

ARHITEKTONSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
Inženjerske konstrukcije

VISOKE GRAĐEVINE – PROJEKTNII
KRITERIJI

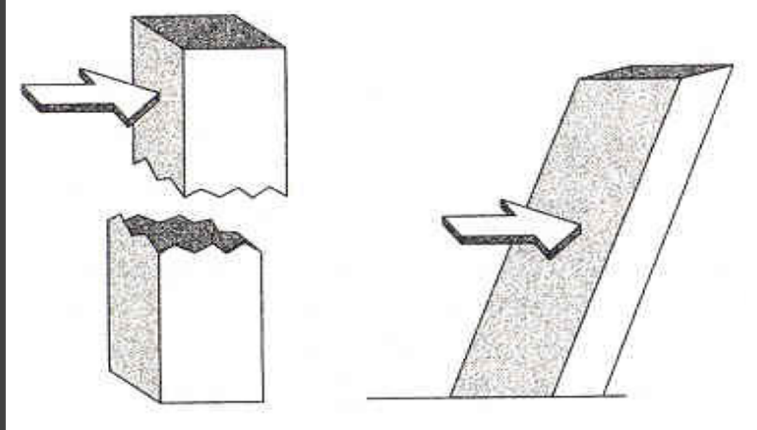


Kratki pregled

- 1. Osnovni projektni kriteriji
- 2. Filozofija graničnih stanja
- 3. Brzina izvedbe
- 4. Djelovanja
- 5. Djelovanja po sukcesivnim fazama izvedbe
- 6. Čvrstoća i stabilnost
- 7. Ograničenja horizontalnih pomaka (drift)
- 8. Krutost
- 9. Udobnost korisnika
- 10. Požar
- 11. Puzanje, skupljanje i temperatura
- 12. Slijeganje temelja
- 13. Interakcija tla i konstrukcije

1. Osnovni projektni kriteriji za visoke građevine

- 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



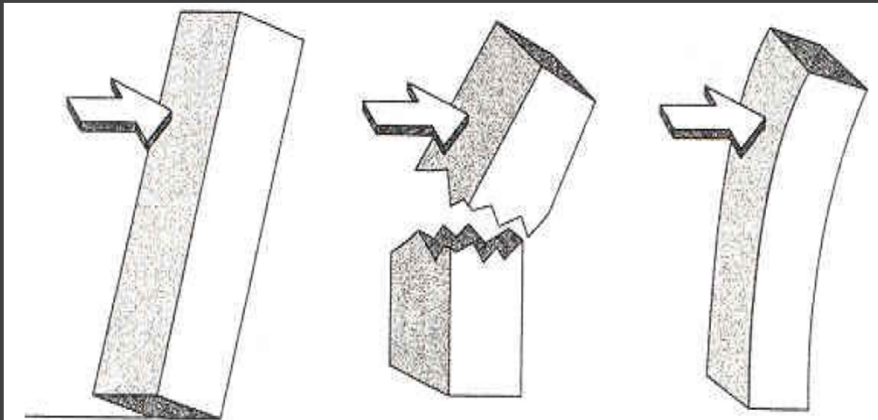
a) zgrada ne smije popustiti pod posmičnim djelovanjem

b) horizontalni pomaci za posmična djelovanja ne smiju biti preveliki

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

1. Osnovni projektni kriteriji za visoke građevine

Otpornost na savijanje mora biti takova da:



a) se zgrada ne prevrne

b) stupovi ne popuste u vlak u tlaku

c) horizontalni pomaci uslijed savijanja (*drift index*) ne budu preveliki

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

2. Filozofija graničnih stanja

Cilj tog pristupa je da sve građevine i njihovi sastavni elementi budu dimenzionirani tako da sa prihvatljivom sigurnošću mogu preuzeti najveća opterećenja i pomake, koji se mogu dogoditi tijekom gradnje i uporabe i da posjeduju odgovarajuću trajnost tijekom svog životnog vijeka.

Smatra se da je cijela konstrukcija i bilo koji njen dio zakazala, kad dosegne bilo koje od različitih „graničnih stanja“.

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

- 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
- implicitna svrha projektnih proračuna je, da se osigura da je vjerojatnost dosizanja bilo kojeg pojedinačnog graničnog stanja manja od prihvatljive vrijednosti za promatrani tip konstrukcije

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

3. Brzina izvedbe

Brzina izvedbe je temeljni čimbenik za isplativost investicije i minimiziranje troškova kamata na velike kapitalne troškove u takvim mega projektima.

- 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 penjajućih dizalica i auto-dizalica velike nosivosti

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

4. 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)
- ta djelovanja razvidno ovise o veličini i obliku zgrade i njenoj lokaciji
- kombinacije djelovanja ovise o vjerojnoj točnosti procjene stalnih i pokretnih djelovanja i o vjerojatnosti istovremene pojave različitih kombinacija vertikalnih djelovanja, stalne težine i pokretnog opterećenja, zajedno sa silama vjetra ili potresa
- točnost tih djelovanja uključena je u analizu po graničnim stanjima propisanim parcijalnim faktorima sigurnosti

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

5. Djelovanja po sukcesivnim fazama izvedbe

- najgori slučaj djelovanja stalne težine je obično sukcesivni po fazama tijekom gradnje
- uobičajeno je da se novo betonirana katna konstrukcija oslanja na prethodno betonirane katove
- ta opterećenja tijekom gradnje na podupirajuće katne konstrukcije uvelike nadmašuju djelovanja za normalnu uporabu, zbog velike težine svježeg betona i težine skele
- projektant nažalost obično unaprijed ne zna izvođača, niti njegov postupak izvedbe
- ako uzdužne deformacije stupova računamo na 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
- ako se želi postići realna procjena djelovanja od stalne težine, sukcesivne faze izvedbe moraju se uzeti u obzir

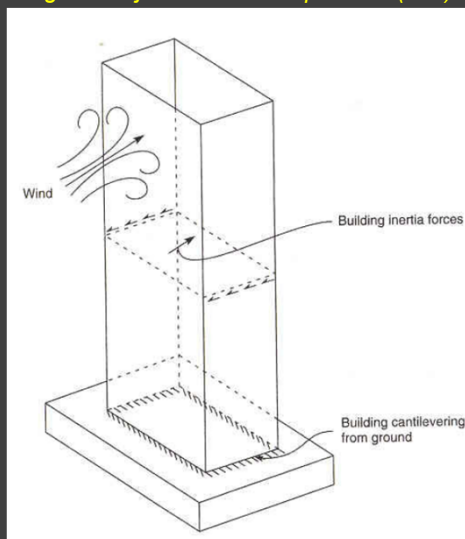
INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

6. Čvrstoća i stabilnost

- osnovni zahtjev proračuna po graničnim stanjima jest da konstrukcijski sustav ima dovoljnu čvrstoću da se odupre i ostane stabilan za najveća *vjerojatna* opterećenja tijekom svog životnog vijeka
- to uključuje sve mjerodavne kombinacije djelovanja, prirast momenata savijanja uslijed pomaka po teoriji drugog reda ($P-\Delta$ utjecaj) i odgovarajuću rezervu, kao i analizu svih kritičnih konstrukcijskih elemenata, čije otkazivanje može dovesti do progresivnog rušenja dijelova ili cijele konstrukcije
- konačno, 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 djelovanje stalne težine građevine
- taj stabilizirajući moment razvidno mora biti veći od momenta prevrtanja za prihvatljivi faktor sigurnosti ($FS > 3$)

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

7. Ograničenja horizontalnih pomaka (drift)



- krajnje pojednostavnjeni model visoke zgrade je konzolna greda upeta u temelje
- horizontalni pomak konzole uslijed djelovanja vjetra, prikazanog na skici je (drift)

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

7. Ograničenja horizontalnih pomaka (drift)

- parametar za mjerenje horizontalne krutosti naziva se *kazalo horizontalnog pomaka (drift index)*
- određuje se kao odnos maksimalnog horizontalnog pomaka vrha zgrade i visine zgrade
- svaki kat ima kazalo tzv. *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
- u Austriji je npr. Nacionalnim dodatkom propisana samo vrijednost 1/300 za *inter-story drift*
- 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

7. Ograničenja horizontalnih pomaka (drift)

Horizontalni pomaci moraju se ograničiti zbog:

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

7. Ograničenja horizontalnih pomaka (*drift*)

- tijekom projektiranja neizostavno se ima uzeti u obzir krutost spojeva, poglavito kod predgotovljenih i 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*)
- s porastom visine građevine *drift index* bi se trebao smanjiti da horizontalni pomak najgornjeg kata bude prihvatljivo male veličine
- ako je horizontalni pomak konstrukcije prekomjeran, može ga se smanjiti, kako slijedi:
 - 1) promjenom geometrijskog oblika i time promjenom načina odupiranja horizontalnim djelovanjima
 - 2) povećanjem krutosti na savijanje horizontalnih elemenata
 - 3) povećanjem krutosti uključenjem krućih zidova ili dijelova jezgre
 - 4) realizacijom krućih spojeva ugradbom kosih vanjskih stupova
 - 5) u ekstremnim uvjetima mogu se ugraditi prigušivači, pasivnog ili aktivnog tipa

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

8. 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

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

9. 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
- to su bitni čimbenici kod konačnog projekta zgrade
- kad na visoku zgradu djeluju bočna (horizontalna) opterećenjama nastala oscilatorna gibanja mogu izazvati različite reakcije kod korisnika zgradetakva 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 kriterij udobnosti

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

10. 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
- ponašanje različitih konstrukcijskih komponenata mora se poznavati
- 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

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

11. Puzanje, skupljanje i temperatura

- kod vrlo visokih betonskih 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

Važni čimbenici za određivanje dugotrajnih deformacija uključuju:

- 1) značajke betona
- 2) povijest opterećivanja
- 3) starost betona kod nanošenja opterećenja
- 4) odnos volumen/oplošje i postotak armature u promatranim konstrukcijskim elementima
- 5) postizanje ujednačenosti naprezanja u vertikalnim komponentama konstrukcijskog sustava smanjiti će relativne vertikalne pomake uslijed puzanja i elastičnih skraćanja

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

12. Utjecaj slijeganja oslonaca na visoke zgrade

- 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 ($P-\Delta$)

INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

13. 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