



# BULLETIN

1

**ČESKOSLOVENSKÁ SPOLEČNOST PRO MECHANIKU  
PŘI ČSAV**

**1984**

# BULLETIN 1'84

Při příležitosti začátku roku 1984 považujeme za vhodné uvést několik myšlenek z projevu předsedy ČSAV akademika Bohumila Kvasila předneseného na XLV. Valném shromáždění členů ČSAV.

"Charakteristickým rysem současného období života naší společnosti je snaha o co nejúčinnější využití vymožeností vědeckotechnické revoluce v procesu výstavby rozvinutého socialismu. Cesta k rychlejšímu a účinnějšímu uplatňování výsledků základního výzkumu spočívá především v nejužší integraci vědy a výroby. Pochopení naléhavosti plného využití vědeckotechnického rozvoje je klíčem k zabezpečení intenzivního rozvoje našeho národního hospodářství, k zvýšení kvality a efektivnosti výroby i produktivity práce. Nezbytnou podmínkou rychlé aplikace vědeckotechnických poznatků ve výrobě je základní zdokonalení mechanismu řízení, které by odpovídalo novým náročným podmínkám současné vývojové etapy naší společnosti.

V současné etapě společenského rozvoje a vědeckotechnické revoluce dochází nutně k rozporu mezi tempem rozvoje vědeckého poznání a mezi schopnostmi výroby i výchovně vzdělávací soustavy absorbovat nové poznatky. Jako kategorický imperativ doby proto vystupuje do popředí požadavek řešit tento rozpor tak, abychom nacházeli stále účinnější formy spojování vědy s výrobou, aby školský i mimoškolský vzdělávací systém efektivně zprostředkovával nové vědecké poznatky mladé generaci, všem vrstvám pracujícího lidu. K tomu musí svým dílem, spoluprací se školskými i dalšími vzdělávacími institucemi, přispět i ČSAV.

Je nutno dbát, aby při zprostředkování výsledků vědy jako významné složky formování tvůrčího potenciálu socialistického člověka se zvyšoval výsledný společenský efekt výchovně vzdělávacího systému. Jde o to, aby vzdělanostní, kvalifikační a celková kulturní úroveň lidí umožňovala přechod k intenzifikaci rozvojových procesů ve výrobě i v ostatních společenských oblastech. Skutečností je, že reálné společenské efekty neodpovídají v tomto směru našim potřebám ani současným možnostem. Potvrzuje to konečně i pomalé tempo zavádění vědy a moderní techniky do společenské praxe. Příčinou tohoto málo uspokojivého stavu nejsou však jenom tak často kritizované nedostatky v systému řízení a plánování, v řídící a organizátorské práci, ale i negativní jevy, cizí socialismu, projevující se ve společenské pasivitě i konzumním přístupu k životu, v nezdravém individualismu a v prosazování partikulárních zájmů na úkor celé společnosti apod. Řešení těchto problémů se neobejdě bez seriózní a hluboké teoretické analýzy."

Předsednictvo  
Čs. Společnosti pro mechaniku  
při ČSAV

B U L L E T I N

1/1984

čs. Společnosti pro mechaniku při ČSAV

vydává čs. Společnost pro mechaniku při ČSAV  
ve spolupráci s Jednotou čs. matematiků a fyziků v Praze

odpovědný pracovník: Ing. Rudolf Dvořák, CSc.  
vědecký tajemník Společnosti

redakce Bulletinu: Ing. Miloslav Okrouhlík, CSc.  
Ústav termomechaniky ČSAV  
Praha 6, Puškinovo nám. 9, tel. 32 49 86

Ing. František Havlíček, CSc.  
SVÚSS, Praha 1, Husova 8, tel. 24 77 51, 1.5

adresa sekretariátu: Vyšehradská 49, 128 00 Praha 2

určeno členům čs. Společnosti pro mechaniku při ČSAV

tiskne: Polygrafie 6 /Prometheus/, Praha 8

evid.č. UVTEI 79 038

Dne 11. ledna t.r. se ve velké zasedací síni Ústavu teoretické a aplikované mechaniky ČSAV sešlo mimořádné Valné shromáždění Čs. Společnosti pro mechaniku při ČSAV, aby ve smyslu čl. 21 nových stanov schválilo návrh nové struktury Společnosti.

Již tradičně byl program doplněn přednáškou, kterou přednesl člen korespondent ČSAV prof. Rudolf Pešek na téma spojení s mimozemskými civilizacemi. Přednáška, doplněná zajímavými diaforemami, byla v podstatě přehledem a zhodnocením jednání stejnojmenné sekce 34. mezinárodního astronautického kongresu, který se konal v létě 1983 v Budapešti. Prof. Pešek v ní ukázal na současný stav výzkumu v této oblasti i na perspektivy celé problematiky.

O nové struktuře Čs. Společnosti pro mechaniku při ČSAV podrobně informoval její místopředseda doc. Ing. J. Javornický, DrSc. Objasnil důvody, které vedly předsednictvo a hlavní výbor k návrhu nové struktury, která by měla umožnit plné rozvinutí klasických i nových perspektivních oborů mechaniky i účinnější přenos teoretických výsledků do aplikativní sféry. Předsedové, ev. zástupci jednotlivých sekcí tuto informaci doplnili o detailní zaměření příslušných sekcí.

Valné shromáždění pak jednomyslně navrženou strukturu schválilo.

O činnosti Společnosti v r. 1983 informoval vědecký tajemník Ing. Rudolf Dvořák, CSc. Uvedl, že podobně jako v předchozích letech a v souladu se zásadním zaměřením činnosti Společnosti, vytyčeným v plánu na tuto pětiletku, byla činnost Společnosti i v r. 1983 vedena snahou o maximální podporu nejdůležitějších úkolů státních programů rozvoje vědy a techniky, cílového projektu ČSAV č. 607 a oborově příslušných úkolů státního plánu badatelství výzkumu. Prostřednictvím přednášek, specializovaných seminářů i neformálních besed přispívala Společnost rychlému a efektivnímu přenosu výsledků základního i aplikovaného výzkumu do praxe.

Kromě toho se uskutečnila řada mezioborových přednášek, ev. přednášek, které sledovaly dopad příslušného oboru v našem životě a národním hospodářství.

Celkově odeznělo v r. 1983 v jednotlivých odborných skupinách 80 samostatných přednášek, bylo uspořádáno 15 výsoce hodnotných seminářů a 21. celostátní konference o experimentální analýze napětí. Na těchto akcích odeznělo celkem 176 přednášek. Navíc proběhla 2 seminářní školení aktivu stavební mechaniky, uspořádané pracovní skupinou "Teorie inženýrských konstrukcí".

Přehled samostatných přednášek je uveden v Bulletinu. U seminářů jsou uvedeny názvy a pořádající skupina. Z většiny jsou vydány sborníky, které jsou uloženy v sekretariátu Společnosti.

Ke konci roku 1983 má Společnost 580 individuálních členů a 5 členů kolektivních - kp. ŠKODA Plzeň, ČKD Praha - Závod Komprese, kp. ELITEK Liberec, kp. SIGMA Olomouc a kp. VÍTKOVICE Ostrava.

Zprávu o hospodaření Společnosti v r. 1983 přednesl hospodář Ing. Zdeněk Moravec, DrSc.

V závěru jednání předložil předseda Společnosti člen korespondent ČSAV doc. Ing. Jaroslav Valenta, DrSc. návrh hlavního výboru, aby čestnými členy Společnosti byli zvoleni člen korespondent ČSAV prof. Ing. Karel Juliš, DrSc. a člen korespondent ČSAV prof. Ing. Dr. Rudolf Pešek, DrSc.

Prof. Ing. Karel Juliš, DrSc. člen korespondent ČSAV se narodil 10. 11. 1929 v Praze. Po absolvování FSI ČVUT úspěšně ukončil v r. 1950 pod vedením akademika Kožešníka vědeckou aspiranturu v oboru mechaniky strojů. Pak přešel do tehdejšího Výzkumného ústavu tepelné techniky v Praze, dnešního SVÚSS. V r. 1964 se habilitoval v oboru technické mechaniky na FSI ČVUT v Praze a r. 1973 byl jmenován profesorem mechaniky. Na téže fakultě byl od r. 1971 vedoucím katedry mechaniky a vytvořil tu moderní pojetí přednášek z experimentální mechaniky a dynamiky rotorů.

V r. 1970 byl ustanoven ředitelem Státního výzkumného ústavu pro stavbu strojů /SVÚSS/. Od r. 1973 do r. 1981 včetně byl předsedou Vědeckého kolegia mechaniky a energetiky ČSAV. R. 1978 byl zvolen členem korespondentem ČSAV.

Za vynikající vědeckou a realizační činnost v oblasti dynamiky rotorů a lopatek energetických strojů získal v r. 1964 Státní cenu Klementa Gottwalda. V r. 1977 mu bylo uděleno státní vyznamenání Za vynikající práci a v r. 1979 mu presidium ČSAV předalo stříbrnou plaketu Fr. Křížka za zásluhy o rozvoj technických věd.

Prof. Juliš byl v letech 1972 - 1979 předsedou Čs. Společnosti pro mechaniku při ČSAV. Pod jeho úspěšným vedením byla Společnosti presidium ČSAV udělena stříbrná plaketa Fr. Křížka za zásluhy o rozvoj technických věd.

Člen korespondent Juliš zastává rovněž významné celospolečenské funkce a podílí se na řešení závažných národnohospodářských úkolů; byl předsedou technické komise FMHTS pro zvyšování spolehlivosti velkostrojů a předsedou stálé technické rady FMHTS pro spolehlivost zařízení tepelných elektráren; předsedá Komisi

městského výboru KSČ pro závazkové hnutí za spojení vědy s výrobou, místopředsedou ČKVH, místopředsedou Strojnické společnosti ČSVTS a v poslední době je děkanem Strojní fakulty ČVUT v Praze.

Je spoluautorem významné knižní monografie "Základy dynamického vyuvažování", autorem řady vědeckých prací /27/, výzkumných zpráv /60/ a patentů /3/. Je předsedou redakční rady časopisu Strojírenství, členem vědeckých rad československých výzkumných ústavu atd.

Pro všechny své zásluhy i pro několikaletou obětavou práci pro Společnost si podle našeho názoru plně zasluzuje jmenování čestným členem Čs. Společnosti pro mechaniku při ČSAV.

Prof. Dr. Ing. Rudolf Pešek, DrSc., člen korespondent ČSAV se narodil 7. 4. 1905 v Praze. Po maturitě na Čs. státní reálce v Praze vystudoval na Vysoké škole strojního a elektrotechnického inženýrství. Absolvoval v r. 1928, doktorát technických věd v r. 1936.

Pracoval jako konstruktér Vojenského technického ústavu, jako statik a aerodynamik ve Vojenské továrně na letadla LETOV. Od května 1945 do října 1951 profesor aerodynamiky a ředitel Učebního běhu pro letectví na ČVUT v Praze. Ve školním roce 1949/50 děkanem Vysoké školy strojního a elektrotechnického inženýrství v Praze. Po zrušení studia letectví v Praze byl vedoucím aerodynamického oddělení ve VZLÚ. Od r. 1954 vedoucím katedry hydromechaniky a termodynamiky na fakultě strojního inženýrství ČVUT v Praze do října 1972, kdy odešel do důchodu. Celkem 18 let činnosti v leteckém průmyslu a výzkumu a 27 let činnosti na vysoké škole.

Po osvobození 1945 byl zvolen členem tehdejších čs. vědeckých institucí: Masarykovy akademie práce i její Vědecké rady. Byl tajemníkem technického odboru Národní rady badatelství. Tam působil do zrušení uvedených institucí r. 1952, kdy byla zřízena Čs. akademie věd. V listopadu 1956 zvolen členem korespondentem ČSAV. Od února 1956 vědecká hodnost doktora technických věd. Rádný člen Mezinárodní astronautické akademie od jejího založení v r. 1960. Člen /Associated Fellow/ American Institute of Aeronautics and Astronautics od r. 1961.

Publikační činnost lze zařadit do 4 linií:

- 1/ O stabilitě letadel u nás i v zahraničí /Francie/.
- 2/ O pokrocích aerodynamiky, nových způsobů pohonu letadel, raketové techniky.
- 3/ O problémech astronautiky v časopisu Vesmír, Journal IAS; jako vědecký redaktor pracoval na Mnohojazyčném astronomickém slovníku /vyd. Academia 1969/.
- 4/ O možnosti spojení s mimozemskými inteligencemi /Vesmír, Letectví a kosmonautika, Acta Astronautica, The World in Space/.

Je předsedou Astronautické komise ČSAV od jejího založení, vedoucím skupiny pro leteckou dopravu v Komisi presidia ČSAV pro dopravu, členem presidia a předsedou technické sekce Mezinárodní astronautické akademie od jejího založení dodnes, předsedou výboru pro spojení s mimozemskými inteligencemi /CETI/ při Mezinárodní astronautické akademii. Organizoval 12 mezinárodních výročních zasedání s uvedenou problematikou. Byl místopředsedou /vice-president/ Mezinárodní astronautické federace v letech 1960-61, 1964-66, 1973-74 a 1976-78.

Je nositelem Felberovy zlaté medaile /1970/, Křížíkovy zlaté plakety /1970/, je zasloužilým pracovníkem čs. letectví /1968/.

Je členem Čs. Společnosti pro mechaniku při ČSAV od jejího založení /1956/ a od počátku její existence je nepřetržitě členem jejího hlavního výboru, kde nejednou přispěl svou radou i bohatými zkušenostmi při řešení různých závažných otázek. Jeho přednášky z aeronautiky a astronautiky, které ve Společnosti mnohokrát přednesl, se vždy těšily velikému zájmu a byly vždy obsazeny do posledního místa.

Pro obsáhlou celoživotní vědeckou činnost i pro zásluhy člena korespondenta Peška o čs. Společnost pro mechaniku při ČSAV bylo na zasedání hlavního výboru Společnosti dne 11. 5. 1983 navrženo a jednohlasně schváleno jeho jmenování čestným členem.

Oba návrhy byly Valným shromážděním jednomyslně schváleny.

#### STATISTIKA ČINNOSTI ČS. SPOLEČNOSTI PRO MECHANIKU PŘI ČSAV V ROCE 1983

##### Přednášky

5. 1. Ing.M.Štěpánovský,CSc.	Možnosti využití strukturovaného programování v naší praxi-2.část	Plzeň
11. 1. Ing.V.Svoboda,CSc.	Turbokompresory ČKD pro průmyslové využití	TM
13. 1. Doc.ing.Kadrnožka,CSc.	Ekonomické zhodnocení použití akumulátorů tepla	Brno
18. 1. RNDr.M.Hrabovský,CSc.	Problematika vyhodnocování EAN deformací při použití metod holografické interferometrie	EAN
25. 1. Ing.M.Tichý,DrSc.	Zatížení stavebních konstrukcí	TIK
25. 1. Doc.ing.J.Feda,DrSc.	Měření součinitele kópíru v trojosém přístroji	GM
27. 1. Ing.O.Kropáč,CSc.	Vědecké plánování exp. výzkumu	EAN
8. 2. Doc.ing.J.Feda,DrSc.	Prosedavost spraše ze Sedlce	GM
10. 2. Ing. Wasgestián	Měření namáhání silnostenných nádob při extrémních teplotách	Brno
16. 2. Ing.L.Lukáš,CSc.	Některé pojmy funkcionální analýzy užívané v teorii pružnosti	Plzeň

22. 2. Doc.ing.L.Pruška,DrSc.	Sjednocení výpočtu sedání GM staveb		19. 4. Ing.J.Valha,CSc.	Komplexní návrh průtočné čá- Let sti turbiny
2. 3. Prof.dr.ing.Jerie,DrSc.	Teploforní pole ve spalova- Let cích komorách turbinových motorů		19. 4. RNDr.J.Benda	Přehled numerických metod PT řešení Navier-Stokesových rovnic
7. 3.	Dynamika a vědecké expe- DDPC rimenty na oběžné dráze - vědecká rozprava		21. 4. Ing.B.Pospíšil,CSc.	Základy nauky o mezních sta- Plzeň vech pro pevnostní výpočty
8. 3. Ing.J.Rybář,CSc.	Zkušenosti ze studijní GM cesty do SRV		26. 4. Ing.J.Masopust,CSc.	Zakládání mostů na poddolo- GM vaném území
9. 3. Ing.J.K.Němec,CSc.	Problémy zaměření výzkumu TM v oboru naftových motorů		27. 4. Doc.ing.A.Bradáč,CSc.	Dynamika při technické ana- Let lýze nehod dopravních pro- středků
16. 3. Ing.V.Pětrovský,CSc.	Mechanický model reaktoru Plzeň VVER 440 pro studium dyna- mických vlastností		3. 5. RNDr.J.Benda	Přehled numerických metod PT řešení Navier-Stokesových metod
22. 3. Doc.ing.M.Škaloud,DrSc.	Stabilitní problémy tenko- TIK stěnných konstrukcí		10. 5. Ing.M.Kučera	Populační problémy světa TM
22. 3. Doc.ing.V.Křístek,DrSc.	Projevy smykového ochabnu- TIK tí v širokých pásech tenko- stěnných mostů		10. 5. Ing.M.Doležalová,CSc.	Analýza drah přetvoření ze- GM min, naměřených in situ a v laboratoři
22. 3. Ing.J.Příhoda,CSc.	Výpočet mezní vrstvy Let v turbulentním proudění		11. 5. Ing.L.Lukáš,CSc.	Metody řešení variačních TM úloh 2.část
24. 3. Doc.ing.E.Ondráček,CSc.	Filozofie moderního pev- Brno nostního hodnocení mecha- nické soustavy		28. 4. Prof.ing.V.Krupka,DrSc. člen koresp.ČSAV	Trend v současném řešení Brno ocelových nádob
24. 3. Ing.V.Cyrus,CSc.	Respektování sekundárního PT proudění při výpočtu osově symetrického proudění v axiálním kompresoru		17. 5. Ing.J.Ryska,CSc.	Vliv skladby kvaziizotrop- ních uhlíkových kompozitů Let na jejich napjatost a roz- voj poruch
24. 3. Ing.V.Brož	Využití holografie ve fo- EAN toelasticimetrii		24. 5. Dr.N.F.Poljakov /SO AVSSSR/ Novosibirsk	Struktura poruch rychlosti PT laminární mezní vrstvy při zvýšené turbulenci vnějšího proudu
31. 3. Ing.P.Jaroš,CSc.	Zbytková a technologická EAN pnutí a jejich stanovování		24. 5. prof.R.E.D.Bishop,CBE, Fell.Eng. /londýnská univerzita/	Why Do Travlers Capsize? Plzeň /Proč ztroskotávají lodi?/
11. 4. Doc.MUDr.V.Rybka,DrSc.	Biomechanika kolenního BM kloubu a současný stav jeho totální nahradě se zaměřením na anatomické nahradě		24. 5. Ing.M.Doležalová,CSc.	Konstitutivní model zeminy GM pro násypy
11. 4. Dr.A.N.Charitonov	Interakce nesymetrických PZ mezních vrstev v obtíkaném rohu. Odtržení třírozměrné mezní vrstvy při supersonic- ke rychlosti		26. 5. prof.R.E.D.Bishop CBE,Fell.Eng.	A functional representation VZS of fluid action on ships
12. 4. Ing.J.Verfel,CSc.	Zlepšování vlastností zemin GM neklasickou injektáží		2. 6. Ing.J.Machek	Únava materiálu při náhod- MÚPM ném zatížení
13. 4. Ing.J.Zmeko,CSc.	Výzkum osového ložiska hydroalternátoru	Plzeň	8. 6. Ing.F.Maršík,CSc.	Některé problémy transonic- PT kého proudění v lopatkových mřížích
Ing.J.Horák			8. 6. Ing.P.Markov,CSc.	Výpočty vlastního kmitání Plzeň jaderného reaktoru
			9. 6. Doc.ing.J.Slavík,CSc.	Kmitání válcových skořepin Brno plněných kapalinou

15. 6. Ing.J.Žďárek,CSc.	Poznatky o výzkumných a vý- PP počtových pracích pro jader- nou i klasickou energetiku ze studijního pobytu na univer- sitě v Sheffieldu		
14. 6. Doc.Ing.L.Pruška,DrSc.	Mezinárodní symposium o pře- GM tváření a porušování zrni- tých materiálů		
14. 6. Doc.ing.P.Novák,CSc.	Dlouhodobé změny základů TIK velkých strojů		
7. 9. Ing.M.Balda,CSc.	Knihovny algoritmů pro VVT Plzeň na S90		
28. 9. Ing.B.Říha,CSc.	Regulace třírotorových le- Let teckých turbinových motorů		
29. 9. Doc.RNDr.I.Kraus,CSc.	Současné možnosti a perspek- EAN tivy RTG tenzometrie v techn. praxi		
12.10. Ing.J.Stoklasa,CSc.	Ekologie a společensko- TM ekonomický rozvoj		
13.10. Doc.ing.J.Slavík,CSc.	Program statistického hodno- Brno cení souborů dat na počítači HP9825A		
11.10. Ing.K.Socha	Úkoly geotechniky při rekon- strukci lanové dráhy na Petřín		
19.10. Ing.P.Šafařík,CSc.	Analýza experimentálních vý- PT sledků transonickeho proudě- ní v turbinových lopatkových mřížích		
19.10. Prof.J.Rychlowski člen koresp.PAV	Matematické struktury pruž- PP ných těles		
24.10. Ing.O.Fischer,CSc. Doc.ing.M.Pirner,DrSc.	Nové poznatky ve stavební TIK aerodynamice		
25.10. Prof.ing.J.Šimek,DrSc. Doc.ing.J.Feda,CSc. Ing.J.Chloust,CSc.	Zpráva o 8.evropské konfe- MZ renci o mechanice zemin a zakládání staveb v Helsin- kách - 1.část		
27.10. Ing.M.Čenský,CSc.	Příklady fotoelasticimetric- PP kého řešení speciálních pro- blémů s praktickou aplikací		
1.11. Ing.J.Fořt	Numerické řešení trans.obté- kání rovinné lop.mříže užitím potenciální rovnice		
2.11. Ing.V.Froněk,CSc. Ing.J.Kovařík	Přestup tepla v rotujícím Plzeň kanálu		
2.11. Prof.ing.V.Brož,CSc.	Letadla na pařížském aero- Let salonu 83		
		8.11. Prof.Ing.J.Šimek,DrSc. Doc.ing.J.Feda,CSc. Ing.J.Chloust,CSc.	Zpráva o 8.evropské konfe- MZ renci o mechanice zemin a zakládání staveb v Helsin- kách - 2.část
		9.11. Ing.B.Pospíšil,CSc.	Výpočet pevnosti a život- Plzeň nosti strojních součástí
		9.11. Ing.O.Osvárd	Mikroprocesory a mikropočí- TM tače a jejich využití v průmyslu
		8.11. Ing.R.Masopust,CSc. Ing.J.Podroužek Ing.B.Rejent,CSc. Ing.L.Pecínka,CSc.	Seismická odolnost konstruk- TIK cí a zařízení jaderných elektráren
		16.11. Prof.ing.A.Málek,CSc.	Motory na pařížském aero- Let salonu 83
		16.11. Prof.J.S.Vorobjev	Současné modely lopatkového Plzeň zařízení turbostrojů
		22.11. Ing.Z.Kysela,CSc.	Statické posuzování geotexti-MZ lií v zeminách
		23.11. Ing.J.Žďárek,CSc.	Únavy za podmínek víceosého MÚMP namáhání
		24.11. Ing.O.Lébl	Zkrácené únavové zkoušky
		29.11. Ing.P.Rozsypal	Transonické obtékání profilu v kanálu
		6.12. Prof.J.Dyban AN USSR Kijev	Výzkum mezních vrstev v ITIF TM
		13.12. Prof.P.Peter,DrSc.	Teoretické problémy navrho- MZ vání a budování filtrů
		13.12. Ing.P.Rozsypal	Transonické obtékání profilu v kanálu
		14.12. Ing.V.Pětrovský,CSc.	Přechodové torzní kmitání Plzeň rotorů
		21.12. Ing.V.Květ	Ultrazvuk v biomechanice BM
			<u>Semináře</u>
		9. 2. Problematika experimentálních metod mechaniky	EAN
		30. 3. Vývoj a hodnocení kompozitních materiálů pro MSMS stavebnictví	
		5.-6.4. Výzkum a zlepšování lopatkových mříží pro lop. Plzeň stroje	
		21.4. Dynamické vyšetřování základů strojů	SM

Semináře

- |  |       |
|--|-------|
| 9. 2. Problematika experimentálních metod mechaniky              | EAN   |
| 30. 3. Vývoj a hodnocení kompozitních materiálů pro stavebnictví | MSMS  |
| 5.-6.4. Výzkum a zlepšování lopatkových mříží pro lop. stroje    | Plzeň |
| 21. 4. Dynamické vyšetřování základů strojů                      | SM    |

17.-18.5.	Současný stav pevnostních a dynamických řešení pohonů válcovacích stolic	Brno
25.-28.5.	21. konference EAN	EAN
22. 6.	Vybrané problémy z tribologie	ČSSM
27.-29.9.	Diagnostika zařízení jaderných elektráren	Plzeň
4.-5. 10.	Interakce stavebních konstrukcí a technologie elektráren a podobných průmyslových staveb	Plzeň
12. 10.	Poznatky z 8.IAVSD/IUTAM Symposia,M.I.T. USA	DDPC
27. 10.	Fyzikálně definované plochy, tvary a struktury	BM
8. 11.	Seismická odolnost konstrukcí a zařízení jaderných elektráren	TIK
1. 12.	Interakce vrchní stavby s podlažím	TIK
13.-14.4.	Dynamika lomu a chování materiálů za vysokých rychlostí namáhání	EAN
23. 11.	Biomechanika v rehabilitaci	BM

#### EAN - Bulletin ČSSM

Pravidelný seminář G.A.M.A.C. se konal v listopadu 1983 v Paříži. Na programu byly přednášky na velmi aktuální téma: Měření konstant pružnosti dřeva sondami na živých stromech /Bucur/, Odnímatelný snímač deformací dřeva /Guirard a Vautrin/, Aplikace dynamické fotoelasticimetrie při experimentálním výzkumu vlivu využití na brzdění trhlin v křehkém materiálu /Cotron a spol./, Experimentální výzkum válcových skořápek při přítomnosti geometrických imperfekcí /Waeckel a spol./, Pokroky v analýze napětí pomocí X-difraktometrie /Maeder/, Uplatnění X-difraktometrie při studiu únavového chování ocelí /Castex/, Uplatnění X-difraktometrie v lomové mechanice /Bignonnet a spol./.

Je pravděpodobné, že příspěvky budou postupně publikovány v časopise R.F.M.

Struktura Čs. Společnosti pro mechaniku při ČSAV, schválená Valným shromážděním Společnosti 11. 1. 1984	
SEKCE	mechanika tuhých a podlajníček prostředí
	Křupka, F. Valenta
ODBORNÉ SKUPINY	experimentální biomechanika
	Javornický Zemáneková
	biomechanika zemin a hornin
	Pruška, Kyseľa
	seismické inženýrství
	Schenk, Fischer
	numerické metody v geomechanice
	Kolář, Doležalová
	experimentální biomechanika
	Klimeš, Musil
	biomateriály
	Jitrová, Žák
	Poznámka: Čárkováně jsou označeny dlepravované skupiny, kterými bude doplněna současná struktura Společnosti
PRACOVNF SKUPINY	Turbokomprezory - Daněk, Škvor
	Letecký - Jerie Brož
	Teorie inženýr. staveb, konstrukcí - Frýba /Štialoud, Kříštek
	Dynamika dopravních prostředků a cest - Špring, Rus
	Energetická zařízení - se sídlem v Plzni, Šťastný
	Textilní stroje - se sídlem v Liberci, Václavík, Stříž
	Čerpací technika - se sídlem v Olomouci, Skaličká
	Teorie zemních a podzemních konstrukcí, Píchal, Kameníček

Čs. Společnost pro mechaniku při ČSAV zajišťuje práci 1. národního komitéte INTOM 2. národního komitéte pro mechaniku zemin a základní staveb

# METODA KONEČNÝCH PRVKŮ A OKRAJOVÁ INTEGRACE

Prof. Ing. Cyril Höschl, Ústav termomechaniky ČSAV

V posledním dvacetiletí se velmi rozšířila metoda konečných prvků. Je to numerická metoda k řešení úloh z nejrůznějších odvětví mechaniky pevné i tekuté fáze. Lze ji aplikovat všude tam, kde se hledá stacionární hodnota nějakého funkcionálu, odvozeného buď z variačního principu nebo metodou vážených reziduí. Podstata metody konečných prvků je stejná jako podstata Ritzovy nebo Gelerkinovy metody. Rozdíl je jen ve způsobu, jakým se vybírá bázové funkce, v jejichž prostoru hledáme přibližné řešení.

Označme definiční oblast  $\Omega$  a její hranici  $\Gamma$ . Budeme hledat nějaké neznámé skalární nebo vektorové pole  $\varphi(x)$

$x \in \Omega$ , s příslušnými okrajovými podmínkami předepsanými pro  $x \in \Gamma$ . Uvnitř a na hranici definiční oblasti zvolíme množinu uzlových bodů  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Při řešení se nejprve omezíme na vyhledání hodnot  $\varphi_i = \varphi(x_i)$  neznámé funkce v uzlových bodech. Tím omezujeme původní nekonečný počet stupňů volnosti na pouhých  $n$  stupňů. Uzlové body spojíme pro větší názornost sítí.

Používáme-li diferenční metodu, je výhodné, je-li tato síť pravidelná. Hodnoty derivací, které vstupují do diferenciální rovnice nebo do variační úlohy, vypočteme z funkčních hodnot v uzlových bodech užitím Taylorových řad, v nichž omezíme počet členů. Tím vzniká chyba metody, jejíž velikost závisí na jemnosti zvolené sítě. Místo diferenciální rovnice pro funkci

$\varphi(x)$  pak dostaneme soustavu algebraických rovnic pro hodnoty  $\varphi_i$  v uzlových bodech. Hodnoty neznámé funkce v ostatních bodech počítáme - je-li třeba - užitím dešifrovacího algoritmu, který můžeme zvolit dodatečně. Proto se diferenční metoda řadí k nepřímým numerickým metodám.

Metoda konečných prvků je přímou metodou. U ní totiž předem zvolíme závislost, která přiřazuje funkční hodnoty v obecných bodech k funkčním hodnotám v uzlových bodech, ve tvaru

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^n h_i(x) \varphi_i = [H(x)]\{q\}, \quad (1)$$

kde  $[H(x)]$  je matice bázových funkcí  $h_i(x)$  a  $\{q\}$  je vektor obsahující funkční hodnoty  $\varphi_i$  v uzlových bodech  $x_i$ . Metoda konečných prvků se pozoruhodně liší od metody Ritzovy nebo Gelerkinovy tím, jak vybírá bázové funkce. Síť spojující uzlové body rozdělí oblast  $\Omega$  na konečné prvky  $\Omega_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) takové, že

$$\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \dots \cup \Omega_N \cong \Omega, \\ \Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset \text{ pro } i \neq j. \quad (2)$$

Bázové funkce zvolíme tak, aby  $h_k(x)$  byla nenulová pouze v těch prvcích, jež se v uzlovém bodu  $x_k$  stýkají.\*). Pak ovšem integrál

$$J = \int_{\Omega} h_i(x) h_j(x) dx \quad (3)$$

bude nulový, budou-li body  $x_i, x_j$  dostatečně vzdálené /nebudou společně náležet k témuž konečnému prvku/. Bázové funkce budou tedy "skoro ortogonální", budou mít tedy skoro tak výhodné vlastnosti jako trigonometrické funkce ve Fourierových řadách, pro něž např.

$$\int_0^{2\pi} \sin i \theta \sin j \theta d\theta = 0 \quad \text{pro } i \neq j \quad (4)$$

Důsledkem této vlastnosti je např. v teorii pružnosti pásovost matici tuhosti a její zpravidla dobrá podmíněnost [1].

Metoda konečných prvků má mnoho dalších výhod. Algoritmus řešení se nezmění, změní-li se síť prvků, a řešení se nijak nekomplikuje, není-li síť pravidelná. Zato s počtem konečných prvků narůstá objem výpočtů a řešení prostorových úloh bývá už na hranici našich výpočtových možností nebo i za ní.

V některých případech lze tuto nesnáz zmírnit. Je-li např. rotačně symetrické těleso nesymetricky zatíženo, můžeme zatížení rozložit ve Fourierovy složky a místo jedné prostorové úlohy řešit posloupnost roviných úloh pro tyto složky. Výsledné řešení pak dostaneme ve tvaru Fourierovy řady. Nepotřebujeme-li k zí-

\*) Z praktických důvodů definujeme bázové funkce po částech /v každém konečném prvku zvlášt/ pomocí polynomů. Ale to není z hlediska našeho výkladu důležité.

skání užitečných výsledků velký počet členů těchto řad, je uvedený postup výhodný.

Nabízí se však ještě jedna možnost, jak převést řešení úlohy z  $n$ -rozměrného prostoru do  $(n-1)$  rozměrného. Výklad začneme s obyčejným nosníkem.

Diferenciální rovnice ohybové čáry  $y(x)$  štíhlého nosníku je

$$y''(x) + m(x) = 0, \quad (5)$$

kde  $m(x) = M(x)/EJ(x)$  je redukovaný ohybový moment v nosníku s ohybovou tuhostí  $EJ(x)$ . Rovnice (5) platí na intervalu  $0 < x < \ell$  s okrajovými podmínkami např.

$$y(0) = 0, \quad y(\ell) = 0, \quad (6)$$

které odpovídají podepření nosníku. Je-li splněna rovnice (5), musí také platit, že

$$\int_0^\ell w(x) [y''(x) - m(x)] dx = 0 \quad (7)$$

pro jakoukoli váhovou funkci  $w(x)$ , která zůstává na intervalu  $(0, \ell)$  konečná. Nebude-li řešení přesné, nebude rovnice přesně splněna. Aproximace k přesnému řešení  $y(x)$  bude však pravděpodobně tím lepší, čím bude hodnota integrálu v rovnici (7) blíže k nule. Tato myšlenka je základem metody vážených reziduí, kterou se však nyní nebudeme zabývat.

První člen v rovnici (7) budeme dvakrát integrovat per partes. Dostaneme

$$\int_0^\ell wy'' dx = [wy']_0^\ell - [w'y]_0^\ell + \int w'' y dx. \quad (8)$$

O váhové funkci jsme ještě nic nerozhodli. Protože řešení  $y(x)$  dosud neznáme, zvolíme  $w'' = 0$ , takže poslední člen v rovnici (8) odpadne. To znamená, že bude

$$w(x) = C_0 + C_1 x. \quad (9)$$

Dosadíme-li (9) do (8) a odtud do (7), budeme mít

$$(C_0 + C_1 \ell) y'(\ell) - C_0 y'(0) - C_1 y(\ell) + C_1 y(0) + \int_0^\ell (C_0 + C_1 x) m(x) dx = 0. \quad (10)$$

Tato rovnice obsahuje okrajové hodnoty hledané funkce a jejích derivací a ještě dvě integrační konstanty. Pro ně musí vztah (10) platit identicky, neboť jediné omezení, které klademe na váhovou funkci  $w(x)$ , je požadavek linearity (9). Porovnáním koeficientů u hodnot  $C_0$ ,  $C_1$  dostaneme

$$y'(0) - y'(\ell) = \int_0^\ell m(x) dx, \quad (11)$$

$$y(\ell) - y(0) - \ell y'(\ell) = \int_0^\ell x m(x) dx. \quad (12)$$

To jsou však dobře známé Mohrovy věty o momentové ploše.\*). Jsou-li známy geometrické okrajové podmínky, dají rovnice (11), (12) zbývající dvě z okrajových hodnot  $y$ ,  $y'$ .

Pozoruhodné na této spekulativní úvaze je to, že okrajové hodnoty hledané funkce dostaneme, aniž jsme řešili úlohu, uvnitř definiční oblasti. Podaří-li se totéž u prostorové úlohy, získáme hodnoty hledané funkce na povrchu tělesa, aniž budeme potřebovat řešit prostorovou úlohu. Tak by se stalo, že třeba napjatost v povrchové vrstvě tělesa by bylo možno vypočítat řešením úlohy v dvojrozměrné oblasti, a tím obejít nesnáz s nepřehledností a rozdílností prostorových úloh řešených metodou konečných prvků. Tato jednoduchá myšlenka se stala základem metody povrchové integrace.

Zajímáme-li se také o průhyb nosníku uvnitř definičního intervalu, zvolíme váhovou funkci tak, aby platilo

$$w''(x) = -\delta(\xi - x), \quad (13)$$

kde  $\delta(x)$  je Diracova funkce. Když tuto funkci dvakrát zintegrujeme s okrajovými podmínkami  $w(0) = 0$ ,  $w(\ell) = 0$ , které odpovídají podmínek podepření nosníku (6), dostaneme

$$w(x) = G(x, \xi) = \begin{cases} x(1-\xi/\ell) & \text{pro } 0 \leq x \leq \xi, \\ \xi(1-x/\ell) & \text{pro } \xi \leq x \leq \ell. \end{cases} \quad (14)$$

\*) Viz např. TIMOŠENKO, Š.: Pružnost a pevnost, díl I. TVV, Praha 1951, čl. 34. Zde byly odvozeny zcela jiným způsobem.

Částečnou integrací s použitím Hookeova zákona a Cauchyho vztahů, které vyjadřují závislost mezi posuvy a poměrnými deformacemi, dostaneme analogicky k rovnici (8)

$$\int_{\Omega} U_{ki} \delta_{ij,j} d\Omega = \int_{\Omega} u_i(x) S_{kij,j}(A, x) d\Omega + \int_{\Gamma} U_{ki}(A, B) t_i(B) d\Gamma - \int_{\Gamma} T_{ki}(A, B) u_i(B) d\Gamma. \quad (18)$$

zde  $A, x \in \Omega$ ,  $B \in \Gamma$ ,  $t_i = \delta_{ij} n_j$ . Avšak  $S_{kij,j}(A, x)$  je nulové všude kromě bodu  $A$ , kde vzniká Diracova singularita. Takže

$$\int_{\Omega} u_i(x) S_{kij,j}(A, x) d\Omega = -\delta_{ki} u_i(A). \quad (19)$$

Symbol  $\delta_{ki}$  značí Kroneckerovo delta. Přejde-li bod  $A$  na hranici  $\Gamma$ , můžeme poslední integrál v rovnici (18) počítat jen jako limitu. Z integrační oblasti  $\Gamma$  vyjmeme epsilonové okolí bodu  $\bar{A} \in \Gamma$  a dostaneme tak oblast  $\Gamma_h$ . Vyňatou část nahradíme kulovou ploškou  $\Gamma_\varepsilon$  o poloměru  $\varepsilon$ , se středem v  $\bar{A}$ . Pak vypočteme limitu integrálu pro  $A \rightarrow \bar{A} \in \Gamma$

$$\lim_{\Gamma} \int_{\Gamma} T_{ki}(A, B) u_i(B) d\Gamma = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left( \int_{\Gamma_h} + \int_{\Gamma_\varepsilon} \right). \quad (20)$$

První integrál na pravé straně představuje Cauchyho hlavní hodnotu. Druhý integrál dá výsledek, který můžeme zapsat ve tvaru  $(\bar{A} \in \Gamma, B \in \Gamma_\varepsilon)$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma_\varepsilon} T_{ki}(\bar{A}, B) u_i(B) d\Gamma = (c_{ki} - \delta_{ki}) u_i(\bar{A}). \quad (21)$$

Když (19) až (21) dosadíme do (18) a podle (17) položíme na rovně nule, dostaneme okrajovou integrální rovnici

$$c_{ki} u_i(\bar{A}) = \int_{\Omega} U_{ki}(\bar{A}, B) t_i(B) d\Omega - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma_h} T_{ki}(\bar{A}, B) u_i(B) d\Gamma, \quad (22)$$

přičemž  $\bar{A}, B \in \Gamma$ . Rovnice (22) umožnuje vypočítat posuvy  $u_i(B)$  na povrchu tělesa, je-li předepsáno jeho povrchové zatížení  $t_i(B)$ . Nepotřebujeme přitom řešit prostorovou úlohu.

Rozdělíme povrch  $\Gamma$  na konečné prvky, můžeme posuvy  $u_i$  a napěťové vektory  $t_i$  approximovat obdobně ke vztahu (1).

Zde  $G(x, \xi)$  je Greenova "příčinková" funkce. Vzhledem k okrajovým podmínkám odpadnou v rovnici (8) členy s hranatými závorkami a z rovnice (7) vyjde

$$y(\xi) = \int_0^{\ell} G(x, \xi) m(x) dx. \quad (15)$$

Greenova funkce je stejná pro všechny nosníky s okrajovými podmínkami (6). Můžeme ji získat předem. Pak místo řešení diferenciální rovnice (5) počítáme pouze integrál (15).

Pokusíme-li se napodobit uvedený postup v dvojrozměrné nebo trojrozměrné oblasti, narazíme na velkou nesnáz. Určit Greenovu funkci tak, aby splňovala okrajové podmínky na hranici obecného tvaru, je úloha velmi obtížná. Zpravidla se řeší rozkladem na dvě funkce; např. pro dvě proměnné zvolíme

$$G(x, y; \xi, \eta) = \varphi(x, y; \xi, \eta) + f(x, y). \quad (16)$$

Zde  $\varphi(x, y; \xi, \eta)$  je fundamentální řešení, jehož derivace mají v bodě  $\xi, \eta$  singularitu stejného typu jako Greenova funkce; na rozdíl od ní splňuje  $\varphi$  nulové okrajové podmínky v nekonečnu. Funkce  $f(x, y)$  splňuje homogenní diferenciální rovnici a spolu s fundamentálním řešením také okrajové podmínky na  $\Gamma$ .

U metody okrajové integrace vystačíme s fundamentálním řešením, které je zpravidla /u izotropních těles/ jednoduché. Např. v prostorové úloze teorie pružnosti jde o známé Kelvinovo řešení posuvů a napjatosti v nekonečném prostoru, zatíženém v daném bodě  $A(\xi, \eta, \xi)$  osamělou /jednotkovou/ silou. Postup výpočtu naznačíme stručně užitím tenzorové symboliky. Nechť tato jednotková síla působí v bodě  $A \in \Omega$  ve směru osy  $x_k$ . V bodě  $X \in \Omega$  vznikne posuv o složkách  $U_{ki}(A, X)$ . Tomu bude odpovídát pole tenzoru napětí  $S_{kij}$  a na povrchu  $\Gamma$  napěťový vektor  $T_{ki} = S_{kij} n_j$ . Hodnoty odvozené z Kelvinova fundamentálního řešení tedy značíme velkými písmeny. Symbol  $n_j$  znamená složky vnější jednotkové normály. Funkci  $U_{ki}$  použijeme jako váhovou funkci, kterou znásobíme diferenciální rovnici rovnováhy a zintegrujeme přes oblast  $\Omega$ . Analogicky k rovnici (7) dostaneme

$$\int_{\Omega} U_{ki} \delta_{jj,j} d\Omega = 0. \quad (17)$$

Rovnice (22) pak vede k soustavě lineárních algebraických rovnic

$$[A]\{u\} = [B]\{t\}, \quad (23)$$

kde  $[A]$ ,  $[B]$  jsou nesouměrné matice řádu  $3n$ , je-li  $n$  počet uzlových bodů. Vektor zobecněných sil  $\{t\}$  známe a vektor  $\{u\}$  můžeme vypočítat. Uvedeným obratem převedeme metodu okrajové integrace na metodu okrajových konečných prvků ([2] - [4]).

Metoda okrajové integrace dává velmi přesná řešení i pro tělesa se singularitami /s trhlinami/ a pro nekonečná tělesa. Nevýhodou je větší matematická složitost a potřeba znát předem fundamentální analytické řešení, což může být u anizotropních a ne-lineárních materiálů značnou překážkou.

Ačkoli se zdá být metoda okrajové integrace moderní, jsou její podstatné myšlenky tak staré jako sama teorie integrálních rovnic. Dříve však byly podobné metody považovány za těžkopádné a za nevhodné pro praxi. Používaly se jen v mechanice tekutin a v úlohách o potenciálním poli. Pokroky v počítačové technice však vedly k tomu, že se od sedmdesátých let počala metoda okrajových prvků intenzívě rozvíjet. Dnes se uplatňuje zejména v oboru teorie pružnosti /prostorové úlohy, tělesa s trhlinami, kontaktní úlohy/, v geomechanice a v elastoplasticitě. V dynamice narážíme na obtíž, nedáří se totiž získat bez dalších approximací rovnici typu (22), která by se vztahovala pouze k povrchu, takže jsou nutné další obraty, jež výpočet komplikují [5].

Potenciálně velké možnosti poskytuje kombinace obou metod, o nichž jsme se rozhodli dnes pojednat. Když o těchto možnostech referovali r. 1979 Zienkiewicz, Kelly a Bettes, dali svému příspěvku název "Svatba podle módy. Nejlepší z obou světů /konečných prvků a okrajových integrálů/" [6].

#### LITERATURA

- [1] COOK,R.D.: Concepts and applications of finite element analysis /2.vyd./. John Wiley, New York 1981.
- [2] BREBBIA,C.A.: The boundary element method for engineers. Pentech Press, London 1978.
- [3] BREBBIA,C.A.-WALKER,S.: Boundary element techniques in engineering. Newnes-Butterworth, London 1980.
- [4] Boundary element methods /Proceedings of the Third international seminar, Irvine, California, July 1981/, red.C.A. Brebbia. Springer-Verlag, Berlin 1981.
- [5] NARDINI,D.-BREBBIA,C.A.: A new approach to free vibration analysis using boundary elements.= "Applied Math.Modelling" 1 /June 1983/, 157-162.
- [6] Energy methods in finite analysis /red. R.Glowinski aj./. John Wiley, Chichester 1979.

#### INFORMACE

Ve sborníku prací VŠ SNB řada C č. 3/1983 byla publikována zkrácená verze doktorské dizertační práce doc. JUDr.ing.V.Porady, CSc., člena hlavního výboru Společnosti, na téma "Teorie kriminalistických stop a identifikace". Jde o velmi zajímavou práci, která se věnuje aplikaci nejenom právních, ale i kybernetických, přírodních a technických poznatků /zejména mechaniky a biomechaniky/ na oblast metodiky odhalování a vyšetřování trestných činů a jejich prevenci. Uvádí mimo jiného i základní materiál pro další koncepci kriminalistické biomechaniky, jejíž rozvoj vyplynul jako jedan z požadavků celostátního semináře "Současný stav a perspektivy rozvoje biomechaniky v ČSSR - kriminalistické, soudně-lékařské a soudně-inženýrské aspekty", o kterém jsme vás informovali ve druhém čísle Bulletinu z r. 1982.

## ŘÍZENÍ INŽENÝRSKÝCH ČINNOSTÍ POMOCÍ POČÍTAČE

V posledních letech se často setkáváme se zkratkami CAD - computer aided design, CAM - computer aided manufacturing, CAE - computer aided engineering. Při překladu těchto nových termínů do češtiny narázíme na posun mluvnický i významový. Např. CAD se překládá jako automatizace konstrukčních prací, CAE jako automatizace inženýrských činností. Významový posun českých termínů plyne částečně z toho, že anglická vazba nejde přeložit doslova - svou roli však hraje i jisté nepochopení úlohy počítače v tomto procesu. Do všech anglických výrazů začínajících složeným přívlastkem "computer aided" se nám při překladech dostává české substantivum automatizace, které navozuje představu "samostatného řešení činnosti nebo funkce objektu bez trvalé řídící činnosti člověka". Je zřejmé, že člověk má ve zmíněných procesech svou nezastupitelnou roli, stejně tak jako počítač, který se nám v překladu vytratil.

Vhodnější české termíny by mohly být následující:

CAD - computer aided design	- návrh a konstruování pomocí počítače
CAM - - " - manufacturing	- řízení výroby pomocí počítače
CAT - - " - testing	- testování pomocí počítače
CAE - - " - education	- výuka pomocí počítače
CAE - - " - engineering	- řízení inženýrských činností pomocí počítače

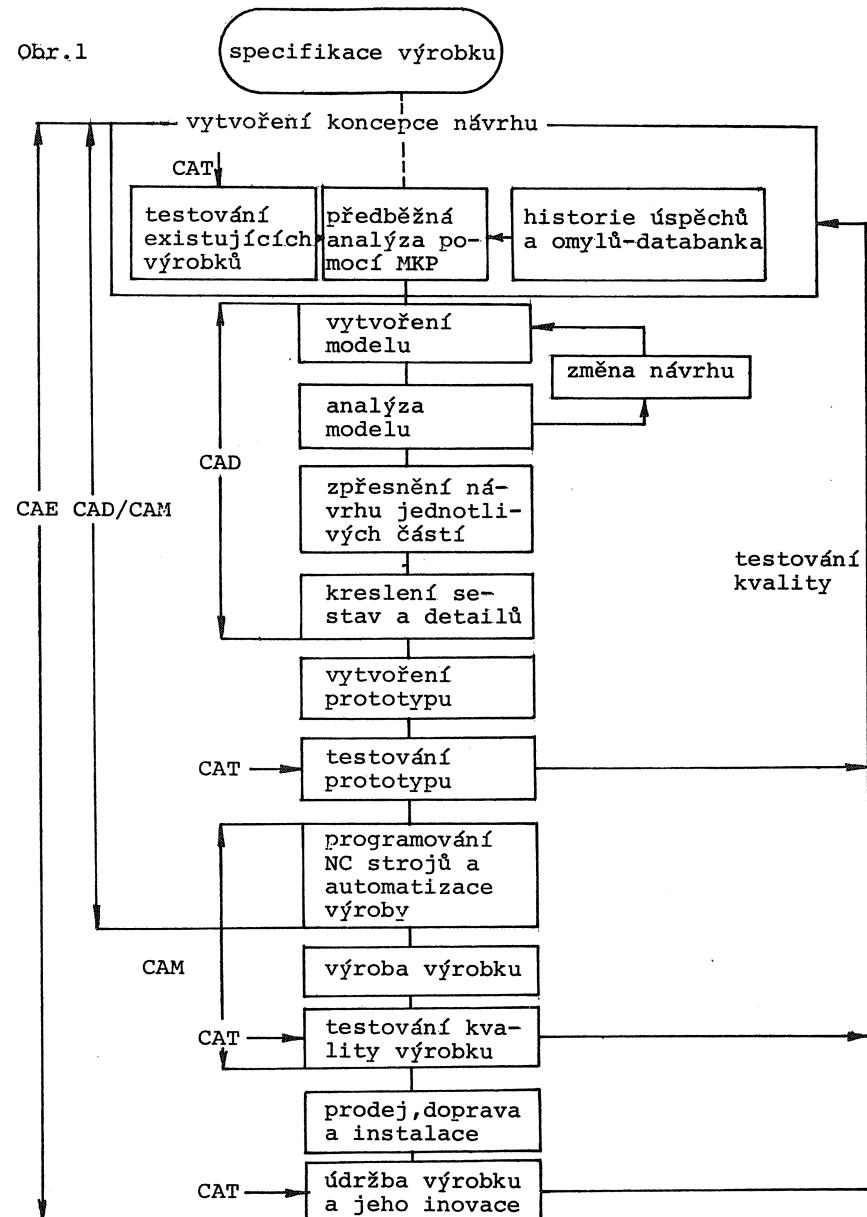
Než se naše technická veřejnost dohodne na vhodných českých termínech, zůstaňme u původních zkratek.

Technologie typu CAD/CAM získávají v průmyslu rychle popularitu, pro svou schopnost podstatně ovlivnit produktivitu výroby. Použitím této technologie se umožnilo efektivně zautomatizovat jednotlivé kroky při vývoji a výrobě výrobků. Daleko větších úspor a nárůstu produktivity je možné však dosáhnout plnou integrací počítače do celého procesu výroby od návrhu výrobku, jeho konstrukce, testování prototypu až po řízení seriové výroby.

CAE - je proces spojení a automatizování různých inženýrských činností v jediný vývojový cyklus naznačený na obr. 1. Důraz se přitom klade na společné a spojitě se vyvíjející data-

báze a na zajištění nepřerušovaného toku informace mezi jednotlivými stadii celého procesu. Zavedení CAE jako rozšíření koncepce CAD/CAM zajistí zvýšení efektivnosti, produktivity výroby a nakonec i kvality výrobku podstatně větší měrou než zavedení technologie CAD/CAM jako rozšíření tradičního výrobního procesu.

Obr.1



Při tradičním přístupu k návrhu se vtělí koncepce výroby do výkresů, vyrobí se prototyp a testují se jeho vlastnosti. Prototyp je modifikován a testován, dokud jeho vlastnosti, charakterizované jistými parametry nedosahují vlastností, specifikovaných původním návrhem. Obvykle se v novém stadiu návrhu vybere jedna koncepce, která se iteračním postupem modifikuje, dokud nejsou splněny předepsané požadavky. Tento tradiční přístup při vytváření nového výroby je charakterizován převážně manuálním úsilím vynakládaným při všech fázích vývoje.

Technologie CAD/CAM může podstatně omezit toto manuální úsilí stejně jako vysoké náklady spojené s tradičním přístupem. Dále je možno prostřednictvím CAD/CAM automatizovat širokou třídu rozličných činností, jako je rýsování a příprava programů a pásek pro NC stroje, které jsou únavné, časově náročné a náchylné k zavlečení chyb, jsou-li prováděny manuálně. Další podstatnou výhodou vyspělé technologie CAM je možnost použít modelování pomocí dostupných programů metody konečných prvků /MKP/, které aktivně zapojují počítač do návrhu a konstrukce výroby. V rámci CAD je výrobek modelován pomocí MKP na počítači, jsou vyhodnocovány jeho vlastnosti a teprve ten nejvýhodnější model je vzat jako základ pro výrobu prototypu.

Stejně jako tradiční postup návrhu tak i technologie CAD podstatně závisí na konstrukci a testování jednoho nebo více prototypů. Přestože výpočty pomocí MKP mohou podstatně zkrátit vývojový cyklus, může se stát, že některé slabiny konstrukce zůstanou neodhaleny, dokud neselže prototyp při testování. Někdy je zapotřebí několika iteračních cyklů výroby a testování prototypu než se podaří nalézt uspokojivé řešení. Bohužel náklady na vývoj prototypu mohou zastínit úspory získané použitím CAD. Navíc konečný návrh nemusí být optimální v důsledku narychlého provádění změn prototypu na poslední chvíli.

Do dnešní doby je komunikace mezi jednotlivými pracovními skupinami tím nejslabším článkem při návrhu a vývoji výroby. Vyhodnocení testů prototypu, určení spolehlivosti, kresličské práce, technologické rozpisů - to vše se dá provádět pomocí terminálů ke společnému počítači, ale zpravidla každá skupina má svou vlastní databázi a s ostatními skupinami komunikuje prostřednictvím nákresů, grafů a oběžníků.

Přístup k řešení použitím CAE znamená si uvědomit, že počítač se stává integrální součástí všech klíčových inženýrských činností při návrhu, testování, kreslení, dokumentaci a výrobě. Návrh a vývojové úsilí je zaměřeno na počítačový model - nikoliv na jednotlivé fáze celého vývojového procesu. Filozofie CAE, jak je vidět na obr. 1, v sobě zahrnuje komplexní využití počítače při návrhu a konstrukci /CAD/, při testování /CAT/ a při odpovídajících činnostech při výrobě řízených počítačem /CAM/, jak odpovídá jejich současnemu zavedení.

Aby se mohl vyvinout návrh konceptu nového výroby, provádí se počítačem řízené testování /CAT/ na dostupných srovnatelných výrobcích a na jakýchkoli existujících součástkách, které se daří použít při novém návrhu. CAT se též používá ke stanovení některých charakteristik jako je kmitání, tluk, vliv zatížení apod. Tyto testovací informace společně s předběžnou analýzou pomocí MKP provedenou s ohledem na zavedenou specifikaci nového výroby tvoří základ systémového modelu, který začíná vznikat v počítači.

Dnes dostupné programové vybavení umožňuje sledovat chování modelu při počítačově simulovaném zatěžování a odhalit slabiny a nedostatky původního návrhu. Tímto způsobem je možno levně hodnotit mnoho různých variant návrhu. Nedostatky v koncepci, s nimiž se setkáváme se odstraňují postupnými modifikacemi, jak ukazuje iterační cyklus na obr. 1. Po určení a vytypování úspěšné varianty modelu se model podrobí dalšímu rozsáhlému ověřování, aby co nejpřesněji vyhovoval optimálnímu návrhu. I když se může stát, že k aktualizaci modelu se musí vyrobit a otestovat některé součásti, není třeba vyrábět drahy prototyp výroby dříve, než jeho vlastnosti a charakteristiky jsou dosaženy na počítačovém modelu.

Tato filozofie návrhu výroby pomocí počítače na rozdíl od běžného přístupu CAD/CAM, odsouvá běžné konstrukční a kresličské práce až do té doby, kdy návrh je v pokročilém stádiu vývoje -- jsou známy pracovní charakteristiky výroby a návrh je možno považovat za relativně ověřený.

Po konstrukci a výrobě je prototyp v systému CAE testován se záměrem ověřit jeho kvality. Neočekávané problémy jsou řešeny simulací na počítačovém modelu s využitím experimentálních dat získaných při CAT. Takto, použitím metod CAE, se dostáváme k jištěmu optimálnímu návrhu, přičemž požadavky na fyzický prototyp jsou podstatně redukovány.

V průběhu výroby se počítačový model, vytvořený technikou CAE, používá jak při činnostech spojených s řízením pomocí počítače /CAM/, tak i při kontrolních testech kvality konečného výrobku.

Činnosti při řízení výrobního procesu pomocí počítače /CAM/ jako je plánování posloupnosti operací, návrh přípravků programování numericky řízených strojů apod. mohou s výhodou používat inženýrské databáze získané dříve, v průběhu vývojového cyklu. K zajištění kvality se konečný výrobek dynamicky testuje a jeho odezva je srovnávána s odevzou počítačově definovaného modelu, a tím vlastně se zadává specifikace.

Data získaná při počítačovém řízeném testování /CAT/ kritických míst návrhu výrobku, vývojových a výrobních etap, tvoří pak základ ke kontrole a ověření skutečnosti, že každý vývojový krok v celém procesu byl úspěšně dokončen. Velmi často toto dynamické testování a sledování výrobku pokračuje i za účelem řádné údržby i poté, co výrobek byl předán zákazníkovi. Tím se získávají další údaje, které jsou ukládány do databáze a týkající se spolehlivosti, ošetřování a oprav výrobku.

Tyto testovací informace budou tudíž k dispozici v databance historických dat pro další generaci nového cyklu výrobku jak je naznačeno v obr. 1.

Komplexní přístup metodikou CAE nabízí příležitosti pro výrobce mechanických výrobků - integruje úsilí jednotlivých inženýrských oddělení, minimalizuje náklady na konstrukci prototypu a nabízí zlepšení v kvalitě výrobku pomocí testovacího cyklu, kterým výrobek prochází.

Volně podle Systems International 4/82 zpracoval  
Ing. M. Okrouhlík, CSc.

## POZNATKY Z PROVOZU DYNAMICKY ZATÍŽENÝCH KLUZNÝCH LOŽISEK SPALOVACÍCH MOTORŮ

Ing. Karel Jiří Němec CSc. - VÚ ČKD Praha

Obor dynamicky zatížených kluzných ložisek se v ČSSR dostal na dobrou úroveň a přispěl k výrobě moderních spalovacích motorů, které zaujmají v našem hospodářství a strojírenském exportu významné místo. V oblasti teorie se podařilo propracovat výpočtové programy, které pomáhají orientovat se při návrhu a konstrukci motorů a dávají odpovědi na otázky jak dimenzovat a tvarovat ložiskové uzly, aby obstály v náročných provozech při stálém rostoucích požadavcích na jejich spolehlivost a životnost. V oblasti materiálu a výrobní technologie byly zavedeny do praxe nové druhy i postupy odpovídající současné světové úrovni. Experimenty i zkušenosti z dlouhodobých zkoušek i z provozu nás přesvědčují o tom, že jsme schopni vyrábět ložiska takové kvality, abychom se oprostili od nutnosti jejich dovozu.

Tyto úspěchy však nebyly zadarmo, byly dosaženy úsilovnou prací a mnohdy i trpkými zkušenostmi a ekonomickými ztrátami. Museli jsme poznat podstatu problémů, život ložisek, naučit se jim rozumět.

Není bez zajímavosti, že u dynamicky zatížených kluzných ložisek se vyskytují všechny druhy opotřebení materiálu, které uvádí norma ČSN 01 5050, a to v různém rozsahu i stupni závažnosti. Převážně se jedná o poruchy neopakovatelné, i když často sobě podobné. Jde o dynamicky složitý proces, který je třeba poznat kompletně na základě teoretických znalostí, laboratorních zkoušek i podrobného šetření terénu.

Za opotřebení typicky degradačního charakteru, které snižuje životnost, ale bezprostředně neohrožuje funkci ložisek, je možno považovat abazi, erozi, kavitaci i korozi. Abazi lze čelit zlepšením jakosti povrchu funkčních ploch, zlepšením filtrace mazacího oleje a zvýšením kultury práce při montáži, co nejlepším vyčištěním všech mazacích cest a funkčních ploch. Nemálo případů těžkého primárního poškození velkými tvrdými nečistotami a cizími částicemi se objevuje již po několika málo hodinách provozu motoru při záběhu na zkušebně. Na tato poškození jsou citlivá zejména tenkostenná ložiska s vrchní galvanickou vrstvou tloušťky pouze 20 až 40  $\mu\text{m}$ . Abazi ale způsobuje i nepostačující jakost povrchu čepů, jejich

mikrogeometrie a chybná technologie broušení. Ukazuje se, že u exponovaných ložisek musí být opracování povrchu čepů na 0,2 až 0,4 μm, což je při výrobě dosažitelné.

Pokud se týká koroze, vyskytuje se u olověných bronzů, i když dosud jen poměrně zřídka. Lze očekávat, že stále rostoucí požadavky na používání těžkých a méně hodnotných paliv s větším obsahem síry může vyvolat zvýšené chemické atakování ložiskových kovů, čemuž bude nutno čelit vhodnými antikorozivními přísadami do mazacích olejů a vývojem nových ložiskových materiálů.

Novým problémem ložisek s tenkými funkčními galvanicky nanesenými vrstvami je kavitace. Vyskytuje se ve čtyřech základních typech /kavitace sáním, výtokem, průtokem a nárazem/ a zasahuje převážně jen méně zatížené části ložisek. Obvykle má její průběh charakter S-křivky, tj. objevuje se po relativně krátké inkubační době a její postup se po první intenzivnější fázi zpomaluje a dokonce se může zastavit. Pokud nezasahuje do spodních vrstev ložiska a jeho zatížených částí /např. v případě nárazové kavitace v dolních polovinách hlavních ložiskových pánví/, není nebezpečná a sama o sobě není příčinou selhání funkce, ani podstatnějšího snížení životnosti. Indikuje však, že konstrukce a provoz ložiska nejsou optimální. Celí se jí velmi obtížně a úspěch se dostavuje jen zřídka.

Zvýšenou pozornost si zaslouží únavové poškození ložisek. Lze říci, že aplikací kvalitních ložiskových kovů a jejich tenkých výstek bylo toto velmi nebezpečné poškození omezeno na vývojové stadium nových konstrukcí. V praxi se sice vyskytuje občas případ únavové poruchy celé ložiskové pánve s náhlým křehkým lomem vycházejícím z magistrální trhliny přes průřez, ale to je výjimka za příčiněná konstrukčními vruby nebo příliš poddajným ložiskovým tělesem značně se deformujícím účinkem provozních dynamických sil. Poněkud více případů je únavového rozpadu ložiskových kovů nebo galvanických vrstev při nevhodně zvoleném materiálu nebo vzniku křehkých fází na rozhraní vrstev ložiska. Někdy jsou tyto poruchy iniciovány primárním abrazivním nebo korozivním poškozením exponované vrstvy ložiska.

S aplikací tenkostěnných ložiskových pánví se začaly objevovat příznaky vibračního poškození stykových ploch pánví a ložiskových těles, které svědčí o mikropohybech v uložení. Tento plošný i důlkový pitting je projevem kontaktní únavy a její úplné odstranění je mnohdy nemožné, neboť nelze podstatně zvýšit tuhost

ložiskových těles / např. u ojničních klikových hlav /. Dosud však nebylo zjištěno, že by toto vibrační poškození bylo primární příčinou havárie ložiska, i když je zřejmé, že zhoršuje přestup třetího tepla z pároví do ložiskových těles.

Mimořádnou pozornost je třeba věnovat adhezivnímu poškozování a opotřebení ložisek, které je velmi časté a ve svých důsledcích nejnebezpečnější. V pravém slova smyslu rozhoduje o životě a smrti ložiska, o úspěchu nebo nezdaru konstrukce. Rozvíjí se podle tzv. "vanové křivky" a ve své konečné fázi se projevuje prudkým vývinem třetího tepla, mikrosvary, tavením a tepelnou smrtí. Tato poslední fáze může proběhnout po velmi dlouhé době normálního a nic nesignalizujícího provozu a končí totálním zadřením a často i zničením celého motoru, přičemž ji nelze zachytit periodickými prohlídkami. Opomeneme-li triviální případ mazání při poruše čerpadla, prasknutí mazací trubky nebo zablokování olejového čističe, je třeba spatřovat příčinu selhání buď v nesprávném provozu, degradaci mazacího oleje / snížení nebo naopak zvýšení viskozity / nebo funkčních ploch částí ložiskových uzlů. Široký otáčkový rozsah dnešních spalovacích motorů klade velké nároky na udržení hydrodynamického mazání a kapalinného tření v celém rozsahu provozu motorů. Je zřejmé, že při startu, dobu, reverzaci, ale i při náhlých změnách zatížení prochází ložisko byť jen krátkodobě režimem mezního mazání, kdy dochází ke kontaktu kluzných ploch a k jejich postupnému narušování, které se kumuluje a degraduje materiál. Tato skutečnost nebyla dříve tak závažná, neboť při používání poměrně tlustostěnných výstek měkkých ložiskových kovů /kompozice Sn a Pb/ docházelo k regeneraci a ložisko mělo schopnost překlenout kritické situace. U moderních vícevrstvých tenkostěnných ložisek je situace zcela jiná, neboť po opotřebení tenkých galvanicky nanesených funkčních vrstev se podstatně mění třecí poměry a kromě toho na odhalených rozhraní vrstev mohou být nebezpečné velmi tvrdé a křehké fáze. Jejich vypadáváním se mění hydrodynamické poměry, zejména v místech minimální tloušťky mazacího filmu.

Poruchy ložisek po dlouhé době provozu vznikají často bez viditelných příčin i u dobře udržovaných a periodicky kontrolovaných motorů. Ložiska zaběhnutá a sledovaná prohlídkami selhávají při provozním stavu, který po dlouhou dobu dobře snášela. Podle dnešního stavu poznání nemají vícevrstvá ložiska dostateč-

nou regenerační schopnost přežít při kumulaci více negativních účinků. Nelze ani dost dobře předvídat životnost těchto ložisek, neboť nevykazují obvykle žádné známky budoucího selhání. Vzrůst opotřebení s časem, který by signalizoval nebezpečí zadření se neprojevuje. Až do určité míry mají ložiska schopnost samoléčení. Jsou dobré známy případy, kdy v provozu došlo k přidření, aniž by obsluha cokoli pozorovala a ložiska se opět zaběhla. Taková drobná poškození a občas se opakující nepříznivé vlivy se postupně kumulují a šance ložiska na přežití klesá. V kritické chvíli nastane spontánní a progresivní vzrůst teploty a opotřebení, minimální tloušťka mazací vrstvy klesá až dojde k jejímu místnímu prolomení. Je dosaženo teploty varu oleje a teploty tání ložiskového kovu. Paradoxem je, že podle teorie není žádné zadření možné, neboť únosnost ložiska by měla stoupat s klesající tloušťkou mazací vrstvy. Ve skutečnosti však v důsledku reálného tvaru ložiska a povrchové drsnosti dochází již při konečné tloušťce mazací vrstvy k dotyku kluzných ploch a z toho plynoucím následkům.

K náhlým poruchám po dlouhé době provozu tedy dochází v případech, kdy se sejde několik příčin, z nichž žádná sama o sobě nemusí být nebezpečnou. Průběh takové poruchy je jako u "plíživé nemoci", jejíž symptomy se mění po dlouhou dobu jen nepodstatně, aby pak náhle změnily stav bez viditelné příčiny jako "infarkt z čistého nebe". Tím důležitější je určit včas diagnózu a vyvodit z ní léčebný postup. Mass řekl výstižně, že v technické praxi je tomu stejně jako v medicíně. Je více léků, které pozoruhodně zlepší zdraví, ale mnohé jsou drahé. Technik se musí řídit ekonomií. Dnes by již bylo možné zabezpečit motory řídícími, varujícími i protihavarijními systémy, kontrolujícími nepřetržitě stav motoru a jeho ložisek, ale je otázkou, zda by takový motor byl vůbec prodejný. Proto ekonomické hledisko vždy prosadí zásadu "tolik, co je nutné, ale tak málo, jak jen je možné".

Technik posuzující stav ložisek v určitém vývojovém stupni jejich opotřebení nebo poškození je vždy postaven před nesnadným úkolem rozhodnout co dál, doporučit nebo nedoporučit další provoz. Toto rozhodnutí musí vycházet vždy ze znalosti mechanismu poruch, z odhadu jejich dalšího rozvoje i z hodnocení rizika, závažnosti technických, ekonomických i společenských důsledků.

Obraz poškozeného ložiska v sobě nese mnoho informací a je třeba jim správně rozumět, umět z něho číst. I když porucha se jeví jako jasnou a jednoznačnou, je třeba vždy zachovat obezřetnost

a neukvapovat se v úsudku i závěru bez provedení určitých šetření, která jsou jednak subjektivní /vizuální nález/, jednak objektivní /rozbory/. Porucha je třeba vidět co nejdříve, pokud není setřen její původní ráz. I když doba, která je obvykle k dispozici pro rozhodnutí a rychlý zásah, je velmi krátká, nemá posuvatel podlehnut tlaku času. Tady platí pravidlo, že lépe je překročit čas než opustit pravdu. Přesto je třeba jednat tak, aby se co nejdříve zamezilo opakování poruchy u téhož motoru nebo motorů téže výrobní serie. Každá šetření je třeba provádět komplexně, postupovat podle principu úplnosti systematicky a vylučovací metodou, opírat se o dosavadní vlastní poznatky i dostupnou literaturu, provést analýzu všech vnitřních i vnějších podmínek práce ložiska. Při tom je třeba mít na mysli, že jen málokterá obsluha přízná chybu nebo porušení provozních instrukcí. Proto je důležité poznat historii provozu a tuto vyčistit i ze stavu jiných součástí motoru, zejména olejových čisticích a pístové skupiny.

Je třeba si uvědomit, že žádná zkouška nemůže plně nahradit a imitovat složitost skutečného provozu a jeho dynamiku, faktor času, který způsobuje degradaci materiálu a zejména povrchové vrstvy ložisek. Proto je interpretace a zobecňování výsledků laboratorních zkoušek vždy značně omezené a pro praxi jen zřídka postačující. Zkušenosti ukázaly, že ani dlouhodobé zkoušky motorů ve výrobním závodě, jakými jsou např. homologační nebo registrovské zkoušky v rozsahu řádově  $10^2$  h, nemusí podat správný obraz o spolehlivosti funkce ložisek. Teprve provoz v délce 1 až 2 let a počtu  $10^3$  až  $10^4$  h nebo  $10^5$  ujetých km jsou prověrkou technické úrovně konstrukce, kvality montáže i výroby a kultury práce obsluhy i údržby.

Dlouholetá praxe v oboru kluzných ložisek spalovacích motorů vede k poznání, že je třeba stále připomínat následující zásady pro zajištění spolehlivé funkce a provozu, k nimž došli po dlouhých cestách teoretici i praktici tribologie a tribotechniky:

- a/ Konstrukce ložiskových uzelů má být co nejjednodušší, aby ložiska byla snadno vyrábětelná i montovatelná. I v tomto případě platí zásada, že "co je jednoduché a krásné, je i užitečné". Funkční plocha ložiska má být co nejméně narušena mazacími otvory, kapsami a drážkami a jejich přechody mají být plynulé bez ostrých hran /bránění kavitaci/. Průběžnou obvodovou mazací drážku je možno doporučit jen u širších ložisek

s menším měrným zatížením a tam, kde je nutný převod mazacího oleje do dalších ložisek. Úzká ložiska nemají mít žádné drážky s výjimkou lehkého axiálního odlehčení u dělících rovin pánví. Tenkostenné ložiskové pánve musí pružit "ven", tj. ve volném stavu musí být v dělící rovině rozevřené, a do ložiskových těles se ukládají s poměrně velkým přesahem, zajišťujícím pánev proti pootočení.

Ložisková tělesa musí být dostatečně pevná a tuhá, aby se při montáži a za provozu nepřípustně nedeformovala. Vývrty ložiskových těles musí být provedeny ve staženém stavu, aby se eliminovala deformace makrogeometrie ložiska při montáži. Důležité je správné zajištění polohy ložiskových vík, aby nemohlo dojít k jejich přesazení nebo natočení v dělící rovině. Ke spojení víka s ložiskovým tělesem se používá průtahových šroubů a silová vazba hlavních ložisek se často zvětšuje ještě pomocí bočních šroubů vymezujících též správnou polohu ložiskových vík. Mezi jednotlivé díly ložiskového tělesa se pokud možno nemají vkládat žádné vymezovací podložky.

b/ Vrstva ložiskového kovu má být co nejtenčí, aby se docílilo velké únavové pevnosti. Z praktických důvodů však nelze u nosné výstelky jít pod tloušťku cca 0,3 mm /obvykle se provádí 0,4 až 0,8 mm podle velikosti ložiska/, u galvanicky nanesených vrstev pod 0,020 mm. U vysoce výkonných spalovacích motorů se dnes v podstatě používají jen dva typy výstekložiskových kovů, a to buď na bazi olověných bronzů, nebo hliníkových slitin. Bylo zjištěno, že není velkých rozdílů obou skupin v chování za normálního provozu ani v nouzových podmínkách. U slitin AlSn se udává poněkud lepší přizpůsobivost geometrii ložiska a pohlcování nečistot, u slitin CuPb větší dynamická únosnost, zejména při menším obsahu Pb, použití Ni bariery a funkční galvanické vrstvy PbSnCu. Ve vývoji jsou méně deficitní materiály na bazi AlSi a AlZn.

Opracování nosného podkladu pánve i vlastní kluzné plochy ložisek má být co nejlepší. Makrogeometrie i mikrogeometrie funkčních ploch ložiskových uzlů musí být tím lepší, čím tvrdší je čep i ložiskový materiál, a čím vyšší jsou provozní otáčky. Ovalita, konicitu, soudkovitost nebo zvon-

kovitost ploch nemají přesáhnout asi 10% hodnoty ložiskové výše.

c/ Důležitá je výběr ložiskové výše, jejíž malé i velké hodnoty jsou nebezpečné. Při malé výšce jsou sice nároky na olejové čerpadlo malé a teoreticky je únosnost ložiska velká, ale ložisko je citlivé na dodržení makrogeometrie a mikrogeometrie a může v něm vznikat vysoká teplota, která snižuje viskozitu mazacího oleje a ohrožuje provoz ložiska. Při velké výšce je sice teplota oleje nízká, ale jsou větší nároky na čerpadlo a čističe, rozložení tlaku v ložisku je nepříznivé a funkční plocha není rovnoměrně využita. Dnešní všeobecná tendence zmenšovat ložiskové výše, a tím zvyšovat únosnost ložisek, vyplývající z teoretických výpočtů hydrodynamiky, musí být podložena v důsledku zvýšení výrobních tolerancí kvalitativně vyšší úrovní výroby a montáže a zejména její stability v seriové produkci.

d/ Při montáži je třeba používat vhodných montážních pomůcek, jako jsou momentové klíče, hydraulické utahováky apod., které usnadňují práci a nepoškozují části ložisek. Montážní předpětí ložiskových šroubů musí být dodrženo podle instrukcí výrobce motoru. Při příliš velkém předpětí se poruší makrogeometrie ložiska a hrozí nebezpečí poškození šroubů, při nedostatečném předpětí je nebezpečí uvolnění ložisek v provozu účinkem dynamických sil a následné poškození dodecích ploch ložiskových těles a pánví.

Kultura montáže předpokládá montování v čistém bezprašném prostředí a dokonalé vyčistění všech vnějších i vnitřních mazacích cest. Pokud se tak nestane, hrozí vážné znehodnocení kluzných ploch již v době záběhu, a tím značné snížení životnosti ložisek. Při instalaci nových ložisek při výměnách je vždy nutný i nový záběh, a to tím opatrnejší a delší, čím více se změnila makrogeometrie a zejména mikrogeometrie čepů.

e/ Zvláštní pozornost je třeba věnovat mazacímu oleji a olejové instalaci, na kterých se nemá nikdy šetřit. Olej je třeba posuzovat ne jako spotřební hmotu, ale jako funkční element. Dnešní mazací oleje jsou velmi složité hmoty, které obsahují celou řadu aditiv zlepšujících jejich funkci a chrání-

cích kluzných ploch před poškozením a opotřebením. Nesmí být proto zaměňován za jiné a jejich ošetření i kontrole se musí věnovat náležitá pozornost. Aditivace olejů sice zvyšuje jejich cenu, ale významně prodlužuje životnost kluzných uzelů, snižuje tření, a tím i mechanické ztráty a spotřebu paliva. Význam vhodné aditivace bude stoupat s rostoucím používáním těžkých a méně hodnotných paliv.

Teoretické rozbory i praxe ukázaly, že rozhodujícím parametrem mazacího oleje je vedle jmenovité viskozity vstupní teplota oleje do ložiska. Naopak jen poměrně malý vliv má vstupní tlak oleje, takže jeho zvyšováním již nedocílíme významnější změny hydrodynamických poměrů mazání. Nelze proto očekávat, že zvýšením tohoto tlaku zachráníme chybně koncipované ložisko. Tendence zvyšování vstupního tlaku oleje má pouze za účel zajistit dostatečný tlak za čerpadlem při nízkých otáčkách motoru a zamezit vzniku podtlaku ve vnitřních mazacích cestách, a tím bránit kavitaci nebo přetrhávání olejového sloupce ve vývrtu ojnic účinkem setrváčních sil.

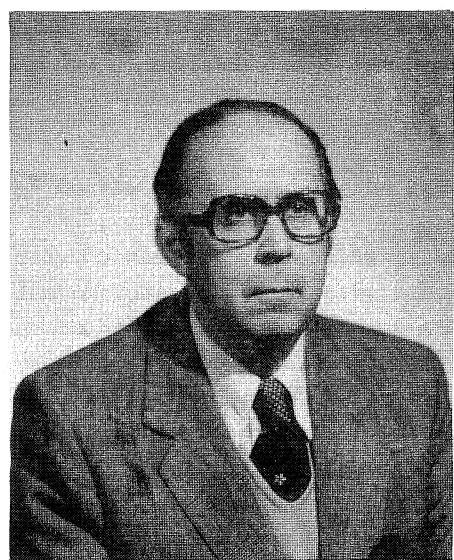
Provozní teplota oleje by měla být udržena pod 100 až 120 °C, aby nedocházelo k jeho degeneraci a přílišnému poklesu viskozity, na jejíž hodnotě je minimální tloušťka mazacího filmu téměř lineárně závislá. Za provozu se olej obvykle zahušťuje a současně znehodnocuje zbytky z paliva, ve vyjímečných případech naopak zřeďuje palivem nebo vodou. Jako limit pro výměnu olejové náplně se uvádí změna viskozity vzhledem ke jmenovité hodnotě o 25 %.

Pro zvýšení spolehlivosti motorů a životnosti ložisek je nutné podstatně zlepšit čistotu mazacího oleje jeho filtrací. Dosavadní stupeň této filtrace v plnoprůtoku u středních a velkých motorů, který je v nejlepším případě na 30 µm, většinou však na 50 až 120 µm, je třeba považovat za neuspokojivý, a to jednak proto, že dnešní tenkostenná vícevrstvá ložiska jsou na nečistoty velmi citlivá, jednak proto, že tloušťka měkkých a funkčních vrstev těchto ložisek je pouze 20 až 40 µm, a tedy menší než nečistoty procházející čističi. Proto se dnes mazací systémy vyznačují zvětšováním kapacity plnoprůtokových čističů, předimenzováním olejových čerpadel až o 30 % a možností zabudování tzv. záběrových čističů před vstupem do hlavních ložisek motorů. Požadavek na zlepšení filtrace na hodnoty odpovídající minimální tloušťce mazací vrstvy /tj. na 5 až 10 µm/ je však

nereálný, neboť již při filtrace na 30 µm je využívání částic z oleje tak velké, že je nutné časté čistění vložek čističů, což je práce velmi nepopulární, a proto často odbývaná nebo zcela opomíjená. Kromě toho může při ní dojít k poškození vložek čističů nebo k jejich chybné montáži, což by další provoz ložisek bezprostředně ohrozilo. Proto je dnešní stav techniky kompromisem a cílovým požadavkem je filtrace na 10 až 20 µm a automatizace čistění filtrů bez nutnosti lidského zásahu /tzv. samočistící filtry/.

f/ Při provozu motorů je třeba dodržovat všechny instrukce výrobce a vyvarovat se všech mimořádných stavů, jako jsou suché a ostré starty bez předmazání, rychlé najetí do vysokých otáček u studeného motoru /nebezpečí vymezení ložiskových vůlí/, dlouhodobý provoz zahřátého motoru na příliš nízkém volnoběhu /nedostatečné mazání/ a zejména přeběhy do vysokých otáček. Je třeba věnovat pozornost každé změně údajů indikačních čidel, neboť nikdy není bez příčiny. Mnoho starostí však působí malá životnost těchto samotných čidel, zejména levných provedení, což často frustruje obsluhu a vede k jejímu nezájmu o pravidelné sledování kontrolních údajů nebo dokonce k vyřazení čidel z provozu.

Jaká je asi vize do budoucnosti? Přesto, že tvůrčí lidská práce bude otevírat stále nové cesty a negovat staré, a že přílišné lpění na tradici by bylo překážkou pokroku, nedojde pravděpodobně v nejbližší budoucnosti k přílišným změnám v oboru dynamicky zatížených kluzných ložisek, vzhledem k tomu, že tento základní prvek strojních konstrukcí dosáhl během staletého vývoje a zejména v posledních desetiletích značné dokonalosti. Dosavadní stav je výsledkem úsilí velkého kolektivu techniků, teoretiků i praktiků, technologů i dělníků žádny z těchto článků nelze opomenout ani v budoucnosti. Ve vlastní konstrukci nedojde pravděpodobně k převratným změnám. Lze očekávat zlepšení hydrodynamických poměrů optimalizací mazacích cest, zlepšením kvality mazacích olejů a aplikací nových netradičních maziv s řízenými vlastnostmi a stále větší stabilitou i čistotou. Velký vývoj zaznamenají bezdemontážní diagnostické systémy s mikroprocesory, střížící funkci motoru i ložisek a včas varující obsluhu před možností havarie nebo samy jistící provoz bez lidské obsluhy. Rostoucí tlak lze očekávat na omezování spotřeby deficitních ložiskových kovů a na urychlený vývoj zcela nových kompozitních ložiskových materiálů. V oblasti montáže lze očekávat široké nasazení montážních pomůcek, odstraňujících namáhavou lidskou práci a zvyšující její přesnost i kulturu. I nadále zůstane úroveň kluzných ložisek jedním z měřítek našich schopností a vyspělosti našeho strojírenství.



RNDr. Ladislav Prášek, CSc. se narodil 8. ledna 1924 v Plzni, kde v roce 1943 absolvoval klasicke gymnázium. V roce 1949 ukončil s vyznamenáním Přírodovědeckou fakultu Karlovy University v Praze, obor matematika a matematická statistika a deskriptivní geometrie. V roce 1962 zahájil studium vědecké aspirantury pod odborným vedením Prof. Dr. M. Hampla, DrSc., člena korespondenta ČSAV. Kandidátskou disertační práci obhájil v roce 1965 na téma: "Rotující kotouč v plastickém stavu". Po úspěšném rigorozním řízení v roce 1967 na Matematicko-fyzikální fakultě

KU v Praze získal hodnost doktora přírodních věd.

Od počátku roku 1950 pracuje v k.p. Škoda Plzeň, kde postupně založil a vedl matematickou skupinu ve Strojním výzkumu, později jako vedoucí oddělení aplikované matematiky a po reorganizaci ÚVZÚ v roce 1971 vede středisko aplikované matematiky Strojírenského výzkumu.

Po dlouhá léta byl RNDr. L. Prášek, CSc. činný na VŠSE v Plzni na katedře matematiky, na Lékařské fakultě v Plzni a v Podnikové škole k.p. Škoda, kde vedl celou řadu dlouhodobých kursů z různých oblastí matematiky a mechaniky. Zastupuje k.p. Škoda při nevládní mezinárodní organizaci pro aplikovanou matematiku a mechaniku ve Švýcarsku. Je dlouhodobým recenzentem pro časopis *Zentralblatt für Mathematik* při Německé akademii věd. V letech 1967 a 1972 byl vyhodnocen jako nejlepší pracovník podniku, v roce 1969 získal cenu VHJ Škoda I. stupně a v roce 1972 průkaz tvůrčího technika I. stupně. Ve své odborné činnosti RNDr. L. Prášek, CSc. významnou měrou přispěl k rozvoji vědního oboru mechaniky deformovatelných těles, přičemž svoje záměry vždy úzce navazoval na rozvoj a inovaci výrobního procesu k.p. Škoda Plzeň. Jedná se například o originální práce z oblasti identifikace vnitřních pnutí v ingotech, optimalizaci a mezní stav rotujících disků a rotorů parních

turbín velkých výkonů a jiné. Výrazně přispěl k postupnému vybudování výpočetního centra v k.p. Škoda a jeho simultanního využívání při realizaci numerických metod optimálního dimenzování výkonných strojů a zařízení. Úspěšně a nezastupitelně se zasloužil o rozvoj československé společnosti pro mechaniku při ČSAV jako dlouholetý člen hlavního výboru a též jako předseda pobočky ČSSM v Plzni.

Přejeme RNDr. Ladislavu Práškovi, CSc. do dalších let mnoho tvůrčích vědeckých a realizačních úspěchů i ve spolupráci s pobočkou ČSSM v Plzni, jakož i dobré zdraví a osobní pohodu.

Předsednictvo  
čs. Společnosti pro mechaniku  
při ČSAV

#### EAN - Bulletin ČSSM

V nakladatelství Lavoisier, Paříž vyšla v r. 1983 v řadě TEC & DOC kniha *Essais et moyens d'essais au laboratoire et dans l'industrie* /Zkoušení a zařízení pro zkoušení v laboratořích a v průmyslu/ o 752 stranách 16x24 cm /545 FFrs/ jako sborník pojednání 5 autorů. Editorem je M.R. Moreau, vedoucí materiálové zkušebny Ústřední laboratoře mostů a silnic /I.C.P.C/ pařížské polytechniky E.N.S.A.M.

Kniha je rozdělena do tří částí. Prvá část /50 stran/ pojednává obecně o zkušebnictví a zkušebních metodách. Druhá část /650 stran/ je věnována zkušebním zařízením a jejich zdokonalování ve vztahu jak k otázkám měření, tak i registraci měření; metodologii zkoušek včetně norem. Závěrečná třetí část /50 stran/ poskytuje historický pohled na vývoj zkušebnictví z hlediska obou základních aspektů, techniky měření a techniky registrace měření. Kniha na současné úrovni poznatků /přínosy statistiky, informaticky a numerické techniky, mikroprocesorů, časového vlivu a dynamických účinků i modelových zákonů/ provází řada velmi příznivých recenzních posudků.



Čs. Společnost pro mechaniku byla jednou z nemnoha společností při ČSAV, která svoji činnost v roce 1966 začínala s vlastním sekretariátem se zkušenou administrativní pracovnicí. Hlavní výbor Společnosti a jeho předsednictvo se proto mohlo plně věnovat rozvoji odborné činnosti Společnosti a spolehnout se na dokonalé organizační a administrativní zajištění této činnosti.

Zvykli jsme si už, že všechna korespondence, pozvánky, zápisy a zajištění všech akcí bylo vždy včas, s přehledem a dokonalostí provedeno. Zvykli jsme si proto přenášet své starosti na sekretariát, protože

celých těch osmnáct let fungoval tak, jak by měl fungovat sekretariát Společnosti, které jako jediné byla k desetiletí její činnosti udělena stříbrná Křížíkova medaile za zásluhy v technických vědách.

Jestliže jsme vždy přijímali sami uznání za činnost Společnosti a nikdy neuvedli jméno té osoby, která se celou dobu o Společnost tak pečlivě starala bez ohledu na své osobní problémy, měli bychom tak učinit alespoň nyní u příležitosti jejího významného životního jubilea.

Jistě proto může dnes předsednictvo Společnosti vyslovit jménem všech členů Společnosti své nejbližší spolupracovníci, sekretářce Společnosti od jejího založení, paní Lidmile V y s o k é k jejímu životnímu jubileu srdečné přání hodně zdraví, životní energie a dobré pohody do dalších let jejího života a s ním i upřímné poděkování za její dlouholetou, trpělivou a ochotnou spolupráci, bez níž by asi Společnost nedosáhla svých dobrých výsledků.

Předsednictvo  
Čs. Společnosti pro mechaniku  
při ČSAV