

VYSOKÉ BUDOVY – VÝZVA PRO KONSTRUKČNÍ BETON V NOVÝCH OBLASTECH HIGH RISE BUILDINGS. THE CHALLENGE OF A NEW FIELD OF POSSIBILITIES FOR THE USE OF STRUCTURAL CONCRETE

**HUGO CORRES, J. ROMO,
E. ROMERO**

Článek rozebírá návrh a konstrukci několika středně vysokých budov (ne více než 250 m). Ve všech uvedených projektech je pro různé prvky použit konstrukční beton: stropy, kompozitní sloupy kombinující ocel s vysokohodnotným betonem, smykové stěny, vodorovné ztužující prvky ad.

In this paper, the design and construction of several buildings of moderate height (no more than 250m) are analyzed. In all these projects structural concrete has been used for different elements: floorings, special steel-concrete composite columns using high performance concrete, shear walls, stiffening floors etc.

Už během posledních dekád 20. století a zejména od začátku 21. století propukla doslova exploze ve výstavbě nových vysokých a velmi vysokých budov. Zvyšuje

se i rychlost, s jakou budovy dosahují stále vyšších výšek. Zatím co ve 20. století byla maximální dosažená výška 500 m, během několika dalších let bude pravděpodobně zdvojnásobena a hodně se mluví o možnosti pokořit hranici 1 200 m. Beton s jeho novými užitnými vlastnostmi je pro tento typ konstrukcí, zejména středně vysokých, ideálním materiálem, s pomocí kterého lze vyřešit řadu otázek spojených s jejich návrhem a výstavbou. Z tohoto důvodu také mezinárodní organizace fib inicializovala sestavení nové pracovní skupiny (Task Group), která se zaměří na shromáždění a analýzu zkušeností získaných v této oblasti za poslední roky.

V současnosti je v Madridu před dokončením výstavba čtyř budov výšky kolem 250m. Pod jejich návrhy jsou podepsáni Norman Foster, Ribio & Alvarez-Salas, Cesar Pelli a Pei. Ve všech budovaných objektech je různým způsobem využit konstrukční beton, monolitické i prefabri-

kované technologie, běžný i lehký beton, běžný beton z hlediska zpracovatelnosti stejně jako samozhutnitelný (SCC), železobeton i předpjatý beton, jak předem předpjatý, tak dodatečně předpínaný. Beton byl využit i v celé řadě kompozitních konstrukčních prvků v kombinaci s ocelí.

BETON V KONSTRUKCI VYSOKÝCH BUDOV

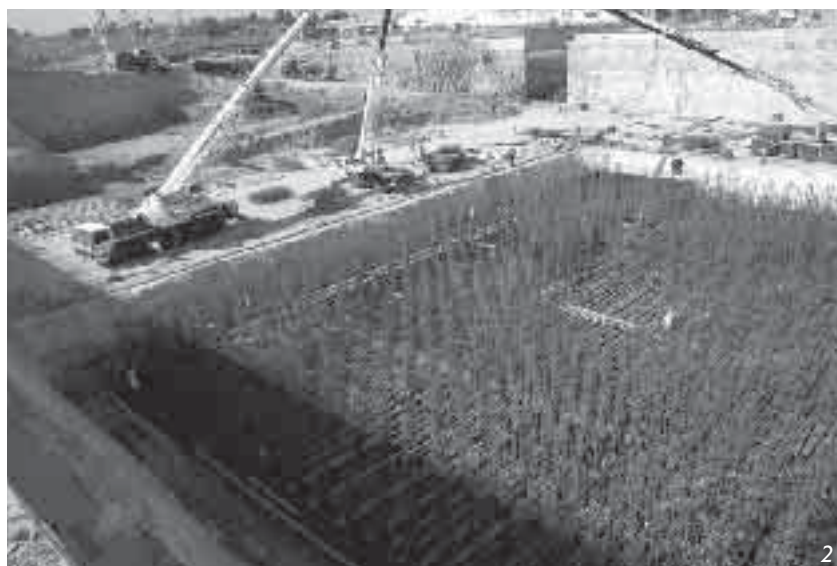
Základy

Beton je běžně používán pro základy vysokých budov. Výsledky vývoje nových betonů však přináší nové možnosti. Pro betonové prvky s velmi hustou výztuží lze použít SCC betony. Návrh předpjatých základových prvků umožňuje řešit velmi vysoké koncentrace napětí, které se objevují v oblastech základových desek pod sloupy a stěnami. Výhodné je také předepnutí pilotových hlav při hlubinném zakládání nebo předpětí velkopřůměrových pilot.

Svislé konstrukce

Ve většině nově budovaných mrakodrapů v Madridu jsou použity kompozitní sloupy.

Také v Torre de Cristal jsou kruhové sloupy, převážně namáhané tlakem, navr-



Obr. 1 Pohled na mrakodrapy dokončované v Madridu

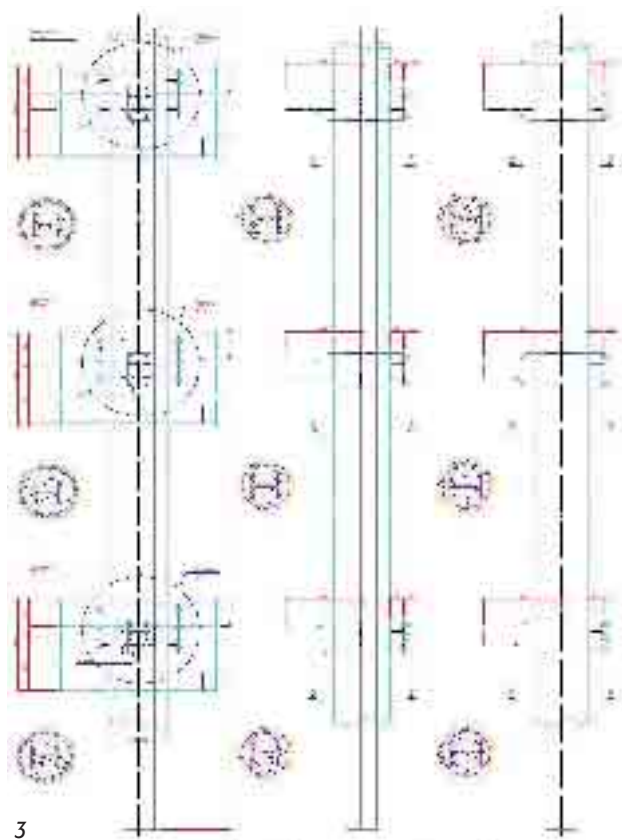
Fig. 1 Views of skyscrapers presently under construction in Madrid

Obr. 2 Základová deska Torre de Cristal (Skleněné věže) v Madridu

Fig. 2 Foundation slabs of the Torre de Cristal (Glass Tower) in Madrid

Obr. 6 Kompozitní stropní deska – ztracené bednění z ocelového plechu s lehkým betonem v konstrukci Sacyr-Vallehermoso tower [2]

Fig. 6 Composite steel deck with lightweight concrete solution for the floor structure. Sacyr-Vallehermoso tower [2]



3

Obr. 3 Půdorys konstrukce Torre de Cristal celkové výšky 250 m, řezy kompozitními sloupy

Fig. 3 Plan view of the structure of the Torre de Cristal with a total height of 250 m, cross section of the composite columns

Obr. 4 Montáž kompozitních sloupů konstrukce Torre de Cristal

Fig. 4 Assembly of the composite columns of the Torre de Cristal

Obr. 5 Změna pevností betonu v tlaku po výšce konstrukce budovy Torre Espacio [2]

Fig. 5 Variation of the concrete strength with the height of the tower in Torre Espacio [2]



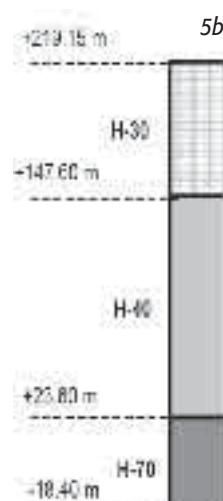
4a



4b



5a



5b

ženy jako kompozitní prvky o průměru 0,95 m. V nižších patrech je pro tuhé vložky použita ocel typu HD s HISTAR S 460 v tloušťce až 120 mm. Sloup je uvnitř vyztužen běžnou betonářskou výztuží a vyplněn SCC betonem C45. Plocha výztuže v průřezu sloupu s rostoucí výškou budovy klesá.

Vzhledem k neobvyklé tloušťce ocelových profilů a požadované vysoké rychlosti výstavby byly ocelové profily navrhovány výhradně jako tlačené působící v kontaktu s betonem. Tahové síly od lokálního namáhání ohybem přenáší pouze pruty výztuže.

Z hlediska výstavby bylo nezbytné vymyslet systém napojování jednotlivých

sloupů tak, aby byla zajištěna rovinnost a kolmost v jednotlivých spojích a předešlo se problémům ve styčích ve vyšších úrovních. Ocelové profily byly předem spojovány na výšku tří podlaží a na místo byly osazovány s již vloženou betonářskou výztuží. Použití SSC betonu bylo nezbytné vzhledem k velké hustotě výztuže, přítomnosti ocelových profilů v jednotlivých průřezích a minimalizaci obtíží při vlastním ukládání betonu.

Při použití kompozitních prvků poměrně velkých průřezových rozměrů stačil beton třídy C45, přestože ve vysokých konstrukcích (zejména s menšími rozměry průřezů konstrukčních prvků) bývá užíván beton vyšších pevností. Pevnost pou-



6a



6b



Obr. 7 Dutinové stropní panely v konstrukci Torre de Cristal

Fig. 7 Hollow core slab solution for the floor structure, Torre de Cristal

Obr. 8 Skrytá předpjatá železobetonová hlavice, Torre Espacio [2], a) schéma, b) konstrukce

Fig. 8 Solution with prestressed slabs, Torre Espacio [2]

Obr. 9 Šikmá fasáda Torre Espacio a vyrovnání vodorovných složek normálových sil předpětím ve skryté hlavici v desce

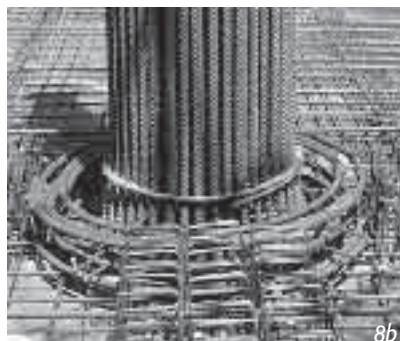
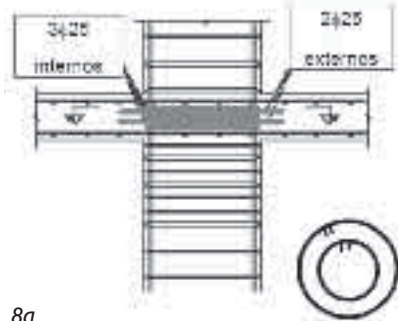
Fig. 9 Inclination of the facade columns of Torre Espacio and balancing of horizontal components by means of prestressing integrated in the slabs

Obr. 10 Kompozitní předpjatý příhradový nosník v konstrukci Torre Espacio [2]

Fig. 10 Composite prestressed load spanning beams in Torre Espacio [2]

Obr. 11 Vodorovné ztužující prvky, Torre Espacio [2]

Fig. 11 Elements in transition floors used for lateral stiffening, Torre Espacio [2]



žitého betonu obvykle s rostoucí výškou budovy výrazně klesá.

Užití kompozitních sloupů s vysokopevnostním betonem potlačuje vliv rozdílných hodnot svislých posunů sloupů a středového jádra konstrukce. Konstrukční ocel brání dotvarování betonu v tlaku a vysokopevnostní beton má nižší hodnoty dotvarování než běžný beton.

Stropy

V současné době je užívána řada různých typů stropních konstrukcí. V madridských věžích jsou použity všechny hlavní typy.

V Sacyr – Vallehermoso tower a the Caja de Madrid tower jsou použity klasické kompozitní systémy se stropní deskou z lehkého betonu.

V Torre de Cristal je použit originální systém zahrnující kompozitní trémovou vodorovnou nosnou konstrukci a desku sestavenou z prefabrikovaných dutinových stropních panelů. Toto řešení bylo přijato, protože umožňovalo zdvihnout do výšky betonové prvky daného objemu ale o menší hmotnosti, a tím zaručovalo vyšší rychlost výstavby. Vybranou technologií bylo možno sestavit jeden strop za jeden týden.



V Torre Espacio tvoří vodorovné nosné konstrukce ploché desky se skrytými hlavicemi sloupů, které jsou dodatečně předpínané nesoudržnými předpínacími kabely. Toto řešení bylo vybráno, protože návrh konstrukce neumožňuje použít jednoduchou ocelovou stropní konstrukci. Předpjaté hlavice sloupů jsou velmi vhodné pro přenesení koncentrovaných smykových sil z oblasti desky v těsné blízkosti sloupů. Ve 3D sevření je beton schopen vzdorovat vyššímu tlakovému namáhání (confinement), pro hlavice byl použit vysokopevnostní beton a pro desky beton běžných pevností.

Speciální prvky

Nové architektonické požadavky si žádají nové použití konstrukčního betonu.

Obr. 9 ukazuje fasádu Torre Espacio, jejíž geometrie se s výškou v každém podlaží trošku změní. To vyžaduje postupnou změnu nosných prvků v blízkosti fasády, což bylo vyřešeno proměnným sklonem krajních sloupů. Výsledné horizontální složky normálových sil jsou přenášeny do desky předpětím skrytých hlavic sloupů.

U tohoto typu budov je velmi často potřeba v nižších podlažích, kde je koncentrace zatížení největší, vynechat některé svislé prvky nosné konstrukce pro uvolnění dispozice. V případě Torre Espacio bylo požadováno uvolnit přízemí a další dvě podlaží a nechat městský parter „vniknout“ až do budovy. Do podlaží nad uvolněný prostor byly vloženy příhradové nosníky výšky přes jedno podlaží. Horní a dolní pás nosníku tvoří kompozitní prvky zabetonované do stropních desek. Táhlá a vzpěry nosníku jsou ocelové komorové průřezy vyplněné betonem. U svislých vzpěr zatížených tlakem má betonová výplň dvojí roli: stabilizuje ocelové stěny a zvyšuje tlakovou únosnost. V případě tažených diagonál je ocelová obalující konstrukce předpjatá ke zvýšení nosné kapacity diagonály v tahu.

Za účelem zvýšení účinnosti svislých stěn v přenášení vodorovného zatížení od větru jsou do konstrukce vkládána „ztužující“ patra. Ztužující příčné a podélné nosné stěny jsou předpětím spojeny se stropními deskami a vytváří tak velmi účinný ztužující prvek. Obvykle jsou taková patra využívána jako technická podlaží, kde jsou umístěny rozvody inženýrských sítí a energií.

ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Nové možnosti využití betonu z hlediska zvýšených pevností, inovačních technologií a konstrukčních požadavků rozšiřují uplatnění tohoto materiálu u všech typů konstrukcí včetně vysokých a velmi vysokých budov.

Odpovídající, inteligentní a tvůrčí užití nových betonů rozšiřuje pole užití tohoto materiálu a otevírá nové, zatím nevyužité možnosti pro příští návrhy.

Hugo Corres Peiretti

J. Romo

E. Romero

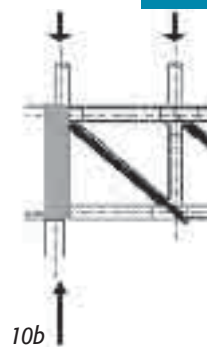
všichni: FHECOR Ingenieros Consultores

Madrid, Španělsko

e-mail: hcp@fhacor.es



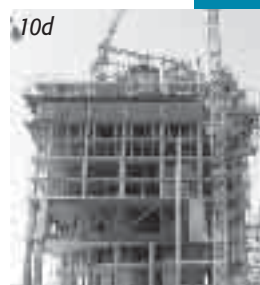
10a



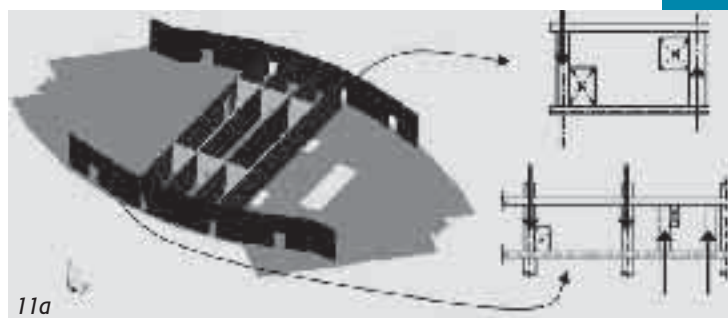
10b



10c



10d



11a



11b



11c

Literatura:

- [1] Gómez Navarro M.: Proyecto y construcción de dos torres de 235m de altura en Madrid: Similitudes y diferencias entre estructura mixta y estructura de hormigón. XVII Curso Master CEMCO. Jornada J5: ACHE y el hormigón estructural. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 15 de junio de 2007
- [2] Gómez Hemoso J.: Proyecto y construcción de edificios altos. XVII Curso Master CEMCO. Jornada J5: ACHE y el hormigón estructural. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 15 de junio de 2007
- [3] Romo Martín J.: Cargas horizontales – edificios en altura. Curso de Especialidad en Cálculo Estructural: Concepción Estructural del Edificio. Máster en Estructuras de la Edificación