

11. Vysoké budovy. Návrh na zemětřesení.

Historie, nejvyšší konstrukce, typy ztužení.

Trubkové konstrukce.

Zvláštnosti navrhování: dynamické účinky větru, účinky 2. řádu, vliv zkrácení prutů.

Účinky zemětřesení, tlumení kmitání.

Starověk: hliněné cihly + dřevěné stropy (až 4 patra)

Římani: cihly + dřevo (až 10 pater)

Gaius Julius Caesar Octavianus (27 BC - 14 AD):
nařídil max. výšku budov do 21 m (z důvodu požáru)

Středověk: cihla, kámen, dřevo, vyzdívané dřevo, litina, ocel

1784 Angličan H. Cort - svářková ocel

1855 Angličan H. Bessemer - plávková ocel

SKELETY

Dřevěné, později ocel: N.Y. 1854: 6 pater (svářek)

Problémy: nosnost skeletu, výtahy, instalace, stěny, požár

Výtahy: parní 1857 N.Y. (Otis)
hydraulické 1870 (Eiffelova věž)
elektrické 1890 (Otis)

Vývoj vysokých budov

1885 Chicago

- pojišťovna 10 pater

sloupy z litiny, stropy: do 6 patra svářek, další 4 patra plávková ocel

"Chicagská škola" - komerční styl: ploché střechy, sloupy ve fasádě atd.

Po roce 1900:

období "věžových mrakodrapů" (New York)



Chrysler B. Empire State B.

N.Y. 1898 118 m

N.Y. 1908 187 m (Singer Building, 47 p.)

N.Y. 1913 241 m (Woolworth Building, 57 p.)

Soutěže: Chrysler : pův. projekt 282 m, z prestižních důvodů ⇒ 319 m
(konkurent N.Y. Bank 283 m), dokončeno 1930

N.Y. 1931 381 m (Empire State Building, 102 p.: styl Art Deco,
(kombinuje modernizmus, řemeslné dovednosti, drahé materiály)

Po roce 1970:

období „modernizmu" (Chicago, N.Y.)

1972 († 2001) W.T.C. 412 m, 110 p.

1974 Sears Tower 443 m, 110 p.

Současnost:

**ocelobeton, megakonstrukce, Taipei 101 (449 m),
vysokopevnostní beton + ocel, Burj Khalifa Dubai (828 m).**

Vysoké budovy

Žebříčky výšek podle:

- střechy (níže uvedeno, podstatné, stav 1/2018)
- nejvyššího bodu budovy (anténa, uvedeno v závorce)
- nástavby (věžičky, neuváděno)

1. Burj Khalifa (Dubai)	828 (830) m	2010
2. Shanghai Tower	632 (632) m	2015
3. Ping An Finance Centre (Shenzhen)	555 (599) m	2017
4. Lotte World Tower (Seoul)	555 (556) m	2017
5. Abraj Al-Bait Towers (Mecca)	530 (601) m	2012
6. Guangzhou CTF Finance Centre	530 (530) m	2016
7. Tianjin CTF Finance Centre	530 (530) m	2017
8. Shanghai World Finance Center	487 (492) m	2008
9. Int. Commerce Centre (H.K.)	484 (484) m	2009
10. Changsha IFS Tower T1	452 (452) m	2017

1. Burj Khalifa (SAE)



Výška: 828 (830) m

Rok: 2009

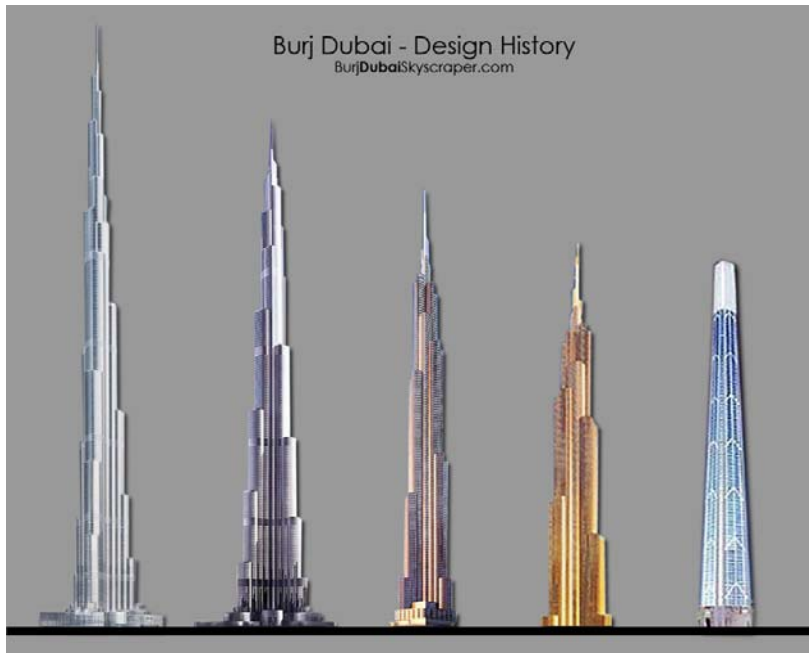
**arch.: Adrian Smith
(Skidmore, Owings and Merrill)**

hlavní inženýr: W. F. Baker

- 163 podlaží, třípodlažní výtahy,
- vysokopevnostní beton cca C65, modul pružnosti $E = 43800$ MPa,
- horní část a špice ocelová,
- max. vodorovný průhyb 1,5 m,
- fasáda: reflexní sklo, nerez, hliník, (24348 panelů),
- svislost měřena GPS,
- uvedení do provozu: leden 2010.

Burj Khalifa (SAE)

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



vývoj tvaru



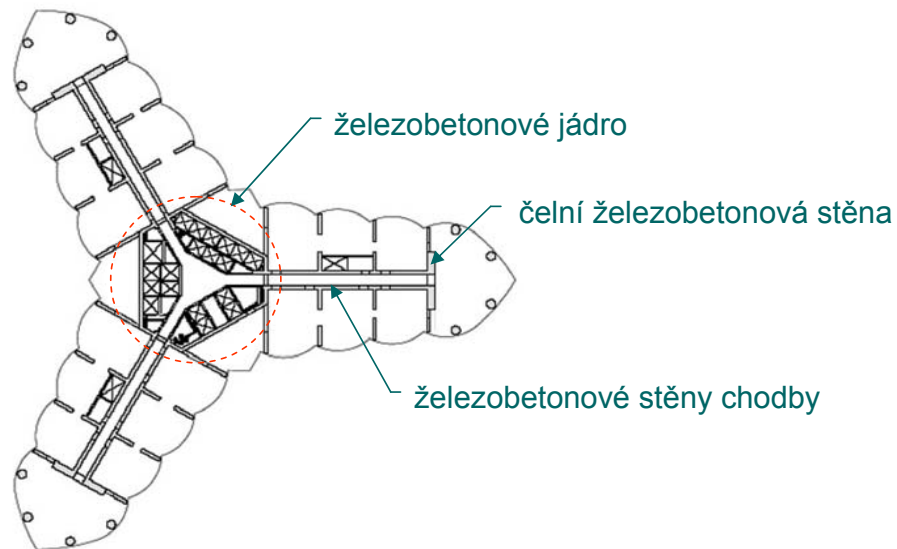
v lednu 2009 dosaženo 828 m

OK01 – Ocelové konstrukce (11)

5

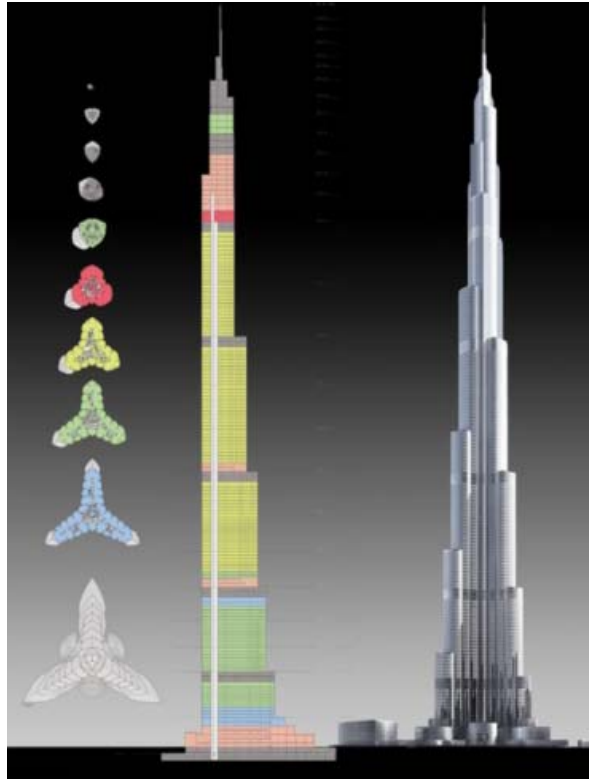
Přenos účinků:

- jádro, stěny a obvodové sloupy ztužené deskami stropů – svislé zatížení,
- čelní stěny a chodby přenášejí momenty a smyk od větru,
- kroucení od větru: železobetonové jádro (šestiúhelník),
- patrové pásy ztužení v technických podlažích propojují jednotlivé prvky k zapojení do přenosu svislých i vodorovných sil.



Statická a dynamická analýza: 3D softwarem ETABS (SAP).

Burj Khalifa (SAE)



řezy

- založení na desce tloušťky 3,7 m a 194 pilotách \varnothing 1,5 m, dl. 43 m, z betonu cca C50, sednutí 75 mm,
- beton do výšky 586 m, výše ocel,
- výstup do 768 m,
- křídla ustupují → výborné výsledky pro účinek větru podle měření ve větrném tunelu v Ontariu, → tlumiče nejsou zapotřebí,
- trubková špice délky 136 m, tl. 55 mm (350 t) smontována uvnitř vcelku a vysunuta do 830 m.



průběh výstavby

2. Shanghai Tower



**oblast Pudong, Shanghai
(též Jin Mao Tower, Shanghai WFC)**

Výška: 575 (632) m

Rok: 2015

Arch.: Jun Xia, (M. A. Gensler, Inc.)

Konstrukce: Thornton Tomasetti Eng. Group

Stavba: Shanghai Construction Group

- hotel, muzeum,
- ocelová konstrukce se žb jádrem,
- 128 podlaží,
- skládá se z 9 válcových objektů na sobě, má dvojitou prosklenou fasádu (mezi nimi je prostor pro návštěvníky), vnější je zkroucena ke snížení účinků větru o 24 %,
- 106 výtahů (3 s rychlostí 18 m/s, nejrychlejší na světě),
- u vrcholu větrné turbíny k výrobě el. proudu, využívá též geotermální energii.

3. Ping An Finance Centre (Shenzhen)



Návrh 2008, stavba 2010-17

Výška: 555 (559) m

Rok: 2017

Konstrukce: Thornton Tomasetti

Arch.: Kohn Pedersen Fox Associates

Stavba: China Construction First Building Group.

- žb. jádro a obvodové spřažené megaloupy, ocelová navěšená konstrukce,
- 115 nadzemních a 4 podzemní podlaží,
- horní dvě patra jsou vyhlídková,
- nerezová fasáda (1700 t nerezové oceli),
- plánovaná anténa (60 m) nebyla umístěna, aby neohrozila leteckou dopravu.

4. Lotte World Tower (Seoul)



Výška: 555 (556) m

Rok: 2017

Konstrukce: Leslie E. Robertson Associates

Arch.: Kohn Pedersen Fox

Stavba: Lotte Engineering & Construction.

- štíhlý, kónický tvar se skleněnou fasádou,
- žb. jádro a ocelová navěšená konstrukce,
- 123 nadzemních a 6 podzemních podlaží,
- návrh na zemětřesení 9° RS a vítr 80 m/s.

Návrh 1997, stavba 2011-17

5. Abraj Al-Bait Towers (Saudská Arabie) (Makkah Royal Clock Tower Hotel)



Návrh 2002, stavba 2004-12

Výška: 530 (601) m

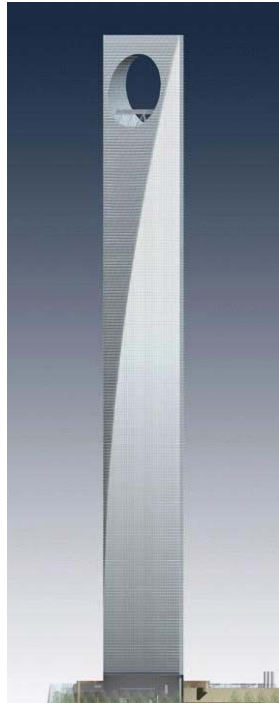
Rok: 2012

Arch.: Dar Al-Handasah Architect

Stavba: Saudi Binladin Group.

- spřažená ocelobetonová konstrukce,
- 120 podlaží,
- shromažďovací místnost pro 10 000 poutníků,
- ubytování pro 100 000 poutníků,
- hodiny 43x43 m (minutová „ručička“ 22 m),
- 2 velké požáry během stavby (2008, 2009).

Další významné mrakodrapy:



Návrh 1997



**Návrh 2005
a realizace**

Shanghai WFC (Čína)

Výška: 487 (492) m

Rok: 2008 (otevření 30.8.2008)

**Arch.: Kohn Pedersen Fox
(Skidmore, Owings and Merrill)**

- 101 podlaží,
- původně kruhový otvor \varnothing 46 m (význam „nebe“, ale pro podobnost se symbolem jap. vlajky změněno na obdélník,
- vyhlídka na 472 m (94. podlaží),
- 2 laděné tlumiče pod vyhlídkou,
- po 11.9.2001 předimenzováno na náraz letadla, a přidány 2 externí výtahy.

Shanghai WFC (Čína), fota ze stavby



2007 - požár od svařování



OK01 – Ocelové konstrukce (11)

13



International Commerce C. (Hong Kong)

Výška: 484 (484) m

Rok: 2009

Arch.: Wong & Ouyang (HK),

Kohn Pedersen Fox Associates

Projekt: Arup

- překrývá nádraží ve čtvrti Kowloon,
- 108 podlaží,
- ocelový skelet se ž.b. jádrem.



Taipei 101 (Taiwan)

Výška: 449 (509) m

Rok: 2003

Arch.: C. Y. Lee & partners

- tvar podle bambusového výhonku,
- využívá hojně „šťastné číslo 8“,
- 101 podlaží,
- laděný tlumič 660 t,
- výtahy 1000 m/min,
- 2002 bez újmy přežila zemětřesení 6,8° RS.

Taipei 101

Pohled s vyhlídkové plošiny



vestibul budovy



OK01 – Ocelové konstrukce (11)

16



Willis Tower (dříve Sears Tower) (USA, Chicago)

Výška: 442 (527) m

Rok: 1974

Arch.: Skidmore, Owings and Merrill

- 108 podlaží,
- „svazkový“ trubkový nosný systém,
- 9 "svazků" 23 x 23 [m], od 90. podlaží jen dva,
- plechy sloupů až 609x102 [mm].



Kingkey 100 (Čína, Shenzhen)

Výška: 442 (442) m

Rok: 2011

Arch.: Terry Farrell and Partners

Projekt: Arup

- 100 podlaží,
- vyhlídka ve 427 m.

Během výstavby:



OK01 – Ocelové konstrukce (11)

18



Guangzhou International F. C.

Jižní Čína, 120 km od Hong Kongu

Výška: 438 (439) m

Rok: 2006-2010

Arch.: Wilkinson Eyre

(např. též Gateshead Millennium Bridge,
Newcastle)

- trubkový mřížový systém,
- 103 podlaží,
- vyhlídková plošina ve 100. patře.



One World Trade Center (N. Y.)

Výška: 417 (541) m

Rok: 2014

Arch.: D. Childs (Skidmore, Owings & Merrill)

Projekt: WSP Cantor Seinuk (kanadská firma)

- na místě WTC1 a 2,
- 104 podlaží,
- vítězný návrh D. Libeskind „Freedom Tower“ (2002) změněn,
- špička ve výši 1776 stop (= rok vyhlášení Declaration of Independence USA),



International Finance Centre (Hong Kong)

Výška: 407 (412) m

Rok: 2003

**Arch.: Rocco Design Ltd. ,
César Pelli (např. též WTC, One Canada
Square v Londýně, Petronas Towers ...)**

- 88 podlaží (vše se „šťastnou 8“),
- „nešťastná čísla“ se 4 vynechána (např. 14, 24 ...).



Empire State Building (USA, New York)

Výška: 381 (448) m

Rok: 1931

Arch.: Sherve, Lamb & Harmon

- 102 podlaží,
- celá nýtovaná, styl art deco,
- náraz bombardéru B25 v roce 1945.

OK01 – Ocelové konstrukce (11)

22



Nanjing Greenland Financial Center (Čína)

(na dolním toku Yangtze River)

Výška: 381 (450) m

Rok: 2005-2010

Arch.: Adrian Smith + Gordon Gill Arch.

(též Burj Khalifa, Jin Mao center)

Projekt: Skidmore, Owings and Merrill

- 89 podlaží.



Petronas Towers (Malajsie)

Výška: 379 (452) m

Rok: 1998

**Arch.: César Pelli (např. též WTC,
One Canada Square v Londýně,
Petronas Towers, Two Intern. Fin.
Centre ...)**

- 88 podlaží,
- 2 x Ø 46 m + 2 x Ø 23 m, jádro 23x23 [m],
- železobetonové megasloupy, beton C80.



Jin Mao Building (Čína)

**Výška: 370 (421) m,
Shanghai (Pudong)**

Rok: 1998

Projekt: Skidmore, Owings and Merrill

- 88 podlaží (8 jako šťastné číslo),
- 8 spřažených megaloupů a 8 ocelových sloupů,
- zrcadlo vestibulu na celou výšku budovy,
- přenesl tajfuny do 200 km/h a zemětřesení do 7° RS.



Tuntex Building (Taiwan) (Kaohsiung, jižní část Taiwanu)

Výška: 348 (378) m

Rok: 1998

Arch.: C. Y. Lee (též Taipei 101)

- 85 podlaží.

Návštěva rektora ČVUT na univerzitě Kaohsiung





Aon Center (USA) (Amoco, Standard Oil)

Výška: 346 m

Rok: 1973

Arch.: Edward Durell Stone

- 83 podlaží.

OK01 – Ocelové konstrukce (11)

27



John Hancock Center (USA)

Výška: 343 m

Rok: 1969

Arch.: I. M. Pei & Partners

- 100 podlaží,
- trubkový systém (megakonstrukce).

BUDOVY VE STAVBĚ (stav 1/2018)

	podlaží	výška [m]	stavba
• Kingdom Tower (Jeddah, Saudi A.)	167	1000 (1000)	2013-20
• Rama IX Super Tower (Bangkok)	125	615	2017-20
• Wuhan Greenland Center (Čína)	124	610 (636)	2011-19
• KL118 (Kuala Lumpur)	118	630	2014-20

VIZE (jen realistické)

• India Tower (zahájeno 2010, pozastaveno)	126	(718)	2010-?
• Sky City (Changsha, Čína) , pozastaveno	202	(838)	2013-?
• Nakheel Tower (Dubai)	228	(1400)	úvahy

NEJVYŠŠÍ BUDOVY V ČR

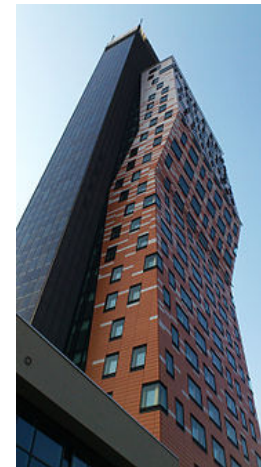


City Tower
(původně Český rozhlas, Praha Pankrác)
Výška: 108,5 m (bez nástavce)

- 24 podlaží (žb. jádro + ocelový skelet),
- zahájení stavby před 1990,
- úpravy Richard Meier (USA),
- rok: 2007.

AZ Tower
(Brno)
Výška: 111 m (ale nástavec 11 m)

- arch. Burian – Křivinka
- 30 podlaží (žb. jádro + žb stěny),
- rok: 2013.



OK01 – Ocelové konstrukce (11)

30



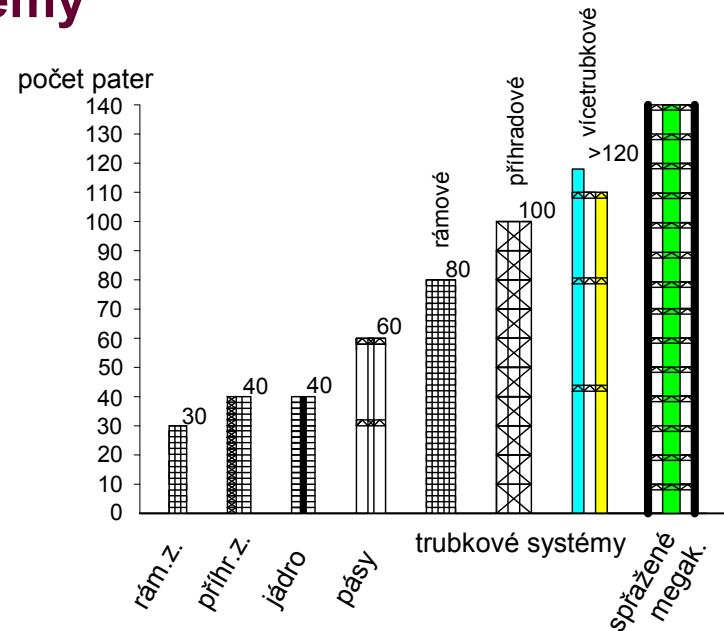
City Empiria (Motokov, Praha Pankrác)

Výška: 103,5 m

- 26 podlaží (žb. jádro + ocelový skelet),
- rok: 1977.

Konstrukční systémy

Fazlur Khan
(1930-1982)



Trend: ocel ⇒ ocelobeton ⇒ vysokopevnostní beton ⇒ kombinace

1992 Bank of China H.K., 309 m

1997 Petronas Tower, 387 m

1998 Jin Mao B., 371 m

2003 Taipei 101, 448 m

⇒ 4 spřažené megaloupy;

⇒ ž.b. megaloupy, beton 80 MPa;

⇒ 8 spřažené megaloupy + ž.b. jádro;

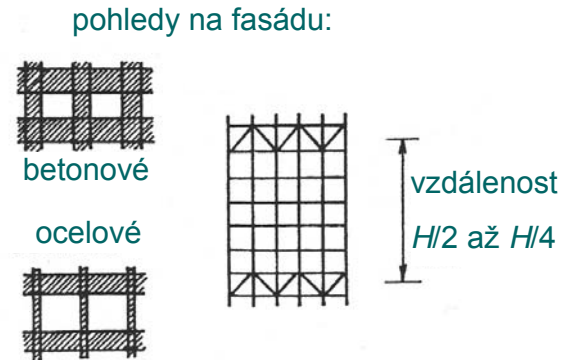
⇒ 8 spřažených megaloupů + jádro 16 spř. sl.

Trubkové systémy

(vodorovnou tuhost vytváří obvodová konstrukce!)

a. Rámové

- skořepinové (< 30 % otvorů) - vesměs betonové:
- s vysokými vodorovnými nosníky (např. Londýn, Canary Warf ≈ 1 m, sloupy po 1-3 m):
- též s patrovými příhradovými pásy (po $H/4$ až $H/2$):



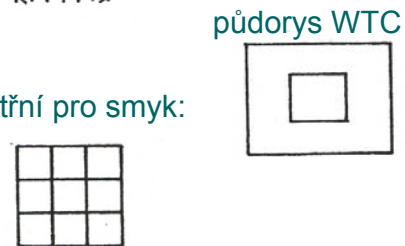
b. Příhradové

- mřížové (např. Alcoa Building San Francisco):
- s megakonstrukcí (např. John Hancock):

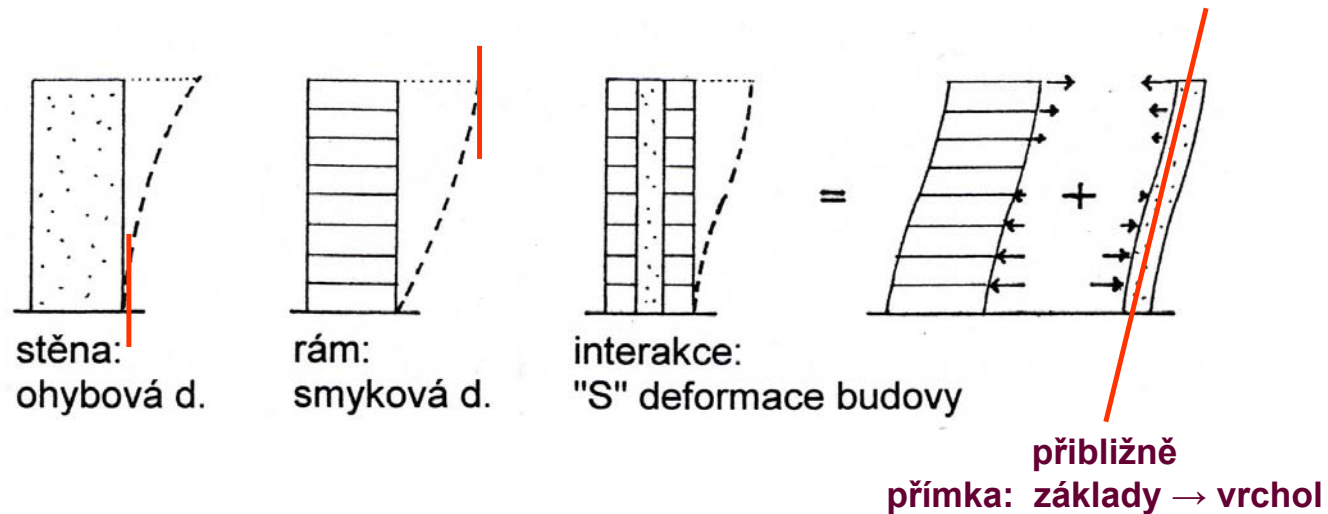


c. Vícetrubkové

- trubka v trubce (tube in tube), WTC - vnější pro ohyb, vnitřní pro smyk:
- svazkové (bundled tube), např. Sears Tower:



Deformace vysokých budov



Speciální systémy s patrovými pásy mají deformaci „S“, která se dá idealizovat přímkou mezi základy a vrcholem budovy.

Tento poznatek se uplatní pro dynamické výpočty a pro přibližné stanovení účinků zemětřesení.

Sears Tower (1974, výška 442 m)

77 000 t oceli

půdorys
(9 modulů)

0-50



50-66



66-90

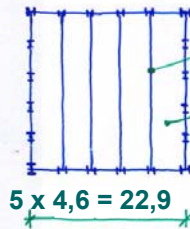


90-110



technické podlaží
(patrový pás)

modul 22,9 x 22,9 [m]



příhr. n. 1 m

trapéz. pl. 73 mm
+ beton 63 mm

3,9

mont. díl

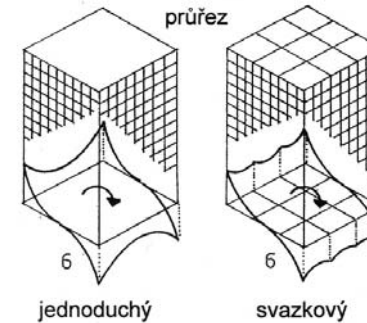
7,6

4,6

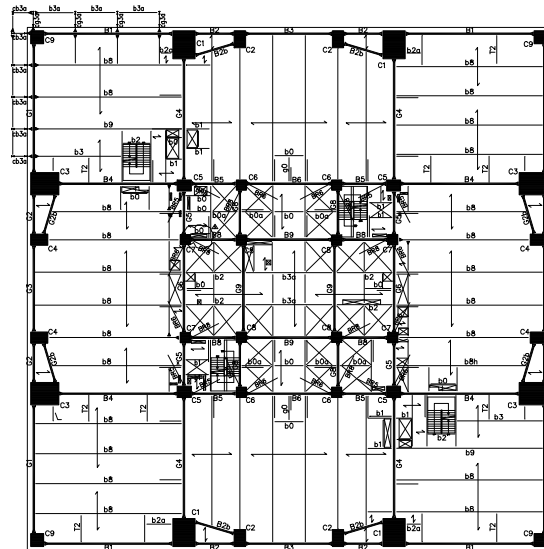
sloup: pásnice 609 x 102 [mm]

průvlaky: pásnice 406 x 70 [mm]

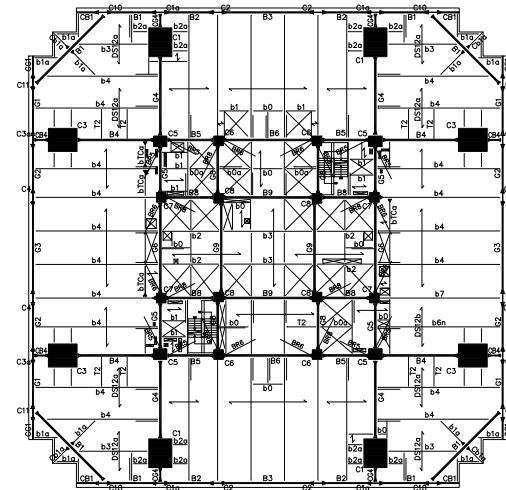
u svazkového průřezu je lepší
rozložení napjatosti
(bez smykového ochabnutí)



Taipei 101 (2003, výška 449 + 59 m)



10. podlaží



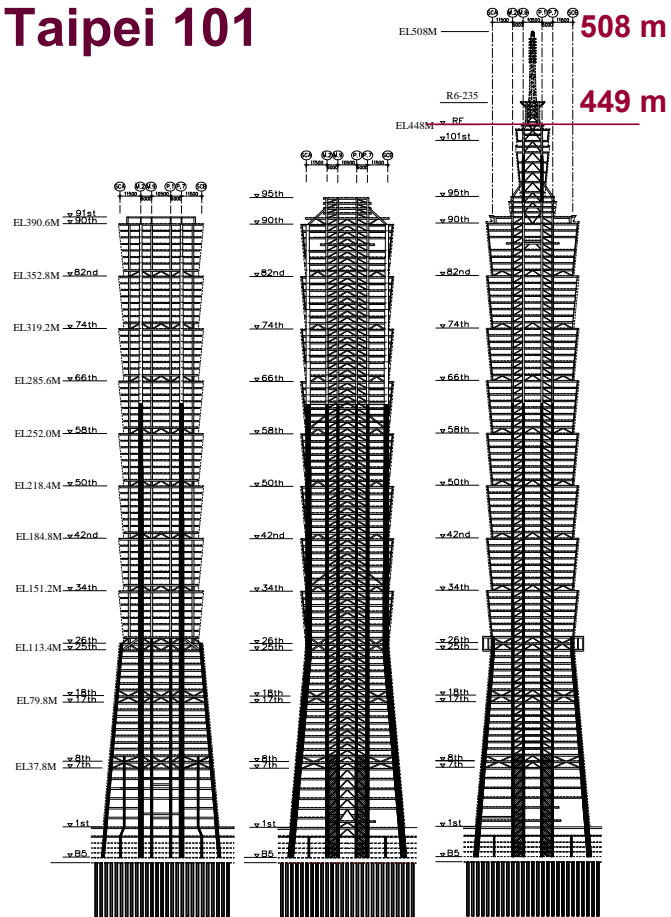
32. podlaží

Poddajná ocel: $f_y = 510$ MPa; $f_u = 720$ MPa; $C_{ekv} < 0,29$
Vysokopevnostní beton: C69
Sprážení trny.

OK01 – Ocelové konstrukce (11)

36

Taipei 101



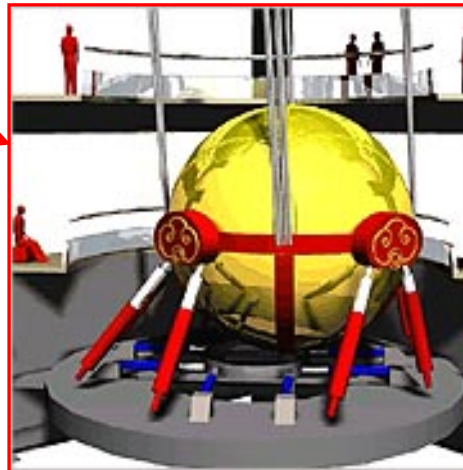
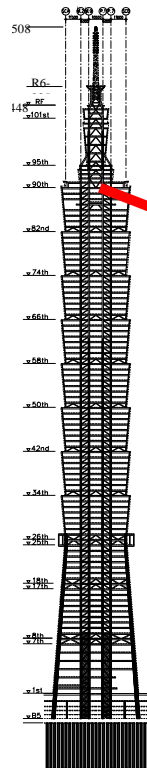
Řezy

- 8 spřažených megaloupů (s rozměrem 3 x 2,4 [m]);
- jádro: 16 spřažených sloupů (22,5 x 22,5 m), tl. 80 mm;
- od 63 podlaží pouze ocel;
- propojeny příhradovými nosníky s výškou 1- 3 patra;
- deformace ve vrcholu $h/200 = 2,2$ m;
- ž.b. stěny do devátého podlaží;
- 380 ocel. pilot Ø 1,5 m vyplněných betonem, do hloubky 30 m (očekávaný pokles 50 mm).

OK01 – Ocelové konstrukce (11)

37

Taipei 101



Tlumič 660 t (0,24 % G)

Zavěšen z 92 do 88 podlaží
na 4 lanech,
podepřen 8 hydraulickými
písty.

Vyroben svařením ocelových
desek tl. 125 mm, pozlacen.

Laděný
(bloky, zkrácením lan).

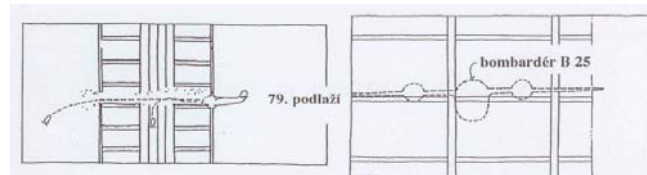
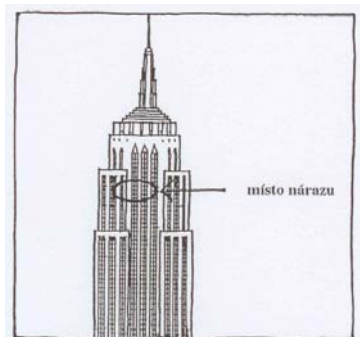
Empire State Building

28. 7. 1945 8:55

Mraky 120 m nad zemí, náraz bombardéru B25 do 79. podlaží (ve výšce 278 m).

Ve fasádě vznikl otvor 5,5 x 6 [m], 13 mrtvých (3 posádka),
stropní nosník ohnut o 450 mm, sloup naštěstí téměř nepoškozen.

Kromě otřesu budovy, ohně a škod nevznikly problémy (rezerva v systému konstrukce).



OK01 – Ocelové konstrukce (11)

39

Vliv extrémní výšky na nosnou konstrukci

Oproti běžným budovám je nutné posoudit:

1. Dynamické účinky větru.
2. Účinky 2. řádu (tzv. P - Δ efekt).
3. Vliv zkrácení prutů (případně jej vyloučit).
4. Tuhost statickou i dynamickou:

vodorovný průhyb $\delta_{\max} \leq H/500$

zrychlení $a \leq a_{\max}$

a_{\max} stanoví hygienické předpisy země, např. v ČR: „Nařízení vlády č. 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací“.

Podle kategorie místností je a_{\max} (a_{ew}) např.:

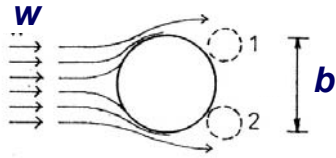
operační sály:	5,6 mm/s ²
obytné místnosti ve dne:	11,2 mm/s ²
kanceláře:	22,4 mm/s ²

5. Interakci s podložím (zejména pokud $H/B > 5$).

Dynamické účinky větru

Obecně:

- výpočet s vlivem kmitání:
 - ve směru větru,
 - příčně: kruhové, eliptické tvary: "oddělování vírů" (vortex shedding), obdélníkové tvary: "galloping" (vyskytuje se zřídka).



Tzv. samobuzené kmitání, resp. oddělování vírů (vzniká Kármánova periodická řada vírů) není třeba vyšetřovat, pokud:

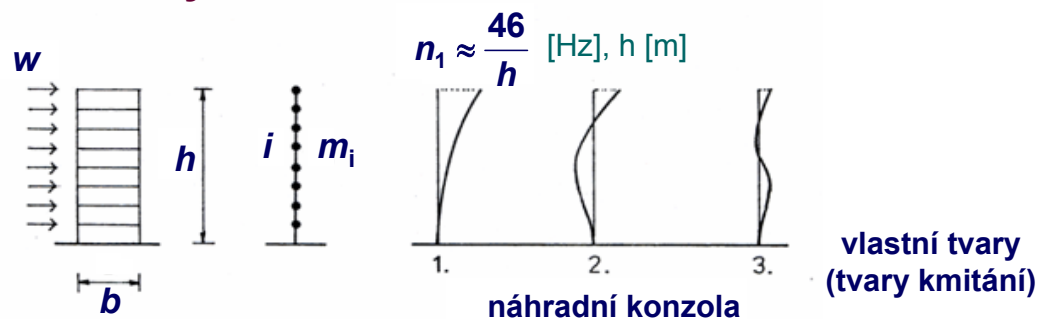
$$V_{\text{crit}} = \frac{bn}{St} \approx 5bn > 1,25v_m$$

První vlastní frekvence budovy: $n \approx 46/h$
Strouhalovo číslo pro kruh $St = 0,18$

$v_m = c_r \cdot c_0 \cdot v_b$
je „střední rychlost“ větru
(ČSN EN 1991-4):
 c_r ... drsnost
 c_0 ... tvar terénu
 v_b ... podle mapy

- upravit tvar budovy \Rightarrow větrný tunel, každá odchylka je významná.

Dynamické účinky ve směru větru



Zatížení větrem na ploše A_{ref} podle ČSN EN 1991-1-4:

aerodyn. souč. dyn. tlak větru

$$F_w = c_s c_d c_f q_{p(z)} A_{ref}$$

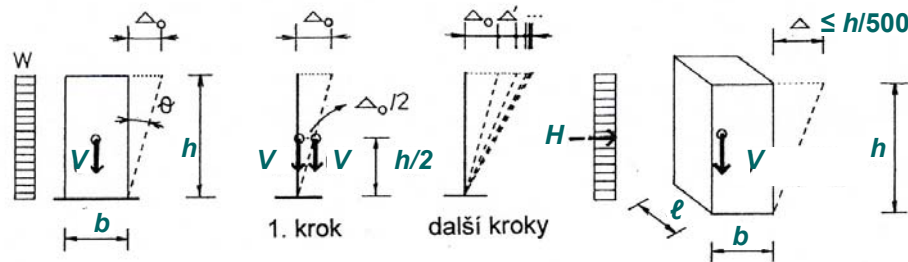
součinitel konstrukce

- pokud $h \leq 100$ m a $h/b \leq 4$, součinitel konstrukce $c_s c_d = 1$;
- jinak použít “podrobný postup” (závisí na vlastní frekvenci n , parametrech větru a konstrukce atd.);
- norma umožňuje stanovení výchylky a zrychlení při kmitání.

Účinky 2. řádu (tzv. "P - Δ efekt")

Vyjadřuje vliv vodorovného posunu na vnitřní síly. Řešení:

- geometricky nelineární analýzou (GNA), zjednodušeně teorií 2. řádu;
- nebo přibližně (viz též stanovení α_{cr} pro "posuvné styčníky"):



Lze postupovat iterací:

V 1. kroku pro moment v základech:

$$M_0 = M_H + V \frac{\Delta_0}{2}$$

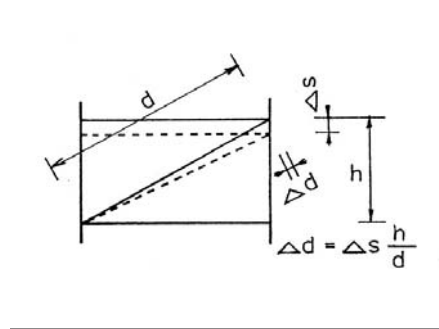
$$M' = M_H + V \frac{\Delta_0 + \Delta'}{2}$$

Přibližně lze pro splnění MSP ($\Delta = h/500$) odhadnout V , H (pro celou budovu nebo jednotlivé patro) a příslušné vodorovné síly přenásobit **součinitelem 2. řádu m** :

$$m \approx \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \approx \frac{1}{1 - \frac{1}{\left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}}\right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}}\right)}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}}\right) \left(\frac{h}{h/500}\right)}} = \frac{1}{1 - \frac{V_{Ed}}{500 H_{Ed}}} > 1$$

Vliv zkrácení střednic prutů

Při počítačovém řešení (běžným softwarem MKP) je již zkrácení střednic prutů zavedeno!



Zkrácení prutů od napětí:

$$\sigma_s = \frac{\Delta s}{h} E$$

Odtud napětí diagonály:

$$\sigma_d = E \varepsilon = E \frac{\Delta d}{d} = \sigma_s \left(\frac{h}{d} \right)^2$$

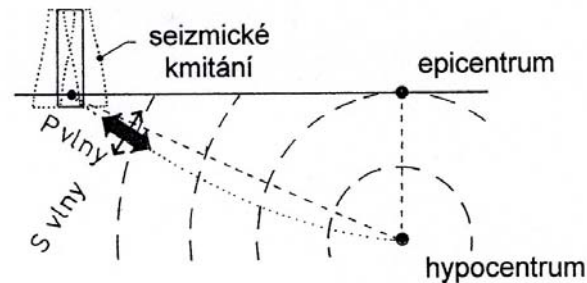
Od svislého zatížení je tedy napětí v diagonálách řádově stejné jako u sloupů!

Možná opatření ke snížení (vyloučení) zvýšeného namáhání diagonálních prutů:

- definitivní připojení diagonál až po dokončení montáže celého objektu,
- nebo předepnutí diagonál k vyloučení očekávaného stlačení.

Zemětřesení (seizmicita)

Stupnice zemětřesení, řešení účinků, tlumení kmitání.



Vlny:

P primární (přímé, tah-tlak)

S sekundární (příčné, smykové)

Q povrchové (bez svislého posunu)

R Rayleighovy (povrchové, se svislým a horizont. posunem)

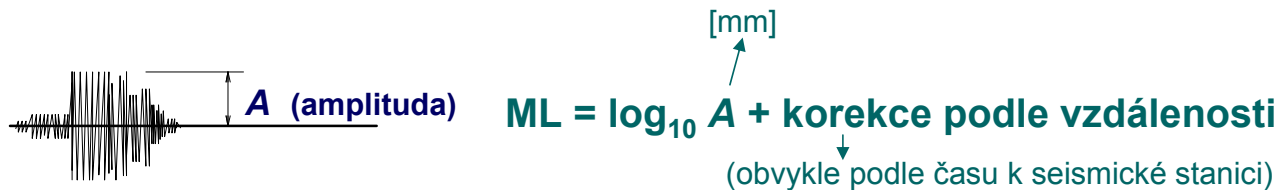
Stupnice:

- uvolněné energie (magnitudo), je jich celá řada:
Richterova (ML), momentová (Mw) apod.
- intenzity (vyjadřuje stupeň poškození staveb):
Mercalliho (MMI, MCS), Rossi-Forelova apod.

Richterova stupnice:

Charles Richter 1935 (California Institute of Technology)

Logaritmická stupnice uvolněné energie (každý stupeň zvětšuje energii $\sqrt{1000} = 31,6$ x). Značí se ML (Local Magnitude scale):



Zemětřesení lze dělit na: mírná (4-5°), silná (6-8°), velká (> 8°).

Největší po 1900:

1. Chile	1960	9,5°
2. Aljaška	1964	9,2°
3. Aljaška	1957	9,1°
4. Kamčatka	1952	9,0°
5. Sumatra	2004	9,0°

Podle obětí:

1. Čína	1556	830 000
2. Sumatra	2004	283 106
3. Čína	1976	255 000
4. Sýrie	1138	230 000
5. Irán	856	200 000

Mercalliho stupnice:

Subjektivní, určují se "zóny".

USA: MMI (12°)

ČR: MCS (Mercalli-Cancani-Siber, ČSN 73 0036)

1 - 4° nepocit'uje se,

5 - 7° lehké škody na budovách

(ČR: Aš, Přimda, Liberec, Trutnov, Opava),

8 - 12° ničivé až katastrofální účinky.

Eurokód (ČSN EN 1998):

Zavádí mapy návrhových zrychlení základové půdy a_{gR} (obrázek).

Podrobnosti viz „Doplňující informace“.

Výpočet účinků zemětřesení:

- není nutný pro $a_{gR}\gamma_1 S < 0,05 g$, kde:

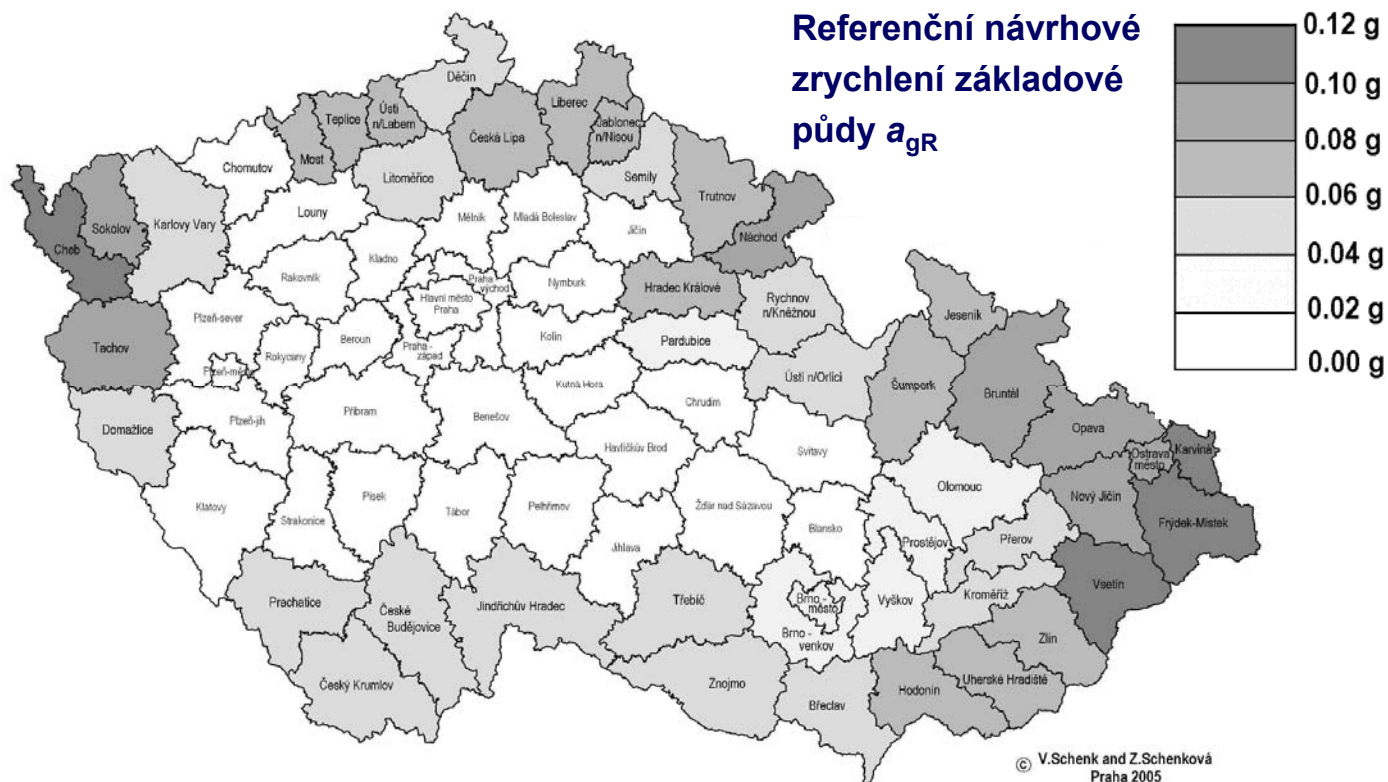
γ_1 je součinitel významu stavby (0,8 - 1,4)

S parametr podloží (1,0 - skála, až 1,6 / sedimenty, nesoudržné z.)

Zavádí se tzv. "návrhové spektrum" $S_d(T)$.

(= zrychlení a , závislé na podloží a vlastní periodě objektu T)

Mapa seizmických oblastí České republiky podle EN 1998-1:

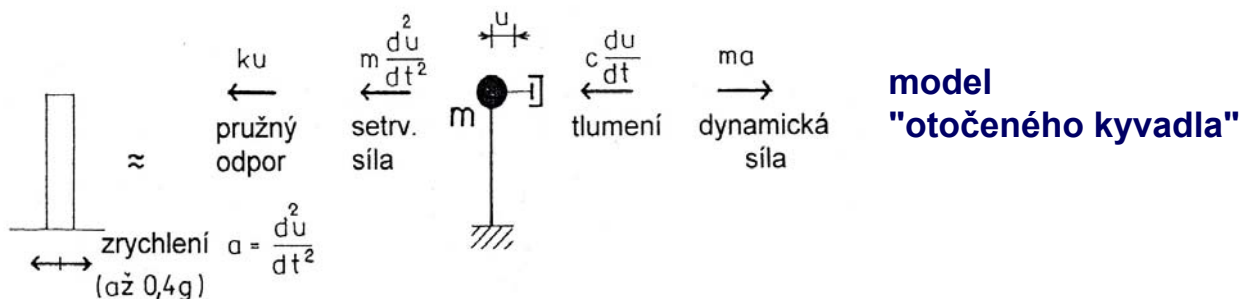


OK01 – Ocelové konstrukce (11)

48

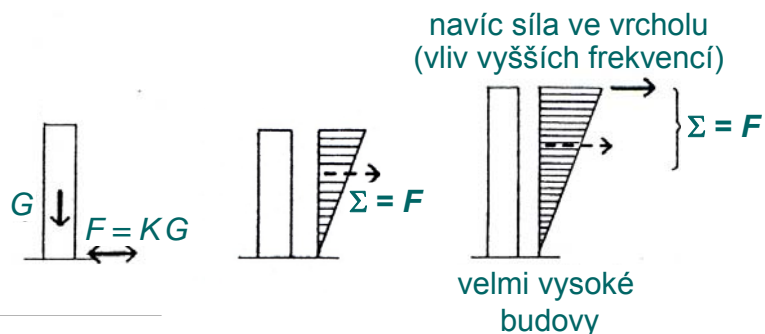
Principy řešení na účinky zemětřesení obecně:

1. Přímé (odezva konstrukce od pohybu podloží)



2. Přibližné (pro malá zemětřesení)

Zavádí se náhradní vodorovné zatížení (viz též Eurokód ČSN EN 1998-1):



a. Určení vodorovné síly v základu budovy: $F = K G$

(vliv podloží, vlastní frekvence, důležitosti, tlumení ...)

b. Určení rozložení F

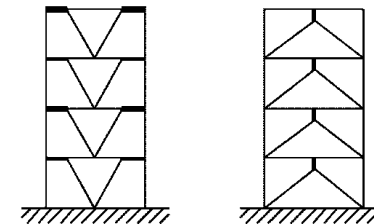
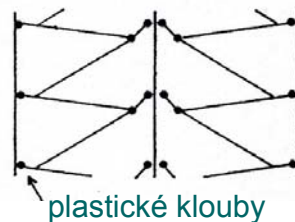
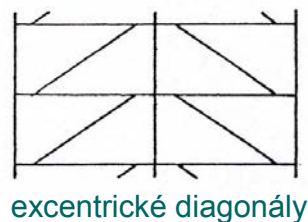
Tlumení kmitání OK

Cíl: - snížit vnitřní síly od kmitání (větrem, dopravou, zemětřesením),
- snížit zrychlení na požadovanou hodnotu.

1. Tlumení přirozené (vlastní konstrukcí)

a) Plasticitou konstrukce

Disipací energie v materiálu ocelových prvků, v plasticitě styků – posunutím plastických kloubů u excentrických diagonál, v tzv. „měkkém“ přízemí absorbujícím otřesy apod.



b) Tvarem nebo strukturou budovy

U vysokých budov jde o aerodynamické tlumení vlivem vhodného tvaru budovy, struktury pláště, otvory v budově, formou rohů apod. (zejména podle zjištění v aerodynamickém tunelu).

c) Uložení budovy na izolátorech

Izolováním budovy od vibrací způsobených např. dopravou ve městech nebo zemětřesením lze dosáhnout „plavání“ budovy jako téměř tuhého tělesa. Izolátory musí být poddajné, umožnit disipaci energie (změnou vlastní frekvence kmitání budovy od frekvence budící, aby nedocházelo k rezonujícímu zvětšení výchylek) a pro nízké budící síly mají mít malou příčnou tuhost, popř. měnit se podle namáhání.

Pružinové izolátory vhodné pro budovy nabízí např. GERB Schwingungsisolierungen Berlin.

Prvky Gerb jsou korozivzdorné, vhodné pro vlastní frekvence budov 2,5÷5 Hz, přenášejí potřebné svislé i vodorovné síly. Mohou být:

- předpínatelné prvky GERB: předpínací šrouby a ocelové vložky umožňují nastavit výšku pružin (musí být tedy po zabudování přístupné), jsou vhodné pro budoucí změny v zatížení a systému.



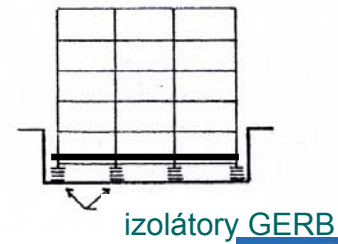
- Nepředpínatelné prvky GERB (K): jsou vhodné pro odpružení budov, navrhují se na dané zatížení, nevyžadují další přístup k prvkům. Upevňují se přilnavou tuhou vložkou, rozměry $H \times L \times B$ cca 240x215x400 [mm].



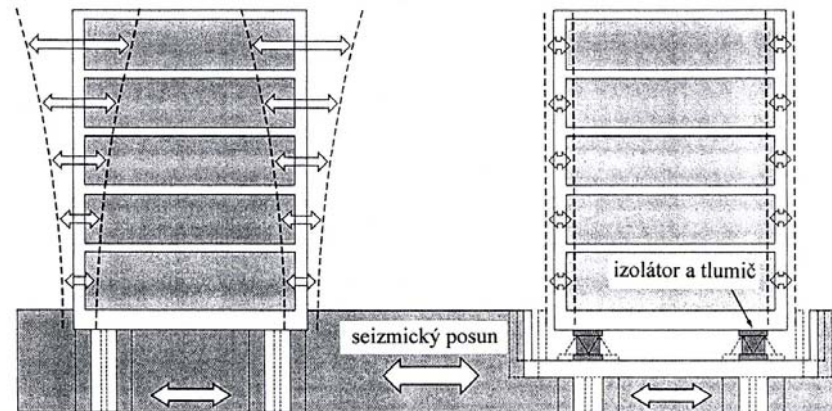
Příklady:

Uložení budovy nad stanicí metra:

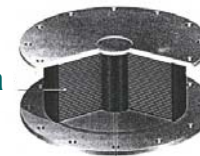
Odpružení konstrukce od základové desky prvky GERB(K), které jsou překryty žb. pásy a deskou:



Uložení budovy na izolátorech s olověným tlumičem LRB:



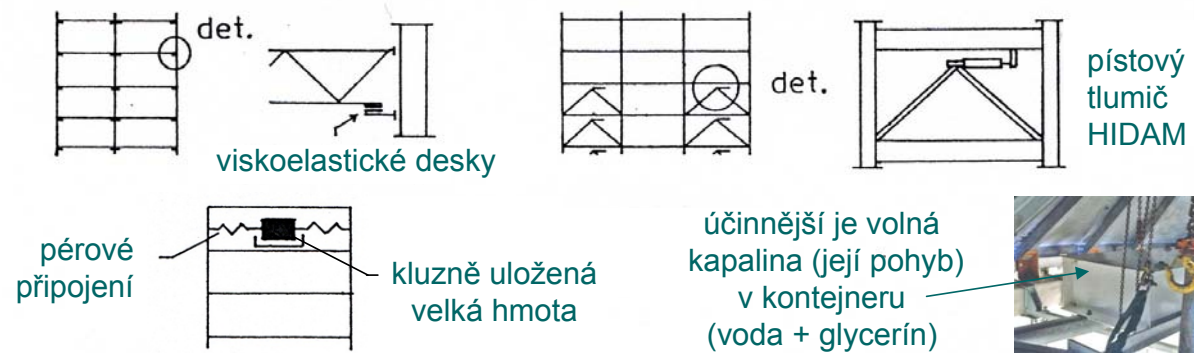
laminovaná
guma



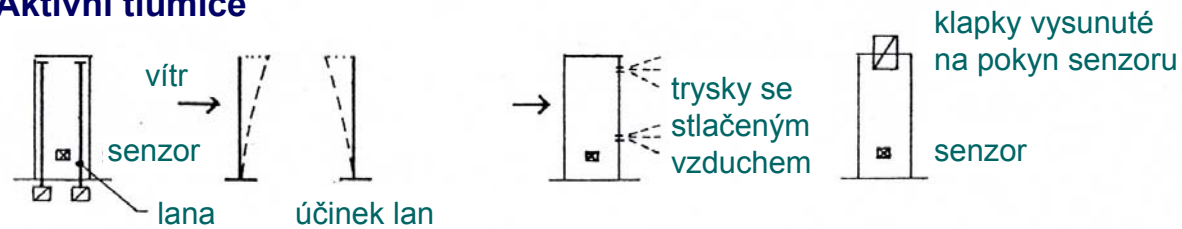
olověný dřík

**2. Použitím tlumičů: - pasivní tlumiče (třecí, pístové, pérové)
- aktivní tlumiče (stále ve vývoji)**

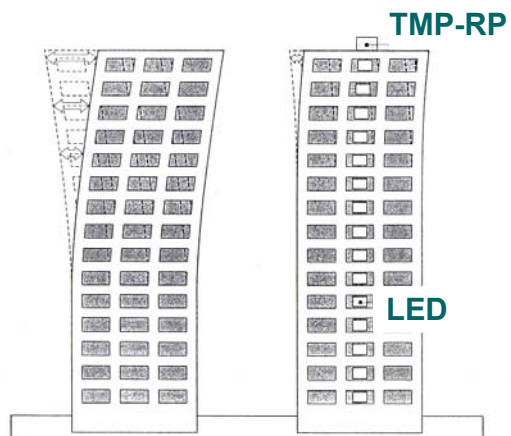
Pasivní tlumiče



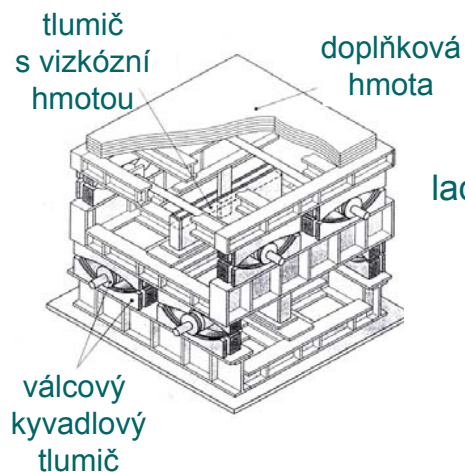
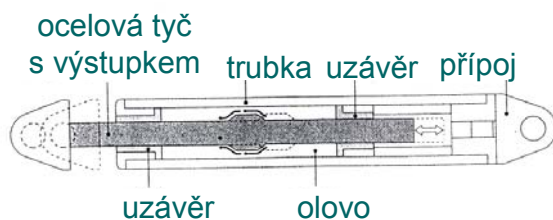
Aktivní tlumiče



Příklady tlumičů

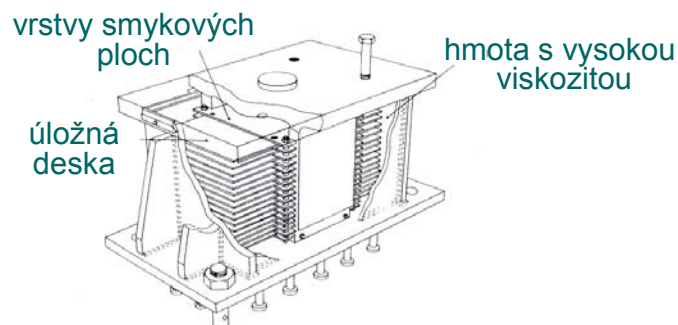


LED olověný třecí tlumič
(plastické přetvoření olova)



TMP-RP
laděný kyvadlový tlumič
(protipohyb hmoty)

Viskózní tlumič
(viskózní hmota mezi smykovými deskami)



Doplňující informace

OK01 – Ocelové konstrukce (11)

55

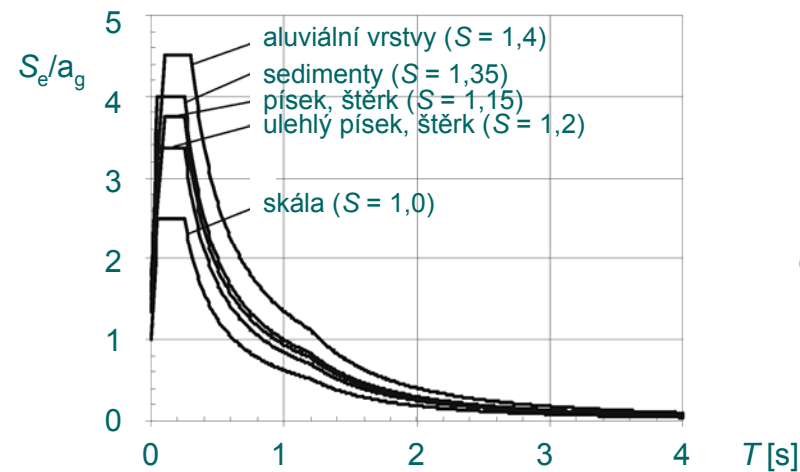
Řešení na účinky zemětřesení podle ČSN EN 1998-1

Pohyb při zemětřesení v daném místě je dán spektrem pružné odezvy $S_e(T)$, závislém na podloží a periodě vlastních kmitů T lineární soustavy s 1^o volnosti:

- pro vodorovný směr: $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot f$ (podle parametru podloží, periody vl. kmitů)

- kde parametr podloží $S \leq 1,4$ a korekční součinitel útlumu $\eta \geq 0,55$ uvádí Eurokód.

Ve výsledku vede výraz pro malá magnituda (< 5,5) a tlumení 5 % k obrázku:



Pozn.:
Pro velká magnituda (> 5,5)
obdobný obrázek.

- pro svislý směr obdobně.

Stanovení zatížení a vnitřních sil

Zjednodušeně lze provést lineární výpočet pro „návrhové spektrum“ $S_d(T)$, dávající menší seizmické síly než výše popsaná pružná odezva v důsledku ductility konstrukce. Vztahy pro $S_d(T)$ jsou obdobné jako výše, ale redukuje velikost pomocí součinitele ductility konstrukce q (viz vztahy v ČSN EN 1998-1).

Součinitel ductility tedy představuje poměr seizmických sil, kterým by konstrukce musela odolávat v pružném stavu při útlumu 5 %, k seizmickým silám, které lze použít pro pružný model a konstrukce bezpečně vyhoví. Podle volby součinitele ductility je nutné dále konstrukci posoudit jako konstrukci s malou (L), střední (M) nebo velkou (H) disipací energie (viz dále).

Modely výpočtu zatížení zahrnují:

- A) Výpočet pomocí příčných sil** - jen pro konstrukce třídy ductility L, pro pravidelné dispozice a nízké periody vlastních kmitů, počítá jen se základní periodou vlastních kmitů T_1 .
- B) Modální analýzu pomocí spektra odezvy** (uvažuje více tvarů kmitání).
- C) Nelineární metody** (zavádějí pružnoplastické chování).

Výpočet pomocí příčných sil

Celková seizmická smyková síla v základu:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

kde m je celková hmotnost stavby při seizmickém zatížení,

λ opravný součinitel (0,85 nebo 1,0), závisející na počtu podlaží a periodě T_1 .

Pro budovy do výšky $H \leq 40$ m lze brát první vlastní periodu (v sekundách):

$$T_1 = C_t H^{3/4}$$

kde C_t je součinitel (pro ocelové rámy 0,085, pro rámy s excentrickými diagonálami 0,075, ostatní konstrukce 0,05).

Rozdělení vodorovných seizmických sil po výšce z podle hmot m_i ze provést přibližně jako lineárně rostoucí po výšce stavby (viz princip na straně 49):

$$F_i = F_b \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_i \cdot m_i}$$

Posouzení konstrukce

Ocelové konstrukce se navrhují v souladu s třídou duktility konstrukce:

- L (malá disipace energie, $q \leq 1,5$),
- M (střední disipace energie, $q \leq 4$).
- H (velká disipace energie, limit q je určen v Eurokódu).

Konstrukce s malou disipací energie (L):

Účinky návrhového spektra zatížení ($q \leq 1,5$) lze stanovit z pružné analýzy bez uvažování nelineárních vlastností materiálu. Posouzení se provede v souladu s ČSN EN 1993-1-1.

Konstrukce se střední (M) nebo velkou (H) disipací energie:

Prověřuje se nepružná odezva konstrukce (s ohledem na rozptyl energie v plastických mechanizmech), pro návrhové spektrum s větším součinitelem duktility q . Horní mez součinitele duktility q závisí na typu konstrukce a je uvedena v Tabulce 6.2 ČSN EN 1998-1.

V disipativních zónách se předpokládá ocel se skutečnou mezí kluzu vyšší než nominální, pro kterou platí

$$f_{y,max} \leq 1,1 \gamma_{ov} f_y$$

kde součinitel přetížení – překročení pevnosti oceli **použitý v návrhu**, $\gamma_{ov} = 1,25$.

Podrobnosti posudků prvků pro disipativní zóny uvádí ČSN EN 1998-1.

Nový typ tlumení:

Yielding brace system (YBS), „Scorpion“, Toronto, 2011

(www.castconnex.com, viz video deformace)

Diagonála je opatřena na jednom konci odlitky přivařenými k diagonále, připomínajícími čelist s vyčnívajícími poddajnými „prsty“. Prsty mají proměnný průřez (mohutnější ve vetknutí) a jsou přišroubovány do oválných otvorů pevné koncovky připojené ke konstrukci. Při zemětřesení se prsty plasticky ohybově deformují, energie disipuje (rozptyluje se) plastickou deformací, což vede při velkých deformacích ke zvýšení únosnosti a tuhosti.

