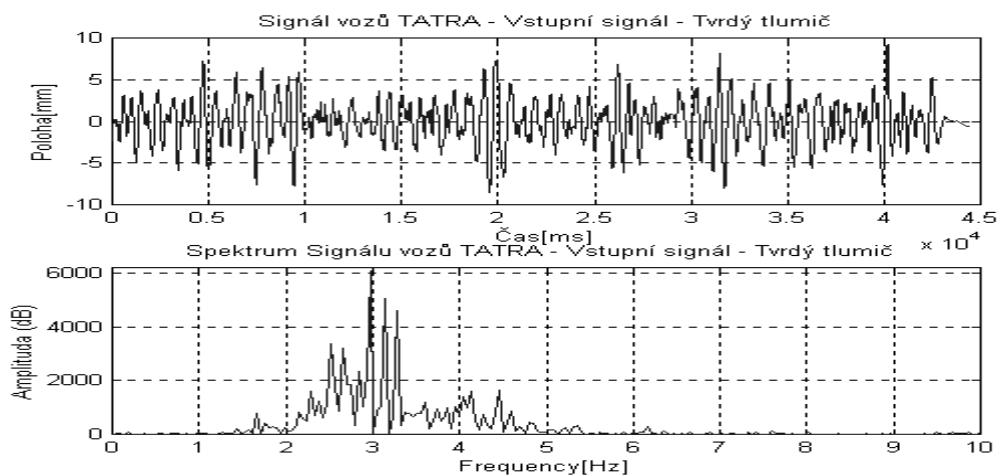
Fourierovy transformace pro signál, tj. funkci  $x(t)$  ve významu vzoru nebo originálu, jsou následující:

$$X(\omega) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \exp(-j\omega t) dt, \quad (3.1)$$

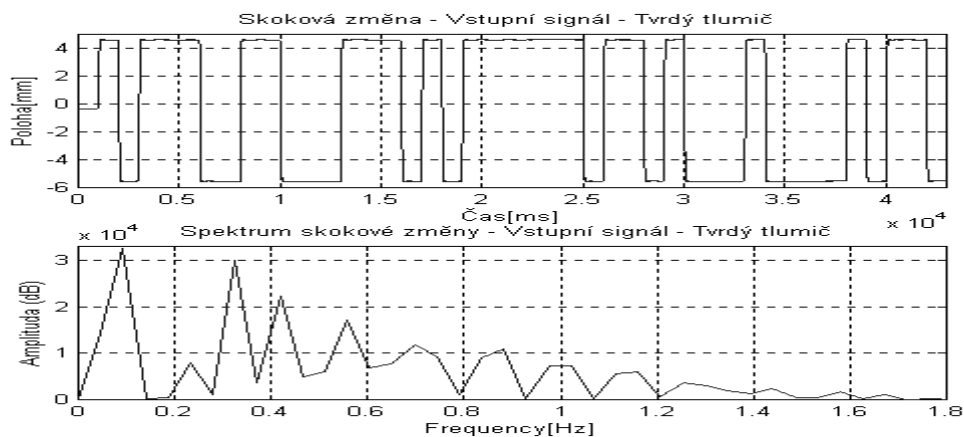
$$x(t) = F^{-1}\{X(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) \exp(j\omega t) d\omega, \quad (3.2)$$



Obr. 7 Vstupní signál vozu LIAZ 400 a jeho spektrum



Obr. 8 Vstupní signál vozu TATRA a jeho spektrum



Obr. 9 Skoková změna (vygenerovaný signál) a její spektrum

## 4. Identifikace soustavy

Při identifikaci technologické soustavy v zásadě můžeme vycházet ze dvou přístupů:

- **parametrická identifikace** – získání parametrů (koeficientů) diferenční rovnice modelu
- **neparametrická identifikace** – získání jednotlivých bodů impulsní (resp. přechodové) charakteristiky

### Parametrická identifikace

Pro výpočet koeficientů přenosu je možno uvažovat modely s různou strukturou. Uvažujeme nejdříve obecný model ve tvaru :

$$A(z^{-1})y(k) = \frac{B(z^{-1})}{F(z^{-1})}u(k) + \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})}z(k) \quad (4.1)$$

kde

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{na} z^{-na}$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_b z^{-nb}$$

$$C(z^{-1}) = c_0 + c_1 z^{-1} + \dots + c_{nc} z^{-nc}$$

$$D(z^{-1}) = d_0 + d_1 z^{-1} + \dots + d_{nd} z^{-nd}$$

$$F(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + \dots + f_f z^{-nf}$$

Způsob určení koeficientů soustavy je závislý na volbě struktury modelu. Pro jednoduchost použijeme LS model, kde  $F(z^{-1}) = D(z^{-1}) = C(z^{-1}) = 1$ :

$$A(z^{-1}) \cdot y(k) = B(z^{-1}) \cdot u(k) + z(k) \quad (4.2)$$

Pro další výpočet koeficientů lze tento model upravit na tvar :

$$A(z^{-1}) \cdot y(k) - B(z^{-1}) \cdot u(k) = e(k) = z(k) \quad (4.3)$$

a nebo

$$A(z^{-1}) \cdot y(k) = B(z^{-1}) \cdot u(k) + \delta(k) \quad (4.4)$$

kde

$\delta(k)$  ... představuje minimalizaci chyby

po úpravě

$$y(k) = -a_1 * y(k-1) - a_2 * y(k-2) - \dots - a_n * y(k-n) + b_0 * u(k) + b_1 * u(k-1) + \dots + b_n * u(k-n) + \delta(k)$$

maticový zápis má podobu

$$y(k) \quad u(k) \dots u(n-k) \quad -y(k-1) \quad -y(k-n) \quad \text{koeficienty}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} * \mathbf{X}$$

kde

$y(k)$ ,  $u(k)$ ,  $u(n-k)$ ,  $y(k-1)$ ,  $y(n-k)$  ... jsou hodnoty získané měřením. Pro minimalizaci chyby se dá maticový zápis přepsat do tvar

$$A^T * A * X = A^T * B^T$$

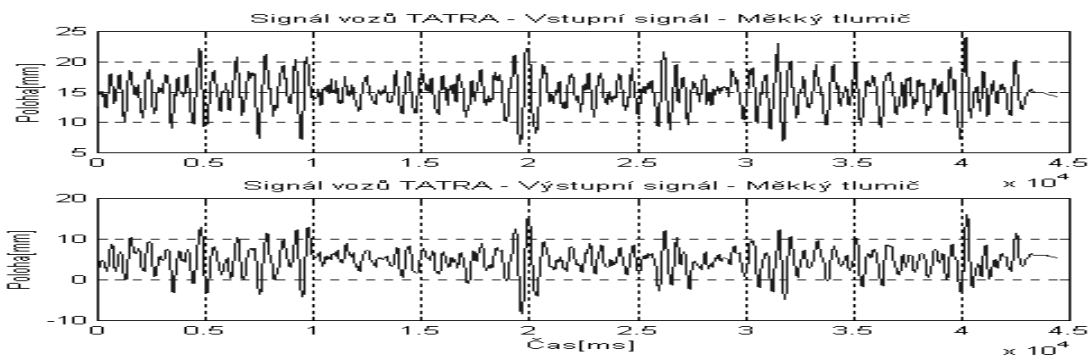
kde

$A^T$  je transponovaná matice.

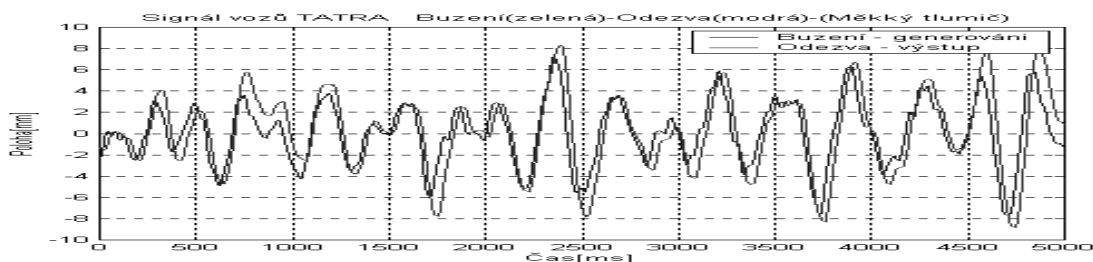
Toto je jednoduchá maticová rovnice a její řešení nám dává koeficienty přenosu.

V následující části této práce jsou použity signály vozů Tatra s měkkým a tvrdým tlumičem.

a) signál vozu TATRA s měkkým tlumičem



Obr. 10 Odezva soustavy na signál vozu TATRA ve spodní poloze, měkký tlumič bez zapojeného regulátoru a s ekvivalentní zátěží 60 [kg]



Obr. 11 Přehled náhodného signálu po odečtení střední hodnoty a ořezávání

Výsledky identifikace z programu Matlab :

*%prevod z theta formatu do diskretniho*

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{na} z^{-na} \quad Ad(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 1.0000 & -1.9327 & 0.9350 \end{bmatrix}$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{nb} z^{-nb} \quad Bd(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 0 & 0.0027 & 0 \end{bmatrix}$$

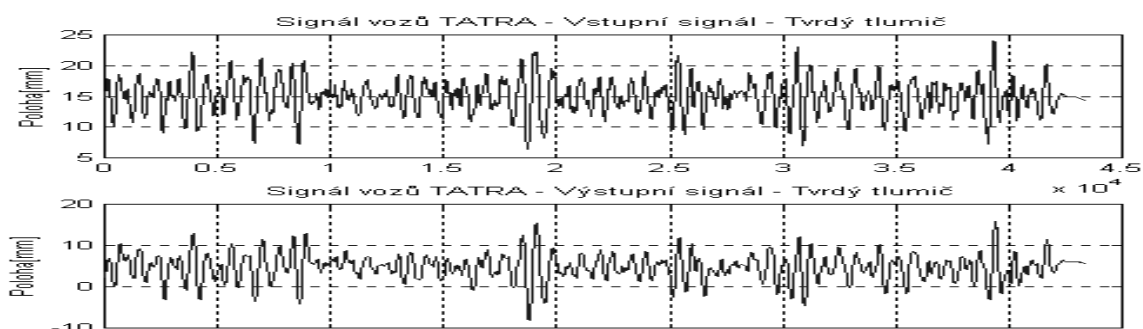
*%prevod diskretniho na spojity*

$$Ac = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0673 & 0.0023 \end{bmatrix} \quad Bc = \begin{bmatrix} 0 & 0.0014 & 0.0028 \end{bmatrix}$$

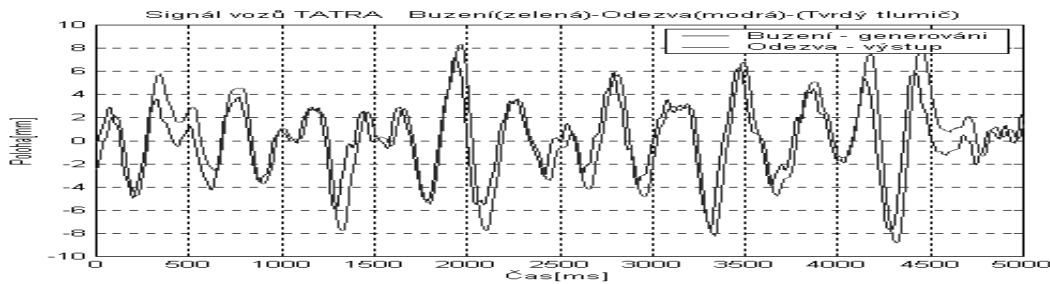
Ze získaných koeficientů Ad, Bd, Ac, Bc, lze napsat výsledný diskretní a spojitý přenos ve tvaru:

$$F(z^{-1}) = \frac{0.0027z^{-1}}{1 - 1.9327z^{-1} + 0.9350z^{-2}} \quad F(s) = \frac{0.001377s + 0.002786}{s^2 + 0.06725s + 0.00234}$$

b) signál vozu TATRA s tvrdým tlumičem



Obr. 12 Odezva soustavy na signál vozu TATRA ve spodní poloze, tvrdý tlumič bez zapojeného regulátoru a s ekvivalentní zátěží 60 [kg]



Obr. 13 Přehled náhodného signálu po odečtení střední hodnoty a ořezávání

Výsledky identifikace z programu Matlabu :

*%prevod z theta formátu do diskretního*

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{na} z^{-na}$$

$$Ad(z^{-1}) = 1.0000 \quad -1.9329 \quad 0.9352$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{nb} z^{-nb}$$

$$Bd = 0 \quad 0.0027 \quad 0$$

*%prevod diskretního na spojity*

$$Ac = 1.0000 \quad 0.0670 \quad 0.0024$$

$$Bc = 0 \quad 0.0014 \quad 0.0028$$

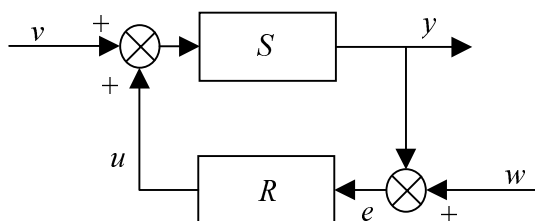
Ze získaných koeficientů Ad, Bd, Ac, Bc, lze napsat výsledný diskretní a spojité přenos ve tvaru:

$$F(z^{-1}) = \frac{0.0027z^{-1}}{1 - 1.9329z^{-1} + 0.9352z^{-2}}$$

$$F(s) = \frac{0.001378s + 0.002787}{s^2 + 0.06696s + 0.00235}$$

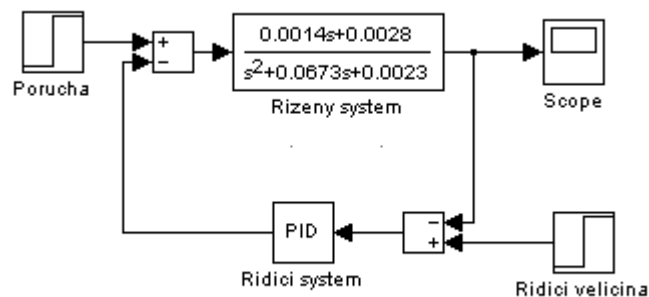
## 5. Modelování regulačního obvodu a seřízení regulátoru podle kritéria minima kvadratické regulační plochy

Systémy řízení uzavřeném obvodu (regulace) se od otevřeném obvodu liší tím, že k řízení využívají principu zpětné vazby, obr.20 Řídicí systém  $R$  dostává informace o žádané hodnotě výstupního signálu, které se zprostředkují řídicí veličinou  $w$ , a porovnává je s dosaženým výsledkem činnosti, tj. se skutečnou hodnotou  $y$ . Jestliže existuje odchylka  $e = w - y$ , zasahuje řídicí systém akční veličinou  $u$  do řízeného systému  $S$  tak, aby odchylku odstranil. Poruchy  $d$  mohou působit jak v místě působení akční veličiny (jako na obr.14), tak i v jiných místech řízeného systému  $S$ .



$R$  – řídicí systém,  $S$  – řízený systém  
 $w$  – řídicí veličina,  $u$  – akční veličina  
 $y$  – výstupní veličina,  $d$  - porucha

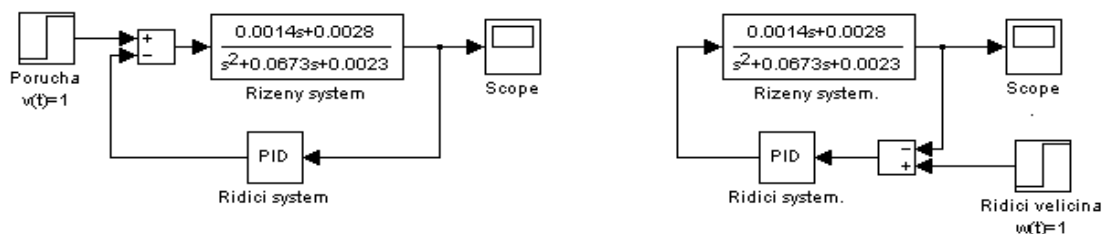
Obr. 14 Řízení v uzavřeném obvodu



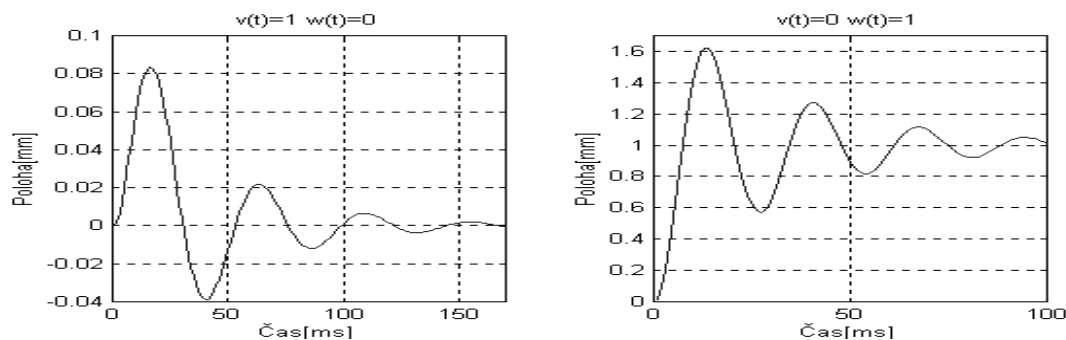
Obr. 15 Regulační obvod identifikované soustavy s PID regulátorem

Uvažujeme regulační pochod způsobený změnou žádané hodnoty regulované veličiny (změnou řídicí veličiny), tj.  $v(t) = 0$ ,  $w(t) = \eta(t)$ , či určitou poruchou, tj.  $w(t) = 0$ ,  $v(t) = \eta(t)$ , (obr. 16) a stanovme časový integrál  $J$  (rovn. 8.2) odchylek (rovn. 8.1) regulované veličiny od její nové ustálené hodnoty

$$e(t) = y(t) - y(\infty) \quad (8.1)$$



Obr. 16 Blokové diagramy seřízení PID regulátoru metodou minima kvadratické regulační plochy



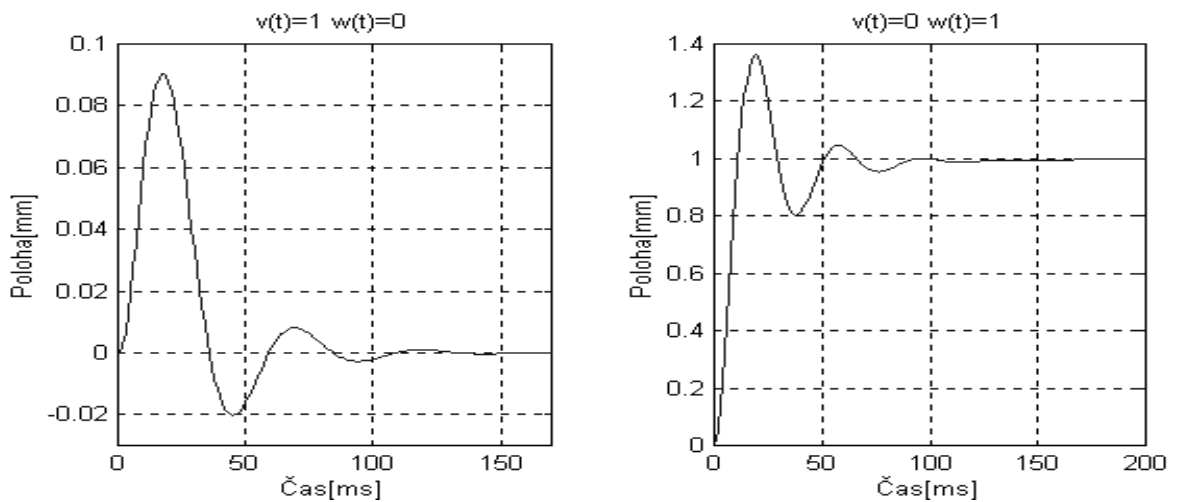
Obr. 17 Regulační pochod vyvolaný změnou  $v(t)$  nebo vznikem  $w(t)$  před optimalizací

Pro seřízení regulátoru použijeme integrální kritérium pro kvadratickou regulační plochu

$$J_k = \int_0^{\infty} [y(t) - y(\infty)]^2 dt \quad (8.2)$$

která je vhodná pro periodické regulační pochody. Cílem úspěšnosti seřizování regulátorů resp. Volby struktury regulátoru nebo případně i struktury regulačního obvodu je, aby výše uvedený časový integrál – regulační plochy byl minimální ( $J \rightarrow \min$ )





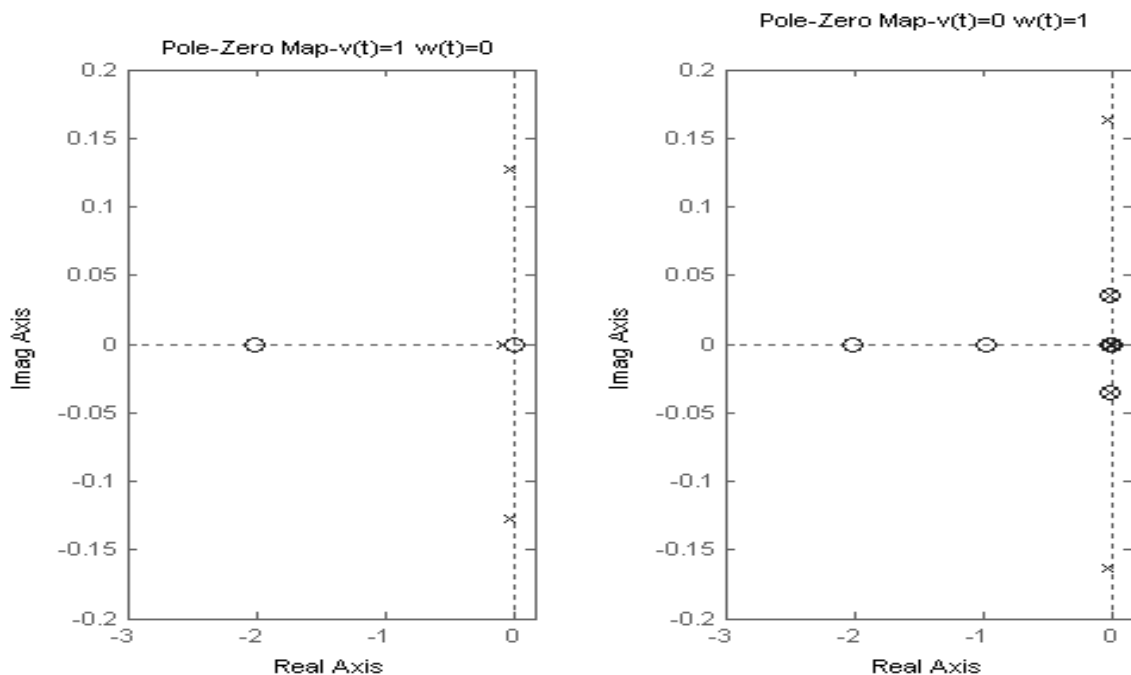
Obr. 18 Regulační pochod vyvolaný změnou  $v(t)$  nebo vznikem  $w(t)$  po optimalizaci  
Pomocí tohoto kriteria byly určeny parametry PID regulátoru :

	<b>P</b>	<b>I</b>	<b>D</b>
<b>v=1, w=0</b>	8.5878	0.62976	38.9426
<b>v=0, w=1</b>	10.0581	0.17303	10.0146

Tabulka 8.1 Konstante regulátoru

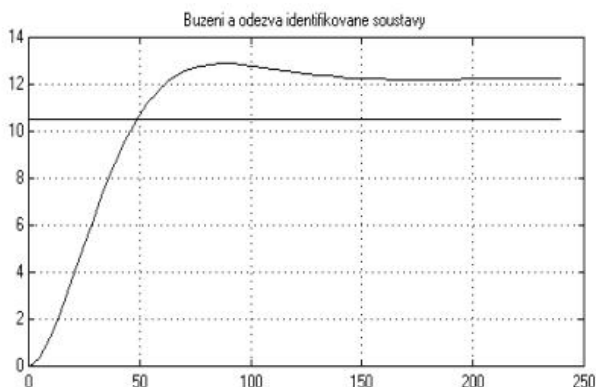
## 6. Stabilita regulačního obvodu

Nutnou a postačující podmínkou pro stabilitu uzavřeného lineárního regulačního obvodu je, aby všechny kořeny charakteristické rovnice odvodu měly zápornou reálnou část, čili aby ležely v levé polorovině komplexní roviny.

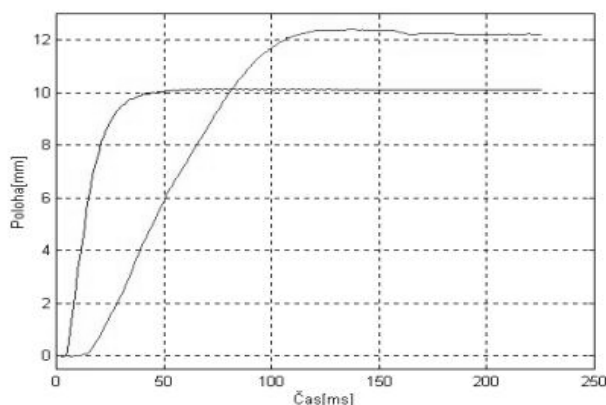


Obr. 19 Rozložení kořenů charakteristické rovnice v komplexní rovině

## 7. Závěr



Obr. 20 Buzení a odezva identifikované soustavy



Obr. 21 Buzení a odezva reálné soustavy

Výsledky práce můžeme rozdělit do dvou skupin

### a) Identifikace soustavy

Porovnáním grafů na obr.20 a obr.21 je zřejmé, že při stejné velikosti buzení soustavy je odezva reálné soustavy velmi podobná odezvě identifikované soustavy.

To znamená, že použitá metoda identifikace je vhodná a na základě vytvořeného matematického modelu lze navrhnout regulátor, který uspokojivě splní požadavky regulace.

### b) Regulace soustavy

Z obr. 18 je zřejmé, že optimalizací uzavřeného regulačního obvodu bylo dosaženo výsledků odpovídajících požadavkům na stabilitu soustavy a zjištěné parametry PID regulátoru lze použít pro realizaci identifikované soustavy.

## literatura:

- [1] Tůma, J.: Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT, Sdělovací technika Praha, 1997
- [2] Balda, M., Beneš, J., Bošek, B., Hanuš, B., Horánský J., Kuchtíček, B., Strejc, V.: Teorie automatického řízení, SNTL Praha, 1969
- [3] Balátě, J.: Vybrané statě z automatického řízení, VUT Brno, 1996
- [4] Olehla, M.: Základy aplikované kybernetiky, TUL Liberec, 1997
- [5] Olehla, M.: Identifikace technologických soustav, TUL Liberec, 1997
- [6] Manuál k programu MATLAB verze .3.1 od firmy MathWorks

---

Príspevek byl podporován grantovou agenturou no. FRVŠ 2148/G1