

Fakulta strojní

# Konstrukce aparátů

**prof. Ing. Igor Jaško, CSc.**  
**doc. Ing. Jiří Lukavský, CSc.**

1989

---

Ediční středisko ČVUT, Praha 6, Zikova 4

Rychlý rozvoj strojírenské technologie, svařování a tváření umožnil v posledních dvou desetiletích pokrýt zvýšené požadavky chemického průmyslu na velkoobjemové aparáty a zařízení, která mohou pracovat při extrémních podmínkách. Hospodárnost výstavby nových výroben při úsporách investičních a provozních nákladů vyžaduje, aby konstrukce a technologie výroby byly řešeny podle zásad nejvyspělejší techniky a na základě nejnovějších vědeckých poznatků. Daný stav techniky bývá obvykle podohycen v předpisech pro stavbu, dimenzování a zkoušení materiálu, příp. hotového díla. Při jejich používání je však třeba si uvědomit, že konstruktérovi a projektantovi by měly ulehčit jen myšlení při návrhu, ale neměly by ho nahražovat. Cílem technických předpisů je vytváření záruky úrovně bezpečnosti při odpovídajícím stavu techniky. Problematika dimenzování aparátů je však dosud velmi široká a zdaleka není ještě vyřešena.

Velkou část zařízení chemických provozů představují nádrže a nádoby válcových tvarů zhotovené z plechu a profilového materiálu - zásobníky, reaktory, odparky, kolony, výměníky aj., jejichž tloušťka stěny je vůči ostatním rozměrům velmi nepatrná. Kromě rotačně symetrického zatížení mohou být namáhány i obecnějším zatížením, např. účinky větru, sněhu atd. Uvedená zařízení tvoří strojírenské výrobky, jež lze ve značné míře dobře optimalizovat, účelně zvýšit nosnost při ekonomickém využití vlastnosti materiálu a tím dosáhnout požadované životnosti.

Chtěli bychom zdůraznit, že právě v chemickém a potravinářském průmyslu s ohledem na technologické procesy probíhající v aparátech se vyžaduje od konstruktéra opatrná volba materiálu, konstrukce a technologie výroby zařízení. Kromě již značných investic na vlastní objemné a těžké aparáty, přistupují u ne zcela správně navržené konstrukce zvýšené náklady na energie, na opravy vyvolané korozi, erozi nebo zvýšeným mechanickým či tepelným namáháním. Odstavení jednoho článku mává obvykle za následek zastavení celé výrobní linky a to právě tam, kde na tuto možnost nebylo při návrhu pamatováno. Součásti nejvíce namáhané nebo se zkrácenou životností se musí navrhovat jako snadno vyměnitelné, v některých případech i za provozu celé linky.

Na rozdíl od dřívějška musí konstruktér přihlížet k surovinové situaci, zejména u legovaných materiálů. Je třeba pamatovat na dlouhodobé a stupňované nároky i v jiných odvětvích národního hospodářství, zejména v jaderné energetice. Často musí hledat nové materiály, např. v poslední době se jako perspektivní ukazují kompozity, které by při své dostupnosti a ceně, příp. svými vlastnostmi byly pokrokem proti stavu dnes dosaženému. Aby je bylo možno použít v širším měřítku, musí konstruktér usilovat o zevšeobecnění těch jejich vlastností, které mají pro navrženou konstrukci rozhodující význam. Podobně současná situace v nahražování azbestových materiálů pro utěsnění nás staví před problém ekvivalentního výběru nových, ale dražších materiálů. Polyamidová - kevlarová, teflonová a grafitová vlákna, příp. expandovaný grafit, abychom vyjmenovali ty nejzákladnější polotovary, jsou možnostmi, které ukazuje vývoj některých zahraničních firem vyrábějících těsnění.

V neposlední řadě zkušenost ukazuje, že každý nově použitý výpočet pro dimenzování částí aparátů by měl být vždy kontrolován jednoduchou "inženýrskou" metodou. Ta sice nemusí dávat přesné výsledky, ale ty musí být na straně větší bezpečnosti. V oblasti obecných zatížení existuje v konstruční praxi řada nejasností.

Proto se nejprve postupuje jednoduchými metodami a pak se zavede určitá míra bezpečnosti, která je spíše daní z nedostatečné znalosti toho, co se v konstrukci skutečně děje. Je důležité získat představu o chování konstrukce jako celku, a potom se obvykle najde i metoda, jak namáhání v ní početně vyjádřit.

Ukázat cesty pro skloubení popsaných činností a úkolů konstruktéra, naučit posluchače inženýrsky myslet, je cílem každého učitele. Při koncipování předmětů "Konstrukce výrobních zařízení" a "Konstrukce aparátů" a rovněž těchto skript bylo toto naším přáním.

Zda se to podařilo, nechť ukáže odezva při eventuálních připomínkách a doplňcích.

Prof.Ing.Igor Jaššo, CSc.  
Doc.Ing.Jiří Lukavský, CSc.

Praha červen 1988

Jednotlivé kapitoly zpracovali: kap. 4.0 - prof.Jaššo

kap. 1.0,2.0,3.0,5.0,6.0 a 7.0 - doc.Lukavský

Činnost konstruktéra a projektanta začíná úvahami o charakteru zatěžování aparátu během jeho předpokládaného života. Není rozhodující jen zatížení vyplývající z technologického procesu, ale všechna zatížení, počínaje technologií výroby, dopravy na stavenišť, montáží, tlakovou zkouškou, běžným provozem a možnými extrémními výplývajícími z mimořádných podmínek a havarijních situací. Dále je třeba počítat s poruchami vznikajícími stárnutím materiálu, tečením a relaxací, korozí a erozí. Velmi podstatný je i lidský činitel, jehož vlivem vzniká řada "nevysvětlitelných poruch" při překročení provozních parametrů tlaku a teploty. Uvedené vlivy je třeba zahrnout do tzv. referenčního stavu, který je uveden v technické dokumentaci jako výpočtový přetlak a výpočtová teplota. Hydrostatický tlak je třeba uvažovat tehdy, zvýší-li se zatížení součásti o více než 5%. Vzniká-li současně vnitřní a vnější přetlak, nesmí se výpočet provádět na rozdílový tlak, ale samostatně pro oba přetlaky.

Při návrhu zařízení nerozhoduje pouze maximální úroveň zatížení, ale také jeho změna v čase. Pro některé části zařízení pracující při záporných nebo naopak vysokých teplotách jsou důležité teploty stěny a jejich změna při zkušebních a provozních podmínkách, ale též při "najíždění a odstavování" z provozních parametrů. Zejména novodobá zařízení dimenzovaná ekonomicky "na doraz" musí být hodnocena zvláště pečlivě a uvaženy všechny možné extrémy, s nimiž se v praxi setkáváme velmi často. Pak neuvážená "úspora" přináší velké náklady na opravy a zářázky. Jen při znalosti zatěžování během života zařízení je možné stanovit jeho provozní spolehlivost a zbytkovou životnost. S ohledem na bezpečnost tlakových zařízení lze zatížení specifikovat do tří provozních podmínek:

- a) normálních
- b) mimořádných
- c) havarijních.

a) K normálním provozním podmínkám patří zatížení vyvolaná technologickým procesem a další přídavná zatížení působící během provozu např. větrem, sněhem, vlastní tíhou a tíhou připojených částí, uložení, příp. zatížení vznikající při výrobě, např. při tváření, po svařování, mechanickém obrábění aj.

b) K mimořádným provozním podmínkám patří stavy, které nejsou vyvolány normálním technologickým procesem, ale při zvláštních případech vyvolaných např. poruchou v regulačním systému nebo přírodními podmínkami - zemětřesení, samobuzené kmitání. Rozměry zařízení musí být takové, aby případná porucha se mohla v těchto podmínkách odstranit nebo aby zařízení šlo odstavit při minimálních následcích na funkci. Skupina primárních napětí od zatížení při mimořádných provozních podmínkách se omezuje dovoleným napětím o 20% vyšším než u normálních provozních podmínek. Napětí od seismických účinků se omezují zvláštními hodnotami dovolených napětí, které jsou vyšší než u silových účinků.

c) K havarijním situacím dochází např. při selhání těsnění, prasknutí potrubí, náhlém zeslabení stěny, nadměrným opotřebením apod. Tyto případy by neměly vést k poruchám hlavního technologického zařízení. Zajišťování odstávky by mělo být zaručeno s minimálními následky (průtržné membrány, pojišťovací ventily, havarijní pojistky). S uvedenými podmínkami se lze setkat výjimečně u výbušných, hořlavých a jedovatých látek. Neuvažuje se při posuzování na únavu. Primární napětí v havarijních situacích se omezuje dovoleným napětím o 40% vyšším, než v normálních provozních podmínkách.

System kategorizace napětí [2-8] vyvinutý v USA zprvu pro zařízení jaderných elektráren a později v r.1968 zavedený pro všechny tlakové nádoby měl zabránit jejich zbytečnému předimenzování a potom umožnit použití přesnějších metod výpočtu napjatosti. Dovoluje přibližně pružně plastické dimenzování součástí tlakových nádob, pro něž existuje pružná analýza napjatosti. Dnes se pro pružně-plastické chování hledají nové cesty.

Napětí jsou zde sestavena podle druhů, původu a účinku. Kategorie I obsahuje prostá membránová napětí tahová a ohybová, místní membránová napětí,

Kategorie II zahrnuje sekundární napětí vyvolaná změnou tvaru a základní teplotní napětí

Kategorie III se týká lokálních účinků v blízkosti vrubů, jejichž účinek nezasahuje např. celou oblast tloušťky stěny; podobné účinky mají místní teplotní napětí nebo povrchová teplotní pnutí.

Stále častěji se při hodnocení napjatosti používají numerické metody, metody konečných prvků, metody konečných diferencí. Přes jejich velký rozvoj musíme umět používat inženýrsky jednodušší analytické výpočty, jejichž platnost je mnohdy třeba ověřit experimentálně. Je třeba si uvědomit, že čím je výpočtové schéma složitější, tím je výpočet časově i finančně náročnější. Jeho přesnost si musíme stejně ověřit. I při této činnosti jsou zkušenosti starších konstruktérů, technologů, svářečů a dělníků velmi cenné. Komplexní pohled na celou problematiku dává též předmět "Konstrukce výrobních zařízení".