

Ing. Miloš D r d á c k ý , CSc.  
Ústav teoretické a aplikované mechaniky ČSAV  
128 49, Praha 2, Vyšehradská 49

## Interakce teorie a experimentu při optimalizaci tenkých stěn

Cílem inženýrový činnosti je optimální využití přírodních sil a materiálů ku prospěchu lidstva. Definujeme obecně optimalizaci jako maximalizaci utility při minimu vynaložené energie, přičemž potřebná energie či úsilí, ale i utilita je chápána v závislosti na podmínkách vědecké, technické, kulturní i filosofické úrovně společnosti, v níž je proces optimalizace uskutečňován a jeho výsledek užíván /1/. Přitom by neměl být narušen harmonický vztah mezi činností člověka a vývojem přírody v současnosti i do budoucna. Jedná se tedy o komplexní problém, který obvyklá technická praxe silně zjednodušuje.

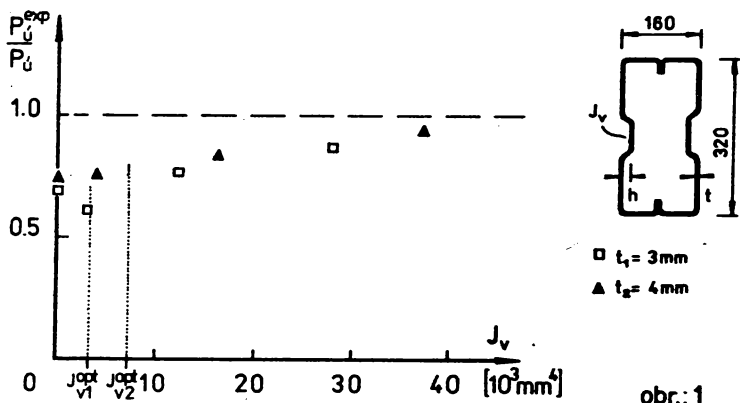
Při řešení některých dílčích optimalizačních problémů je účelné a někdy i nevyhnutelné použít metod experimentální mechaniky. Mnohé úlohy však zůstávají natolik komplikované, že jejich experimentální řešení by bylo neekonomické. Optimální navrhování tenkostěnných kovových konstrukcí patří k úlohám, při nichž lze lepších ("optimálních") řešení dosáhnout jen kombinací experimentů a teoretických studií.

Zmenšování tloušťky stěn prvků moderních kovových konstrukcí umožňuje dosahovat výrazných úspor materiálu a navrhovat hospodárně jen za předpokladu, že se zároveň potlačí nebo vyloučí nepříznivé stabilitní jevy. Jedná se zejména o omezení vlivu boulení stěn.

Vyloučit boulení stěn zvětšením jejich tloušťky je v rozporu s požadavkem tenkostěnnosti a navíc, vzhledem k obecně nerovnoměrnému namáhání stěny v celé ploše, málo efektivní. Lepším způsobem je vhodné vyztužení stěny žebry, které ji dělí na dílčí pole dostatečně malých štíhlostí. Pro zjištění počtu

a tuhosti žeber byla vypracována koncepce t.zv. teoretické optimální tuhosti  $\gamma^*/2$ , jež je založena na klasické lineární teorii boulení a žádá, aby výztuhy zůstaly přímé až do okamžiku vyčerpání únosnosti (ztráty stability) jimi podporovaného dílčího pole stěny. Plánované i neplánované experimenty, zejména havárie velkých komorových mostů, ukázaly, že tato teorie je nedostatečná pro posuzování působení tenkých stěn reálných konstrukcí, vykazujících počáteční imperfekce a působících v pokritickém stadiu. Takto určené teoretické rozměry "dokonale tuhých" žeber je nutno vždy doplnit experimentálním ověřením, neboť korekce jsou, mimo jiné, závislé i na tvaru konstrukce a způsobu namáhání.

Uvedme příklad hledání vhodné tuhosti výztuhy stěny tenkostěnného sloupu halové konstrukce /3/. Typ vyšetřované



obr. 1

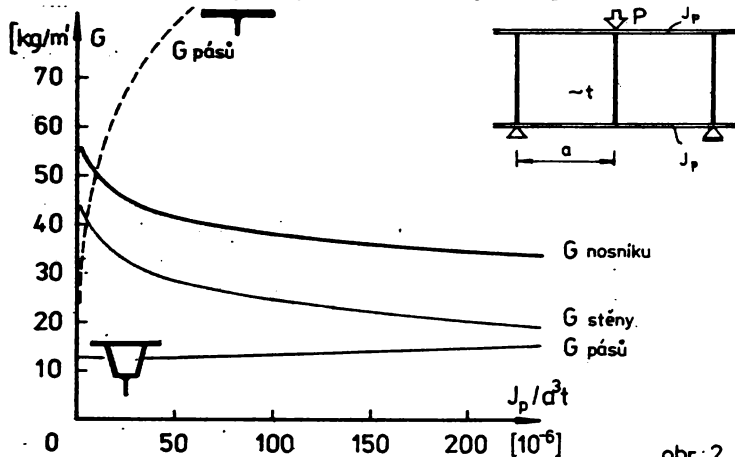
konstrukce i dosažené výsledky jsou patrné z grafu na obr. 1. Zde je na vodorovnou osu vynesena ohybová tuhost výztuhy  $J_v$  a na svislou poměr skutečné únosnosti  $P_u^{exp}$  ku únosnosti  $P_u$ , teoreticky dosažitelné při plném využití materiálu v celém průřezu. Z dalších získaných údajů plyne, že i výztuha několikanásobně tužší než požadováno výše uvedenou teorií nebyla "dokonale tuhá" a při zatěžování se ohýbala.

Je zřejmé, že uvedený experimentální postup je ztěžší ekonomicky použitelný při posuzování desky vystužené větším počtem žeber. Takovou úlohu je vhodnější řešit teoreticky přesnějším nelineárním výpočtem a experimentálně ověřit /4/.

Nesnažíme se při tom zcela vyloučit možnost boulení stěny, zejména pokud objektivní funkcí optimalizace není váha, ale např. cena konstrukce. Přípustnost kontrolovaného boulení stěny je rovněž základním předpokladem pro využívání pokritické rezervy tenkostěnných konstrukcí.

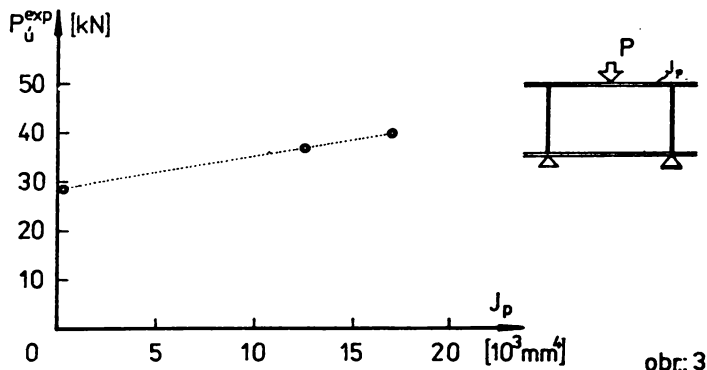
Vědomé a bezpečné využívání pokritické rezervy při optimálním návrhu tenkostěnných konstrukcí je opět zcela závislé na experimentálním výzkumu. Spolehlivé podklady jsou zatím k dispozici zvláště pro návrh stěn plnostěnných nosníků. Zde je třeba optimalizovat soustavu stěna-pásnice-výztuhy, neboť právě spolupůsobení těchto prvků umožňuje navrhovat hospodárné nosníky. Uvedme několik příkladů.

Experimentální výzkum stěn upnutých do pásů a namáhaných smykem ukázal významný vliv ohybové tuhosti pásů na únosnost pole plnostěnného nosníku /5/. Požadovanou únosnost tedy můžeme zajistit použitím tenké stěny a dostatečně tuhých pásů vhodného průřezu. Výrazných materiálových úspor lze dosáhnout



pro netradiční typy pásnic, jak ukazuje obr. 2, kde je naznačena váhová optimalizace stěnového pole délky  $a=1000$  mm, přenášeného smykovou silou 620 kN. Je zřejmé, že v tomto případě bychom s tradičním plným profilem pásnice nemohli příznivého vlivu zvýšení ohybové tuhosti pásu vůbec využít pro hospodárný návrh nosníku.

Příznivý účinek zvýšení tuhosti pásů na únosnost tenké stěny byl experimentálně potvrzen i pro jiné druhy namáhání stěny. Na obr. 3 jsou uvedeny výsledky zkoušek stěnových panelů zatížených tlakem soustředěným na části jedné hrany [6]. Hmotnost porovnávaných nosníků byla konstantní. Dále při užití netradičního profilu pásu - dutého obdélníkového profilu - oproti tradičnímu plnému pásu bylo opět dosaženo významné úspory materiálu (cca 30%).



V obou případech nebyl sledován vliv vyztužení stěny, i když při váhové optimalizaci plnostěnných nosníků není zanedbatelný. Vyztuhy však zvyšují značně pracnost a z cenových optimalizací plyne snaha žebra omezit nebo zcela vyloučit.

Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku není možno podrobněji diskutovat naznačené problémy. Z uvedeného je však zřejmá důležitost, inspirativnost a nezastupitelnost experimentálního výzkumu při návrhu optimálních tenkostěnných kovových konstrukcí, jejichž užívání je jedním z nutných předpokladů plnění vládního programu úspory kovů.

- /1/ M. Drdácý: Trends in optimum..., Proc. Conf. Katowice 1979, str. 95. /2/ M. Škaloud: Pokritická pevnost..., NČSAV 1962. /3/ M. Drdácý, M. Škaloud, M. Zörnerová: Záv. výzk. zpráva-haly RDJ, ÚTAM-ČSAV 1974. /4/ M. Drdácý: Weight and Cost Opt..., Final Rep. Colloq. Budapest 1977, str. 175. /5/ M. Škaloud, M. Zörnerová: Post-Buckled Behaviour..., Rozpravy ČSAV, roč. 82, seš. 3, 1972. /6/ M. Drdácý: Pokrit. působení..., Kand. disert. práce, ÚTAM-ČSAV 1978.