

# VÝŠKOVÉ BUDOVY V BRATISLAVE

*Daniel Bukov<sup>1</sup>*

## ABSTRAKT

*Na území Bratislavy je postavených viac ako 30 budov s počtom podlaží 18 až 33. Vertikálny a horizontálny nosný systém budovy je určený základnými parametrami, medzi ktoré patrí výška budovy a dispozičné riešenie. Vertikálne účinky nosnej konštrukcie výškovej budovy kladú extrémne nároky na zakladanie. Na príkladoch návrhu nosných systémov niekoľkých výškových budov je poukázané na kľúčové problémy a možnosti ich riešenia pri overovaní spoľahlivosti nosného systému výškovej budovy.*

## 1 ÚVOD

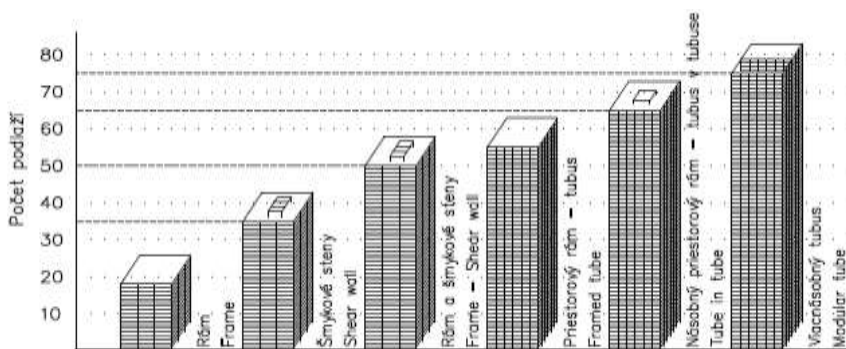
Nosný systém vysokej budovy (VB) je potrebné tvoriť v súbehu s architektonickým riešením, riešením technického vybavenia, požiarou odolnosťou a realizovateľnosťou nosnej konštrukcie a technického vybavenia už v štádiu projektu na územné konanie. Pre tvorbu nosného systému vysokej budovy sa často navrhuje až 10 variant nosného systému s rovnakými predpokladmi na úspech. Počiatočné návrhy nosného systému si vyžadujú skúsenosti, ktoré dávajú predpoklad na koncentráciu riešenia kľúčových problémov. Tvorba nosného systému ako istej obálky architektonického návrhu nie je správnu cestou. Konštrukčné riešenie sa z hľadiska ekonomiky návrhu musí sústreďovať na optimalizáciu opakovateľných častí v prípade VB sú to stropy. Návrh horizontálneho nosného systému je determinovaný prenosom veľkých horizontálnych zaťažení hlavne v nižších podlažiach. Vertikálny nosný systém vo forme šmykových stien, ktoré sú zároveň súčasťou horizontálneho nosného systému musí zohľadňovať aj postupné budovanie nosnej konštrukcie VB. Náročnosť zakladanie objektov vyplýva z koncentrácie zaťaženia na pomerne malej ploche.

## 2 NOSNÉ SYSTÉMY VÝŠKOVÝCH BUDOV

Nosný systém výškových budov s železobetónovou konštrukciou je v literatúre často triedený podľa počtu podlaží (Obr.1). Pri výškových budovách do 40 nadzemných podlaží sú postačujúce šmykové steny. Šmykové steny sú často vytvorené vo forme železobetónového jadra slúžiaceho na vertikálnu komunikáciu v budove. Umiestnenie stužujúceho jadra s ohľadom na pôdorys budovy má podstatný vplyv na statické a dynamické pôsobenie budovy. Návrh nosného systému s symetrickým usporiadaním zvislých nosných konštrukcií má podstatný vplyv na účinnosť horizontálneho nosného systému. Excentrické umiestnenie jadra vedie k značným torzným účinkom na steny jadra, ktoré vyvolávajú veľké ohybové účinky v stenách vo väčšej vzdialenosti od stredu krútenia jadra. Príkladom excentricky umiestneného jadra v Bratislave je budova Centrály VÚB banky (23 podlaží). Posúdenie „symetrie“ nosného systému sa dá dobre vyčítať z vlastných tvarov knitania objektu.

---

<sup>1</sup> Ing., Daniel Bukov OK TEAM s.r.o. Bohrova 1, 851 05 Bratislava, tel.: (02)63815362,  
e-mail: d.bukov@okteam.sk



Obr.1 Nosné systémy budov s železobetónovou nosnou konštrukciou

## Vertikálny nosný systém

Železobetónovým prvkami zvislého nosného systému sú stĺpy a stužujúce steny. Návrh prierezov stĺpov je ovplyvnený ich začlenením do architektonického riešenia objektu. V bytových domoch je snaha stĺpy integrovať do oddeľujúcich konštrukcií v občianskych stavbách ide skôr o výber medzi kruhovými alebo pravouhlými prierezmi respektíve ich kombináciou. Zvislé nosné konštrukcie je vhodné navrhovať z betónov vyšších pevnostných tried čo vedie k optimálnemu návrhu z ekonomického hľadiska. Pomer ceny betónov vyššej pevnosti (C40/50 , C60/75) je veľmi priaznivý. Z hľadiska realizácie sú stavební dodávatelia u nás schopní v súčasnosti realizovať aj monolitické konštrukcie z betónov vyšších pevností (C60/75) v požadovanej kvalite. Extrémne malé prierezy stĺpov môžu viesť k problémom s pretlačením. Štíhle šmykové steny môžu viesť k problémom s vystužením v miestach s extrémnym namáhaním šmykom a tú sa hlavne nadpražia nad dvernými otvormi. Stykovanie výstuže s presahom pri väčších priemeroch výstuže a malých konštrukčných výškach ( napr. bytové domy) nemusí vzhľadom na veľkú presahovú dĺžku viesť k ekonomickému návrhu. Vhodnejšie je použiť výstuž menších priemerov alebo výstuž spájanú skrutkovaním. Vyššia pevnosť betónu znižuje aj presahové a kotvené dĺžky. Návrh systému je ovplyvnený aj technológiou výstavby. Pri použití technológie šplhavého debnenia je potrebné riešiť ukotvenie stropov do stien. Prakticky sú dve formy kotvenia do káps (VB Centrál a MT II) ale kotvenie pomocou vylamovacích prvkov(PNC).

## Horizontálny nosný systém

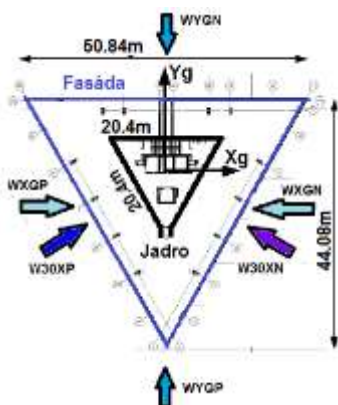
Podstatnou odlišnosťou medzi návrhom horizontálneho nosného systému VB v porovnaní s nízkou budovou je prenos značne väčších účinkov od horizontálnych zaťažení vetra a seizmicity do základov. Pri účinkoch vetra sa s výškou objektu zvyšujú aj účinky vetra a zároveň s kvadrátom výšky narastá ohybový resp. preklápací moment v úrovni založenia objektu. Medzi päť a tridsať podlažnou budovou je rozdiel cca 36x. Pri seizmickom zaťažení majú objekty nižšej vlastnej frekvencie , zrýchlenia sú tak menšie ale vzhľadom na hmotnosť môžu byť rozhodujúce hlavne v oblastiach s vyšším návrhovým seizmickým zrýchlením (u nás Žilina, Komárno) . Pri posúdení nosného systému nie je možné určiť len s veľkosťou šmykovej sily resp. preklápacieho momentu , ktorý účinok je rozhodujúci. Pre rôzne prvky môžu byť rozhodujúce rôzne kombinácie zaťažovacích stavov.

## Stropné nosné konštrukcie

Stropné konštrukcie sú tvorené v veľkej väčšine prípadov lokálne podopretými doskami od hrúbky 200 do 300 mm. Pri administratívnych budovách je výhodné použiť hlavice. Použitie hlavíc vedie až k 30% úspore materiálu. Dodatočne predpäté dosky sú u nás málo využívané v zahraničí však s ohľadom na malú hrúbku a tým aj hmotnosť sú používané častejšie. Vhodnosť použitia dodatočne predpätých alebo prefabrikovaných konštrukcií stropov je závislá aj na vhodnej dispozícii. Pri návrhu stropnej konštrukcie je dôležité hlavne pri bytových domoch redukovať zaťaženie hlavne od priečok s použitím sadrokartónových priečok. Vzhľadom na prenos veľkých zaťažení v kontakte stĺpa a stropnej nosnej konštrukcie je potrebné v mieste kontaktu použiť betón pevnosti zvislej konštrukcie. Technologicky je stropná doska betónovaná v jednom záber stým že v mieste stĺpa je betón vyššej pevnosti (VB Centrála, PC). Použitie betónu s vyššou pevnosťou v mieste stĺpa alebo v celej hlavici má pozitívny vplyv na návrh stropnej konštrukcie na pretlačenie.

## 3 POSÚDENIE NOSNÉHO SYSTÉMU

Vysoké budovy patria medzi rozsiahle nosné konštrukcie s výrazným spolupôsobením vertikálneho a horizontálneho nosného systému. Zakladanie objektu si vyžaduje podrobný prieskum s hodnotením deformačných charakteristík podlažia vzhľadom na priebeh zaťažovania. Veľmi často sú pre optimálny návrh nenahraditeľné skúsenosti s zakladaniami v danom regióne. Zohľadnenie postupu výstavby (pružné pôsobenie, dotvarovanie a zmršťovanie) nie je lineárne a má podstatný vplyv na vnútorné sily v zvislých konštrukciách od vlastnej tiaže konštrukcie ako aj na interakciu s podlažím. Účinky vetra pôsobiaceho v rôznych smeroch sú ovplyvnené tvarom budovy a nemusia byť rovnaké pre dva opačné smery. Pre získanie účinkov vetra je vhodné pre budovy netypických pôdorysov s viac ako 40 podlažiami použiť test vo vetrovom tuneli. Účinky od seizmicity výrazne závisia od súčiniteľa správania (duktility)  $q$ . Súčiniteľ správania  $q$  charakterizuje schopnosť nosného systému budovy pohlcovať energiu vznikajúcu pri zemetrasení. Posúdenie prierezov podľa EC2 bez zohľadnenia EC8 vedie k nesprávnym výsledkom na strane nebezpečnej. Často sa stáva, že je použitý súčiniteľ  $q$  vyšší ako 1.5 a posúdenie prierezov je vykonané bez zohľadnenia EC8 čo vedie k podstatným chybám.

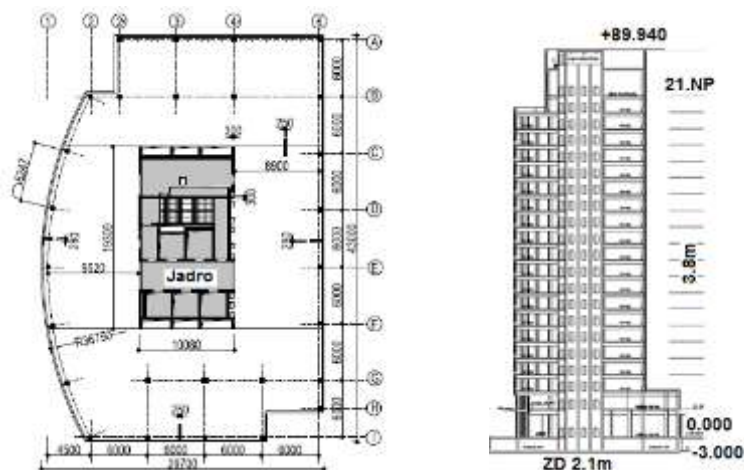


### Globálny statický a dynamický výpočet

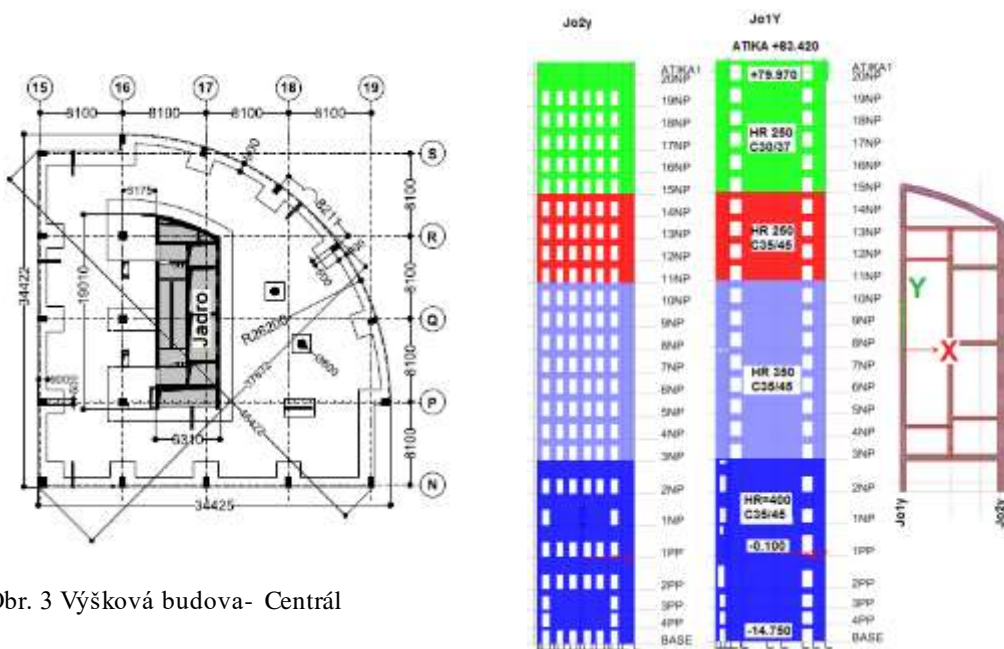
Cieľom výpočtového modelu a to nielen nosnej konštrukcie VB je vystihovať pôsobenie nosnej konštrukcie. Modelovanie konštrukcií, ktoré sa nepodielajú na tuhosti nosného systému môže viesť k nekonzervatívnym výsledkom. Stropné nosné konštrukcie modelujeme s veľmi riedkym delením tak aby sa zachovala kompatibilita s zvislými nosnými konštrukciami ale aby zároveň samotné stropy nepohltili veľké množstvo stupňov voľnosti. Z hľadiska tuhosti pri ŽB konštrukciách sa podľa EC8 znižuje ohybová tuhosť všetkých konštrukcií o 50% s ohľadom na trhliny. Podľa amerických predpisov ACI 318 8.3.3 sa tuhosti redukujú výraznejšie a diferencovane (stropné dosky 0,25, steny na 0,35

a stĺpy na 0.70 tuhosti prierezu bez trhlín) Steny sú modelované s pomerne hustým delením v mieste ukotvenia stien do základov a v miestach otvorov a riedkym delením v horných podlažia (spravidla je výška prvku na výšku podlažia). Pri stenách je problematické určiť v ktorej časti by mala byť tuhosť znížená. Na okraji stien od ohybu v rovine steny je predpoklad vzniku trhlín len v tomto prípade je potrebné redukovať membránovú tuhosť. Pri výkonných výpočtových programoch je možné použiť jemné delenie ( prvok cca 2x hrúbka steny ) pre všetky steny.

#### 4 PRÍKLADY REALIZOVANÝCH BUDOV



Obr. 2 Výšková budova Millenium Tower II – Pólus City Center,



Obr. 3 Výšková budova- Centrál



Statika : Daniel Bukov OK TEAM

Dodávateľ : Imos Brno a.

Centrál ( Stavba roka 2013) výška 83.420m bola realizovaná v roku 2013, 20.NP nosný systém je tvorený ŽB jadrom s hrúbkami stien od 400 do 250 mm z betónu C40/50-C30/C37. Stropné dosky hrúbky 200 hlavice 300mm zakladanie kombinácia plošné a hlbinného základu po hladinou spodnej vody základová doska hrúbky 1500 mm

### **Panorama City – Bytové domy**

Investor: PANORAMA BYTY, s. r. o., Dvořákovo nábřeží 10, 811 02 Bratislava

Architekt : P - T, spol. s r. o., RICARDO BOFILL TALLER DE ARQUITECTURA

Statika : Baran projekt spol. s r. o, Daniel Bukov OK TEAM

Dodávateľ : Chemkostav a.s.

Panoráma City dve výškové budovy 34.NP výška 108.37m v realizácii od roku 2013 nosný systém je tvorený ŽB trojuholníkovým jadrom s hrúbkami stien od 300 do 200 mm z betónu C60/75--C30/C37. Stropné dosky hrúbky 200 v mieste kontaktu so stĺpmi stenami použitá trieda betónu ako na zvislé konštrukcie. Podnož 5.NP . Zakladanie kombinácia plošné a hlbinného základu.

- Štyri dilatčné celky. Dilatačné celky D3 a D4 sú na vodorovné účinky v smere kolmom na pozdĺžnu os opreté cez šmykové kľúče v doskách o výškové budovy. Šírka dilatácie 70 mm.
- V miestach niektorých nadpraží vzhľadom na šmykové sily a rozmery prierezu boli použité spriahnuté nosníky. Účinky vetra boli aplikované po každých 10°, extrémna hodnota bola aplikovaná v posúdení prierezu.
- Statický a dynamický výpočet bol realizovaný na dvoch nezávislých programoch.
- Pôvodne boli navrhované 54 poschodové budovy s výškou 180m. Pre takéto budovy bol realizovaný IGP. Konzultantom bol popredný špecialista pre navrhovanie výškových budov prof. Ysrael A. Seinuk † 2010 nositeľ poprednej ceny CITBUH Fazlura Khana<sup>1</sup> † 1982 (<sup>1</sup>Seras Towers Chicago, 108 podlaží 442 , v roku 1970) z firmy YAS Ysrael A. Seinuk, P.C New York.  
Budovy s týmito parametrami boli testované vo vetrovom tuneli CPP v Fort Collins, Colorado USA .

## **5 ZÁVERY**

Výškové budovy vo svete neustále prekonávajú rekordy. V príspevku sa snažím poukázať na problematiku ale aj na pokrok , ktorý zaznamenávame hlavne v oblasti použitia betónov vyššej pevnosti . Zároveň je zvlášť dôležité hlbšie sa zaoberať problematikou návrhu. Výpočtové modely nemôžu byť chápané ako dôsledná aplikácia geometrie v priestorov modeli založenom na metóde konečných prvkov. Vystihnúť skutočného pôsobenia betónových konštrukcií a zvlášť výškových budov je aj teraz náročná úloha.

## **Literatúra**

- [1] Stafford-Smith, Alex Coull: Tall Building Structures Analysis and Design, Wiley - Interscience, 1991, 536 strán
- [2] Bungale S. Taranath: Steel, Concrete and Composite Design of Tall Buildings McGrawHill, 1997, 2nd Edition, 998 strán
- [3] Bungale S. Taranath: Wind and Earthquake Resistant Buildings, Structural analysis and Design, Taylor & Francis , 2005, 892 strán.