

## PROBLEMATIKA MĚŘENÍ VELKÝCH POSUVŮ NA KLIKOVÉM HŘÍDELI

Klikové hřídele patří mezi nejsložitější prvky spalovacích motorů. Řešení jejich stavu napjatosti a přetvoření ať už numerické nebo experimentální, je vždy velmi náročné. V minulých letech byly jak po stránce teoretické tak experimentální, uspokojivě zvládnuty problémy spojené s čistým krutem klikových hřídelů, a to z hlediska statického i dynamického. V současnosti je však třeba věnovat mimořádnou pozornost také problémům spojeným s ohybem klikových hřídelů a to rovněž z hlediska statiky i dynamiky. K vytvoření teoretického diskrétního dynamického modelu klikového hřídele pro řešení jeho ohybového kmitání je však třeba znát jeho příčinkové činitele, tj. odezvy v různých místech a směrech na zatížení jednotkovou silou. Analytické určování příčinkových činitelů klikových hřídelů např. metodou přenosových matic, nebylo však dosud experimentálně ověřováno. Proto byl na katedře pružnosti a pevnosti FSI ČVUT Praha uskutečněn poměrně rozsáhlý experiment, při kterém byly kromě jiného zjišťovány svislé, vodorovné a podélné posuvy při svislém zatěžování ložiskových čepů.

Klikový hřídel byl uložen na dvou krajních kluzných ložiskách a proti pootočení byl fixován k upínací desce, která byla součástí upínacího rámu. Zatěžovací síla byla vyvozena hydraulickým válcem. Hřídel byl postupně zatěžován od 0 až do 80 kN. Reakční síly v ložiskách byly přes masivní upínací rám přenášeny do kotvicího roštu. Pootočením o úhel  $22,5^\circ$  byla definována vždy další měřená poloha. Posuvy měřených míst klikového hřídele byly měřeny speciálními snímači velkých deformací, které byly vyrobeny na katedře pružnosti a pevnosti FSI - ČVUT Praha.

Největším problémem při tomto experimentu bylo splnění požadavku dostatečné tuhosti rámu, na kterém byl uložen klikový hřídel. I když této otázce byla věnována náležitá pozornost, první měření ukázalo, že při centrickém zatěžování ložiskového čepu dochází k posunům vlastního úložného rámu v horizontální rovině, k nakroucení a tím i natočení upínací desky klikového hřídele v něm kotvené. Největší vliv na přesnost měření má však skutečnost, že měření posuvů se provádělo na rotačně symetrickém povrchu čepů klikového hřídele.

Aby všechny parazitní vlivy byly eliminovány, bylo nutno linearizované naměřené hodnoty posuvů, získané u několika měření, postupně korigovat. Tyto korekce byly prováděny v předem daném pořadí a důvodu jejich vzájemné závislosti.

Jako první v řadě se prováděla korekce na vodorovnou deformaci ložisek. Vlivem tvaru klikového hřídele docházelo k prostorovému průhybu a tím k vyvození vodorovných reakcí v podporových ložiskách hřídele. Měřené vodorovné posuvy byly tedy korigovány o průměrnou hodnotu posuvů

obou ložisek v tomto směru. Díky příznivému zavedení svislých reakcí v podporových ložiskách do kotvicího roštu, nedocházelo k vedlejším posuvům hřídele v rovině zatěžování.

K největším chybám docházelo v důsledku měření posuvů na válcovém povrchu čepů klikového hřídele. Snímače byly před zatěžováním umístěny do dvou na sebe kolmých rovin procházejících osou čepu. Posunutím a natočením čepů při zatížení docházelo k obecnému posuvu osy čepu a tím k chybě měření. Chyba byla závislá na poloměru zakřivení čepu, úhlu natočení a posuvech ve vodorovné a svislé rovině.

Při zatěžování v rovině procházející podélně osou rotace klikového hřídele by teoreticky nemělo docházet k natáčení vlivem kroutícího momentu. Ten však byl do soustavy vnášen z těchto hlavních důvodů :

- vlivem výrobních nepřesností (0,5 mm odchylka přímosti hřídele od osy rotace)
- zatěžovací síla byla vyvozována hydraulickým válcem na ložiskovém čepu. Vyvozená síla neležela přesně v rovině procházející osou rotace (obtížné ustavení zatěžovacího hydraulického válce)
- vlivem nestejnomyšerného posuvu ložisek ve vodorovném směru docházelo k nakroucení úložného rámu a tím i k nakroucení upínací desky klikového hřídele.

Ze změřených posuvů na ramenech připojených k upínací desce, která fixovala měřenou polohu, jsme změřili úhel parazitního nakroucení hřídele.

Pro ukázkou jsou dále uvedeny pouze korekční vztahy pro vodorovné posuvy platící pro ložiskové čepy, které byly odvozeny z geometrie klikového hřídele a uložení,

kde :  $\Delta X, \Delta Y$  linearizované naměřené hodnoty posuvu  
 $r$  poloměr čepu ložiska  
 $\psi$  úhel zkroucení hřídele  
 $\xi$  konstanta závislá na kvadrantu, ve kterém se čep nachází

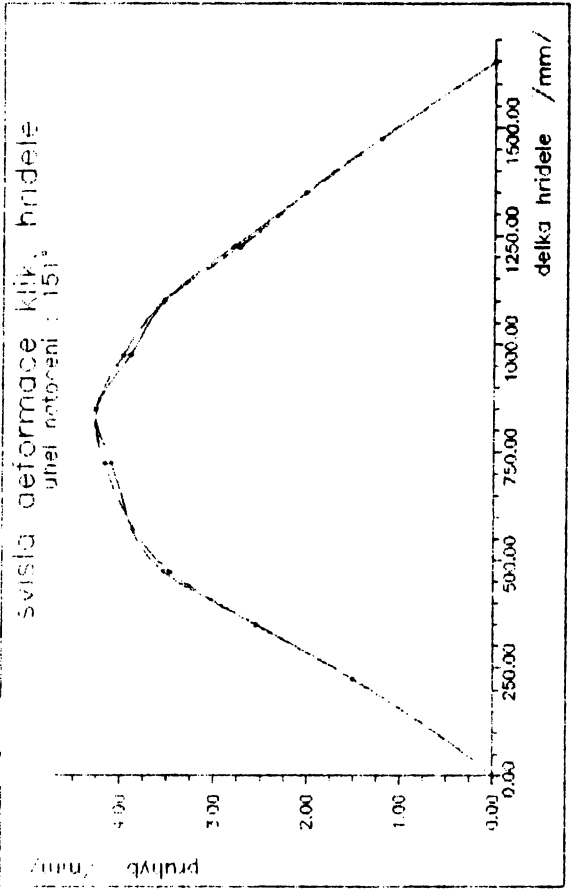
$\Delta X_v$  korigované posuvy

korekce na vodorovné posunutí

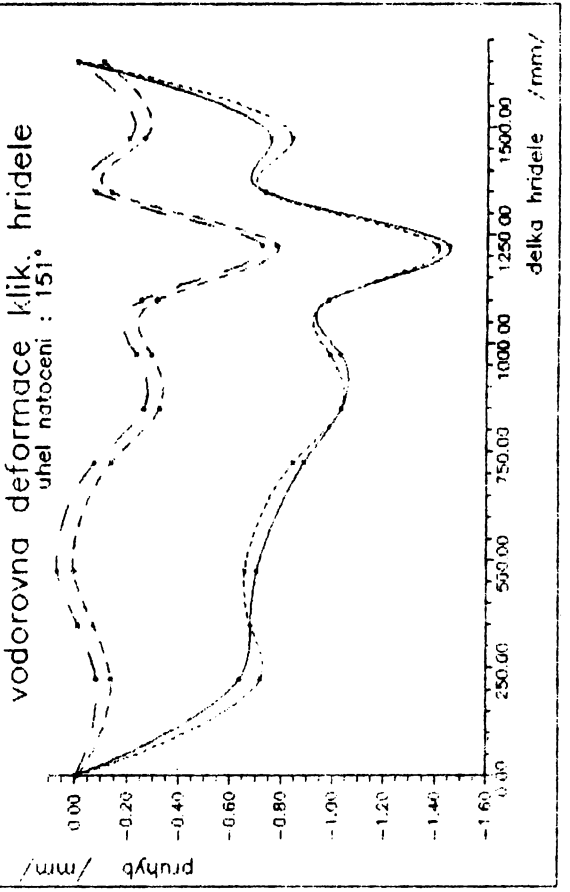
$$\Delta \bar{X} = \Delta X - \frac{\Delta X_1 - \Delta X_2}{2}$$

----- naměřené linearizované hodnoty  
 --- korekce na posun ložisek  
 - - - - - korekce na zakřivení čepu  
 \_\_\_\_\_ korekce na natočení upínací desky kroutícího momentu

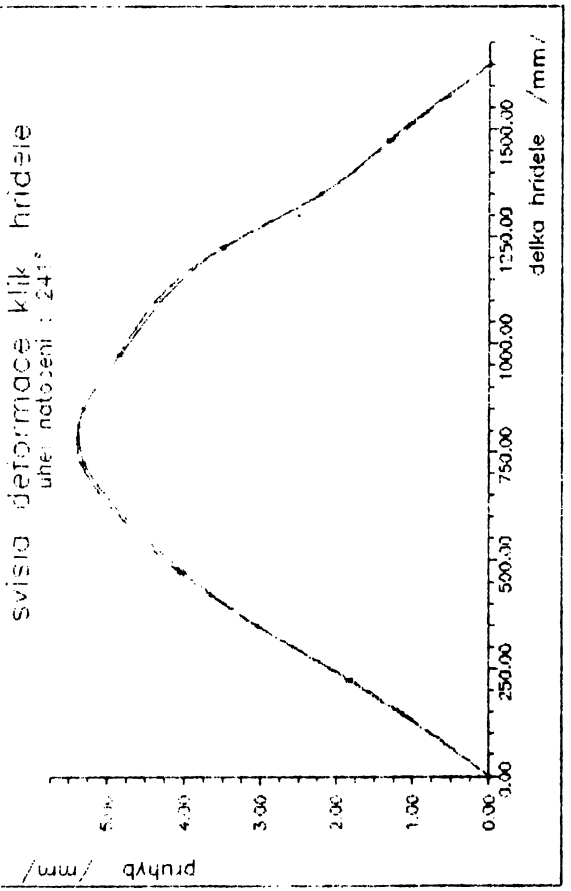
svisla deformace klik, hridele  
uhel natozeni : 151°



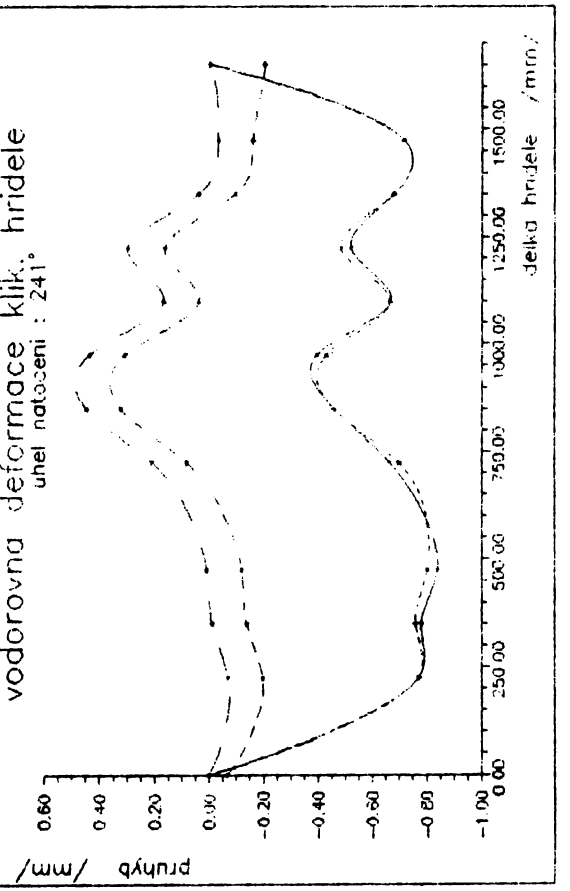
vodorovna deformace klik, hridele  
uhel natozeni : 151°



svisla deformace klik, hridele  
uhel natozeni : 241°



vodorovna deformace klik, hridele  
uhel natozeni : 241°



korekce na zakřivení čepu ložiska

$$\Delta x_z = r \cdot \sin \left[ 90 - \arcsin \left( \frac{\sqrt{(r - \Delta y)^2 + (r - \Delta \bar{x})^2}}{2r} \right) - \arctg \left( \frac{r - \Delta \bar{x}}{r - \Delta y} \right) \right]$$

korekce na natočení upínacího kotouče

$$\Delta x = \Delta x_z + \psi \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \sqrt{\Delta x_z^2 + \Delta y_z^2} \cdot \cos \left( 90 + \frac{\psi}{2} - \xi \right)$$

Vliv jednotlivých korekčních vztahů je ukázán na konkrétních měřeních klikového hřídele šestiválcového vznětového stacionárního motoru ČKD. Z obrázků je zřejmé, že vliv uvedených korekcí je dominantní u vodorovných posuvů (v rovině kolmé k rovině zatěžování hřídele), kde jsou hodnoty korekcí srovnatelné s naměřenými hodnotami posuvů. Při zanedbání těchto vlivů by získané výsledky byly bezcenné.

Uvedený experiment prokázal, že je nutné vždy předem ověřit do jaké míry jsou teoretické předpoklady tuhosti uložení zatěžovací konstrukce v praxi splněny.