

# KOVOVÉ A DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE 2

## Přednášky:

1. Ocelové konstrukce - halové stavby
2. Ocelové konstrukce - haly velkých rozpětí
3. Ocelové konstrukce - patrové budovy
4. Ocelové konstrukce - vysoké budovy
5. Ocelové konstrukce - ocelové a ocelobetonové mosty, lávky
6. Ocelové konstrukce - předběžný návrh prvků ocelových nosných konstrukcí
7. Dřevěné konstrukce - úvod, historie DK, vlastnosti dřeva, dřevo a výrobky na bázi dřeva
8. Dřevěné konstrukce - navrhování - tah, tlak, ohyb, smyk, průhyb; zatížení
9. Dřevěné konstrukce - spoje, ochrana proti znehodnocení a požáru
10. Dřevěné konstrukce - rovinné a prostorové dřevěné konstrukce, patrové budovy, haly
11. Dřevěné konstrukce - historie, krovy, stropy, zesilování
12. Dřevěné konstrukce - předběžný návrh prvků dřevěných nosných konstrukcí

# 4. Ocelové konstrukce – vysoké budovy

Obsah přednášky:

1. Historie
2. Nejvyšší konstrukce
3. Zvláštnosti navrhování
4. Shrnutí

# 1. Historie

- **Starověk:** hliněné cihly + dřevěné stropy (až 4 patra)
- **Římané:** cihly + dřevo (až 10 pater)
- **Středověk:** cihla, kámen, dřevo, vyzdívané dřevo, **litina**, **ocel**
  - 1784 Angličan H. Cort - svářková ocel
  - 1855 Angličan H. Bessemer - plávková ocel

## Skelety

- dřevěné, později ocel: New York 1854: 6 pater (svářková ocel)
- problémy: nosnost skeletu, výtahy, instalace, stěny, požár

výtahy:	parní	1857 N.Y.
	hydraulické	1870
	elektrické	1890

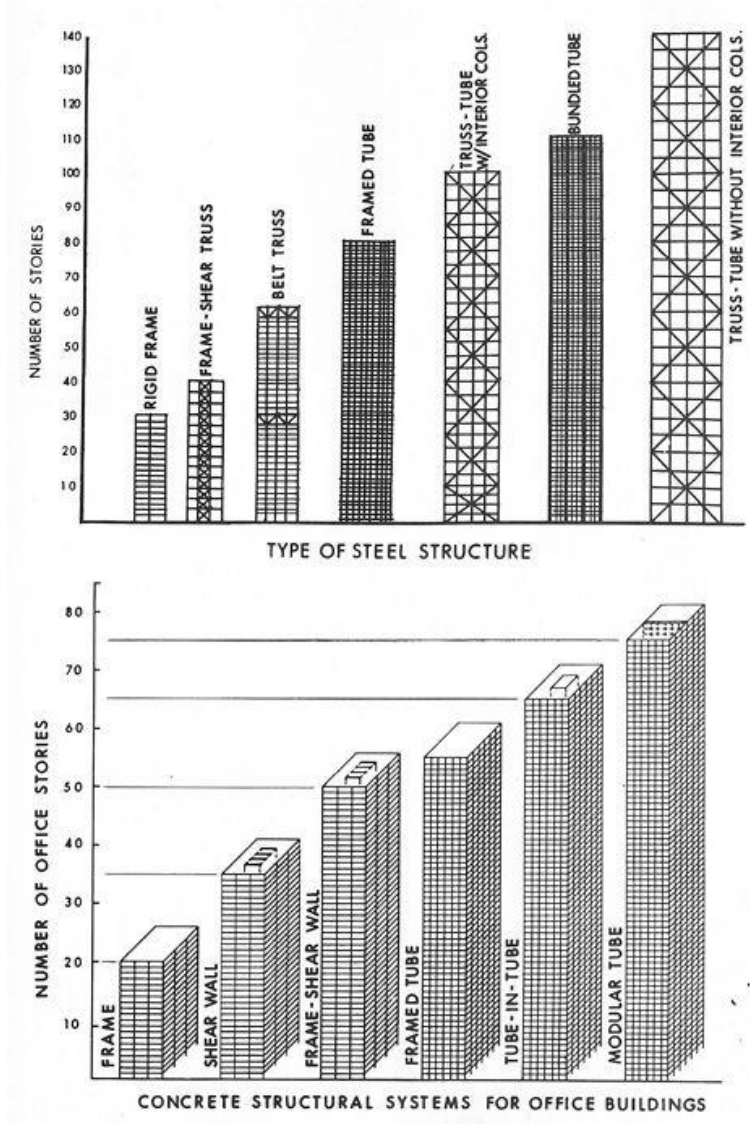
## Vývoj vysokých budov

- **1885 Chicago** - budova pojišťovny (10 pater)  
- sloupy z litiny, stropy: do 6. patra svářková oc., další 4 patra plátková ocel
- **Po roce 1900: období „věžových“ mrakodrapů (New York)**  

N.Y.	1898	118 m	
N.Y.	1908	187 m	(Singer Building, 47 pater)
N.Y.	1913	241 m	(Woolworth Building, 57 pater)
N.Y.	1928	319 m	(Chrysler Building, 77 pater)
N.Y.	1931	381 m	(Empire State Building, 102 pater, styl Art Deco)
- **Po roce 1970: období modernizmu (Chicago, New York)**  

N.Y.	1972-2001	W.T.C.	412 m, 110 p.
Chicago	1974	Sears Tower	443 m, 110 p.
- **Současnost: ocelobeton, megakonstrukce: např. Taipei 101 (449 m), vysokopevnostní beton + ocel: např. Burj Khalifa Dubai (636 m)**

# Konstrukční systémy vysokých budov



*Konstrukční systémy dle Fazlura Khana (stavební inženýr a architekt původem z Bangladéže, působil v USA)*

## Konstrukční systémy vysokých budov

- **rámový systém**
  - budova je ztužena pomocí rámových ztužidel
  - rám tvoří stojky a příčle, rámový roh přenáší normálovou a posouvající sílu a ohybový moment
- **systém s příhradovým ztužením**
  - budova je ztužena pomocí příhradových ztužidel
  - diagonálně orientované prvky po obvodě či uvnitř konstrukce; diagonální prvky jsou namáhány pouze normálovou osovou silou (tah/tlak)
- **stěnový systém**
  - budova je ztužena pomocí stěn
  - stěny často tvoří jádro budovy (nejčastěji železobetonové jádro), kterým jsou vedeny hlavní komunikační cesty, výtahy a schodiště
- **systém se ztužujícími pásy**
  - pro budovy s větším počtem pater je již zapotřebí, aby sloupy spolupůsobily v celé konstrukci, a proto se vkládají vodorovné ztužující pásy na šířku pater



*New York Times Building (NY) – příklad systému s příhradovým ztužením*

## Konstrukční systémy vysokých budov

- **tubusový (trubkový) systém**

- tuhá trojrozměrná konstrukce zajišťuje spolupůsobení celé budovy pro přenesení momentových účinků od zatížení
- tubus může zahrnovat smykové stěny, sloupy, nosníky
- všechny prvky jsou spojené tak, aby působily jako jeden celek
- hlavním rysem tubusu jsou hustě rozmístěné obvodové sloupy propojené vysokými příhradovými nosníky, které tvoří nosnou konstrukci budov a zajišťují odolnost vůči vodorovnému zatížení

- **vícetubusový systém**

- existují různá uspořádání tubusových konstrukcí: pravoúhlé rámové, příhradové, tuhé jádrové stěnové tubusy, tubus v tubusu či svazek tubusů



*Dewitt Chestnut Apartment (Chicago) – příklad rámového tubusového systému*

## Konstrukční systémy vysokých budov



*Centrum Onterie (Chicago) – příklad příhradového tubusového systému*



*Hancock Centre (Chicago) – příklad příhradového tubusového systému*



*Sears Tower (Chicago) – příklad systému svazku tubusů*



# 4. Ocelové konstrukce – vysoké budovy

Obsah přednášky:

1. Historie
2. Nejvyšší konstrukce
3. Zvláštnosti navrhování
4. Shrnutí

## 2. Nejvyšší konstrukce

### Žebříček výšek podle:

- architektonického vrcholu budovy – bez antény (uvedeno v tabulce, stav k 03/2024)
- nejvyššího bodu budovy – včetně antény (uvedeno v tabulce, stav k 03/2024)

1.	Burj Khalifa	Dubai	828 m	830 m	2010
2.	Merdeka 118	Kuala Lumpur	679 m	680 m	2023
3.	Shanghai Tower	Shanghai	632 m	632 m	2015
4.	Makkah Royal Clock Tower	Mecca	601 m	601 m	2012
5.	Ping An Finance Center	Shenzhen	599 m	599 m	2017
6.	Lotte World Tower	Seoul	555 m	556 m	2017
7.	One World Trade Center	New York City	541 m	546 m	2014
8.	Guangzhou CTF Finance Centre	Guangzhou	530 m	530 m	2016
9.	Tianjin CTF Finance Centre	Tianjin	530 m	530 m	2019
10.	CITIC Tower	Beijing	528 m	528 m	2018
11.	Taipei 101	Taipei	508 m	508 m	2004

Poznámka: architektonický vrchol budovy – zahrnuje věže na vrcholu budovy, avšak nezahrnuje antény, nápisy, stožáry nebo jiná funkčně-technická zařízení.

## 1. Burj Khalifa (Dubai, Spojené arabské emiráty)

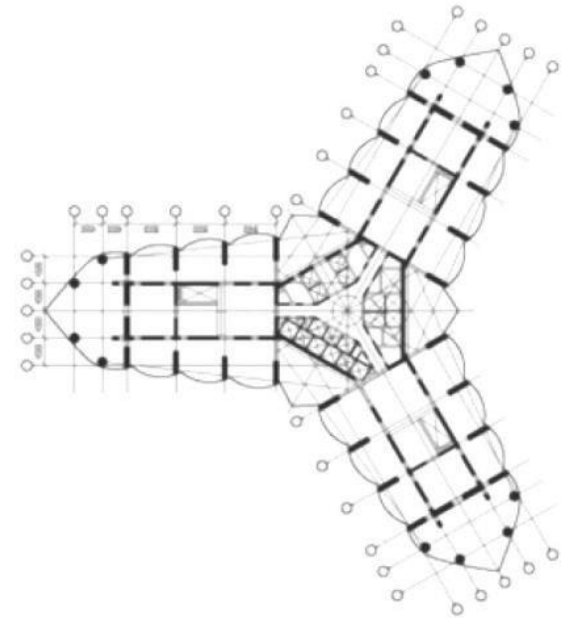


- výška: 828 m (architektonický vrchol budovy)  
830 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2010
  - architekt: Adrian Smith  
(Skidmore, Owings & Merrill)
  - hlavní inženýr: W. F. Baker
  - stavba: Samsung C&T Corporation; Arabtec;  
Besix
- 
- 163 podlaží, třípodlažní výtahy
  - vysokopevnostní beton C65
  - špička ocelová
  - maximální vodorovný průhyb 1,5 m
  - fasáda: reflexní sklo, nerez, hliník



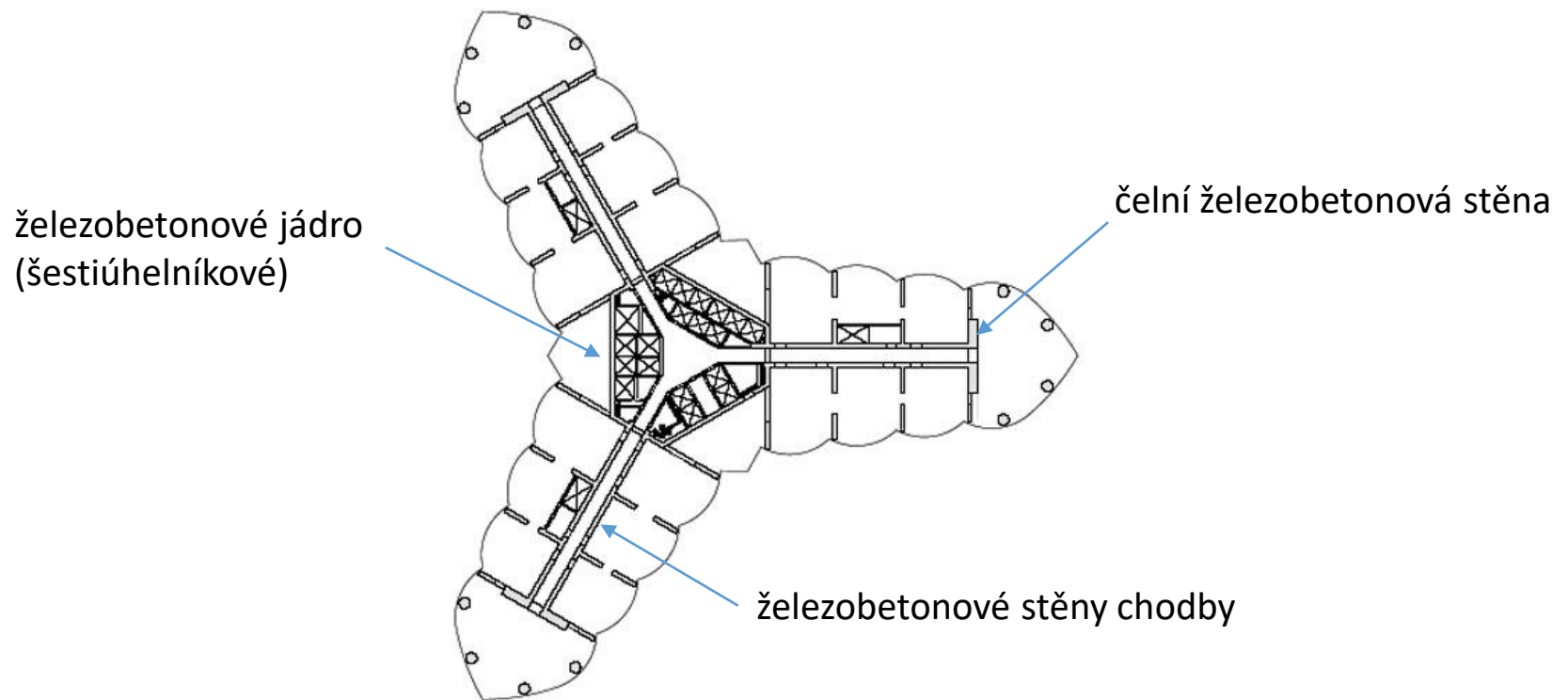
## 1. Burj Khalifa (Dubai, Spojené arabské emiráty)

- žebrový nosný systém (buttressed core), se 3 žebry podpírajícími vodorovně šestiúhelníkové jádro



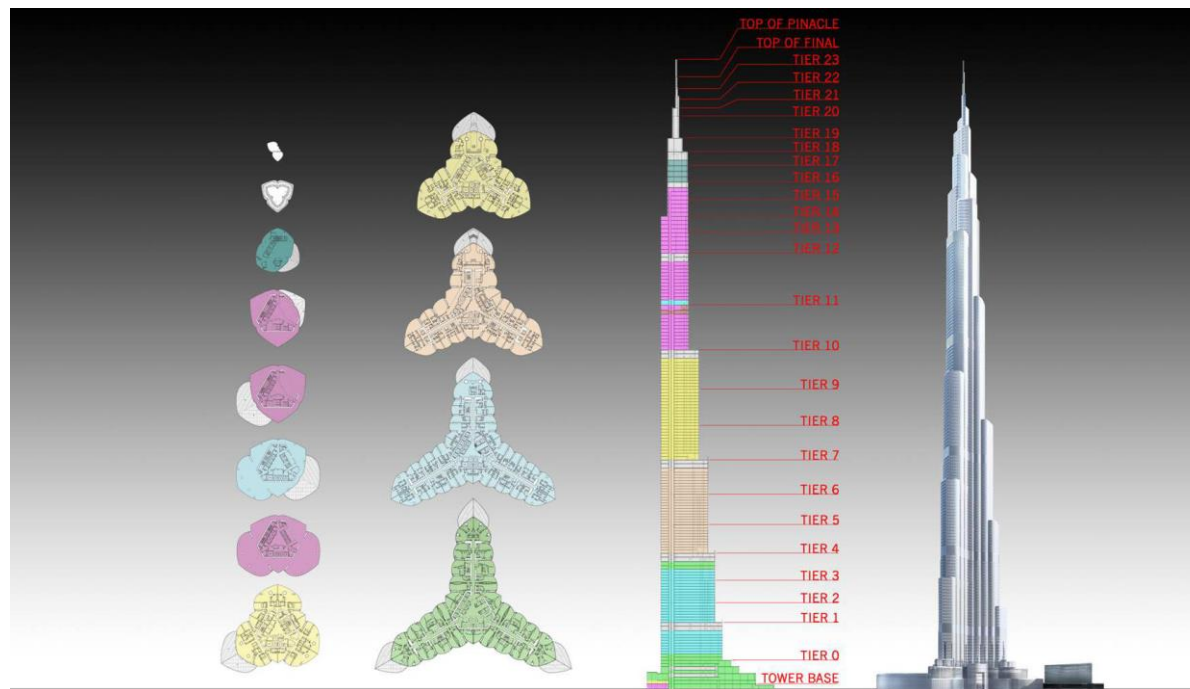
## 1. Burj Khalifa (Dubai, Spojené arabské emiráty)

- jádro, stěny a obvodové sloupy ztužené deskami stropů
- čelní stěny a chodby přenášejí momenty a smyk od větru
- kroucení od větru přenáší železobetonové jádro (šestiúhelník)



## 1. Burj Khalifa (Dubai, Spojené arabské emiráty)

- založení na desce tloušťky 3,7 m a 194 pilotách Ø 1,5 m, délky 43 m
- beton do výšky 586 m, výše ocel
- výstup do 768 m
- výborné výsledky pro účinek větru podle měření ve větrném tunelu → nejsou zapotřebí tlumiče
- špice délky 200 m smontována uvnitř a vcelku vysunuta do 830 m



řezy budovou

## 1. Burj Khalifa (Dubai, Spojené arabské emiráty)



průběh výstavby

## 2. Merdeka (Kuala Lumpur, Malajsie)

- výška: 679 m (architektonický vrchol budovy)  
680 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2023
  - architekt: Fender Katsalidis Architects
  - konstrukce: Leslie E. Robertson Associates;  
Robert Bird Group
  - stavba: Samsung C&T Corporation
- 
- 118 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem





## 2. Merdeka (Kuala Lumpur, Malajsie)



### 3. Shanghai Tower (Shanghai, Čína)

- výška: 632 m (architektonický vrchol budovy)  
632 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2015
  - architekt: Jun Xia (M. A. Gensler, Inc.)
  - konstrukce: Thornton Tomasetti Eng. Group
  - stavba: Shanghai Construction Group
- 
- 128 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - skládá se z 9 válcových objektů
  - dvojitá prosklená fasáda (mezi nimi je prostor pro návštěvníky), vnější je zkroucená ke snížení účinků větru
  - 106 výtahů (rychlost až 20,5 m/s – nejrychlejší na světě)
  - u vrcholu větrné turbíny k výrobě el. proudu



### 3. Shanghai Tower (Shanghai, Čína)



průběh výstavby



noční osvětlení

### 3. Shanghai Tower (Shanghai, Čína)



dvojitá prosklená fasáda



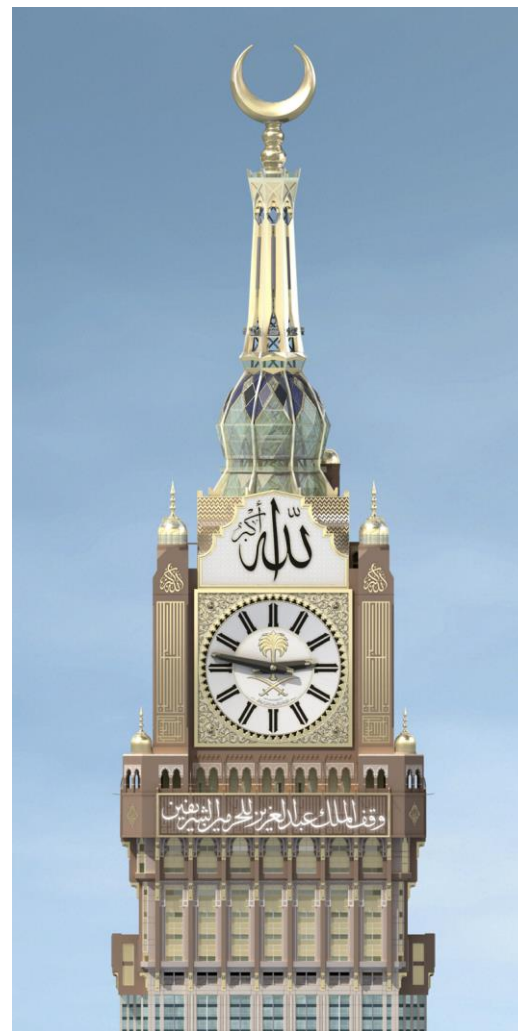
dvojitá prosklená fasáda

## 4. Makkah Royal Clock Tower (Mecca, Saudská Arabie)

- výška: 601 m (architektonický vrchol budovy)  
601 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2012
  - architekt: Dar al-Handasah Shair & Partners
  - konstrukce: Dar al-Handasah Shair & Partners
  - stavba: Saudi Bin Laden Group
- 
- 120 podlaží
  - spřažená ocelobetonová konstrukce
  - 96 výtahů
  - ubytování pro 100 000 poutníků
  - hodiny 43x43 m (minutová ručička 22 m)
  - 2 velké požáry během stavby (2008, 2009)



## 4. Makkah Royal Clock Tower (Mecca, Saudská Arabie)



hodiny 43x43 m

## 5. Ping An Finance Center (Shenzen, Čína)

- výška: 599 m (architektonický vrchol budovy)  
599 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2017
  - architekt: Kohn Pedersen Fox Associates
  - konstrukce: Thornton Tomasetti Eng. Group
  - stavba: China Construction First Group  
Construction & Development Co., Ltd.
- 
- 115 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 80 výtahů



## 5. Ping An Finance Center (Shenzen, Čína)





## 6. Lotte World Tower (Seoul, Jižní Korea)

- výška: 555 m (architektonický vrchol budovy)  
556 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2017
  - architekt: Kohn Pedersen Fox Associates
  - konstrukce: Leslie E. Robertson Associates
  - stavba: LOTTE Engineering & Construction
- 
- 123 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 58 výtahů
  - ve 118. patře prosklený ohoz (je nejvyšší na světě)
  - v 85. patře plavecký bazén



## 6. Lotte World Tower (Seoul, Jižní Korea)



## 7. One World Trade Center (New York City, USA)

- výška: 541 m (architektonický vrchol budovy)  
546 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2014
  - architekt: David Childs  
(Skidmore, Owings & Merrill)
  - projekt: WSP Group
  - stavba: Tishman Construction
- 
- 104 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 73 výtahů
  - na místě WTC1 a WTC2
  - špička ve výši 1776 stop (= rok vyhlášení deklarace nezávislosti USA)



## 7. One World Trade Center (New York City, USA)

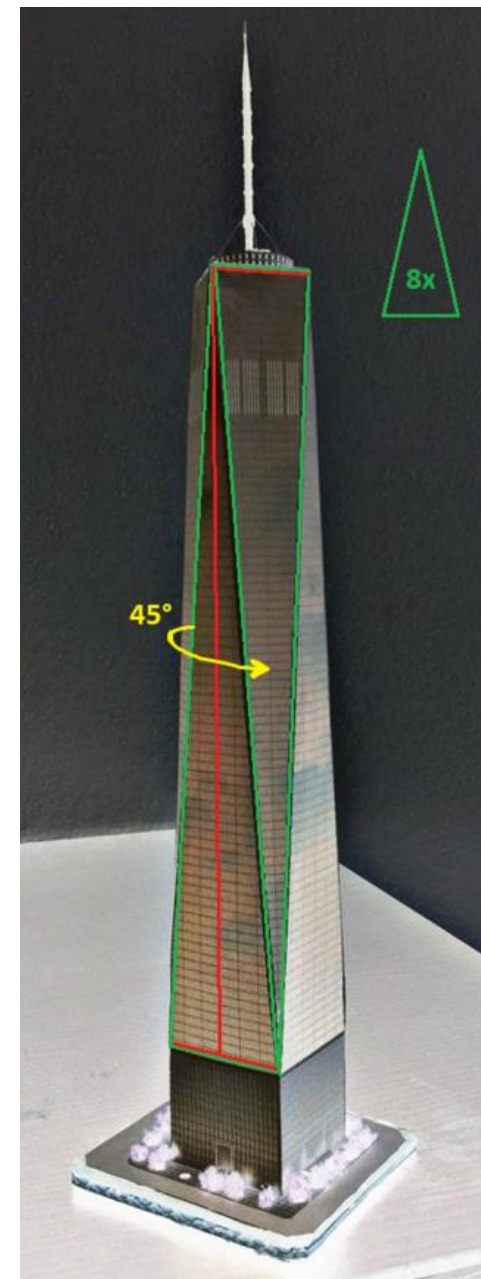


průběh výstavby



průběh výstavby

## 7. One World Trade Center (New York City, USA)



## 8. Guangzhou CTF Finance Centre (Guangzhou, Čína)

- výška: 530 m (architektonický vrchol budovy)  
530 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2016
  - architekt: Kohn Pedersen Fox Associates
  - projekt: Arup
  - stavba: China State Construction Engineering Corporation
- 
- 111 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 86 výtahů



## 8. Guangzhou CTF Finance Centre (Guangzhou, Čína)



M.M.



KK2 2023/2024

## 9. Tianjin CTF Finance Centre (Tianjin, Čína)

- výška: 530 m (architektonický vrchol budovy)  
530 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2019
  - architekt: Skidmore, Owings & Merrill
  - projekt: Skidmore, Owings & Merrill
  - stavba: China Construction Eighth Engineering Division
- 
- 97 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 80 výtahů

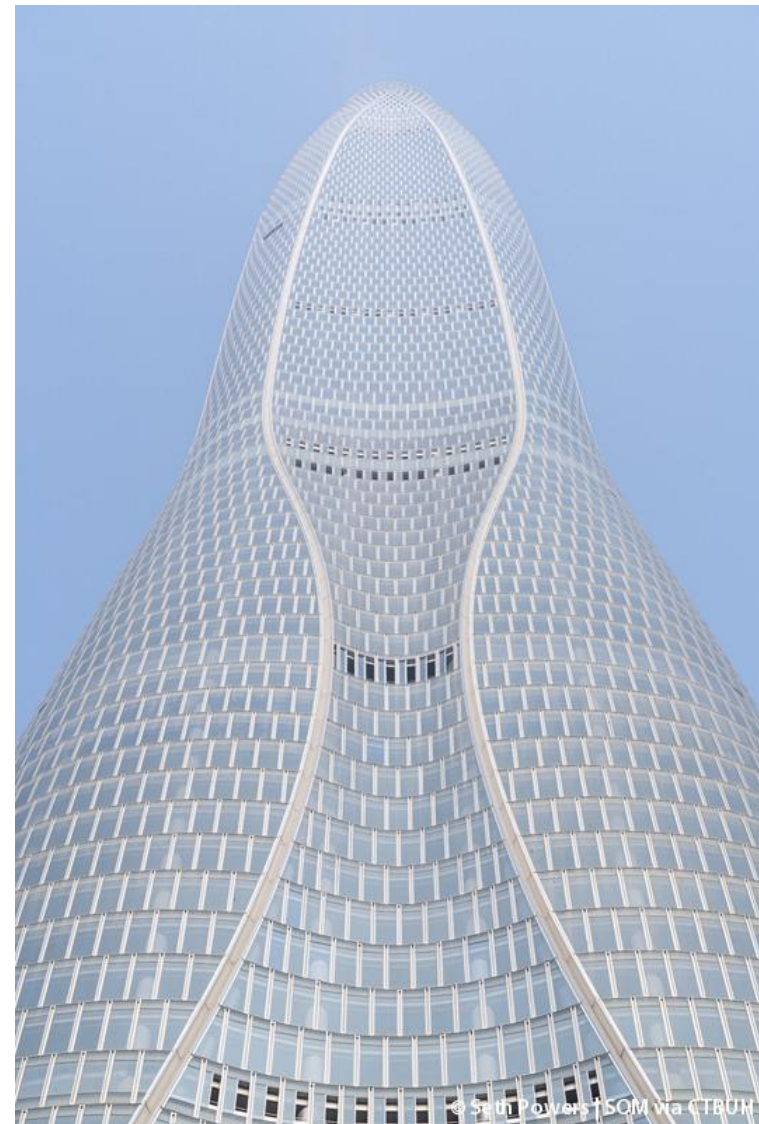




## 9. Tianjin CTF Finance Centre (Tianjin, Čína)



## 9. Tianjin CTF Finance Centre (Tianjin, Čína)



## 10. CITIC Tower (Beijing, Čína)

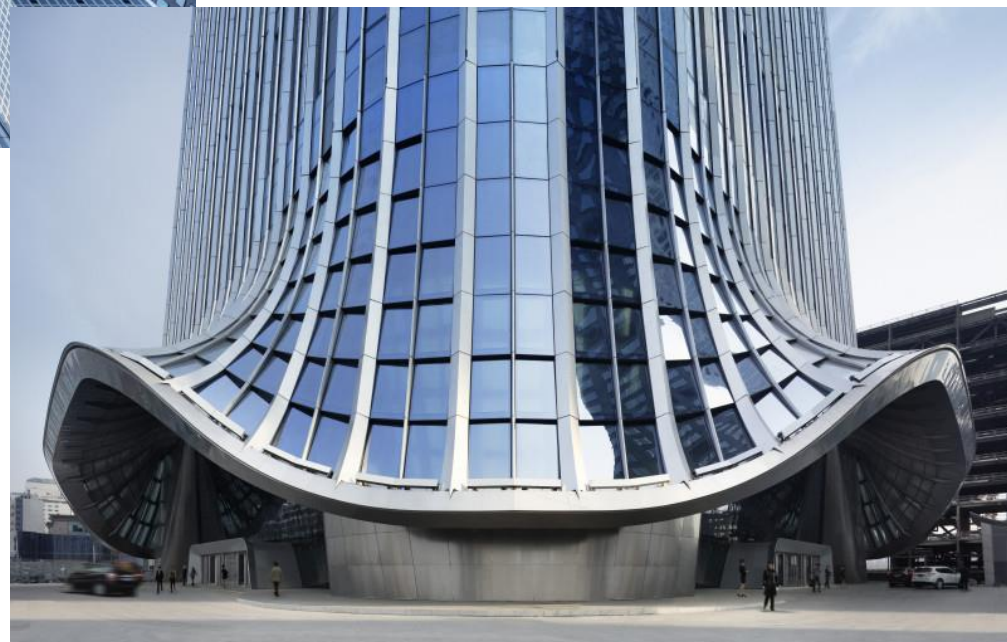
- výška: 528 m (architektonický vrchol budovy)  
528 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2018
  - architekt: Kohn Pedersen Fox Associates
  - projekt: Arup
  - stavba: China Construction Industrial & Energy Engineering Group Co.
- 
- 109 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 100 výtahů
  - tvarem se podobá přesýpacím hodinám (budova se v prostřední části zužuje z 78 m na 54 m, a následně se rozšiřuje do šířky 69 m)



## 10. CITIC Tower (Beijing, Čína)



## 10. CITIC Tower (Beijing, Čína)



## 11. Taipei 101 (Taipei, Čína)

- výška: 508 m (architektonický vrchol budovy)  
508 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2003
  - architekt: C. Y. Lee & partners
  - projekt: Evergreen Consulting Engineering,  
Thornton Tomasetti
  - stavba: Kumagai Gumi; RSEA Engineering;  
Samsung C&T Corporation
- 
- 101 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 61 výtahů
  - tvar podle bambusového výhonku
  - laděný tlumič o hmotnosti 660 t a průměru 5,5 m umístěný v úrovni 88. až 92 patra udržuje budovu ve stabilní pozici při působení tajfunů a zemětřesení



## 11. Taipei 101 (Taipei, Čína)



vestibul budovy

M.M.



laděný tlumič

KK2 2023/2024

39

## Další významné mrakodrapy

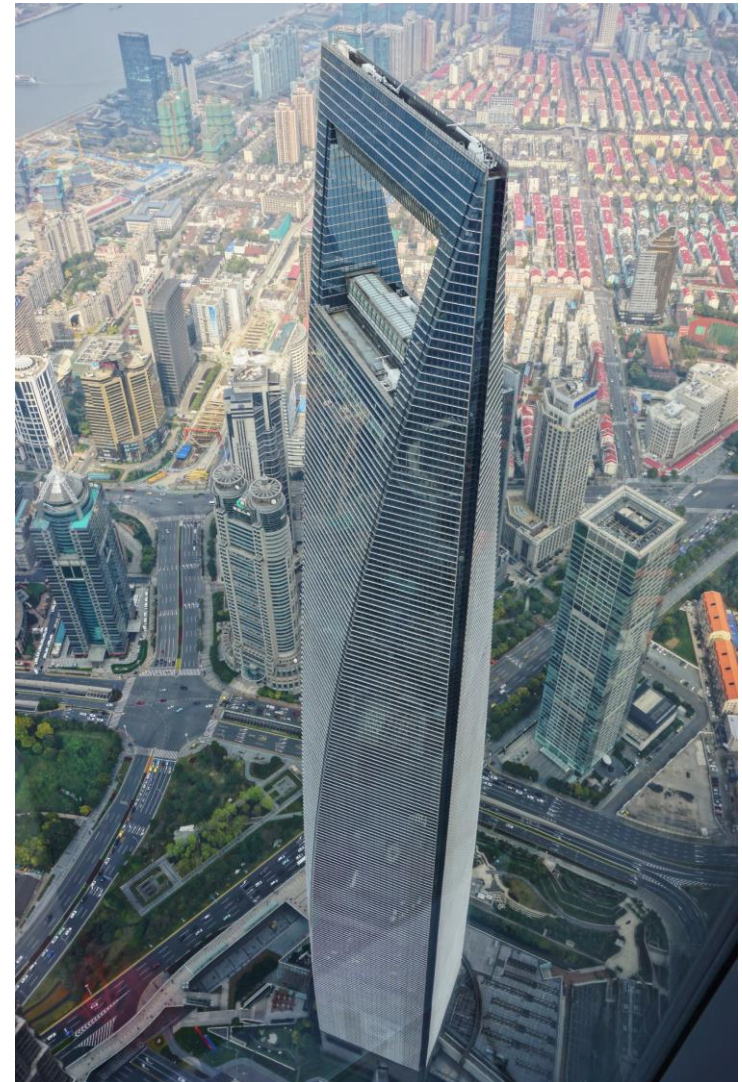
### Shanghai World Financial Center (Shanghai, Čína)

- výška: 492 m (architektonický vrchol budovy)  
494 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 2008
  - architekt: Kohn Pedersen Fox Associates
  - projekt: Leslie E. Robertson Associates
  - stavba: China State Construction Engineering Corporation
- 
- 101 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 91 výtahů
  - původně měl být kruhový otvor  $\varnothing$  46 m (význam „nebe“), ale pro podobnost se symbolem japonské vlajky změněno na obdélník
  - vyhlídka ve výšce 472 m (94. podlaží)
  - 2 laděné tlumiče pod vyhlídkou
  - po 11.9.2001 předimenzováno na náraz letadla a přidány 2 externí výtahy

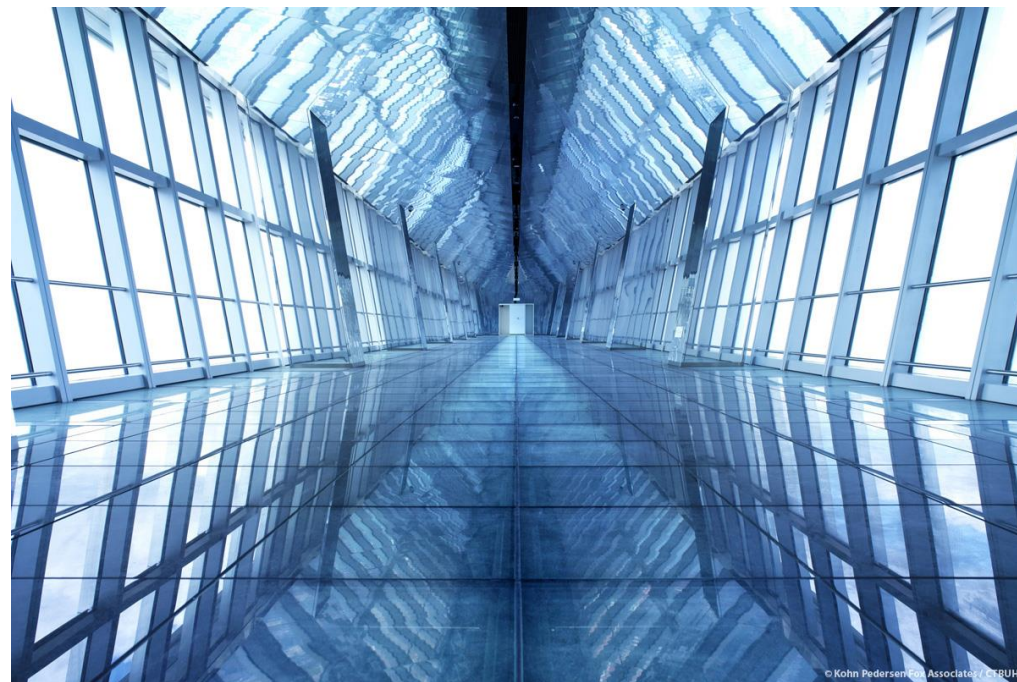




## Shanghai World Financial Center (Shanghai, Čína)



## Shanghai World Financial Center (Shanghai, Čína)



Vyhledka v 94. patře (472 m)

## Petronas Towers (Kuala Lumpur, Malajsie)

- výška: 452 m (architektonický vrchol budovy)  
452 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 1998
  - architekt: Cesar Pelli & Associates
  - projekt: Thornton Tomasetti
  - stavba: Hazama Corporation a kol.
- 
- 88 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 39 výtahů
  - 58 m dlouhý most spojující oba mrakodrapy mezi 41. a 42. poschodím (ve výšce 170 m)



## Petronas Towers (Kuala Lumpur, Malajsie)



## Petronas Towers (Kuala Lumpur, Malajsie)

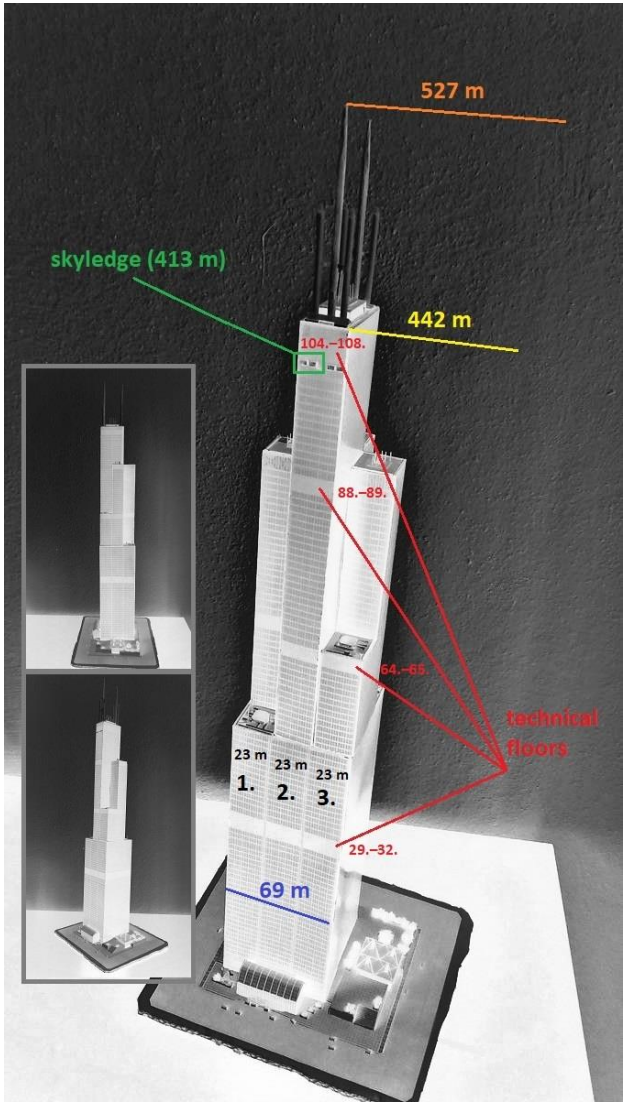


## Willis Towers (Chicago, USA)

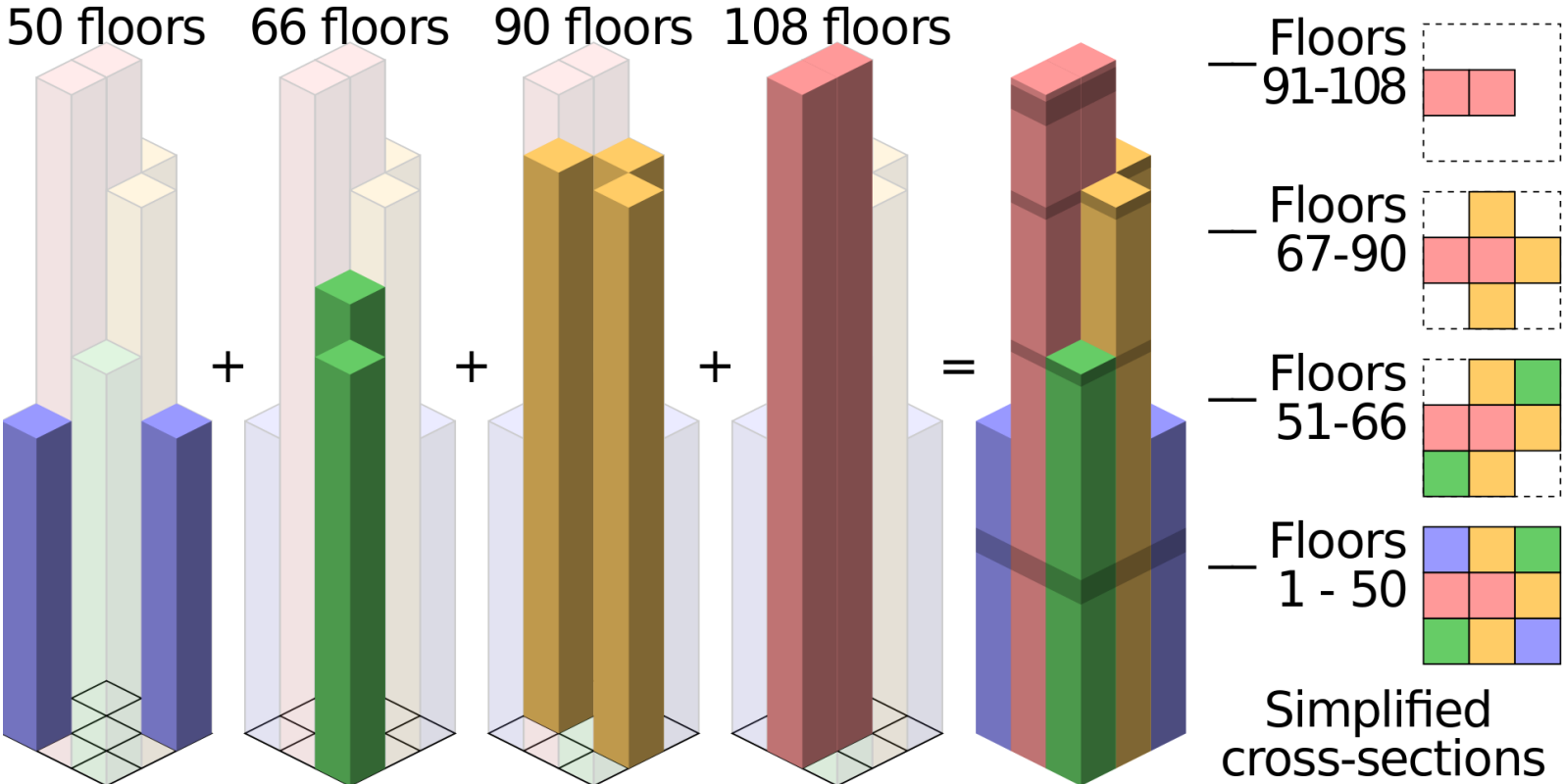
- výška: 442 m (architektonický vrchol budovy)  
527 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 1974
  - architekt: Skidmore, Owings & Merrill
  - projekt: Skidmore, Owings & Merrill
  - stavba: Morse Diesel International
- 
- 108 podlaží
  - ocelová konstrukce
  - 104 výtahů
  - svazkový trubkový nosný systém
  - 9 svazků 23x23 m, od 90. podlaží jen 2



# Willis Towers (Chicago, USA)



# Willis Towers (Chicago, USA)



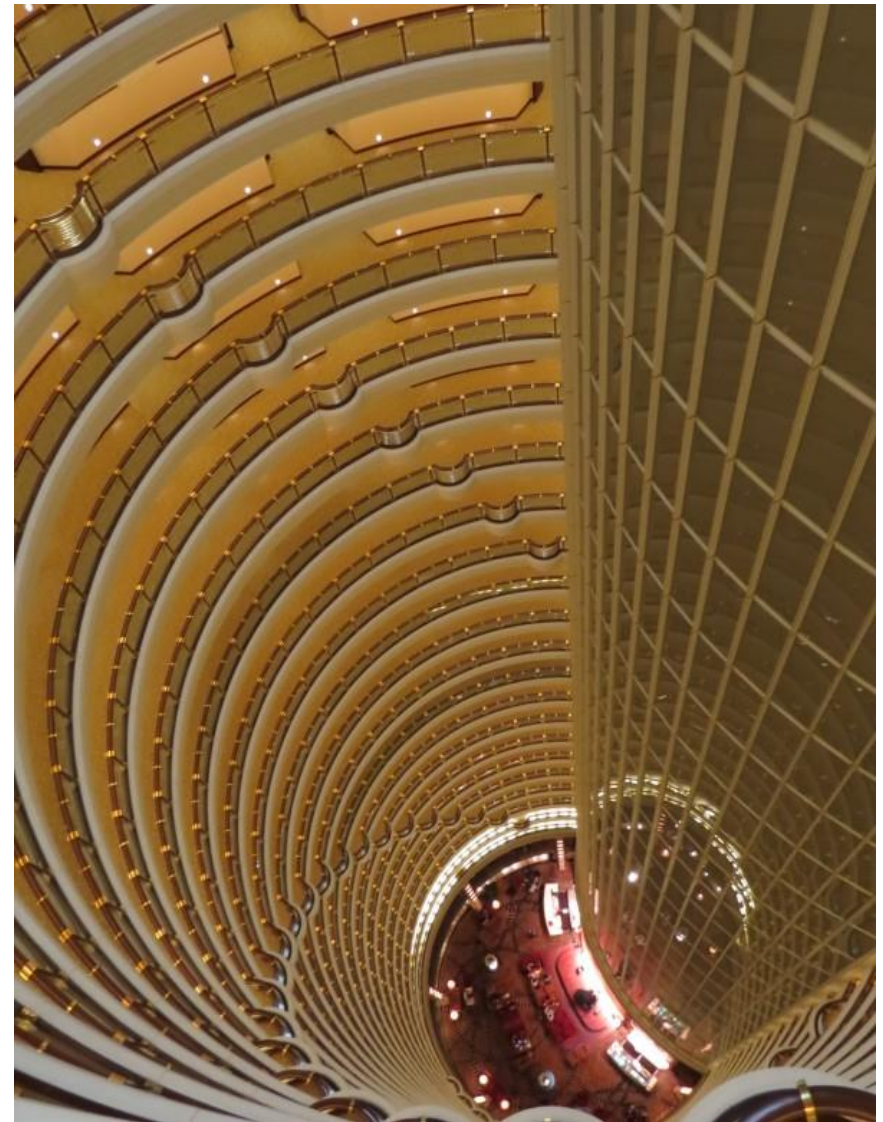


## Jin Mao Tower (Shanghai, Čína)

- výška: 421 m (architektonický vrchol budovy)  
421 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 1999
  - architekt: Skidmore, Owings & Merrill
  - projekt: Skidmore, Owings & Merrill
  - stavba: Shanghai Construction Group
- 
- 88 podlaží
  - ocelová konstrukce se ŽB jádrem
  - 8 spřažených sloupů a 8 ocelových sloupů
  - 61 výtahů
  - zrcadlo vestibulu na celou výšku budovy
  - přenese tajfuny do 200 km/h a zemětřesení do 7 ° RS



## Jin Mao Tower (Shanghai, Čína)



## Empire State Building (New York City, USA)

- výška: 381 m (architektonický vrchol budovy)  
432 m (nejvyšší bod budovy)
  - rok: 1931
  - architekt: C. Y. Lee & partners
  - projekt: Evergreen Consulting Engineering,  
Thornton Tomasetti
  - stavba: Kumagai Gumi; RSEA Engineering;  
Samsung C&T Corporation
- 
- 102 podlaží
  - ocelová konstrukce, celá nýtovaná
  - 73 výtahů
  - náraz bombardéru B25 v roce 1945



## Empire State Building (New York City, USA)



## Empire State Building (New York City, USA)



# Nejvyšší budovy v ČR

## 1. AZ Tower (Brno)

- výška: 111 m (výška střechy)
  - výška nejvyššího bodu: 116 m
  - rok: 2013
  - architekt: arch. kanc. Burian - Křivinka
- 
- 30 podlaží
  - ŽB jádro + ŽB stěny



## 2. City Tower (původně Český rozhlas, Praha Pankrác)

- výška: 109 m (výška střechy)
- výška nejvyššího bodu: 116 m
- rok: 1993
  
- 27 podlaží
- ŽB jádro + ocelový skelet
- zahájení stavby 1985
- úpravy Richard Meier (USA) 2007



### 3. City Empiria (dříve Motokov, Praha Pankrác)

- výška: 104 m
- výška nejvyššího bodu: 132 m
- rok: 1977
  
- 26 podlaží
- ŽB jádro + ocelový skelet





## 4. V Tower (Praha Pankrác)

- výška: 104 m
  - výška nejvyššího bodu: 104 m
  - rok: 2018
  - architekt: Radan Hubička
- 
- 30 podlaží
  - ŽB jádro + ŽB skelet
  - nejvyšší bytový dům v ČR



# 4. Ocelové konstrukce – vysoké budovy

Obsah přednášky:

1. Historie
2. Nejvyšší konstrukce
3. Zvláštnosti navrhování
4. Shrnutí

## 3. Specifika navrhování vysokých budov



### Zatížení působící na patrové budovy obecně:

- zatížení : stálé, proměnné, mimořádné
  - svislé: stálé, užité na stropy a střechy, sníh
  - vodorovné: vítr, imperfekce soustavy, seismické účinky

#### a) Patrové budovy

- cca do 30 pater – dominuje svislé zatížení

#### b) Vysoké budovy

- dominují vodorovné síly a průhyby

### Oproti běžným budovám je u vysokých budov navíc nutné zohlednit a posoudit:

- dynamické účinky větru
  - kmitání ve směru větru a kolmo
  - posouzení výpočtem, model budovy ve větrném tunelu
- účinky zemětřesení
- deformace od zatížení větrem (vodorovný posun ve vrcholu budovy)
- interakce konstrukce budovy s podlažím (tj. aby se budova „nepřevrátila“)

## Tlumení kmitání ocelových konstrukcí



- cíl: - snížit vnitřní síly od kmitání (kmitání od větru, dopravy, zemětřesení, ...)  
- snížit zrychlení konstrukce na požadovanou hodnotu
- jak utlumit kmitání ocelové konstrukce?
  - 1. tlumení přirozené (vlastní konstrukcí)
  - 2. pomocí tlumičů, které do konstrukce vložíme (rozlišujeme tlumiče pasivní a aktivní)





# 4. Ocelové konstrukce – vysoké budovy

Obsah přednášky:

1. Historie
2. Nejvyšší konstrukce
3. Zvláštnosti navrhování
4. Shrnutí

## 4. Shrnutí

- nejvyšší budova na světě
- nejvyšší budova v ČR
- zvláštnosti navrhování vysokých budov

## Zdroje:

- Studnička, J.: Navrhování nosných konstrukcí. Ocelové konstrukce. ČVUT 2017.
- Macháček, J.: Přednášky NNK, ČVUT 2018.
- Wald, F.: Přednášky NNK, ČVUT 2018.
- <https://www.skyscrapercenter.com/>
- <http://www.caok.cz/>



# KOVOVÉ A DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE 2

Příští přednáška:

1. Ocelové konstrukce - halové stavby
2. Ocelové konstrukce - haly velkých rozpětí
3. Ocelové konstrukce - patrové budovy
4. Ocelové konstrukce - vysoké budovy
5. **Ocelové konstrukce - ocelové a ocelobetonové mosty, lávky**
6. Ocelové konstrukce - předběžný návrh prvků ocelových nosných konstrukcí
7. Dřevěné konstrukce - úvod, historie DK, vlastnosti dřeva, dřevo a výrobky na bázi dřeva
8. Dřevěné konstrukce - navrhování - tah, tlak, ohyb, smyk, průhyb; zatížení
9. Dřevěné konstrukce - spoje, ochrana proti znehodnocení a požáru
10. Dřevěné konstrukce - rovinné a prostorové dřevěné konstrukce, patrové budovy, haly
11. Dřevěné konstrukce - historie, krovy, stropy, zesilování
12. Dřevěné konstrukce - předběžný návrh prvků dřevěných nosných konstrukcí

**DĚKUJI ZA POZORNOST**