

BETONOVÉ KONSTRUKCE II/8

22. Vysoké železobetonové budovy

Tato kapitola si neklade za cíl dát čtenáři návod k navrhování vysokých budov. Jejím obsahem je pouze všeobecný přehled o problematice stavby vysokých železobetonových budov, od historického vývoje přes přehled používaných konstrukčních systémů až po seznámení s nejnovějšími trendy v tomto oboru. Ideálně by měla být východiskem ke studiu dalších odborných materiálů, na které jsou uvedeny odkazy.

22.1 Definice vysoké budovy

Co je to vysoká budova, lze hodnotit z různých hledisek. Jistě záleží na prostředí, do kterého je budova zasazena. Jinak budou výšku budovy hodnotit obyvatelé Liberce a jinak obyvatelé Chicaga. Určitě také záleží na proporcích budovy – poměru výšky k půdorysným rozměrům a na dalších hlediscích (maximální dosah hasičské techniky apod.).

Poměr výšky budovy k nejmenšímu půdorysnému rozměru je také u výškových budov jedna z často udávaných hodnot. Pohybuje se od 5 do 10 i více.

Pokud však vyjdeme z pravidel organizace Council on Tall Buildings and Urban Habitat (viz www.ctbuh.org), která je v tomto oboru ve světě uznávána, můžeme budovy rozdělit na:

- Megatall buildings s výškou nad 600 m (k březnu 2018 na světě 3 budovy)
- Supertall buildings s výškou nad 300 m (k březnu 2018 na světě již více než 100 budov)

Běžně jsou v odborné veřejnosti za vysoké budovy považovány budovy

- High-rise buildings s výškou nad 150 m
- Tall buildings nad 50 m, nebo nad 14 podlaží

Tomuto dělení zhruba odpovídají i použité konstrukční systémy.

- Nejvyšší současné budovy (Burj Khalife v Dubaji, Jeddah Tower) jsou navrženy jako směrem vzhůru se zužující věže, jejichž tvar je zcela podřízen snaze o dosažení maximální výšky.
- Typické magatall buildings jsou dnes řešeny v konstrukčním systému Core-Outrigger Mega Frame (Shanghai Tower)
- Typické high-rise a supertall buildings byly v minulosti řešeny většinou v různých variantách tubulárních systémů.
- Pro tall buildings s výškou zhruba do 150 m byly v minulosti používány a dodnes se používají různé konstrukční systémy, od čistě rámových systémů (Bařův mrakodrap ve Zlíně) a jejich kombinací se smykovými stěnami až po čistě stěnové systémy (Pirelli Tower v Miláně a další).

V tomto kontextu je zřejmé, že nejvyšší české budovy (viz dále) spadají do poslední kategorie tall buildings.

22.2 Historie vysokých budov ve světě

Historie vysokých budov začala v New Yorku koncem 19. století a zprvu se jednalo o ocelové konstrukce. Ani v přednášce o železobetonových výškových stavbách nelze nepřipomenout dvě historicky nejvýznamnější ocelové stavby, které předběhly další následovníky o řadu desetiletí.

První je Empire State Building - New York, 1931. Má 102 podlaží a výšku 381m (443,2 včetně antény). Ocelová nýtovaná konstrukce, v roce 1945 přežila náraz bombardéru B25 do 79. podlaží ve výšce 278 m nad zemí. Ve fasádě vznikl otvor 5,5 x 6,0 m (11 mrtvých v budově + 3 členové posádky) sloupy budovy nebyly poškozeny.

Druhou je Chrysler Building – New York, 1930. Má 77 podlaží, výšku 319 m, ocelová nýtovaná konstrukce. První supertall building na světě (viz přílohu 2).



Empire State Building



Chrysler Building

Ocel jako konstrukční materiál pro nosné konstrukce nejvyšších staveb dominovala až do 90. let minulého století – jak je vidět z přehledu nejvyšších budov v roce 1988.

Poř.	Budova	Město	Stát	Rok	Výška	Materiál	Využití
01	Sears Tower	Chicago	USA	1974	442	Ocel	Kanceláře
02	One World Trade Center	New York	USA	1972	417	Ocel	Kanceláře
03	Two World Trade Center	New York	USA	1973	415	Ocel	Kanceláře
04	Empire State Building	New York	USA	1931	381	Ocel	Kanceláře
05	Aon Center	Chicago	USA	1973	346	Ocel	Kanceláře
06	John Hancock Center	Chicago	USA	1970	344	Ocel	Smišené
07	Chrysler Building	New York	USA	1930	319	Ocel	Kanceláře
08	JP Morgan Chase Tower	Houston	USA	1982	303	Smišený	Kanceláře
09	Wells Fargo Plaza	Houston	USA	1983	302	Ocel	Kanceláře
10	First Canadian Place	Toronto	Kanada	1975	298	Ocel	Kanceláře

Za první vysokou železobetonovou stavbu se obvykle považuje Ingalls Building z roku 1903. Investor Melville E. Ingalls, Cincinnati, Ohio – 15 podlaží, výška 64 m. Inženýr Ernest L. Ransome, architektonická kancelář Elzner & Anderson.

Jde o kompletně železobetonovou budovu. Nosné stěny mají tloušťku 8'' (203,2 mm). Při stavbě byl využit Ransomeho patent vyztužení betonu za studena zkroucenými dráty čtvercového průřezu se zvýšenou soudržností s betonem (předchůdce dnešních žebírkových betonářských ocelí).

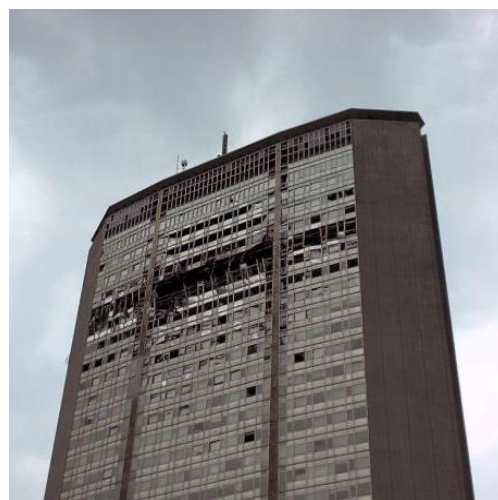
První vysoké železobetonové stavby se stavěly především v severní i jižní Americe. Pokud jde o významné starší výškové železobetonové stavby v Evropě, lze uvést například Pirelli Tower v Miláně s výškou 127 m. Ve své době šlo o nejvyšší stavbu v Evropě a o pátou nejvyšší stavbu na světě. Byla dokončena v roce 1958. Budovu navrhli architekti Gio Ponti a Pier Luigi Nervi, který byl současně hlavním konstruktérem stavby. V roce 2002 budova přežila náraz malého letadla do 24 a 25 podlaží. Zahynul pilot a dva cestující.



Ingalls Building



Pirelli Tower



náraz letadla 2002

Po roce 1960 začal vývoj vysokopevnostního betonu. Začátky jeho používání ukazují následující obrázky:



Lake Point Tower, Chicago
1965 výška 197 m,
beton 53 MPa



Water Tower Place, Chicago
1976 výška 262 m
beton 62 MPa



River Plaza, Chicago
1977 výška 160 m
beton 77 MPa

22.3 Přehled nejvyšších staveb současnosti

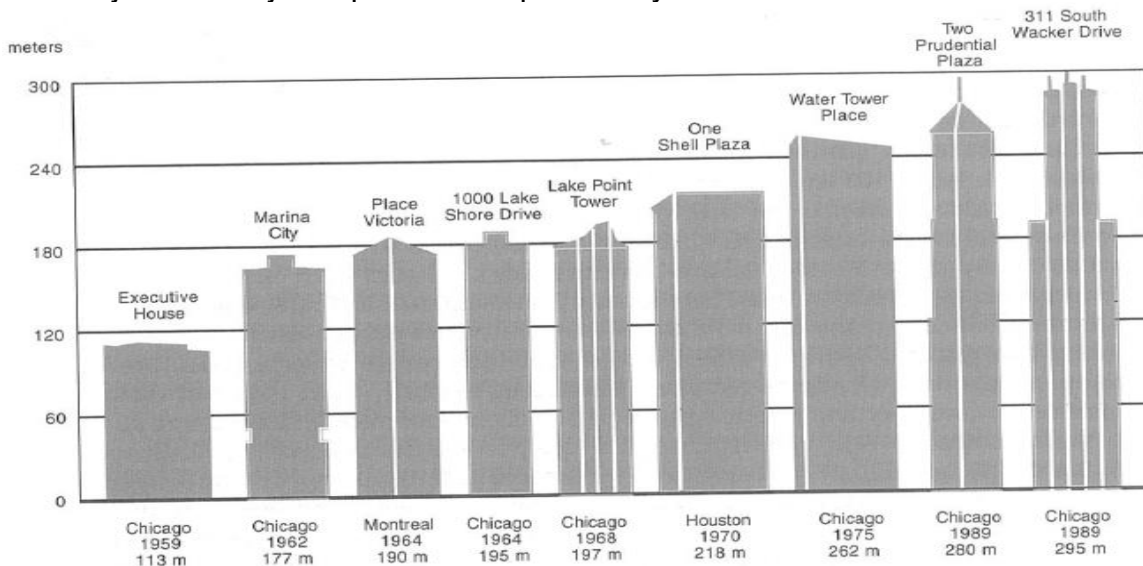
Přehled nejvyšších staveb současnosti, převzatý ze serveru www.ctbuh.org, je v příloze této přednášky. Z přehledu je zřejmé jak využití budovy (kanceláře, byty, hotely), tak hlavní materiál, použitý na konstrukci. Označení steel/concrete znamená ocelovou nástavbu vrchní části budovy na betonovou spodní část. Označení composite znamená ocelobetonovou konstrukci – zpravidla spřažené (composite) sloupy z ocelového pláště vyplněného betonem.

Z přehledu je vidět, že převážná většina velmi vysokých staveb má nosnou konstrukci ocelobetonovou nebo železobetonovou.

22.4 Beton pro vysoké stavby

První vysoké stavby měly ocelovou nosnou konstrukci. Po řadě havárií vysokých staveb způsobených požárem však stavitelé objevili výhody železobetonových konstrukcí. Širší uplatnění betonu i u velmi vysokých staveb však umožnil teprve vývoj vysokopevnostního betonu ve druhé polovině 20. století. Od té doby se procento železobetonových a ocelobetonových konstrukcí vysokých staveb neustále zvyšuje. Ze staveb, které jsou v březnu 2022 na seznamu 100 nejvyšších staveb světa, jich bylo 87 dokončeno po roce 2000. Z nich 59 má ocelobetonovou nebo smíšenou konstrukci (68 %), 27 z nich je kompletně železobetonových (31 %) a pouze 1 má kompletně ocelovou nosnou konstrukci (1,15 %) – viz Přílohu 1.

Vývoj používání železobetonových konstrukcí pro vysoké stavby v minulém století je vidět z porovnání následujícího grafu – stav z roku 1990 a tabulky současných nejvyšších staveb svět v příloze této přednášky. Vývoj maximální dosažené výšky železobetonových staveb dle jiného zdroje viz přílohu této přednášky.



V březnu 2018 je nejvyšší kompletně železobetonovou stavbou 432 Park Avenue v New Yorku s výškou 425,5 m s 85 podlažími.

Hlavními výhodami betonu oproti ocelové nosné konstrukci jsou:

- Vysoká požární odolnost
- Vyšší útlum kmitání než u oceli
- Odolnost proti korozi
- Nižší cena betonové konstrukce ve srovnání s ocelí

Původní název High Strength Concrete (HSC – beton pevnostní třídy vyšší než C50/60) se dnes spíše nahrazuje názvem High Performance Concrete (HPC), protože se kromě pevnosti obvykle sledují ještě další vlastnosti – trvanlivost, zpracovatelnost, odolnost proti požáru, duktilita, rychlost tvrdnutí a další. Vývoj HPC betonu pro vysoké stavby je zaměřen především na následující vlastnosti:

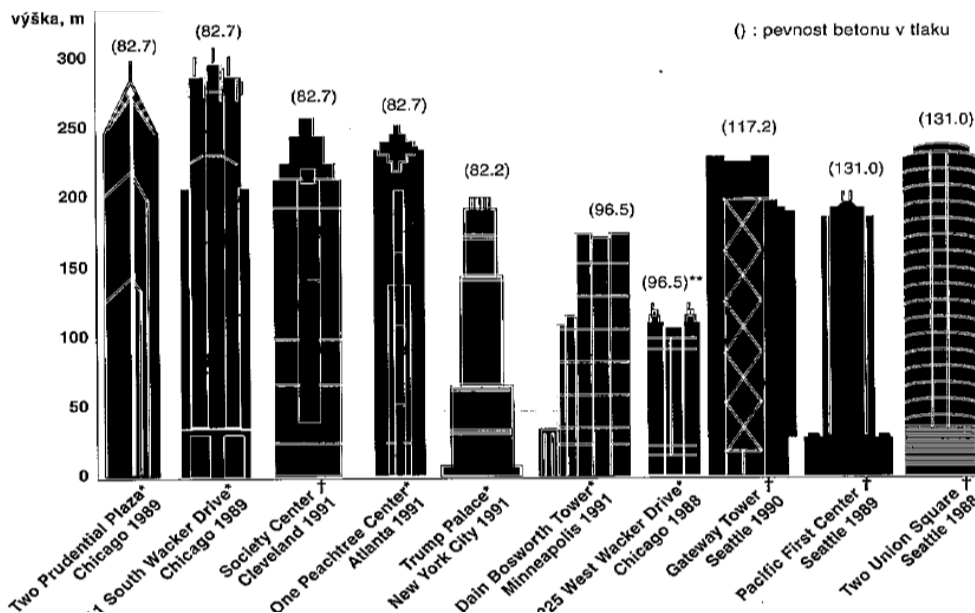
- Vysoká pevnost
- Odolnost proti požáru
- Velmi dobrá zpracovatelnost
- Vysoká duktilita (schopnost absorbovat velké přetvoření – seizmicita)

Základem výroby HSC je razantní omezení vodního součinitele w/c a použití mikrosiliky. Vodní součinitel nejkvalitnějších betonů se pohybuje i pod 0,20. Dobrá zpracovatelnost takového betonu je umožněna použitím nejmodernějších superplastifikátorů.

Vysoká odolnost proti požáru se získává použitím příměsí polypropylénových vláken a vysokopevnostních ocelových vláken. Po vytavení polypropylénových vláken při požáru umožní mikrootvory v betonu odchod vodní páry z betonu a ocelová vlákna zabraňují odprýskávání betonu.

Velmi dobrá zpracovatelnost, nejlépe samozhutnitelnost betonu, i při minimálním obsahu vody, se docílí s použitím superplastifikátorů, využívá se při betonáži velmi hustě vyztužených konstrukcí, kde nelze použít ponorné vibrátory.

Použití vysokopevnostních betonů na stavbách vysokých budov před rokem 1994 je v následujícím obrázku:



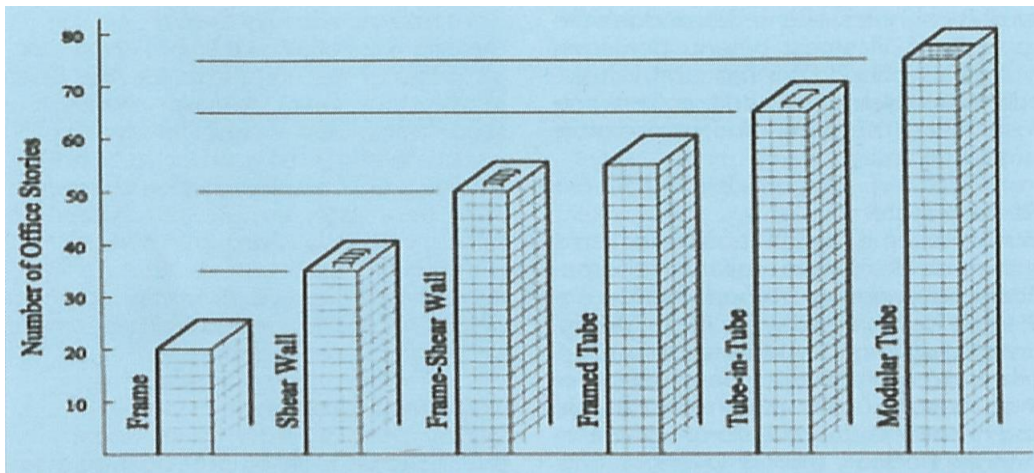
V současné době se používají HPC betony o pevnosti do 120, výjimečně až 150 MPa

22.5 Konstrukce vysokých budov

Založení stavby je samozřejmě závislé na geologických podmínkách staveniště. Dá se ale říct, že typickou základovou konstrukcí moderních výškových staveb je několik metrů (obvykle 3 - 4 m) tlustá železobetonová deska, podporovaná vrtanými pilotami. Piloty mívají typický profil kolem 1500 mm (největší „běžně“ vrtané profily) a délku několik desítek metrů.

Konstrukce vrchní stavby

Na následujícím obrázku je známý diagram jednoho z nejvýznamnějších inženýrů v oblasti vysokých staveb minulosti – Fazlura Khana (1930 -1982).



Rámovou konstrukcí bez ztužení lze podle tohoto grafu použít zhruba do 20 podlaží výšky. Je však nutno vzít v úvahu, že hodně závisí na poměru výšky a půdorysného rozměru stavby - stavba nesmí mít příliš velký poměr výšky a půdorysného rozměru.

Ztužující smykové stěny nebo ztužující jádro lze použít zhruba do 35 - 40 podlaží.

Rámová konstrukce v kombinaci se smykovými stěnami byla použita na mnoha výškových stavbách.

Rámový obvodový tubus představoval další významný pokrok. Tubus může být:

- Skořepinový (obsahuje obvykle zhruba méně než 50 % otvorů)
- S vysokými vodorovnými nosníky – (výška asi 1 m, sloupy po 1 - 3 m)
- S patrovými příhradovými nebo plnostěnnými nosníky

Systém **Tube-in-Tube** (komůrka v komůrce) je velice populární. Tak byla svého času řešena převážná většina výškových staveb – „mrakodrapů“.

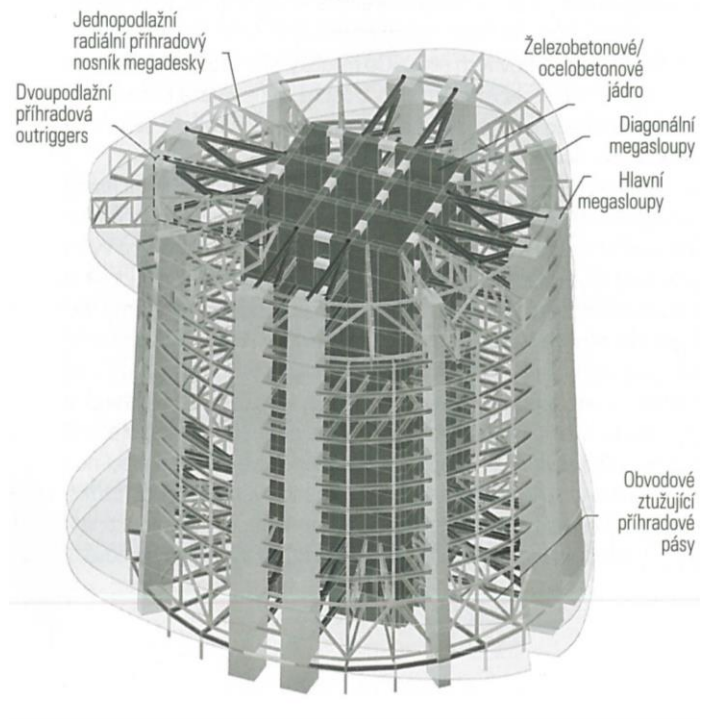
Systém **Modular Tube** (svazek komůrek) – vývojově poslední varianta tubulárních systémů. Umožňuje členitější architektonické řešení obálky stavby.

Rámový tubus s diagonálním ztužením.

Core-Outrigger Mega Frame – v současné době nejprogresivnější koncepce navrhování „supertall“ a „megatall“ vysokých budov. Jednou z prvních budov, navržených v tomto systému, byla budova Jin Mao v Šanghaji.

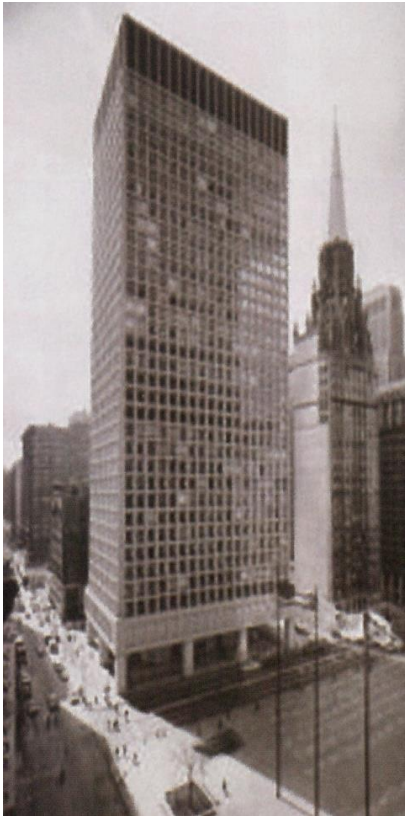
Systém kombinuje robustní jádro, zpravidla železobetonové, popřípadě vyztužené tuhými ocelovými profily, s obvodovými megasloupky – často ocelobetonovými. Obvodové megasloupky jsou s centrálním ztužujícím jádrem propojeny vodorovnými megapříčlemi (outriggers), zpravidla na výšku dvou podlaží. Megapříčle mohou být ocelové příhradové, nebo ze železobetonových stěn (outrigger walls). Obvodové sloupky jsou v úrovních megapříčlí vzájemně po obvodu budovy propojeny ztužujícími obvodovými pásy – buď opět ocelovými příhradovými (belt trusses), nebo železobetonovými stěnovými.

Vzniká tak neobyčejně tuhá prostorová struktura, která je schopná odolávat i mimořádně velkému vodorovnému zatížení větrem a seizmicitou.



Obrázky ukazují nosný systém aktuálně druhé nejvyšší budovy na světě (březen 2016) Shanghai Tower a jsou převzaty z čísla 08/15 časopisu Stavebnictví

22.6 Příklady použití jednotlivých konstrukčních systémů u vysokých budov



Brunswick Building



De-Witt Chestnut Apartment

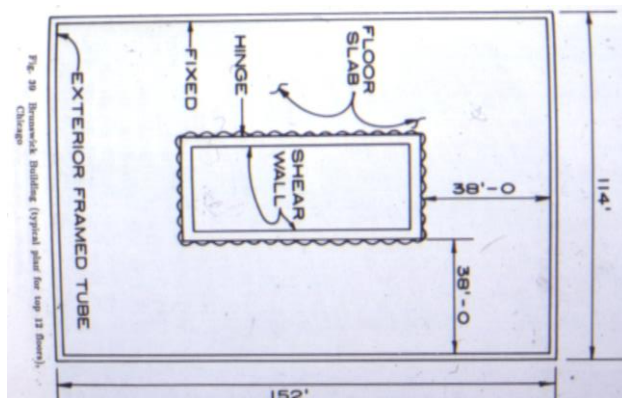


Centrum Onterie, Chicago

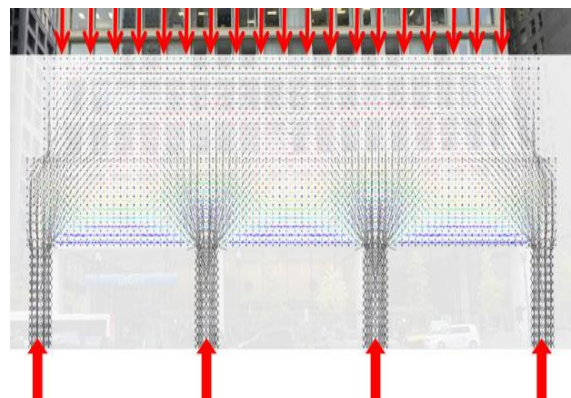
Budova De-Witt Chestnut – F. Khan 1964 má 43 podlaží a 120 m, je první známou budovou postavenou v systému rámového tubusu.

Brunswick Building - Fazlur Khan, 1965 má 35 podlaží a výšku 145 m. Jde o kombinaci rámového tubusu spolupůsobícího se smykovými stěnami jádra.

Budova Centrum Onterie – F. Khan (poslední stavba), 1986 má 60 podlaží a 174 m a je příkladem rámového tubusu doplněného diagonálním ztužením.



Půdorys Brunswick Building



Schema přenosu sil přes přechodovou stěnovou konstrukci nad přízemím



One Shell Plaza



One Magnificent Mile



Jin Mao

Budova One Shell Plaza v Houstonu – 1971 – 50 podlaží, výška 218 m je příkladem systému tubus v tubusu.

Budova One Magnificent Mile v Chicagu – 1983 – 57 podlaží, výška 205 m je příkladem svazku tubusů. Skládá se ze tří šestiúhelníkových tubusů.

Budova Jin Mao Tower, Shanghai (Skidmore,Owings and Merrill) z roku 1999, má 88 podlaží a výšku 421 m. Má kombinovanou nosnou konstrukci charakteru superkonstrukce – jedna z prvních budov navržených v systému Core-Outrigger Mega Frame. Je založena na 4 m tlusté základové desce podepřené 83,5 m dlouhými ocelovými pilotami. Tři sady osmi ocelových příhradových nosníků o výšce dvou podlaží propojují vnitřní osmiúhelníkové smykové betonové jádro s 8 vnějšími kompozitními megasloupky (ocelové roury vyplněné betonem). Je navržena na tajfun o rychlosti 200 km/hod.

22.7 Zatížení vysokých staveb

Vysoké stavby jsou zatíženy:

- Velkým svislým zatížením
- Velkým vodorovným zatížením větrem, důležitá je dynamická složka větru
- Seizmicitou
- Mimořádné zatížení – nárazy letadel, teroristické činy

Svislé zatížení – uvažujeme – li (skromně) tíhu stropu budovy (celkové zatížení stálé i nahodilé) charakteristickou hodnotou 10 kN/m^2 a osové vzdálenosti sloupů budovy $6 \times 6 \text{ m}$, vyjde zatížení sloupu z jednoho podlaží $10 \times 6 \times 6 = 360 \text{ kN}$.

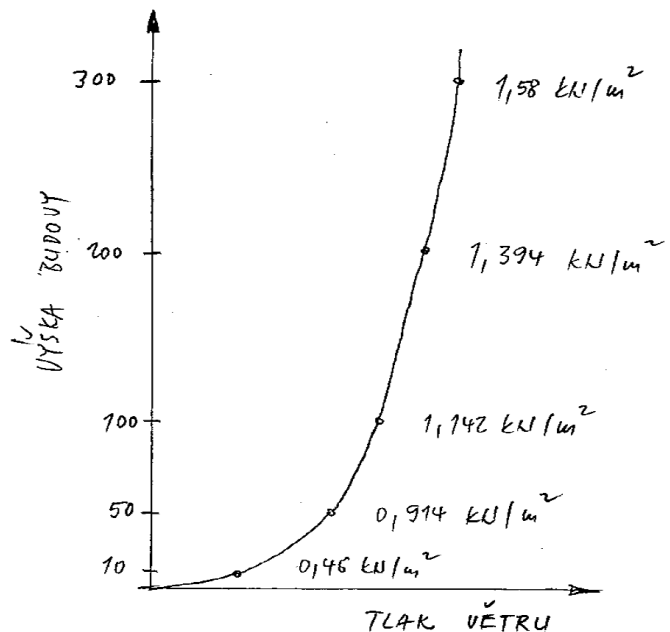
Při půdorysném průřezu sloupu $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ s konstrukční výškou podlaží $3,5 \text{ m}$ vyjde charakteristická tíha sloupu na jedno podlaží dalších 91 kN .

To při počtu 100 podlaží dává do sloupu v přízemí neuvěřitelnou svislou sílu $100 \times (360 + 91) = 45\,100 \text{ kN}$ v charakteristické hodnotě.

Vodorovné zatížení větrem

Zatížení větrem roste s výškou od povrchu terénu zhruba podle následujícího grafu, ve kterém je vyjádřeno zatížení maximálním dynamickým tlakem větru pro základní výchozí rychlost větru $25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/hod.}$ a pro kategorii terénu IV (město) v závislosti na výšce nad terénem.

Hodnoty byly stanoveny podle ČSN EN 1991-1-4 Zatížení větrem s vědomím, že tato norma platí pouze pro stavby do výšky 200 m . Pro vyšší stavby se uvažuje zatížení podle zvláštních předpisů. V tropických oblastech je často požadováno, navrhnout budovu na vítr o rychlostech až **200 km/hod.**



Zatížení seizmicitou může být v některých oblastech rozhodující. Působí jak svisle, tak vodorovně. Pro budovy s průběžnými sloupy je zpravidla nebezpečnější vodorovné zatížení. Z hlediska seizmického zatížení nabývá u vysokých staveb na důležitosti požadavek pravidelnosti (popřípadě symetrie) budovy po půdoryse a pravidelnosti (rozložení hmot a tuhostí) budovy po výšce – viz přednášku o běžných budovách.

V seizmických oblastech se navrhuje zvláštní opatření – založení budovy na seizmických izolátorech, tlumení kmitů apod.

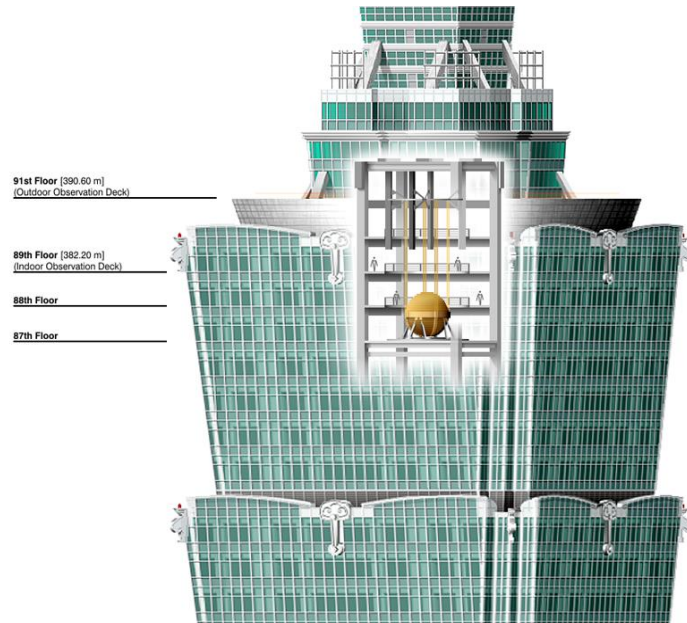
Kmitání budovy vyvolené větrem a seizmickým zatížením lze tlumit **tlumiči kmitání**.

Mimořádné zatížení – požár, náraz malého letadla, náraz vozidla, teroristický čin (bombový atentát).

22.8 Kmitání vysokých staveb

U vysokých štíhlých staveb hraje velkou roli dynamické chování stavby – kmitání. Přijatelná dynamická odezva je důležitá jak z hlediska namáhání konstrukce, tak z hlediska pohodlí uživatelů staveb.

Některé z nejvyšších staveb používají různé tlumiče kmitání. Pravděpodobně nejpoužívanější a neznámější je systém kyvadla věšeného ve vrcholu stavby. Kmity kyvadla jsou obvykle nějakým způsobem tlumené – například viskózními tlumiči. Při kyvu věže kývne kyvadlo proti pohybu věže a kmitání věže se utlumí.



Tlumič kmitů ve věži Taipei 101 je zavěšen z 92 do 88 podlaží, visí na 4 lanech a je tlumen 8 hydraulickými písty. Má průměr 5,5 m, váží 660 tun a je vyroben svařením z ocelových desek tloušťky 125 mm, je pozlacen.

Navrženo na vítr o rychlosti 200 km/h a zemětřesení 7. stupně Richterovy stupnice.

22.9 Další příklady velmi vysokých staveb

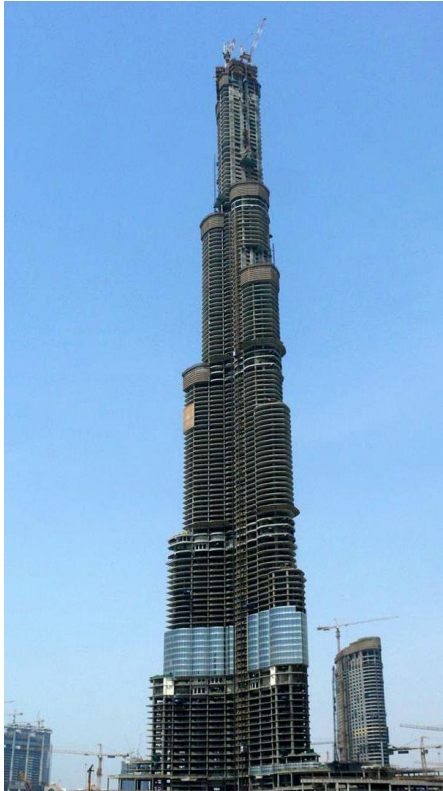
Aktuálně nejvyšší stavbou (březen 2016) je **Burj Khalife v Dubaji** se 163 podlažími a s výškou 828 m z roku 2010.

Architekt Adrian Smith z Chicagské firmy Skidmore, Owings and Merrill. Hlavní inženýr William F. Baker.

Založení na základové desce tloušťky 3,7 m ze samozhutnitelného betonu C50, podepřené 194 pilotami profilu 1500 mm délky 43 m ze samozhutnitelného betonu C60.

Kombinovaný nosný systém se třemi žebry podepírajícím střední šestiúhelníkové jádro. Do výšky 586 m je použit železobeton, výše ocel. Používal se samozhutnitelný beton o pevnosti C60 a C80. Beton se čerpal až do výšky 586 m v jenom záběru. Betonovalo se v noci a do betonu se přidával led s ohledem na vysoké teploty v Dubaji přes den.

Maximální vodorovný průhyb ve vrcholu 1,50 m.



Třetí nejvyšší stavbou je **Makkah Royal Clock Tower Hotel , Mecca** z roku 2012. Stavba s výškou 601 m má 120 podlaží. Architektura i konstrukční návrh Dar Al-Handasah Shair & Partners

Kombinovaná, spřažená ocelobetonová konstrukce. Během stavby přežila dva velké požáry (2008, 2009). Je zde uvedena spíše pro zamyšlení.



Výška stavby má svou cenu, ale není to všechno...

Aktuálně čtvrtou nejvyšší čistě železobetonovou stavbou je **Trump International Hotel and Tower** v Chicagu.

Stavba s výškou 423 m má 98 podlaží.

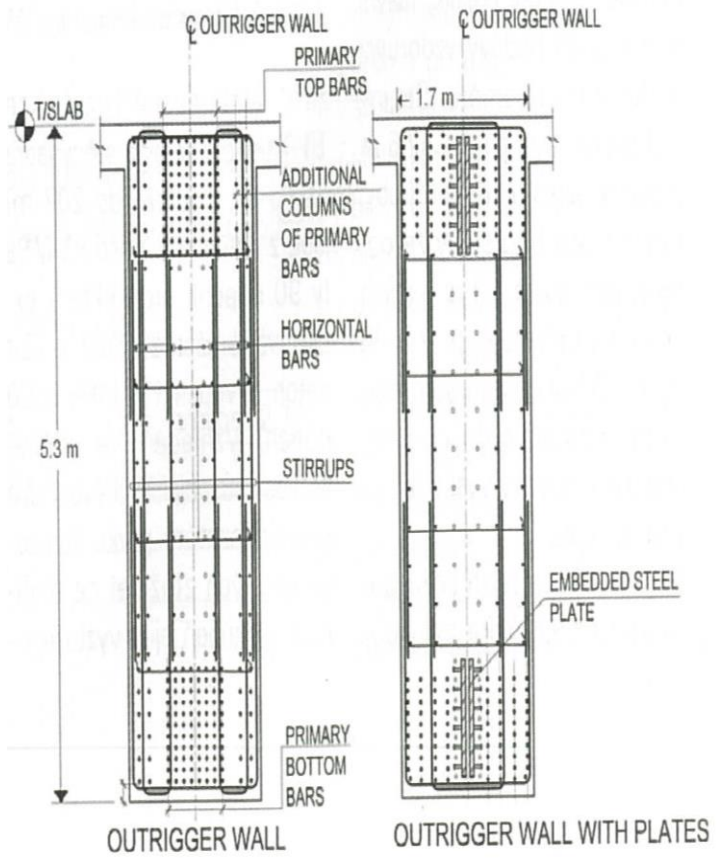
Stavba navržena firmou Skidmore, Owings and Merrill z roku 2009.

Kompletně železobetonová stavba, navržena v systému Core-Outrigger Mega Frame.

Budova skokově mění tvar v 16., 29. a v 51. podlaží. Tyto změny půdorysu znamenají výrazné změny v zatížení sloupů budovy a vynutily si mohutné ztužení masivními ztužujícími pásy – stěnami po obvodě stavby vždy na výšku dvou pater – v rámci technických podlaží. Pásy jsou spřažené vysokými smykovými stěnami – outrigger walls se železobetonovým ztužujícím jádrem. Ztužující pásy jsou vidět na fasádě.

Ztužení stavby je zajištěno masivním železobetonovým jádrem s příčnými stěnami tloušťky 460 mm a s podélnými stěnami (přírubami příčných I – profilů) tloušťky 1200 mm. Tyto příruby jsou v úrovni každého podlaží staženy nosníky výšky 800 a šířky 1200 mm.

Sloupy budovy a stěny jádra jsou až do 51. podlaží (výška 202 m) z betonu C83. Některé exponované prvky jsou z betonu C110.



Výztužné stěny na výšku 2 podlaží

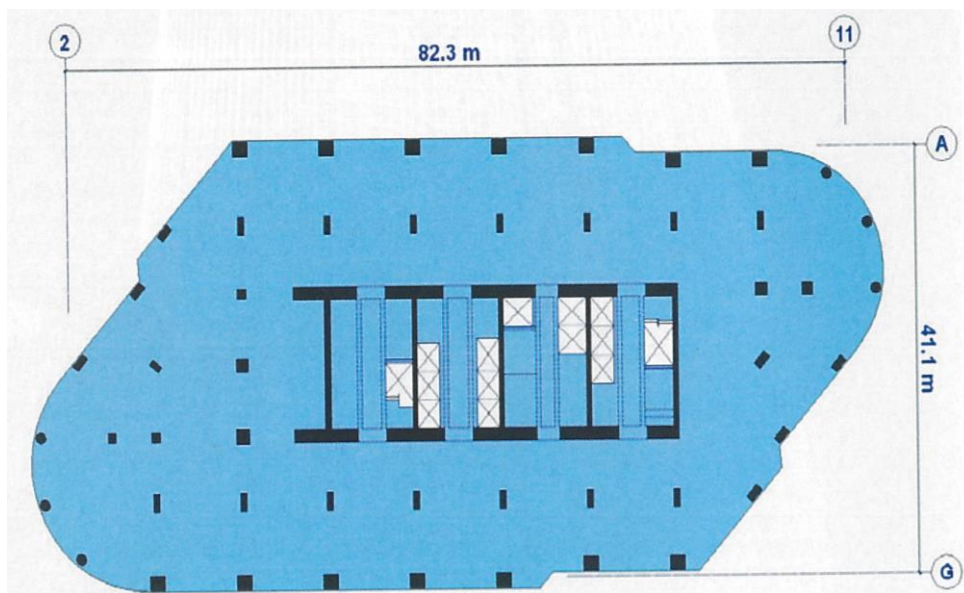


Schéma půdorysu 17. až 29. podlaží

22.10 České vysoké budovy

Ze staveb na území ČR se do historie vysokých staveb zapsal tzv. **Baťův mrakodrap** ve Zlíně. Stavba byla zahájena roku 1936 a dokončena roku 1939. Má 17 podlaží a výšku 77,5 m.

V té době to byla nejvyšší železobetonová stavba Evropy a druhá nejvyšší stavba Evropy vůbec (po paláci Boerentoren Všeobecné bankovní jednoty v Antverpách – 87 m s ocelovou nosnou kostrou).

Jan Antonín Baťa – ředitelství obuvnické firmy Baťa, architekt Vladimír Karfík, inženýr Alfons Hübner.

Neztužený železobetonový skelet s modulem 6,15 x 6,15 m, sloupy s kruhovým průřezem z ovinutého betonu, ředitelská kancelář ve výtahu o půdorysu 6 x 6 m.

Budova o půdorysu 80 x 20 m nemá průběžnou dilatační spáru, dilatace rozděluje pouze poslední dvě podlaží.



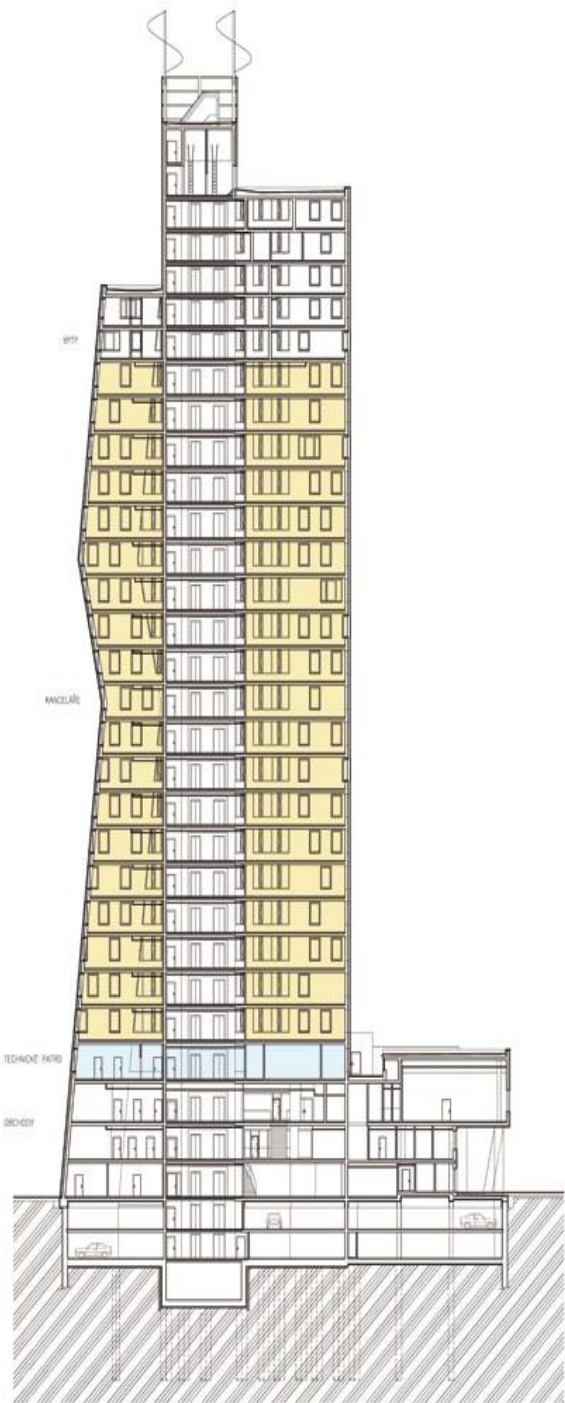


Rámová konstrukce bez ztužujících stěn a jader o 17 podlažích, která funguje jako skelet s posuvnými styčníky, se patrně blíží hranici možností této konstrukční soustavy pro vysoké budovy.

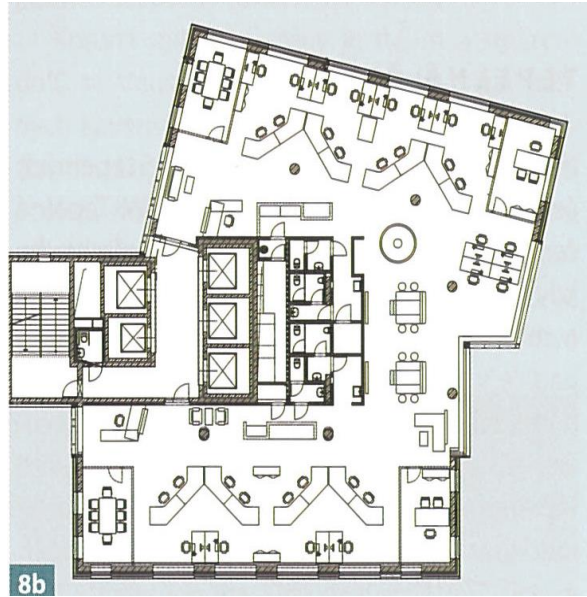
Nejvyšší současná česká budova je pravděpodobně **AZ Tower v Brně**.

Věž má 30 nadzemních podlaží a celkovou výšku 111 m (anténa 116 m).
Architekti Burian – Krivinka, inženýr Jan Perla – JAPE – projekt s.r.o.

Kombinovaná, čistě železobetonová nosná konstrukce. Obvodový rámový tubus (obvodová stěna prolomená nepravidelně rozmístěnými okenními otvory) v kombinaci se ztužujícím železobetonovým jádrem.



- +85,10 30NP
- +82,10 29NP
- +81,10 28NP
- +81,10 27NP
- +83,10 26NP
- +85,10 25NP
- +77,10 24NP
- +75,80 23NP
- +76,50 22NP
- +87,20 21NP
- +83,30 20NP
- +85,80 19NP
- +87,30 18NP
- +84,00 17NP
- +80,70 16NP
- +87,40 15NP
- +84,10 14NP
- +86,80 13NP
- +87,50 12NP
- +84,20 11NP
- +85,90 10NP
- +87,80 9NP
- +84,30 8NP
- +81,00 7NP
- +87,70 6NP
- +84,40 5NP
- +10,80 4NP
- +6,90 3NP
- +5,45 2NP
- 0,00 1NP
- 3,00 1PP
- 5,70 2PP



8b



Budova je založená na širokoprofilových vrтанých pilotách a na milánské podzemní stěně tloušťky 600 mm po celém obvodu budovy do hloubky až 30 m. Piloty jsou využity jako energetické piloty v systému tepelného čerpadla vytápění budovy. Piloty podepírají základovou desku bílé vany suterénu tloušťky 750 mm z betonu C30/37 XA2, navrženou na šířku trhlin 0,20 mm. Základová deska je v úrovni 3,5 až 4,8 m pod hladinou spodní vody.

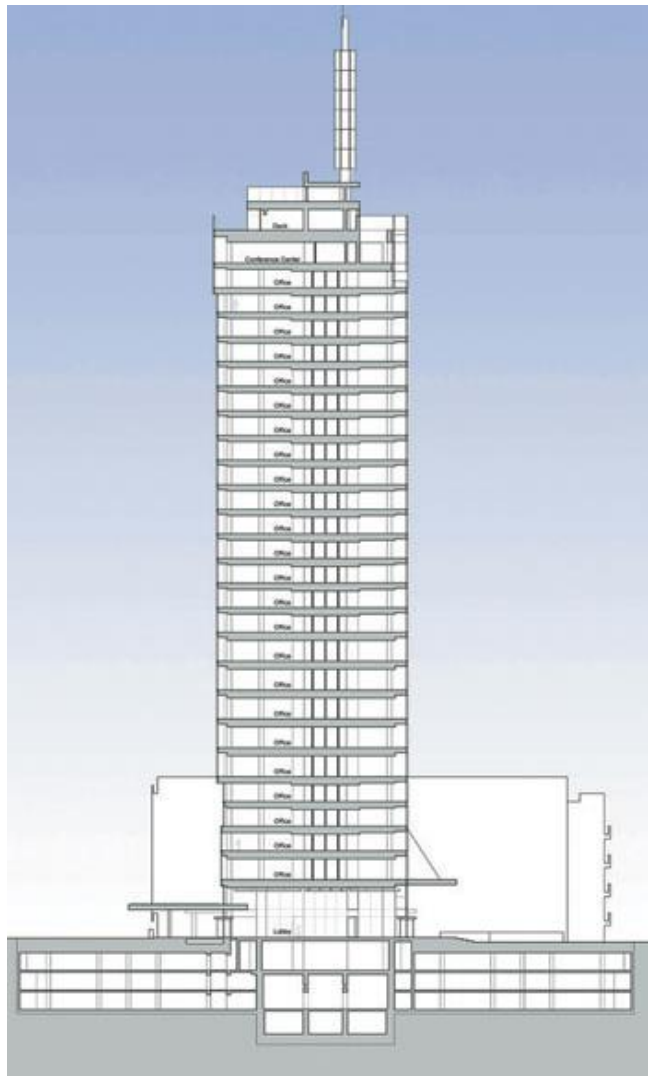
Monolitická železobetonová konstrukce má stěny ztužujícího jádra tloušťky 250 mm, šikmé stěny obvodového pláště s nepravidelně rozmístěnými okny mají tloušťku 300 mm. Vnitřní kruhové sloupy mají ve spodních podlažích profil 900 mm, který se postupně zmenšuje až na 400 mm. Ploché stropní desky mají tloušťku 240 až 260 mm.

Podle jiných zdrojů je aktuálně nejvyšší českou budovou **City Tower** v Praze na Pankráci. Byla rozestavěna jako budova Českého rozhlasu (1983-1993).

Nosná konstrukce byla původně navržena jako železobetonový prefabrikovaný skelet ztužený robustním monolitickým středním jádrem o půdorysu 40 x 6 m. Podle tohoto projektu byla zahájena stavba, byla však realizována pouze třípodlažní monolitická suterénní konstrukce. Poté byla stavba zastavena a koncepce nosné konstrukce byla změněna. Bylo ponecháno železobetonové monolitické jádro, prefabrikovaný skelet byl nahrazen ocelovými sloupy a monolitickými stropními deskami. Takto byla nosná konstrukce dokončena. Budova však nebyla uvedena do provozu.

V letech 2005 až 2008 byla budova radikálně přestavěna za účasti amerického architekta Richarda Meiera na administrativní budovu. Hlavním architektem projektu se stal Ing. arch. Václav Aulický, hlavním statikem projektu Ing. Pavel Zoubek.

Budova má 27 podlaží, výšku atiky 109 m a výšku střechy střešní nástavby 116,5 m. Půdorys stavby má rozměry 80 x 22 m, je bez dilatace.



Nejvyšší stavbou v Liberci je budova **Krajského úřadu Libereckého kraje** s 21 nadzemními podlažními a s výškou střechy 78 m (anténa 84 m). Byla postavena v roce 1976 jako Státní výzkumný ústav textilní (SVUT). Architekt Zdeněk Plesník.

Nosná konstrukce je železobetonová a byla postavena v Československu poměrně málo používanou metodou zvedaných stropů (lift slab), převzatou z USA. Stabilitu budovy zajišťují tři železobetonová jádra, která byla monoliticky vybetonována pomocí tzv. taženého bednění v prvním kroku. Poté byly na zesíleném stropě nad 3. NP postupně jedna na druhé vybetonovány monolitické stropní desky všech vyšších nadzemních podlaží s hlavicemi. Tyto desky byly následně zdvihány pomocí hydraulických zvedáků a kotveny na jádro a sloupy s kruhovým průřezem z ocelových trubek.

Jde o nejvyšší budovu v České republice a pravděpodobně i v Evropě, postavenou metodou zvedaných stropů.

Podrobnější popis metody zvedaných stropů je v příloze kapitoly II/7 o prefabrikovaných stavbách.



Obrázky jsou převzaty z knížky Liberecký mrakodrap

Závěr

Konstrukce velmi vysokých budov jsou (podobně jako konstrukce staveb velmi velkých rozpětí) typické příklady, kdy je v zájmu bezpečnosti a přiměřené ceny stavby třeba respektovat statické působení konstrukce a do jisté míry mu i přizpůsobit architektonické řešení. Proto je vhodné už ve studii konzultovat záměr se zkušeným inženýrem (statikem). To samozřejmě nemusí každému architektovi vyhovovat. Kromě toho, je jistě správné hledat i nové a neobvyklé cesty řešení různých klasických úloh. Existují studie, často i od významných architektů, které se snaží teoretickým pravidlům fungování konstrukcí vzdorovat. V drtivé většině případů však zůstávají pouze studiemi.



Zaha Hadid – Dancing Towers v Dubaji



























Literatura:




















- [1] Aitcin Pierre-Claude – Vysokohodnotný beton, ČKAIT , ČBS Praha, 2005
- [2] Hájek - Stropní desky z vysokohodnotných kompozitů, CIDEAS, ČVUT Praha, 2010
- [3] Časopis Beton TKS, 5/2008
- [4] Časopis Beton TKS, 6/2008
- [5] Časopis Stavebnictví 05/2009
- [5] Časopis Stavebnictví 08/2015, 03/16 a 04/16
- [7] Časopis Inženýrská komora 2013
- [8] www.ctbuh.org
- [9] www.skyscrapercenter.com
- [10] Harvan I.: Betónové konštrukcie – Vysoké budovy, STÚ Bratislava, 2015
- [11] Terranova A. : Mrakodrapy, Slovart 2004
- [12] Vorlík P.: Český mrakodrap, Paseka, 2015
- [13] Křížek J.: Liberecký mrakodrap, Severočeské muzeum v Liberci, 2016

Příloha 1 – nejvyšší stavby světa k březnu 2022 podle www.ctbuh.org

RANK	NAME	CITY	STATUS ^①	COMPLETION ^①	HEIGHT ^①	FLOORS ^①	MATERIAL ^①	FUNCTION ^①
1	Burj Khalifa	Dubai		2010	828 m / 2,717 ft	163	steel/concrete	office / residential / hotel
2	Shanghai Tower	Shanghai		2015	632 m / 2,073 ft	128	composite	hotel / office
3	Makkah Royal Clock Tower	Mecca		2012	601 m / 1,972 ft	120	steel/concrete	hotel / residential / retail
4	Ping An Finance Center	Shenzhen		2017	599.1 m / 1,965 ft	115	composite	office
5	Lotte World Tower	Seoul		2017	554.5 m / 1,819 ft	123	composite	hotel / residential / office / retail
6	One World Trade Center	New York City		2014	541.3 m / 1,776 ft	94	composite	office
7	Guangzhou CTF Finance Centre	Guangzhou		2016	530 m / 1,739 ft	111	composite	hotel / residential / office
7	Tianjin CTF Finance Centre	Tianjin		2019	530 m / 1,739 ft	97	composite	hotel / serviced apartments / office
9	CITIC Tower	Beijing		2018	527.7 m / 1,731 ft	109	composite	office
10	TAIPEI 101	Taipei		2004	508 m / 1,667 ft	101	composite	office
11	Shanghai World Financial Center	Shanghai		2008	492 m / 1,614 ft	101	composite	hotel / office
12	International Commerce Centre	Hong Kong		2010	484 m / 1,588 ft	108	composite	hotel / office
13	Central Park Tower	New York City		2020	472.4 m / 1,550 ft	98	concrete	residential
14	Lakhta Center	St. Petersburg		2019	462 m / 1,516 ft	87	composite	office
15	Vincom Landmark 81	Ho Chi Minh City		2018	461.2 m / 1,513 ft	81	composite	hotel / residential
16	Changsha IFS Tower T1	Changsha		2018	452.1 m / 1,483 ft	94	composite	hotel / office
17	Petronas Twin Tower 1	Kuala Lumpur		1998	451.9 m / 1,483 ft	88	composite	office
17	Petronas Twin Tower 2	Kuala Lumpur		1998	451.9 m / 1,483 ft	88	composite	office
19	Suzhou IFS	Suzhou		2019	450 m / 1,476 ft	95	composite	hotel / office / serviced apartments
19	Zifeng Tower	Nanjing		2010	450 m / 1,476 ft	66	composite	hotel / office
21	The Exchange 106	Kuala Lumpur		2019	445.5 m / 1,462 ft	95	composite	office
22	Wuhan Center Tower	Wuhan		2019	443.1 m / 1,454 ft	88	composite	hotel / residential / office
23	Willis Tower	Chicago		1974	442.1 m / 1,451 ft	108	steel	office
24	KK100	Shenzhen		2011	441.8 m / 1,449 ft	98	composite	hotel / office
25	Guangzhou International Finance Center	Guangzhou		2010	438.6 m / 1,439 ft	103	composite	hotel / office
26	111 West 57th Street	New York City		2021	435.3 m / 1,428 ft	84	steel/concrete	residential
27	One Vanderbilt Avenue	New York City		2020	427 m / 1,401 ft	62	composite	office

28	432 Park Avenue	New York City	C	2015	425.7 m / 1,397 ft	85	concrete	residential
29	Marina 101	Dubai	C	2017	425 m / 1,394 ft	101	concrete	residential / hotel
30	Trump International Hotel & Tower	Chicago	C	2009	423.2 m / 1,389 ft	98	concrete	residential / hotel
31	Minying International Trade Center T2	Dongguan	C	2021	422.6 m / 1,386 ft	85	composite	office
32	Jin Mao Tower	Shanghai	C	1999	420.5 m / 1,380 ft	88	composite	hotel / office
33	Princess Tower	Dubai	C	2012	413.4 m / 1,356 ft	101	steel/concrete	residential
34	Al Hamra Tower	Kuwait City	C	2011	412.6 m / 1,354 ft	80	concrete	office
35	Two International Finance Centre	Hong Kong	C	2003	412 m / 1,352 ft	88	composite	office
36	LCT The Sharp Landmark Tower	Busan	C	2019	411.6 m / 1,350 ft	101	concrete	hotel / residential
37	Guangxi China Resources Tower	Nanning	C	2020	402.7 m / 1,321 ft	86	composite	hotel / office
38	Guiyang International Financial Center T1	Guiyang	C	2020	401 m / 1,316 ft	79	composite	hotel / office
39	China Resources Tower	Shenzhen	C	2018	392.5 m / 1,288 ft	68	composite	office
40	23 Marina	Dubai	C	2012	392.4 m / 1,287 ft	88	concrete	residential
41	CITIC Plaza	Guangzhou	C	1996	390.2 m / 1,280 ft	80	composite	office
42	Shum Yip Upperhills Tower 1	Shenzhen	C	2020	388.1 m / 1,273 ft	80	composite	hotel / office
43	30 Hudson Yards	New York City	C	2019	387.1 m / 1,270 ft	73	steel	office
44	PIF Tower	Riyadh	C	2021	385 m / 1,263 ft	72	composite	office
45	Shun Hing Square	Shenzhen	C	1996	384 m / 1,260 ft	69	composite	office
46	Eton Place Dalian Tower 1	Dalian	C	2016	383.2 m / 1,257 ft	80	composite	hotel / office
47	Nanning Logan Century 1	Nanning	C	2018	381.3 m / 1,251 ft	82	composite	hotel / office
48	Burj Mohammed Bin Rashid	Abu Dhabi	C	2014	381.2 m / 1,251 ft	88	concrete	residential
49	Empire State Building	New York City	C	1931	381 m / 1,250 ft	102	steel	office
50	Elite Residence	Dubai	C	2012	380.5 m / 1,248 ft	87	concrete	residential
51	1 Corporate Avenue	Wuhan	C	2021	376 m / 1,234 ft	73	composite	office
52	Dabaihui Plaza	Shenzhen	C	2021	375.6 m / 1,232 ft	70	composite	office
53	Central Plaza	Hong Kong	C	1992	373.9 m / 1,227 ft	78	concrete	office
54	Federation Tower	Moscow	C	2016	373.7 m / 1,226 ft	93	concrete	residential / office

55	Dalian International Trade Center	Dalian		2019	370.2 m / 1,214 ft	86	composite	residential / office
56	The Address Boulevard	Dubai		2017	370 m / 1,214 ft	73	concrete	residential / hotel / retail
57	Qingdao Hai Tian Center	Qingdao		2021	368.9 m / 1,210 ft	73	composite	hotel / office
58	Golden Eagle Tiandi Tower A	Nanjing		2019	368.1 m / 1,208 ft	77	composite	hotel / office
59	Bank of China Tower	Hong Kong		1990	367.4 m / 1,205 ft	72	composite	office
60	Bank of America Tower	New York City		2009	365.8 m / 1,200 ft	55	composite	office
61	The St. Regis Chicago	Chicago		2020	362.9 m / 1,191 ft	101	concrete	residential / hotel
62	Almas Tower	Dubai		2008	360 m / 1,181 ft	68	concrete	office
63	Hanking Center	Shenzhen		2018	358.9 m / 1,177 ft	65	composite	office
64	Gevora Hotel	Dubai		2017	356.3 m / 1,169 ft	75	steel/concrete	hotel
65	JW Marriott Marquis Hotel Dubai Tower 1	Dubai		2012	355.4 m / 1,166 ft	82	concrete	hotel
65	JW Marriott Marquis Hotel Dubai Tower 2	Dubai		2013	355.4 m / 1,166 ft	82	concrete	hotel
67	Emirates Tower One	Dubai		2000	354.6 m / 1,163 ft	54	composite	office
68	Raffles City Chongqing T3N	Chongqing		2019	354.5 m / 1,163 ft	79	composite	residential / retail
68	Raffles City Chongqing T4N	Chongqing		2019	354.5 m / 1,163 ft	74	composite	hotel / office / retail
70	OKO - Residential Tower	Moscow		2015	354.2 m / 1,162 ft	90	concrete	residential / serviced apartments / hotel
71	The Torch	Dubai		2011	352 m / 1,155 ft	86	concrete	residential
72	Forum 66 Tower 1	Shenyang		2015	350.6 m / 1,150 ft	68	composite	hotel / office
73	The Pinnacle	Guangzhou		2012	350.3 m / 1,149 ft	60	concrete	office
74	Spring City 66	Kunming		2019	349 m / 1,145 ft	61	composite	office
75	85 Sky Tower	Kaohsiung		1997	347.5 m / 1,140 ft	85	steel	hotel / office / retail
76	Shimao Hunan Center	Changsha		2019	347 m / 1,138 ft	N/A	composite	office
77	Aon Center	Chicago		1973	346.3 m / 1,136 ft	83	steel	office
78	The Center	Hong Kong		1998	346 m / 1,135 ft	73	steel	office
79	NEVA TOWERS 2	Moscow		2020	345 m / 1,132 ft	79	concrete	residential
80	875 North Michigan Avenue	Chicago		1969	343.7 m / 1,128 ft	100	steel	residential / office
81	Four Seasons Place	Kuala Lumpur		2018	342.5 m / 1,124 ft	74	concrete	residential / hotel

82	ADNOC Headquarters	Abu Dhabi		2015	342 m / 1,122 ft	65	concrete	office
83	One Shenzhen Bay Tower 7	Shenzhen		2018	341.4 m / 1,120 ft	71	composite	residential / hotel / office
84	LCT The Sharp Residential Tower A	Busan		2019	339.1 m / 1,113 ft	85	concrete	residential
85	Comcast Technology Center	Philadelphia		2018	339.1 m / 1,112 ft	59	composite	hotel / office
86	YunDing Tower	Jinan		2020	339 m / 1,112 ft	69	concrete	office / hotel
86	Wuxi International Finance Square	Wuxi		2014	339 m / 1,112 ft	68	composite	hotel / office
86	Heartland 66 Office Tower	Wuhan		2020	339 m / 1,112 ft	60	composite	office
89	Chongqing World Financial Center	Chongqing		2015	338.9 m / 1,112 ft	72	composite	hotel / office
90	Mercury City Tower	Moscow		2013	338.8 m / 1,112 ft	75	concrete	residential / office
91	Suning Plaza Tower 1	Zhenjiang		2018	338 m / 1,109 ft	75	composite	hotel / serviced apartments / SOHO / office
91	Tianjin Modern City Office Tower	Tianjin		2016	338 m / 1,109 ft	65	composite	office
93	Hengqin International Finance Center	Zhuhai		2020	337.7 m / 1,108 ft	69	composite	residential / office
94	Tianjin World Financial Center	Tianjin		2011	336.9 m / 1,105 ft	75	composite	office
95	SLS Dubai	Dubai		2020	336 m / 1,102 ft	78	concrete	serviced apartments / hotel
96	Wilshire Grand Center	Los Angeles		2017	335.3 m / 1,100 ft	62	composite	hotel / office
97	DAMAC Heights	Dubai		2018	335.1 m / 1,099 ft	88	concrete	residential
98	Twin Towers Guiyang, East Tower	Guiyang		2020	335 m / 1,099 ft	74	composite	office
98	Twin Towers Guiyang, West Tower	Guiyang		2020	335 m / 1,099 ft	74	composite	hotel / office
100	Shimao International Plaza	Shanghai		2006	333.3 m / 1,094 ft	60	concrete	hotel / office / retail

Příloha 2 – Vývoj výšky železobetonových staveb

1903 – Ingalls Building Cincinnati (64 m)
1913 – Oak Tower Kansas City (115 m)
1936 – Edificio Kavanagh Buenos Aires (120 m)
1947 – Altino Arantes Sao Paulo (161 m)
1964 – Tour de la Bourse Montreal (190 m)
1968 – Lake Point Tower Chicago (196 m)
1970 – One Shell Plaza Houston (218 m)
1973 – Carlton Centre Johannesburg (222 m)
1976 – Water Tower Place Chicago (262 m)
1990 – Two Prudential Plaza Chicago (303 m)
1992 – Central Plaza Hong Kong (374 m)
1996 – CITIC Plaza Guangzhou (390 m)
2009 – Trump International Hotel & Tower (423 m)
2015 – 432 Park Avenue (425,7 m)
2020 – Central park Tower (472,4 m)

Příloha 3 - Fazlur Rahman Khan (1929 Dhaka, Bangladéš – 1982 Jeddah, Saudská Arábie).

„...good architecture must also be good engineering and particularly good structure...“

Významný americký stavební inženýr, statik, původem z Bangladéše. Studoval na univerzitách v Dháce v Bangladéši, Kolkatě a Shibpuru v Indii. Po získání Fulbrightova stipendia odjel v roce 1952 do USA, kde studoval na univerzitě v Illinois. Americké občanství získal roku 1967.

Od roku 1955 pracoval v architektonické kanceláři Skidmore, Owings and Merrill (SOM) v Chicagu. Měl rozhodující podíl na vývoji tubulárních systémů nosných konstrukcí pro vysoké budovy v 60. až 80. letech dvacátého století a ovlivnil tak stavbu vysokých budov na řadu desetiletí.

Mezi jeho nejvýznamnější stavby patří mrakodrapy DeWitt-Chestnut Apartments, Chicago (1964), Brunswick Building, Chicago (1965), Marine Midland Building, New York (1967), John Hancock Center, Chicago (1969), One Shell Plaza, Houston (1971), Two Shell Plaza, Houston (1972), One Shel Square, New Orleans (1972), 140 William Street - dříve BHP House, Melbourne (1972), Willis Tower – dříve Sears Tower, Chicago (1974), US Bank Center - dříve First Wisconsin Center, Milwaukee (1974), One Magnificent Mile, Chicago (1983), 780 3rd Avenue, New York (1984), Onterie Center, Chicago (1986).

Kromě vysokých budov navrhnul i řadu dalších staveb, např. King Abdulaziz Univerzity Jeddah (1978), King Abdulaziz International Airport Jeddah (1980), Hubert H. Humprey Metrodome Minnesota (1982) a další.

https://en.wikipedia.org/wiki/Fazlur_Rahman_Khan

<https://drfazlurrkhan.com/>

