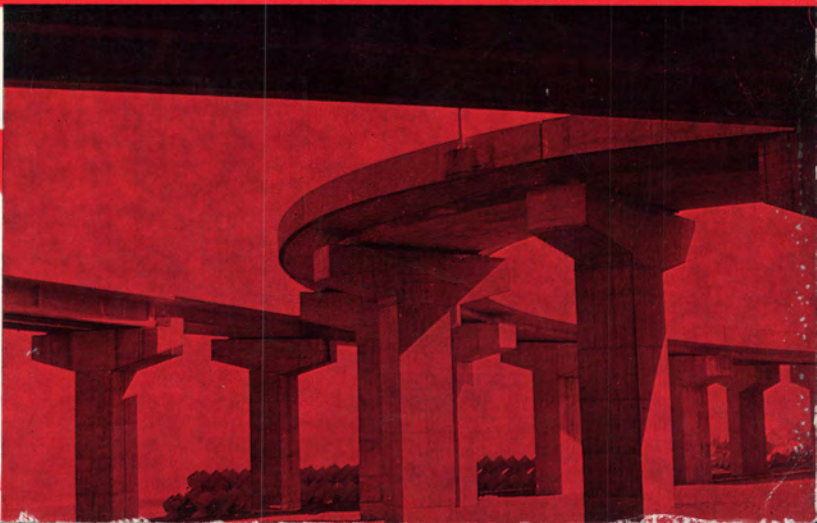


inženýrské stavby

Novor 11·72

s přílohou mechanizace

Archi.



GEOINDUSTRIA

PRAHA

zajišťování
nerostné surovinové základny

inženýrsko-geologický
průzkum

hydrogeologický
průzkum:

karotážní a zemní práce
geofyzikální měření
střelné práce ve vrtech

zakládání staveb na pilotách
pilotové a záporové stěny
injektáže a kotvy

sanace podzemních prostor
sanace sesuvů

báňské práce
vrtné a odkryvné práce

laboratorní rozbory
technologické zkoušky

vyhodnocovací činnost
posudková a znalecká činnost

PODNIKOVÉ ŘEDITELSTVÍ

U Průhanů 32, Praha 7
telefon: 381 151 série 382 251 série
dálnopis: 01 2402

Praha, Komunardů 6, Praha 7
Telefon: 372 741—9, 371 255—9
Dálnopis: 01 2402

Dubí U Teplíc
Telefon: Teplice Lázně v Čechách 3395, 3308
Dálnopis: 012 725

Stříbro, okr. Tachov
Telefon: Stříbro 216
Dálnopis: 014 314

Jihlava, Jiráskova 2
Telefon: Jihlava 200 45
Dálnopis: 069 125

Brno—Komárov, Komárovská 14
Telefon: Brno 673 931, 673 935
Dálnopis: 06 514

Kutná Hora, Novgoroucká 9
Telefon: Kutná Hora 2092
Dálnopis: 011 7236

KAROTÁŽ

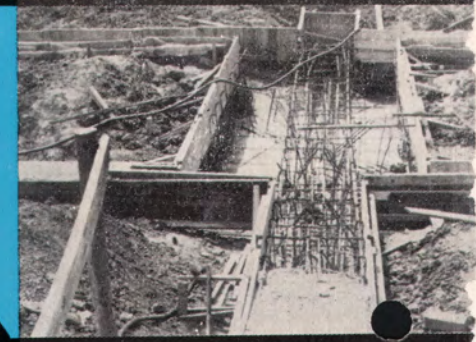
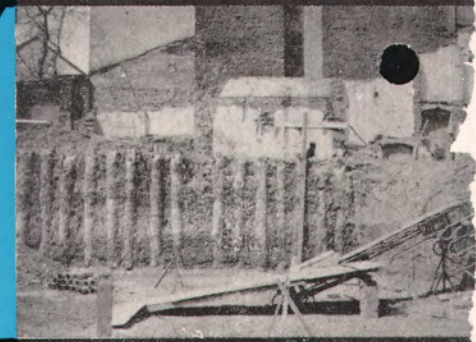
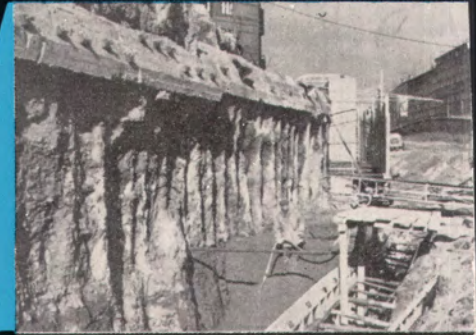
Tuchlovice, okr. Kladno
Telefon: Tuchlovice 93
Dálnopis: 01 2254

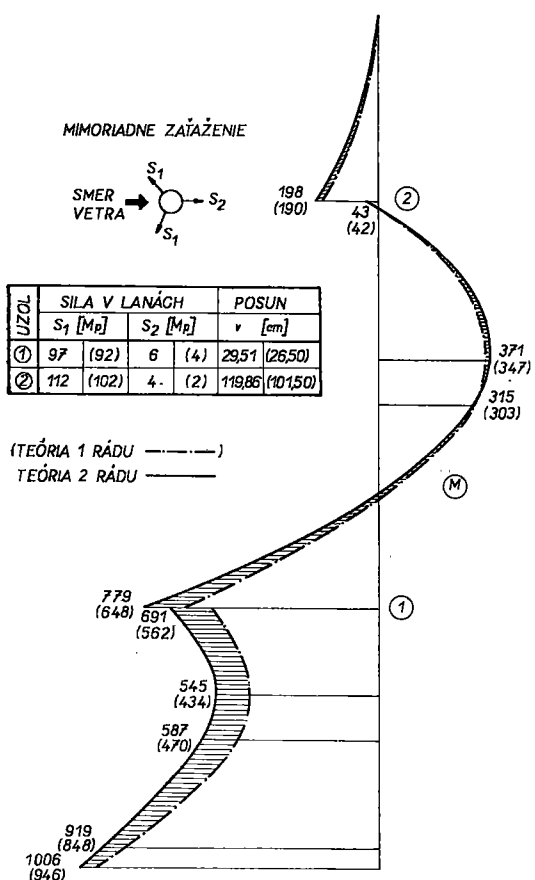
OBCHODNĚ-TECHNICKÁ KANCELÁŘ

Hradec Králové, Úzká 210
Telefon: Hradec Králové 242 48

Plzeň, Purkyňova 17
Telefon: Plzeň 339 17

Olomouc, Na Střelnici 6
Telefon: Olomouc 7931





Obr. 12. Porovnanie výsledkov výpočtov podľa teórie 1. a 2. rádu

presnom osadení a zabetónovaní kotevných roštov a pätky stožiara. Použitie tahadiel so závitom namiesto doteraz používaného spôsobu (dva plechy s vloženým nitovaným kusom „na mieru“) a presný výpočet dĺžok lán a kotevných tahadiel podstatne uľahčilo osadzovanie lán. Predpätie dolných lán je 50 Mp, horných 40 Mp. Úbytok predpätia vplyvom trvalých deformácií lán od opakovaného zataženia vetrom bol rok po osadení lán doplnený dodatočným predpínaním.

Vyhliadková kabína sa zmontovala na zemi okolo pätky stožiara, zavesila na troch bodoch a pomocou kladiek a navijakov zdvihla v celosti do definitívnej polohy a priskrutkovala na stožiar.

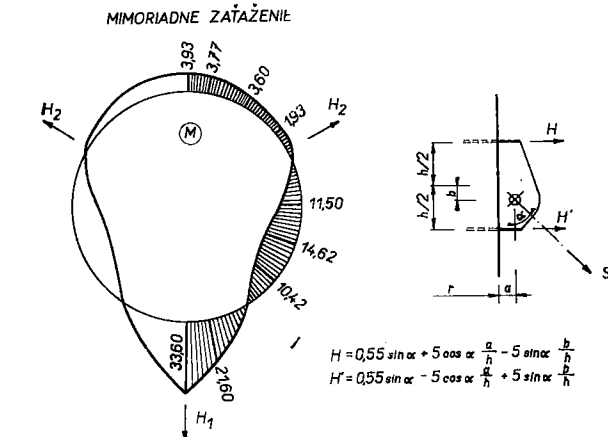
Ing. RICHARD BAREŠ, CSc., ÚTAM—ČSAV Praha

DT 624.014 2 624 04

Pokrok ve výpočtu tvarově ortotropních konstrukcí

Autor informuje o pokroku teoretických řešení tvarově ortotropních konstrukcí a vysvětluje princip vlastní výpočtové metody, jež spočívá v tom, že každou tvarově složitou ortotropní konstrukcí lze popsat pomocí třibezrozměrných parametrů spolu s půdorysnými veličinami.

Více než před půl stoletím vyšel v Německu článek, který se poprvé snažil vyjádřit spolupůsobení různých prvků, z nichž byla složena plošná konstrukce. Příčné nosníky trámového roštu byly povýšeny z pouhého konstrukčního elementu na součást statické soustavy mostu. Tehdy bylo přirozené, že prvá představa příc-



Obr. 13. Momentový obrazec prstenca kotvenia lán (reakcia pri nesymetrickom zatažení = šmykový tok po obvode rúry stožiara)

■ Záver

Objekt je súčasťou areálu vysieláča, ktorého generálnym projektantom je Spojprojekt Praha (Ing. Víšek, Ing. Šorm) a generálnym dodávateľom n. p. Hutné stavby Košice.

Návrh, projekt a dielenské výkresy stožiara vyhotovili v bratislavskej projekčno-konstruktívnej pobočke VŽKG. Statický výpočet podľa teórie 2. rádu a dynamické posúdenie vyhotovil ÚAM VŽKG pri VAAZ Brno (Ing. Vejvoda, Ing. Kanický, CSc.). Stožiar vyrobil závod 6 VŽKG v Ostrave-Vítkoviciach a v ťažkých poveternostných podmienkach zmontoval n. p. Hutní montáže Ostrava (hl. montér Patyk).

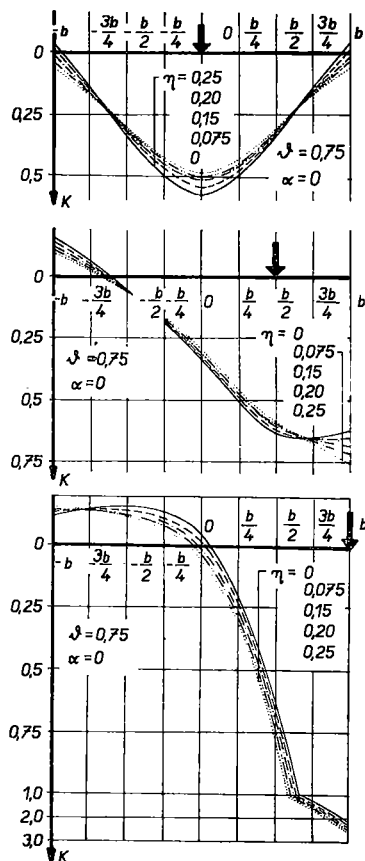
LITERATÚRA

- [1] Kozák, J.: Ocelové stožary. Praha 1966
- [2] Vejvoda, S.: Výpočet kotvených stožárů podle teorie druhého řádu za použití počítače MINSK 22, ÚAM VŽKG, Brno 1972
- [3] Křupka, V.: Výpočet válcových tenkostěnných kovových nádob a potrubí. Praha 1967
- [4] Kanický, V.: Dynamické posouzení a měření televizního stožáru Králova hoľa. ÚAM VŽKG, Brno 1971
- [5] Vejvoda, S.: Výpočet kotvených stožárů podle teorie druhého řádu za pomoci samostatného počítače. Inženýrské stavby 1972, č. 8–9

ného roznašení zatížení vedla přes nekonečně tuhé příčníky.

Tato práce byla signálem k zřídka vídanému náporu na objasnění spolupůsobení jednotlivých prvků, k vytvoření desítek hypotéz, postupů a metod. Popis takových plošných systémů, přibližující se jejich skuteč-

Obr. 1



nému chování, byl náplní desítek i stovek disertačních, habilitačních a výzkumných prací na pracovištích škol a výzkumných ústavů celého světa.

Impulsem byla práce Engessera o výpočtu trámových roštů za předpokladu kloubového spojení podélníků a nekonečně ohybově tuhých příčníků.

Dalším vážným krokem byly postupy uvažující při kloubovém spojení obou soustav trámů skutečnou ohybovou tuhost příčníků. Hlavní význam těchto metod, z nichž nejznámější je Leonhardtova, které se různé utvářely a přetvářely až do období po druhé světové válce, je zahrnutí *rozpoznaného vlivu ohybové tuhosti příčníků*, jinými slovy vlivu příčné tuhosti konstrukce na příčné rozložení zatížení.

I když v průměru znamenalo zavedení Engesserovy metody zvýšení ekonomie o 30 %, chyby proti skutečnosti dosahovaly až 50, ba i 100 %. Zavedení Leonhardtovy metody snížilo maximální chyby cca na polovinu, další různé modifikace tohoto postupu až na třetinu.

Později se objevili metody, které uvažovaly skutečné spojení trámů a příčníků, a které proto zavedly *vliv tuhosti v kroucení*. To ovšem znamenalo velký skok ve zpřesnění výpočtu, v přiblížení se skutečnosti a v ekonomii návrhu. Zavedení tuhosti v kroucení snížilo předchozí chyby proti skutečnosti zhruba na polovinu a úplné opuštění předchozích metod bylo jen otázkou nalezení vhodného početního postupu, který byl přirozeně s rostoucí přesností podstatně složitější. Naskýtali se dvě možnosti: *použití počítačů a použití analogií*.

Počítačům vcelku nevádí počet neznámých, spočítají výsledky přesně podle zadaných předpokladů a vstupních hodnot, ale na druhé straně odcizují dílo, konstrukci statikovi; statik ztrácí přehled o ovlivnění jednotlivých statických veličin a mnohdy přes „přesný“

výpočet je konstrukce navržena neekonomicky. Při výpočtu mnoha variant, při optimalizaci, je projekt díky počítači neúnosně drahý.

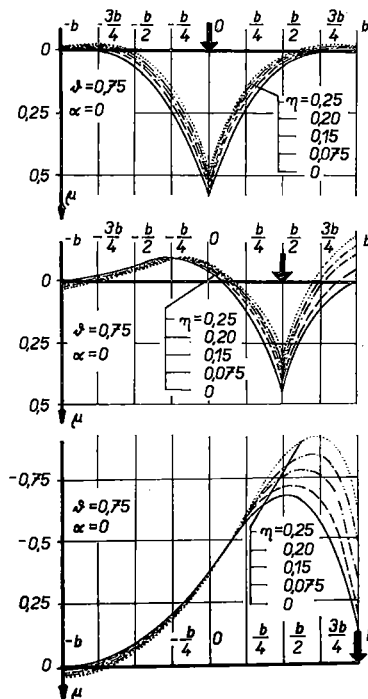
Podstata druhé alternativy byla dána nalezením *analogie mezi tvarovou a materiálovou anizotropií* s použitím existujícího aparátu výpočtu materiálově ortotropních desek. Tento postup byl velmi důležitý, když se začaly konstruovat podélníky a příčnický společně s krycí, např. mostovkovou deskou. Také metody založené na této analogii byly a nadále jsou předmětem zájmu řady pracovníků. Rovněž autor svého času pracoval na tomto základě metodu výpočtu, jež se v literatuře obvykle uvádí jako G—M—B-metoda; hlavní výhodou je její univerzálnost a rychlost použití.

Tím ovšem vývoj nekončí. Bylo již uvedeno, že zavedením kroucení do počtu se podařilo dosáhnout úspor 15 až 20 %, soudě podle chyb ve velikosti ohybových momentů. I metody používající analogie tvarově ortotropní desky však vycházejí z řady předpokladů, ne zcela oprávněných. Autorem provedená analýza těchto metod ho vedla k rozhodnutí odstranit některé z dalších nepřesností, které tyto postupy zbytečně znehodnocují.

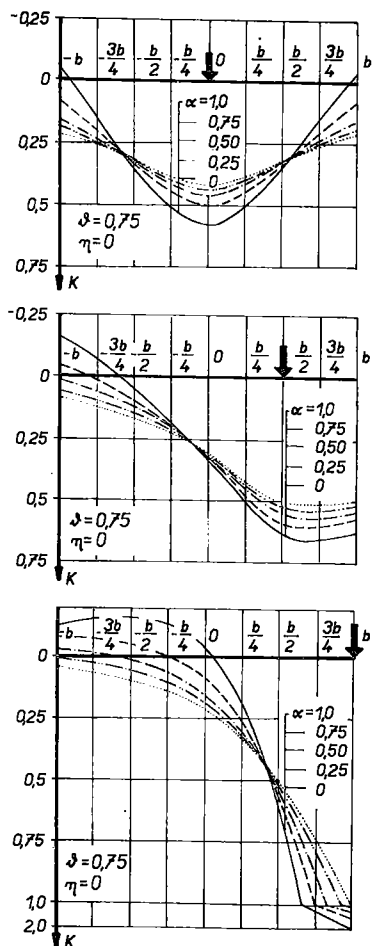
V různých fázích výpočtu se vyskytují ve výrazech členy odrážející vliv *příčné kontrakce*. Jsou důležité zejména u moderních plošných, tvarově ortotropních konstrukcí, u nichž podstatnou součástí průřezu je skutečná deska. Důsledným zavedením tohoto faktoru do počtu a řadou úprav a obrátů se autorovi podařilo odvodit novou metodu, kterou nazval *metodou bezrozměrných součinitelů*. Podle ní veškeré statické hodnoty potřebné pro návrh konstrukce jsou dány součinem *jednoduchých rozměrových veličin a složitých veličin bezrozměrných*, které se dají tabelovat v závislosti na třech bezrozměrných parametrech: *na parametru příčné tuhosti ϑ* , *na parametru tuhosti v kroucení α* a *na parametru kontrakční schopnosti η* . Spolu s půdorysnými veličinami je těmito třemi parametry popsána každá plošná tvarově ortotropní konstrukce.

Nově zavedený parametr kontrakční schopnosti má tvar

Obr. 2



Obr. 3



$$\eta = \nu_T \sqrt{\frac{\rho_P}{\rho_T}}$$

kde ν_T je součinitel příčné kontrakce konstrukce ve směru trámu, který může být určen např. ze vztahu

$$\nu_T = \sqrt{\frac{\rho_T - \rho_T'}{\rho_P}}$$

ρ_T , ρ_P jsou ohybové tuhosti v podélném a příčném směru, ρ_T' je ohybová tuhost, v níž je položen Poissonův součinitel materiálů průřezu roven nule.

Byly odvozeny všechny vztahy potřebné pro výpočet a byly vypočteny bezrozměrné součinitele, které jsou pro přímkové zatížení čtyři, pro zatížení rovnoměrné čtyři, pro zatížení okrajovými momenty, které se uplatní při výpočtu konstrukcí s neregulární tvarovou ortotropií, dalších osm. Tyto součinitele byly vypočteny pro mezní hodnoty bezrozměrných parametrů α a η , tj. $\alpha = 0; 1$, $\eta = 0; 0,25$ a různé hodnoty bezrozměrného parametru ϑ . Pro mezilehlé hodnoty α a η se použijí ke stanovení bezrozměrných součinitelů *interpolací vzorce*, které byly rovněž odvozeny. Při jejich odvození se dbalo toho, aby *chyba nepřekročila v žádném rozhodujícím případě 2%*. Při vlastním výpočtu např. podélného ohybového momentu od přímkového zatížení se postupuje podle vzorce

$$M_T = \sum \frac{p_m l^3}{2b\pi m^2} [K_{(y)m} + \eta \mu_{(y)m}] \sin \frac{m\pi x}{l}$$

kde součinitele K a μ jsou tabelovány a ostatní výpočet je zřejmě zcela prostý. Podobně prostý je výpočet i ostatních statických veličin, např. reakce je:

$$\bar{Q}_T = \sum \frac{p_m l}{2bm} [K_{(y)m} + (2\varepsilon - \eta) \mu_{(y)m}] \cos \frac{m\pi x}{l}$$

kde $\varepsilon = [\alpha + \eta(1 + \alpha)]$

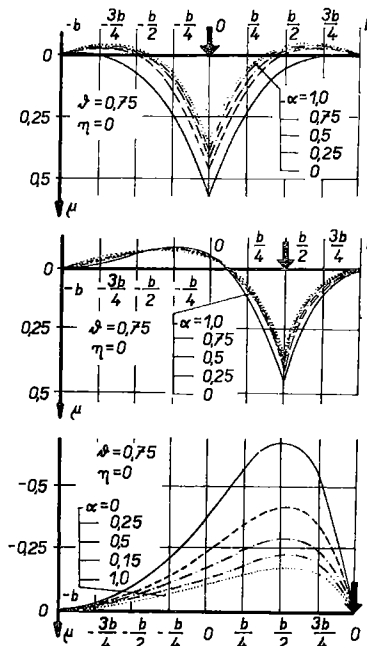
Při předběžných rozborech se ukázalo, že vliv zanedbání kontrakční schopnosti konstrukce může být téměř takový, jaký se projevuje při zanedbání tuhosti v kroucení. Zavedením kontrakční schopnosti se znovu snížily chyby vznikající proti skutečnosti asi o polovinu. Např. na obr. 1 a 2 je uveden v příčném řezu konstrukcí průběh hodnot dvou hlavních součinitelů K a μ , na nichž jsou závislé podélné a příčné ohybové momenty, při změně parametru příčné kontrakce η pro určitou hodnotu dvou zbylých parametrů ($\vartheta = 0,75$, $\alpha = 0$). Srovnáním s dalšími dvěma obr. 3 a 4, kde jsou na podobných grafech znázorněny průběhy těchto bezrozměrných součinitelů K a μ při změně parametru tuhosti v kroucení α , je vidět, že chyby způsobitelné oběma veličinami jsou řádově srovnatelné.

Nová metoda tedy umožňuje v důsledku větší pravdivosti vstupních předpokladů a vhodného uspořádání výpočtu, který zahrnuje i tabelaci bezrozměrných součinitelů, dosáhnout větší přesnosti při počítání na logaritmickém pravítku než mnohé dosavadní metody, které používají numericky zcela přesného výpočtu.

Z ekonomického hlediska nelze podceňovat žádné, ani poměrně malé zpřesnění výpočtu, když si uvědomíme, že např. v nejbližších letech se má v Československu postavit asi 25 km nových malých a středních mostů převážně tohoto typu a prostavět téměř 1,5 miliardy Kčs. Zvláštního významu nabývá přesné řešení tvarově ortotropních plošných konstrukcí v elementech letadel a lodí, kde se kontrakční schopnost vzhledem k vysokému Poissonovu součiniteli lehkých slitin zvláště uplatní a kde každé zpřesnění umožňující zmenšení hmotnosti je velmi vítané.

Přestože dosavadní pružná teorie již obráží chování uvažovaných konstrukcí velmi přiměřeně, perspektivně by měly být v tomto oboru shrnuty nabyté zkušenosti a věnována pozornost vlivu smykové tuhosti v rovině vlastní desky ve tvarově ortotropní konstrukci a dále analýze konstrukcí tohoto typu v pružnoplastickém a plastickém oboru.

Obr. 4



Fotoelasticimetrická studie oblasti napojení hlavice na deskovou konstrukci

V příspěvku je popsána modelová zkouška fotoelasticimetrickou metodou na zmrazeném deformovaném modelu. Jejím účelem je objasnit průběh a hodnoty napětí v okolí skrytých ocelových hlavíc železobetonové kazetové desky stropu projektované haly před Hlavním nádražím v Praze.

Dispoziční řešení konstrukce dvoupodlažního halového podechodu a stanice podzemní dráhy Praha-Hlavní nádraží vyžaduje podepření stropní konstrukce v ortogonální síti se základním čtvercovým modulem 9,0 krát 9,0 m.

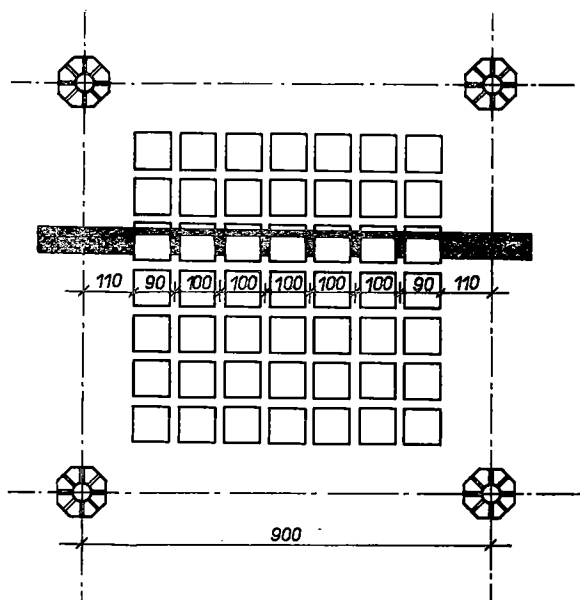
Strop je konstruován jako železobetonová ortotropní deska konstantní výšky 0,65 m. Základním prvkem jsou žebra osové vzdálenosti 1,0 m, která ve sloupových partiích přecházejí v plnou desku šířky 2,2 m, tvořící průvlaky (obr. 1).

V místech podpor jsou v průvlacích zabetonovány ocelové osmiboké hlavice se žebry a centrální trubkou. Prostřednictvím těchto hlavíc je deska uložena na neoprenových ložiskách štíhlých ocelových sloupů, působících jako kyvné stojky.

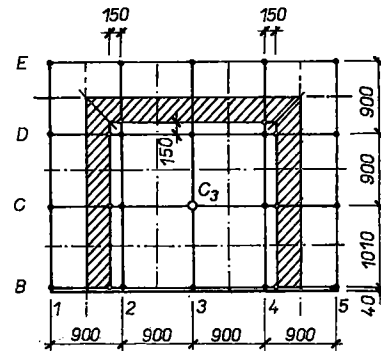
Složité průběh napětí v desce v okolí podpěr lze výpočtem velmi nesnadno vystihnout. Nesnáze spojené s teoretickým řešením ještě vzrůstají tím, že se v daném případě velmi podstatně uplatní také tuhost zabetonovaných ocelových hlavíc. Proto se přistoupilo k modelové fotoelasticimetrické studii a modelovala se část stropu se čtyřmi moduly (dvě krajní pole 9,0 × 10,10 m a dvě pole vnitřní 9,0 × 9,0 m — viz obr. 2), půdorysně omezená vnějšími osmi sloupy $B_2, C_2, D_{2,3,4}, C_4$ a B_4 se střední podporou C_3 , k níž byl zaměřen výzkum.

Model v měřítku 1 : 50 byl vyfrézován z laboratorně odlité desky z epoxidové pryskyřice a byl částečně idealizován v místech kazetového stropu. Žebra byla nahrazena deskou konstantní tloušťky při zachování momentu setrvačnosti.

Obdobně byla tvarově komplikovaná a v měřítku



Obr. 1. Skutečný tvar konstrukce se skrytými ocelovými hlavicemi



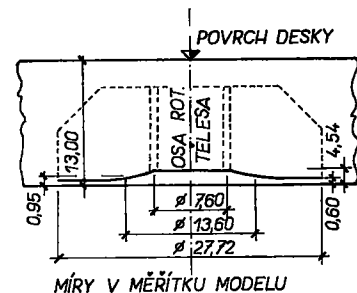
Obr. 2. Dispozice stropní konstrukce

1 : 50 těžko vyrobiteľná hlavice nahrazena kruhovou plnou deskou proměnné tloušťky (obr. 3). Byla přilepena v místech podpor ve spodní části průvlaku do vyfrézovaného kruhového vybrání tvaru idealizované hlavice. Tvoří se stropem kompaktní celek.

Při modelování bylo nutné zachovat poměr modulu pružnosti betonu zn. 330 a ocelové hlavice, který je $n = 9,55$. Proto byla hlavice vymodelována z epoxidové pryskyřice plněné ocelovými pilinami. Při zmrazovací fotoelasticimetrii během zahřívání značně klesá modul pružnosti použitých modelových hmot. U epoxidové pryskyřice klesne modul na hodnotu $E_t \doteq 4 \cdot 10^2 \text{ kp/cm}^2$ a u epoxidové pryskyřice plněné na $E_t \doteq 4 \cdot 10^3 \text{ kp/cm}^2$, takže žádaný poměr modulů obou materiálů byl zachován.

Takto sestavený model byl uložen na podpory s výškovou rektifikací usnadňující plné dosednutí desky na všechny podpory. Mezi krajní sloupy a desku byly umístěny kartonové vložky představující ložisko. U střední podpory byla do sloupu C_3 pod hlavici vložena kulička, umožňující ohyb desky ve všech směrech.

Aby nebyla překročena mez pevnosti modelového materiálu a aby při vyhřívání zatíženého modelu nevznikly nežádoucí nadměrné deformace, bylo stálé a nahodilé zatížení 2,758 Mp/m² redukováno tak, aby napětí v modelu bylo 50krát menší než napětí na skutečné konstrukci:



Obr. 3. Ocelová hlavice a její idealizování