



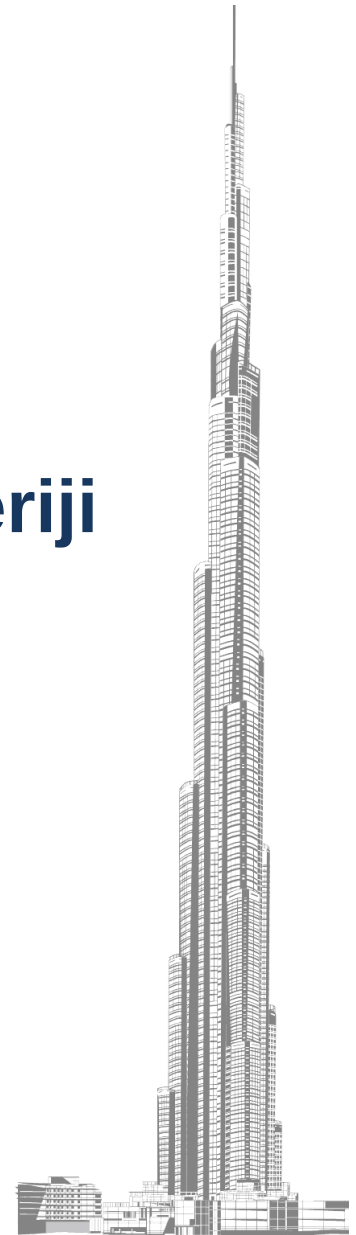


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

**Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za konstrukcije**

Visoke građevine Osobitosti projektiranja i projektni kriteriji

doc.dr.sc. Goran Puž, dipl.ing.građ.
doc.dr.sc. Anđelko Vlašić, dipl.ing.građ.



Predavanje 2:

1. Teme i cilj predavanja
2. Načela projektiranja
3. Projektni kriteriji
 - 3.1. Osnovni projektni kriteriji
 - 3.2. Djelovanja i granična stanja
 - 3.3. Brzina izvedbe
 - 3.4. Vlastita težina i faze izvedbe
 - 3.5. Ograničenja horizontalnih pomaka (drift)
 - 3.6. Krutost
 - 3.7. Udobnost korisnika
 - 3.8. Požar
 - 3.9. Puzanje, skupljanje i temperatura
 - 3.10. Slijeganje temelja
 - 3.11. Interakcija tla i konstrukcije



Arhitektura – konstrukcija - financije

- varijacije tlocrta i sustava visoke građevine
- arhitekti postaju sve smjeliji u razvoju oblika
- razvoj tehnologije, materijala i nova otkrića u izvedbi, pokazuju da su u dizajnu nebodera, i općenito zgrade, otvorene nove i nove mogućnosti
- neboderi koji odskakuju od ustaljenog izgleda - želja za međunarodnim prepoznavanjem, traži se spektakularan izgled
- međusobna konkurencija u inovativnosti

EC 8 - Proračun zgrada, temeljna načela idejnog projekta

Vodeća načela idejnog projekta:

- Jednostavnost konstrukcije
- Jednoličnost, simetrija i prekobrojnost elemenata (redundantnost)
- Otpornost i krutost u dva smjera
- Otpornost i krutost na torziju
- Kruta dijafragma u razini kata
- Prikladni temelji

Arhitektura

• The Bow, Calgary

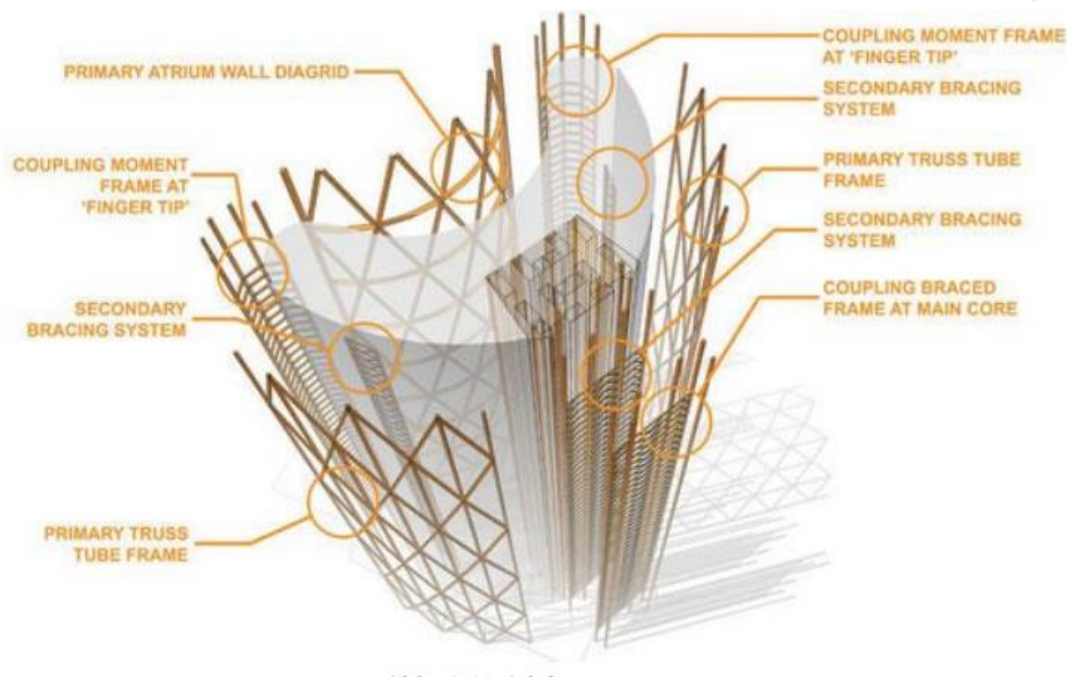
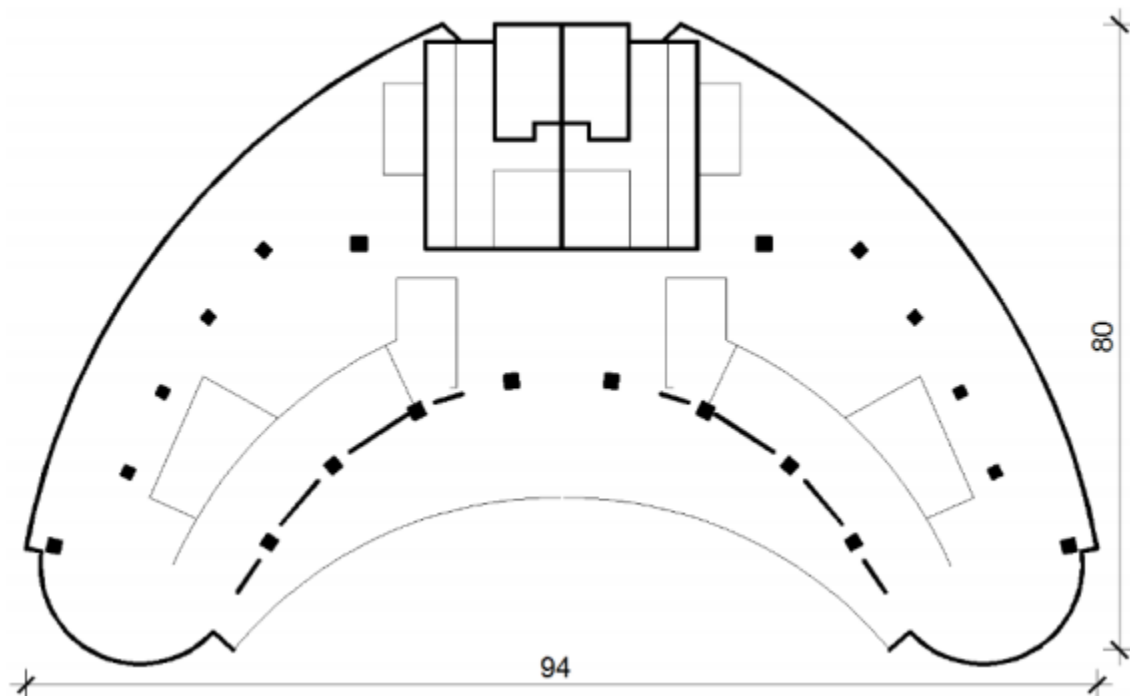
Početak radova: 2007.

Otvorenje: lipanj 2013.

Visina: 237 m

Katnost: 57

Namjena: Poslovna



Arhitektura

• Capital City Towers Moskva

Početak radova: 2005.

Otvorenje: 2010.

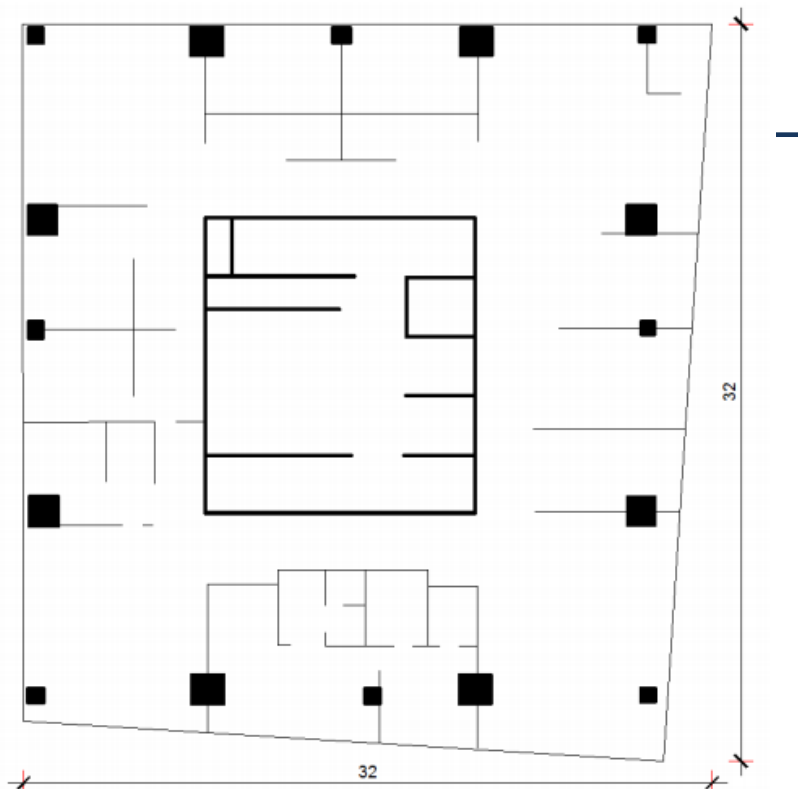
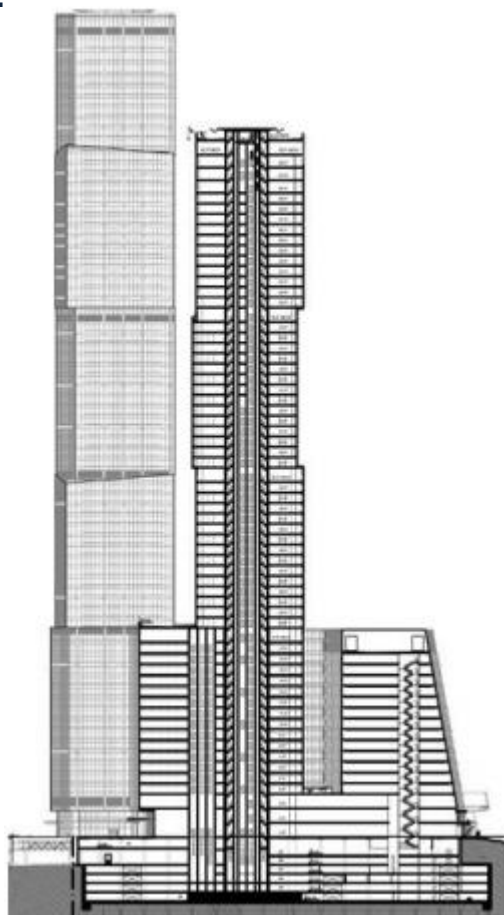
Visina:

Toranj Moscow 302 m

Toranj St. Petersburg
257 m

Katnost: 76 (Moscow),
65 (St. Petersburg)

Namjena: Stambeno -
poslovna



Arhitektura

Absolute World Towers, Mississauga

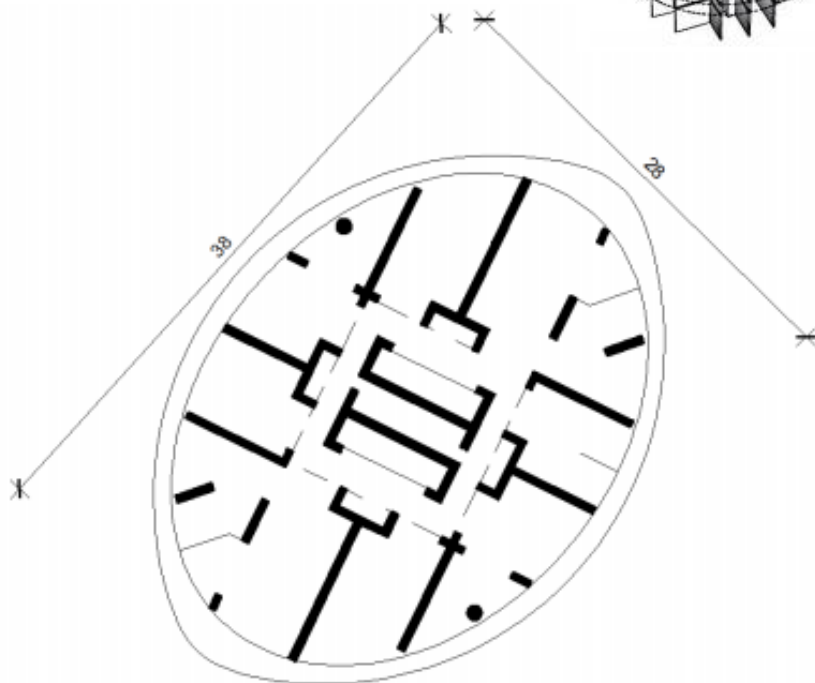
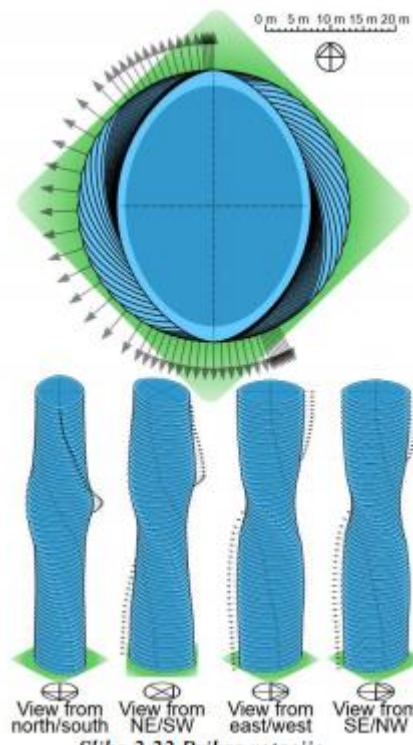
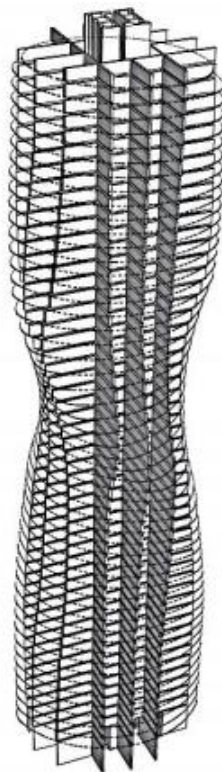
Početak radova: 2007.

Završeno: 2012.

Visina: 179,5 m; 161,2 m

Katnost: 56; 50

Namjena: Stambena



Projektiranje

- učinkovitost visokih građevina:
gradivo
tehničke mogućnosti izvedbe
mogućnostima servisiranja potreba korisnika
- brzina izgradnje bitno utječe na isplativost
- nepristupačno i skućeno gradilište u središtu grada
- gradnja: ponavljanje radnji iz kata u kat, prefabrikacija
- posebne oplate, pumpe za beton (ostvarena visina od 606m), toranjske dizalice i velike pokretne dizalice



Projektiranje

- nametnuta ograničenja sužavaju mogućnost odabira optimalnog nosivog sklopa:

- planiranje unutarnjeg prostora
- odabrani materijali
- metoda građenja i rokovi
- odabir vanjske obloge - fasada
- ograničenja lokacije
- položaj instalacijskih sustava
- proporcije i visina konstrukcije
- sigurnost



Stambeni blok Tsim Sha Tsui,
Hong Kong

Projektiranje

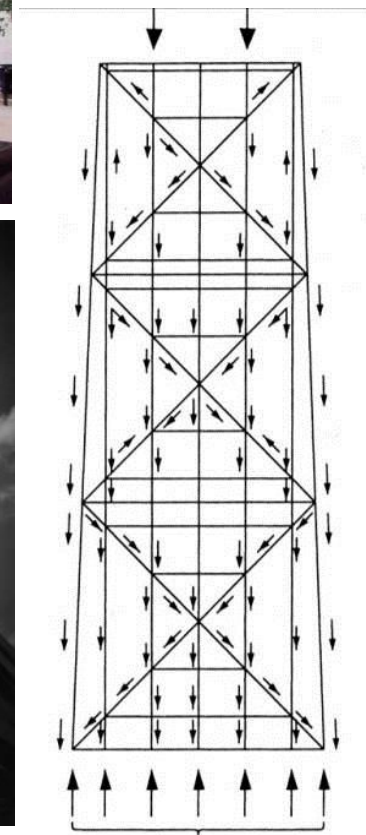
- glavni čimbenici: sigurnost, funkcionalnost (uporabljivost) i održavanje
- zahtjevi su često suprotstavljeni
- nosiva struktura podređena arhitekturi
- arhitektura: raspored prostora i estetika



Učinkovitost novih sustava:

*John Hancock Center:
100 katova 344 m visine
100 kg čelika/m² tlocrta*

*Empire State Building 1931.:
102 kata, 381 m visine
200 kg čelika/m² tlocrta*



Projektiranje – podsjetnik na regulativu

Tehnički propis za građevinske konstrukcije:

tehnička specifikacija – dio
regulative koji nam naređuje
obaveznu primjenu
eurokodova i propisuje
datiranu normu

Obavezno se u svakom projektu
pozivamo na važeću regulativu!

- **Tehnički propis za građevinske konstrukcije**
(„Narodne novine” broj 17/17.) - stupa na snagu 04. ožujka 2017. godine

- **Tehnički propis za zidane konstrukcije**
(„Narodne novine” broj 01/07.)

Tehnički propis za drvene konstrukcije

(„Narodne novine” broj 121/07., 58/09., 125/10., 136/12.)

Tehnički propis za čelične konstrukcije

(„Narodne novine” broj 112/08., 125/10., 73/12., 136/12.)

Tehnički propis za spregnute konstrukcije od čelika i betona

(„Narodne novine” broj 119/09., 125/10., 136/12.)

Tehnički propis za betonske konstrukcije

(„Narodne novine” broj 139/09., 14/10., 125/10., 136/12.)

Tehnički propis za aluminijske konstrukcije

(„Narodne novine” broj 80/13.)

Danom stupanja na snagu novog Tehničkog propisa za građevinske konstrukcije (4. ožujka 2017. godine) ovi Tehnički propisi prestaju važiti, uz iznimku da se norme iz popisa sadržanih u tim Tehničkim propisima koje se odnose na neusklađeno područje građevnih proizvoda primjenjuju do donošenja posebnog propisa kojim se uređuju građevni proizvodi ukoliko nisu u suprotnosti s Tehničkim propisom o građevnim proizvodima (Narodne novine, br. 33/10, 87/10, 146/10, 81/11, 100/11 i 130/12, 81/13, 136/14 i 119/15).

Projektiranje – Tehnički propis za građevinske konstrukcije

I. OPĆE ODREDBE

Predmet Propisa

Članak 1.

Ovim se Tehničkim propisom (u daljnjem tekstu: Propis), u okviru ispunjavanja temeljnih zahtjeva za građevinu, propisuju tehnička svojstva za građevinske konstrukcije u građevinama (u daljnjem tekstu: građevinske konstrukcije), zahtjevi za projektiranje, izvođenje, održavanje, uklanjanje te drugi zahtjevi za građevinske konstrukcije, svojstva koja moraju imati građevni proizvodi u odnosu na njihove bitne značajke i drugi zahtjevi za građevne proizvode namijenjene ugradnji u građevinske konstrukcije (u daljnjem tekstu: građevni proizvodi).

Primjena Propisa

Članak 2.

(1) Ovaj Propis se primjenjuje na konstrukcijske i nekonstrukcijske elemente građevine, a konstrukcijski i nekonstrukcijski elementi moraju biti mehanički otporni i stabilni te je za njih potrebno dokazati otpornost, uporabljivost, trajnost i požarnu otpornost u skladu s njihovom namjenom u konstrukciji.

(2) Ovaj Propis odnosi se na nove i rekonstruirane građevinske konstrukcije.

(3) Građevinske konstrukcije na koje se primjenjuje ovaj Propis jesu: betonske konstrukcije, čelične konstrukcije, spregnute konstrukcije od čelika i betona, drvene konstrukcije, zidane konstrukcije, geotehničko projektiranje i geotehničke konstrukcije, potresno otporne građevinske konstrukcije, aluminijske konstrukcije te ostale konstrukcije.

Norme za projektiranje građevinskih konstrukcija

Članak 9.

- (1) Na projektiranje građevinskih konstrukcija primjenjuju se hrvatske norme iz Priloga I. ovoga Propisa, odnosno pravila koja su propisana posebnim pravilima za pojedine vrste konstrukcija.
- (2) U projektu građevinske konstrukcije moraju biti navedene primijenjene datirane važeće norme.
- (3) Projektiranje građevinskih konstrukcija i zahvata koji nisu obuhvaćeni hrvatskim normama i pravilima iz ovoga Propisa, može se provoditi prema pravilima struke, ako ista nisu u suprotnosti s tim normama i pravilima.
- (4) U slučaju iz stavka 3. ovoga članka, projektant je dužan korištena pravila struke kratko opisati i obrazložiti uz navođenje izvornih dokumenata gdje su ista detaljno opisana.
- (5) Dopuštena je primjena i drugih pravila projektiranja građevinskih konstrukcija koja se razlikuju od pravila danih hrvatskim normama iz Priloga I. ovoga Propisa, odnosno posebnim pravilima propisanim ovim Propisom za pojedine vrste konstrukcija, ako se dokaže da se primjenom tih drugih pravila ispunjavaju zahtjevi ovoga Propisa najmanje na razini pouzdanosti određenoj hrvatskim normama iz Priloga I. ovoga Propisa, odnosno posebnim pravilima propisanim ovim Propisom za pojedine vrste konstrukcija, osim ako ovim Propisom nije drukčije određeno.
- (6) Za konstrukcije izrazito visokog rizika (velike brane, nuklearne elektrane, LNG terminali, podvodni naftovodi i plinovodi i sl.) u pravilu se primjenjuju, uz pravila iz hrvatskih normi iz Priloga I. ovoga Propisa, i posebna pravila projektiranja kao i posebna pravila dokazivanja ispunjavanja temeljnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti te otpornost na požar za takve građevine.

PRILOG I.

POPIS NORMA ZA PROJEKTIRANJE GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA

I.1 OSNOVE PROJEKTIRANJA, DJELOVANJA NA KONSTRUKCIJE I PLANIRANJE UPORABNOG VIJEKA KONSTRUKCIJA

I.1.1 Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije

HRN EN 1990

Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija

HRN EN 1990/NA

Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija -- Nacionalni dodatak

HRN EN 1991-1-1

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada

HRN EN 1991-1-1/NA

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja za zgrade -- Nacionalni dodatak

HRN EN 1991-1-2

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-2: Opća djelovanja -- Djelovanja na konstrukcije izložene požaru

HRN EN 1991-1-2/NA

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-2: Opća djelovanja -- Djelovanja na konstrukcije izložene požaru -- Nacionalni dodatak

HRN EN 1991-1-3

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom

I.8. PROJEKTIRANJE POTRESNO OTPORNIH GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA

HRN EN 1998-1

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade

HRN EN 1998-1/NA

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade --
Nacionalni dodatak

HRN EN 1998-2

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 2. dio: Mostovi

HRN EN 1998-2/NA

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 2. dio: Mostovi -- Nacionalni dodatak

HRN EN 1998-3

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada

HRN EN 1998-3/NA

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada -- Nacionalni dodatak

HRN EN 1998-4

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 4. dio: Silosi, spremnici i cjevovodi

HRN EN 1998-4/NA

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 4. dio: Silosi, spremnici i cjevovodi -- Nacionalni dodatak

HRN EN 1998-5

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 5. dio: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja

HRN EN 1998-5/NA

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 5. dio: Temelji, potporne konstrukcije i geotehnička pitanja --
Nacionalni dodatak

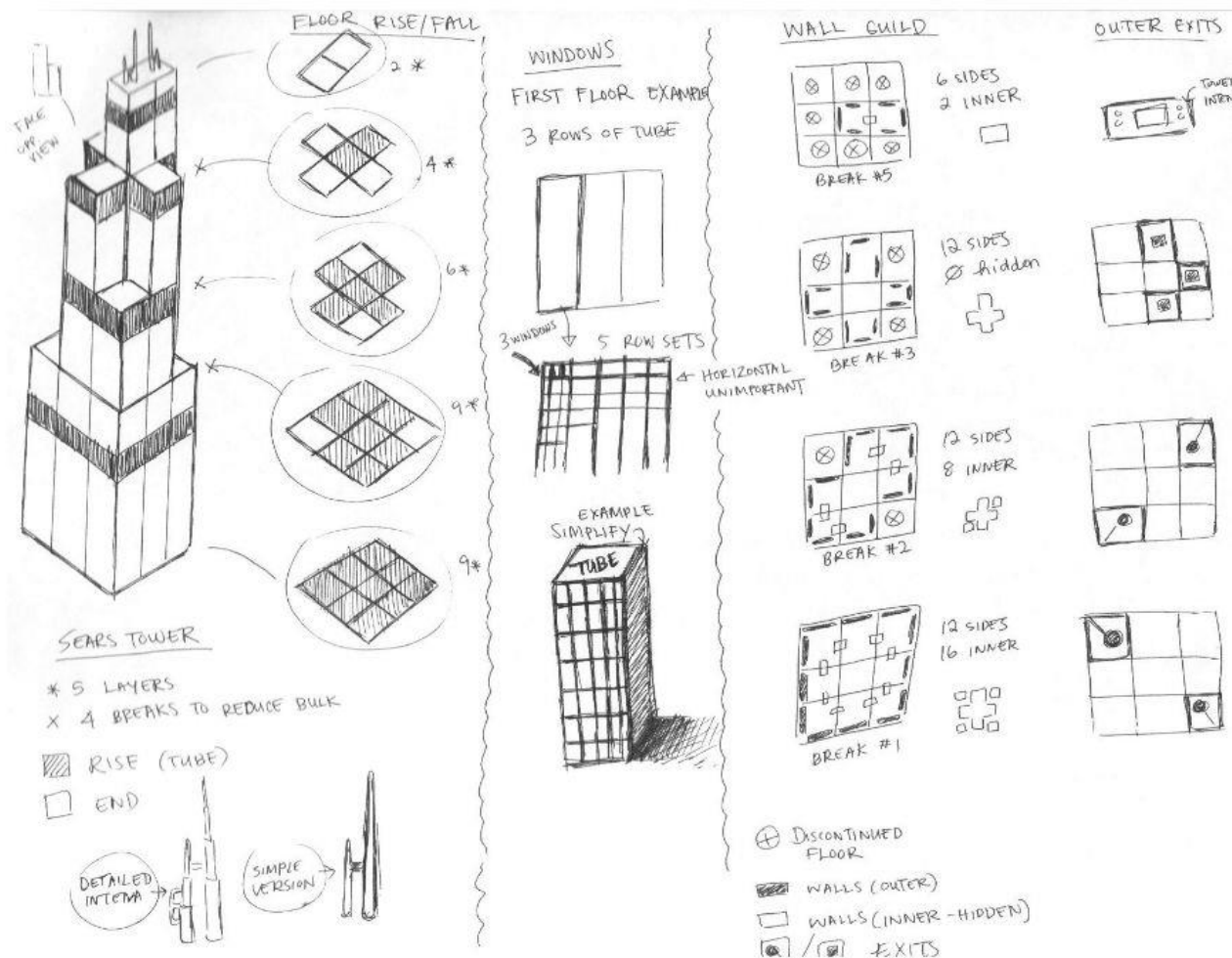
HRN EN 1998-6

Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 6. dio: Tornjevi, jarboli i dimnjaci

HRN EN 1998-6/NA

Projektiranje - koncept

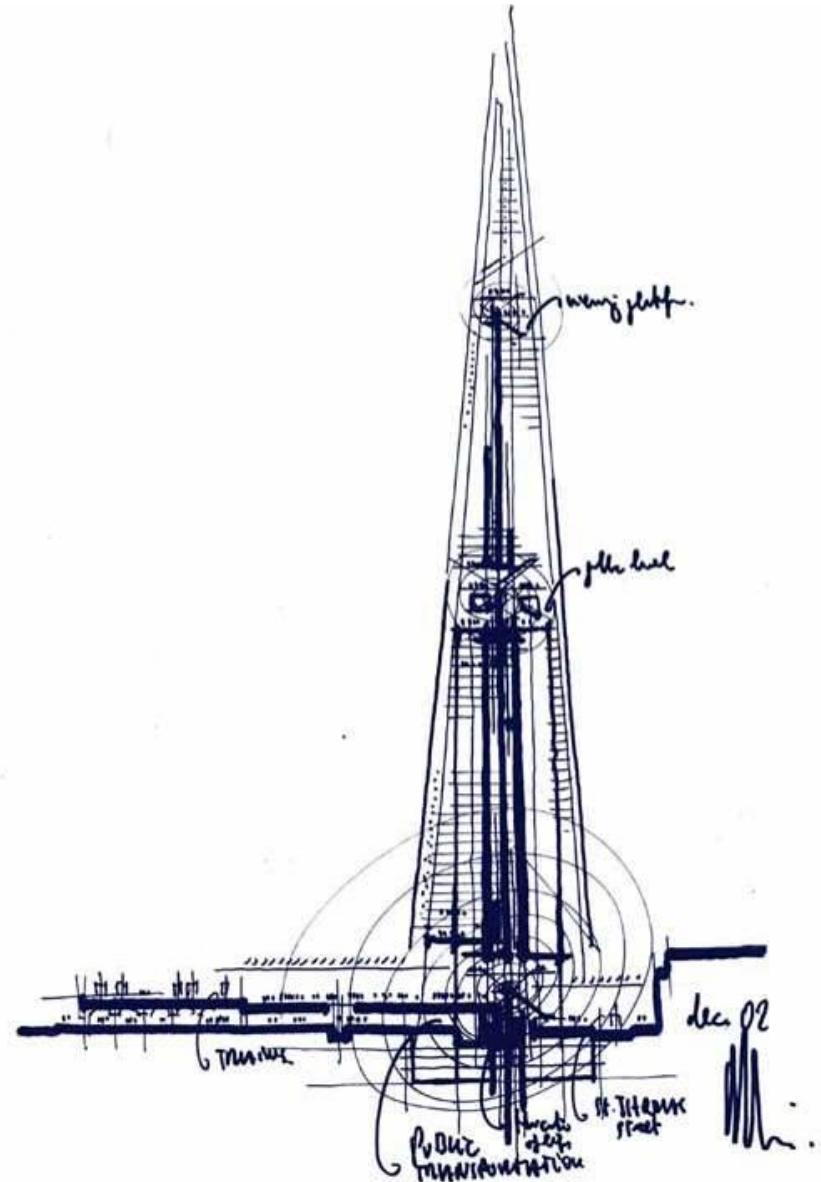
- početak: koncept primjeren osnovnim zahtjevima
- glavni nosivi elementi: stupovi i zidovi
- zidovi: odvajaju i zatvaraju prostorije
- jezgre: zatvaraju dizala
- stupovi: prenose gravitacijsko opterećenje, u nekim slučajevima i horizontalne sile, imaju ulogu u arhitektonskom oblikovanju (fasada)
- međukatne konstrukcije: lake i tanke



Primjer – Sears Tower

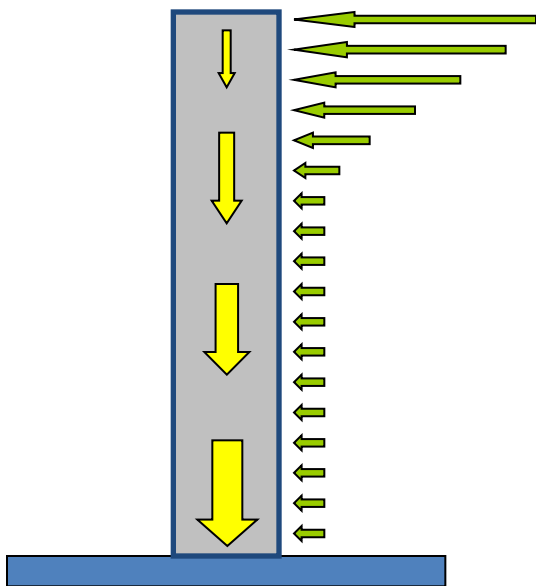
Projektiranje - koncept

- namjena diktira tlocrtnu površinu i visinu etaže – promjene po visini: Shard at London Bridge
- propisi, pravila i norme koje univerzalno vrijede za visoke građevine ne postoje
- građevinska pravila mnogih država ograničavaju visinu ili katnost zgrada
- u nekim državama (Rusija) zgrade iznad 75 m (25 katova) ne podliježu normama, već se za svaku razrađuju posebni tehnički uvjeti – specifikacije koje podliježu reviziji državnih organa



Projektiranje

- stalno + korisno opterećenje po katovima: težina stropne konstrukcije etaže po jedinici površine stalna, neovisno o visini
- opterećenje na stup: linearno se povećava s visinom
- momenti savijanja uzrokovani poprečnim opterećenjima rastu s kvadratom visine građevine

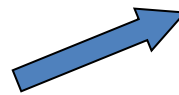


Projektiranje



- utjecaj opremanja zgrade na nosivi sustav:
 - liftovi: broj, raspored, nosivost
 - opskrba vodom: spremnici, otkazivanje instalacije
 - fasade: prijenos opterećenja na nosivi sklop
 - grijanje, ventilacija, klimatizacija: otvori, visine, ispuštanje topline (HVAC)
 - sigurnosna oprema (požar)
 - posebna oprema
- strojarnice + pumpe i spremnici za vodu + grijanje:

servisne etaže

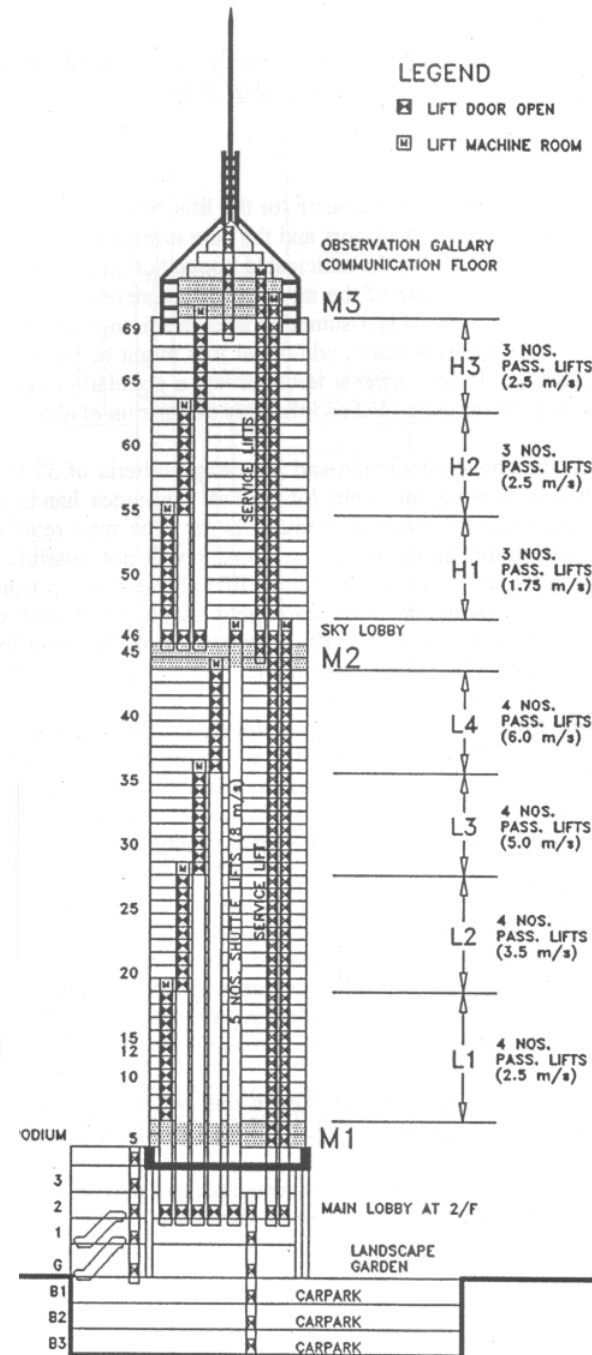
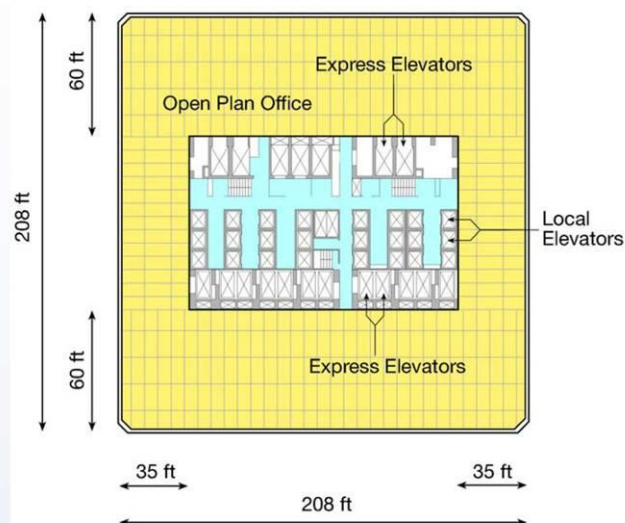


Projektiranje: oprema

Dizala (liftovi)

- vertikalna prometna sredstva – liftovi mogu biti efikasniji od horizontalnih – autobusa ili metroa: nastanak malih gradova u visokim neboderima
- ograničenje brzine i akceleracije uzrokovano ograničenjima ljudskog organizma
- prometno planiranje: evakuacija

WTC:
expresna dizala
kapaciteta 55 putnika,
svaki toranj 72 lifta
rezultat: učinkovitost 75%

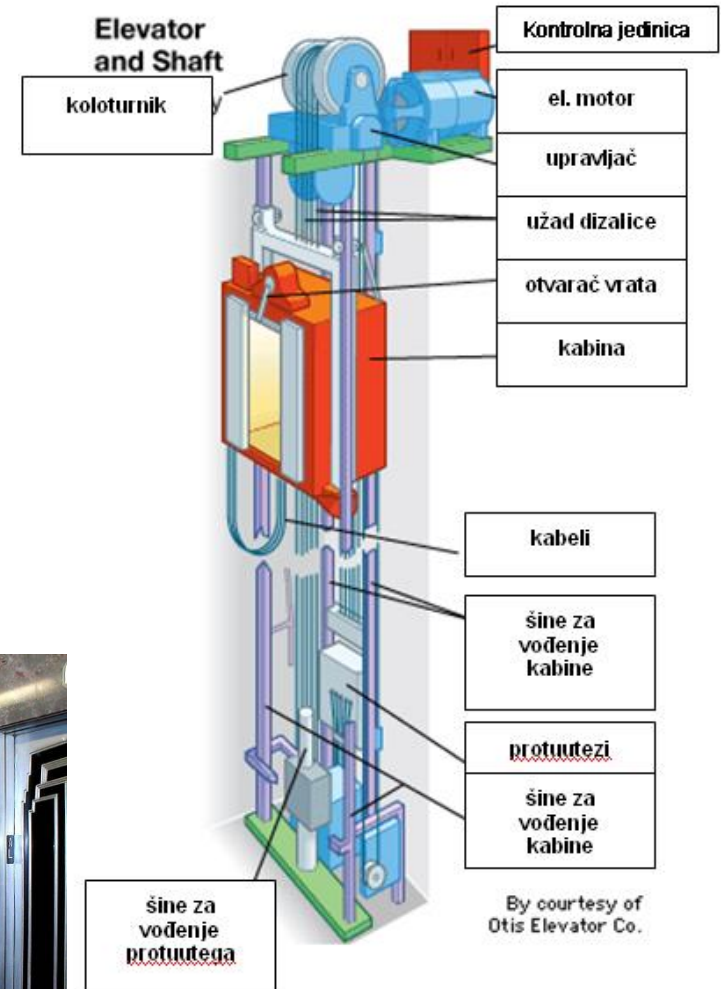


Projektiranje: oprema

- u zgradama iznad 80 katova broj dizala znatno smanjuje korisni prostor etaže
- sky lobby – prijelazna etaža
- tipovi dizala:
 - Lokalni lift – neposredno servisira etaže
 - Ekspresni lift – do prijelazne etaže (sky lobby)
 - Servisni lift: velika nosivost, samo ovlašteno osoblje
 - Vatrogasni lift: odijeljeni vodonepropusni šaht, protupožarni zidovi
- *double-decker* liftovi: kabine jedna iznad druge
- maksimalna brzina: do 64 km/h (18m/s)
- nosivost: do 5 tona



Dizala (liftovi)

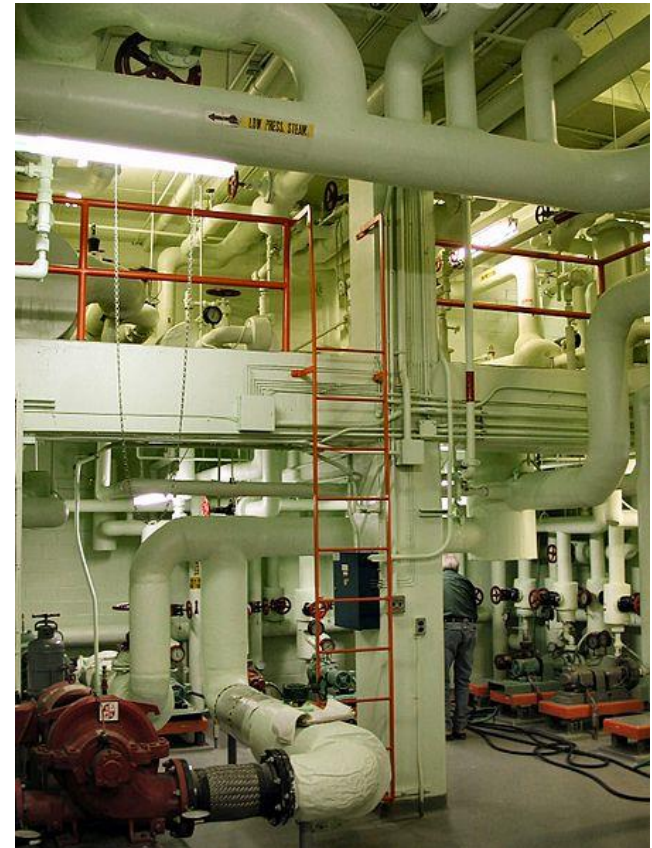


Projektiranje: oprema

- servisiranje potreba korisnika + protupožarna zaštita + klima uređaji + hlađenje
- vodovod: važno ograničenje u projektiranju nebodera
- prvotno - jednostavne visokotlačne pumpe crpile su vodu u spremnike na vrhu nebodera
- međucrpke i spremnici za vodu (mechanical floors)
- crpke na svakoj servisnoj etaži snabdjevaju gornji trakt, tankovi drže rezerve vode za normalnu i za hitnu potrošnju

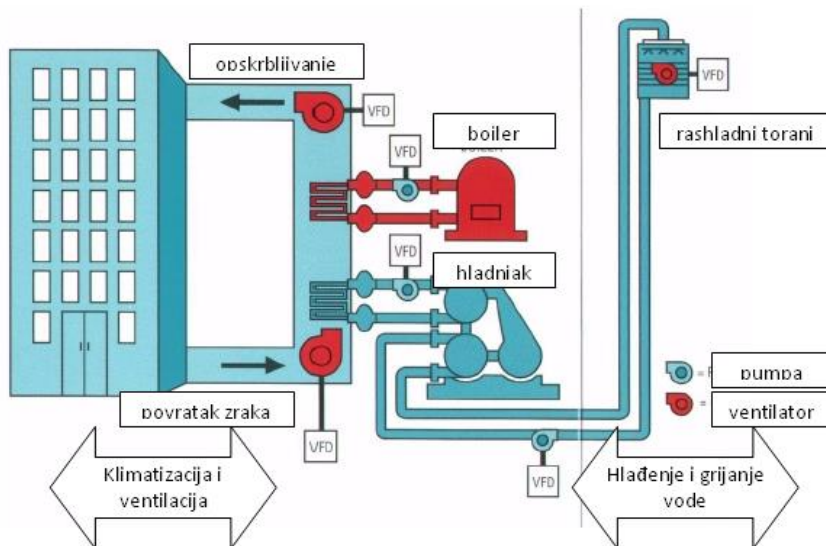
*primjer : Burj Khalifa –
sustav dovodi prosječno 946,000 l vode na dan
kroz 100 km cijevi
+ 213 km cijevi služi sustavu za zaštitu od požara
+ 34 km za rashladnu vodu za sustav klimatizacije.*

Opskrba vodom



Projektiranje: oprema

- HVAC: sistem grijanja, ventilacije i klimatizacije
- složena i teška oprema: masa, vibracije, šahtovi
- problem ugradbe i servisiranja
- energetska efikasnost



HVAC



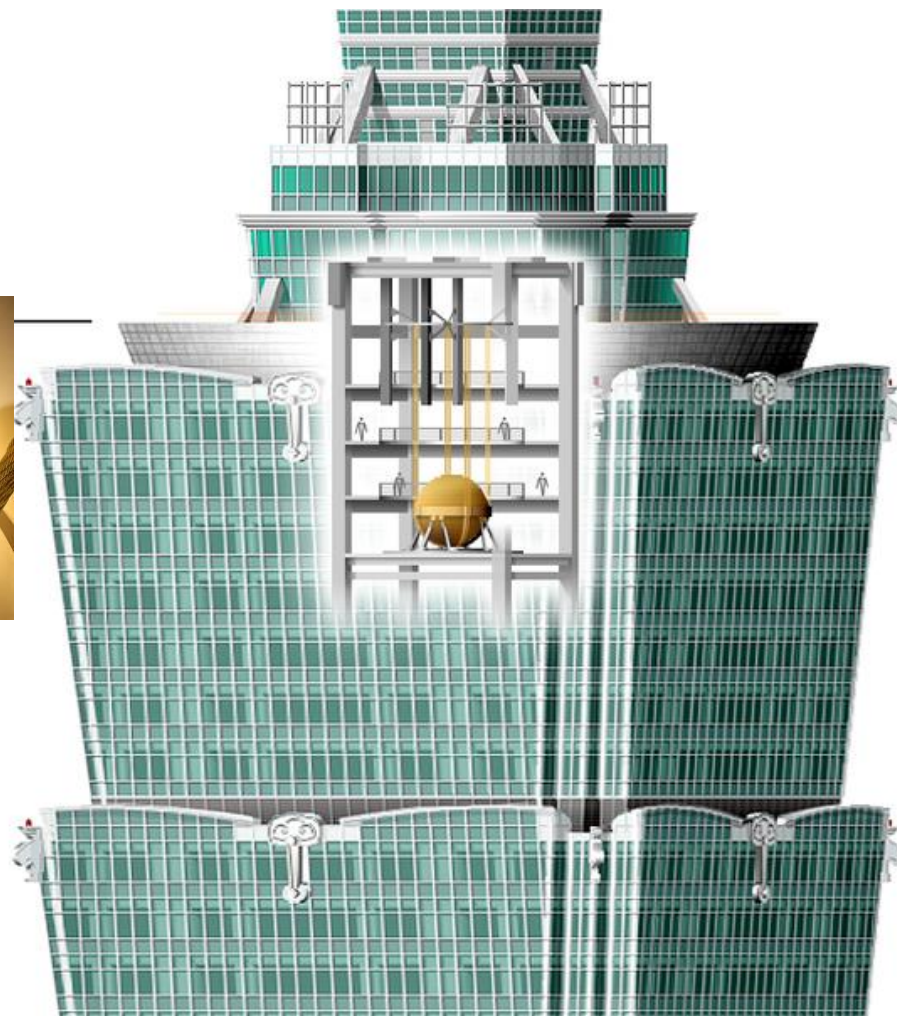
Projektiranje: oprema

- Taipei 101 - prigušivač



Stabilizator - uređaj ugrađen u vitku konstrukciju za smanjenje amplitude mehaničkih vibracija

posebna oprema



Projektiranje: oprema Fasade

- vanjska djelovanja + sprečavanje ulaza vode i zraka u unutrašnjost zgrade
- najčešće: paneli koji se montiraju usporedno s gradnjom
- opterećenja:
 - Stalno
 - Vjetar
 - Potres (usidrenje: relativni pomaci panela 75 mm)
 - Termalno opterećenje (dilatacije panela omogućuju skupljanje i širenja, problem brtvljenja, vezano uz skupljanje i puzanje te ostale deformacije)
 - Eksplozija (neke zgrade zatvorene su fasadom određene otpornosti na eksploziv)
 - Požar (sprečavanje širenja vatre s kata na kat)
 - Poseban problem: održavanje sljubnica

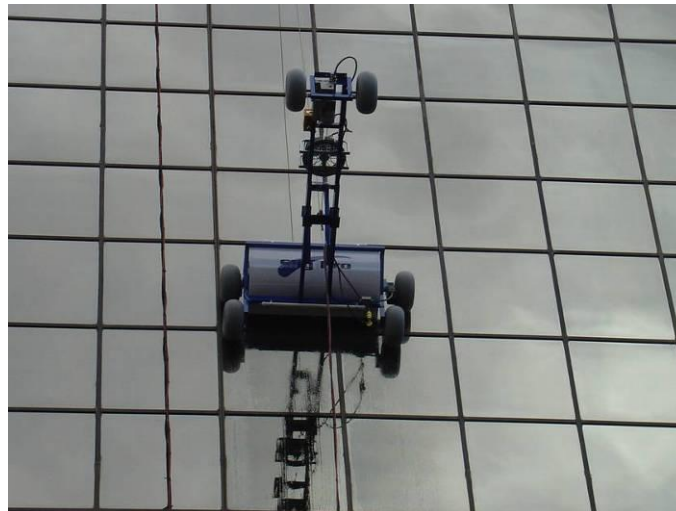


Dvostruka fasada: dvije površine između kojih cirkulira zrak, razmak 20 cm do 2 m



Održavanje i upravljanje

- zasebna disciplina (struka)
- Regulatora: Zakon o prostornom uređenju i gradnji
- poglavlje: Uporaba i održavanje građevine
- *...poslove praćenja stanja građevine, preglede građevine i utvrđivanje potrebe za obavljanje popravaka vlasnik ili upravitelj građevine mora povjeriti osobama koje ispunjavaju propisane uvjete za obavljanje tih poslova posebnim zakonom....*
- održavanje zgrade na godišnjoj razini: do 10% investicije



Održivost visokih zgrada

- održivi razvoj: iskorištavanje resursa, usmjeravanje ulaganja, orijentacija tehnološkog razvitka i institucijske promjene usmjerene tako da sadašnji i budući potencijali ispune čovjekove potrebe i želje
- preduvjet za razvoj nebodera: jeftina energija i materijali
- utrošak gradiva i energije za izgradnju i funkcioniranje visokih građevina su veći nego za niske građevine
- rasvjeta, klimatizacija, liftovi, energetske etaže...
- prednost: ušteda prostora – neboder zauzima manju tlocrtnu površinu u odnosu prema iskoristivom prostoru u zgradi



BIM: trend u projektiranju složenih građevina

Building Information Modelling = poslovni proces stvaranja i korištenja podataka za projektiranje, građenje i upotrebu građevine kroz čitav životni vijek

Building Information Model = digitalni prikaz fizičkih i funkcionalnih karakteristika građevine

Building Information Management = organizacija i kontrola poslovnog procesa korištenjem digitalnih informacija kroz čitav životni vijek građevine

- BIM je zajednički resurs znanja koji čini pouzdanu osnovu za prikaz projekta i odlučivanje u pripadajućim procesima, uključujući

 - upravljanje troškovima,

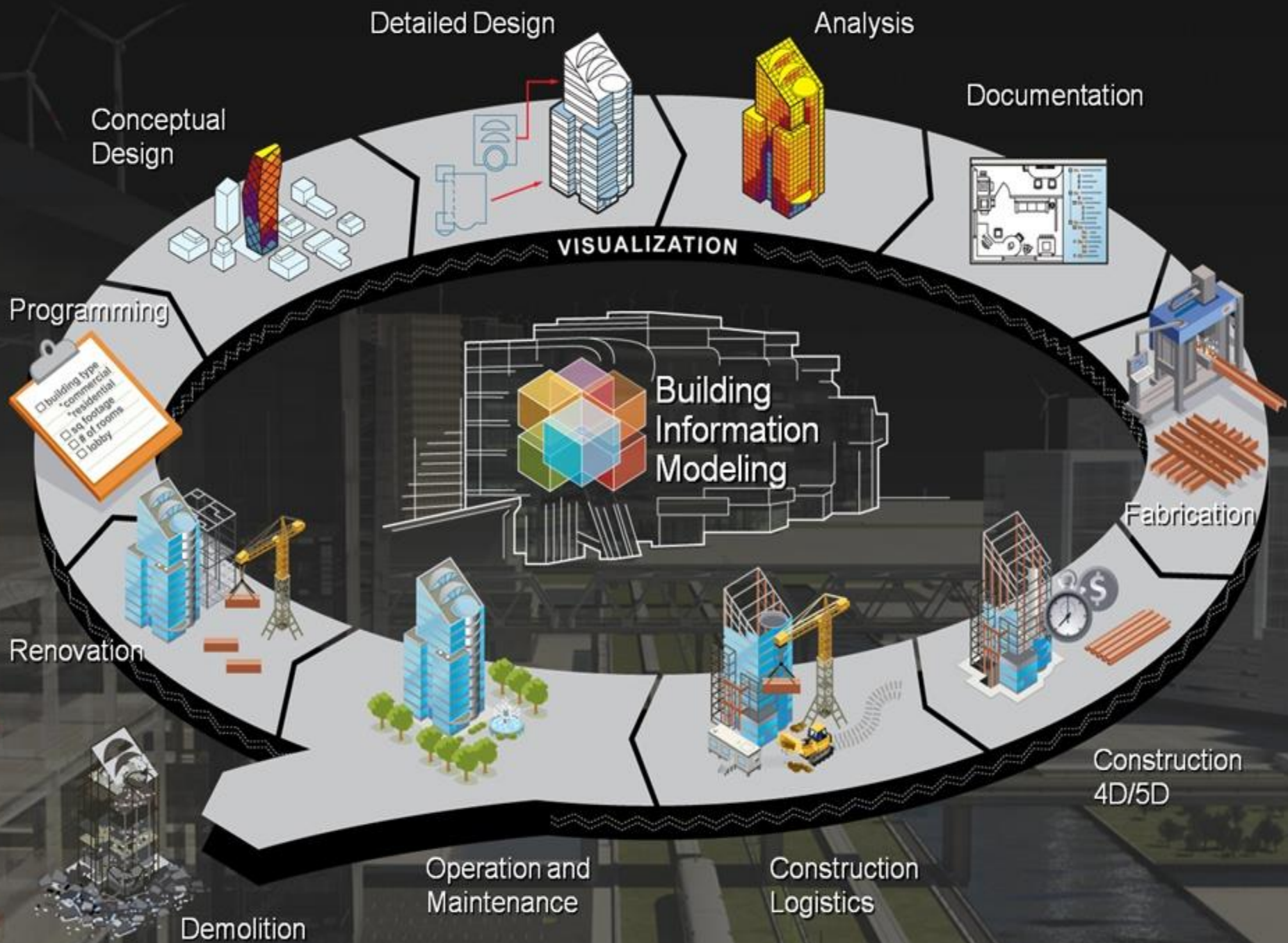
 - upravljanje građenjem,

 - projektni menadžment

 - održavanje,

tijekom čitavog životnog ciklusa građevinskog projekta

- omogućuje lagani pristup informacijama o količinama i svojstvima materijala, veličini radova, kao i dinamičkim informacijama o građevini, kao što su očitavanja senzora i upravljačkih signala tehničkih sustava zgrade



BIM: Building Information Modelling

Osnovno:

Projektiranje u tri osnovne prostorne dimenzije (3D),

Nadogradnja:

Projektiranje planira vrijeme (izvedbe) kao četvrtu dimenziju (4D)

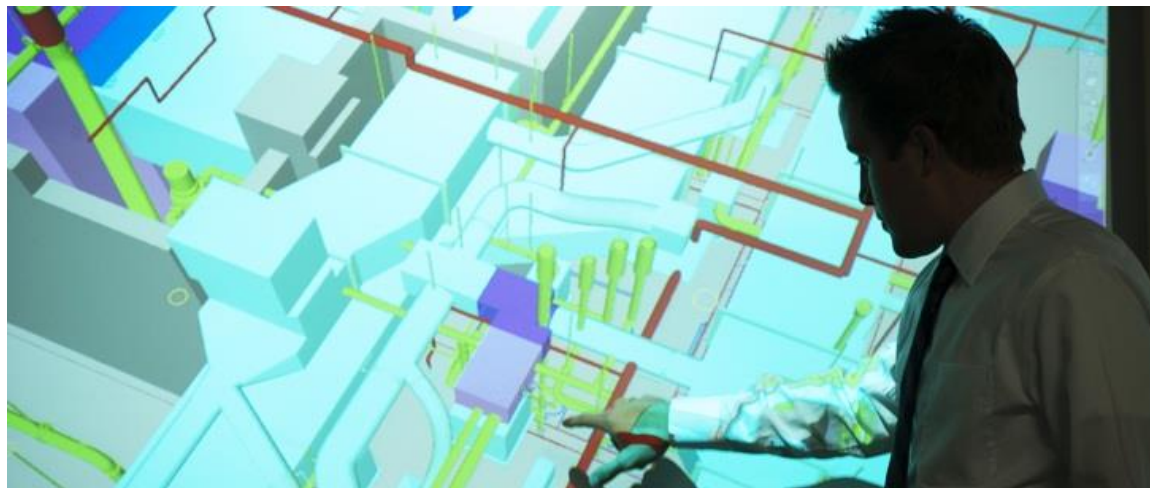
Automatski se planira cijena (troškovi) kao petom (5D)

BIM podrazumijeva projektiranje kao kombinaciju „objekata“ koji imaju svoju geometriju, definirane međusobne odnose i attribute po kojima se omogućuje automatski odabir i naručivanje te procjena troškova, kao i praćenje tijeka materijala

6D BIM – održivost i
sigurnost

7D BIM – održavanje i
upravljanje imovinom

8D BIM – zbrinjavanje
nakon upotrebe



BIM: Building Information Modelling

- mogućnost da se virtualni informacijski model kojeg je pripremio projektantski tim preda glavnom izvođaču i njegovim kooperantima, a zatim i vlasniku/korisniku, s time da svaki sudionik u projektu dodaje svoja specifična znanja jednom zajedničkom modelu.
- rizik gubitka informacija bitno se smanjuje, što je značajno za
facility management
- Razvijaju se međunarodni standardi (norme) razmjene podataka

Prednosti BIM procesa

Koordinacija i suradnja

Brže projektiranje bez gubitka kvalitete i troškova

Rano otkrivanje konflikata i ublažavanje rizika

Visok stupanj prilagodbe i fleksibilnosti

Optimizacija vremenskih planova i troškova izgradnje

Jednostavno održavanje građevine tijekom životnog ciklusa

BIM se postupno razvija kroz razine

- **razina 0** - nezavisan CAD 2D, nema suradnje, razmjena podataka u papirnatom obliku;
- **razina 1** - CAD u 2 ili 3D formatu, 3D za koncept, 2D za dozvole, primjena standarda (CAD BS1192:2007) s alatima za elektronsku razmjenu podataka (CDE common data environment), nema suradnje među različitim disciplinama, svatko objavljuje i održava svoj dio podataka
- **razina 2** – glavna odlika: kolaborativan rad, sve strane koriste svoje vlastite BIM modele, ali ne rade nužno na jednom zajedničkom modelu
- razmjena informacije preko fajlova koji trebaju biti u prepoznatljivom formatu: IFC (Industry Foundation Class) ili posebni COBie (Construction Operations Building Information Exchange); mogućnost korištenja 4D (vremenska komponenta) i 5D (troškovi) programa;
- **razina 3** – puna suradnja svih disciplina koje rade na jednom zajedničkom modelu koji se održava u centralnom repozitoriju projekta = „open BIM” ; potpuno otvoreni proces i integracija podataka omogućena "web servisima" i IFC/IFD standardima, upravljana kolaborativnim serverom modela; pitanja autorskih prava i obveze

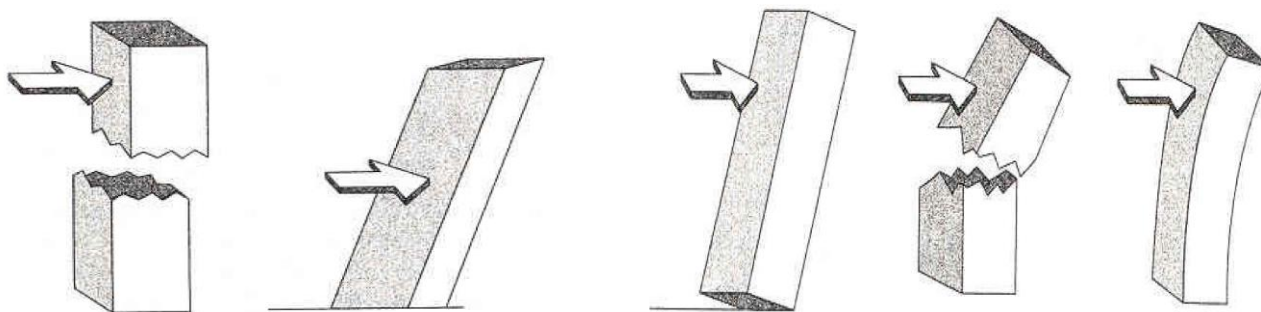
Projektni kriteriji

Osnovni projektni kriteriji za visoke građevine

- horizontalna djelovanja: vjetar i potres
- pritisak vjetra $p = f(H^2)$; slijedi da je pritisak vjetra na zgradu od 100 katova 16x veći od pritiska vjetra na zgradu od 25 katova

Provjere:

- zgrada ne smije popustiti pod posmičnim djelovanjem
- horizontalni pomaci za posmična djelovanja ne smiju biti preveliki
- zgrada ne smije prevrnuti
- stupovi ne smiju popustiti u vlak u ili tlaku
- horizontalni pomaci uslijed savijanja (drift index) ne smiju biti preveliki



Djelovanja i granična stanja

- Cilj: građevine i njihovi sastavni elementi dimenzionirani tako da
 - s prihvatljivom sigurnošću mogu preuzeti opterećenja i pomake tijekom gradnje i uporabe
 - posjeduju odgovarajuću trajnost tijekom predviđenog životnog vijeka

svrha proračuna: osigurati da je vjerojatnost dosizanja bilo kojeg pojedinačnog graničnog stanja manja od prihvatljive vrijednosti za promatrani tip konstrukcije

Otkazivanje građevine: dosizanje „graničnih stanja“:

- granična stanja nosivosti (GSN)***, koja odgovaraju djelovanjima koji uzrokuju rušenje (otkazivanje), opasna za ljude i s velikim financijskim gubicima; vjerojatnost rušenja mora biti mala
- granična stanja uporabljivosti (GSU)***, koja sadrže kriterije za uporabni vijek građevine. Obzirom da posljedice nisu katastrofalne, dopušta se mnogo veća vjerojatnost događanja



Djelovanja i granična stanja

- pojedino granično stanje može biti dosegnuto kao rezultat nepovoljne kombinacije slučajnih uvjeta
- parcijalni koeficijenti sigurnosti koriste se za različite projektne situacije, koje odražavaju vjerojatnost određenih događanja i okolnosti konstrukcije za postojeća djelovanja
- konstrukcija mora biti tako dimenzionirana da se može oduprijeti vertikalnim i horizontalnim djelovanjima, i stalnim i promjenjivim, koja nastaju tijekom izvedbe i tijekom životnog vijeka građevine (60 – 100 godina)
- djelovanja ovise o veličini i obliku zgrade i njenoj lokaciji
- kombinacije djelovanja ovise o vjerojatoj točnosti procjene stalnih i pokretnih djelovanja i o vjerojatnosti istovremene pojave različitih kombinacija vertikalnih djelovanja, stalne težine i pokretnog opterećenja, zajedno sa silama vjeta ili potresa
- točnost tih djelovanja uključena je u analizu po graničnim stanjima propisanim parcijalnim faktorima sigurnosti

Djelovanja i granična stanja

- osnovni zahtjev proračuna po graničnim stanjima jest da konstrukcijski sustav

ima dovoljnu čvrstoću

ostane stabilan

za najveća vjerojatna opterećenja tijekom svog životnog vijeka

- potrebno je poznavati:
 - mjerodavne kombinacije djelovanja,
 - prirast momenata savijanja uslijed pomaka po teoriji drugog reda ($P-\Delta$ utjecaj)
 - i odgovarajuću rezervu,
- temeljem tih podataka provodi se analiza svih kritičnih konstrukcijskih elemenata, čije otkazivanje može dovesti do progresivnog rušenja dijelova ili cijele konstrukcije



Djelovanja i granična stanja

- cijela zgrada se mora provjeriti na prevrtanje kao kruto tijelo oko jednog od rubova temelja

- momentu prevrtanja oko tog ruba odupire se stabilizirajući moment od djelovanja stalne težine građevine

- stabilizirajući moment mora biti veći od momenta prevrtanja za prihvatljivi faktor sigurnosti ($FS > 3$)

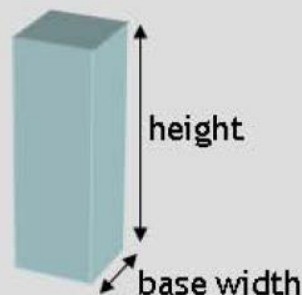


Sears Tower
6.4

John Hancock
6.6

Lotte
7.9

Burj Dubai
8.2



$$\text{Aspect Ratio} = \frac{\text{height}}{\text{base width}}$$

Brzina izvedbe

- temeljni čimbenik za isplativost investicije i minimiziranje troškova kamata
- većina visokih zgrada gradi se na prenapučenim gradskim lokacijama, s otežanim pristupom i bez dovoljno mjesta za gradilišna skladišta
- pažljivo planiranje i organizacija gradilišta i sukcesivnih faza izvedbe postaju bitni
- ujednačenost katnih konstrukcija kod većine visokih zgrada s mnogo katova promiče izvedbu s ponavljajućim postupcima i korištenjem prefabriciranja
- napredak u izvedbi visokih građevina omogućio je razvitak učinkovitije opreme i poboljšanih postupaka izvedbe kao:
 - klizna i podizna oplata
 - pumpanje betona
 - uporaba dizalica velike nosivosti



Djelovanja: vlastita težina i faze izvedbe

- djelovanja tijekom izvedbe: stalna težina
- uobičajeno: betonirana katna konstrukcija oslanja se na niže katove
- opterećenja tijekom gradnje na podupirajuće katne konstrukcije nadmašuju djelovanja tijekom normalne uporabe, zbog težine svježeg betona i skele
- projektant ne zna detalje postupka izvedbe



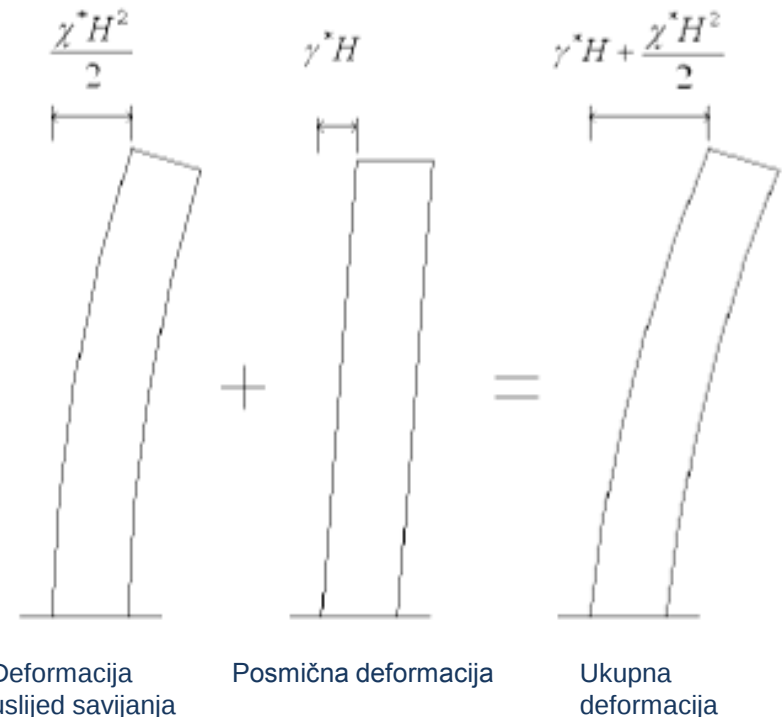
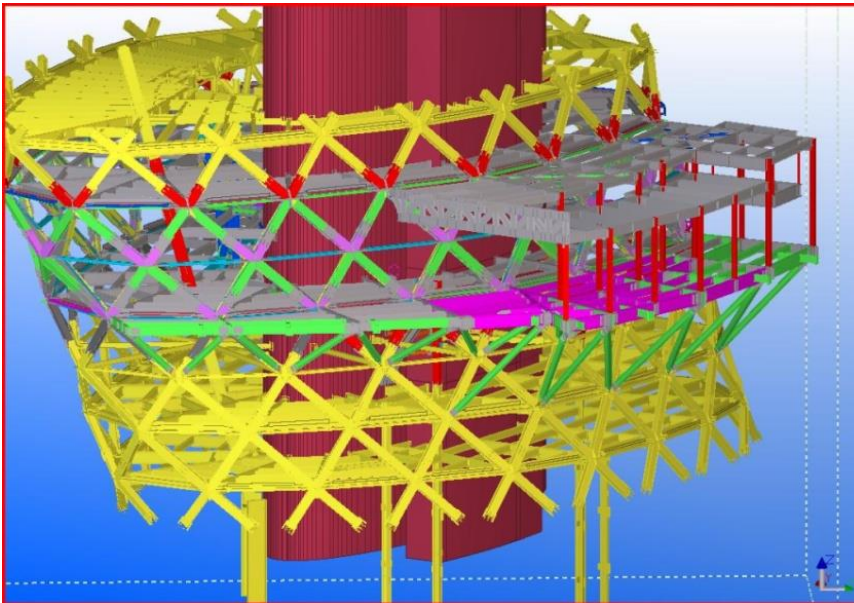
Djelovanja: vlastita težina i faze izvedbe

- ako uzdužne deformacije stupova računamo uz stalnu težinu zadanu na cjeloviti konstrukcijski sustav, od diferencijalnog skraćivanja stupova nastati će momenti savijanja u horizontalnim komponentama (gredama)
- zbog kumulativnih utjecaja aksijalnih deformacija stupova po visini, ti utjecaji su veći na višim razinama građevine
- no, utjecaji takvih diferencijalnih pomaka mogu se uvelike precijeniti, jer se realno tijekom faza gradnje pojedini horizontalni element izvodi na stupovima, koji su već pretrpjeli aksijalne deformacije od cijele stalne težine do te promatrane razine
- deformacije pojedine katne konstrukcije uzrokovati će samo opterećenja koja nastaju nakon njene izvedbe
- sukcesivne faze izvedbe moraju se uzeti u obzir pri proračunu



Ograničenje horizontalnih pomaka

- krajnje pojednostavnjeni model visoke zgrade je konzolna greda upeta u temelje
- horizontalni pomak konzole usljed djelovanja vjetra naziva se drift
- parametar horizontalne krutosti: kazalo horizontalnog pomaka (drift index) = odnos maksimalnog horizontalnog pomaka vrha zgrade i visine zgrade



Ograničenje horizontalnih pomaka

- svaki kat ima kazalo međukatnog pomaka (inter-story drift index), kojim se provjeravaju lokalne prekomjerne deformacije
- u SAD u važećim propisima nisu definirani zahtjevi na drift index, ali se obično uzima vrijednost $1/400$ kao prihvatljiva granica
- različite zemlje koriste vrijednosti od $1/1000$ do čak $1/200$
- u EN 1990 ta vrijednost nije definirana i prepušta se Nacionalnom dodatku (ND)
- u Austriji je ND propisana samo vrijednost $1/300$ za inter-story drift (međukatni pomak)
- niže vrijednosti se koriste za hotele i stambene zgrade, jer je buka i neugoda na tim razinama neprihvatljiva
- za standardne građevine, prihvatljive su vrijednosti od $1/700$ do $1/350$



Ograničenje horizontalnih pomaka

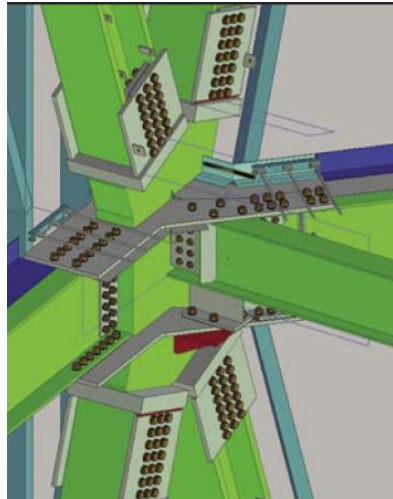
Horizontalni pomaci moraju se ograničiti zbog:

- sprečavanja $P-\Delta$ utjecaja po teoriji drugog reda od vertikalnih djelovanja, koji mogu uzrokovati slom
- funkcioniranja ne-konstrukcijskih dijelova, kao što su liftovi i vrata
- izbjegavanja nezgoda u konstrukciji
- sprečavanja prekomjernog raspucavanja i time uzrokovanog gubitka krutosti
- izbjegavanja preraspodjele opterećenja na nenosive pregrade, ispune, obloge i ostakljene površine
- sprečavanja dinamičkih gibanja, koja uzrokuju nelagodu korisnika ili nepovoljno djeluju na osjetljivu opremu



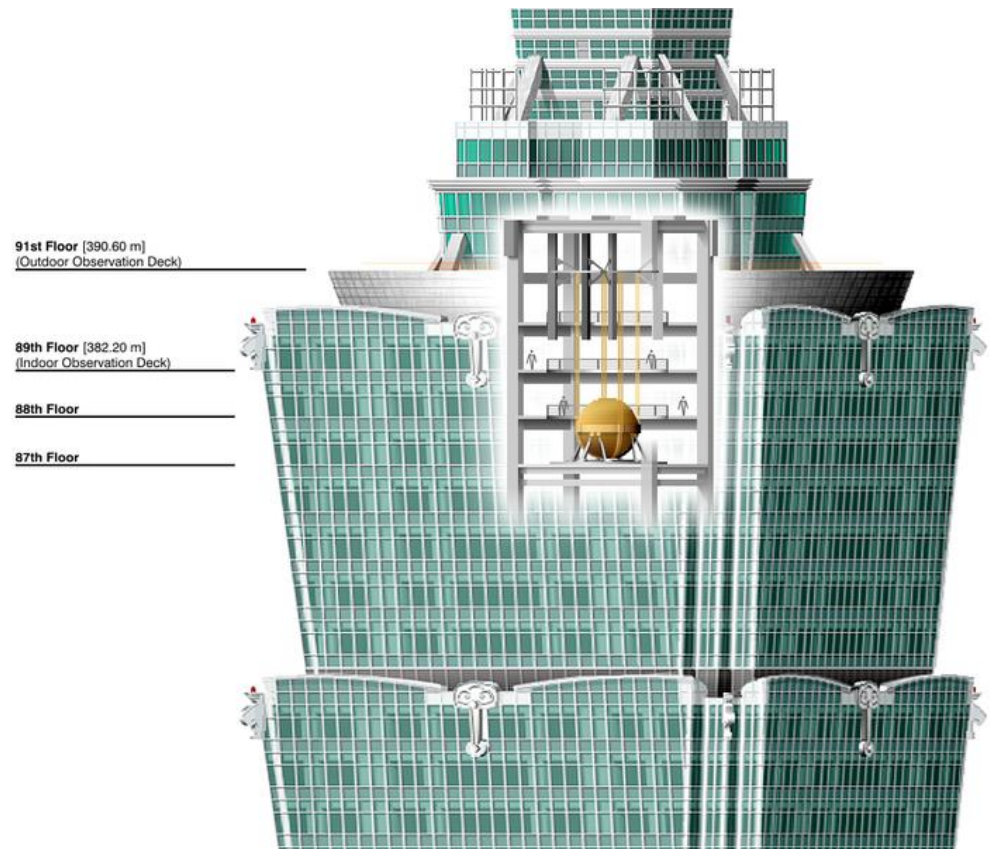
Ograničenje horizontalnih pomaka

- tijekom projektiranja pažljivo se ispituje krutost spojeva, poglavito kod prefabriciranih konstrukcija, da se realizira potrebna horizontalna krutost konstrukcijskog sustava i spriječi progresivno rušenje (progressive collapse)
- ne smiju se zanemariti ni torzijske deformacije, poglavito kod čeličnih okvira uslijed dnevnih temperaturnih horizontalnih pomaka (drift)



Ograničenje horizontalnih pomaka

- s porastom visine građevine drift index bi se trebao smanjiti da horizontalni pomak najgornjeg kata bude prihvatljivo male veličine
- ako je proračunati horizontalni pomak konstrukcije prekomjeren, može ga se smanjiti slijedećim mjerama:
 - promjenom geometrijskog oblika (promjenom načina odupiranja horizontalnim djelovanjima)
 - povećanjem krutosti na savijanje horizontalnih elemenata
 - povećanjem krutosti uključenjem krućih zidova ili dijelova jezgre
 - realizacijom krućih spojeva ugradbom kosih vanjskih stupova
 - ugradbom **prigušivača**, pasivnog ili aktivnog tipa



Krutost

- horizontalna krutost je od najvećeg značaja kod projektiranja visokih građevina
- za granično stanje nosivosti (GSN) horizontalni pomaci moraju se ograničiti, da se spriječi tako veliko povećanje $P-\Delta$ utjecaja po teoriji drugog reda od vertikalnih djelovanja, da može uzrokovati rušenje
- dodatno, uvjetima uporabljivosti traži se da ti pomaci ne utječu na tračnice liftova, vrata, staklene pregrade i da su spriječena dinamička gibanja koja izazivaju neudobnost korisnika i nepovoljno djeluju na osjetljivu opremu
- to je jedna od bitnih razlika visokih građevina u odnosu na niske građevine

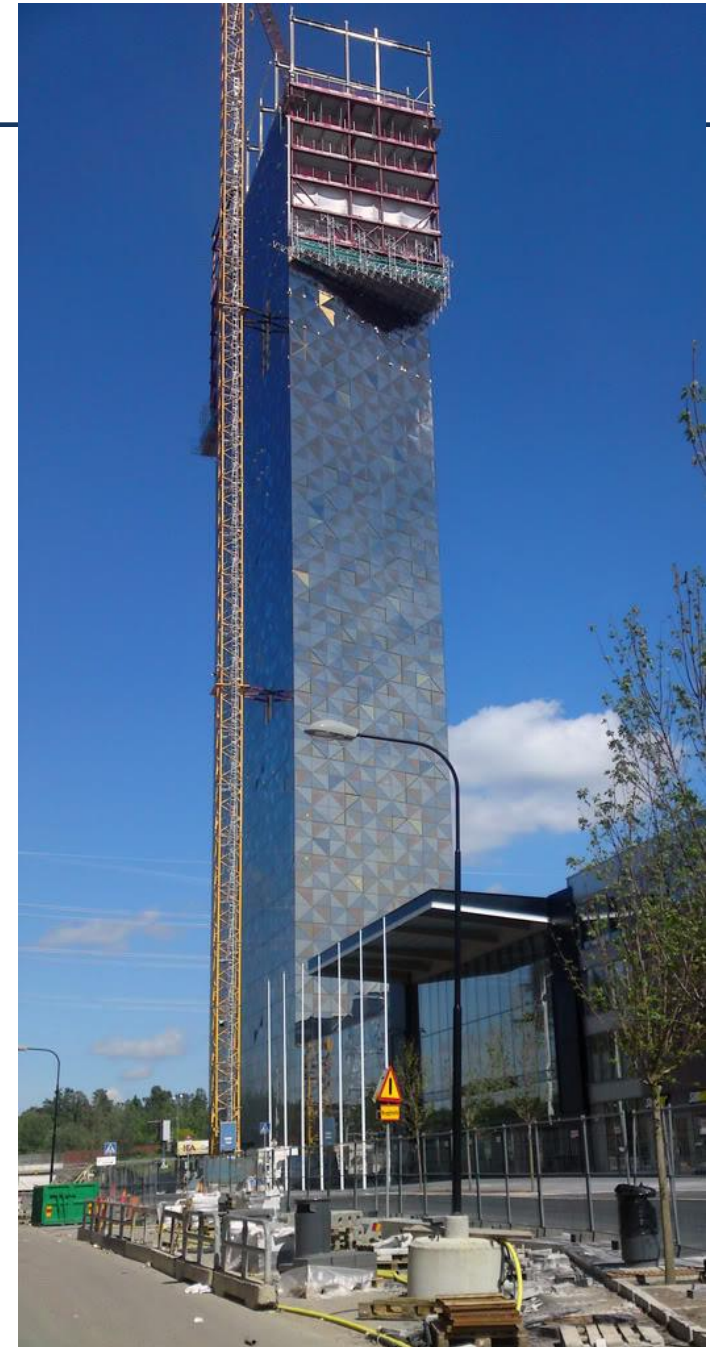


Udobnost korisnika

- zgrade podvrgnute i horizontalnim i torzijskim pomacima (uključivo aerodinamičke pojave poput vrtloženja i preostale standardne utjecaje) mogu kod korisnika izazvati osjećaje od nelagode do akutne mučnine
- kad je visoka konstrukcija podvrgnuta bočnim (horizontalnim) djelovanjima nastala oscilatorna gibanja mogu izazvati različite reakcije kod stanara zgrade, u rasponu od lagane nelagode do akutne mučnine: takva konstrukcija nije poželjna ili se ne da iznajmiti
- ne postoje kodificirani standardi za kriterij udobnosti
- **EN 1990 A1.4.4 Vibracije** daje samo načelne naznake
- ako je vlastita frekvencija vibracija konstrukcije manja od primjerene vrijednosti, treba provesti točniji proračun dinamičkoga odziva konstrukcije uzimajući u obzir prigušenje, da se odredi primjerenost konstrukcije za kriterije udobnosti

Požar

- jedan od najekstremnijih uvjeta koje se postavlja na zgradu je požar
- požarna otpornost je bitni uvjet kod projektiranja
- raspon temperatura i trajanje požara moraju se procijeniti iz vjerojatnog uzroka i materijala u zgradi, koji mogu služiti kao gorivo za širenje i nastavak požara
- zanimljivi su i mogući izvori ventilacije, a moraju se uzeti u obzir i izlazi sa alternativnih putova
- bitno: ponašanje različitih konstrukcijskih komponenata
- npr. granica popuštanja čelika kod 700°C iznosi samo 15% granice popuštanja kod 20°C , a modul elastičnosti pada na svega 45% početne originalne vrijednosti



Puzanje, skupljanje i temperatura

- kod vrlo visokih građevina ukupni (kumulativni) vertikalni pomaci od puzanja i skupljanja mogu izazvati konstrukcijske probleme i sile u horizontalnim konstrukcijskim elementima, poglavito u gornjim dijelovima zgrade
- tijekom izvedbe elastična skraćanja nastaju u vertikalnim elementima nižih razina uslijed dodatnih opterećenja od gornjih katova kod njihovog dovršenja
- kumulativni diferencijalni pomaci utjecati će na naprezanja u slijedećim konstrukcijskim dijelovima, poglavito kod konstrukcija koje čine predgotovljeni i na licu mjesta betonirani elementi (komponente)
- kod zgrade podvrgnutih velikim promjenama temperature između međusobno vezanih vanjskih pročelja (fasada) i unutrašnje jezgre nastaju naprezanja u veznim elementima



Puzanje, skupljanje i temperatura

- Važni čimbenici za određivanje dugotrajnih deformacija uključuju:
 - značajke betona
 - povijest opterećivanja
 - starost betona kod nanošenja opterećenja
 - odnos volumen/oplošje i
 - postotak armature u promatranim konstrukcijskim elementima
- postizanje ujednačenosti naprezanja u vertikalnim komponentama konstrukcijskog sustava smanjiti će relativne vertikalne pomake uslijed puzanja i elastičnih skraćanja



Slijeganje oslonaca

- vertikalna (gravitacijska) i horizontalna djelovanja na konstrukciju predaju se na tlo preko sustava temelja
- stupovi visokih zgrada, zbog njihove visine, su vrlo masivni
- ako se radi o stjenovitom tlu, odgovarajući temelji mogu biti plitki, bušeni piloti ili duboki podrumi
- na lokacijama sa slabim tlom diferencijalni pomaci se moraju izbjeći
- tipično rješenje je pločasti temelj (mat foundation/ raft foundation), kod kojeg je težina iskopanog tla jednaka značajnom dijelu ukupne težine zgrade
- taj postupak naziva se „djelomično kompenzirani temelj“ („partially compensated foundation“)
- treba provjeriti momente prevrtanja i stabilizirajuće momente i posmike
- mali diferencijalni pomaci temelja kod visokih zgrada izazivaju velika nagibanja
- ako dođe do zakretanja cjelokupnog temelja sa diferencijalnim slijeganjem, nastali horizontalni pomaci uvećati će se s visinom zgrade i značajno povećati maksimalni drift i utjecaje teorije drugog reda ($P-\Delta$)

Interakcija tla i konstrukcije

- interakcija tla i konstrukcije obuhvaća i statičko i dinamičko ponašanje
- statičko ponašanje se općenito analizira pojednostavnjenim modelima posteljice, uobičajeno koristeći metodu konačnih elemenata (MKE)
- kod razmatranja dinamičkih utjecaja, mora se uključiti i interakcija tla i konstrukcije i sva pojačanja (amplification) do kojih dolazi ako se vlastite frekvencije konstrukcijskog sustava zgrade i temelja podudaraju
- potresna djelovanja mogu izazvati prekomjerne hidrostatske pritiske i može doći do likvefakcije tla
- takve okolnosti moraju se uzeti u obzir i po mogućnosti izbjeći



