I D E N T I F I K A Č N Í E X P E R I M E N T
V K O M P L E X N Í M M O D E L O V Á N Í

Přemysl Janíček

V příspěvku jsou uvedeny dva praktické příklady silové identifikace,jejichž cílem je u tělesa,které je součástí mechanické soustavy,určit rozložení silových účinků na dané ploše na základě měření geometrických,deformačních a materiálových charakteristik mimo tuto plochu a měření primárního zatížení.Nedílnou součástí identifikační úlohy je identifikační experiment /IE/,jako zdroj experimentálně zjištěných údajů,tvořících vstupy do výpočtového algoritmu identifikační úlohy.IE,jehož charakteristiky jsou uvedeny v závěru příspěvku,má své místo v komplexním modelování,obsahujícím tři rovnocenné činnosti:heuristiku,experiment a výpočet.

1. Identifikace zatížení v ložiskovém prstenci klikové skříně

Klikové skříně patří mezi ty části motoru,které rozhodují o jeho spolehlivosti a životnosti.Při návrhu motorů je proto nutné zabývat se problémy jejich tuhosti a pevnosti.Současné progresivní přístupy ke konstruování spočívající v počítačové podpoře inženýrství vyžadují,aby tyto problémy byly řešeny progresivními přístupy a metodami počítačově orientovanými,aby vycházely z komplexního posouzení možností,jak problém řešit a spočívaly v komplexním,aktivním propojení heuristiky,experimentu a výpočtu. Pro řešení deformace a napjatosti klikových skříní je v současné době možno použít programové systémy pro prostorové,kontaktní a stěnodeskové typy úloh.Jejich realizace ovšem vyžaduje v případě mnohoválcových motorů výkonné počítače a značné náklady na realizaci.Proto se projevují tendence vytvářet jednodušší výpočtové modely klikových skříní.Zadále,nutná úrovňová vyváženost při komplexním modelování problémů vyžaduje,aby na patřičné úrovni s numerickými metodami,byly i geometrické a silové okrajové podmínky a materiálové charakteristiky.

Tyto problémy,v návaznosti na základní výzkum silové identifikace, byly řešeny při vývoji motorů TATRA T13 pro nákladní automobily.Cílem bylo zvýšení spolehlivosti klikových skříní a vypracování metodiky pro jejich počítačově orientované návrhy.

Byly realizovány rozsáhlé experimenty pro určení deformace a napjatosti klikových skříní,zejména za chodu motoru při použití především odporové tenzometrie.

Byly získány nové poznatky o deformaci a napjatosti klikových skříní,které umožnily vytvořit jejich jednodušší experimentální a matematické modely.Poznatkem zásadního významu bylo,že napjatost a deformaci meziválcových přepážek /obr.1/klikové skříně je možno vyšetřovat izolovaně.Přepážku lze považovat za rovinné těleso,zatížené v místech kotvení šroubů válcových jednotek silami v těchto šroubech a po obvodě ložiskového prstence spojitým měrným tlakem.Tento tlak,který je silovou okrajovou podmínkou při řešení napjatosti přepážky MKP,nelze stanovit experimentálně.K jeho určení byl použit programový systém INDAN [2],[3] pro identifikaci silových okrajových podmínek,založený na opakovaném řešení přímé úlohy a minimalizaci odchylek vypočtených a naměřených deformačních parametrů.Triangulace poloviny přepážky,řešené jako rovinné těleso s proměnnou tloušťkou je na obr.2.Vstupy do matematického algoritmu tohoto systému tvořily poměrná přetvoření naměřená tenzometricky po obvodě ložiskového prstence /obr.1/,identifikace stykového tlaku byla realizována pro různé provozní režimy motoru,různé polohy klikového mechanismu a pro zážehy v jednotlivých válcích motoru.Ukázka identifikovaného stykového tlaku pro jednu polohu kliky a pro zážehy ve dvou přepážce přilehlých válců je na obr.3,je zde zakreslen i průběh poměrných přetvoření po obvodě ložiskového prstence stanovených z identifikovaného stykového tlaku přímou úlohou metody konečných prvků,která je součástí systému INDAN.Propojení identifikační a přímé úlohy v interaktivním pojetí výrazně zkracuje proces návrhu klikových skříní a umožňuje jejich tvarovou optimalizaci s ohledem na jejich deformaci a napjatost.

2. Identifikace stykového tlaku na rámu

Uzavřené rámy jsou základním prvkem mnohých strojírenských zařízení,např.lisů,válcovacích stolic a pod.Jsou převážně zatíženy stykovými tlaky v místech styku s jinými tělesy.V rámci testování systémů pro silovou identifikaci byla provedena identifikace stykového tlaku v místech podlážky AB u rámu dle obr.4.Pro výpočtovou část identifikační úlohy byly použity systémy INDAN a INPET(inverzní varianta deformační metody MKP [4] /.

Vstupními veličinami do výpočtových algoritmů těchto systémů byly experimentálně stanovené posuvy a poměrná přetvoření v blízkém okolí stykové plochy. Jejich určení předcházela měření fotoelasticimetrická a měření křehkými laky. Posuvy byly měřeny setinovými a tisícinovými hodinkami a dále snímači založenými na tenzometrickém principu. K měření přetvoření byly použity tenzometry Hottinger se základnou 1,5 mm. Měření se opakovala ve třech různých časových obdobích při statisticky významných počtech zatěžovacích cyklů. Ukázka průběhu posuvů podél styčné plochy je na obr.5. K posouzení přesnosti měření posuvů u tisícinovými hodinkami uvádíme měření posuvu na osy symetrie rámu. Střední hodnota $\bar{u}$ = 0,82766 mm byla získána z 36. měření. Směrodatná odchylka náhodné veličiny u byla $\sigma(u)$ = 0,00528 mm a intervalový odhad střední hodnoty $\bar{u}$ pro 95% spolehlivosti byl $\langle 0{,}8273 , 0{,}8280 \rangle$, maximální rozptyl měřených hodnot posuvů byl 0,026 mm. Maximální rozptyl měřených poměrných přetvoření (měřilo se v 50-ti místech poblíž stykové plochy) byl 28 μm/m při nominálních hodnotách kolem 600 μm/m.

Počítačové experimenty při testování algoritmu systému INPET ukázaly, že minimálním požadavkem na přesnost měření jsou 4 platná čísla. To znamená, že při nominální hodnotě posuvu 1 mm by bylo nutné měřit s přesností tisíciny, při nominální hodnotě ε = 1000 μm/m s přesností 1 μm/m, což jsou přesnosti v současné době běžnými měřidly v technické praxi nedosažitelné. Řádově menší požadavky na přesnost měření má systém INDAP. Průběh stykového tlaku určený z naměřených posuvů algoritmem systému INDAP je na obr.6. Je v dobrém souladu s průběhem tlaků získaných dvěma různými programovými systémy pro kontaktní úlohy.

3. Charakteristiky identifikačního experimentu

Experiment v uvedených příkladech silové identifikace lze označit jako identifikační. Jeho posláním je získat informační obsah o vyšetřovaném objektu pro řešení identifikačního problému. Na rozdíl od jiných typů experimentů je pro IE charakteristické:

a) je nedílnou součástí identifikační úlohy, pro jejíž výpočtový algoritmus experimentálními metodami zjišťuje vstupní údaje
b) musí být realizován v podmínkách, v nichž experimentátor ví, k čemu budou sloužit výstupy experimentu a výpočtáři je známo, jak a čím se bude experiment realizovat

c) jeho součástí je plánování měření, jehož úkolem je navrhnout měřící místa tak, aby byla zajištěna dobrá podmíněnost výpočtového algoritmu identifikační úlohy (obvykle na základě simulací a počítačového experimentování) a sestavit plán měření, který zajistí optimálnost statistických charakteristik z hlediska specifik řešeného problému
d) realizuje se především jako součást komplexního modelování [5] .

Závěr

Nové přístupy v rámci počítačově orientované podpoře konstruování vyžaduje progresivní přístup k experimentu jako nedílné součásti komplexního modelování technických problémů. Objektivní potřeba identifikačních úloh pro řešení problémů, jejichž součástí je identifikační experiment, staví experiment do role rovnocenného partnera s výpočtem.

Literatuta:

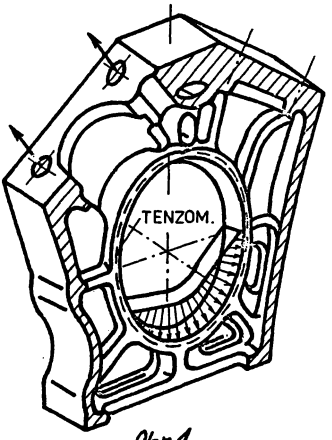
[1] Janíček P.: Přetvoření a napjatost klikové skříně motoru TATRA.
Výzkumná zpráva - FS VUT Brno, 1985

[2] Kolektiv : Algoritmy a metody pružnostně pevnostní identifikace.
Závěrečná zpráva státního úkolu - FS VUT Brno, 1985

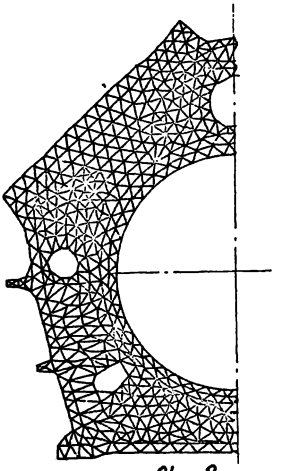
[3] Hajduk D.: Programový systém pro silovou identifikaci.
Rukopis článku pro Strojnický časopis

[4] Petruška J.: Stanovení silového zatížení jako inverzní úloha.
Kandidátská disertační práce, Brno 1984

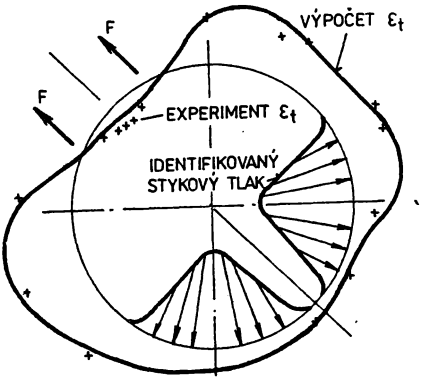
[5] Ondráček E., Janíček P.: Výpočtové modely v technické praxi.
Rukopis knihy v SNTL Praha



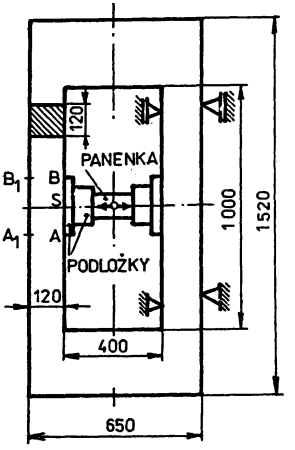
Obr. 1.



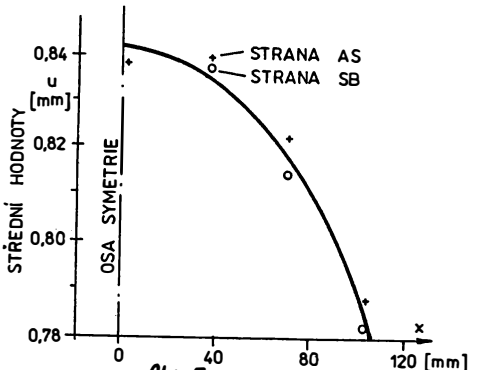
Obr. 2.



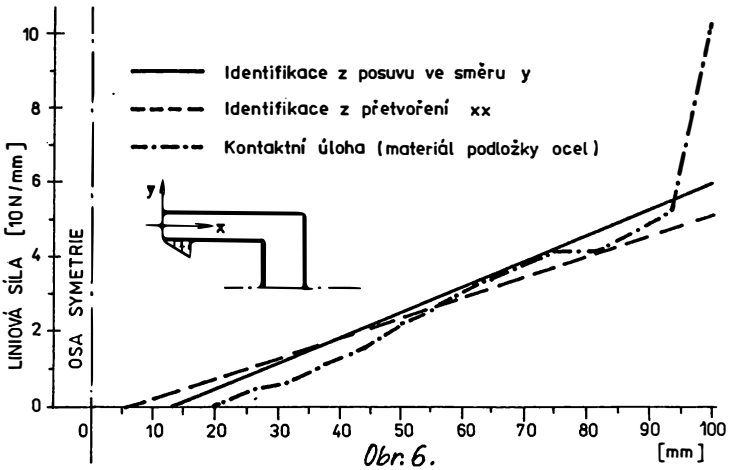
Obr. 3.



Obr. 4.


0,84
u
[mm]
0,82
0,80
0,78
STŘEDNÍ HODNOTY
OSA SYMETRIE
STRANA AS
STRANA SB
x
0
40
80
120 [mm]

Obr. 5.


10
8
6
4
2
0
LINIOVÁ SÍLA [10 N/mm]
OSA SYMETRIE
Identifikace z posuvu ve směru y
Identifikace z přetvoření xx
Kontaktní úloha (materiál podložky ocel)
y
x
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
[mm]

Obr. 6.