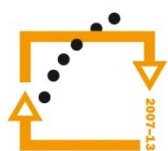




MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE  
DO ROZVOJE  
VZDĚLÁVÁNÍ

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno,  
Sokolská 1

**Šablona:** Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT

**Název:** Kontrola a měření strojních zařízení

**Téma:** Vyvažování – Základní pojmy

**Autor:** Ing. Smolek Jan

**Číslo:** VY\_32\_INOVACE\_24-06

**Anotace:** Prezentace slouží jako podpora k výkladu o problémech s nevyvážeností rotujících částí strojů.

DUM je určen především pro čtvrté ročníky všech oborů středních průmyslových škol strojnických.

Materiál byl vytvořen v prosinci 2012.

# Nevyváženost:

- **Těžiště rotující hmoty nesouhlasí s osou otáčení.**
- **Vzniká na základě:**
  - chyb odlitků (staženiny, vměstky)
  - nepřesného obrobení
  - chyb při montáži
  - jednostranným opotřebením
  - ...
- **Vyvolává**
  - přídatné ohybové síly a reakce v ložiskách
  - vibrace a hluk
  - únavové lomy
  - ...

**U částí strojů s vysokými otáčkami musí být stanovena poloha a velikost nevyváženosti a snižována tzv. vyvažováním.**

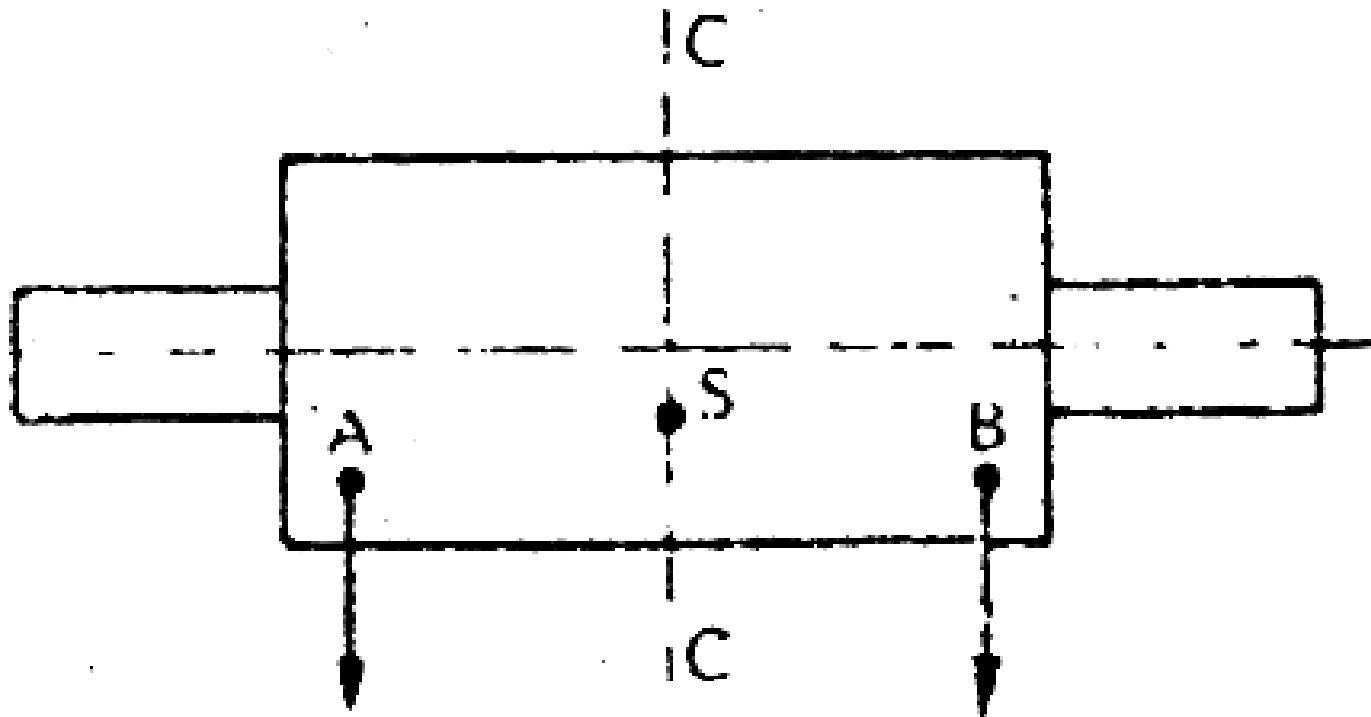
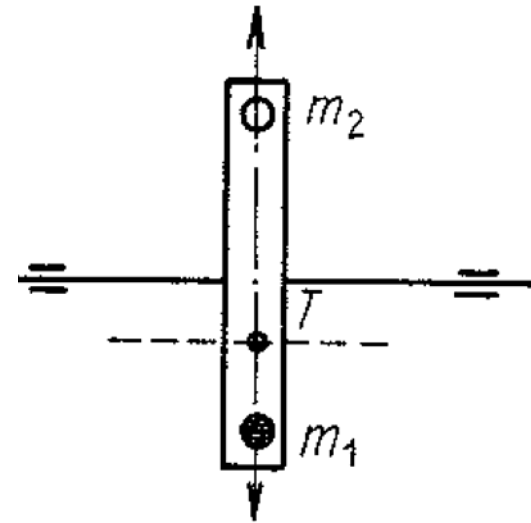
## **Nevyváženost (Vyvažování):**

- **Statická;**
- **Dynamická;**
- **U pružných rotorů;**

## Nevyváženost - Příklad:

- $F_o = m \cdot r \cdot \omega^2$                        $\omega = 2\pi n$
- nevážeček  $m = 10 \text{ g}$
- při otáčkách  $n = 3000 \text{ min}^{-1}$
- na poloměru  $r = 1 \text{ m}$
- $\Rightarrow F_o = 986 \text{ N}$

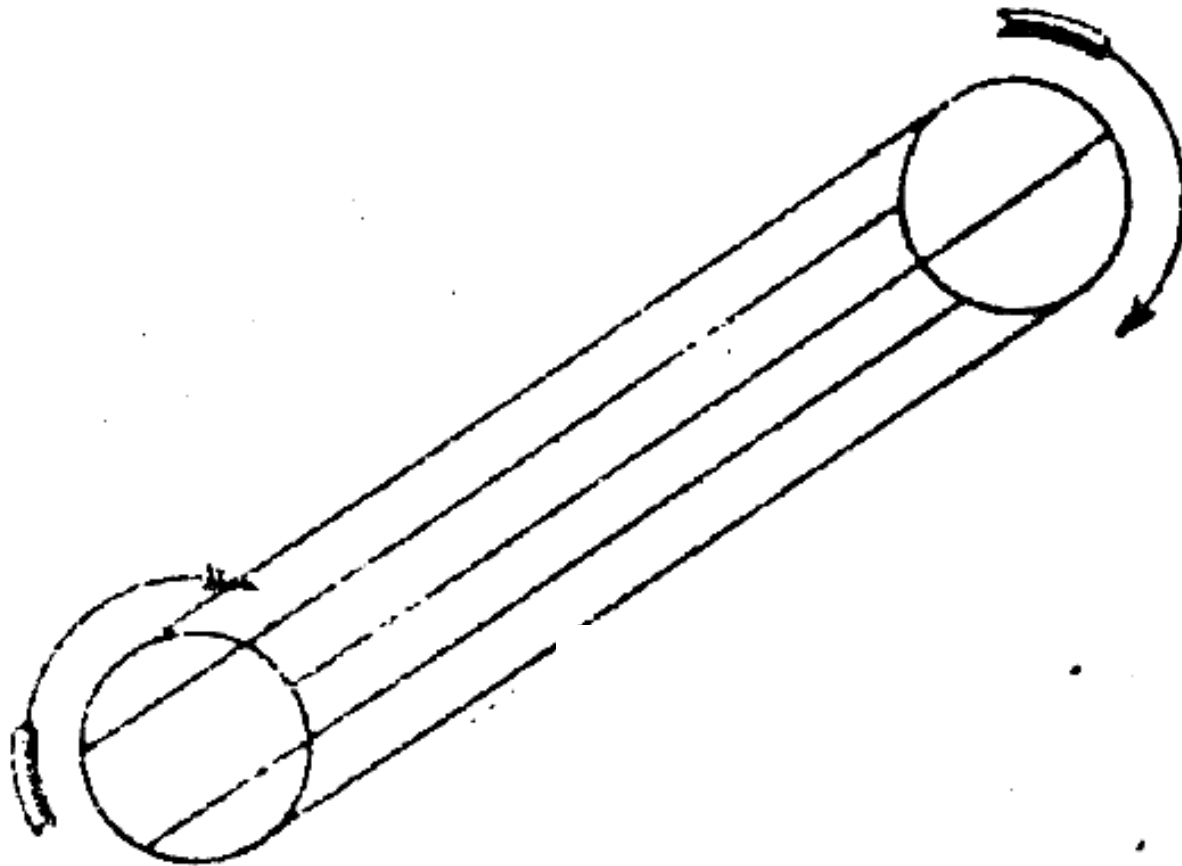
Čistě statická nevyváženost:



## Čistě statická nevyváženost (kotoučové součásti):

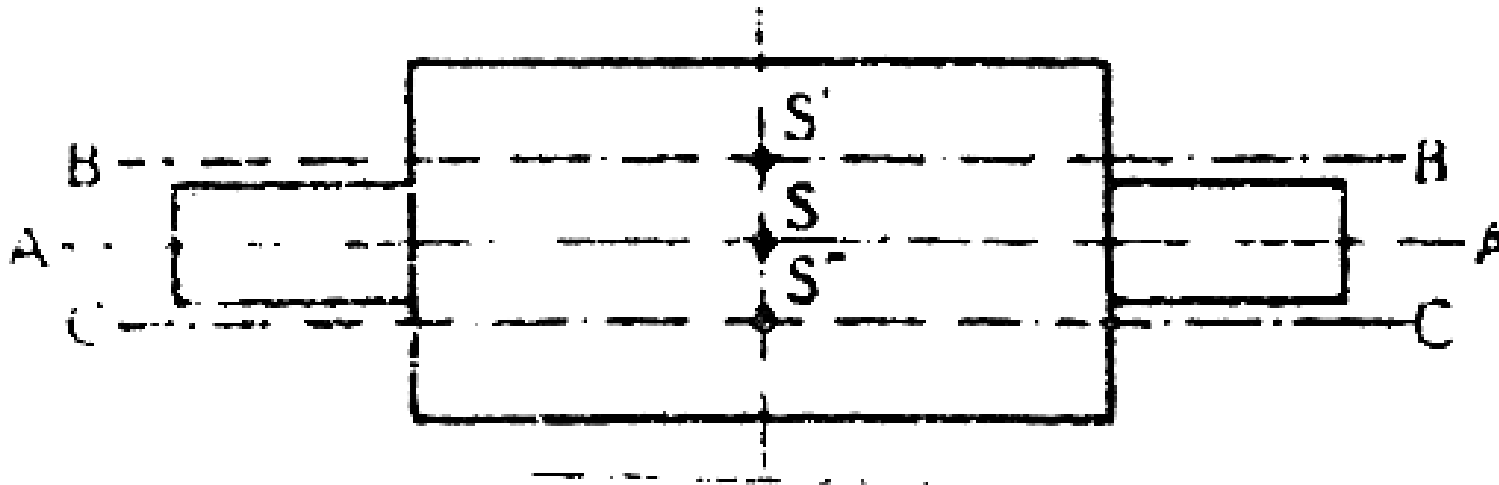


# Čistě statická nevyváženost: (Dráha osy nepodepřené rotoru)

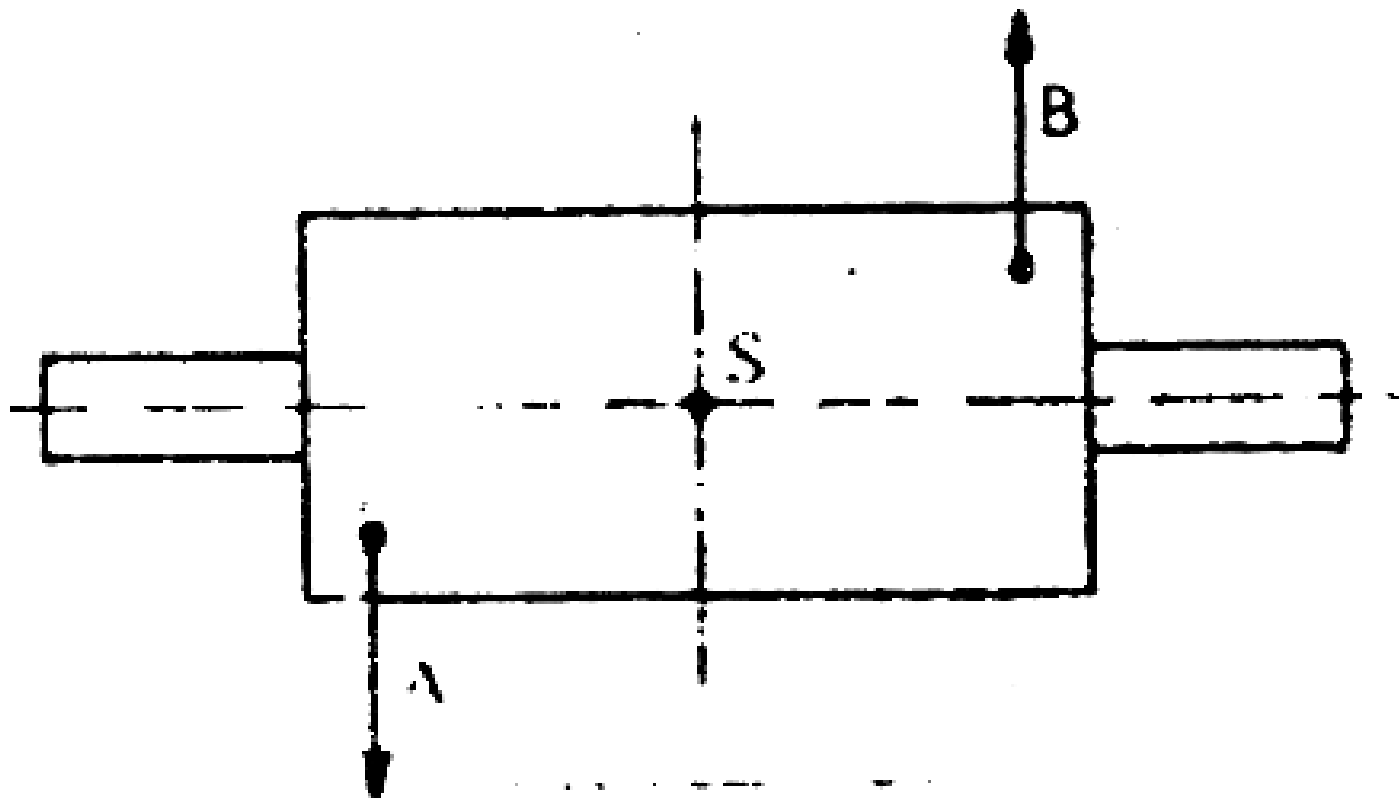


# Čistě statická nevyváženost:

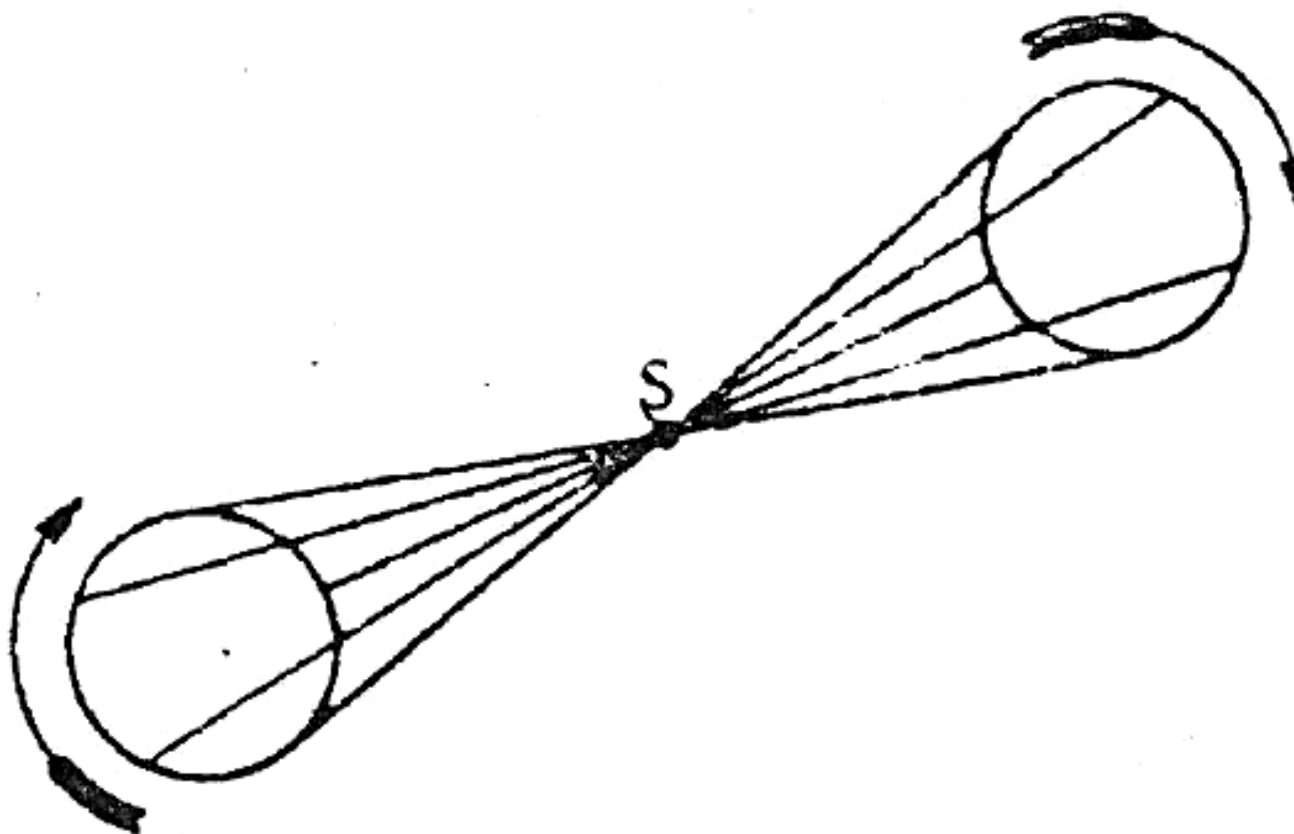
(Kmitání rotoru podepřeného ložisky, (osa rovnoběžná))



## Čistě dynamická nevyváženost:

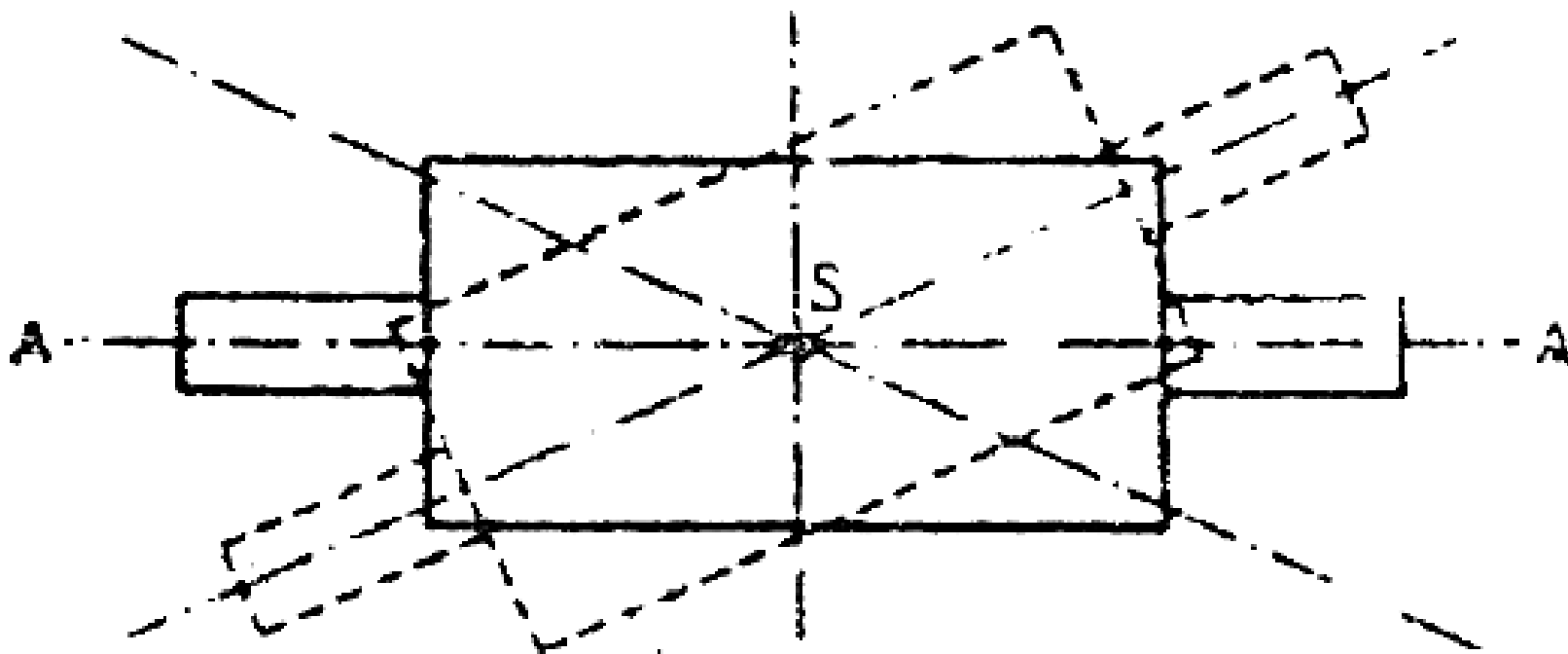


# Čistě dynamická nevyváženost: (Dráha osy nepodepřeného rotoru)

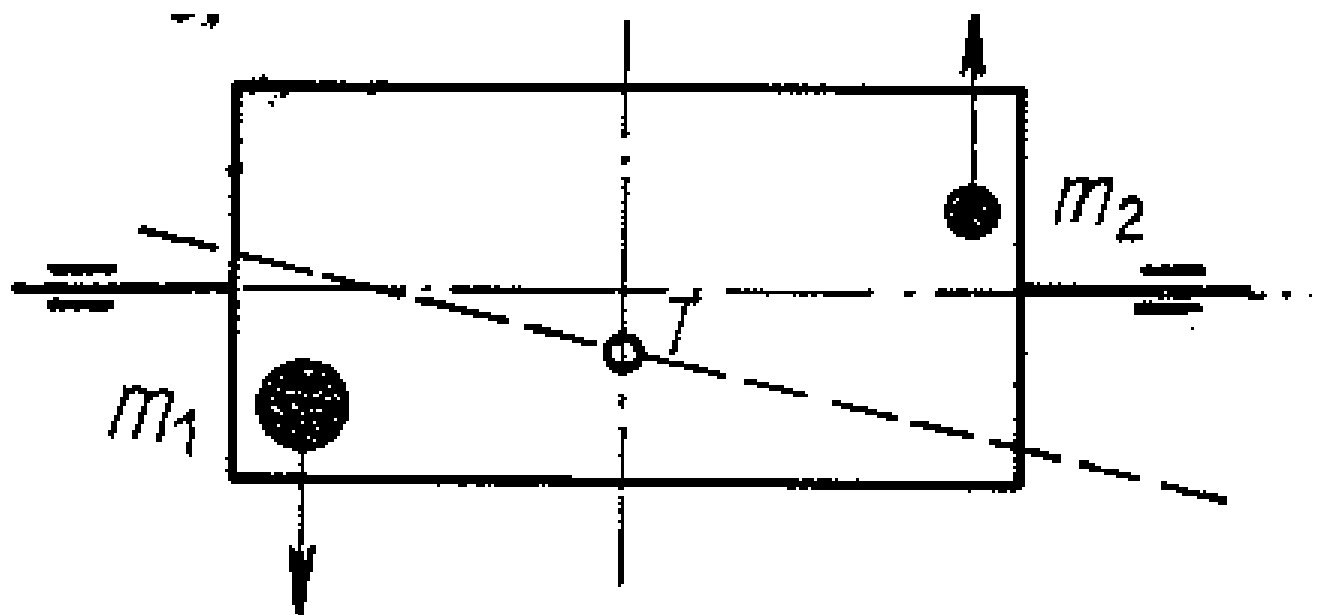


## Čistě dynamická nevyváženost:

Kmitání rotoru podepřeného ložisky, (krouživé kmitání)



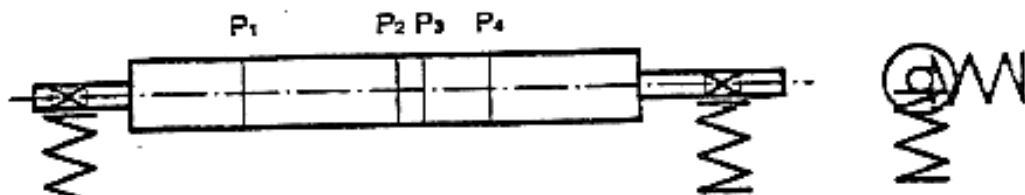
## Nevyváženost kombinovaná:



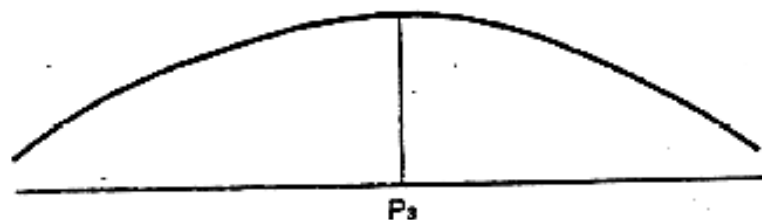
## Pružné rotory:

Cílem vyvážení jakéhokoli rotoru je dosažení uspokojivého chodu po jeho montáži na místě provozu. „Uspokojivý chod“ v tomto případě znamená, že zbytkový nevyvážek nesmí vybudit větší velikost vibrací, než jsou přípustné hodnoty. V případě pružného rotoru to také znamená, že při jakýchkoli otáčkách až do maximálních provozních otáček nesmí průhyb rotoru přesáhnout přípustnou hodnotu.

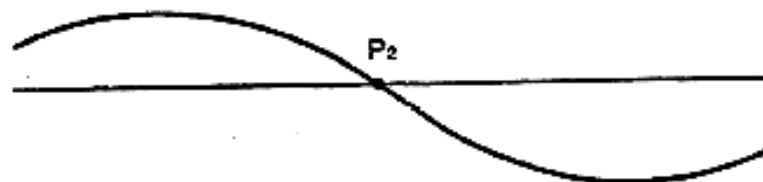
Mimoto některé rotory, které se při provozu zahřívají, jsou citlivé na teplotní deformace, které mohou vést ke změnám nevyváženosti. Mění-li se nevyváženost výrazně během běhu, nemusí se podařit vyvážit rotor v požadovaných tolerancích.



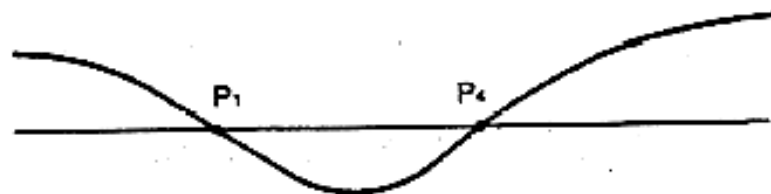
a) Typický rotor



b) První pružný mód

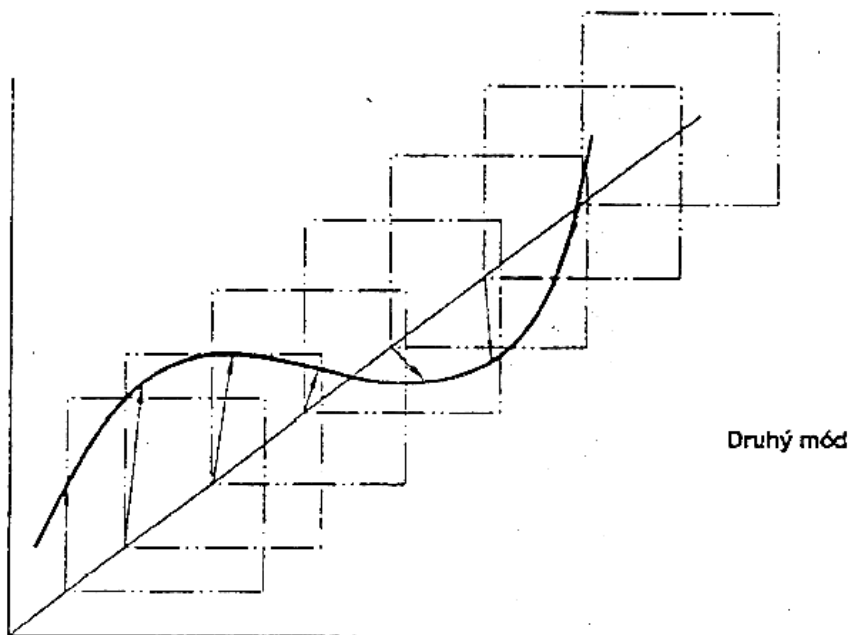
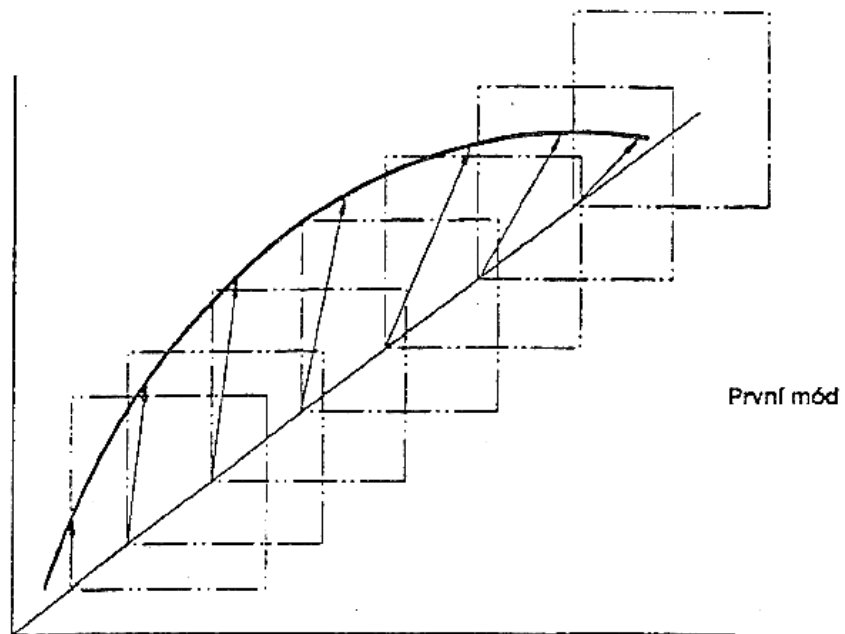


c) Druhý pružný mód



d) Třetí pružný mód

**Zjednodušené tvary  
módů pružných rotorů  
na pružných  
podpěrách:**



**Příklady tvarů tlumených módů:**

## Vnitřní útlum a kritické otáčky:

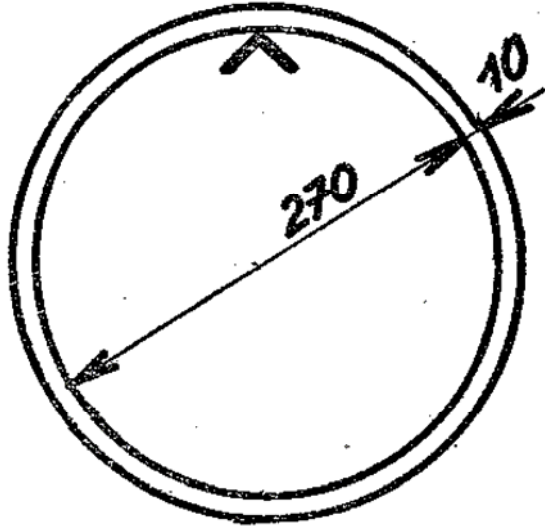
- K vnitřnímu útlumu nedochází, pokud se hřídel otáčí prohnutý;
- K vnějšímu útlumu nedochází, pokud je uložení tuhé;

$$n = 300 \div 315 \sqrt{\frac{1}{y}}$$

kde  $y$  je největší prohnutí hřídele mezi ložisky.

## Zkouška pružnosti rotoru:

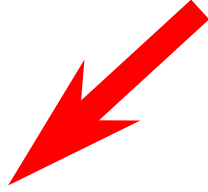
- **Hmota se připojí na střed rotoru (kde lze očekávat největší účinek) a zjistí se vliv na vibrace (nejlépe při provozních otáčkách);**
- **Připojí se dvě hmoty do týchž uhlových natočení jako hmota, která se odebrala, ale ke koncovým rovinám;**
- **Je-li změna menší než cca 20%, je rotor obvykle považován za tuhý;**



## Zjištění momentu setrvačnosti prstence k opěrné ose: -příklad

- Ocelový prstenec o hmotnosti 0.830 kg dle obr.;
- Položíme na hranu uhelníku a rozkýveme;
- Změříme dobu padesáti malých kyvů (tam a zpět), měříme třikrát za sebou, průměrná doba je  $(52,8+52,9+53,3):3=53$  s. Jeden kyv tedy trvá  $53:50=1.06$  s.;

## Údaje na výkrese:

- Hmotnost rotoru [kg]
  - Provozní otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]
  - Způsob vyvážení
    - v jedné rovině (gravitačně. za rotace)
    - ve dvou rovinách
    - atd.
  - umístění vyvažovacích rovin
  - umístění kontrolních rovin
  - úložná místa na vyvažovacím stroji
  - velikosti přípustných nevyvážků [g.cm]
  - přidávání (ubírání) nevyvážků
  - (kritické otáčky) [ $\text{min}^{-1}$ ]
  - (vyvažovací otáčky) [ $\text{min}^{-1}$ ]
  - aj.
- 

Název podniku	VYVAŽOVACÍ LIST č. . . . Číslo zakázky . . . . .	Číslo výkresu		
		Vyr. č. rotoru		
Údaj	Značka veličiny	Rozměr		
	Konstrukce	hmotnost rotoru	$M$	kg
provozní otáčky		$n$	min <sup>-1</sup>	
vyvažovací otáčky		$n_b$		
kritické otáčky		$n_k$		
maximální průměru rotoru		$D$	mm	
průměry ložiskových čepů nebo průměry vnějších kroužků valivých ložisek ( $i = 1, 2, \dots$ )		$d_i$		
vzdálenost ložiskových podpor		$L$		
vzdálenost vyvažovacích rovin		$l_b$		
vzdálenost kontrolních rovin		$l_c$		
poloměr vývažků (nevývažků)		$r_u$		
vzdálenosti kontrolních rovin 1, 2 od ložiskové podpory $a$		$z_1, z_2$		
vzdálenost těžiště $S$ od ložiskové podpory $a$		$z_S$		
přípustný měrný nevyvážek		$\epsilon_p$	$\mu\text{m}$	
přípustný nevyvážek v 1. kontrolní rovině		$U_{p1}$	g · mm	
přípustný nevyvážek ve 2. kontrolní rovině		$U_{p2}$		
zbytkový nevyvážek v 1. kontrolní rovině	$U_1$			
zbytkový nevyvážek v 2. kontrolní rovině	$U_2$			
Technologie konstrukce	vyvažovací stroj (typ):			
	uložení rotoru – mezi stojany, letmo			
	vyvažovací trn č.			
	kloubový hřídel č.			

## Vyvažovací list:

## „Interaktivní prvky“:

- **Překreslete si vyučujícím určená schémata atp.;**
- **V průběhu výkladu si pečlivé poznamenávejte klíčové informace;**
- **Popište vlastními slovy jednotlivé snímky (vysvětlete funkci, atp.);**
- **Pokuste se nalézt v právě probrané prezentaci nepřesnosti, pro svůj názor správně formulujte argumenty;**

- 1. Jaké vlivy má nevyváženost rotujících částí stroje?*
- 2. Jak se dá stanovit jednoduchým dílenským postupem poloha nevyvážku?*
- 3. Uveďte rozdíly mezi statickou a dynamickou nevyvážeností!*
- 4. Jakým opatřením se vyrovnává nevyváženost?*

## Použitá literatura:

- **ANONYMUS. *Plakáty pro výuku předmětu Kontrola a měření.* SPŠS Sokolská 1. Brno, nedatováno.**
- **ČSN 01 14 10. UNM, PRAHA 1986.**
- **ČSN ISO 1940-2. CNI: PRAHA 1999.**
- **ČSN ISO 11342. CNI: PRAHA 1998.**
- **FRISCHHERZ A., SKOP P., KNOUREK J. *Technologie zpracování kovů.* Praha: Wahlberg, 1993. ISBN 80-901657-2-9.**
- **CHOCHOLA K., SLACH J., ŠULC J. *Laboratorní cvičení.* Praha: STNL 1961.**
- **MARTINÁK, M. *Kontrola a měření.* Praha: STNL 1989.**
- **ŠULC, J. *Technologická a strojnická měření.* Praha: STNL 1982.**
- **ŠULC, J., VYSLOUŽIL, Z. *Laboratorní cvičení technologická a strojní.* Praha: STNL 1970.**
- **VÁCLAVOVIČ A., *Měření a kontrola ve strojírenství.* Praha: SNTL, 1967.**
- **VYSLOUŽIL Z., KOVAL J. *Technologické a strojnické merania.* Bratislava: Alfa, 1978**