

30 LET

**ÚSTAVU TERMOMECHANIKY  
Č S A V**

1952-1982

160 00 PRAHA6, Puškinovo n.9

30 let Ústavu termomechaniky ČSAV

Počátky novodobého kovodělného průmyslu v českých zemích souvisejí s průmyslovou revolucí, která nastoupila v hospodářském životě v pokročilejších evropských státech v období napoleonských válek. Příznivější podmínky pro rozvoj strojírenství v Čechách, na Moravě a ve Slezsku ve druhé polovině minulého století umožnily vybudování mnoha malých i několika velkých průmyslových závodů, z nichž vznikly mj. dnešní koncerny ŠKODA, ČKD, VŽKG a První brněnská strojírna. Výrobky těchto strojíren byly už před druhou světovou válkou vyhledávány na světových trzích pro svou vynikající kvalitu, přestože existovalo pouze několik málo výzkumných pracovišť, zaměřených na strojírenský obor. Byly to především ústavy a laboratoře na vysokých školách a několik málo výzkumných ústavů (Výzkumný ústav studijní, Technický ústav aj.). Vlastní výzkum si počal budovat i náš největší strojírenský koncern Škodovy závody.

Teprve znárodnění československého průmyslu po osvobození naší vlasti od fašismu v roce 1945 připravilo podmínky pro kvalitativní změnu výzkumu. Bylo započato s budováním výzkumných ústavů, ze kterých později vznikl dnešní Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů, Státní výzkumný ústav materiálu, Státní ústav pro silnoproudou elektrotechniku, Výzkumný ústav hutnictví železa a další. Plné předpoklady pro rozvoj výzkumu přináší však až rok 1948, kdy po uchopení moci dělnickou třídou vedenou Komunistickou stranou Československa dochází k přípravám pro zřízení prvých sedmi ústavů mimo výrobní sféru, zaměřených na problémy základního charakteru. Z nich se pak vytváří při vzniku Československé akademie věd v roce 1952 základ sítě jejich výzkumných pracovišť.

Československá akademie věd byla založena, aby v údobí výstavby socialistické společnosti nahradila několik

dřívějších vzájemně nezávislých vědeckých společností příbuzného charakteru, z nichž např. Královská učená společnost měla už od svého vzniku více než stosedmdesátiletou historii. Od dřívějších vědeckých organizací se však nová akademie věd od počátku odlišovala tím, že jí byla přisouzena kromě reprezentační funkce jako sboru předních pracovníků ze všech vědních oborů i významná funkce pracovní jako souboru specializovaných pracovišť řešících důležité vědecké problémy. Do ČSAV nebyl převzat žádný z existujících výzkumných ústavů pracujících ve strojírenské oblasti. Strojírnost bylo ve sboru Akademie zastoupeno prof. Václavem Krouzou a prof. Ladislavem Miškovským. Díky rozhledu a předvídativosti zvláště posledního jmenovaného byla již koncem roku 1952 současně se vznikem Akademie založena Laboratoř strojnická ČSAV.

Již při založení "Laboratoře" požadoval její první vedoucí, člen korespondent Miškovský, aby "Laboratoř" věnovala své úsilí zvláště problémům základních věd technických jako předpokladu dalšího rozvoje znárodněného průmyslu charakterizovaného potřebou stavby nových strojů se špičkovými technickými a ekonomickými parametry. Proto se "Laboratoř" koncentrovala na problematiku strojírenského oboru, zvláště na problémy související s vývojem energetických strojů, a to z oblasti proudění, vnitřní aerodynamiky a mezních vrstev, spalování, materiálu a techniky prostředí. Později k těmto směrům přibyla mechanika pevné fáze. Po smrti člena korespondenta Miškovského byl v říjnu 1953 ideovým vedením "Laboratoře" pověřen akademik Václav Krouza a technickým vedením Ing. Josef Květoň.

Roku 1955 byla Laboratoř strojnická ČSAV přejmenována na Ústav pro výzkum strojů ČSAV. Tento název neslo pracoviště až do roku 1962. Pracovní náplň ústavu zůstávala v podstatě nezměněna, i když se v souladu s potřebami průmyslu prohlubovala. Po smrti akademika Krouzy roku 1956 byl vedením ústavu pověřen Ing. Květoň. V průběhu let se ukazo-

valo účelným zaměřit činnost Ústavu pro výzkum strojů na progresivní vědecké problémy, které do té doby žádné další československé pracoviště v potřebné hloubce neřešilo a jejichž řešení směřuje ke kvalitativním změnám v konstrukci strojů. Proto v roce 1962 presidium Československé akademie věd uložilo ústavu v oblasti mechaniky tekutin a termomechaniky "postupně zaměřit výzkum k proudovým a tepelným dějům v plynech, při vysokých teplotách a vysokých rychlostech, zkoumat termofyzikální vlastnosti plynů, problémy dynamiky plynů, mezních vrstev a turbulencí a tepelných cyklů", v oblasti mechaniky tuhé fáze "vyšetřit hlavní zákonitosti kmitání složitých slabě a silně nelineárních systémů i systémů s rázy a získat základní poznatky v šíření vln napětí v jednoduchých tělesech s uvažováním skutečných reologických vlastností materiálu". Současně byl název ústavu změněn na Ústav termomechaniky ČSAV.

Tato opatření, která vedla ke koncentraci sil na stěžejní úkoly netradiční povahy, se ukázala jako velmi správná.

V současné době je vědecká část ústavu rozdělena na dva úseky a každý z nich se dělí na čtyři výzkumná oddělení. Úsek termomechaniky a mechaniky tekutin má oddělení: dynamika plynů, turbulence a mezní vrstvy, termodynamika, výměna tepla a hmoty. Úsek mechaniky pevné fáze má oddělení: experimentální a vyhodnocovací metody, dynamika soustav, mechanika anizotropních látek, mechanika tělesa. Na vědecký úsek termomechaniky a mechaniky tekutin navazuje laboratoř vysokých rychlostí v Novém Kníně. V současné době pracuje v ústavu 145 pracovníků, z toho 38 vědeckých (2 doktoři věd, 36 kandidátů věd).

Objem a kvalitu vykonané práce od vzniku našeho pracoviště dokumentuje téměř 800 výzkumných zpráv a mnoho jiných publikací, monografií a sborníků z vědeckých konferencí. Dva pracovníci ústavu byli poctěni Státní cenou Klementa Gottwalda. Vláda ČSSR a Ústřední rada odborů udělila

ústavu čestný titul "Pracoviště 30. výročí osvobození Československa sovětskou armádou", dále byl pracovníkům ústavu udělen titul "Kolektiv 50. výročí vzniku KSČ". Pracovníci ústavu se podíleli na získání medaile "Mezinárodního strojírenského veletrhu v Brně" za realizaci turbíny 240 MW pro jaderné elektrárny společně s pracovníky koncernového podniku ŠKODA - Plzeň a pracovníky Státního výzkumného ústavu pro stavbu strojů v Praze - Běchovicích. Pracovníkům ústavu byla udělena i řada ocenění ČSAV, odměn Vědeckého kolegia mechaniky a energetiky a další.

Zaměření vědecké činnosti na mechaniku tekuté i pevné fáze umožňuje komplexní řešení důležitých úkolů praxe, což má zvláštní význam při zkracování cyklu věda - výzkum - výroba - využití. Spolupráce ústavu s praxí má z tohoto pohledu dvojí cíl: urychlovat (a někdy vůbec umožňovat) aplikaci výsledků základního výzkumu ve výrobní sféře, zároveň však získávat podněty pro vytváření předstihu ve vědecké a výzkumné činnosti, bez něhož nemůže být spolupráce s praxí efektivní. Těžiště této spolupráce ústavu je ve vztahu ke koncernovým podnikům ŠKODA a ČKD. S těmi uzavřel ústav smlouvy o dlouhodobé spolupráci, jejichž náplň je každoročně zpřesňována tak, aby přinášela oběma smluvním stranám maximální užitek.

Ústavu termomechaniky ČSAV připadá také náročná a odpovědná úloha spoluvytvářet koncepci rozvoje základního výzkumu a podílet se na jeho řízení. Ústav je v současné době sídlem jedné rady stěžejního směru státního plánu základního výzkumu a jako hlavní pracoviště koordinuje čtyři hlavní úkoly téhož plánu. Podílí se i na realizaci cílového projektu "Využití počítačové techniky při projektování složitých strojních zařízení" a je jeho technicko-organizačním pracovištěm.

Ústav má dlouhodobou spolupráci s pracovišti AV-SSSR, AV-BSSR, AV-USSR a SO-AV-SSSR. Spolupracuje také s Akademiemi věd jiných socialistických států. Např. ve spolupráci

s Akademiemi věd NDR a PLR pořádá pravidelné konference o dynamice strojů, které se konají střídavě v NDR, PLR a ČSSR. Ústav byl pořadatelem řady mezinárodních konferencí proslulých světových vědeckých unií a organizací, např. IUTAM, Euromech, IAPS. V rámci Mezinárodního střediska Akademií věd socialistických států pro zvyšování kvalifikace vědeckých pracovníků v oboru výměny tepla uspořádal Ústav termomechaniky dvě specializované letní školy práce, tématicky zaměřené k vědecké činnosti ústavu.

Vědečtí pracovníci mají pedagogické úvazky na vysokých školách a vysokoškolské učitelé se naopak podílejí na vědecké práci ústavu, na činnosti řídicích orgánů státního plánu základního výzkumu a v oponentních radách. Ústav termomechaniky ČSAV je školicím pracovištěm pro vědecké aspiranty z ČSSR i ze zahraničí s právem obhajoby kandidátských vědeckých prací před komisí jmenovanou Vědeckým kolegiem mechaniky ČSAV.

Činnost Ústavu termomechaniky ČSAV byla v uplynulých třiceti letech trvale poznamenávána složitým a nevyhovujícím prostorovým umístěním (část ústavu je dodnes umístěna v provizorním dřevěném pavilónu v Majakovského ulici, který je určen k likvidaci). Také nedostačující, rychle zastarávající přístrojové vybavení, omezená možnost rozšíření personálního i věcného zpomalují vědecký vývoj pracoviště. Tyto těžkosti se dařilo překonávat jen díky dobrým vztahům uvnitř kolektivu i obětavostí a angažovaností jednotlivých pracovníků. Ta by však nestačila, kdyby nebylo pochopení a podpory vedení ČSAV, stranických orgánů a společenských organizací, spolupracujících institucí a závodů.

Úloha Ústavu termomechaniky ČSAV nabyla v posledních letech na významu zejména v souvislosti se světovým vývojem hospodaření energetickými zdroji. Naše stranické a vládní orgány kladou mimořádný důraz na hospodárné využívání energie v celém národním hospodářství. K tomuto cíli směřují i úkoly řešené Ústavem termomechaniky ČSAV, jež si vyžádají

mnoho pracovního úsilí. V této souvislosti představuje dokončení výstavby nové budovy Ústavu termomechaniky ČSAV významnou pomoc. Budova vyrůstá v areálu vědeckých pracovišť ČSAV v Praze 8 (Slovanka). Tím budou zásadně zlepšeny pracovní možnosti ústavu, který se bude moci komplexněji věnovat řešení náročných úkolů rozvoje naší energetiky.

Úspěchy, kterých dosáhl Ústav termomechaniky ČSAV v uplynulých třiceti letech, jsou nemalé. Věříme proto, že se nám i v budoucnu podaří s úspěchem plnit náročné úkoly, které nám naše socialistická společnost uloží, pro dobrou tradici naší vědy a k prospěchu celé společnosti.

Člen korespondent ČSAV  
Ing. Miroslav Píchal, DrSc.,  
ředitel ústavu

## ÚSEK TERMOMECHANIKY A MECHANIKY TEKUTIN

(vedoucí Ing. Jiří Šulc, CSc.)

### Oddělení dynamiky plynů

(vedoucí Ing. Rudolf Dvořák, CSc.)

V současné době se toto oddělení zabývá výzkumem transsonického proudění v lopatkových mřížích. Jde především o fyzikální objasnění vybraných, prakticky významných jevů, které vznikají v uzavřených kanálech a v lopatkových mřížích, jestliže rychlost proudění překročí rychlost zvuku. Experimentálně se zkoumají vybrané typy mříží s transsonickým a supersonickým průtokem, aby se získaly podklady pro moderní a efektivní poloempírické metody návrhu. Souběžně se vyvíjejí i numerické metody pro aerodynamický návrh a optimalizaci lopatkových mříží s transsonickým průtokem.

Hlavní důraz se klade na otázky struktury a fyzikální podstaty transsonického proudění a na proudění s výrazným vlivem vazkosti a bočních stěn, které nelze řešit dosud známými metodami. Podrobně byl např. studován vznik a vývoj soustavy odlehlých čelních rázových vln, které vznikají v lopatkové mříži už při subsonických rychlostech. Příslušné experimenty se uskutečnily v ústavní laboratoři vysokých rychlostí v Novém Kníně, která je vybavena speciální experimentální technikou, např. Machovým-Zehnderovým interferometrem, rychlostní kamerou atd. Po prvé byl tento problém řešen experimentálně i numericky pro asymetrický profil. Byla objasněna vzájemná vazba protitlaku v mříži a odlehlosti čelní rázové vlny, zejména v první fázi jejího vývoje. Podařilo se tak vysvětlit i některé anomálie v průběhu odlehlosti rázové vlny u turbínových mříží s transsonickým průtokem při záporných úhlech náběhu. Tyto práce významně přispěly k řešení silových účinků na mříže.

Zkoumalo se také obtékání odtokové a náběžné hrany profilu lopatky. Experimentální výsledky byly zpracovány do výpočtových podkladů pro návrh lopatkových mříží. Byl nalezen výhodný tvar odtokové hrany pro dané rychlosti vnějšího proudu a pro danou tloušťku profilu. Studium transsonického obtékání náběžné hrany bylo zaměřeno na odstranění nebo alespoň zeslabení rázové vlny uzavírající místní nadzvukovou oblast a tzv. sekundární rázové vlny. Řešení vedlo k doporučení vhodné volby průběhu rychlosti a tvaru profilu. Výsledky výzkumu byly ověřeny u turbinových mříží v k.p. ŠKODA.

Byly též zkoumány nestacionární jevy při obtékání profilů mírně nadkritickými rychlostmi. Získané závěry mohou být využity k návrhu takových úprav profilů křídla nebo lopatkování proudového stroje, které by potlačily vznik transsonických nestacionarit.

Dále se uskutečnila rozsáhlá studie proudění v lopatkových i bezlopatkových difuzorech radiálních kompresorů. Podrobně byla zpracována teorie tohoto proudění, řešení rázových vln a jejich interakce, stanoven průběh proudnic ap. Na toto řešení navázaly studie stejného typu proudění mezi dvěma paralelními stěnami.

Ukázalo se, že vliv omezujících bočních stěn může být ve vnitřní aerodynamice dominantní. Proto se další výzkum zaměřuje např. na vliv šířky kanálu na součinitel povrchového tření, na vytváření pseudorázové vlny, na vznik sekundárního proudění v koutech a na jeho vliv na vývoj transsonického proudění v kanále.

Hledání nových přístupů a možností řešení a snaha o optimalizaci složitých transsonických proudových polí vedly ke studiu variačních principů nerovnovážné termodynamiky. Variační formulace umožňuje sestavit poměrně rychle konvergující postup výpočtu metodou konečných prvků.

V Ústavu termomechaniky ČSAV byly proměřeny profily lopatkování posledních stupňů turbin 125 MW pro jaderné elektrárny. Byly navrženy a ve výrobním závodě k.p. ŠKODA realizovány úpravy, které vedly ke zvýšení účinností tohoto lopatkování. Ústav spolupracoval též s o.p. ČKD (závod Kompresory) na návrhu radiálních difuzorů. Bylo též proměřeno několik mříží pro kompresor leteckého proudového motoru s nadzvukovým průtokem.

Oddělení turbulence a mezních vrstev  
(vedoucí RNDr. Pavel Jonáš, CSc.)

Výzkum se zaměřuje na studium vlivu nestacionárních rozruchů ve vnějším proudu na turbulentní mezní vrstvu. Vývoj proudových strojů velkých výkonů a špičkových parametrů vyžaduje přesnější návrhové a výpočtové postupy, které musí respektovat přítomnost náhodných i deterministických fluktuací parametrů proudění. Umělé řízení struktury proudění vně mezní vrstvy přispívá k odhalování univerzálních zákonitostí struktury turbulentního smykového proudění.

Systematický experimentální výzkum turbulentní mezní vrstvy v proudu s různou turbulencí, který ústav zahájil v padesátých letech jako jedno z prvních pracovišť, umožnil formulovat představy o účincích turbulence vnějšího proudu na strukturu proudění. Kromě shromažďování a hodnocení experimentálních výsledků byl uskutečněn rozbor novodobých výpočtových metod pro turbulentní smykové proudění nestlačitelné tekutiny. Na základě získaných poznatků o struktuře proudění a o univerzálních závislostech parametrů mezní vrstvy byla navržena integrální metoda použitelná pro výpočet dvourozměrné nestlačitelné turbulentní mezní vrstvy, jež se vyvíjí v turbulentním vnějším proudu. Navržená metoda byla ověřena porovnáním s výsledky experimentů za různých okrajových podmínek. Výpočty ukázaly, že uvažováním vlivu turbulence vnějšího proudu na strhávání tekutiny do

mezni vrstvy lze zpřesnit výpočet mezni vrstvy ve vnitřní aerodynamice při návrhu proudových strojů a jiných zařízení.

Současné s tím bylo nutno vyřešit řadu dalších problémů, souvisejících s generací zvýšené hladiny turbulence v aerodynamickém tunelu, s měřením charakteristik nestacionárního proudění plynu ap. Ústav zde dosáhl prioritních výsledků v mezinárodním měřítku.

Osvojené speciální metody měření jsou využívány také ve spolupráci s průmyslovými závody i výzkumnými pracovišti, např. s Výzkumným ústavem energetickým v Praze při výzkumu exhalací z komínů elektráren, s k.p. ŠKODA při vyšetřování struktury proudění v parních turbínách a ve spolupráci s n.p. LET v Kunovicích při měření fluktuací tlaku na povrchu letounu. Rozsáhlá je též spolupráce s vědeckými pracovišti AV-SSSR a AV-NDR.

Oddělení termodynamiky  
(vedoucí Ing. Oldřich Šifner, CSc.)

V oddělení se studují termofyzikální vlastnosti tekutin, transportní a relaxační procesy v plynech, a to v širokém oboru parametrů. Zkoumají se speciální tepelné cykly a jevy související s přeměnami energie v soustavách o několika fázích.

Při studiu termodynamických vlastností tekutin je dlouhodobě věnována zvláštní pozornost vlastnostem vody a vodní páry. Na základě publikovaných experimentálních dat i vlastních měření byla vypracována stavová rovnice popisující s vysokou přesností širokou oblast parametrů až do tlaků 10 000 MPa a teplot 1000°C včetně kritické oblasti, což plně vyhovuje potřebám energetiky a geochemie.

Metodika odvození stavových rovnic na základě kritického výběru dostupných experimentálních dat byla ověřována na inertních plynech kryptonu, xenonu a argonu, vyznačujících

se jednoduchou molekulární strukturou. Přitom byl hledán nejvhodnější matematický popis funkční závislosti stavových veličin v širokém oboru parametrů včetně kritické oblasti. Pro potřeby československého průmyslu byla vypracována řada kritických bibliografií termodynamických vlastností technicky významných plynů, zejména uhlovodíků, a pro některé odvozeny zjednodušené stavové rovnice.

V souvislosti s těmito pracemi byla navržena a jsou vyvíjena nová experimentální zařízení pro přesné měření stlačitelnosti a rychlosti zvuku v tekutinách, která mají poskytnout spolehlivá data pro popis termodynamických vlastností.

Ústav termomechaniky ČSAV spolupracuje s Mezinárodní asociací pro vlastnosti vodní páry (IAPS) na nových vědeckých popisech termodynamických vlastností vody a vodní páry.

V šedesátých letech byl zahájen teoretický a experimentální výzkum termofyzikálních vlastností plynů a jejich směsí při vysokých teplotách.

Teoretické práce zahrnovaly výpočty termodynamických, transportních i elektrických vlastností řady disociujících, příp. ionizujících plynů, významných pro perspektivní průmyslové využití. V této souvislosti byly dále vypracovány a v mnoha případech experimentálně ověřeny výpočtové metody, uvažující molekulární strukturu, excitaci vnitřních stupňů volnosti částic a chemické reakce. To se týká zvláště vysokoteplotní tepelné vodivosti binárních a ternárních plyných směsí.

Pro experimentální práce byly zkonstruovány rázové trubice, umožňující krátkodobý ohřev zkoumaných plynů na teploty několika tisíc stupňů. Souběžně byly vyvíjeny odpovídající kontaktní i bezkontaktní diagnostické metody. Procesy v těchto experimentálních zařízeních byly nejprve prozkoumány z hlediska dynamiky plynů o vysokých teplotách a rychlostech. Hlavní pozornost však byla zaměřena na studium vlast-

ností, jež mají největší význam při přenosu energie médiem, jako je tepelná vodivost, optické vlastnosti, ionizační parametry (teplota a hustota elektronů) a relaxační časy excitačních, disociačních a ionizačních pochodů ve vybraných atomárních resp. molekulárních plynech a jejich směsích. Podle významu se přihlíželo též k druhotným efektům (termofúze, akomodace aj.). V současné době probíhá výzkum vibrační relaxace v opticky aktivním kysličníku uhelnatém a jeho směsích s některými plyny a výzkum působení vysokonapěťového průboje ve vysokoteplotním relaxujícím molekulárním plynu ( $SF_6$ ) a v jeho směsích.

Výsledky výzkumu termofyzikálních vlastností plynů byly využity ve vysokoteplotní technice, v jaderném inženýrství a v silnoproudé elektrotechnice. Přispěly k rozšíření a prohloubení dosavadních znalostí o chování plynů za extrémních podmínek a ke zkvalitnění podkladů pro navrhování strojních a technologických zařízení. Tato vědecká činnost významně podnítila vývoj speciálních experimentálních metod pro nejnáročnější podmínky (krátké časy, velké gradienty a rychlé změny fyzikálních veličin, vysoká napětí, dlouhodobé záření). Bylo postaveno mnoho nových, často původních přístrojů a zařízení. Řada těchto prací se uskutečnila ve spolupráci s akademii věd ostatních socialistických států, zejména s AV-SSSR a AV-NDR.

V oblasti perspektivních termodynamických cyklů a jejich optimalizace byly studovány vysokoteplotní oběhy plynových turbin, paroplynové i obecně kombinované cykly, dále nekonvenční cykly zahrnující přímou přeměnu energie (magnetohydrodynamické generátory včetně těch, které pracují s tekutým kovem). Později byla soustavně studována konverze energie v dvoufázovém proudění, především vliv stavových a geometrických parametrů na přeměnu energie při proudové kondenzaci. Cílem této komplexní teoreticko-experimentální práce je nalézt metody pro hodnocení významu nerovnovážných dějů provázejících přeměnu energie a získat

podklady pro optimalizaci návrhu příslušného zařízení. Experimentální zařízení bylo postaveno v součinnosti s velkými průmyslovými závody a je provozováno ve spolupráci se strojní fakultou ČVUT v Praze.

Oddělení výměny tepla a hmoty  
(vedoucí Ing. Jiří Dundr, CSc.)

Výzkumná práce oddělení je zaměřena na studium využití vysoce ohřátého, částečně ionizovaného plynu pro nové způsoby přeměny energie a pro technologické procesy, při nichž dochází k výměně tepla i hmoty za teplot vyšších než asi 3000 K. Získané poznatky lze využít při návrhu tepelně exponovaných částí energetických a technologických zařízení.

K výzkumu v této vědní oblasti jsou navrhovány a vyvíjeny metody pro měření teploty a rychlosti proudu vysoce ohřátého plynu a pro měření celkového i zářivého toku tepla mezi plynem a povrchem těles vložených do proudu. Pozornost je zaměřena zejména na aerodynamickou strukturu, na mechanismus pochodů ve výbojové komoře plazmatroru a na jejich vzájemnou souvislost.

Pro výzkum aerodynamické struktury proudu plazmatru byly vyvinuty různé typy miniaturních sond s optimalizovaným vodním chladicím systémem, jakož i spektroskopické metody pro měření teploty vysoce ohřátého plynu.

K měření celkového tepelného toku mezi proudem plazmatru a povrchem těles byl vyvinut měřicí systém s kalorimetrickými sondami pro tepelné toky v rozsahu od 1 do 50 MW  $m^{-2}$ , s analogovou vyhodnocovací jednotkou. Dále byl vyvinut termoelektrický radiometr pro zářivé toky od 400 W  $m^{-2}$  do 4 MW  $m^{-2}$ . Pro měření radiálních normálů byl postaven model absolutně černého tělesa.



V oddělení byly navrženy a vyrobeny dva prototypy plazmatronů pro proudy 50 až 200 A, které pracují s argonem při průtocích od 0,3 do 6 g s<sup>-2</sup>. Maximální teplota plazmatu v ústí výstupní trysky dosahuje 12500 K. Některé konstrukční prvky jsou patentově chráněny.

Uvedená zařízení jsou mimo jiné využívána ke studiu chování dusíku popř. vzduchu, ohřátého elektrickými výboji na vysoké teploty.

Mnohé z těchto úkolů byly řešeny ve spolupráci s Institutem teplo- i massobměny AN-BSSR, s Institutem teplofyziky SO-AN-SSSR a s Zentralinstitutem für Elektronenphysik DAW. Výsledky tohoto výzkumu byly uplatněny při řešení praktických problémů v našem průmyslu, např. při výzkumu tepelně izolačních vlastností keramických povlaků pístů spalovacích motorů, při výpočtech teplotních polí v členitých strojních částech pro k.p. ŠKODA, pro stanovení teploty ve výbojích ozařovací výbojky či v obloucích speciálních vypínačů, při vývoji hořáků pro výrobu submikronových skleněných vláken atd.

#### Oddělení experimentálních a vyhodnocovacích metod

(vedoucí Ing. František Pelc)

V oddělení se vyvíjejí snímače fyzikálních veličin pro speciální použití, rozvíjejí se měřicí metody a počítačové systémy k řízení a vyhodnocování experimentů.

Prakticky od založení ústavu vyvíjí toto oddělení tenzometrické metody měření mechanických veličin. V současnosti se výzkum zaměřuje na polovodičové systémy, využívající piezorezistence v difúzních vrstvách křemíku. Byly vyvinuty polovodičové snímače tlaku s křemíkovou membránou a s celomůstkovým uspořádáním difundovaných tenzometrů. Tyto snímače nyní převzal do seriové výroby n.p. TESLA Rožnov a k.p. Závody automatizační a výpočetní techniky v Praze.

Polovodičové tenzometry vykazují značnou teplotní závislost výstupního napětí. Tu lze částečně odstranit vhodnou technologií výroby, avšak pro přesnější měření je nutné použít ještě přidavných kompenzací. V Ústavu termomechaniky ČSAV byly v této souvislosti vyvinuty dvě původní metody takové kompenzace, buď serioparalelní kombinací teplotně nezávislých odporů připojených k můstku snímače nebo samočinnou změnou napájecího proudu. Tento proud je regulován zpětnou vazbou operačního zesilovače. Lze tak dosáhnout teplotní závislosti lepší než 0,02 %/°C v oboru teplot od -20° do +70°C.

K měření rychlých tlakových změn je třeba znát dynamické vlastnosti snímací soustavy, popsané přenosovými funkcemi. K jejich zjišťování bylo vyvinuto několik generátorů časově proměnných tlakových signálů. S jejich pomocí lze přizpůsobit frekvenční přenosovou charakteristiku tlakových snímačů tak, aby vyhověly danému účelu. Tak se podařilo uskutečnit spektrální analýzu budících tlakových polí v porušené turbulentní mezní vrstvě, zjišťovat zdroje nestacionarit v radiálních difuzorech rotačních kompresorů aj. Nejmenší z vyrobených snímačů mají vnější průměr 3,5 mm a objem měřicího vstupního prostoru menší než 1 mm<sup>3</sup>.

Pro tlaková měření v aerodynamickém tunelu byly vyvinuty tlakové sondy, u kterých jsou ve společném pouzdru umístěny tlakový snímač, obvody jeho teplotní kompenzace, řízený napájecí zdroj a operační zesilovač s unifikovanou amplitudou výstupního napětí. Tyto přístroje se využívají v měřicích systémech s automatickým řízením experimentu.

Vyvíjejí se též snímače tlaku, výchylek, sil a zrychlení, z křemíkových prvků s integrovaným tenzometrickým systémem. Na přímý požadavek praxe jsou v oddělení vypracovávány metody pro stanovení namáhání lopatek parních turbin, a to nejen za běžného provozu, ale i za mimořádných přechodových stavů. Pro tyto účely byly již vyvinuty tři generace telemetrických systémů. Po ověření na experimentální turbíně

k.p. ŠKODA v Plzni byly použity v turbínách 110 resp. 200 MW v elektrárnách Prunéřov, Ledvice, Počerady a Tušimice II. Zařízení, které pracuje na rotoru turbíny v poli zrychlení asi  $25\,000\text{ m s}^{-2}$ , při stoprocentní vlhkosti a při teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ , vykazalo pro praxi přijatelnou životnost i spolehlivost.

K vědeckým a technickým výpočtům i k řízení a vyhodnocování experimentů slouží v Ústavu termomechaniky ČSAV řídicí a měřicí systém Hewlett-Packard 9603A s minipočítačem 21 MX. Vybavení systému je doplňováno nestandardním periferním zařízením vyvinutým v Ústavu termomechaniky ČSAV, např. reléovým přepínačem pro multiplexní provoz, zařízením pro paralelní přenos dat a pro dálkové ovládání počítače klávesnicí EC 0101 při experimentech.

Připravuje se rozšíření výpočetních možností ústavu terminálovým připojením k počítači EC 1040 Střediska výpočetní techniky ČSAV a instalací hybridního minipočítačového systému tuzemské výroby.

Oddělení vedl až do své smrti r. 1978 Ing. Ladislav Tomanec, CSc., jehož práce na vývoji polovodičových snímačových systémů byla oceněna udělením státní ceny Klementa Gottwalda v roce 1971.

#### SEKCE MECHANIKY PEVNÉ FÁZE

(vedoucí Dr. Ing. Ladislav Půst, DrSc., člen korespondent ČSAV, laureát státní ceny Klementa Gottwalda)

#### Oddělení dynamiky soustav těles

(vedoucí Ing. Milan Hortal, CSc.)

Práce oddělení je zaměřena na teoretický a experimentální výzkum dynamických vlastností složitých konstrukcí a mechanických soustav. Zvláštní pozornost se věnuje modelovému výzkumu a identifikaci soustav, nelineárnímu kmitání, soustavám s kinematickými a parametrickými členy, sou-

stavám s rázy, výzkumu stochastických účinků a výzkumu interakce poddajných těles s proudící tekutinou.

Práce vykonané v souvislosti s modelovým výzkumem složitých strojních a stavebních děl byly v roce 1966 odměněny Státní cenou Klementa Gottwalda. Ve spolupráci s k.p. ŠKODA, ČKD a s První brněnskou strojírnu, závody Klementa Gottwalda v Brně, byly na modelech vyšetřeny a optimalizovány dynamické vlastnosti různých konstrukcí, např. základy pro parní a plynové turbíny, podvozek elektrických lokomotiv, stator hydrogenerátoru, statory elektrických strojů, ložiskové stojany, skořepinové komponenty jaderných reaktorů, statory velkých kompresorů atd. V současné době se práce na dalším vývoji metodiky modelových zkoušek zaměřují na automatizaci experimentů s použitím řídicího počítače.

Teoreticky i na modelech byly studovány odezvy na periodické i neperiodické buzení. Byly vyšetřovány výrazně nestacionární děje, např. chování velkých energetických soustrojí při zkratech v elektrické síti, přechodové děje při přejezdech rezonančních oblastí atd. Výsledky tohoto výzkumu umožnily zjednodušit některé konstrukce a ušetřit tak devizové prostředky. Znalost přechodových stavů strojů a jejich částí dovoluje také přesněji počítat kumulaci poškození a provozní spolehlivost. V souvislosti s chvěním skořepinových elementů obtékaných tekutinou s turbulentní mezní vrstvou bylo experimentálně stanoveno rozložení tlakových pulzací působících na stěnu. Byly objasněny zákonitosti změn vlastních frekvencí a útlumu různě uložených válcových skořepin na rychlosti a hustotě protékající tekutiny. Zároveň byly vypracovány metody výpočtu a výpočetní programy pro odhady kritických rychlostí tekutiny, při nichž ztrácí skořepina stabilitu. Problémy tohoto druhu, při kterých se uplatňuje zpětná vazba mezi deformací obtékaného povrchu konstrukce a aerodynamickými silami, jsou významné pro konstrukci komponent jaderných elektráren, parních turbín, turbokompresorů, naftovodů, plynovodů, letadel aj.

Byly zkoumány dynamické poměry v soustavách s rázy, jakými jsou např. buchary, pneumatická kladiva, vrtací soupravy, vytrhací rošty, zhutňovače, drtiče, rázové tlumiče, mechanismy s vůlemi apod. U těchto soustav je nutné zkoumat otázky stability odezvy na vnější buzení a mnohoznačnosti řešení. Spadá sem též studium pohybu systémů palivových článků jaderných reaktorů. Tato úloha se řeší ve spolupráci s AV-SSSR.

Při výzkumu odezvy na náhodné buzení nelineárních mechanických soustav se postupuje jednak analyticky určováním středních statistických závislostí, jednak metodou analogové simulace. Ta umožňuje studovat i analyticky neřešitelné dynamické jevy. Zvláštní pozornost se věnuje vlivu nestacionárních dynamických jevů na identifikaci reálných mechanických soustav. Některé výsledky tohoto výzkumu využil o.p. ČKD ke zlepšení dynamických vlastností podvozků motorových lokomotiv.

V Ústavu termomechaniky ČSAV byla vypracována teorie dynamického vyšetřování nelineárních parametrických soustav s kinematickými vazbami a aplikována na případ planetové diferenciální převodové soustavy. Uvažovaly se i silné nelinearity, např. vliv technologicky podmíněných vůlí v kinematických dvojicích. Zkoumaly se stacionární dynamické děje, rezonance i jevy bifurkační, podmínky stability řešení ap. Byly též sledovány možnosti, které při řešení složitých soustav poskytuje počítačový systém pro symbolickou manipulaci. Jsou vypracované základní programy v jazyku REDUCE pro automatické sestavování pohybových rovnic.

V oddělení dynamiky soustav jsou řešeny i úlohy z dynamické analýzy a syntézy s cílem vytvořit nové metody identifikace a ladění, které by sjednotily teoretický a experimentální výzkum v jednotný teoreticko - numericko - experimentální proces a věrohodnějším poznáním přispěly k vyšší provozní spolehlivosti strojů. Výsledky řešení jsou aplikovány především v o.p. ČKD (závod Kompresory), ve

Státním výzkumném ústavu pro stavbu strojů v Praze - Běchovicích a ve Výzkumném ústavu obráběcích strojů a obrábění v Praze.

#### Oddělení mechaniky anizotropních těles

(vedoucí Ing. Josef Kabelka, CS.)

Práce oddělení se soustřeďuje na výzkum vyztužení plastů s cílem prohloubit znalosti o mechanických vlastnostech těchto nových typů konstrukčních materiálů.

Výzkum pevnosti kompozitních materiálů při kombinovaném namáhání vzorků na experimentálním zařízení vybudovaném v Ústavu termomechaniky ČSAV ukázal, že pevnost vzorků může být značně ovlivněna způsobem jejich přípravy. Výzkum polymerních materiálů s vyztuží ve formě tkaniny potvrdil, že pro tyto materiály v širokém rozsahu teplot i rychlosti zatěžování dobře vyhovuje kritérium vyjádřené kvadratickou formou složek napjatosti ve tvaru navrženém pro anizotropní materiály Goldenblatem a Kopnovem. Měření umožnila stanovit potřebné pevnostní charakteristiky a vytvořit tak předpoklady pro užití uvedeného pevnostního kritéria v konstrukční praxi.

Ke zkoumání reologických vlastností polymerní matrice byl vyvinut zkušební systém, který dovoluje měřit creepové deformace při programovaném průběhu teploty. Byla navržena metoda výpočtu průběhu creepových deformací při proměnlivé teplotě na základě znalosti creepových křivek při konstantních teplotách.

Vznik a rozvoj trhlin v kompozitních materiálech závisí mimo jiné na zbytkovém pnutí. To vzniká při vytvrzování polymerní matrice a závisí na teplotní roztažnosti a reologických vlastnostech složek. V ústavu termomechaniky ČSAV se uskutečňuje výzkum těchto vlastností v širokém rozsahu teplot. Stanovují se termoelastické charakteristiky kompo-

z.tu na základě znalosti charakteristik jeho složek a jejich geometrického uspořádání. Výpočtové postupy se týkají materiálů s uspořádanou textilní vyztuží i se stochasticky rozloženými vlákny. Dovolují stanovit termoelastické charakteristiky i vlastní prnutí s přesností, která pro technickou praxi plně vyhovuje. Předmětem výzkumu byly i materiály vyztužené novými typy vláken (vlákna uhlíku, bóru, z aromatického polyamidu typu Kelvar).

Pro výzkum mechanismu porušování byla vypracována metoda stanovení lomové houževnatosti polymerů, která se stala základem pro návrh československé státní normy. V současné době se výzkum soustřeďuje na stanovení korelací mezi charakteristikami lomového procesu a charakteristikami akustické emise, uvolňované v materiálu při vzniku a šíření trhliny, a na využití počítačů pro zpracování výsledků měření.

Výzkum je plánován v součinnosti s vysokými školami, zejména s Českým vysokým učením technickým v Praze, a s výrobními závody. Jeho cílem je přispět k uplatnění progresivní technologie a nových typů materiálů při inovacích výrobků v důležitých odvětvích výrobní sféry.

Oddělení mechaniky tělesa  
(vedoucí Ing. Josef Heřt, CSc.)

Výzkum se soustřeďuje na dvě hlavní tématické oblasti, a to na nestacionární dynamickou napjatost v pevných tělesech při jejich rázovém zatěžování a na výzkum tuhosti a konstrukčního tlumení v dynamicky zatěžovaných soustavách.

Byly vypracovány vzájemně navazující teoretické i experimentální metody umožňující zkoumat šíření napěťových vln v homogenních, zpravidla elastických tělesech. Ústav termomechaniky ČSAV se stal prvním pracovištěm v ČSSR, kde

se uskutečňuje systematický, komplexně koncipovaný výzkum nestacionární dynamické napjatosti a rázových jevů. Zpočátku se řešení týkalo těles jednoduchých tvarů (ráz tenkých tyčí, rozlehlých desek, torzní ráz na kotouč ap.), později se začalo pomoci integrálních transformací a metody konečných prvků s řešením úloh složitějších, geometricky dvou- rozměrných (torzní ráz na hřidel, rázově namáhaný stěnový pás, napjatost v přechodu z kuželové do válcové části hřídele při průchodu torzní rázové vlny atd.). Řešení těchto úloh byla dovedena až do praktických výsledků, což vyžadovalo rozsáhlé numerické výpočty. Cílem bylo nejen objasnit zásadní rozdíly mezi exaktně řešenou nestacionární dynamickou napjatostí a přibližným řešením založeným na obvyklých předpokladech inženýrské elastostatiky, ale také vytvořit normativ pro porovnání s výsledky přibližného řešení numerickými metodami, jež jsou rovněž v Ústavu termomechaniky ČSAV vyvíjeny. Tyto metody byly zároveň předmětem kritického zkoumání z hlediska inherentního zkreslení, jež vyplývá z omezení počtu stupňů volnosti při praktickém výpočtu.

Postupně byly vyvinuty a na praktických příkladech ověřeny metoda sítí, metoda fyzikální diskretizace a metoda konečných prvků. Podařilo se vytvořit výpočetní systém pro řešení dynamické napjatosti v obecných rovinných elastických oblastech. Systém umožňuje i názornou grafickou interpretaci výsledků.

Současně s teoretickým výzkumem se rozvíjely i metody experimentální. Byla vyvinuta metoda dynamické tenzometrie a dynamické fotoelasticimetrie. Předností fotoelasticimetrie je, že pomocí záznamu izochromát dává přehledný obraz o okamžitém stavu napjatosti v celém sledovaném tělese nebo soustavě. Pro reprodukovatelné děje byla vyvinuta metoda synchronizované fotografie, která umožňuje při opakovaném experimentu získat sled záznamů izochromát v různých okamžicích rázového děje. K záznamu nereprodukovatelných dějů slouží vysokofrekvenční zrcátková kamera nebo speciál-

ni kamera Cranzova-Schardinova typu, zkonstruovaná pracovníky oddělení. Umožňuje získat 10 kvalitních obrazů snímaných v různých časových odstupech, a to až do frekvence 500 kHz.

K separaci hlavních napětí nelze použít postupů běžných pro statické úlohy. Kromě tenzometrie a měření změn dvojlomu v izolovaných bodech modelu fotoelektrickou cestou byla aplikována ještě metoda šikmého prosvěcování, pro kterou bylo postaveno speciální zařízení. V současné době se vyvíjí také holografické zařízení s pulsem laserem.

Byly studovány také viskózní a plastické vlastnosti modelových i konstrukčních materiálů. Rozsáhlé práce byly zaměřeny hlavně na studium charakteristik tuhých lehčených plastů, vhodných pro pohlcení energie při mechanických rázech vysokých intenzit. Charakteristiky materiálů, změřené pomocí speciálního "pneumatického děla", umožnily spolu s teoretickými rozborů aplikovat výsledky práce na konstrukci ochranných krytů broušících strojů nové generace. Ve spolupráci s praxí bylo též měřeno dynamické provozní namáhání železničního kola, uskutečnilo se ocejnování obřího Charpyho kladiva, sledovalo se napěťové pole při vzniku a šíření trhlin ve zkušebních vzorcích atd.

Výzkum konstrukčního tlumení se týkal úloh, u nichž se uplatňuje suché nebo polosuché tření, nelineární dotyková tuhost, složitost přenosu sil v kontaktních plochách apod. Při periodickém namáhání takovýchto soustav dochází obvykle k nezanedbatelné disipaci energie, jež ovlivňuje dynamickou odezvu. Tyto úlohy jsou většinou nekorektní, neboť okrajové podmínky závisejí na výsledcích řešení. Proto je nutné vypracovávat speciální iterační metody řešení. Byla tak řešena torzně namáhaná lisovaná spojení (hřídel s ozubenými koly, turbinovými kotouči, spojky hřídelů), vyšetřována tuhost a tlumení v rotorech elektrických kompenzátorů, ohybová tuhost skládaných rotorů rozměrných elektrických strojů a svařovaných rotorů parních turbin,

tedy tuhost konstrukčních uspořádání, jejichž účelem je překonat mez ve vývoji velkých strojů, kterou pro tradiční konstrukci představuje technologie.

Zajímavé a pro praxi významné výsledky přineslo řešení stability stohů těles, ukládaných buď přímo nebo pomocí palet. Limitujícím faktorem pro výšku stohu, při níž dochází k jeho samovolnému pádu, jsou výrobní nepřesnosti, nepřesné ukládání těles do stohu, nelineární dotyková tuhost a elastické deformace.

Podobnou třídu problémů tvoří vrstvené materiály. Byla navržena metoda výpočtu tuhosti a napjatosti stahovacích desek statorů elektrických generátorů, lepených z dynamových plechů ve tvaru střídavě překládaných mezikruhových segmentů.

Pomocí nelineární dotykové tuhosti byl vysvětlen rozpor mezi měřenými hodnotami tlaku působícího na buben válcovací stolice při válcování velmi tenkých plechů a výsledky výpočtů podle lineárních teorií. Byla vypracována nová nelineární teorie, umožňující zpřesněný výpočet napjatosti ve svitku válcovaného plechu. Program výpočtu v jazyku FORTRAN byl postoupen k.p. ŠKODA. Má význam nejen pro dimenzování bubnu, ale i pro řízení technologického procesu.

Byly řešeny i jiné problémy, např. pevnost nesouměrně namáhané bandáže konců vinutí rotorů elektrických generátorů, skluzové a převodové poměry v řemenových převodech aj.

Cílem další výzkumné práce je vyšetřovat napjatost a deformace v základních konstrukčních prvcích vystavených krátkodobému, intenzivnímu silovému působení, a to i za případného vzniku velkých posuvů nebo i přetvoření, kdy je materiál namáhan nad mez pružnosti, projevuje plastické nebo viskoplastické vlastnosti, popř. se porušuje. Důraz se klade zejména na vývoj numerických metod a na vypracování experimentálních a modelových postupů, které by bylo možno automatizovat.

## NOVOSTAVBA ÚSTAVU TERMOMECHANIKY ČSAV V PRAZE 8

Současné umístění Ústavu termomechaniky ČSAV je vzhledem k prostorovým možnostem nevyhovující. Experimentální zařízení je trvale využíváno v nejvyšší možné míře, jeho vývoj se však omezuje jen na dílčí úpravy a nová náročnější zařízení nelze vůbec realizovat.

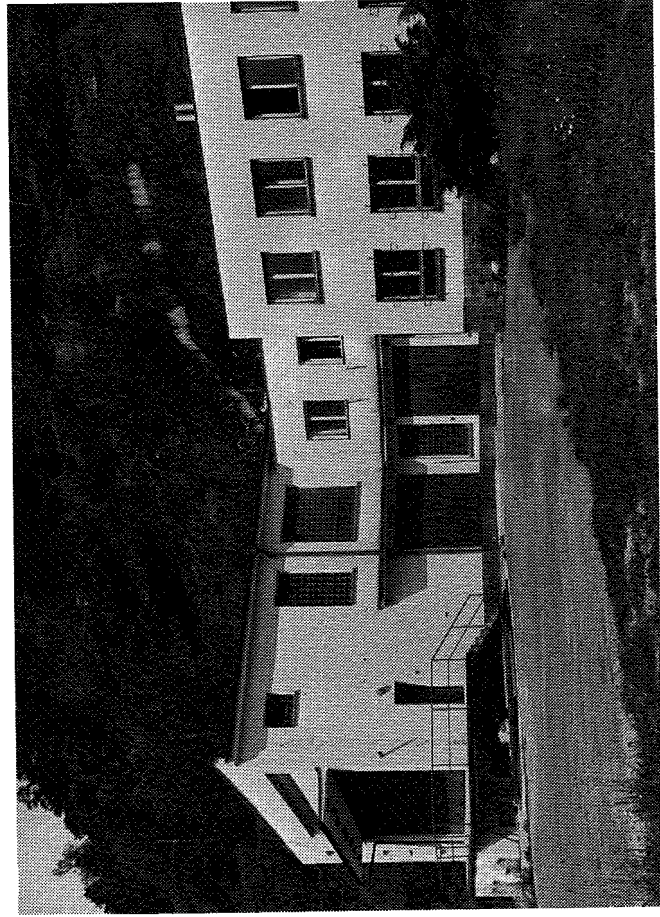
Perspektivní program činnosti ústavu, který navazuje na dlouhodobou prognózu badatelského výzkumu, vytvořenou se zřetelem k potřebám rozvoje našeho průmyslu, i na požadavky spolupracujících závodů, zejména k.p. ŠKODA a o.p. ČKD, nutně vyžaduje inovaci starých a vytvoření nových náročných zkušebních zařízení. Proto byla navržena a realizována výstavba v areálu ústavů technických věd ČSAV v Praze 8.

Novostavba je umístěna při hlavní severojižní komunikaci, jižně od Střelničné ulice. Provozní budova má šest nadzemních podlaží. Za ní jsou položeny objekty dílen, zkušeben a trafostanice. Toto objemové řešení se shoduje s řešením dvou sousedních ústavů, a to Ústavu fyzikální chemie a elektrochemie Jaroslava Heyrovského a Ústavu fyziky plazmatu. Provozní budovy jsou řešeny tak, že umožňují přístavbu i nástavbu. Budova je řešena jako celomontovaný skeletový systém s podélnými průvlaky. Zkušební hala jde na výšku dvou nadzemních podlaží.

Nové umístění ústavu umožní nejenom inovaci a rozšíření experimentální základny a zlepšení pracovních podmínek, ale také operativnější styk se sousedícími ústavami ČSAV a zejména se Střediskem výpočetní techniky ČSAV v Praze 8.

## OBRAZOVÁ ČÁST

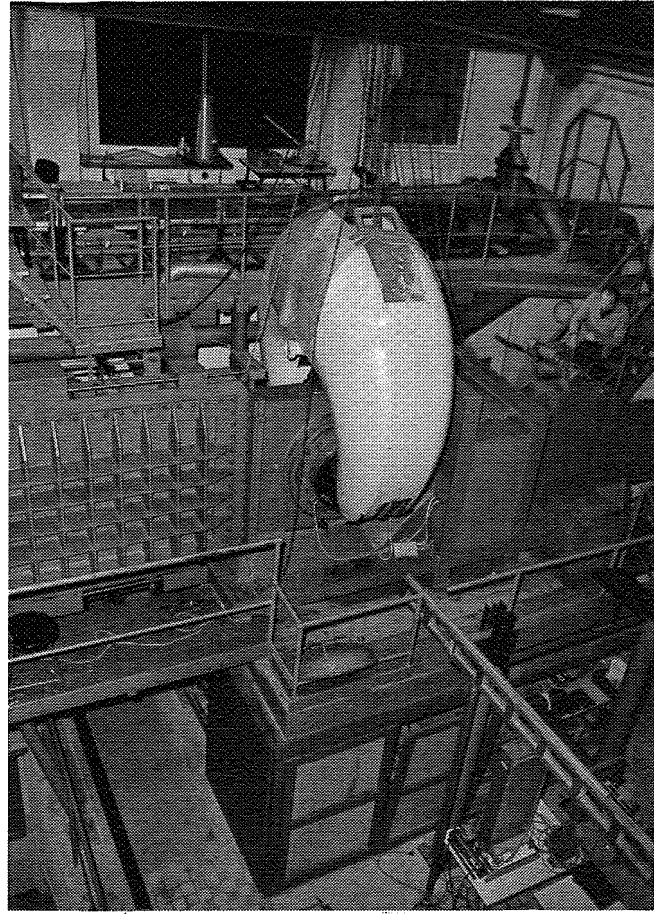
Obr. 1 až 8 - fotografie Jiřího Plechatého,  
9 a 10 - archiv ÚT - ČSAV



Obr. 1 Laboratoř vysokých rychlostí v Novém Kníně

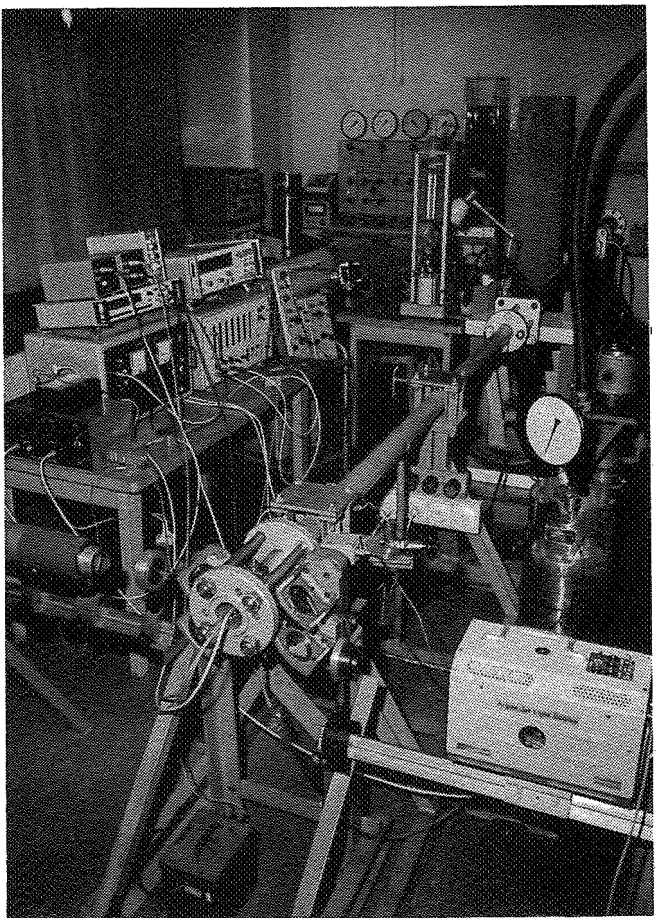


Obr. 2 Aerodynamický tunel v Novém Kníně

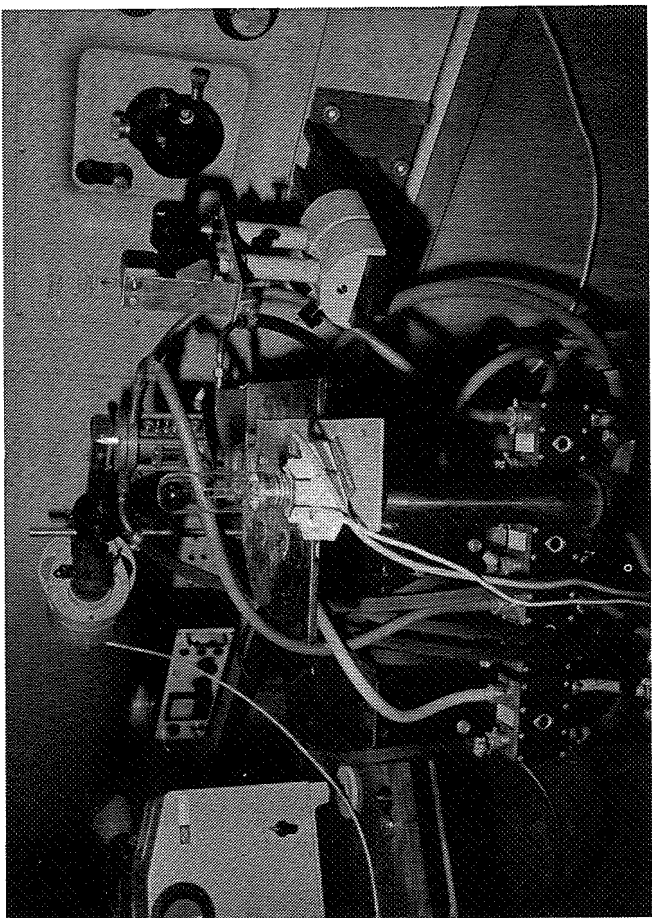


Obr. 3 Systém pro měření charakteristik nestacionárního proudění



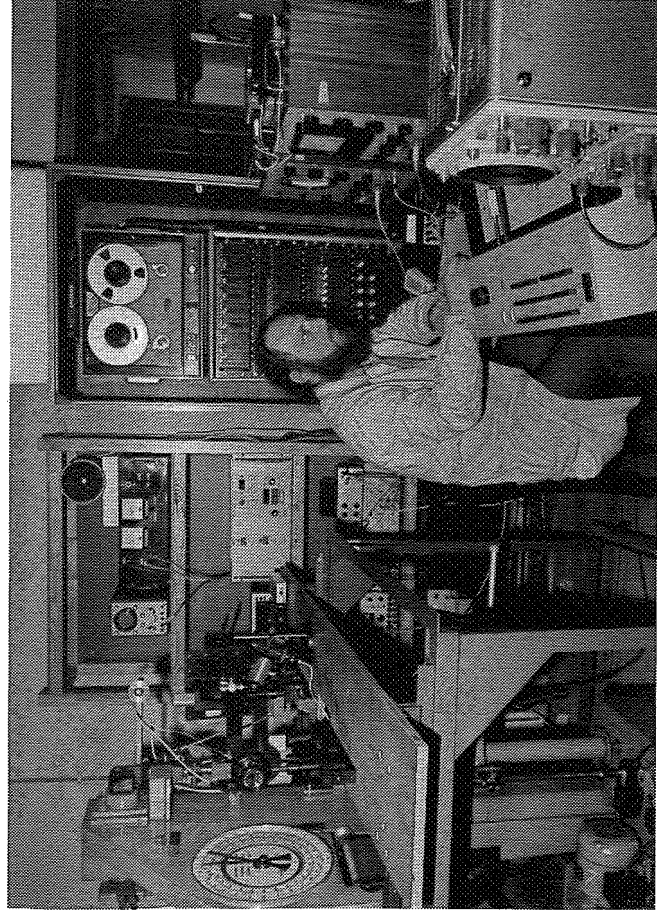
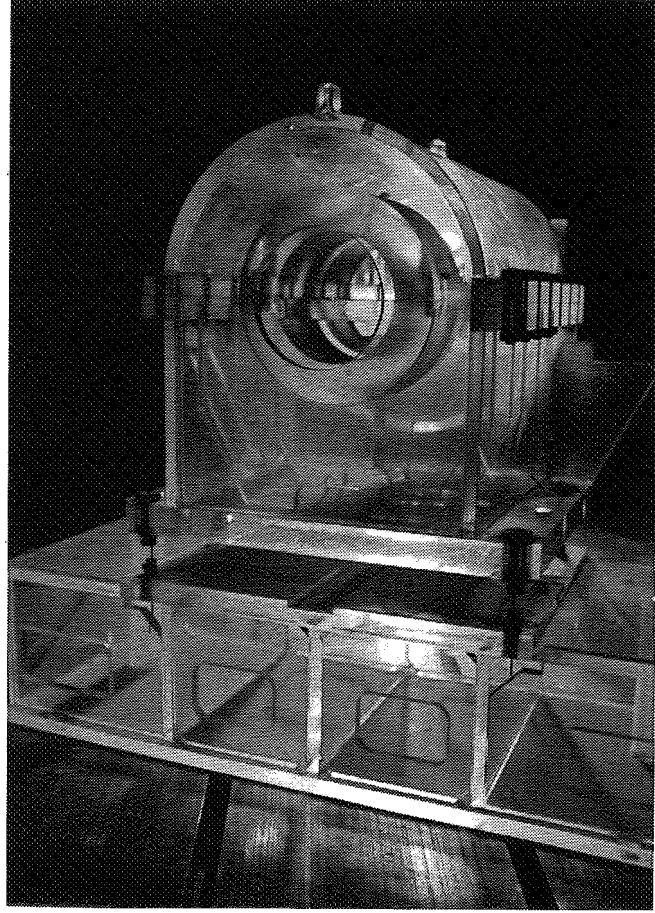


Obr. 4 Rázová trubice v laboratorii termodynamiky



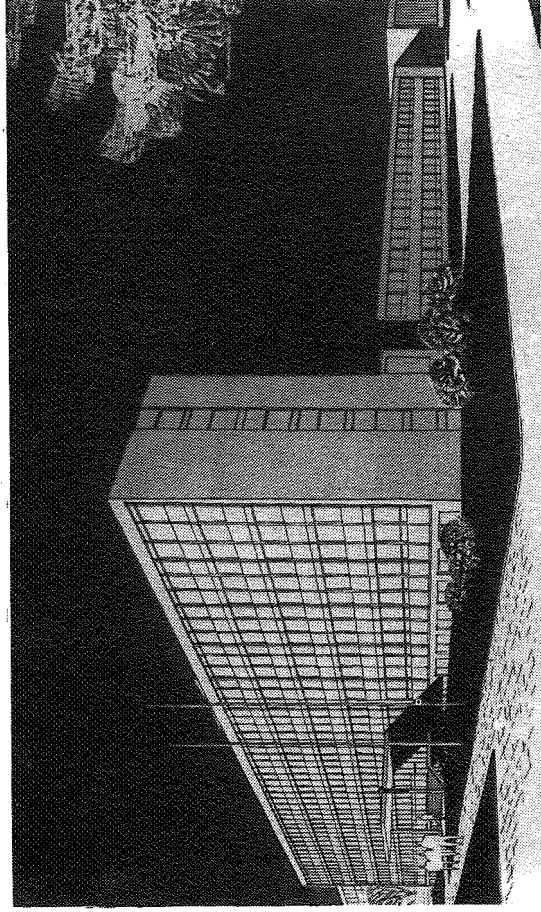
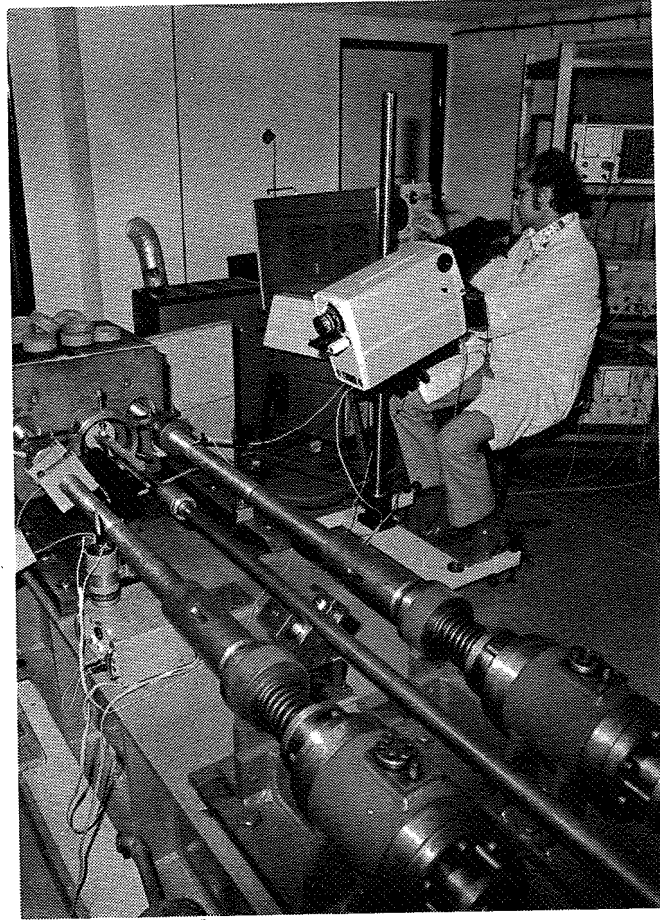
Obr. 5 Spektroskopická měření v proudu plazmatu

Obr. 6 Model skříňně turbokompresoru

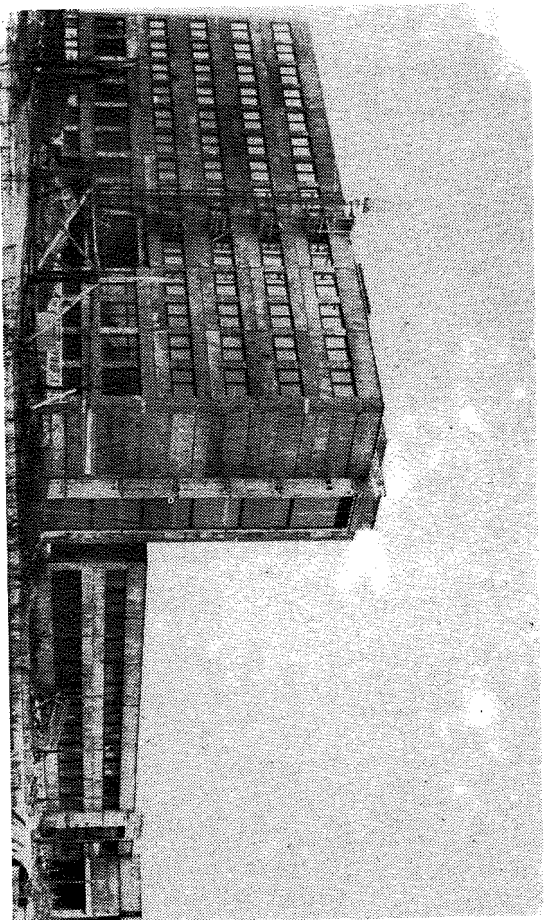


Obr. 7 Lomové zkoušky polymerních materiálů

Obr. 8 Pneumatické zařízení pro rázové zkoušky těles



Obr. 9 Projekt výstavby Ústavu termomechaniky ČSAV



Obř. 10 Vřstavba nověho objektu Úřtavu termomechaniky ČSAV v Praze 8