

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: textilních a oděvních strojů

Fakulta: strojní

Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Jana M i m r u

obor 23-34-8 Výrobní stroje a zařízení

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Samobuzené knity tkacích strojů uložených na
vzduchových pružinách

Pokyny pro vypracování:

U netlumených soustav strojů pružně uložených na pneumatických pružinách s automatickými regulátory stálé statické výšky vznikají za určitých podmínek nebezpečné samobuzené knity. Tyto knity lze realizovat příkladně u tkacích strojů P 105 a UTAS, které jsou instalovány na pneumatických pružinách v textilních dílnách VŠST Liberec.

- 1) Při rozboru problematiky se zaměřte na soustavu s jedním stupněm volnosti (lze realizovat u tkacího stroje UTAS)
- 2) Navrhněte vhodný matematický model soustavy, stanovte experimentálně potřebné konstanty a závislosti
- 3) K řešení využijte výpočetní techniky

Autorské právo se řídí směrnicí
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962 Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31. 3. 1963 č.j. 122/62-III/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna,
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
FSC 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací: **Grafické závělosti vypočtených veličin**

Rozsah průvodní zprávy: **30 stran strojopisu form.A4**

Seznam odborné literatury:

Kol.: Avtomobilnaja promyšlennost č.4.1.1966, a č.5.1961

Hanuš a kol.: Základy technické kybernetiky 1 a 2. VŠST Liberec 1980

Vedoucí diplomové práce: **Doc.Ing.Oldřich Krejčíř, CSc**

Konsultanti: **Ing.Josef Mevald**

Datum zahájení diplomové práce: **6.října 1980**

Datum odevzdání diplomové práce: **22.května 1981**



Charvát
Doc.Ing.Jaroslav Charvát, CSc

Vedoucí katedry

Stříž
Doc.RNDr.Bohuslav Stříž, CSc

Děkan

v Liberci dne 6.října 1980

Místopředsedně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 22. května 1981

Jan Míma

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-34-8

výrobní stroje a zařízení
saměření

textilní stroje

Katedra textilních a oděvních strojů

SAMOBUZENÉ KMITY TKACÍCH STROJŮ
ULOŽENÝCH NA VZDUCHOVÝCH PRUŽINÁCH

Jan Minra

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Oldřich Krejčíř, CSc., KST VŠST Liberec

Konsultant: Ing. Josef Nevald, KMP VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran.....	34
Počet tabulek.....	0
Počet obrásků.....	14
Počet příloh.....	1
Počet výkresů.....	0

V Liberci 22. května 1981

KTS/TS

OBSAH

	Strana
Sseznam použitých symbolů a označení	4
1. Úvod	6
2. Použití vzduchových pružin pro pružné uložení strojů	7
3. Vynucené kmitání soustavy s jedním stupněm volnosti	8
3.1 Soustava bez regulace stálé statické výšky	8
3.2 Soustava s automatickou regulací stálé statické výšky	12
4. Stabilita soustavy s jedním stupněm volnosti a automatickou regulací stálé statické výšky	17
4.1 Samobuzené kmity /autooscilace/ soustavy	18
4.2 Faktory ovlivňující vznik samobuzených kmitů	20
5. Matematický model tkacího stroje uloženého na vzduchových pružinách /soustava se dvěma stupni volnosti/	22
5.1 Charakteristika vzduchových pružin	24
5.2 Charakteristika automatického regulátoru stálé statické výšky	24
5.3 Kmitání člunkového tkacího stroje UTAS II 165 uloženého na vzduchových pružinách	28
5.4 Kmitání pneumatického tkacího stroje P 105 ZH uloženého na vzduchových pružinách	30
6. Použité metody řešení pohybových rovnic	31
7. Závěr	32
Sseznam literatury	34
Přílohy	

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A OZNAČENÍ

F	- síla
p	- absolutní tlak
p_p	- přetlak
S_e	- efektivní plocha vzduchové pružiny
V	- objem vzduchové pružiny
V_d	- doplňkový objem
z	- sávk
$\dot{z}$	- rychlost
$\ddot{z}$	- zrychlení
k	- tuhost
U	- ukazatel efektivní plochy
n	- polytropický exponent
p_a	- atmosferický tlak
H_0	- statická výška vzduchové pružiny
H	- okamžitá výška vzduchové pružiny
m	- hmotnost
$f(t)$	- budící síla
t	- čas
Ω	- vlastní kruhová frekvence
M	- hmotnost vzduchu
r	- měrná plynová konstanta
T	- absolutní teplota
μ	- průtokový součinitel
Q	- objemový průtok
ρ	- měrná hmotnost
Δp	- tlakový spád
p_k	- tlak kompresoru
P, P'	- průřez přívodu vzduchu
c, c'	- konstanty
J	- moment setrvačnosti

y_i	- souřadnice umístění vzduchové pružiny
ω	- úhlová frekvence
r_i	- nastavení regulátoru
F_0	- amplituda síly
M_0	- amplituda momentu
α	- úhel natočení stroje
$\dot{\alpha}$	- úhlová rychlost
$\ddot{\alpha}$	- úhlové zrychlení

1. ÚVOD

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, katedra částí strojů, provádí již několik let systematický výzkum a vývoj vzduchových pružin. Vzduchové pružiny se pokusně využívají k pružnému ukládání strojů. V textilních dílnách VSST Liberec je několik pružně uložených strojů. U některých strojů /tkací stroje UTAS II a P 105/ dochází k nebezpečným samobuzeným kmitům. Tyto kmity vznikají u netlumených soustav uložených na vzduchových pružinách s automatickými regulátory stálé statické výšky.

Teorii výpočtu, konstrukce a použití vzduchových pružin uvádí např. [1], [2]. Teorie vzduchových pružin vychází z experimentálně zjištěných závislostí, které se pro další použití aproximují vhodnými funkcemi.

Práce je zaměřena na stanovení podmínek, za kterých dochází k samobuzeným kmitům. Největší pozornost je věnována odvození pohybové rovnice soustavy s jedním stupněm volnosti s automatickou regulací stálé statické výšky. K řešení vytvořených pohybových rovnic bylo použito výpočetní techniky. Sebor programů umožňuje přibližně analyzovat dynamiku soustavy s jedním stupněm volnosti a řeší případ kmitání tkacích strojů UTAS 165 a P 105 jako soustavy se dvěma stupni volnosti.

Řešení problematiky je velice přibližné, ale udává orientační faktory ovlivňující vznik samobuzených kmitů.

2. POUŽITÍ VZDUCHOVÝCH PRUŽIN PRO PRUŽNÉ ULOŽENÍ STROJŮ

V současné době je vyvinuta řada typů vzduchových pružin. Pro pružné ukládání strojů jsou vhodné takové typy vzduchových pružin, které nevyžadují vedení stroje ve vertikálním směru. Používá se pružin vlnovcových jednovlnných, které mají vysokou příčnou tuhost. Vzduchové pružiny se vyrábějí v různé velikosti pro různá jmenovitá zatížení a maximální zdvih.

Vzduchové pružiny mají proti ocelovým a pryžovým řadu výhod. U vzduchové pružiny lze snadno měnit nosnost a tuhost v určitém intervalu, který je dán rozsahem vnitřního tlaku vzduchové pružiny. Při stálém zatížení je možné měnit statickou výšku. Další výhodou je možnost změny tuhosti, a tím i vlastní frekvence soustavy. Důležitá je vysoká životnost vzduchových pružin.

Při použití vzduchových pružin pro pružné ukládání tkacích strojů musíme hodnotit vibroizolaci ze dvou hledisek. Prvním je snížení sil přenášených do základu, snížení hlučnosti stroje. Naproti tomu velké amplitudy kmitání tkacího stroje nepříznivě namáhají osnovu přiváděnou k prošlupnému sařisení. Při optimálním naladění celé soustavy je možné splnit oba požadavky co nejlépe. Zavedením pružného uložení do textilního provozu by bylo možné vyřešit celou řadu problémů, např. hlučnost, možnost stavět vícepodlažní tkalcovny aj.

3. VYNUCENÉ KMITÁNÍ SOUSTAVY S JEDNÍM STUPNĚM VOLNOSTI

Vzduchová pružina má obecně nelineární charakteristiku. Platí pro ni některé specifické zákonitosti, které jsou podrobně uvedeny v [1], [2]. V následující stati je stručný přehled odvození charakteristik, které platí pro vzduchovou pružinu bez regulace stálé statické výšky. Tyto závislosti jsou důležité pro další odvození charakteristik regulované soustavy. Pro obě soustavy, regulovanou i neregulovanou, je sestavena pohybová rovnice. Průběh budící síly respektuje provoz tkacího stroje, který je charakterizován častými rozběhy. Řešení je provedeno pro různé frekvence a amplitudy budící síly. Výsledky řešení obou případů uložení jsou uvedeny v příloze.

3.1 SOUSTAVA BEZ REGULACE STÁLÉ STATICKE VÝŠKY Odvození tuhosti vzduchové pružiny

Deformační síla vzduchové pružiny je dána vztahem

$$F = p_p S_e, \quad (1)$$

kde značí F - sílu,

p - vnitřní tlak,

S_e - efektivní plochu.*

Má-li vzduchová pružina objem V , je efektivní plocha S_e definována

$$S_e = -\frac{dV}{dz}, \quad (2)$$

kde značí z - sávek vzduchové pružiny,

V - objem vzduchové pružiny.

* Pozn.: Osazení efektivní plyne z toho, že efektivní plochu nelze měřit, ale lze ji získat pouze výpočtem.

Závislosti objemu a efektivní plochy na zdvihu jsou určujícími charakteristikami vzduchové pružiny a jsou nazývány geometrickými.

Vzduchová pružina bez regulace je uzavřený prostor o konstantním množství vzduchu a platí tedy vztah

$$p_p = p_o \left(\frac{V_o}{V} \right)^n - p_a, \quad (3)$$

kde značí p_a - atmosferický tlak,

p - absolutní vnitřní tlak,

o - index počátku změny,

n - polytropický exponent.

Polytropický exponent se uvažuje při pomalých změnách roven $n=1$ /změna izotermická/ a při rychlých změnách $n=\infty=1/4$ /změna adiabatická/. Atmosferický tlak se uvažuje $p_a=100 \text{ MPa}$ s dostatečnou přesností. Dosadí-li se výraz (3) do rovnice (1), potom

$$F = \left[(p_{p0} + p_a) \left(\frac{V_o}{V} \right)^n \right] \cdot S_e. \quad (4)$$

Tuhost pružiny je dána derivací deformační síly podle zdvihu

$$k = \frac{dF}{dz} = \frac{dp_p}{dz} S_e + \frac{dS_e}{dz} p_p. \quad (5)$$

Po zavedení vztahu

$$U = \frac{dS_e}{dz} = - \frac{d^2V}{dz^2}, \quad (6)$$

kde S_e je tzv. ukazatel efektivní plochy, a po úpravě rovnice (5), je tuhost vyjádřena

$$k = (p_{p0} + p_a) \left(\frac{V_o}{V} \right)^n \left(n \frac{S_e}{V} + U \right) - p_a U. \quad (7)$$

Jestliže má vzduchová pružina doplňkový objem V_d , platí vztah

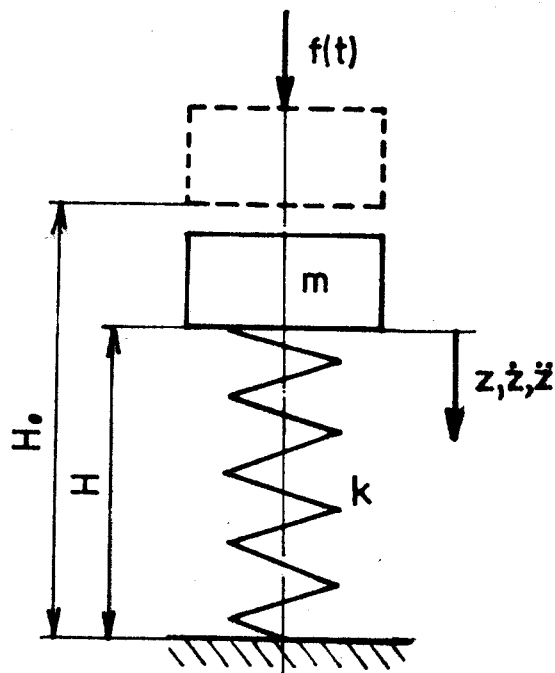
$$k = (p_{p0} + p_a) \left(\frac{V_o + V_d}{V + V_d} \right)^n \left(n \frac{S_e}{V + V_d} + U \right) - p_a U. \quad (8)$$

Sestavení pohybové rovnice

Na obr. 1 je zobrazena soustava s jedním stupněm volnosti.

Na obrázku značí

- m - hmotnost
- H_0 - statická výška
- H - okamžitá výška
- Z - sdrh
- $\dot{Z}$ - rychlost
- $\ddot{Z}$ - zrychlení
- $f(t)$ - zatěžující síla



Obr. 1 Soustava s jedním stupněm volnosti

Proměnná Z je definována

$$Z = H - H_0, \quad (9)$$

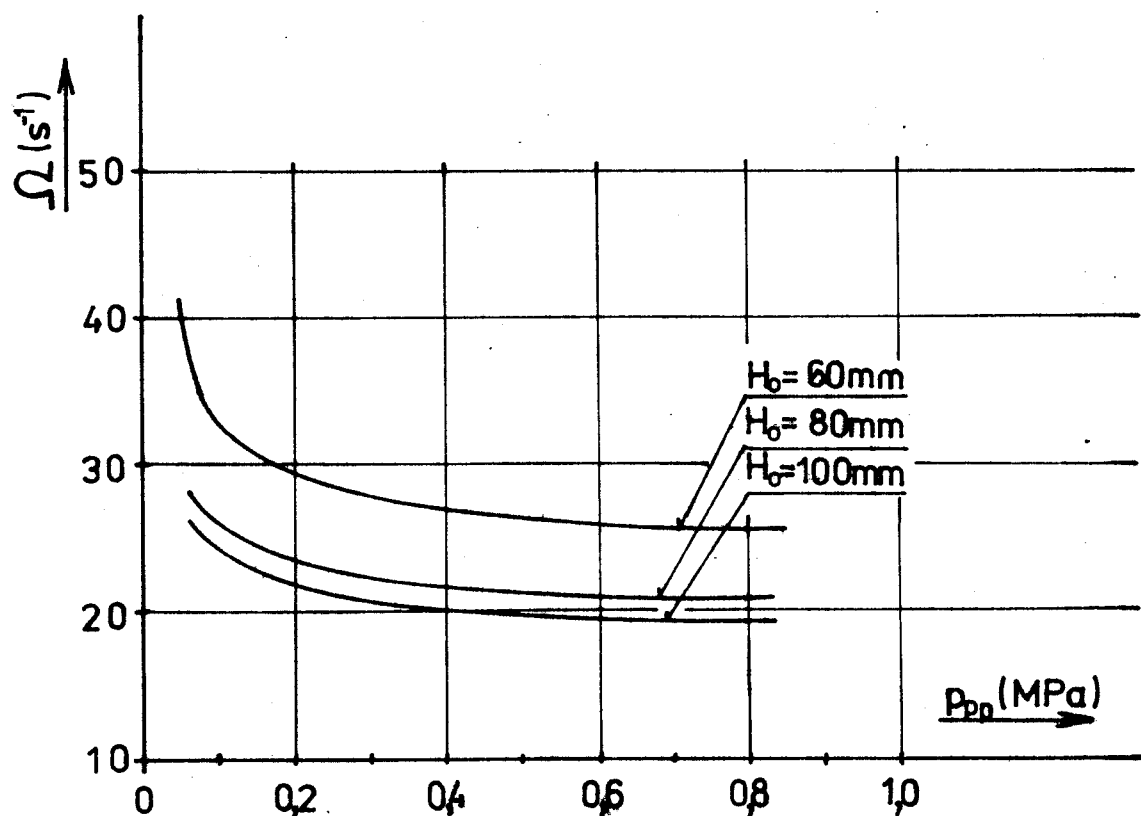
tzn., že při statické rovnováze je $Z = 0$, kladnému sdrhu přísluší stlačování a zápornému odlehčování. Pro soustavu na obr. 1 lze napsat pohybovou rovnici ve tvaru

$$m \cdot \ddot{Z} + k \cdot Z = f(t). \quad (10)$$

Řešením této diferenciální rovnice se získají rezonanční křivky pro různé parametry soustavy. Vlastní frekvence mechanické soustavy s jedním stupněm volnosti je definována

$$\Omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (11)$$

Na obr. 2 je zobrazena závislost vlastní frekvence na vnitřním tlaku p_{p0} a statické výšce H_0 pro vzduchovou pružinu vlnovcovou jednovláknou, typ VJ 80-07.



Obr. 2 Závislost vlastní frekvence na tlaku a statické výšce

Z obr. 2 je patrné, jaké parametry soustavy je třeba zvolit, aby byla mimo rezonanční oblast. V příloze jsou uvedeny rezonanční křivky pro různé naladění soustavy.

Řešení soustavy bez regulace stále statické výšky je důležitá pro regulovanou soustavu, protože vlastní frekvence obou soustav při stejných veličinách p_{p0} a H_0 jsou totožné. Oblast rezonance, kterou musí téměř každá soustava překonat, způsobuje značné amplitudy kmitů a u regulované soustavy ovlivní celý následující děj.

SOUSTAVA S AUTOMATICKOU REGULACÍ STÁLÉ STATICKÉ VÝŠKY

Odvození tuhosti vzduchové pružiny s regulací stálé statické výšky

Tuhost vzduchové pružiny s regulací nezávisí pouze na počátečním přetlaku p_0 a zdvihu Z , ale závisí též na průběhu předcházejícího kmitání. V rovnici tuhosti bude vystupovat vliv regulačního ventilu. Odvození tuhosti vychází ze stavové rovnice ideálního plynu, která má tvar

$$p_0 V_0 = r M_0 T_0, \quad (12)$$

kde značí p - absolutní tlak

V - objem

r - měrná plynová konstanta

M - hmotnost vzduchu

T - absolutní teplota

0 - index počátku změny.

Vyjádří-li se z rovnice (12) měrná plynová konstanta r pro dva stavy vzduchu v pružině, platí

$$\frac{p_0 V_0}{M_0 T_0} = \frac{p V}{M T}, \quad (13)$$

po úpravě

$$p = p_0 \frac{V_0 M T}{V M_0 T_0}. \quad (14)$$

Ve vzduchové pružině je změna stavu veličin dána přibližně změnou polytropickou. Změnu teploty vzduchu lze vyjádřit vztahem

$$\frac{T_0}{T} \approx \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{n-1}{n}}. \quad (15)$$

Výraz (15) platí pouze pro konstantní množství vzduchu v pružině. U regulované soustavy není množství konstantní, ale změny teplot a množství jsou velmi malé, proto je vztah (15) použit při dalším výpočtu. Dosazením vztahu (15)

do rovnice (14) a po úpravě je tlak definován

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^n \left(\frac{M}{M_0} \right)^n. \quad (16)$$

Hmotnost vzduchu v počátečním stavu pružiny lze vypočítat ze stavové rovnice (12), tedy

$$M_0 = \frac{\rho_0 V_0}{r T_0}. \quad (17)$$

Hmotnost vzduchu v pružině v průběhu kmitavého děje je obecně závislá na zdvihu, rychlosti, čase a charakteristice regulačního zařízení. Diferenciál hmotnosti vzduchu, který přiteče, resp. odtече, je dán rovnicí

$$dM = \mu P \sqrt{2 \rho \Delta p} dt, \quad (18)$$

kde značí dM - diferenciál hmotnosti

dt - diferenciál času

μ - průtokový součinitel

P - průřez potrubí, kterým vzduch proudí

ρ - měrná hmotnost vzduchu v prostředí s vyšším tlakem

Δp - tlakový spád.

Potom je možné vyjádřit poměr hmotností M a M_0 .

$$\frac{M}{M_0} = \frac{M_0 + \int_0^t dM}{M_0}, \quad (19)$$

po úpravě

$$\frac{M}{M_0} = 1 + \frac{1}{M_0} \int_0^t dM, \quad (20)$$

kde t značí dobu sledovaného děje. Dosazením vztahu (20) do rovnice (16) dostaneme

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^n \left[1 + \frac{1}{M_0} \int_0^t dM \right]^n. \quad (21)$$

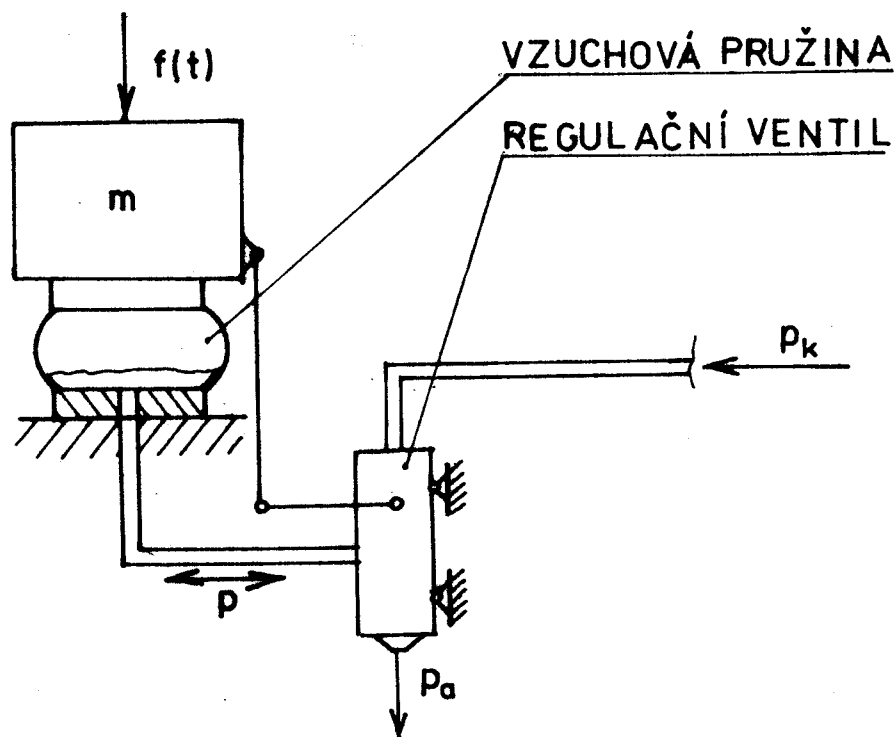
Na obr. 3 je schéma regulované soustavy s jedním stupněm volnosti. Úkolem regulačního ventilu je automaticky zvyšovat nebo snižovat tlak ve vzduchových pružinách podle zatížení. Jestliže kompresor vyvine tlak vzduchu v zásobníku p_k

a atmosférický tlak je p_0 , platí pro diferenciál hmotnosti

$$dM = \mu P \sqrt{\frac{2 p_k (p_k - p)}{r T_0}} dt, \text{ pro } z > 0, \quad (22)$$

resp.

$$dM' = \mu P' \sqrt{\frac{2 p (p - p_0)}{r T_0}} dt, \text{ pro } z < 0. \quad (22)'$$



Obr. 3 Schema regulované soustavy

V rovnicích (22), (22)' je velikost průtokového součinitele μ závislá na zdvihu z . Průřez potrubí P je konstantní veličina. Rovnice lze upravit na tvar

$$dM = \mu P \sqrt{\frac{2}{r T_0}} \sqrt{p_k (p_k - p)} dt, \quad (23)$$

resp.

$$dM' = \mu P' \sqrt{\frac{2}{r T_0}} \sqrt{p (p - p_0)} dt. \quad (23)'$$

Dosadíme-li vztah (23), resp. (23)' a výraz (17) do rovnice (21) dostaneme konečný tvar vyjádření tlaku vzduchu v. regu-

lované pružině, tedy

$$p = p_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^n \left[1 + \frac{r T_0}{p_0 V_0} \int_{t_0}^t (\mu P \sqrt{\frac{2}{r T_0}} \sqrt{p_k(p_k - p)} dt) \right]^n \quad (24)$$

po úpravě

$$p = p_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^n \left[1 + \frac{P \sqrt{2 r T_0}}{p_0 V_0} \int_{t_0}^t (\mu \sqrt{p_k(p_k - p)} dt) \right]^n \quad (25)$$

Konstanta před integrálem je označena symbolem c resp. c' a konečný tvar rovnice tlaku je

$$p = p_0 \left[\frac{V_0}{V} (1 + c \int_{t_0}^t (\mu \sqrt{p_k(p_k - p)} dt) \right]^n, \quad (26)$$

resp.

$$p = p_0 \left[\frac{V_0}{V} (1 + c' \int_{t_0}^t (\mu \sqrt{p(p - p_a)} dt) \right]^n. \quad (26')$$

Pro regulevanou soustavu platí obdobné vztahy (1), (2), (5), (6) uvedené pro soustavu bez regulace. Pro tuhost vzduchové pružiny můžeme psát

$$k = \frac{d p_p}{d z} S_e + p_p U. \quad (27)$$

Jestliže vyjádříme derivaci přetlaku p_p podle závihu, dostaneme

$$\frac{d p_p}{d z} = p_0 n \left[\frac{V_0}{V} \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_{t_0}^t dM \right) \right]^{n-1} \frac{d \left[\frac{V_0}{V} \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_{t_0}^t dM \right) \right]}{d z} \quad (28)$$

Pro zjednodušení vyjádříme

$$\frac{\left[\frac{V_0}{V} \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_{t_0}^t dM \right) \right]}{d z} = V_0 \left[\frac{S_e}{V^2} \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_{t_0}^t dM \right) + \frac{1}{V M_0} \int_{t_0}^t \frac{dM}{d z} \right].$$

Po dosazení a úpravě vyjde rovnice

$$k = (p_{p0} + p_a) \left(\frac{V_0}{V} \right)^n \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_{t_0}^t dM \right)^n \left\{ n \left[\frac{S_e^2}{V} + \frac{S_e \int_{t_0}^t \frac{dM}{d z}}{M_0 \int_{t_0}^t dM} \right] + U \right\} - p_a U, \quad (29)$$

resp. se dosadí $\int_{t_0}^t dM'$.

Z rovnice (29) je patrné, že dosadí-li se $\int_{t_0}^t dM=0$,
vyjde po úpravě rovnice (7). V [3] je uvedena rovnice pro
výpočet tuhosti vzduchové pružiny s regulací, má ovšem ji-
ným způsobem určenou změnu množství vzduchu v pružině.

Řešení pohybové rovnice (10) je možné pro různý
průběh budící funkce analyzovat dynamiku soustavy. V pří-
loze jsou uvedeny grafické záznamy řešení pohybové rovni-
ce pro soustavu s regulací statické výšky.

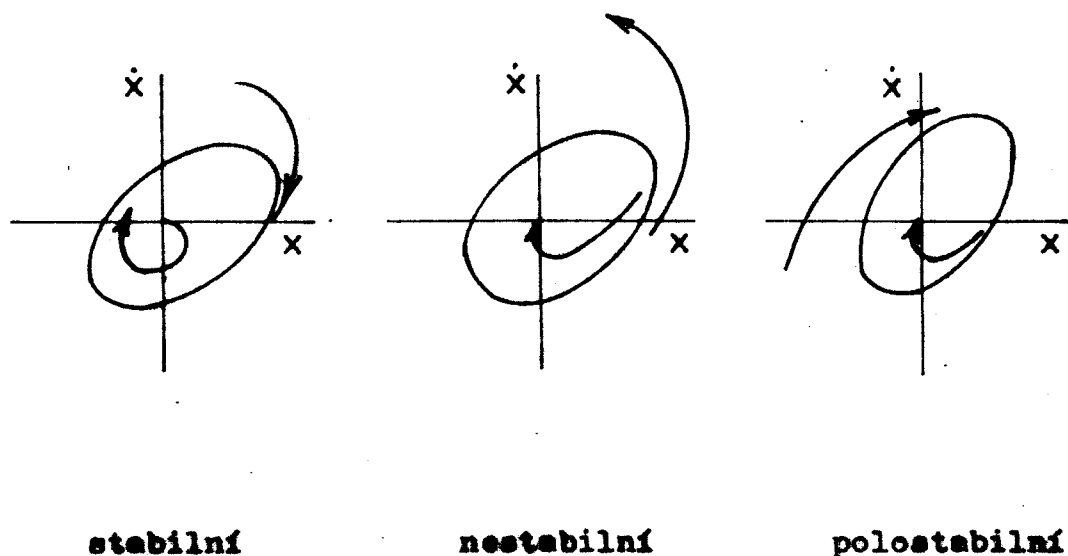
4. STABILITA SOUSTAVY S JEDNÍM STUPNĚM VOLNOSTI A AUTOMATICKOU REGULACÍ STÁLE STATICKÉ VÝŠKY

Z rovnice (29) je patrné, že při vyšetřování stability soustavy s regulací stálé statické výšky jde o řešení stability silně nelineární soustavy.

Stabilita nelineárních soustav je široké téma. V praxi se řeší stabilita dvou typů ustálených stavů. Jsou to

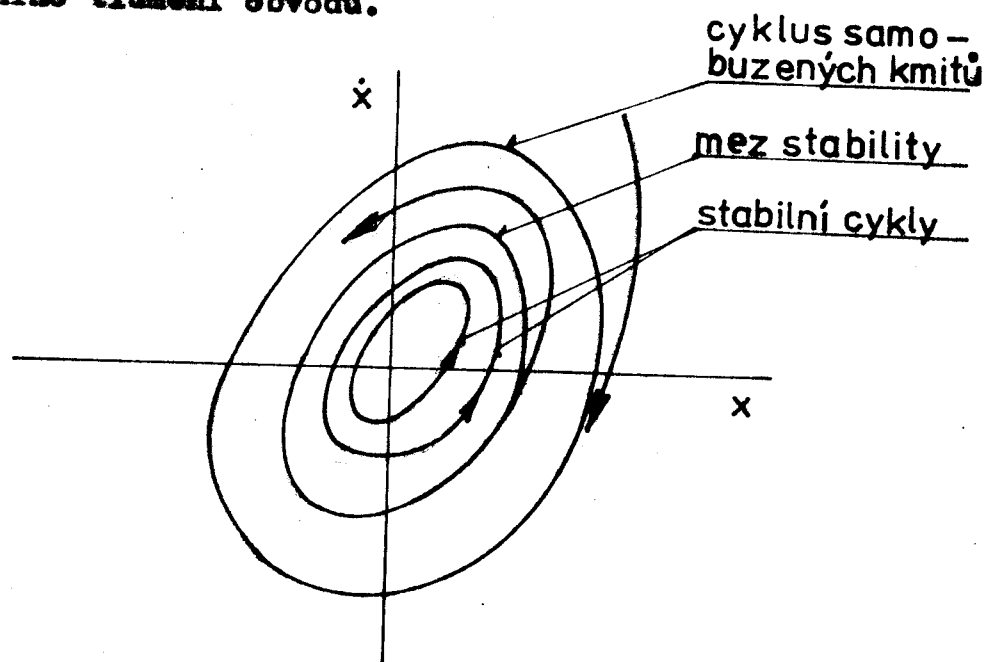
- rovnovážné stavy /klidové stavy/
- periodická řešení /mezí cykly/.

V tomto případě se budeme zabývat periodickým řešením soustavy. Nelineární soustava může mít obecně více ustálených stavů. U soustavy druhého řádu lze velmi názorně zobrazit mezí /limitní/ cykly. Jsou to uzavřené trajektorie ve fázové rovině. Limitní cykly mohou být stabilní, nestabilní a polostabilní. Typy mezích cyklů jsou uvedeny na obr. 4.



Obr. 4 Typy mezích cyklů

Samobuzené knity jsou takové knity, při nichž se soustava buď do periodického stavu sama, tzn. bez buzení vnější silou. Nutnou podmínkou vzniku autooscilací je přítomnost zdroje energie, který kryje ztráty v soustavě. Zobrazení-li samobuzené knity ve fázové rovině /obr. 5/ je vidět, že se vždy ustálí na konečné amplitudě. Velikost této amplitudy ustálených kmitů závisí na druhu nelineárního tlumení obvodu.



Obr. 5 Samobuzené knity ve fázové rovině

Při sledování pohybové rovnice pro regulovanou soustavu můžeme rozeptat tuhost vzduchové pružiny do několika částí

$$\begin{aligned}
 k = p_0 n \frac{S_e^2}{V} \left[\frac{V_0}{V} \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_{t_0}^t dM \right)^n + p_0 n \left(\frac{V_0}{V} \right)^2 \frac{S_e}{M_0} \int_{t_0}^t \frac{dM}{dz} \left(1 + \frac{1}{M} \int_{t_0}^t dM \right)^{n-1} \right. \\
 \left. + p_0 U \left[\frac{V_0}{V} \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_{t_0}^t dM \right)^n - p_a U \right] \right. \quad (30)
 \end{aligned}$$

Rozepíšeme-li část druhou, dostaneme

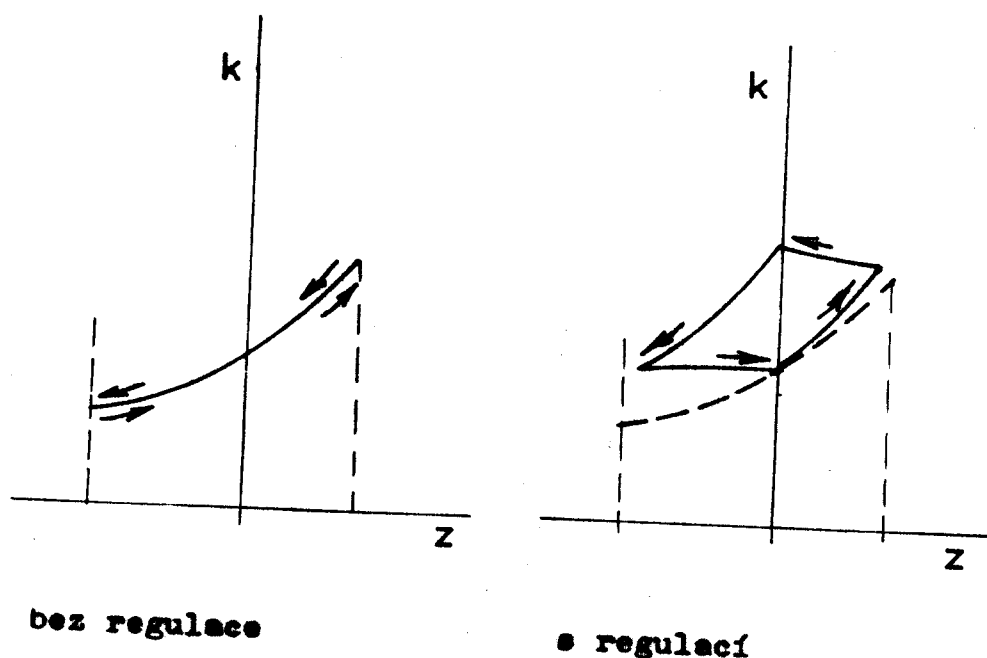
$$k^{(2)} = c S_e \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_0^t dM \right)^{n-1} \int_0^t \left(\frac{d\mu}{dz} \sqrt{p_k(p_k - p)} - \mu \frac{p_k \frac{dp}{dz}}{2\sqrt{p_k(p_k - p)}} \right) dt, \quad (31)$$

resp.

$$k^{(2)'} = c' S \left(1 + \frac{1}{M_0} \int_0^t dM \right)^{n-1} \int_0^t \left(\frac{d\mu}{dz} \sqrt{p(p - p_a)} - \mu \frac{\frac{dp}{dz}(2p - p_a)}{2\sqrt{p(p - p_a)}} \right) dt. \quad (31)'$$

U neregulované soustavy nemůže dojít k samobuzeným kmitům, neboť tuhost je závislá pouze na zdvihu, se stlačením roste a s odlehčením klesá.

U regulované soustavy je průběh tuhosti poněkud složitější. Jestliže sledujeme rovnici (30), jsou patrné některé veličiny ovlivňující velikost tuhosti vzduchové pružiny v závislosti na zdvihu a čase. Tyto veličiny způsobují, že tuhost vzduchové pružiny může u regulované soustavy se zmenšujícím se zdvihem /kladným/ růst a naopak se zvyšujícím se zdvihem /záporným/ klesat. Na obr. 6 je zobrazen průběh tuhosti v závislosti na zdvihu vzduchové pružiny pro soustavu neregulovanou a regulovanou.



Obr. 6 Tuhost vzduchové pružiny

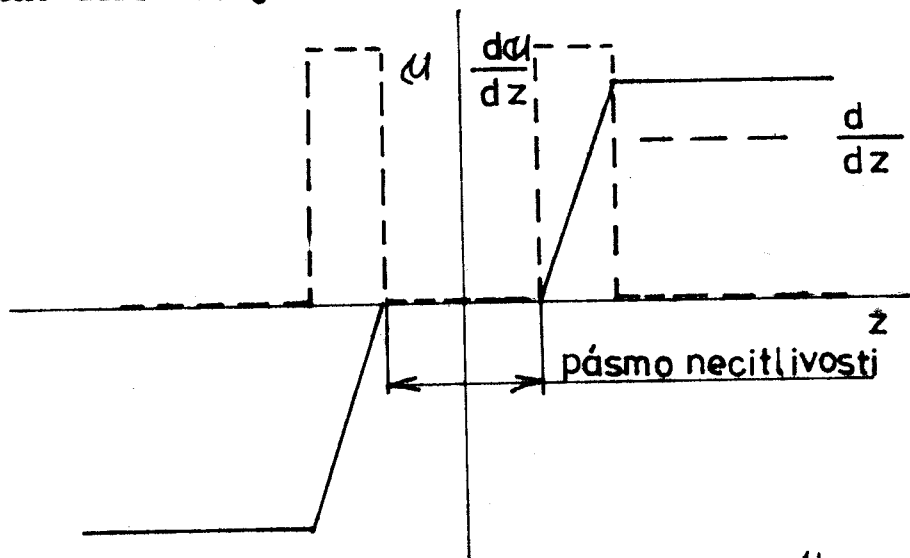
Plocha, kterou ohraničuje průběh tuhosti při jednom cyklu, má význam energie dodané do soustavy vnějším zdrojem, v tomto případě zdrojem tlakového vzduchu. Zvýšení tuhosti oproti soustavě bez regulace při pohybu z bodu 0 do bodu 1 je žádoucí, ovšem další zvýšení při pohybu z bodu 1 do bodu 2 je již nežádoucí, protože dodává soustavě další kinetickou energii. Podobně pokles tuhosti z bodu 2 do bodu 3 je vhodný, ovšem další pokles z bodu 3 do bodu 0' je nežádoucí. Obecně platí, že bod $0 \approx 0'$ jen v případě ustáleného stavu /limitního cyklu/.

4.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VZNIK SAMOBUZENÝCH KMITŮ

Stanovení faktorů, které ovlivňují vznik samobuzených kmitů, vychází z řešení diferenciální rovnice (10), kde za k dosadíme ze vztahu (30). Při řešení se zjistí, že faktory, které nejvíce ovlivňují vznik autooscilací jsou

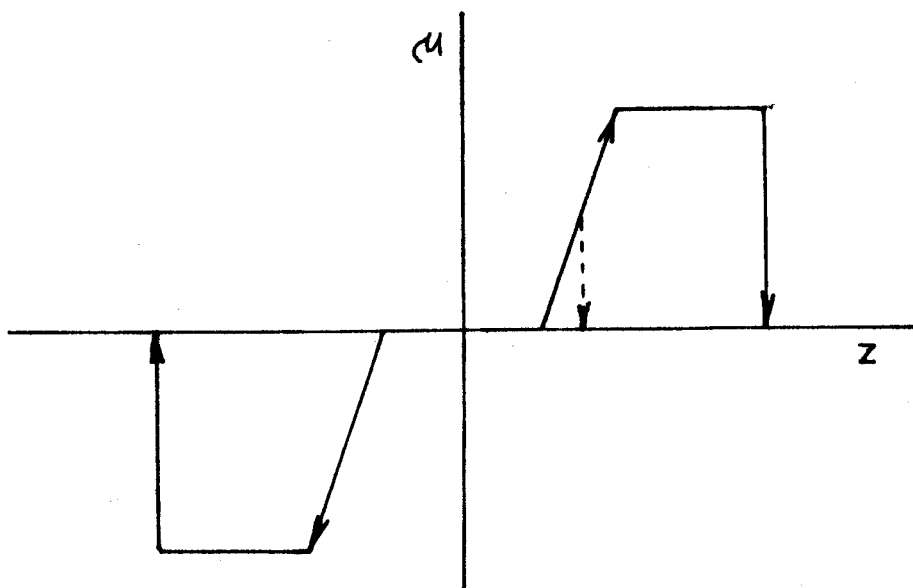
- průtokový součinitel μ a jeho první derivace $\frac{d\mu}{dz}$
- velikost přetlaku v rezervoáru tlakového vzduchu.

Průběh průtokového součinitele pro regulační ventil a jeho derivace je na obr. 7.



Obr. 7 Závislost průtokového součinitele μ na sdvihu

Pro odstranění samobuzených kmitů by byla vhodnější charakteristika regulátoru podle obr. 8.



Obr. 8 Ideální závislost průtokového součinitele na zdvihu

Prakticky je ovšem velmi obtížné realizovat takový regulátor tlaku vzduchu, který by reagoval na zdvih a rychlost pohybu.

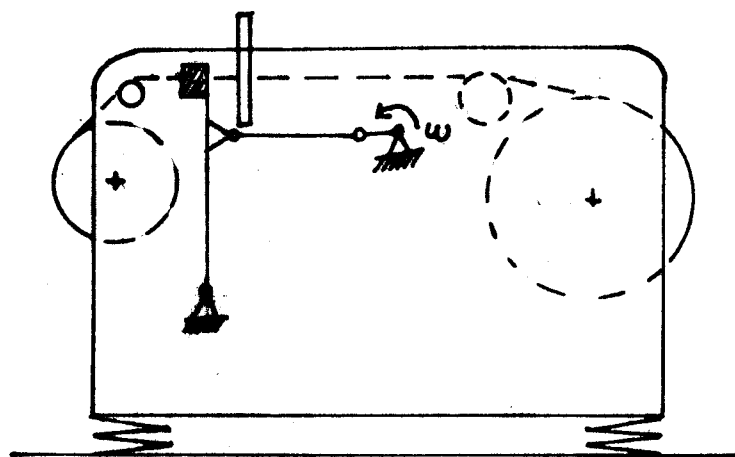
Velikost přetlaku v reservoáru tlakového vzduchu pomáhá ke vzniku samobuzených kmitů tím, že při kladném zdvihu a záporné rychlosti zvyšuje tlak ve vzduchové pružině a soustava překmitne přes stabilní rovnovážnou polohu.

Pro kmitání regulované soustavy je nejvhodnější takové naladění, kdy kmitá v blízkém okolí pásma necitlivosti regulátoru. Prakticky není jednoduché zajistit tuto podmínku, neboť stačí, aby soustava dostala náhodný silový impuls a překmitne do nestabilního stavu. U tkacích strojů nejde zajistit tuto podmínku z důvodu častých spouštění, tím vznikají rezonanční kmitý, které uvádějí soustavu do nestabilního stavu.

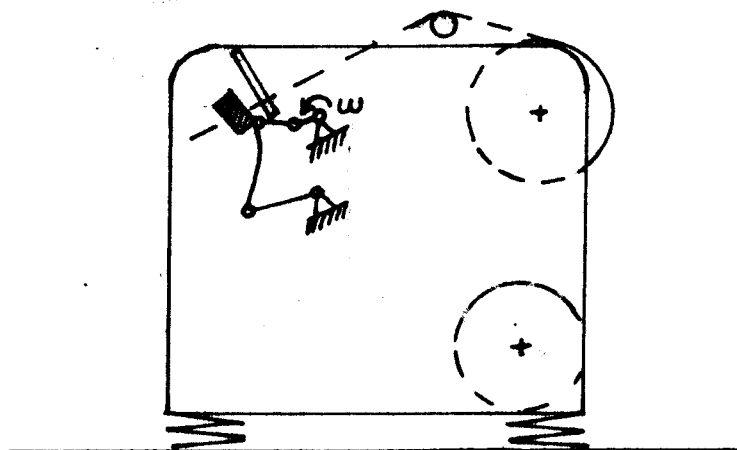
5.

MATEMATICKÝ MODEL TKACÍHO STROJE ULOŽENÝHO
NA VZDUCHOVÝCH PRUŽINÁCH /SOUSTAVA SE DVE-
MA STUPNI VOLNOSTI/

Model tkacího stroje je vytvořen pouze přibližně. Uvažuje se pouze vliv přírazového mechanismu, vlivy ostatních mechanismů jsou pouze odhadnuty. Na obr. 9 je zobrazeno schéma tkacích strojů UTAS II a P 105.



UTAS II

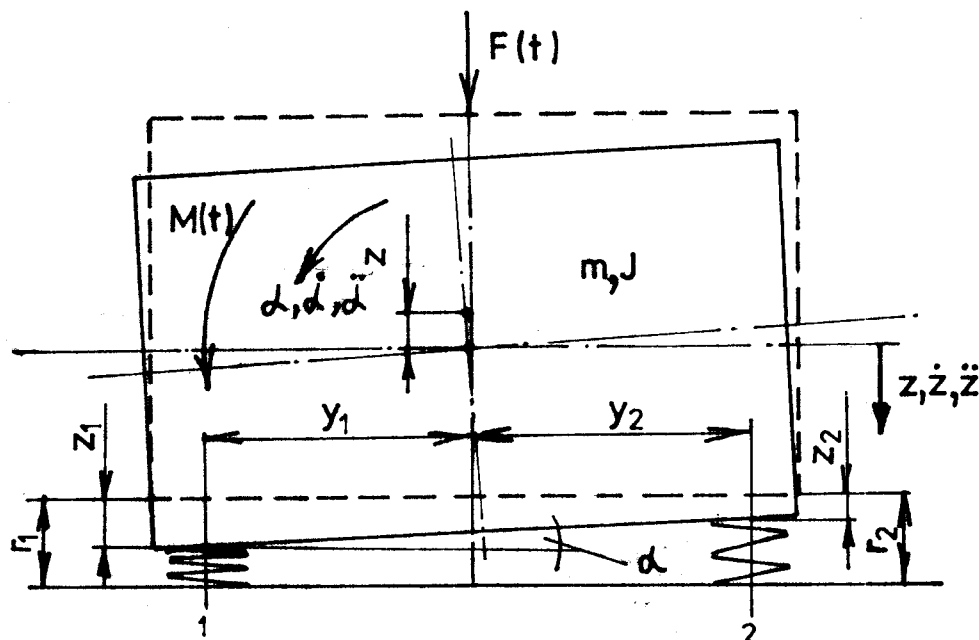


P 105

Obr. 9 Schéma tkacího stroje

Při známém průběhu sil způsobených přírazovým mechanismem a odhadnutým vlivem ostatních mechanismů, jejichž působení umístíme do těžiště stroje, lze vytvořit soustavu dvou pohybových rovnic pro dvě neznámé veličiny, a to sdvihu těžiště Z a úhel natočení stroje α . Protože síly působící ve směru průchodu útku jsou malé, můžeme pohyb uvažovat pouze ve dvou souřadnicích.

Na obr. 10 je vidět výpočtový model pružně uloženého tkacího stroje.



Obr. 10 Výpočtový model tkacího stroje

Z obr. 10 lze snadno sestavit soustavu dvou diferenciálních rovnic, které má tvar

$$\begin{aligned} J \ddot{\alpha} + \sum_{i=1}^j k_i y_i \cdot \alpha &= M(t), \\ m \ddot{Z} + \sum_{i=1}^j k_i Z &= F(t), \end{aligned} \quad (32)$$

kde značí J - moment setrvačnosti stroje,
 k_i - tuhosti vzduchových pružin,
 M, F - konstanty daného stroje,
 j - počet pružin.

Jedná-li se o regulovalnou soustavu, statická rovnováha stroje je určena nastavením regulátorů r_i ($i=1,2,\dots,j$) a platí rovnice

$$\sum_{i=1}^j P_{pi} S_{ei} = mg, \quad (33)$$

$$\sum_{i=1}^j P_{pi} S_{ei} y_i = 0.$$

Řešení této soustavy rovnic jsou stanoveny počáteční podmínky řešení soustavy diferenciálních rovnic. Počáteční podmínky jsou $P_{p0}, Z_0, \dot{Z}_0, \alpha_0, \dot{\alpha}_0$. Pro sdivh každé pružiny platí vztah

$$Z_i = Z + \alpha y_i, \quad (i=1,2,\dots,j). \quad (34)$$

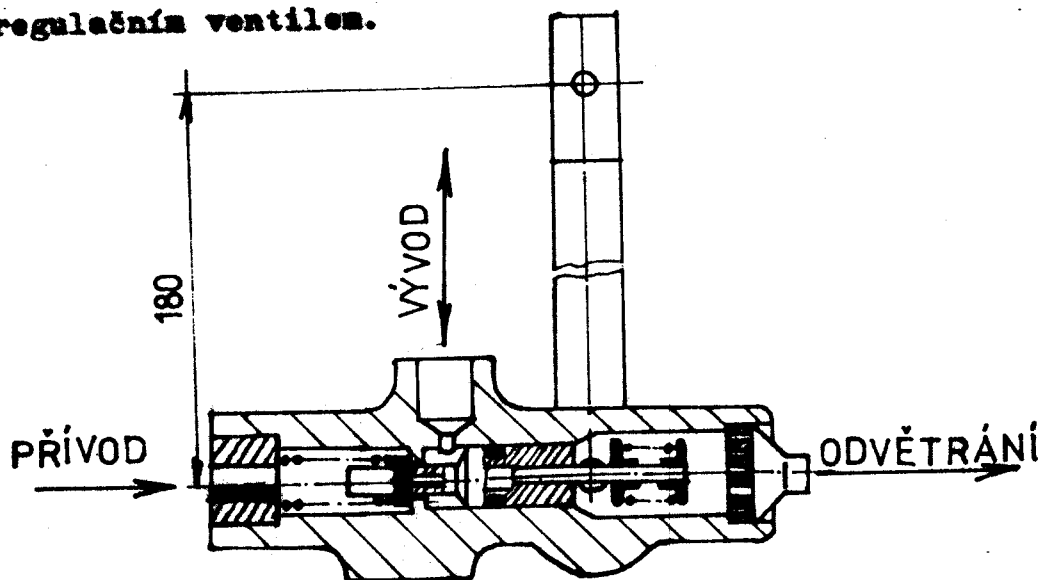
5.1 CHARAKTERISTIKA VZDUCHOVÝCH PRUŽIN

Pro pružné uložení tkacích strojů UTAS II a P 105 je použito jednovlákných vlácnových pružin typu VJ 80-0,7. Tyto pružiny mají nelineární průběh závislosti objemu i efektivní plochy na sdivhu [1]. Tuhost pružiny má tedy s přihlédnutím k (7) silně nelineární průběh. Vzduchová pružina VJ 80-0,7 má statickou výšku v rozsahu 80 ± 30 mm pro přetlaky od 0,2 do 0,7 MPa.

5.2 CHARAKTERISTIKA AUTOMATICKÉHO REGULÁTORU

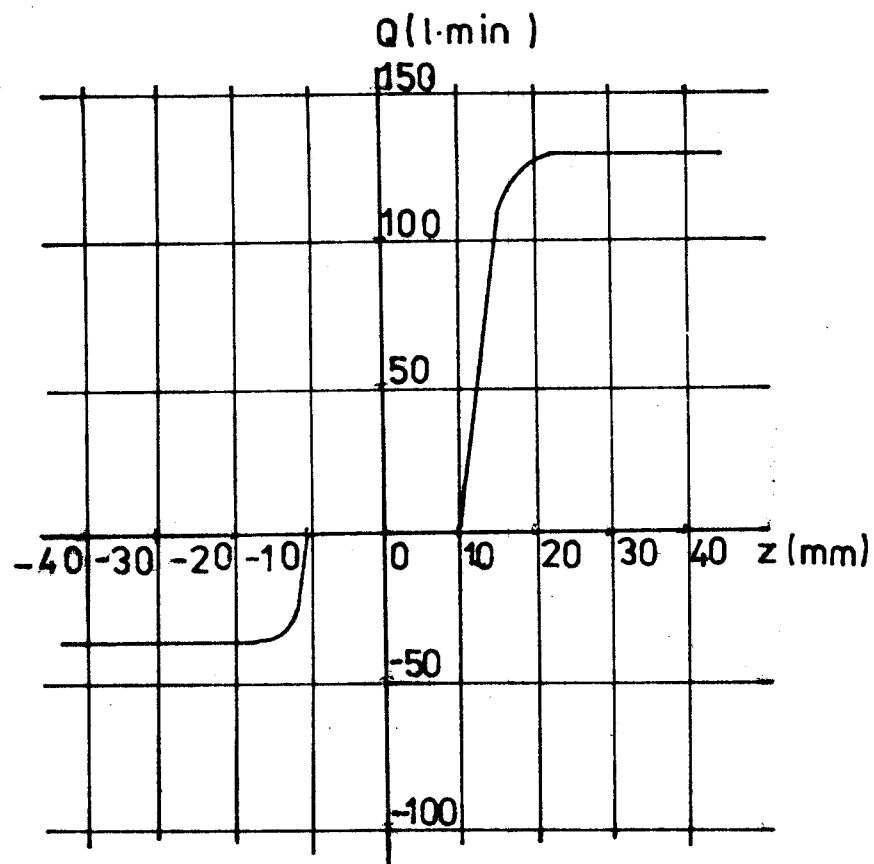
Jako automatického regulátoru je použito regulačního ventilu pro vzduchové pérování motorových vozidel /výrobce Autobrady Jablonec nad Nisou/, upraveného s dvoustup-

nového na jednostupňový. Na obr. 11 je řez jednostupňovým regulačním ventilem.



Obr. 11 Jednostupňový regulační ventil

Na KST VŠST Liberec bylo prováděno měření průtočného množství vzduchu dvoustupňovým regulátorem v závislosti na zdvihu páky regulátoru. Přestože nebylo měřeno průtočné množství jednostupňového regulátoru, je možné průběh odhadnout, protože charakteristika je velmi strmá u počáteční části a nedopustíme se podstatné chyby. Jednoduchým přepočtem při známých parametrech měření průtočného množství je možné získat závislost průtokového součinitele. Na obr. 12 je zobrazena závislost průtočného množství $Q(l \cdot min^{-1})$ na zdvihu Z pro délku páky regulačního ventilu 180 mm a pro tlak 0,6 MPa. Světlost rozvodu tlakového vzduchu je $d = 4 \text{ mm}$.



Obr. 12 Závislost průtočného množství na sdivhu

Pro hmotnostní průtok platí

$$m = Q\rho, \quad (34)$$

kde značí m - hmotnostní průtok,

Q - objemový průtok,

ρ - měrnou hmotnost vzduchu.

Pro průtočná množství platí

$$\frac{dm}{dt} = \mu P \sqrt{2\rho \Delta p} \quad (35)$$

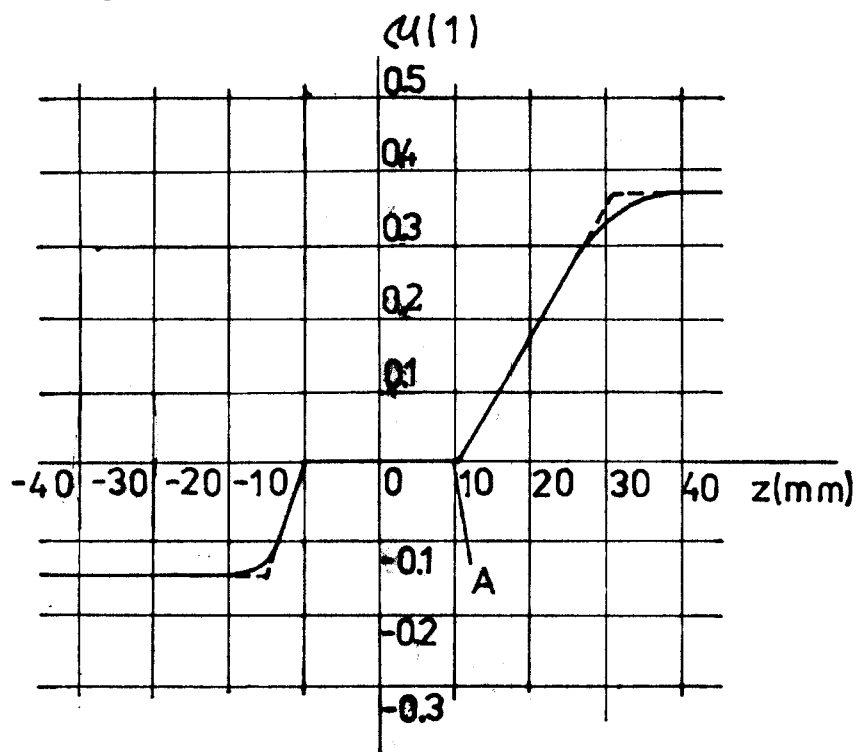
a

$$\frac{dm}{dt} = \frac{dQ}{dt} \cdot \rho. \quad (36)$$

Po vyjádření průtokového součinitele μ dostaneme

$$\mu = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{P} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}. \quad (37)$$

Z naměřené charakteristiky pro objemový průtok $\frac{dQ}{dt}$ je možné přepočítat hodnoty a sestavit závislost μ jako funkci svislosti z , která je na obr. 13.



Obr. 13 Závislost průtokového součinitele na svislosti

Pro praktické výpočty byla závislost průtokového součinitele na svislosti aproximována po částech spojitou funkcí, která je na obr. 13 nakreslena čárkovaně.

5.3 KMITÁNÍ ČLUNKOVÉHO TKACÍHO STROJE UTAS II 165 ULOŽENÉHO NA VZDUCHOVÝCH PRUŽINÁCH

Pro analýzu vzniku samobuzených kmitů člunkového tkacího stroje UTAS II 165 je sestaven program, pomocí něhož lze zjistit, které parametry pružného uložení ovlivňují vznik těchto kmitů. Tkací stroj je uvažován jako soustava se dvěma stupni volnosti /obr. 9, 10/. V [11] jsou uvedeny průběhy a velikosti sil, které jsou způsobeny pohybem pracovních mechanismů tkacího stroje. Na stroji UTAS II 165 způsobuje přírazový mechanismus svislou sílu o amplitudě 270 N a vodorovnou /ve směru osy y /sílu o amplitudě 2 850 N. Tyto síly mají sinusový průběh s úhlovou rychlostí rovnou jmenovitému otáčkovému stroje $/175\text{min}^{-1}/$. Působistěmi těchto složek setrvačných sil jsou ložiska hlavního hřídele stroje /obr. 9/. Přídavná setrvačná síla způsobená nevyvážeností ostatních mechanismů má velikost přibližně 200 N. Vyjádříme-li tedy zatěžující moment

$$M = M_0 \sin \omega t,$$

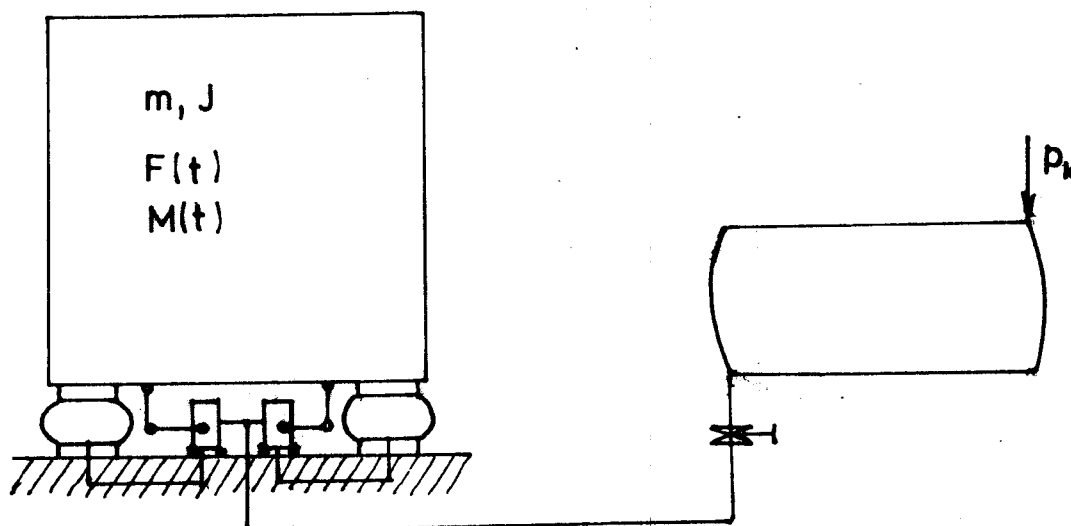
zatěžující sílu $F = F_0 \sin 2\omega t$

kde M_0 má velikost 600 Nm ,

kde F_0 má velikost 500 N , můžeme řešit soustavu (32).

Tkáci stroj UTAS II 165 má hmotnost přibližně 1 600 kg. Je uložen na čtyřech vzduchových pružinách VJ 80-0,7, z nichž každá je vybavena regulačním ventilem. Vzhledem k tomu, že stroj má na jedné straně poháněcí ústrojí, je pravý pár pružin zatížen asi o 20% méně než levý. Uložení stroje na vzduchových pružinách je na obr. 14. Pružiny na straně s menším zatížením mají lepší předpoklady pro vznik samobuzených kmitů, a proto je analýza provedena pro menší zatížení pružin. Těžiště je uvažováno v geometrickém středu

stroje. Moment setrvačnosti tkacího stroje UTAS II vzhledem k těžišti má přibližnou hodnotu $J = 300 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Statické zatížení pravého páru vzduchových pružin je přibližně $F_{st} = 3100 \text{ N}$ na jednu pružinu. Sledujeme-li rozběh stroje, uvažuje se, že člunkový tkací stroj UTAS II dosáhne za čas, který přísluší jedné jmenovité otáčky, $\frac{2}{3}$ jmenovitých otáček za sekundu. Analýza je provedena pro nastavení regulátoru 80 mm.



Obr. 14 Stroj uložený na vzduchových pružinách

V příloze je zobrazen průběh amplitudy výchylky obou sledovaných pružin v závislosti na čase. Je provedeno srovnání s průběhem neregulované soustavy.

5.4 KMITÁNÍ PNEUMATICKÉHO TKACÍHO STROJE P 105 ZH ULOŽENÉHO NA VZDUCHOVÝCH PRUŽINÁCH

Analýza vzniku samobuzených kmitů u stroje P 105 byla provedena obdobně jako u stroje UTAS. Stanovení konstant charakterizujících provoz stroje je provedeno poněkud jiným způsobem. Je využito měření vibrací stroje nepružně uloženého, [11]. Konstanty M_0 a F_0 pro stroj P 105 mají velikost přibližně $M_0 = 400 \text{ Nm}$, $F_0 = 500$, $F_{st} = 2200$, $J = 250$. V příloze je zobrazen průběh výchylky obou sledovaných pružin v závislosti na čase ve srovnání se soustavou bez regulace.

V obou případech je uvažováno nastavení regulátorů tak, že pro počáteční podmínky kmitání je regulátor v poloze A. Tato poloha je naznačena na obr. 13.

Průběh pneumatického tkacího stroje je velice rychlý. Za jednu jmenovitou otáčku dosáhnou skutečné otáčky 85% otáček jmenovitých.

6. POUŽITÉ METODY ŘEŠENÍ POHYBOVÝCH ROVNIC

Pro řešení nelineárních pohybových rovnic soustavy s jedním stupněm volnosti i soustavy se dvěma stupni volnosti byla použita čtyřbodová metoda Rungova - Kuttova [7], [8]. Vyjádříme-li proměnné soustavy diferenciálních rovnic ve vektorovém tvaru, můžeme metodu Rungovu - Kuttovu vyjádřit následujícími vztahy

$$t_{i+1} = t_i + \Delta t, \quad (38)$$

$$\vec{x} = f(t, x, \dot{x}), \quad (39)$$

potom

$$\vec{x}_{i+1} = x_i + \Delta t \dot{x}_i + \frac{\Delta t^2}{6} (K_1 + K_2 + K_3), \quad (40)$$

$$\vec{x}_{i+1} = x_i + \frac{\Delta t}{6} (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4),$$

kde

$$\vec{K}_1 = f(t_i, x_i), \quad (41)$$

$$\vec{K}_2 = f\left(t_i + \frac{\Delta t}{2}, \vec{x}_i + \frac{\Delta t}{2} \vec{x}_i + \frac{\Delta t^2}{8} \vec{K}_1\right),$$

$$\vec{K}_3 = \vec{K}_2,$$

$$\vec{K}_4 = f\left(t_i + \Delta t, \vec{x}_i + \Delta t \vec{x}_i + \frac{\Delta t^2}{2} \vec{K}_3\right).$$

Soustava pohybových rovnic je řešena pro počáteční podmínky $x(0) = 0$ a $\dot{x}(0) = 0$. Řešení jednotlivých případů je přiloženo v doplňku k diplomové práci. Řešení pohybových rovnic pro různé parametry bylo analyzováno a výsledky této analýzy jsou uvedeny v příloze.

Metoda použitá k řešení pohybových rovnic je značně nepřesná, ale postačuje k informativnímu přehledu o podmínkách vzniku samobuzených kmitů.

7. ZÁVĚR

Z analýzy podmínek, které ovlivňují vznik samobuse-
ných kmitů u strojů uložených na vzduchových pružinách vy-
plývá, že vznik samobusených kmitů je způsoben několika či-
niteli.

Jedním z nich je charakteristika regulátoru, která
je vhodnější plochá. U stávajícího regulačního ventilu je
možné zmenšit průtokový součinitel škrcením vzduchu. Dal-
ší možností je vyvinout nový regulační ventil, který by při
překnitnutí rovnovážné polohy prudce zvýšil /snížil/ tlak
a při dalším výkyvu by se usavřel. Jednalo by se o jakousi
impulsní regulaci.

Sledujeme-li vznik samobusených kmitů z hlediska na-
ladění soustavy, vznikají samobusené kmity u strojů, jejichž
otáčky jsou blízké vlastním frekvencím pružného uložení. Pro
používané přetlaky je to v rozsahu $2-5 \text{ s}^{-1}$.

Dalším činitelem, kterým můžeme ovlivnit vznik samo-
busených kmitů, je snížení přetlaku v rezervoáru tlakového
vzduchu. Snížení přetlaku způsobí menší průtočné množství
vzduchu proudícího do pružiny a stabilizuje tak kmity.

Hodnotíme-li uložení tkacích strojů na vzduchových
pružinách, je třeba si uvědomit, že provozní otáčky člu-
kových tkacích strojů leží v oblasti rezonance, a tím vni-
kají vhodné podmínky pro vznik samobusených kmitů. V přípa-
dě pneumatických a hydraulických tkacích strojů leží pro-
vozní otáčky v nadrezonanční oblasti, ovšem jejich kmitnost
je poměrně nízká, proto dochází při provozu k větším vychyl-
kám, které způsobí nestabilitu kmitavého děje.

Uvažujeme-li soustavu s jedním stupněm volnosti, je
možné určit závislost vzniku samobusených kmitů na dvou pa-
rametrech při konstantním počátečním přetlaku /při stávající-

cím regulačním zařízení/. Těmito určujícími parametry jsou kruhová frekvence budící síly a amplituda této síly. V příloze je uvedena přibližná závislost stability kmitavého děje na kruhové frekvenci a amplitudě budící síly.

SEZNAM LITERATURY

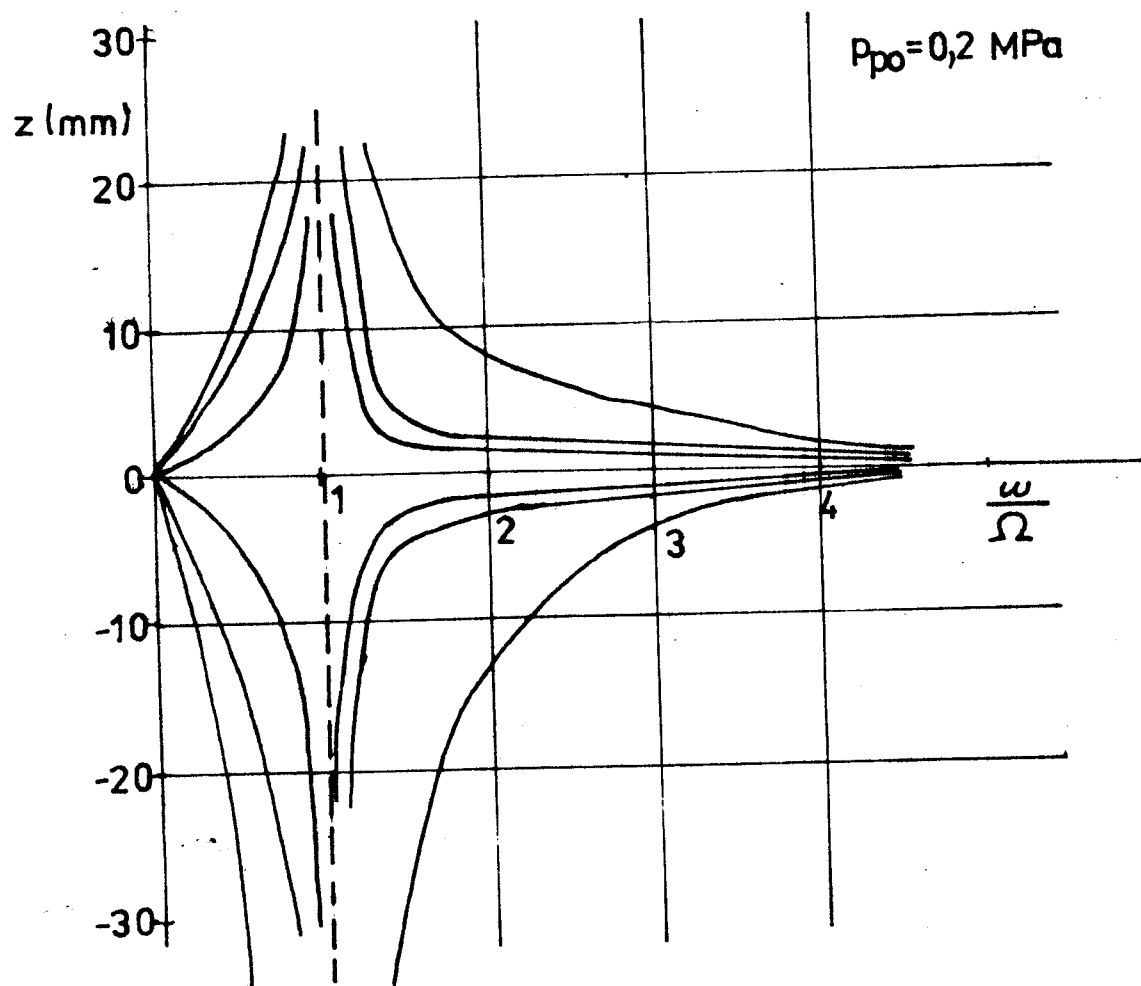
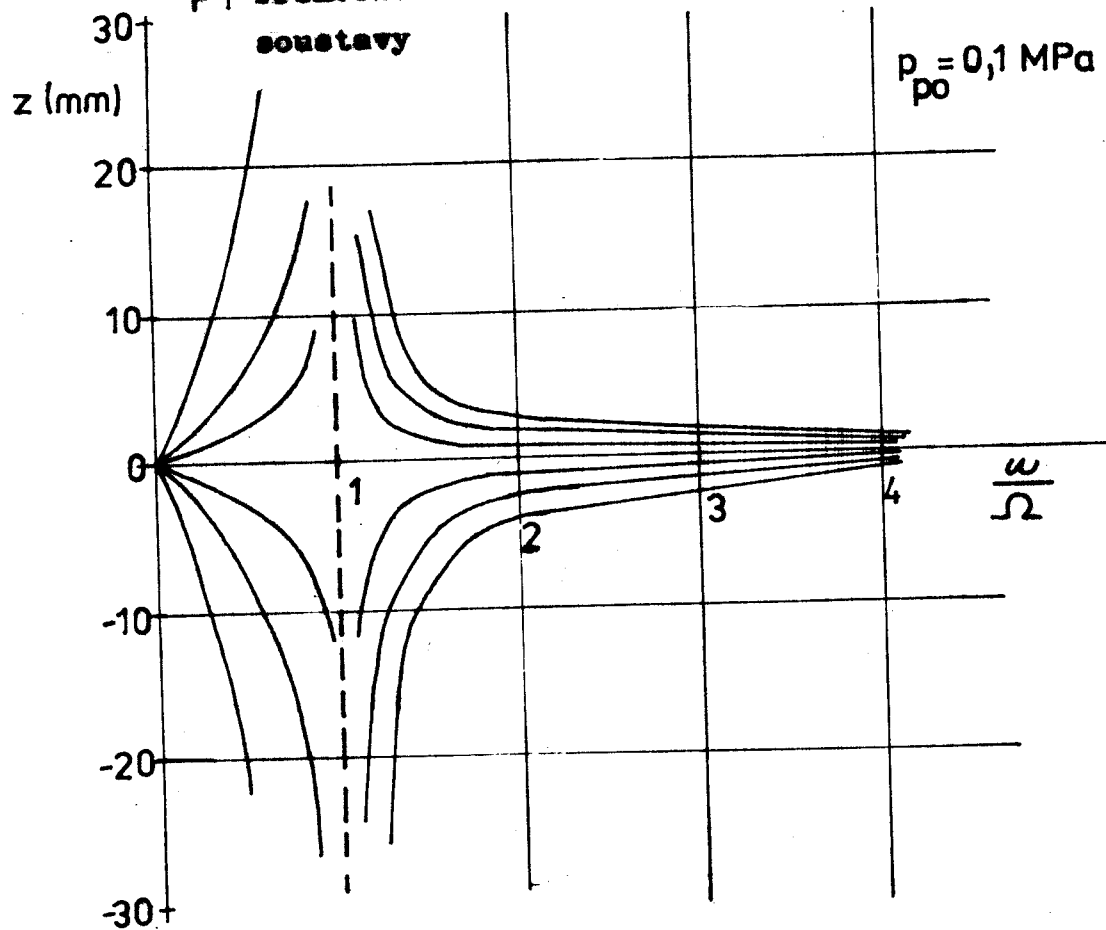
- [1] Nevald J.: K teorii ukládání strojů na vsduchových pružinách. Zpráva KMP. VŠST Liberec, 1980
- [2] Krejčíř O.: Vsduchové pružiny. Habilitační práce. VŠST Liberec, 1968
- [3] Kolektiv: Avtomobilnaja promyšlennost'. 5/1961, 4/1966
- [4] Kotek Z., Kubík S., Rasín M.: Nelineární dynamické systémy. SNTL Praha 1973
- [5] Hanuš B. a kol.: Základy technické kybernetiky I, II. VŠST Liberec, 1980
- [6] Pást S.: Technická mechanika II. Kmitání lineárních soustav. ČVUT Praha, 1972
- [7] Kolektiv: Aplikovaná matematika. SNTL Praha, 1978
- [8] Ralston A.: Základy numerické matematiky. Academia Praha, 1978
- [9] Charvát J.: Mechanika II. Dynamika. VŠST Liberec, 1975
- [10] Zikeš F.: Praktické úlohy z automatické regulace. VŠST Liberec, 1975
- [11] Ascken R.: Vyvažování přírasového mechanismu tkacího stroje. Kandidátská disertační práce. VŠST Liberec, 1980

PRILONY

SEZNAM PŘÍLOH

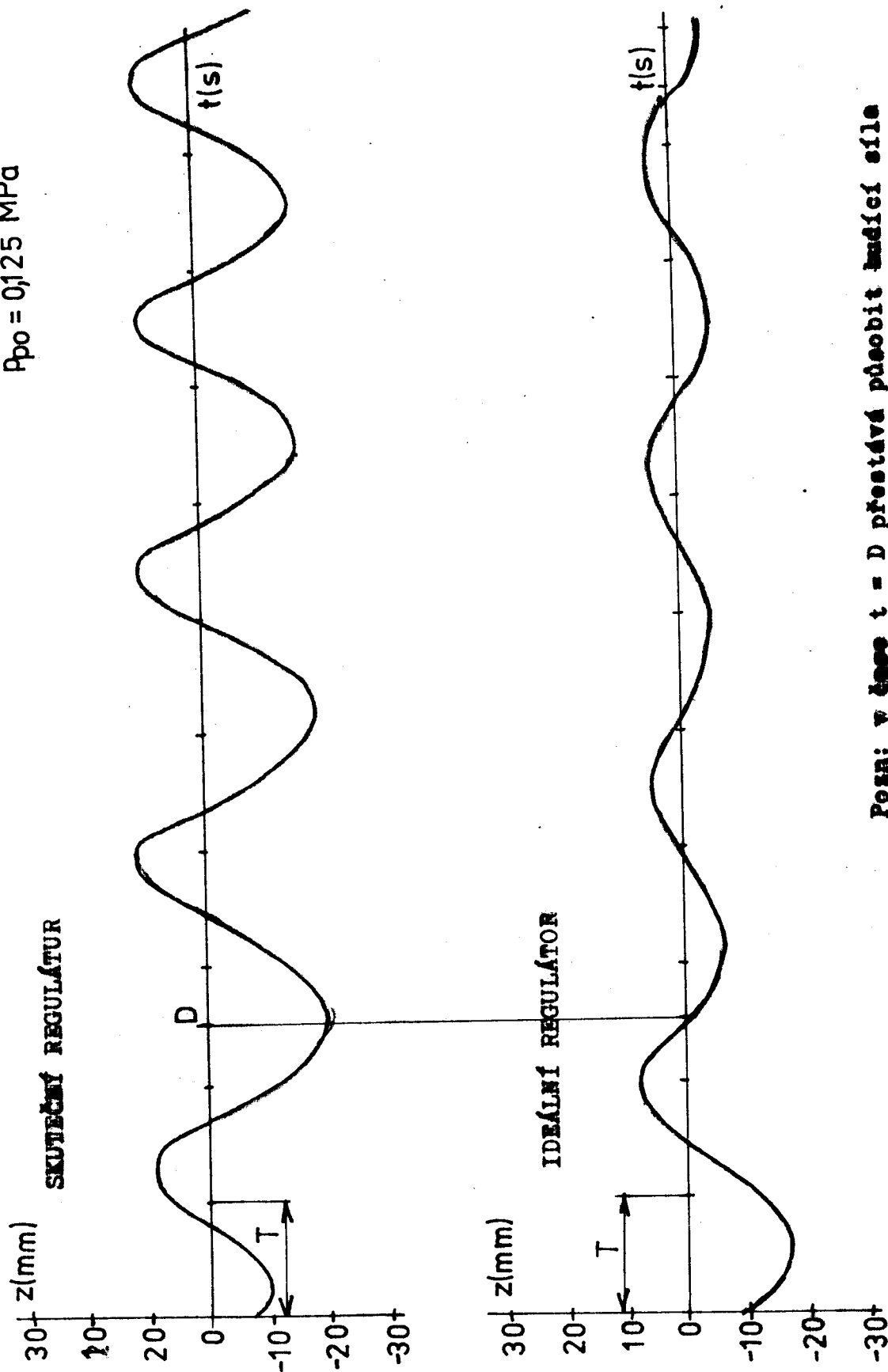
Příloha 1		
	Obsah	Strana
P1	Frekvenční charakteristiky neregulované soustavy	3
P2	Porovnání vlivu skutečného a ideálního regulátoru na vznik samobuzených kmitů	4
P3	Samobuzené kmity zobrazené ve fázové rovině	5
P4	Oblast stabilních a nestabilních kmitů	6
P5	Oblast stabilních a nestabilních kmitů	7
P6	Oblast stabilních a nestabilních kmitů	8
P7	Kmitání tkacích strojů UTAS II 165 a P 105 ZH	9

P1 Frekvenční charakteristiky neregulované soustavy



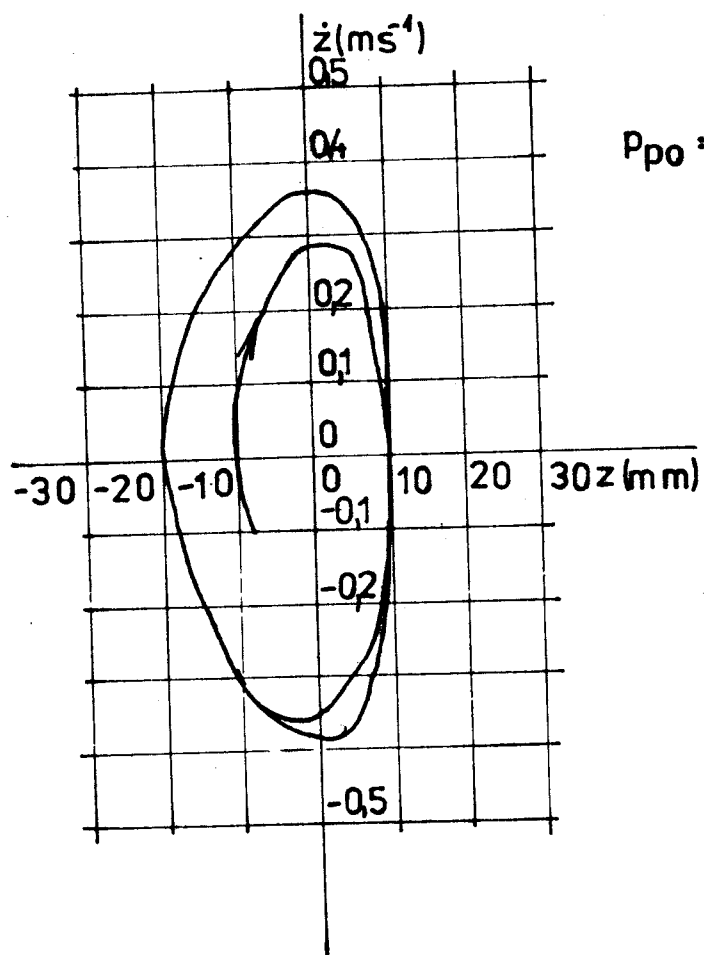
P2 Porovnání skutečného a ideálního regulátoru

$p_{po} = 0,125 \text{ MPa}$



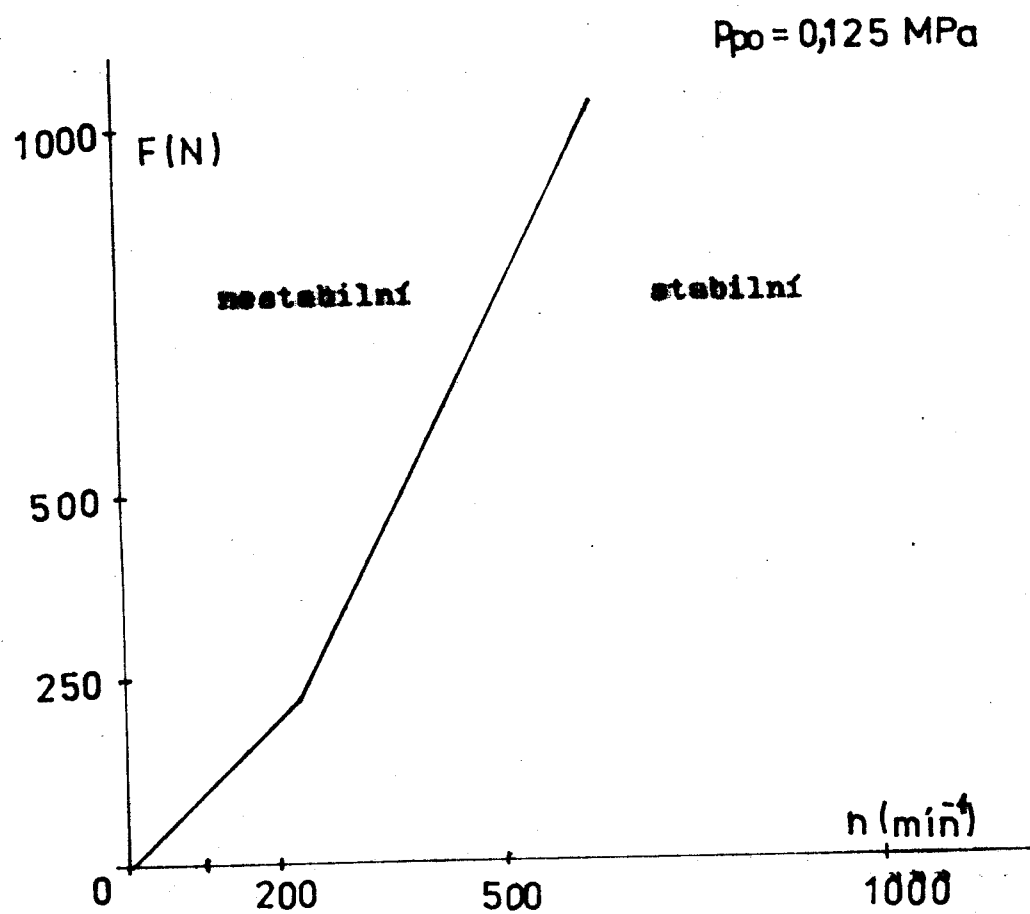
Pozn: v čase $t = D$ přestává působit budící síla

P3 Samostatné knity zobrazené ve fázové rovině

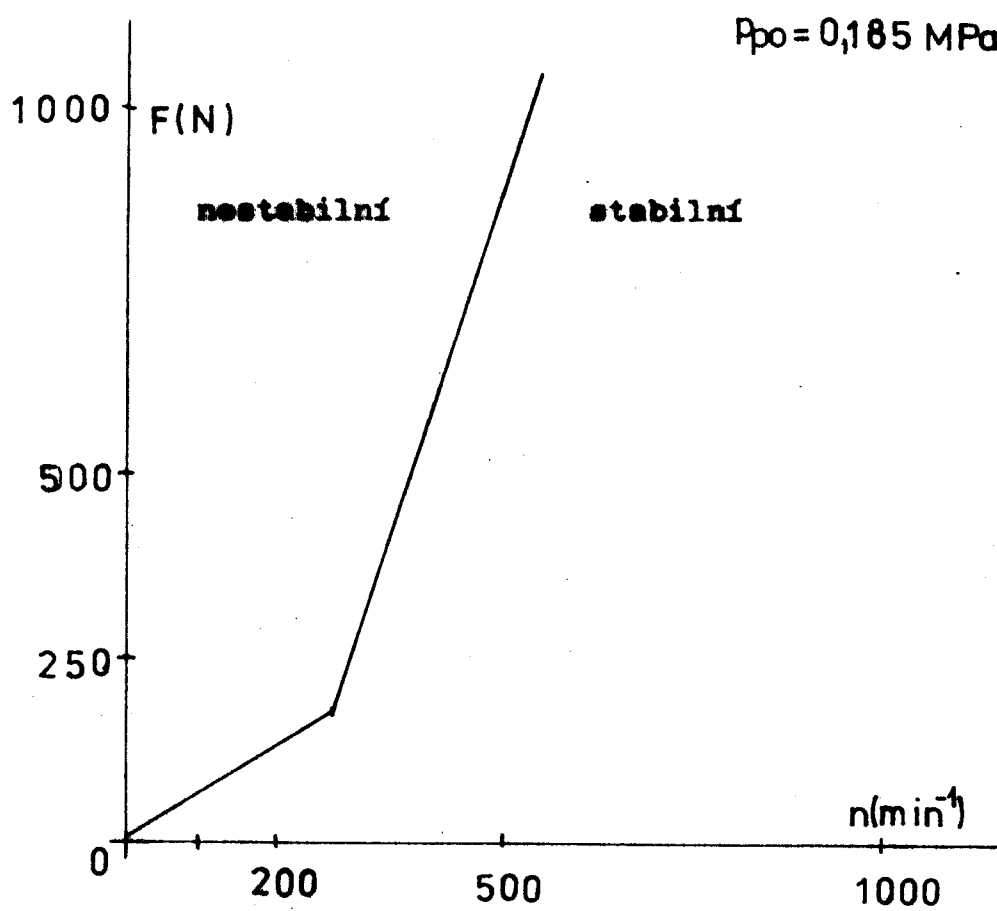


$p_{p0} = 0,125 \text{ MPa}$

P4 Oblast stabilních a nestabilních kmitů

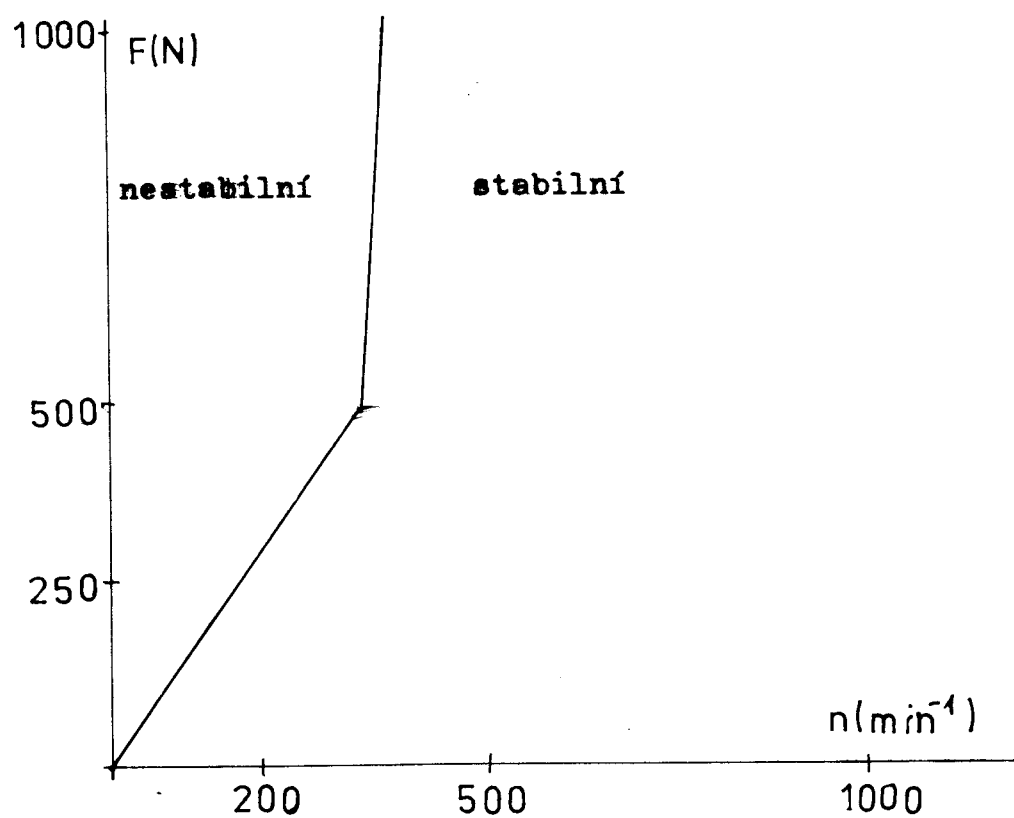


P5 Oblast stabilních a nestabilních kmitů

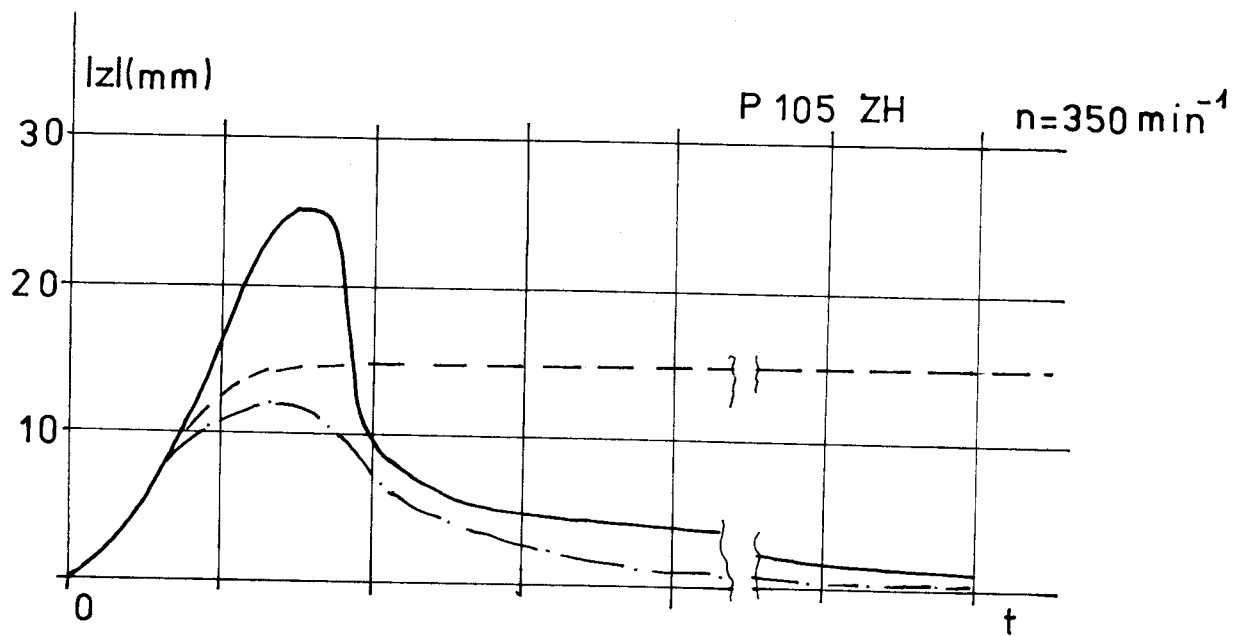
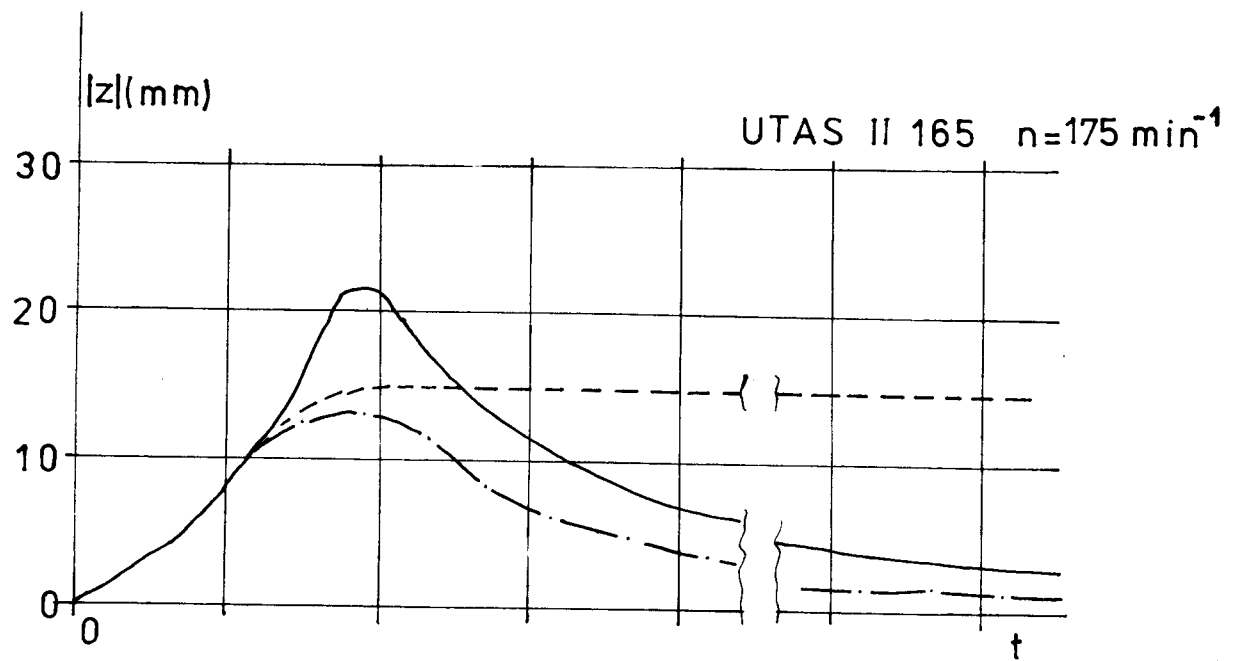


P6 Oblast stabilních a nestabilních kmitů

$p_{p0} = 0,25 \text{ MPa}$



P7 Kmitání tlacích strojů UTAS II 165 a P 105 ZH



- - - - - bez regulace
- - - - - s regulací
- . - . - požadovaný tvar

PŘÍKLAD VÝSTUPU Z POČÍTAČE (ŘEŠENÍ METODOU RUNGE-KUTTA)

* RESENI POH. ROVN. 1 ST. VOLNOSTI BEZ REG. DANE HODN.:
 M= 322.12 KG P0= .299939 MPA H0= 80
 F0= 500 N N= 200 MIN-1 OMEGA= 20.9439 RAD*S-1
 VLASTNI OM= 22.9763 RAD*S-1 VL. OT.= 219.408
 CAS ZDVIH RYCHL. BUD.SILA
 (S) (M) (M*S-1) (N)

0	0	0	0
3.000000E-02	1.40021E-04	1.35896E-02	293.892
6.000000E-02	9.77329E-04	4.27569E-02	475.528
9.000000E-02	2.57258E-03	5.85839E-02	475.528
.12	4.06151E-03	3.23143E-02	293.893
.15	4.07179E-03	-3.63185E-02	9.36268E-04
.18	1.84471E-03	-.10881	-293.891
.21	-2.09602E-03	-.146298	-475.527
.24	-6.44822E-03	-.13566	-475.53
.27	-9.75438E-03	-7.70613E-02	-293.896
.3	-1.06552E-02	2.27971E-02	-1.87254E-03
.33	-8.15665E-03	.144987	293.892
.36	-2.11687E-03	.249891	475.529
.390001	5.89785E-03	.25842	475.527
.420001	1.11815E-02	5.42389E-02	293.888
.450001	8.23498E-03	-.231524	-8.23916E-03
.480001	-6.81338E-04	-.331641	-293.901
.510002	-1.03731E-02	-.30038	-475.532
.540002	-1.80664E-02	-.203772	-475.524
.570002	-2.21323E-02	-6.04140E-02	-293.88
.600002	-2.13566E-02	.11598	1.64783E-02
.630002	-1.50928E-02	.299803	293.908
.660003	-3.75171E-03	.443412	475.535
.690003	9.89034E-03	.413723	475.521
.720003	1.58200E-02	-9.95254E-02	293.873
.750003	5.65106E-03	-.48264	-2.69645E-02
.780003	-9.27707E-03	-.481115	-293.915
.810004	-2.21573E-02	-.366274	-475.538
.840004	-3.07035E-02	-.195767	-475.518
PRUZINA MIMO ROZSAH			
.870004	-3.35175E-02	1.32907E-02	-293.864
PRUZINA MIMO ROZSAH			
.900004	-2.96948E-02	.243031	3.74507E-02
.930004	-1.90286E-02	.46275	293.924
.960005	-2.56949E-03	.61555	475.541
.990005	1.51650E-02	.461906	475.515
1.02	1.58098E-02	-.435748	293.857
*1.05001	-2.12717E-03	-.649899	-4.49408E-02