

Posudzovanie únosnosti ocelobetónových medzikružných prierezov televíznej veže Praha

Priestorová rámová konštrukcia televíznej veže Praha s tromi ocelobetónovými driekmi. Podmienky spoľahlivosti osobitného druhu spriahnutej ocelobetónovej konštrukcie driekov. Výpočtové medzné únosnosti odvodené podľa metódy medzných pretvorení v závislosti od vlastností materiálov. Zvažuje sa pružné i pružno-plastické správanie sa materiálu a kritériá sú odstupňované podľa štyroch štádií, ktorými prierez prechádza. Rozlišujú sa vplyvy reologických zmien betónu.

Objekt televíznej veže Praha musí vyhovovať funkčným a architektonickým požiadavkám a nosné konštrukcie spĺňať podmienky spoľahlivosti. Pri posudzovaní uvažujeme všetky vplyvy a obmedzenia okolia, ktoré sa uplatnia počas výstavby a využívania konštrukcie.

Pri posudzovaní spoľahlivosti možno rozlíšiť určité etapy (kroky) naznačené na vývojovej schéme na obr. 1.

Prvým krokom je identifikácia nosného systému a pôsobiacich zaťažení. Štruktúra nosného systému je daná parametrami: Statická sústava, geometria, materiálové vlastnosti, príp. etapy výstavby.

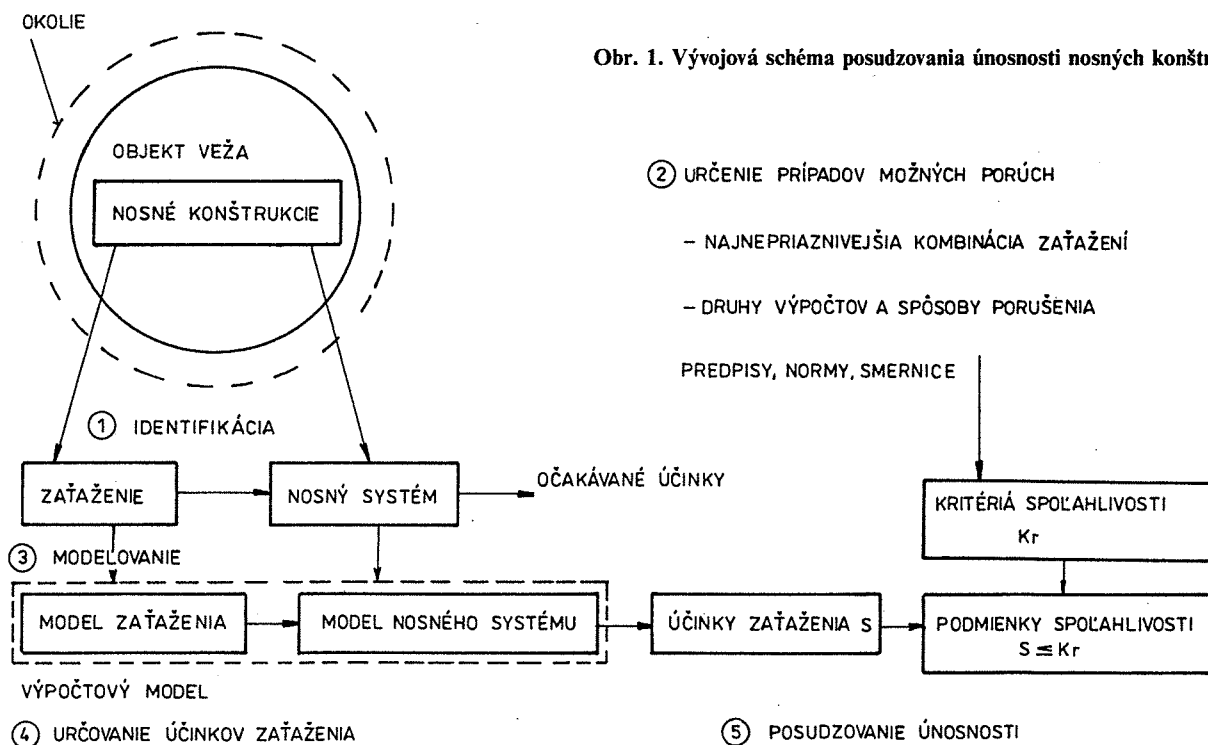
Ocelobetónová rúra sa pokladá za prút uzatvoreného prierezu, ktorý je schopný prenášať všetky druhy vnútorných síl (N, M, Q, M_t). Pre nízky pomer polomer r /hrúbka t pokladá sa priečny tvar za zabezpečený. Ďalej sa predpokladá dokonalé spojenie medzi oceľovým plášťom a betónom a platnosť Navierovho—Bernoulliho zákona. Prierez sa považuje za tenkostenný, takže prierezové veličiny sa odvodzujú od stredných hodnôt (obr. 2). Ocelobetónové prúty sú súčasťou priestorového rámu.

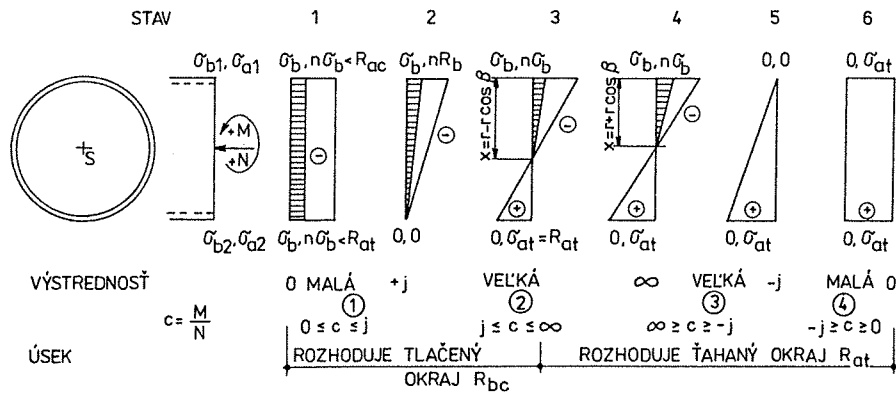
Pri ocelobetónových konštrukciách rúr môžu nastať tieto poruchy:

1. porušenie rúrového prierezu pôsobením
 - a) normálových napätí vyvolaných v jednotlivých zložkách prierezu normálovou silou N a ohybovým momentom M vrátane vplyvu normálových síl,
 - b) šmykových napätí vyvolaných posúvajúcou silou, príp. krútiacim momentom,
2. porušenie kruhového prstenca pôsobením priečneho zaťaženia (ováľovanie),
3. porušenie integrity dotykovej plochy medzi oceľovým plášťom a betónom:
 - a) posunutie pôsobením šmykových síl (najmä objemových zmien) v rovine — dôležité pre šmykové zarážky,
 - b) odtiahnutie betónu od oceľového plášťa pôsobením rozpieracích radiálnych síl, ktoré vznikajú napr. pri radiálnom zmrašťovaní — dôležité pre ľahové kotvy.

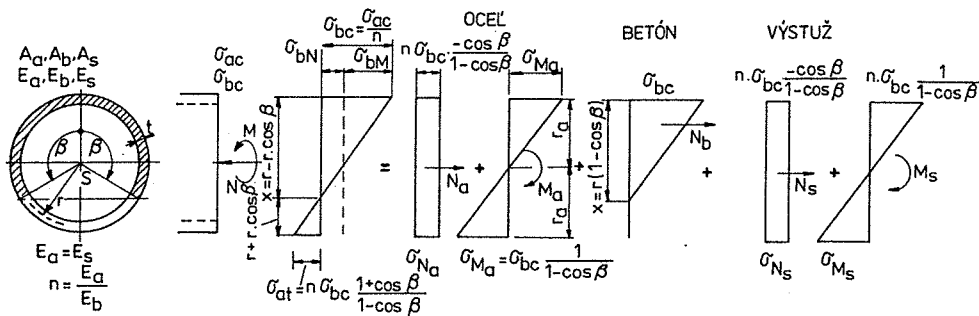
V tomto príspevku sa sústreďujeme na prípad 1a.

Pri analýze musíme určiť výpočtový model, matematicky ho formulovať (voliť metódu výpočtu) a číselne naplniť.





Obr. 5. Štádium II. Rozloženie napätí v ocelobetónovom priereze v závislosti od výstrednosti



Obr. 6. Štádium II. Rozloženie napätí v priereze v zložkách v úseku 2 až 3

pružné správanie sa betónu v ťahu $\sigma_{bt} \leq R_{bt}$ a v tlaku $\sigma_{bc} \leq R_{bc}$,
 pružné správanie sa ocele a výstuže $\sigma_{at} \leq R_{at}$, $\sigma_{ac} \leq R_{ac}$,
 pomerné pretvorenie $\varepsilon_{bt, R} \geq \varepsilon \leq \varepsilon_{bc, R}$,
 medzná únosnosť, keď sa v jednom okraji dosiahne R_{bt} , prípadne R_{bc} ,

oblasť II:

pružné správanie sa ocele a výstuže $\sigma_{at} \leq R_{at}$, $\sigma_{st} \leq R_s (\leq R_a)$,
 pružné správanie sa betónu v tlaku $\sigma_{bc} \leq R_{bc}$,
 betón v ťahu vylúčený,
 pomerné pretvorenia $\varepsilon_{at, R} \geq \varepsilon \leq \varepsilon_{bc, R}$,
 medzná únosnosť, keď sa v jednom okraji dosiahne R_{at} , prípadne R_{bc} ,

oblasť III:

pružné správanie sa ocele a výstuže,
 pružno-plastické správanie sa betónu v tlaku,
 pomerné pretvorenia $\varepsilon_{at, R} \geq \varepsilon \leq \varepsilon_{ac, R}$,
 medzná únosnosť, keď sa v jednom okraji dosiahne R_a ,

oblasť IV:

pružno-plastické správanie sa ocele, výstuže a betónu v tlaku,
 pomerné pretvorenie je limitované prípustnou veľkosťou trhlín v betóne $\varepsilon_{dt} \geq \varepsilon \leq \varepsilon_{dc}$.

Kým pri štádiách I a II platí fyzikálna linearita a v podmienkach spoľahlivosti možno použiť napäťové kritériá, pri štádiách III a IV je fyzikálna nelinearita, takže treba pracovať pri dvojzložkových účinkoch s interakčnými vzťahmi.

Medzné únosnosti prierezov namáhaných normálovou silou a momentom

Pri namáhaní normálovou silou a momentom prechádza prierez v závislosti od intenzity účinkov postupne štyrmi štádiami. Na obr. 4 sú tieto štádiá naznačené pre veľkú výstrednosť, t.j. $c = M/N \geq j$ (jadrová úsečka). Poloha neutrálnej osi závisí nielen od c , ale aj od štádia definovaného limitným pretvorením, na ktoré sa viažu príslušné namáhania.

Medzné únosnosti podľa štádia II

Výstrednosť c sa môže pohybovať v širokom rozsahu — pri tlakovej sile N od $c = 0$ (centrický tlak), $c = j = r/2$ po $c = -\infty$ (prostý moment); pri ťahovej sile od $c = 0$, $c = -j$ po $c = -\infty$. Takto možno rozlišovať niekoľko úsekov, pre ktoré sa dajú formulovať podmienky rovnováhy vnútorných síl s účinkami zaťaženia (obr. 5). Tak napr. pre úsek 2—3 (veľká výstrednosť) majú tieto podmienky tvar (obr. 6):

$$\Sigma N = 0:$$

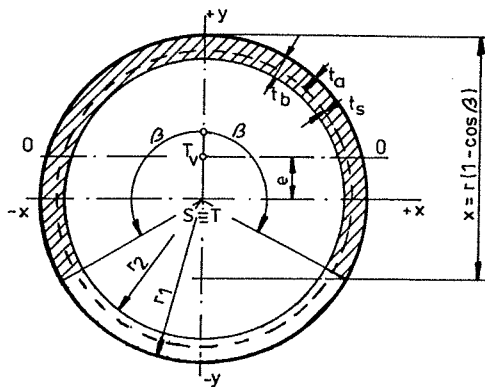
$$N_a + N_b + N_s = N_d$$

$$2n\sigma_b\pi r_a \frac{\cos \beta}{\cos \beta - 1} + 2\sigma_b r_b t_b \frac{\sin \beta - \beta \cos \beta}{1 - \cos \beta} +$$

$$+ 2n\sigma_b\pi r_s \frac{\cos \beta}{\cos \beta - 1} = N_d \quad (1)$$

$$\Sigma M_x = 0:$$

$$\frac{n\sigma_b J_a}{r_a(1 - \cos \beta)} + \frac{\sigma_b r_b^3 t_b}{r_b(1 - \cos \beta)} (\beta - \cos \beta \sin \beta) +$$



Obr. 2. Geometria rúrového prierezu a kruhovej výseče, medzikružie \cong tenkostenná rúra: r_1, r_2 vonkajší, vnútorný polomer, hrúbka steny $t = r_1 - r_2$, polomery strednic $r = r_1 + r_2/2$, r_a, r_b, r_s polomery zložiek prierezu, t_a, t_b, t_s hrúbky stien, prierezová plocha ocele $A_a = 2\pi r_a t_a$, prierezová plocha betónu $A_b = \pi(r_1^2 - r_2^2) = 2\pi r_b t_b$, prierezová plocha výstuže $A_s = \Sigma A_i = 2\pi r_s t_s$ (rozptýlená tyčová výstuž sa nahrádza náhradnou tenkostennou rúrou), kruhová výseč je definovaná polomerom r , stredovým uhlom β , hrúbkou steny t , dĺžka výsečového oblúka $b = 2r\beta$; výška výseče $x = r(1 - \cos \beta)$, plocha výseče $A_v = 2\beta r t$, poloha ťažiska výseče od stredu $S e = (\sin \beta / \beta) r$, moment zotrvačnosti výsečového oblúka k osi $x I_{v,x} = 2r^3 t (\beta/2 + \sin 2\beta/4)$, moment zotrvačnosti výsečového oblúka k vlastnej osi $I_{v,o} = 2r^3 t (\sin \beta \cdot \cos \beta + \beta - 2/\beta \cdot \sin^2 \beta/2)$

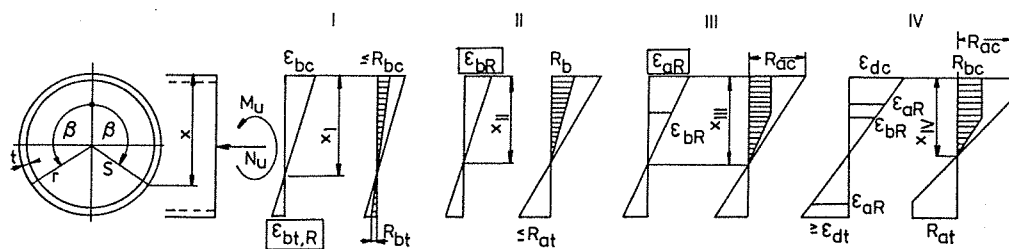
Výpočtový model má vecne vystihnúť skutočné pôsobenie konštrukcie a závisí od požadovanej presnosti, druhu zaťaženia, disponibilných výpočtových programov a skúseností projektanta-statika.

V určených prípadoch, ktoré sa majú skúmať z hľadiska únosnosti, sa na podklade zvolených výpočtových modelov určujú účinky zaťaženia. Spravidla analýzou zistíme vnútorné sily N, M, Q, M_k , ktoré pôsobia na prút v určitom priereze. V prípadnej ďalšej fáze sa určujú napätia jednotlivých zložiek.

Posúdenie spoľahlivosti prútu sa prevedie na posúdenie únosnosti spriahnutého ocelobetónového prierezu. Porušenie môže nastať pôsobením normálových napätí, ktoré sú výsledkom najnepriaznivejšej kombinácie možných zaťaženia. Spravidla to bude dvojzložkový účinok $F(N, M)$. Pri jednorazovom namáhaní možno v závislosti od oblasti namáhania a charakteru účinkov použiť niektoré z týchto výpočtových kritérií:

1. napätové veličiny, t. j. pevnosť, použiteľné pri platnosti zákona superpozície (geometrická a fyzikálna linearita); podmienka spoľahlivosti $\max \sigma(N_d, M_d) \leq R$,

2. výslednicové veličiny vnútorných síl (únosnosti) vo všetkých oblastiach pri jednozložkovom účinku Y_d ; podmienka spoľahlivosti $Y_d \leq Y_u$,

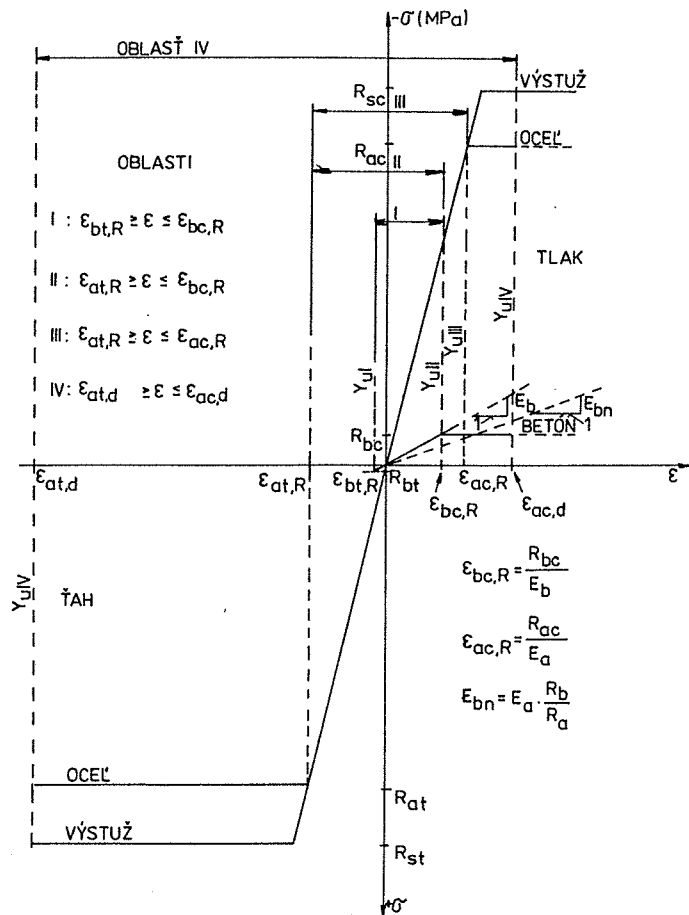


Obr. 4. Postupné štádiá pri namáhaní tlakovou normálovou silou s veľkou výstrednosťou

3. interakčné kritérium pri všetkých oblastiach namáhania; podmienka spoľahlivosti $F(N_d, M_d) \leq P_u(N_u, M_u)$.

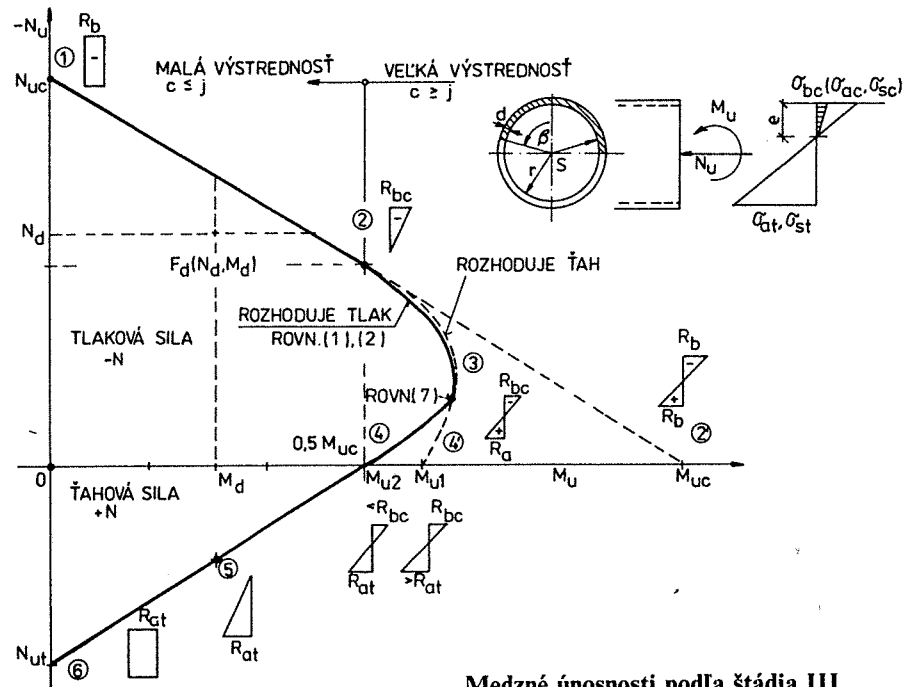
■ Oblasti a štádiá namáhania ocelobetónového prierezu

Pri určovaní výpočtových kritérií budeme vychádzať z limitných (medzných) pomerných pretvorení ϵ_d . Možno rozlišovať niekoľko oblastí, ktoré sú definované medznou hodnotou pretvorenia, prípadne namáhania niektorej



Obr. 3. Pracovné diagramy zložiek spriahnutého prierezu

zložky prierezu. Na obr. 3 sú idealizované pracovné diagramy zložiek spriahnutého prierezu a medzné pomerné pretvorenia. Lom priamok je v miestach výpočtových pevností R . Rozlišujeme štyri oblasti s hranicami súčasne zodpovedajúcimi medzným štádiám, od ktorých možno odvodiť výpočtové medzné únosnosti: oblasť I:



Obr. 7. Štádium II. Interakčná krivka $P_u(N_u, M_u)_{II}$

$$+ \frac{n\sigma_b I_s}{r_s(1 - \cos \beta)} = M_d \quad (2)$$

Pre dané $F(N_d, M_d)$ sa určí poloha neutrálnej osi β , napätie σ_b , a tým aj ostatné namáhania.

Podmienka spoľahlivosti

$$\sigma_{bc} \leq R_{bc}, \quad \sigma_{at} \leq R_{at}, \quad \sigma_{ac} \leq nR_{bc}.$$

Rovnice (1) a (2) súčasne definujú interakčné vzťahy; keď $\sigma_b = R_b$ (predpokladáme, že rozhoduje tlačný okraj), potom $N_d \rightarrow N_u$ a $M_d \rightarrow M_u$ a rovnice (1) a (2) dostanú podobu

$$N_u = f_1(\beta), \quad M_u = f_2(\beta) \quad (3), (4)$$

Pre zvolené β nájdeme $F_u(N_u, M_u)$. Pre interakčnú krivku sú typické tri body: začiatok 2:

$$\beta = \pi, \text{ z rovnice (1) } N_u = 0,5(nA_a + A_b + nA_s)R_b$$

$$\text{z rovnice (2) } M_u = R_{bc} \cdot \left(n \frac{I_a}{r_a} + r_b^2 \cdot t_b \beta + n \frac{I_s}{r_b} \right) \quad (5)$$

bod 4:

$$N = 0, \quad N_u = 0 \rightarrow \beta;$$

$$M_u = R_{bc} \cdot \left(\frac{I_a}{r_a(1 - \cos \beta)} + \frac{r_b^2 \cdot t_b}{(1 - \cos \beta)} \cdot (\beta - \cos \beta \cdot \sin \beta) + \frac{n \cdot I_s}{r_s(1 - \cos \beta)} \right) \quad (6)$$

bod 3: (v oboch okrajoch sú výpočtové namáhania R_{bc} , prípadne R_{at}) by sa určil z podmienky

$$nR_{bc} = R_{at} \frac{1 - \cos \beta}{1 + \cos \beta} \rightarrow \beta \quad (7)$$

Na obr. 7 je interakčná krivka pre celý rozsah (N, M) .

Medzné únosnosti podľa štádia III

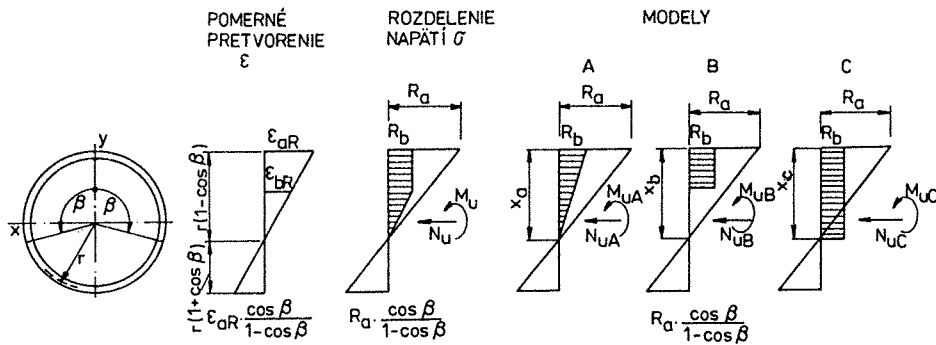
Pri štádiu III sme predpokladali pružné správanie sa ocele a výstuže, pružno-plastické správanie sa betónu v tlaku a limitujúce pretvorenie $\epsilon_{aR} = R_u/E_u$. Jestvuje fyzikálna nelinearita, preto podmienky spoľahlivosti sa nedajú priamo vyjadriť napätiami a vo všeobecnosti ostáva riešenie pomocou interakčných vzťahov $P_u(N_u, M_u)$. Pre odvodenie interakčných funkcií sú opäť k dispozícii dve rovnováhové podmienky podobné rovniciam (1) a (2). Vzťahy pre nelineárny priebeh namáhania betónu sú podstatne zložitejšie a riešenie by vyžadovalo výkonnejšiu výpočtovú techniku. Preto sa pri inžinierskych metódach zavádzajú zjednodušujúce modely pre medzné rozdelenie napätí v betóne (obr. 8), napr.:

- A — linearizované, úmerné vzdialenosti od neutrálnej osi,
- B — rovnomerne rozdelené na určitú výšku prierezu,
- C — celá oblasť tlačeneho betónu je splatizovaná.

Medzné únosnosti určené na podklade rôznych modelov rozdelenia napätí nebudú zhodné, rozdiely budú závisieť od tvaru prierezu, stupňa vystuženia; väčšie rozdiely budú v oblastiach $c \approx j$.

Pri linearizovanom modeli A sú použiteľné všetky vzťahy odvodené pre štádium II, avšak namiesto modulu pružnosti E_b sa použije náhradný modul pružnosti $E_{bn} = E_a \cdot R_b/R_a$, čím sa $n_{cl} = E_a/E_b$ mení na $n_{pl} = R_a/R_b$. Na príklade centricky tlačeneho prierezu je na obr. 9 naznačený priebeh rozdelenia normálovej sily do jednotlivých zložiek. V limite pri $\epsilon = \epsilon_{aR}$ je medzi obidvoma prístupmi zhoda, rozdiely sú pri $\epsilon < \epsilon_{aR}$, avšak na bezpečnej strane. Tento prístup dobre zodpovedá aj interakčným vzťahom, ktoré určujú horné obmedzenie výpočtových medzných únosností. Zohľadňuje pružno-plastické správanie sa betónu a umožňuje v tlačenej oblasti väčšie využitie pevnosti ocele, pričom sa zachovávajú prednosti lineárneho vzťahu medzi napätím a pretvorením. Tento prístup sa používa aj vtedy, keď treba zohľadniť vplyv plastických pretvorení betónu od zmrašťovania a dotvarovania.

Použitie modelu B je dosť náročné, vhodné len pri urči-



Obr. 8. Štádium III. Pomerné pretvorenia, rozdelenie napätí, zjednodušujúce modely

tých tvaroch prierezo (napr. I-tvaru, keď sa uvažuje len tlačaná časť pásnice).

Použitie modelu C má charakter kompromisu, oceľ a výstuž pružná, betón celkom splastizovaný; matematické vyjadrenie je jednoduchšie. V podstate však dáva vyššie únosnosti ako v predchádzajúcich prípadoch.

Medzné únosnosti podľa štádia IV

Rozdelenie napätí po priereze, ktoré zodpovedá ϵ_d určujeme pre obmedzenie trhlín, je bilinéarne (trapézové) pri betóne, oceli i výstuži. Určovanie medzných napätí je zložité, a preto sa často modeluje plne splastizovaným prierezom (obr. 10). Výsledné únosnosti $P_u(M_u, N_u)$ sa rovnako odvodí z dvoch podmienok rovnováhy medzi vnútornými silami jednotlivých zložiek na momentovú časť vzhľadom na vlastnú os a doplnkovú normálovú silu, ktorá však pôsobí odlišne oproti štádiu II.

Rovnováhové podmienky

$$N = 0:$$

$$N_a + N_b + N_s = N_u$$

$$2r_a t_a (\pi - 2\beta) - 2R_b r_b t_b \beta + 2R_s r_s t_s (\pi - 2\beta) = N_u \quad (8)$$

$$M = 0:$$

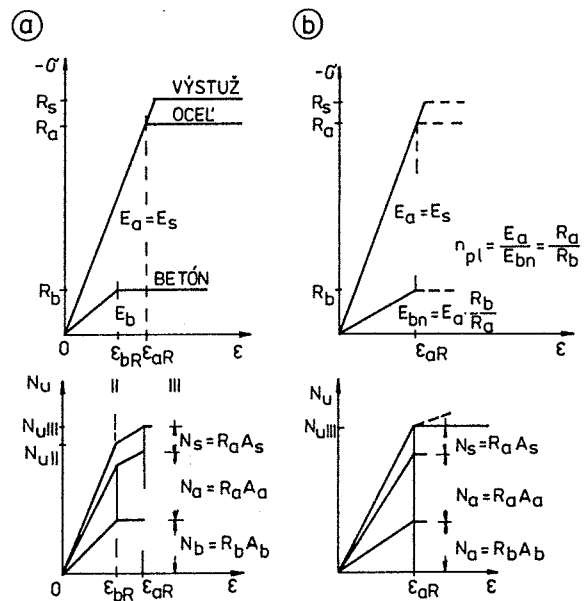
$$M_a + N_a e_a + N_b e_b + M_s + N_s e_s = M_u$$

$$4R_a r_a^2 t_a \sin \beta + 2R_b r_b^2 t_b \sin \beta + 4R_s r_s^2 t_s \sin \beta = M_u \quad (9)$$

Interakčná krivka odvodená z týchto predpokladov predstavuje teoretické horné obmedzenie výpočtových únosností.

■ Vyhodnotenie interakčných kriviek

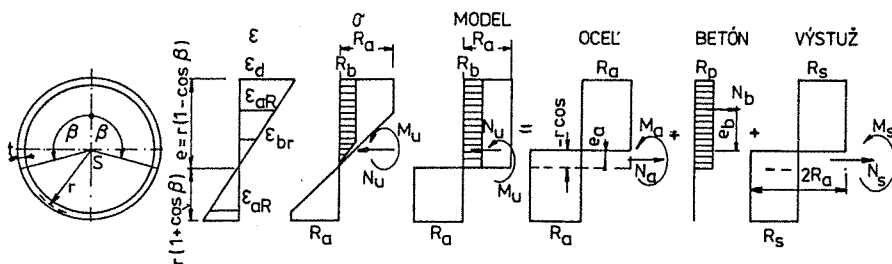
Oceľobetónové prierezy televíznej veže Praha sú namáhané dvojzložkovými účinkami $F(N_d, M_d)$ vo veľmi širokom rozsahu. Preto interakčné krivky dávajú veľmi dobrý obraz o medzných únosnostiach pri rôznych kombináciách (M, N) a o vplyve zavedených štádií. Pre konkrétny prierez boli určené interakčné krivky pre jednotlivé štádiá (obr.



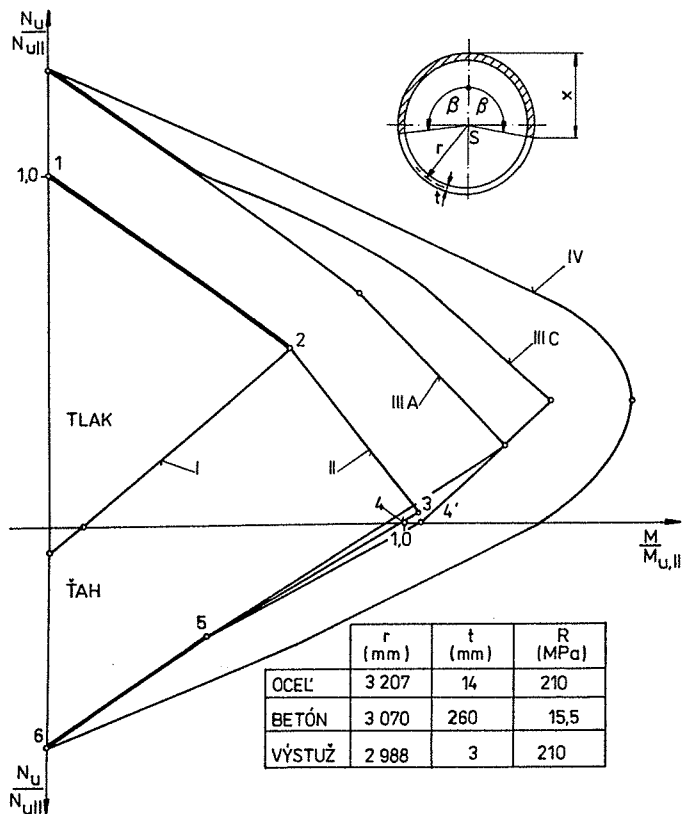
Obr. 9. Priebeh vnútorných síl pri centricky tlačnom priereze pri pracovnom diagrame: a — normovom, b — náhradnom

11). Prechodom zo štádia II do štádia III sa zvyšujú únosnosti výraznejšie v oblasti s dominujúcou tlakovou silou ako v oblasti s prevládajúcim momentom. Je to spôsobované tým, že splastizovanie betónu umožňuje v tlačnej oblasti väčšie využitie pevnosti ocele a výstuže. Prechodom zo štádia II do štádia IV sa zvyšuje únosnosť výhradne plasticitou ocele a výstuže a prejavuje sa len v oblastiach s prítomnosťou momentu. Pri kruhovom priereze je toto

zvýšenie dosť výrazné, lebo $W_{pl} = \frac{4}{\pi} W_{cl}$. Na obr. 12 je zakreslený podiel betónu na zvýšení únosnosti prechodom lo vyšších štádií. Podiel betónu oproti celkovému zvýšeniu nie je významný, je nepriamy, lebo svojím splastizovaním umožňuje využiť pevnosti ocele.



Obr. 10. Štádium IV. Pomerné pretvorenia, rozdelenie napätí, zjednodušujúci model



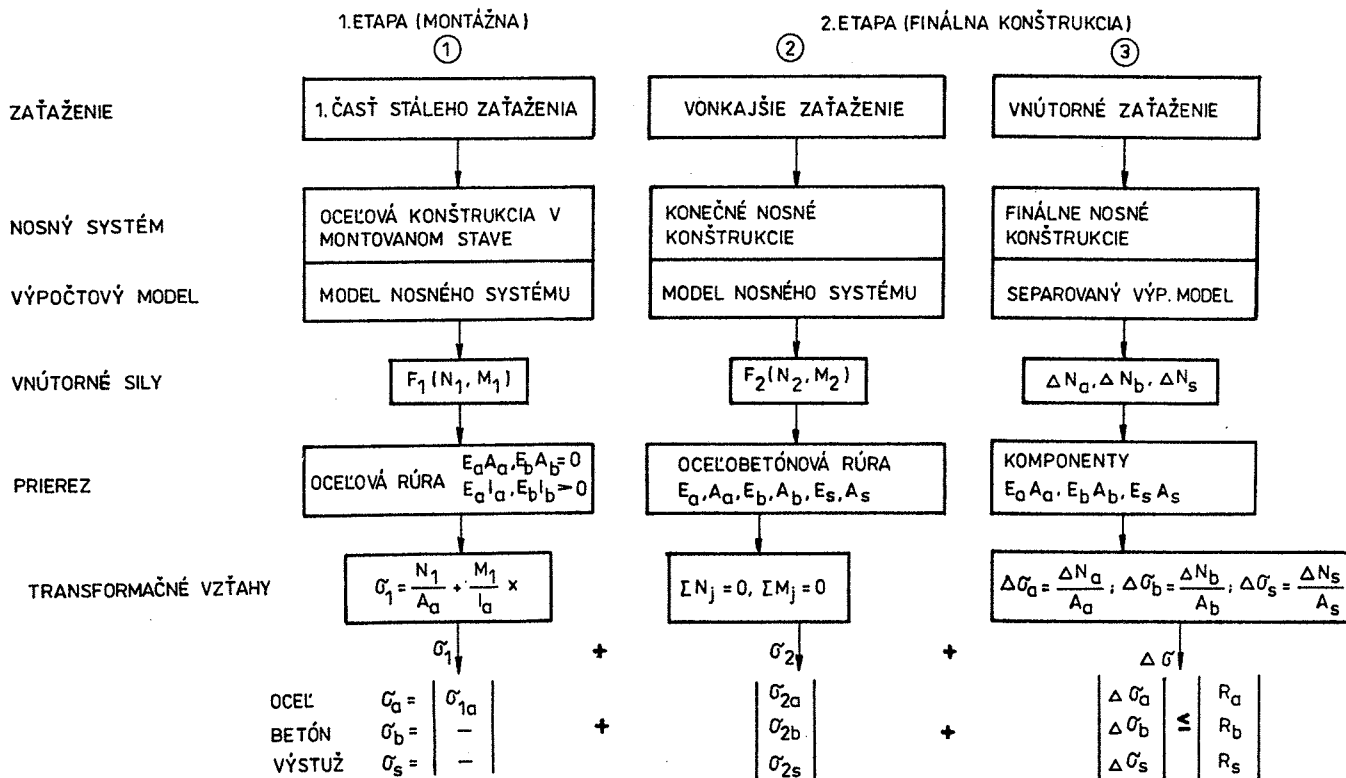
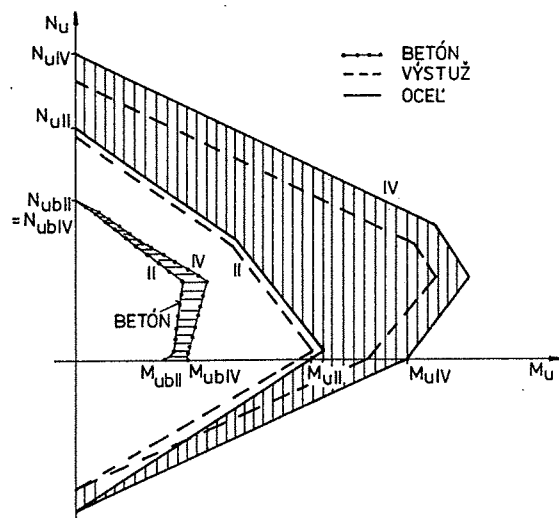
Obr. 11. Interakčné krivky rúrového prierezu pre rôzne štádia

Obr. 12. Podiel betónu na zvýšení únosnosti prechodom zo štádia II do IV

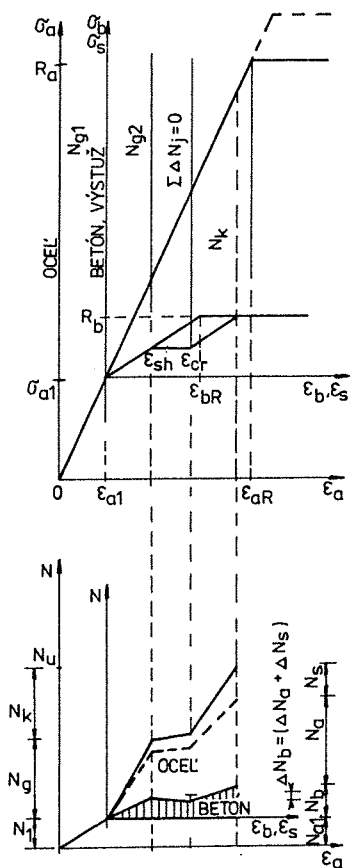
■ Posudzovanie spoľahlivosti kritériami napätí podľa štádia II, prípadne III

Na obr. 13 je vývojová schéma posúdenia rúrového ocelobetónového prierezu podľa napätových kritérií štádia II. V takom prípade možno rozlišovať účinky od troch skupín zaťaženia:

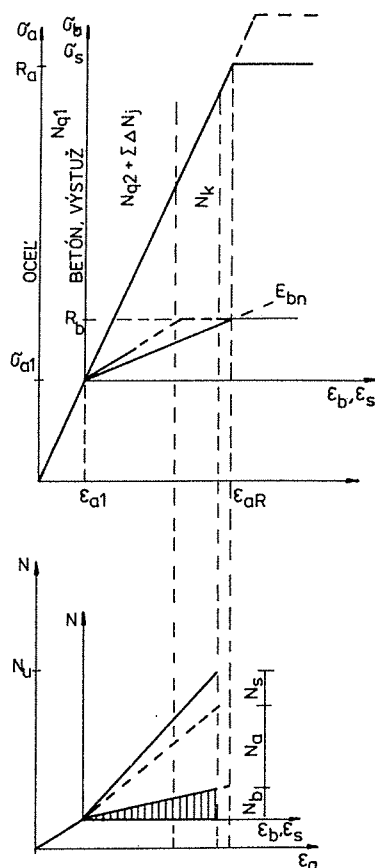
1. Časť stálego zaťaženia, ktoré prenáša v montážnom štádiu len oceľová rúra. Zaťaženie vyvolá reakciu $F_1(N_1, M_1)$ a v ocele napätia σ_{1a} .
2. Vonkajšie zaťaženia (gravitačné, klimatické), ktoré pôsobia na hlavný nosný systém modelovaný priestorovým rámom. Na ocelobetónový prierezu pôsobí dvojzložkový účinok $F_2(N_2, M_2)$, ktorý je výsledkom najnepriaznivejšej kombinácie zaťaženia. Ocelobetónový prierezu je definovaný geometrickými a materiálovými parametrami. Dôležité



Obr. 13. Vývojová schéma posúdenia napätovými kritériami štádia II



Obr. 14. Štádium II. Vnútorne sily centricky tlačeného prierezu od jednotlivých skupín zaťaženia



Obr. 15. Štádium IIIA. Vnútorne sily od vonkajších zaťaženií

je uplatnenie základných modulov pružnosti. Pomocou podmienok rovnováhy sa určia napätia σ_2 .

3. Vnútorne zaťaženia, ktoré nevyvolávajú vonkajšie reakcie. V našom prípade možno tieto zaťaženia rozlišovať podľa toho, či spôsobujú pružnú reakciu (napr. od zaťaženia teplotnými rozdielmi) alebo nevratnú (plastickú) reakciu (napr. od zmršťovania a dotvarovania betónu). Účinn

ky týchto zaťaženií sa dajú určiť pomocou separovaných modelov, napr. prstenca jednotkovej výšky. Výsledkom sú prírastky v zložkách ΔN_j ; nastáva nové rozdelenie vnútorných síl zložiek a musí byť splnená podmienka $\Sigma \Delta N_j = 0$.

Takto môžeme určiť výsledné (najnepriaznivejšie) namáhanie ktorejkoľvek zložky prierezu a porovnať ho v podmienkach spoľahlivosti

Tabuľka 1. Porovnanie využitia prierezu — napätové kritériá

Zložka prierezu	Výpočtová pevnosť R (MPa)	Štádium II		Štádium IIIA	
		výpočtové namáhanie σ_{II} (MPa)	využitie $s = R/\sigma_{II}$	výpočtové namáhanie σ_{III}	využitie $s = R/\sigma_{III}$
Oceľ	290	215,6	0,74	239,1	0,83
Betón	15,5	14,4	0,93	11,0	0,71
Výstuž	290	196,1	0,86	219,4	0,76
Priemerná miera využitia $\bar{s} = \Sigma s EA / \Sigma EA$			0,85		0,76

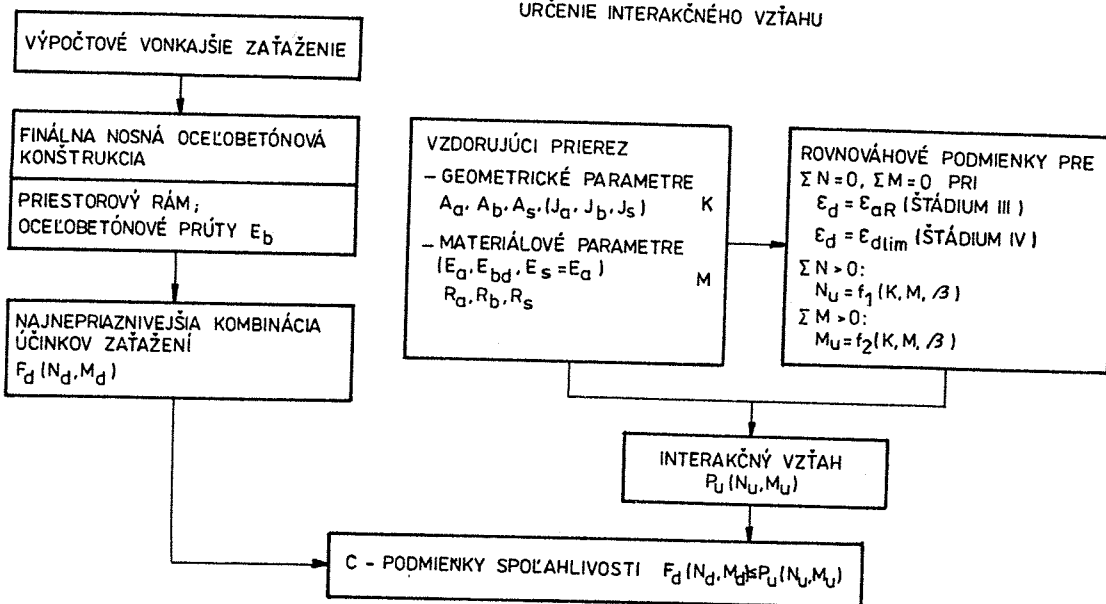
Tabuľka 2. Porovnanie využitia prierezu — interakčné kritériá

Výpočtové vnútorné sily	Štádium IIIA		Štádium IV	
	medzné únosnosti	$s = N_d/N_u$	medzné únosnosti	$s = N_d/N_u$
$N_d = 74,3$ (MN)	$N_{II,III} = 122,9$	0,61	$N_{uv} = 158,0$	0,47
$M_d = 111,4$ (MNm)	$M_{II,III} = 182,8$	0,61	$M_{uv} = 292,8$	0,38
Priemerná miera využitia \bar{s}		0,61		0,42

A - URČENIE NAJNEPRIAZNIVEJŠÍCH ÚČINKOV

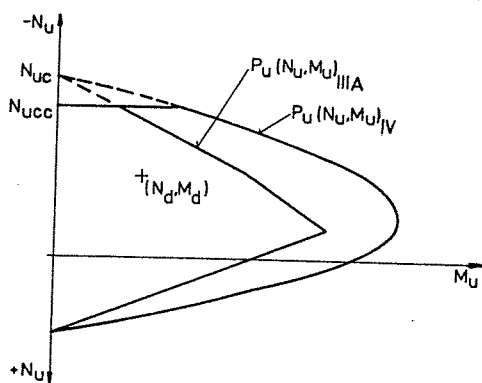
B - KRITÉRIÁ

URČENIE INTERAKČNÉHO VZŤAHU



Obr. 16. Vývojová schéma posudzovania podľa interakčných vzťahov

$$F_d(N_d, M_d) \leq P_u(N_u, M_u) \quad (12)$$



Obr. 17. Redukované interakčné krivky pre štádium IIIA a IV

$$\Sigma \max \sigma(N, M) \leq R \quad (10)$$

Platnosť vzťahu (10) je obmedzená splnením podmienky, že celkové pretvorenie betónu (pružné i plastické) neprekračuje pružné pretvorenie ocele

$$\varepsilon_{bR} + (\varepsilon_{bsh} + \varepsilon_{bcr}) = \varepsilon_{aR} - \varepsilon_a \quad (11)$$

Aj pri štádiu IIIA, kde sa uplatňuje náhradný modul E_{bn} , môžeme pracovať s napäťovými kritériami. Ak je splnená podmienka (11), potom predpokladané plastické pretvorenie betónu zastupuje súčasne plastické pretvorenie od zmrašťovania a dotvarovania a nie je potrebné ich ďalej sledovať.

■ Posudzovanie podľa interakčných vzťahov

Posudzovanie podľa interakčných vzťahov má dve vetvy (obr. 16):

- A — určenie najnepriaznivejších účinkov $F_d(N_d, M_d)$,
- B — určenie interakčného vzťahu výpočtovej únosnosti $P_u(N_u, M_u)$,

ktoré sú porovnané v podmienkach spoľahlivosti

■ Porovnanie spoľahlivosti podľa rôznych kritérií a štádií

Spoľahlivosť konkrétneho prierezu ocelobetónového drieru televíznej veže Praha, ktorá je namáhaná normálovými tlakovými silami s väčšou výstrednosťou, sa posudzovala podľa rôznych kritérií. V tab. 1 sú posúdenia podľa napäťových kritérií so zohľadnením konečných objemových zmien pri štádiu II a s náhradným modulom pružnosti pri štádiu III. Priemerná miera využitia \bar{s} zodpovedá váženému priemeru. Rozdiely sú pomerne malé a takmer by vymizli, keby sa namáhania ešte viac blížili k výpočtovým pevnostiam. Zaujímavé je, že pri štádiu II je „slabým“ článkom betón, pri štádiu III ocel. Vyhodnotenie mier využitia podľa interakčných vzťahov je zložitejšie — závislosti nie sú lineárne, účinok dvojzložkový; priemerné miery využitia prierezu sú v tab. 2. Pri inej kombinácii (N_d, M_d) , by sme pochopiteľne dostali iné relatívne hodnoty.

LITERATÚRA

Zásady navrhovania spriahnutých ocelobetónových konštrukcií televíznej veže Praha. VÍTKOVICE, pobočka Bratislava, 1986