



NOVOSTAVBY VÝŠKOVÝCH BUDOV V BRATISLAVE ¹

Daniel Bukov, Jozef Baran

Tri obytné výškové budovy postavené v rokoch 2016 až 2023 dokumentujú vývoj výstavby na pravom brehu rieky Dunaj. V tomto území je postavených desať budov s 33 až 46 nadzemnými podlažiami, pričom najvyššou budovou je Eurovea Tower. Spoločným menovateľom pre obytné budovy Panorama City, Klingerka a Eurovea Tower prezentované v článku je nosná železobetónová konštrukcia a využitie betónov vyšších pevností.

NEW HIGH-RISE BUILDINGS IN BRATISLAVA

Three residential high-rise buildings built between 2016 and 2023 document the development of construction on the right bank of the Danube River. Ten buildings with 32 to 45 floors have been constructed in this area, with the Eurovea Tower being the tallest building. The common feature for the Panorama City, Klingerka and Eurovea Tower residential buildings presented in the article is the load-bearing reinforced concrete structure and the use of concretes of higher strength.

Panorama City

Od zámerov k realizácii

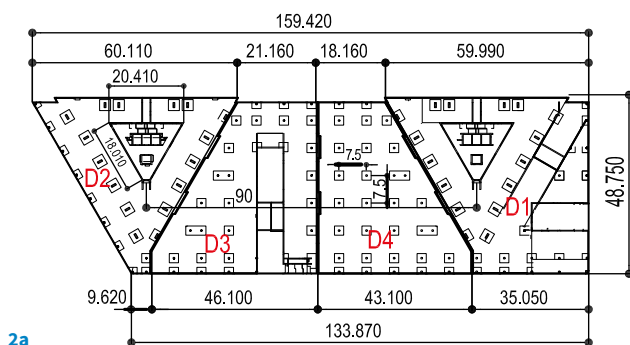
Zámer investora postaviť na pozemku v širšom centre mesta v susedstve budovy Národného divadla a rozsiahleho polyfunkčného komplexu Eurovea výškové budovy Panorama City (obr. 2) vznikol už v roku 2008. Návrh architektonického riešenia bol investorom zverený renomovanému španielskemu architektovi Ricardovi Bofillovi (1939–2022) a jeho ateliéru Ricardo Bofill Taller de Arquitectura

(RBTA). Lokálnu podporu architekta investor objednal u spoločnosti P - T pod vedením významného slovenského architekta Juraja Hermana. Ateliér RBTA navrhol komplex s dominujúcimi dvomi vežami trojuholníkového pôdorysu s päťdesiat štyrmi nadzemnými a štyrmi podzemnými podlažiami. Výškové objekty s výškou 180 m nad úrovňou terénu mali zmiešané využitie (do 11 podlažia administratíva, vyššie byty). Okrem dominantných objektov komplex obsahoval nákupné pasáže a hotel.

Výškové budovy boli testované na účinky vetra vo vetrovom tuneli spoločnosti CPP v americkom Colorade. Test výškových budov vo vetrovom tuneli bol v podmienkach Slovenska uskutočnený prvý raz. Na stĺpy a steny objektu boli tiež prvýkrát na Slovensku vo väčšom rozsahu navrhnuté monolitické betóny triedy vyšších pevností ako C40/50, čo umožnilo zníženie prierezov stien a stĺpov a ušetrilo cca 200 m² úžitkovej plochy na každom objekte. Konzultantom statického riešenia pri navrhovaní budov bol

Panorama City

Investor	J&T Real Estate, a.s. (JTRE)
Architekt	Ricardo Bofill / RBTA Juraj Hermann / P – T, spol. s r. o.
Projektant	P – T, spol. s r. o.
Konzultant statického riešenia	Ysrael A. Seinuk, P.C. (USA)
Statika	Daniel Bukov OK TEAM, s.r.o. BARAN PROJEKT s.r.o.
Analýza účinkov vetra	Vetrový tunel CPP (USA)
Zhotoviteľ	Chemkostav, a.s.
Dokončenie	2016



2a

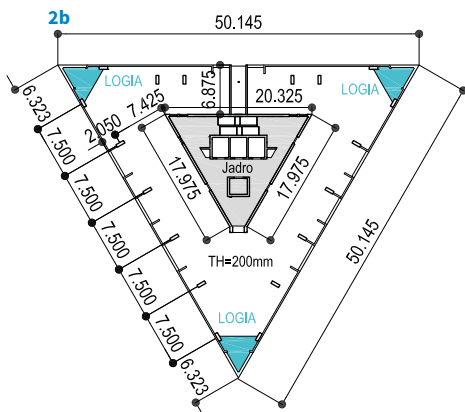
Dilatačné celky: D1, D2 – bytový dom V1, V2; D3, D4 – hromadné garáže s obchodnou galériou



2c

1 Pre novú vznikajúcu mrakodrapovú štvrť sa vžil názov Bratislavský downtown 2 Panorama City: a) dispozícia, b) pôdorys typického podlažia, c) autorom návrhu je španielsky architekt Ricardo Bofill, d) prvýkrát boli vo väčšom rozsahu použité monolitické betóny vyšších pevností ako C40/50

1 The new skyscraper district is called Bratislava Downtown 2 Panorama City: a) layout, b) typical floor plan, c) the author of the design is the Spanish architect Ricardo Bofill, d) for the first time monolithic concretes of higher strengths than C40/50 were used on a larger scale



2d



významný autor niekoľkých extrémne štíhlych výškových budov (napr. Trump World Tower, NY) a nositeľ prestížnej ceny Fazlura Khana (2010) prof. Ysrael Seinuk (1931–2010) z USA. Skúsenosti, ktoré v priebehu navrhovania odovzdal autorom statického riešenia budov v mnohom pomohli presvedčiť zúčastnených o progresivite návrhu a správnosti prístupu či už išlo o použitie betónov vyšších tried alebo o koncept riešenia odzvy budovy na vodorovné účinky vetra a seizmicity. Geologický prieskum bol vypracovaný pre budovy s výškou 180 m. Pod jadrom každej budovy boli realizované vrty hĺbky 65 m vystrojené inklinometrami pre meranie deformácií podlažia. Projekt budov bol vypracovaný do úrovne projektu na stavebné povolenie. Zmena podmienok na trhu však inicializovala aj zmenu pôvodného zámeru investora. Najprv bola znížená výška budov na 140 m s rozšírením pôdorysu, no ani tento návrh nebol konečný.

Realizácie

Realizované riešenie bolo vybrané v roku 2013, kedy boli navrhnuté dva

výškové bytové domy s 34 nadzemnými a jedným podzemným podlažím a s výškou objektu 112,6 m od úrovne prízemnia.

Zvislé nosné konštrukcie sú tvorené stĺpmi obdĺžnikového prierezu s rozmermi od 1 400 × 500 mm (betón triedy C60/75) v spodných podlažiach po 1 000 × 350 mm (betón triedy C30/37) v horných podlažiach. Maximálna návrhová zvislá sila v stĺpe je 24 MN. Steny sú navrhnuté v spodnej časti jadra budovy hrúbky 300 mm a v rohoch jadra 400 mm z betónu triedy C60/75, od 21. NP sú navrhnuté steny hrúbky 200 mm. Návrh pomerne štíhlych stien a umiestnenie otvorov pre vzduchotechniku pri niektorých nadpražiah viedol k nutnosti použiť spriahnuté nosníky. Limitujúcim pre návrh nadpražia bola šmyková odolnosť. Zakladanie objektu je realizované na kombinovanom dosko-pilótovom základe nad hladinou podzemnej vody. Základové konštrukcie sú navrhnuté ako biela vaňa. Hrúbka základovej dosky pod jadrom výškového objektu je 2 m, mimo jadra výškového objektu 1,5 m. Pod garážovým domom a obchodnou pasá-

Klingerka

Investor	J&T Real Estate, a.s. (JTRE)
Architekt a projektant	GFI, a.s.
Analýza účinkov vetra	Simulácie Budov, s. r. o.
Statika	Daniel Bukov OK TEAM, s.r.o. BARAN PROJEKT s.r.o.
Zhotoviteľ	STRABAG Pozemné a inžinierske stavitelstvo s. r. o.
Dokončenie	2022

žou (nizkopodlažná časť od 1. PP po 4. NP) je navrhnutá hrúbka základovej dosky 600 mm a pilotových hlavic 900 mm. Doska je navrhnutá z vodostavebného betónu C30/37 v mieste stĺpov a C40/50 v mieste jadra. Hlbinná časť základov je tvorená vrtnými pilótami priemerov 900 a 600 mm. Dĺžky pilót pod výškovými objektmi sú v rozsahu 12 až 25 m. Návrh hlbinného zakladania vypracovala spoločnosť SPAI.

Klingerka

Obytná výšková budova Klingerka (obr. 3) je lokalizovaná v širšom centre Bratislavy ako súčasť administratívno-bytového komplexu Klingerka 1. Administratívna budova má 17 nadzemných podlaží a výšku po hornú hranu atiky 52,45 m. Bytový dom s 36 nadzemnými podlažiami s hornou hranou atiky 115 m a s výškou posledného obytného podlažia 110,195 m bol po kolaudácii najvyššou obytnou budovou na Slovensku. Objekty sú dispozične prepojené cez



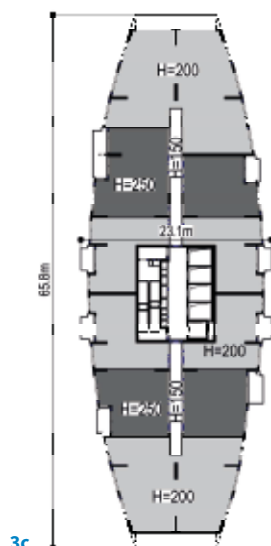
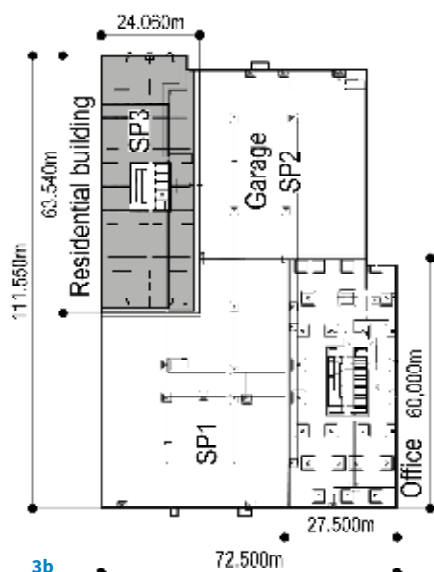
3a

štvorpodlažnú garáž. Charakteristickým znakom oboch objektov je pôdorys elipsovitého tvaru.

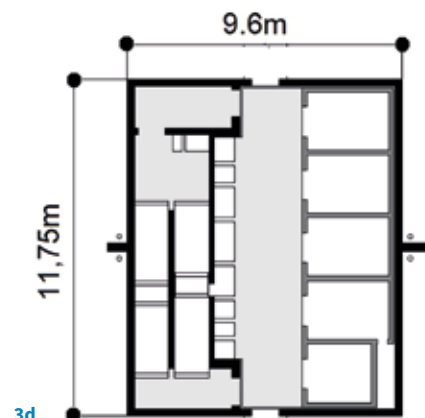
Nosná konštrukcia bytového domu Klingerka je tvorená železobetónovým skeletom so šmykovými stenami a jadrom. Hrúbky stien jadra sú v rozsahu od 200 po 600 mm s triedami betónu C30/37 až C60/75. V spodnej časti jadra sú steny hrúbky do 600 mm z betónu C60/75 vzhľadom na značné oslabenie otvormi. Šmykové steny zároveň tvoria medzibytové priečky zabezpečujúce aj akustické požiadavky na oddelenie bytov. Ostatné deliace konštrukcie sú tvorené sadrokartónovými priečkami. Steny výtahových šácht sú prefabrikované a dilatačne oddelené od stien jadra. Stropné nosné konštrukcie sú tvorené lokálne podopretými železobetónovými doskami hrúbky 150, 200

a 250 mm z betónu C30/37. Stropná doska vo vnútri jadra je z akustických dôvodov oddielovaná od stien jadra. V mieste stĺpov a stien navrhnutých z betónu C60/75 je oblasť so šírkou 2x hrúbka dosky z betónu triedy C40/50. Odolnosť stropných dosiek na pretlačenie je riešená s využitím šmykových trňov.

Budova je založená na dosko-pilótovom základe. Základová doska hrúbky 1 500 mm z betónu C30/37 je podopretá vrtnými pilótami priemeru 900 mm s dĺžkami v rozsahu od 11,5 do 19,5 m. Podzemné podlažia sú navrhnuté ako vodotesná železobetónová konštrukcia. Hrúbky stien a prierezy stĺpov sú z betónov vyššej pevnosti, čím sa okrem efektívnejšieho využitia pôdorysnej plochy znížilo aj množstvo výstuže.



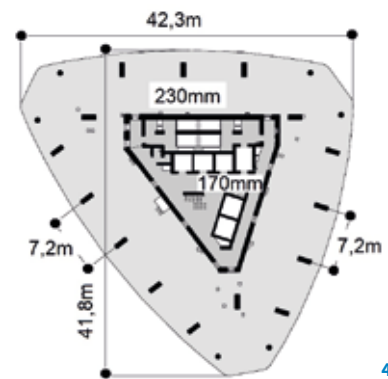
3 Klingerka: a) najvyššie, 36. NP sa nachádza vo výške 110,195 m, b) dispozícia, c) pôdorys typického podlažia bytového domu, d) jadro 3 Klingerka: a) the highest, 35th floor is located at a height of 110.195 m, b) layout, c) typical floor plan of the apartment building, d) core



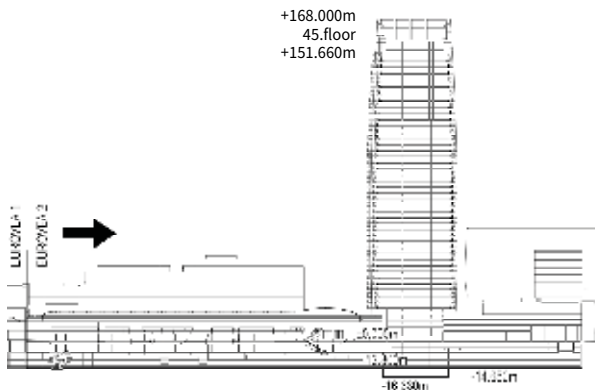
Eurovea Tower

Investor	J&T Real Estate, a.s. (JTRE)
Architekt a projektant	GFI, a.s.
Analýza účinkov vetra	Vetrový tunel RWDI (VB) a Simulácie budov, s. r. o.
Statika	Daniel Bukov OK TEAM, s.r.o., BARAN PROJEKT s.r.o.
Zhotoviteľ	STRABAG Pozemné a inžinierske stavitelstvo s. r. o.
Plánované dokončenie	2023

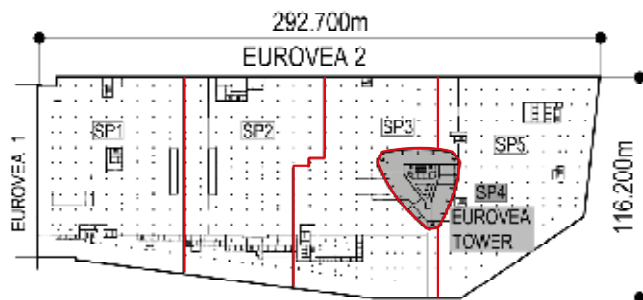
4 Eurovea Tower – pôdorys typického podlažia 5 Multifunkčný komplex Eurovea 2: a) rez, b) celková dispozícia 4 Eurovea Tower – typical floor plan 5 Eurovea 2 Multifunctional Complex: a) section, b) overall layout



4



5a



5b

Eurovea Tower

Bytová veža Eurovea Tower (obr. 4 a 6) je súčasťou multifunkčného komplexu Eurovea 2, ktorý je pokračovaním projektu Eurovea 1. Celý komplex je situovaný na pravom brehu rieky Dunaj v širšom centre hlavného mesta. Multifunkčný komplex Eurovea 2 s pôdorysným rozmermi 292,7 × 116,2 m má štyri podzemné podlažia prevažne určené na parkovanie. Dominantou komplexu je výšková obytná budova s 46 nadzemnými podlažiami s celkovou výškou nad úrovňou prízemnia 168 m. Posledné obytné podlažia je na úrovni 155,66 m.

Nosná konštrukcia objektu Eurovea Tower je tvorená železobetónovým skeletom so stĺpmi a jadrom. Jadro má trojuholníkový tvar so skosenými rohmi. Hrúbky stien jadra sú v rozsahu od 250 po 600 mm. Steny jadra sú do 9. NP hrúbky 450 až 600 mm z betónu C60/75, pričom stena hrúbky 600 mm je len v hornej časti jadra s dvernými otvormi. Stĺpy obdĺžnikového prierezu majú rozmery 900 × 1 700 mm z betónu C60/75, na 33. NP je prierez stĺpa 500 × 900 mm z betónu C40/50. Na rohoch budovy od 3. NP je navrhnutý stĺp v tvare písmena V, ktorý v podzemných podlažiach prechádza do lichobežníkového prierezu 2 300 – 1 200 × 1 200 mm z betónu triedy C60/75, v hornej časti je stĺp pre-

pojený priečnym nosníkom. Od 3. NP sú v rohoch budovy dvojice kruhových kompozitných stĺpov (šesť stĺpov) s priemerom od 550 po 600 mm. Stĺpy sú vystužené betonárskou výstužou $d = 40$ mm a ocelovou vložkou z valcovaného profilu HD 320 × 245 z materiálu HISTAR ($f_y = 460$ MPa). Výstužné vložky sú spájané skrutkovanými spojmi. Styk valcovaných profilov je riešený kontaktom na presne ofrúzané čelné dosky hrúbky 50 mm. Stĺpy sú realizované zo samozhutňujúceho betónu C60/75.

Ako už bolo povedané, územie pre výstavbu Eurovea 2 sa nachádza na nábřeží rieky Dunaj. Tvorené je sedimentami neogénu a kvartéru. Hladina podzemnej vody priamo súvisí s hladinou vody v Dunaji. Povrch územia sa nachádza na kóte cca 139 m n. m., pričom hladina podzemnej vody môže dosiahnuť úroveň 135 m n. m. Základová špára výškovej budovy sa nachádza na kóte 123,5 m n. m., to znamená 11,5 m pod maximálnou predpokladanou hladinou podzemnej vody. Pre otvorenie stavebnej jamy rozmerov cca 293 × 117 m bolo treba vybudovať podzemnú tesniacu a pažiacu stenu. Eurovea 2 susedí s už zrealizovanou časťou Eurovea 1, s ktorou je vodonepriepustne prepojená.

Základová doska celého komplexu

je navrhnutá ako jeden dilatačný celok z vodostavebného betónu, resp. ako biela vaňa. Základová doska hrúbky 3 m (pod vežou) z betónu C30/37 a C40/50 spolupôsobí s vrátnymi pilótami priemeru 900 mm a dĺžky od 22 do 32 m. Celkový počet pilot pod vežou je 136 ks. Veľkú pozornosť pri navrhovaní základov bolo treba venovať vzájomnému sadnutiu veže a susedných dilatačných celkov. Časti komplexu Eurovea 2 v blízkosti veže majú len štyri podzemné podlažia a sú namáhané vztlakom vody, v týchto miestach sú navrhnuté pilóty na ťah pre zabezpečenie objektov proti nadvihnutiu. Pre sledovanie sadania komplexu boli vybudované pozorovacie vrty s osadenými deformetrami. V súčasnosti je nosná konštrukcia veže v realizácii. Namerané sadania sú v súlade s predpokladanými hodnotami.

Základová doska veže bola realizovaná kontinuálnou betonážou po dobu cca 60 hod. Celkový objem betónu bol 7 050 m³, výstuž základovej dosky vážila 1 880 t. Počas betonáže bola monitorovaná teplota v priereze dosky, teploty nepresiahli limitné hodnoty. Celkové množstvo betónu na výstavbu výškovej budovy Eurovea Tower bolo 30 400 m³, celková spotreba betonárskej výstuže B550B bola 5 420 t.



6a



6b

Návrh nosného systému

Návrh nosného systému výškových budov bol determinovaný architektonickým riešením a požiadavkami na technické vybavenie objektu.

Objekt Klingerka má nosný systém tvorený jadrom a šmykovými stenami, ktoré sú integrované do deliacich medzibytových stien. Poloha zvislých nosných konštrukcií bola determinovaná riešením dispozícií bytov. V pôdoryse vzniklo pomerne rozdielne podopretie stropných nosných konštrukcií, čo viedlo k návrhu stropných dosiek rôznej hrúbky. Odstupňovanie hrúbok stropných dosiek je riešené v mieste deliacich konštrukcií tak, aby nenašlo podhľady stropov v miestnostiach. Pôdorysy v tvare elipsy majú pri prirodzenom rozdelení tuhosti v smere menšej horizontálnej tuhosti väčšiu zaťažovaciu šírku pri účinkoch vetra. Nevýhoda prirodzeného rozloženia tu-

6 Europea Tower: a) celková výška nad úrovňou prízemja je 168 m, b) budova má 46 nazemných podlaží 7 Pohľad na bratislavský mrakodrap a výškové budovy z protiláhlého brehu Dunaja

6 Europea Tower: a) total height above ground floor level is 168 m, b) the building has 45 floors

7 View of Bratislava skyscraper and high-rise buildings from the opposite bank of the Danube River

hosti je kompenzovaná väčším počtom šmykových stien v smere kolmom na pozdĺžnu os objektu.

Nosný systém výškových budov Panorama City a budovy Europea Tower je navrhnutý ako systém so stužujúcim jadrom a stĺpmi. Stužujúce jadro je tvarovo determinované architektonickým riešením. Účinky vetra pri trojuholníkovom tvare budov Panorama City sú výrazne závislé na smere pôsobenia. Nosný systém vzhľadom na otvory nepravidelne rozdelené v pôdoryse (hlavne v spodných podlažiach) je nesymetrický, preto bolo potrebné vodorovným účinkom venovať zvláštnu pozornosť uvažovaním účinkov vetra vo viacerých smeroch. Pre stanovenie účinkov vetra

na budovu Europea Tower bol vykonaný test vo vetrovom tuneli spoločnosti RWDI vo Veľkej Británii. Výsledkom testu boli účinky vetra v úrovni jednotlivých podlaží pre 24 smerov. Hodnoty boli prevzaté do výpočtu. Analýza účinkov vetra bola pre budovu Europea Tower vypracovaná aj metódou fluidnej dynamiky (CFD), štúdiu pripravila spoločnosť Simulácie budov. Porovnaním výsledkov oboch analýz, šmykovej sily a preklápacieho momentu sme zistili pomerne veľké rozdiely.

Overenie spoľahlivosti nosných systémov z hľadiska mechanickej odolnosti – medzného stavu únosnosti (MSÚ) a medzného stavu použiteľnosti (MSP) – bolo vykonané na priestoro-



7

vých výpočtových modeloch s využitím dvoch nezávislých výpočtových programov Scia Engineer a ETABS. Takýto postup sa autorom osvedčil ako nezávislá kontrola, ako aj pre využitie predností jednotlivých výpočtových programov. Pre riešenie interakcie stavby s podlažím bol využitý program Scia Engineer s modulom Soilin. Riešenie odozvy na statické a dynamické zaťaženie bolo realizované programom ETABS. Stropné dosky boli riešené v programe SCIA Engineer a SAFE.

Odozva objektu Klingerka na zaťaženie vetrom bola riešená podľa STN EN 1991 1-4 s prihliadnutím na výsledky výpočtu účinkov vetra na fasády budov, ktorý bol realizovaný metódou fluidnej dynamiky (CFD) spoločnosťou Simulácie budov. Výsledky štúdie obsahovali súčinitele tlaku vetra ako lokálne tlaky na plochy a nie ako integrálne výslednice na podlažia. Použitie takýchto výsledkov je pre výpočet síl od vetra prakticky nemožné, boli však nápomocné pre odhad súčiniteľa tlaku a sania. Mechanická odolnosť nosného systému budovy bola preverená statickým a dynamickým výpočtom na základe 3D výpočtového modelu programom ETABS 2016 a Scia Engineer 2016. Prvá vlastná frekvencia ohybového kmitania budovy má periódu 4,28 s (0,233 Hz) v smere kolmo na hlavnú os elipsy. Druhá vlastná frekvencia s periódou 2,98 s (0,335 Hz) je ohybovým kmitaním budovy v smere hlavnej osi elipsy.

Pri riešení odozvy na účinky vetra pre objekt Eurovea Tower boli použité výsledky testu z vetrového tunela. Bolo vykonané aj porovnanie výsledkov s riešením podľa STN EN 1991 1-4. Horizontálny nosný systém je tvorený železobetónovým jadrom trojuholníkového pôdorysu. Mechanická odolnosť nosného systému budovy bola preverená statickým a dynamickým výpočtom na základe 3D výpočtového modelu v programoch ETABS 2016 a Scia Engineer 2016. Prvá vlastná frekvencia ohybového kmitania budovy Eurovea Tower má periódu 5,471 s (0,182 Hz). Druhá vlastná frekvencia s periódou 4,647 s (0,215 Hz) je ohybovým kmitaním budovy.

Pri výškových budovách sa pomerne výrazne prejavuje vplyv postupného budovania objektu. Zohľadnenie

priebehu zmršťovania a dotvarovania v zvislých nosných konštrukciách ovplyvňuje správanie nosného systému. Skrátenie stĺpov a zvislých nosných konštrukcií ovplyvňuje vnútorné sily a deformácie konštrukcií. Riešenie odozvy so zahrnutím postupného budovania nosnej konštrukcie a reologických vlastností betónu má vplyv na redistribúciu síl od zvislého zaťaženia a lepšie vystihuje skutočné pôsobenie nosnej konštrukcie.

Riešenie odozvy na seizmické zaťaženie bolo vykonané metódou lineárnych spektier odozvy s návrhovým seizmickým zrýchlením daným geologickým prieskumom. Parametre spektra odozvy sú podľa geologického prieskumu a podľa STN EN 1998-1/NA/Z2 referenčné špičkové zrýchlenie $a_{gr} = 0,0675 \text{ m/s}^2$ a podlažie kategórie D súčiniteľ podlažia $S = 1,5$ hraničné periódy $T_b = 0,125 \text{ s}, T_c = 1 \text{ s}$ a $T_d = 3 \text{ s}$, súčiniteľ významnosti objektu $\gamma_1 = 1,2$, útlm 2 %.

Autormi architektonického riešenia a generálnym projektantom budov Klingerka a Eurovea Tower je spoločnosť GFI, ktoré chceme vysloviť poďakovanie za dôveru.

Záver

Výškové objekty Panorama City, Klingerka a Eurovea Tower s 36 a 46 nadzemnými podlažiami sú dobrým príkladom použitia progresívnych konštrukcií a návrhov v projekčnej praxi. Pri projekte aj realizácii musíme oceniť pozitívny prístup všetkých zúčastnených, hlavne developera JTRE, ktorý akceptoval požiadavky na vykonanie podrobných prieskumov a testov. Ďalej musíme vyzdvihnúť veľmi korektný a kreatívny prístup dodávateľov – spoločnostiam Chemkostav (Panorama City) a STRABAG Pozemné a inžinierske staviteľstvo (Klingerka, Eurovea Tower) – potrebný pri realizácii každej stavby.

Fotografie: 1 – Jozef Baran,
2 až 7 – archív spoločnosti JTRE



Ing. Daniel Bukov
Daniel Bukov OK TEAM, s.r.o.
d.bukov@okteam.sk



Ing. Jozef Baran
BARAN PROJEKT s.r.o.
baran@baranprojekt.sk

RENEX^{3D}

FEM výpočty implementované do prostredia AutoCAD (ve spolupráci s FEM Consulting, stejné solvery používá SCIA, RFEM a RSTAB, IDA, NEXIS)



www.recoc.cz

Co nabízíme navíc oproti většině FEM:

- ≡ Hromadné posudky 1 D prvků ze železobetonu a dřeva (ve spolupráci s FINE)
- ≡ Fyzikálně nelineární analýza železobetonových 2D prvků (ve spolupráci s Dlubal Software)
- ≡ Hromadné posudky na protlačení stropních a základových desek podle EC a ETA včetně přímého exportu do armovacího modulu a návrhového programu pro smykové trny Bole (ve spolupráci s Schoeck)
- ≡ Návrh prvků PSB Plus (ve spolupráci s PEIKKO)
- ≡ Předpínací výztuž v interakci s chováním konstrukce



S.R.O. - STATICKÁ KANCELÁŘ

Navazující skupiny programů



a

