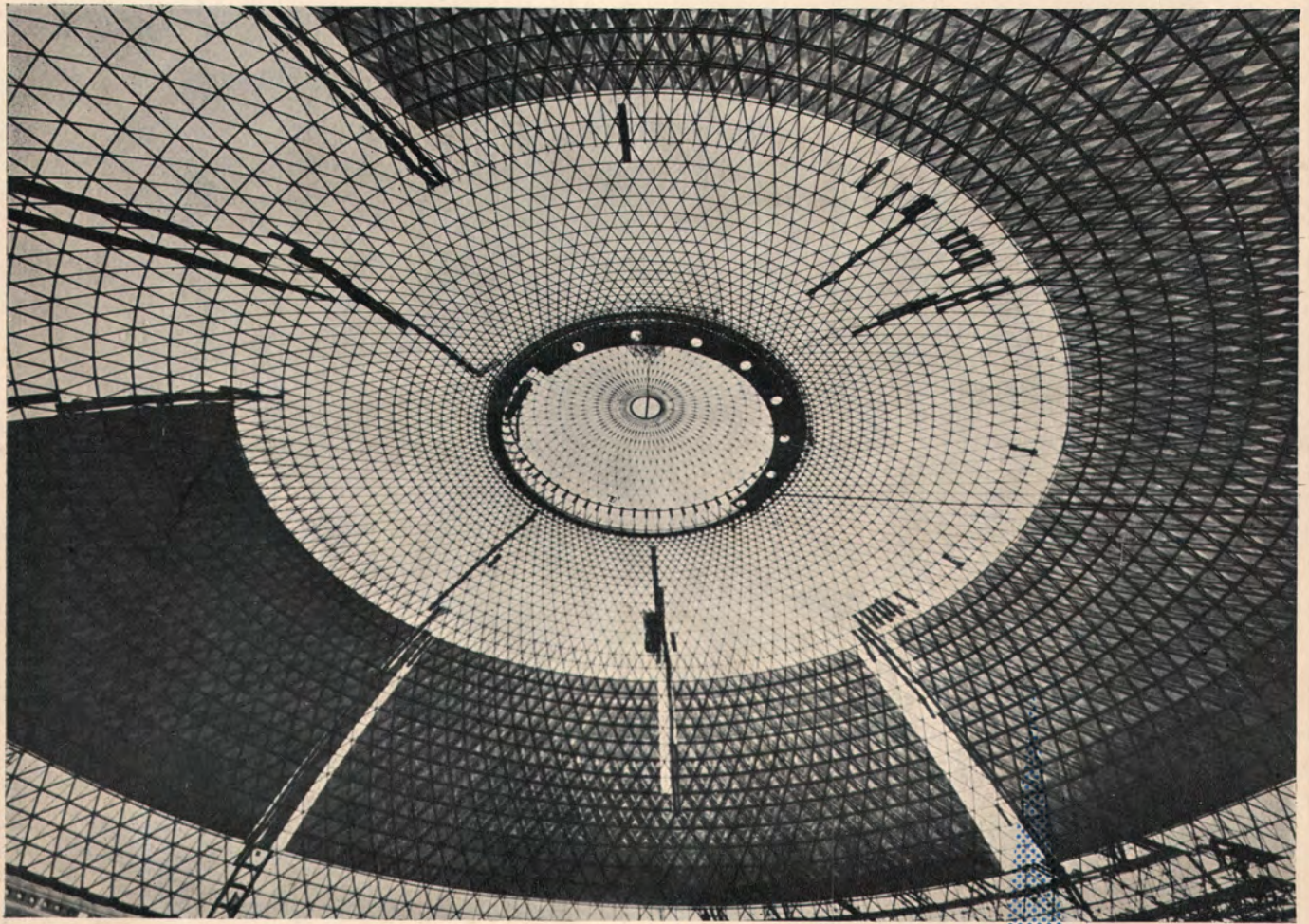


# inženýrské

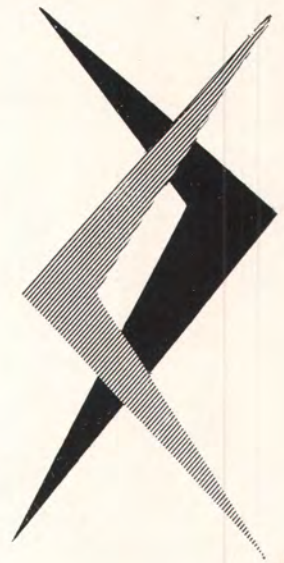
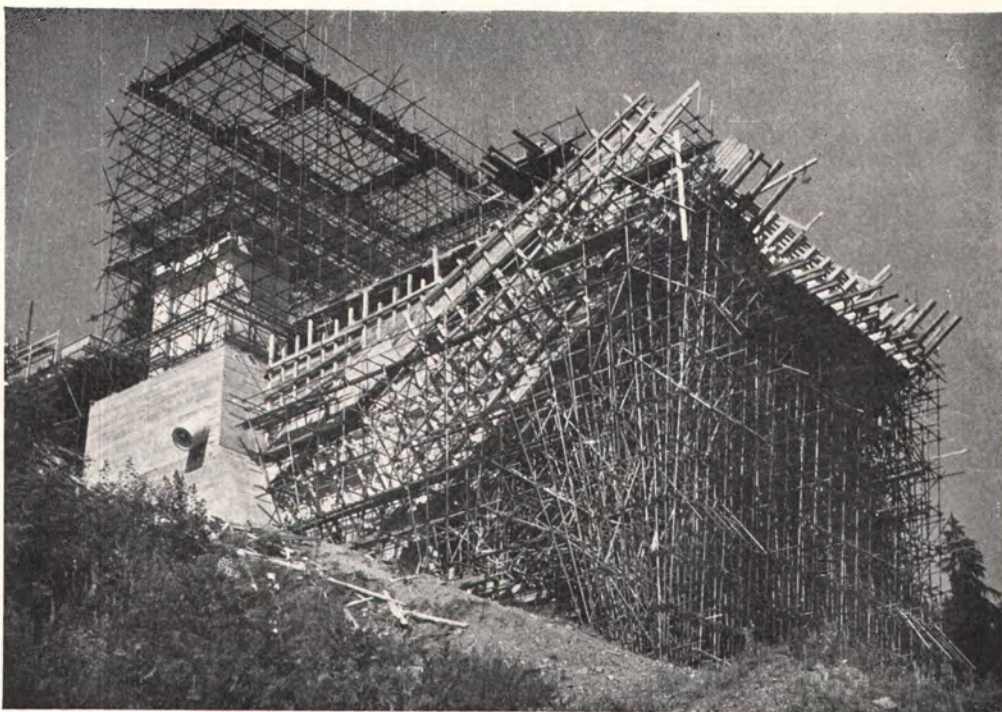
# s t a v b y

*Arch.*



příloha mechanizace

1  
1960



# ZE STAVEB

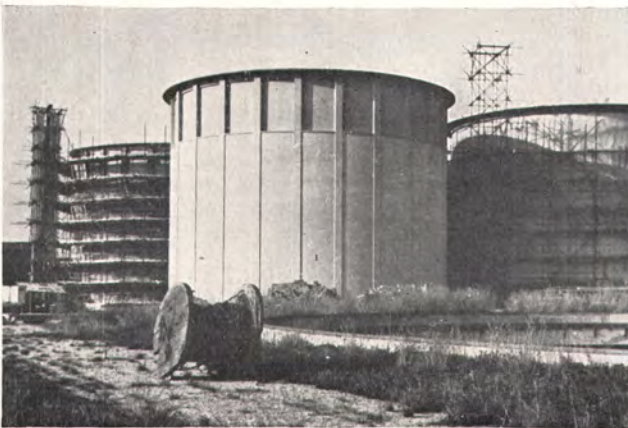
n. p. STAVBY SILNIC A ŽELEZNIC

1 – Stavba betonové patky, konzoly a pilíře pro ocelový most u Žďákova ● 2 – Vyhňivací nádrže z předpjatého betonu v Brně-Modřicích ● 3 – Trať vlečky na vodní dílo Orlík ● 4 – Nadjezd vlečky na Orlík nad silnicí č. 4 ● 5 – Most na Veslařský ostrov v Praze provedený z předpjatého betonu letnou betonáží ●

(Pokračuje na 3. straně obálky)



1 | 3  
2 | 4  
5 |



# Výsledky experimentálního vyšetřování příčného spolupůsobení trémových konstrukcí spojených deskou

Roznášecí účinek smykovou pevností desky. Výpočet trémových konstrukcí spojených s deskou. Železobetonové modely. Zatěžování a měření. Výsledky měření. Zkouška modelů až do porušení. Závěr.

Jestliže jsou trámy u trémových konstrukcí spojených deskou ve vzdálenosti menší, než je spolupůsobící šířka desky v podélném ohybu, připojuje se k roznášecímu účinku vlivem ohybové tuhosti a tuhosti v kroucení desky (obr. 1 – obrazec napětí  $a, a'$ ) ještě roznášecí účinek smykovou pevností desky (obr. 1 – obrazec  $(b + c), (b' + c')$ ). Tento účinek se nazývá stěnovým účinkem proti účinkům ostatním, které jsou souhrnně označeny jako deskový účinek.

Střednicová plocha desky není obecně plochou s nulovým napětím (obr. 1). Je-li deska při horním povrchu trámu, pak z toho vyplývá, že budou vlivem deformací horních vláken přímo zatíženého trámu v rovině desky rovnoběžně s osami trámů vznikat tlaková napětí, která se budou přenášet smykovou tuhostí desky na horní povrch sousedních trámů (obr. 1 – trám  $A, C$ ). Deska bude naopak svou smykovou tuhostí bránit stlačení horních vláken zatíženého trámu, tedy bude namáhat trám při horním povrchu tahovými silami (obr. 1 – trám  $B$ ).

Velikost příčného roznášení vlivem stěnového účinku je různá podle rozměrových parametrů konstrukce. Je větší při malé vzdálenosti trámů a u vyšších trámů. Poněvadž vodorovné smykové síly vyvozují v podélnicích kromě ohybového momentu (obr. 1 –  $c, c'$ ) vždy normální síly (obr. 1 –  $b, b'$ ), je účinek smykové tuhosti desky pro horní a spodní vlákna podélníku

různý. V horních vláknech zatíženého trámu nastává značné odlehčení, protože moment i normální síla vyvozují zde napětí stejného smyslu. Naproti tomu ve spodních vláknech, kde ohybový moment a normální síla vyvozují napětí opačného smyslu, nastane jen malé snížení napětí (obr. 1 –  $(b + c)$ ). Vychází-li se tedy při praktickém návrhu trémové konstrukce s deskou z příčkové čáry příčného roznášení stanovené z průhybu, neoddrží se zejména shoda s poměrnými napětími horních vláken.

## Výpočet

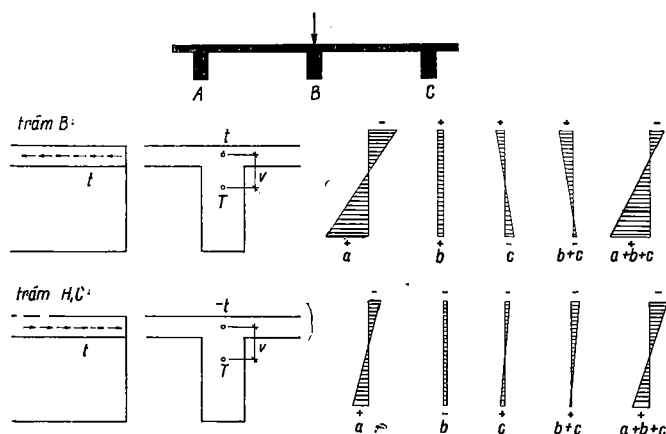
Na základě výminek rovnováhy prvků trámu a desky od sebe oddělených byla odvozena pomocí různých početních operací za určitých předpokladů metoda výpočtu trémových konstrukcí spojených s deskou ve tvaru soustavy obyčejných diferenciálních rovnic [1]. Jejich vyřešením obdržíme přímo hodnoty napětí, momentů a posouvajících sil potřebných pro dimenzování všech částí konstrukce. Řešení diferenciálních rovnic můžeme obejít, vyjádříme-li všechny funkce Fourierovou řadou. Výpočet se pak redukuje na řešení soustavy simultánních algebraických rovnic. Řešení rovnic se u symetrické konstrukce podstatně urychlí rozložením obecného zatížení na symetrické a antisymetrické. Z rozboru provedeného na jednoduchém příkladu plyne, že

i při nulové ohybové tuhosti desky přenášejí trámy sousedící s trémem přímo zatíženým podstatnou část zatížení. Při tuhosti desky blízké se nekonečnu není správné se domnívat, že napětí ve všech trámech jsou stejná, i když jsou stejné průhyby i křivosti trámů. Mimo výpočet touto metodou byl proveden výpočet teorií ortotropní desky podle Cornelia (jednak pro skutečnou šířku, jednak pro nekonečný pás) [2] a podle Guyon - Massonneta [3, 4].

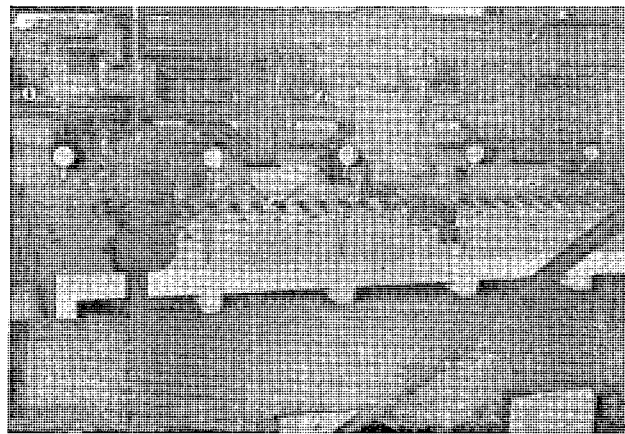
## Železobetonové modely

Jako základní systém byla zvolena trémová železobetonová konstrukce s deskou s okrajovými ztužidly. Rozpětí sedmi trámů, vzdálených osově o  $b = 1,60$  m bylo  $l = 6,0$  m. Šířka trámů  $b_0 = 22$  cm, výška  $d = 50$  cm, tloušťka desky  $d_0 = 7$  cm, průřez trámu vyztužený pro ohybový moment od zatížení celkového  $M_q = 7,9$  tm; po odečtení vlastní váhy zbyval pro nahodilé zatížení ohybový moment  $M_p = 5,67$  tm. Tato konstrukce byla modelově zmenšena v poměru délek 1 : 4 při zachování stejných vlastností materiálu. Modelový převod byl proveden pomocí bezrozměrných parametrů obvyklým způsobem (obr. 2).

Na výrobu prvního modelu bylo použito říčního písku do 4 mm, ce-

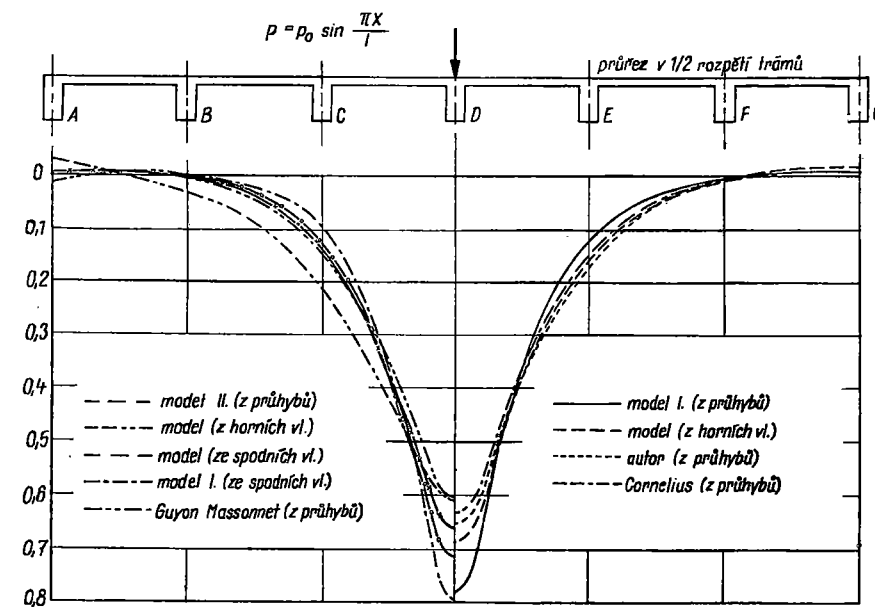


Obr. 1. Schéma statického významu stěnového účinku desky na napětí trámů



Obr. 2. Pohled na hotový model II s osazenou třetí soustavou snímačů, kterou jsou měřeny deformace rovnoběžně s trámy v desce po celé šířce konstrukce. Náhradné zatížení osamělými břemeny ve tvaru harmonické zatěžovací funkce  $p = p_0 \sin \frac{\pi x}{l}$  po délce středního trámu

mentu portlandského zn. 350 s vodním součinitelem 0,49. V době zkoušek byla pevnost betonu v tlaku na krychlích 7/7/7 cm 378 kg/cm<sup>2</sup>, v tahu 56 kg/cm<sup>2</sup> a modul pružnosti pro napětí 137,5 kg/cm<sup>2</sup>  $E = 199\,900$  kg/cm<sup>2</sup>. Model byl betonován do dřevěných bednění na prozatímních podporách. Při umístění do konečné polohy na ložiska byl model porušen. Objevila se trhlinka v desce po obou stranách středního trámu a v okrajovém ztužidle.



Obr. 3. Příčinková čára příčného rozdělení L pro modely I a II v porovnání s různými teoriemi (průřez v polovině rozpětí trámů)

Pro druhý model, který byl navržen úplně stejně, bylo použito portlandského cementu zn. 450. V době prvních zkoušek byla pevnost betonu v tlaku 350 kg/cm<sup>2</sup>, v tahu 42 kg/cm<sup>2</sup> a modul pružnosti 276 400 kg/cm<sup>2</sup> při napětí 100 kg/cm<sup>2</sup>. Tento model byl betonován do dřevěného bednění, avšak na rozdíl od prvního modelu byl umístěn již do konečné polohy, takže po vybetonování a odšalování byl již přímo na ložiskách. Do bednění byly osazeny desky z novoduru (PVC), ve kterých byly zalaty parafinem terče pro připevnění strun a tenzometrických snímačů.

### Zatěžování a měření

Zatížení bylo vyvozováno hydraulickým válcem v rozsahu 5,0 t; bylo zatěžováno jedním osamělým břemenem uprostřed rozpětí každého trámu, ve čtvrtině rozpětí každého trámu, soustavou dvou břemen ve třetinách rozpětí a soustavou břemen ve tvaru sinusovky, postupně na všech trámech.

Měřily se současně průhyby všech trámů v polovině a ve čtvrtině rozpětí a pokles podpor setinovými ho-

dinkovými indikátory. Zároveň se také měřily deformace horních a spodních vláken všech nosníků v polovině a ve čtvrtině rozpětí při všech zatěžovacích stupních a postaveních, dále pak deformace v desce v řadě za sebou jednak kolmo k osám trámů,

jednak rovnoběžně s osami trámů ve vzdálenosti po 8 cm. Přetvoření se měřilo strunovými tenzometry s tlumeným kmitáním a automatickou impulsovou aparaturou.

### Výsledky měření

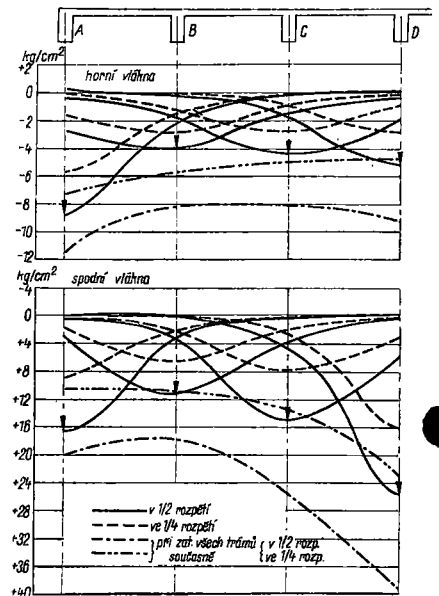
Výsledky měření na obou modelech byly obdobné. Je zajímavé, že hodnoty příčného rozdělení plynoucí z deformací horních vláken zůstaly přibližně stejné u obou modelů, zatímco tyto hodnoty plynoucí z průhybů a napětí spodních vláken nosníků byly u druhého modelu příznivější. Byl tedy vliv trhlin (v desce prvního modelu) na průběh podélných napětí horních vláken po šířce modelu zanedbatelný.

Ze srovnání naměřených a teoretických hodnot plyne, přestože skutečné průhyby byly podle očekávání větší než podle výpočtu, že skutečná napětí horních vláken zůstala nižší. Tím je dobře demonstrován značný vliv stěnového účinku na napětí horních vláken trámů. Přitom napětí spodních vláken na modelu je větší proti výpočtu přibližně o stejnou procentuální hodnotu jako průhyby na modelu a podle výpočtu.

Na obr. 3 jsou vyneseny hodnoty příčného rozdělení vypočtené podle Cornelia, Guyona-Massonneta, autorovy metody a skutečně naměřené na obou modelech, vypočtené z průhybů

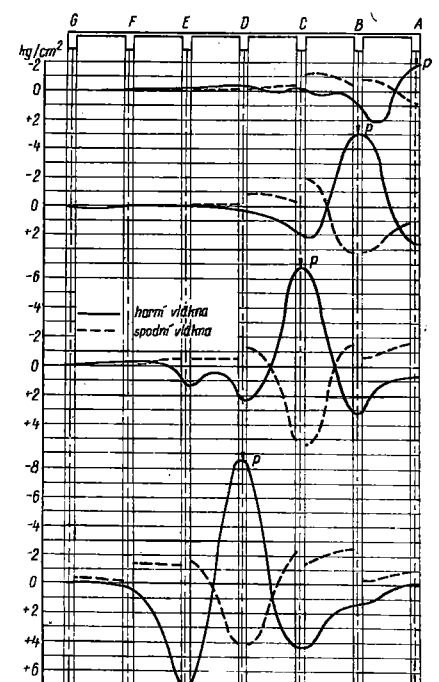
a napětí horních a spodních vláken trámů. Pro nedostatek místa nelze zde uvádět všechna měření, avšak výsledky jsou si velmi podobné pro různé druhy zatížení, polohy zatížení, místa měření a stupně zatěžování.

Ze srovnání změřených příčinko-



Obr. 4. Průběh napětí horních a spodních vláken trámů v polovině, resp. ve čtvrtině rozpětí pro harmonické zatížení  $p = p_0 \sin \frac{\pi x}{l}$  postupně na všech trámech při  $p_0 = 310$  kg/m

$p = p_0 \sin \frac{\pi x}{l}$  postupně na všech trámech při  $p_0 = 310$  kg/m

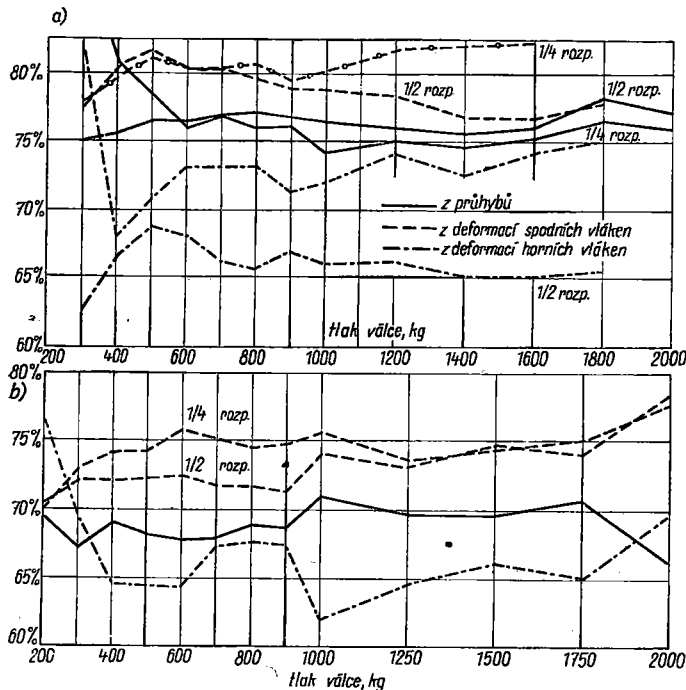


Obr. 5. Průběh napětí horních a spodních vláken desky kolmých k trámům pro harmonické zatížení  $p = p_0 \sin \frac{\pi x}{l}$  postupně na všech trámech při  $p_0 = 310$  kg/m

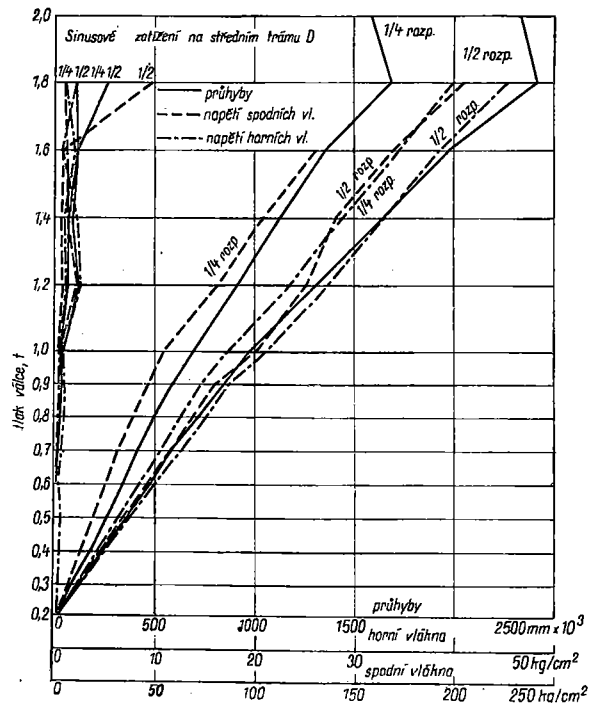
vých čar příčného roznášení v polo-  
vině a ve čtvrtině rozpětí nosníků je  
vidět, že průběh napětí v příčném  
směru v horních vláknech je podstatně  
příznivější než průběh průhybů a že  
průběh napětí spodních vláken sou-  
hlasí přibližně s průběhem průhybů.

přibližně konstantní. To ostatně sou-  
hlasí s teoretickým vyšetřováním spo-  
lupůsobící šířky, podle kterého při  
zatížení harmonickým zatížením spo-  
lupůsobí stále stejná šířka po celé  
délce trámu, zatímco při zatížení osa-  
mělým břemenem se spolupůsobící

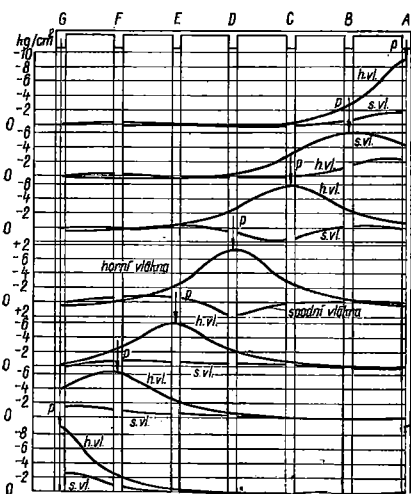
zkoušce modelu II ve střední části roz-  
pětí v oblasti tenzometrů trám porušen  
trhlinami v tažené oblasti. Při zatěžo-  
vání se trhliny otvíraly a deformace  
spodních vláken, měřené přes tyto  
trhliny, značně vzrostly. Počítalo se  
s tím, že lze použít této měřicí tech-



Obr. 7. Změna procenta přenesení zatížení (přímo zatíženým nosníkem) s rostoucím břemenem a) model I; b) model II



Obr. 8. Vzrůst pružných a trvalých průhybů a napětí přímo zatíženého nosníku se vzrůstem břemene na modelu I



Obr. 6. Průběh napětí horních a spodních vláken desky rovnoběžných s trámy pro harmonické zatížení  $p = p_0 \sin \frac{\pi x}{l}$  postupně na všech trámech, při  $p_0 = 310 \text{ kg/m}$

Dále srovnání ukazuje, že při zatížení osamělým břemenem je příčné roznášení nejhorší v příčné rovině procházející působícím břemenem, že se rychle zlepšuje v rovinách vzdálenějších od břemen a že toto zlepšení je nejvýraznější pro napětí horních vláken. Při zatížení sinusovým zatížením zůstává příčné roznášení po celé délce trámů

šířka zvětšuje s rostoucí vzdáleností od břemene [5, str. 118]. Lze tedy prohlásit, že hlavní příčinou změny ve velikosti příčného roznášení po délce trámu při zatížení osamělým břemenem je vliv stěnového účinku, který úzce souvisí s velikostí spolupůsobící šířky desky s průřezem  $T$ .

Srovnání procenta přenesení přímo zatíženým nosníkem, obdrženého ze změřených průhybů a napětí spodních a horních vláken trámů ukazuje, že rozdíl v procentu přenesení zatížení, vypočtený z průhybů a napětí horních vláken, dosahuje až 23 % (40 %), vypočtený z průhybů a napětí spodních vláken pouze 3 % (5 %) pro model I (II).

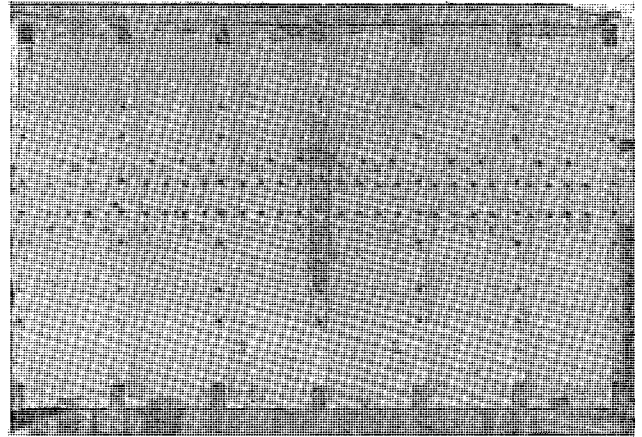
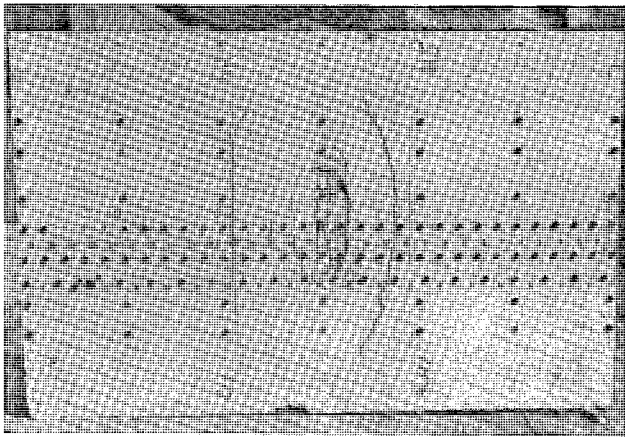
Dále uvádíme několik křivek znázorňujících průběh napětí v konstrukci zatížené přímkovým harmonickým zatížením, obdržených měřeními na modelu II. Obr. 4 ukazuje průběh podélných napětí horních a spodních vláken trámů po šířce konstrukce pro zatížení působící postupně na všech trámech. Čerchované křivky odpovídají přibližně spojitému harmonickému zatížení, správněji současnému zatížení všech nosníků přímkovým harmonickým zatížením. Jak plyne z tohoto obrázku byl zřejmý při

niky v tažených oblastech pouze do okamžiku vyčerpání pevnosti betonu v tahu a že se další měření stávají nespolehlivými. Stlačení lze však spolehlivě měřit až do porušení. Rozdíl v procentu přenesení přímo zatíženým nosníkem před a po vzniku trhlin v nosníku je asi 8 %.

Na obr. 5 je vyznačen změřený průběh příčných napětí v desce (kolmých k osám nosníků) pro přímkové harmonické zatížení působící na různých trámech. Obr. 6 ukazuje průběh podélných napětí horních a spodních vláken desky (rovnoběžných s osami nosníků) po šířce konstrukce pro přímkové harmonické zatížení postupně na všech trámech. Vzdálenost neutrální osy od horního povrchu je závislá na algebraickém součtu pořadnic napětí horních a spodních vláken desky. Jak je vidět z obrázku, pouze pro zatížení trámu D a C byla spodní část desky tažena a neutrální osa procházela tedy deskou.

### Zkouška modelů do porušení

Po provedení všech zatěžovacích případů modely se zkoušely až do porušení při zatížení rozděleném po délce středního trámu podle sinu-



Obr. 9. Průběh trhlin na horním a spodním povrchu desky při porušení modelu II  
a) trhliny na horním povrchu; b) trhliny na spodním povrchu

sovky. V obr. 7a pro model I a v obr. 7b pro model II je uvedena proměna procenta přenášení zatížení přímo zatíženým nosníkem v závislosti na velikosti zatížení vypočtené z průhybů a napětí horních a spodních vláken v polovině a ve čtvrtině rozpětí. Z obrázku je vidět, že v průměru zůstává příčné roznášení konstantní až do velmi vysokého stupně zatížení, který odpovídá asi čtyřnásobku největšího dovoleného zatížení pro samostatný trám. Srovnání obou obrázků ukazuje, že se velikost příčného roznášení porušením prvního modelu podstatně nezměnila.

Obr. 8 uvádí vzrůst průhybů a napětí horních a spodních vláken přímo zatíženého nosníku se vzrůstem břemene na modelu I. Podobný průběh byl i u modelu II. V obou případech jsou závislosti pružných napětí (průhybů) na zatížení téměř přímkové, a to stejně jako u předchozích obrázků až k zatížení asi čtyřnásobnému, než odpovídá dovolenému zatížení jednotlivého trámu. Stejný charakter má i závislost mezi součtem průhybů, resp. napětí spodních a horních vláken všech nosníků a zatížením. Z toho plyne, že celá konstrukce až do vysokého stupně přetížení pracuje téměř pružně. Teprve při posledním stupni zatížení se značně zvětší napětí v úzkém pruhu desky okolo středního zatíženého trámu, zatímco při předchozích stupních se napětí zvětšovala úměrně ke vzrůstajícímu zatížení po celé šířce konstrukce.

Obr. 9a, b ukazuje průběh trhlin na horním a spodním povrchu desky při porušení modelu II. Stejný charakter trhlin byl i na modelu I. Z obou posledních obrázků je mimo jiné vidět velký vliv okrajových ztužidel na chování konstrukce jako celku.

K porušení došlo vyčerpáním únosnosti přímo zatíženého trámu v ohybu

dosažením meze pružnosti výztuže a současně dosažením únosnosti ve smyku. Okrajová ztužidla byla zároveň porušena kroucením. Když se vyčerpala únosnost trámu, začal se rychle zvětšovat jeho průhyb, a konečně se oddělil od desky. Zajímavý je průběh trhlin v desce. Vzhledem k zatíženému trámu na horním povrchu desky je průběh trhlin konkávní, na spodním povrchu konvexní. Svědčí to o značném vlivu okrajových ztužidel na napjatost desky a o tom, že tuhost desky v kroucení je důležitým činitelem pro celkovou únosnost konstrukce.

### Závěr

Z rozboru a zhodnocení experimentálních výsledků vlastních měření na modelech i skutečných konstrukcích a zkoušek provedených jinými autory plynou tyto závěry:

1. Všechny výsledky zdůrazňují činnost desky v roštové konstrukci, a to nejen co do její ohybové tuhosti v příčném směru a její účasti v podélném ohybu, ale i jako účinného prvku rozdělujícího zatížení v příčném směru na ostatní nosníky svou tuhostí v kroucení a ve smyku ve své rovině.

2. Příčné roznášení zatížení se nemění podstatně až do stadia těsně před porušením. Jestliže zatížení dosáhne hodnoty blízké se únosnosti konstrukce, počnou se trámy nebo příčné ztužení trvale přetvářet. Ať se počnou přetvářet dříve trámy nebo příčné ztužení, celkový účinek trvalého přetvoření je udržet přibližně stejnou relativní tuhost v obou směrech. Proto nemůžeme spoléhat na plastické vyrovnání momentů mezi trámy ve stadiu lomu.

3. Popraskání desky nemění podstatně rozdělovací účinek v příčném směru.

4. Příčné roznášení je téměř stejné

pro jakýkoli druh zatížení. Můžeme tedy při teoretickém výpočtu příčného roznášení použít bez obav harmonického zatížení, které velmi usnadňuje početní postup.

5. Při zatížení osamělým břemenem se příčné roznášení rychle zvětšuje s rostoucí vzdáleností od břemene ve směru nosníku. Je tedy hodnota příčného roznášení zjištěná v příčném řezu, procházejícím zatíženým místem, nejmenší.

6. Napětí v desce v příčném směru, a tedy ohybové momenty v příčném směru, mají až o 60 % menší hodnotu než vychází z obvyklých teorií.

7. Průběh napětí horních vláken jednotlivých nosníků je podstatně odlišný od průběhu průhybů v příčném směru, což je projevem stěnového působení desky. Příčinková čára příčného roznášení, stanovená z napětí horních vláken nosníků a z průhybů se liší až o 40 %.

8. Průběh napětí spodních vláken jednotlivých nosníků je přibližně stejný jako průběh průhybů v příčném směru. Největší rozdíl je asi 5 %.

9. Při porušení přímo zatíženého nosníku tahovými trhlinami se zmenší příčné roznášení tak, že přímo zatížený nosník přenáší asi o 8 % zatížení více.

10. Porušení nastalo při zatížení asi o 80 % větším než zatížení, při kterém vznikla první plastická přetvoření. Z toho vyplývá, že konstrukce má od okamžiku prvních plastických přetvoření ještě velkou rezervu únosnosti.

11. Příčné roznášení většinou velmi dobře charakterizují příčinkové čáry podle Guyona-Massonneta, stanovené pomocí součinitele  $K$ . Je však nutné za součinitel tuhosti v kroucení konstrukce  $\alpha$  dosadit hodnotu lišící se od hodnoty odvozené Massonnetem, neboli zavést tzv. efektivní tuhost

v kroucení. Ve většině případů stačí při výpočtu parametru  $\alpha$  pouze dosadit za tuhost v kroucení desky poloviční hodnotu, než vychází obvyklým způsobem podle teorie pružnosti, abychom dostali správnou příčinkovou čáru příčného roznášení pro průhyby. Obecně však nestačí žádná úprava součinitele  $\alpha$  k tomu, abychom dostali skutečný průběh napětí horních vláken nosníků v příčném směru. K obdržení správných hodnot napětí horních vláken je nutno použít jiné metody výpočtu uvažující stěnový

účinek desky, např. autorovy, která dává výsledky dobře se shodující se skutečností.

12. Okrajová ztužidla mají velký vliv na celkovou úmostnost konstrukce. Způsob porušení desky trémové konstrukce je podobný porušení izotropní desky na všech čtyřech stranách podepřené.

#### LITERATURA

[1] Bareš R.: Interaction transversale des constructions à poutres solidaires d'une dalle, Acta technica, č. 4/1959.

[2] Cornelius W.: Die Berechnung der ebenen Flächentragwerke mit Hilfe der Theorie der orthogonal - anisotropen Platte, Stahlbau, str. 21-24, 44-48, 60-63, 1952.

[3] Guyon Y.: Calcul des ponts larges à poutres solidarisées par des entretoises, Annales des Ponts et Chaussées de France, str. 553-612, 1946.

[4] Massonnet Ch.: Méthode de calcul des ponts à poutres multiples tenant compte de leur résistance à la torsion, AIPC Memoires X., Curych, str. 147-182, 1950.

[5] Girkmann K.: Flächentragwerke, Vídeň, 1948.

Inž. OTAKAR JELÍNEK, Chemoprojekt, Praha

DT 681.142-83:72.012

## Samočinné počítačové stroje v projektové praxi

Využití číslicových počítačových strojů při projektování inženýrských staveb. Rychlost a samočinnost. Hospodárnost projektované konstrukce a projektových prací.

V období po druhé světové válce se staly matematické stroje nepostradatelnou a samozřejmou pomůckou v řadě různých odvětví vědy a praxe. Některé obory moderní techniky, jako např. balistika řízených střel, nukleární technika a jiné, nejsou bez samočinných počítačů dokonce ani myslitelné. V inženýrském stavitelství se jich používá k obtížným numerickým výpočtům při řešení převážně teoretických problémů, proto se uplatňují především na vysokých školách a výzkumných ústavech. Teprve v nejnovejší době se začalo v cizině používat samočinných počítačů k mechanizaci běžných výpočtářských prací ve stavebně inženýrských kancelářích. I když jsou zkušenosti zahraniční praxe zatím dost skrovné, svědčí o tom, že samočinné počítače mohou podstatným způsobem urychlit a zhopodárnit některé výpočtářské práce a navíc že jimi lze tyto práce zskvalitnit. Tento nový způsob použití počítačů vyvolává nové požadavky na vzdělání stavebních inženýrů, neboť od nich požaduje aspoň základní vědomosti o samočinných počítačích a o práci s nimi. Je totiž podstatný rozdíl mezi tím, použije-li se počítače k mechanizaci komplexního technického výpočtu nebo k řešení úlohy, která je formulována čistě matematicky. V tomto případě by totiž inženýr mohl úlohu odevzdat v jisté fázi výpočtu matematikovi k dalšímu řešení. Použije-li k němu matematik samočinného počítače a jakým způsobem, je již jen otázka volby nejnvhodnější metody numerického výpočtu.

Jinak je tomu u mechanizace výpočtářských prací denní inženýrské praxe. Dílčí matematické operace těchto technických výpočtů jsou většinou velmi jednoduché a samy o sobě se k řešení na samočinném počítači nehodí. Má-li se však zmechanizovat výpočet celého souboru těchto dílčích úloh, je nutné přizpůsobit formulaci problému již předem povaze strojního výpočtu. To může s úspěchem učinit jen inženýr, který je obeznámen s technikou programování výpočtů na samočinných počítačích strojích.

Abychom mohli posoudit možnosti hospodárného využití samočinných počítačových strojů v projektové praxi, vytkneme dvě základní pracovní charakteristiky těchto strojů:

1. pracují neobyčejně rychle,
2. zpracovávají složité výpočty zcela automaticky.

Všimněme si blíže těchto dvou důležitých vlastností, neboť obě jsou v přímém vztahu ke zkoumané otázce.

#### Rychlost

Čas potřebný k vykonání jednoho základního početního úkonu je u různých konstrukcí počítačů různý. Tak např. nejrychlejší stroje provedou za vteřinu až 4000 vynásobení dvou deseti až dvanáctimístných čísel, stroje střední velikosti několik set a nejpomalejší stroje několik desítek. O skutečné pracovní výkonnosti stroje však nerozhodují jen uvedené rychlosti, nýbrž i tzv. logika stroje, počet adres, druh paměti a jiné vlastnosti související s konstrukcí stroje. Proto se někdy charakterizuje pracovní rychlost stroje

podle času potřebného k inverzi matic. V tabulce I. je uvedena pro několik strojů různých typů v sloupci 1 doba v  $\mu\text{sec}^1$ , potřebná k vynásobení dvou čísel o deseti až dvanácti desetinných místech a v sloupci 2 doba v sec potřebná k inverzi matice  $30 \times 30$ . Při technických výpočtech bude o skutečné rychlosti počítače rozhodovat ještě řada důležitých faktorů, jako je pevná nebo pohyblivá desetinná čárka, obsah operativní paměti, rychlost vstupu a rychlost tiskárny výstupu, rychlost čtení z vnější paměti a jiné. K tomu je třeba přičíst dobu potřebnou k přezkoušení programu a ke kontrolám výpočtu, abychom dostali čas směřodatný pro využití stroje. Tak např. výpočet sdruženého rámu o čtyřech polích, obtíženého devatenácti kombinacemi svíslého a vodorovného zatížení, trvá na stroji střední velikosti asi 25 minut, včetně vytištění výsledných maximálních a minimálních

TABULKA I

Stroj		1	2
		násobení ( $\mu\text{sec}$ )	inverze matice (sec)
BESM	SSSR	250	10
URAL		10 000	5400
IBM 650	USA	12 500	2700
UNIVAC FAC		2 000	—
UNIVAC 1103 A		250	420
BENDIX G 15		20 000	—
Siemens 2002	NSR	1 000	72

<sup>1)</sup>  $\mu\text{sec}$  = mikrosekunda, miliontina vteřiny.

ních momentů, normálních a posouvajících sil v určených průřezech.

Veliké rychlosti operací na samočinném počítači jsou základní podmínkou pro jeho činnost vůbec. Je si totiž třeba uvědomit, že způsob práce stroje je extenzivní, a tudíž neúsporný. Samočinný počítač není schopen inteligentního výběru mezi několika možnostmi, a proto úvaha, kterou každý počtář učiní třeba ve zlomku vteřiny, musí být u stroje nahrazena komplikovaným předpisem pro řadu úkonů. Celý způsob práce počítače je touto vlastností ovlivněn, a proto je postup výpočtu veden klikami po cestě mnohem delší než u výpočtu ručně<sup>1)</sup>.

Tyto nedostatky v metodě stroj mnohonásobně vynahrazuje neobyčejnou rychlostí základních operací. Analogické jsou poměry v porovnání ručního a strojního výpočtu při aplikacích na inženýrské úlohy. Statik vyšetřující nějakou stavební konstrukci dělá v průběhu výpočtu na každém kroku různá rozhodnutí založená na vlastních zkušenostech a citu. Odhaduje např. pravděpodobně neúčinnější seskupení břemen, zanedbává některé veličiny, podle okolností mění i metodu výpočtu a v průběhu výpočtu zavádí nové předpoklady, to vše pro zjednodušení matematického aparátu. Tyto zásahy jsou sice na úkor formální přesnosti, ale věcná přesnost bývá přitom plně zachována. Zcela jinak je tomu při strojním výpočtu na samočinném počítači. Tu musí být celý postup výpočtu přesně předem předepsán programem. Při sestavování programu se musíme rozhodnout pro určitý postup, který potom stroj provede zcela pedantsky do všech, třeba i nepožadovaných podrobností. Na vysvětlenou uvedme názorný příklad:

Máme vypočítat podporové momenty dokonale vetknutého nosníku se dvěma osamělými břemeny. V daném případě padne jedno břemeno doprostřed nosníku, druhé bezprostředně blízko podpory. Při ručním výpočtu zanedbáme zcela oprávněně účinek břemene blízko podpory a počítáme podle jednoduchého vzorce nosník zatížený břemenem uprostřed. Pro strojní výpočet se předepíše programem tento postup: Vypočítat moment od prvního břemene podle vzorce pro břemeno v obecné poloze a výsledek uložit v paměti. Potom vy-

<sup>1)</sup>Např. EDSAC, jinak velmi výkonný samočinný počítač university v Cambridge, není schopen přímého dělení. Provádí dělení jakousi iterací, která trvá zhruba 30 × déle než vynásobení těchto čísel.

počítat podle téhož vzorce moment od druhého břemene. Oba výsledky sečíst a součet vytisknout. Kdybychom chtěli postup „zjednodušit“ podle ručního postupu, museli bychom stroji uložit asi tyto instrukce: Porovnat vzdálenost prvního břemene s rozpětím. Je-li menší než jistá daná mez a je-li při tom břemeno stejného řádu jako druhé, zapsat do paměti místo prvního částečného výsledku nulu. Porovnat dále vzdálenost břemene od jedné a od druhé strany. Jsou-li sobě rovné, nepoužít obecného vzorce podle první instrukce, ale jednoduchého vzorce podle jiné instrukce.<sup>2)</sup>

Z tohoto jednoduchého příkladu je na první pohled zřejmé, že je mnohem výhodnější, když stroj víc počítá a méně přemýšlí, na rozdíl od inženýra, u něhož je žádoucí opak. Vzhledem k rychlostem, s nimiž počítač pracuje, vykoná i tak úkol v neobyčejně krátké době. Numerická přesnost, která by u ručního výpočtu byla zbytečným balastem, není tu nijak na závažnosti.

### Samočinnost

Samočinný počítač se odlišuje od ostatních počítačích strojů hlavně tím, že je schopen podržet v paměti určitý počet slov<sup>3)</sup> pro pozdější potřebu. Tato schopnost umožňuje počítači vykonávat zcela automaticky, bez mezizásahu člověka velmi složité výpočty nebo, obecněji řečeno, jakékoliv úkony, které lze jednoznačně vyjádřit logickým předpisem. Rozsah výpočtu, který lze provést najednou, je dán konstrukcí stroje a kapacitou paměti stroje. Předpis, podle kterého stroj provádí výpočet se nazývá programem, je to soubor instrukcí, vedoucích k obecnému řešení úlohy. Kromě programu se vkládají do stroje vstupní parametry. Vstup, tj. předávání instrukcí a čísel stroji, děje se nepřímou, pomocí děrných štítků nebo děrných či magnetických pásek. Sestavení programu, jeho kodování a vložení do stroje, potřebuje v poměru k samotnému výpočtu mnohonásobně delší dobu, a proto by nebylo hospodárné používat samočinných počítačů obdobným způsobem jako normálních počítačích strojů jenom k jednoduchým dílčím výpočtům. Nejvýhodnější je naopak sestavovat pro-

<sup>2)</sup> Je nutné připomenout, že ve skutečnosti nebudeme sestavovat program pro takovou elementární úlohu, uvedený příklad má sloužit jen k názorné ilustraci rozdílu mezi metodami strojního a ručního výpočtu.

<sup>3)</sup> Slovo je řada znaků zpracovávaná v počítači jako základní jednotka. Může znamenat číslo nebo instrukci.

gram pro celé dlouhé série výpočtů.

Pro různé vstupní parametry je lépe opakovat celý výpočet znovu, než samočinný postup stroje přerušovat dělením výpočtu na menší části, i když to má za následek, že se některé operace v průběhu výpočtu zbytečně opakují. Takový způsob vyhovuje nejlépe oběma význačným vlastnostem počítačů – jejich samočinnosti a rychlosti.

### Ekonomie mechanizace výpočtářských prací

Hospodářský účinek správné mechanizace výpočtářských prací samočinnými počítači se projevuje při projektování dvěma způsoby, a sice dosažením:

1. hospodárnosti projektované konstrukce,

2. hospodárnosti projekčních prací, nebo konečně dosažením oběho současně: hospodárnějšího návrhu při nižších projekčních nákladech. Naopak se při nevhodném nasazení stroje nedosáhne jednoho ani druhého, neboť podrobnější výpočet nevede vždycky k dokonalejší konstrukci a ne každý druh výpočtářské práce je vhodný ke zmechanizování.

### Hospodárnost projektované konstrukce

Použití samočinných počítačích strojů přispívá ke zkospodárnění navrhované konstrukce tím, že umožňuje aplikaci přesnějších a matematicky náročnějších teorií na daný případ. Druhou cestou k hospodárnému návrhu je vypracování několika alternativ a jejich porovnání.

Ideální co do hospodárnosti by byla taková konstrukce, jejíž všechny části by stejnou měrou splňovaly za předpokládaného zatížení jisté podmínky<sup>4)</sup>. Nesnese-li konstrukce nebo její část předpokládané zatížení, není bezpečná, v opačném případě je nehospodárná. Rozhraní mezi nehospodárností a bezpečností je sice teoreticky velmi úzké, v praxi vypadá však tato otázka podstatně jinak. Předně neznáme přesnou závislost mezi zatížením a jeho důsledky. I u konstrukcí poměrně jednoduchých je matematické vyjádření této závislosti velmi složité. K tomu přistupuje ještě nejistota o skutečné velikosti a poloze zatížení, o mechanických vlastnostech použitých stavebních materiálů, a konečně i o skutečných rozměrech a kvalitě provedené konstrukce. Souhrn všech těchto nepřesností je obvykle

<sup>4)</sup> Např. podmínku bezpečnosti proti porušení nebo podmínku dosažení dovoleného namáhání, max. průhybu apod.