

ARHITEKTONSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
Inženjerske konstrukcije

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI ZA
VISOKE GRAĐEVINE

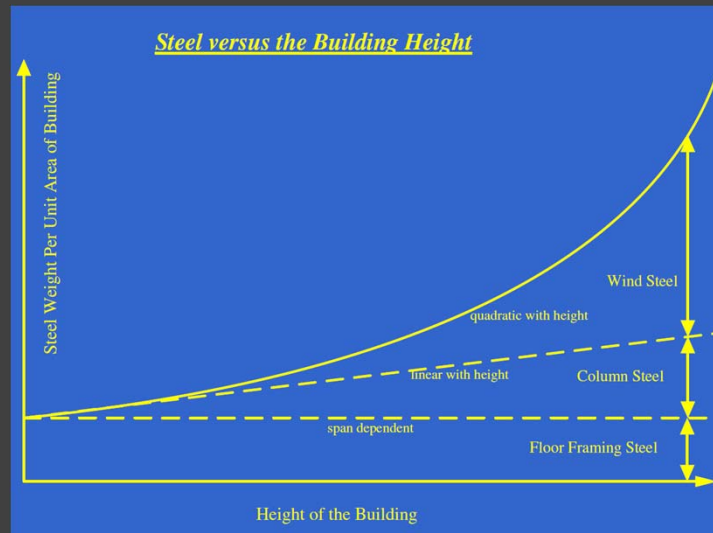


OSNOVNA NAČELA

- idealno bi bilo kada bi konstruktor odabrao najučinkovitiji sustav za preuzimanje vertikalnih i horizontalnih (vjetar i potres) sila
- međutim, idealna konstrukcijska rješenja rijetko se primjenjuju u praksi
- zato konstruktor mora udovoljiti slijedećim ograničenjima na "idealnu konstrukciju":
 - planiranje prostora unutar konstrukcije - arhitekt
 - odabrani materijali
 - metode građenja uobičajene za određeno područje
 - odabir vanjske obloge i dekoracije - arhitekt
 - ograničenja lokacije
 - položaj instalacijskih sustava
 - veličina horizontalnih opterećenja
 - proporcije i visina konstrukcije definirani od investitora ili arhitekta
- učinkovitost različitih konstrukcija uspoređuje se težinom/ m^2 tlocrtno površine
 - međukatne konstrukcije preuzimaju primarno vertikalno opterećenje koje ovisi samo o rasponu, a ne i o visini građevine
 - opterećenje od stupova je također vertikalno, linearno ovisno o visini građevine
 - s druge strane, opterećenje konstrukcije koja preuzima horizontalna djelovanja (vjetar, potres) je barem kvadratna funkcija opterećenja i zavisna je od visine građevine

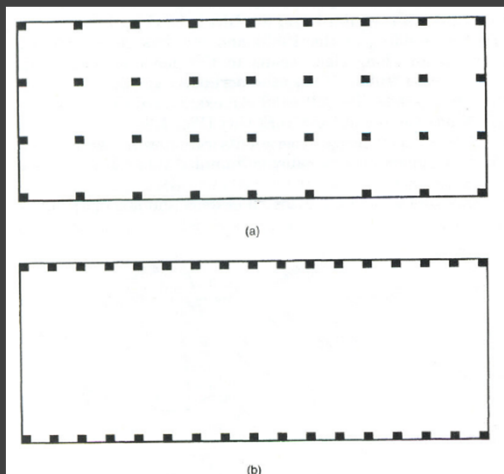
OSNOVNA NAČELA

Potrošnja čelika ovisno o visini zgrade



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

MJERE KONSTRUKCIJSKE UČINKOVITOSTI

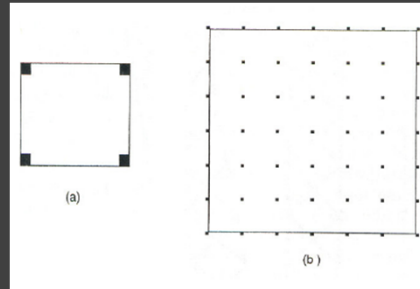


- pojednostavnjeno, visoka građevina djeluje kao konzola sa temeljima upetim u tlo
- prema tom modelu evidentno je da je tipični presjek visoke građevine prikazan na slici (a) sa stupovima smještenim po rubovima i unutar tlocrtnih kontura, nije jednako krut kao i građevina kod koje su svi stupovi smješteni na vanjskom rubu kao što je prikazano na slici (b)
- takva učinkovitost na savijanje može se opisati preko parametra koji se naziva "indeks krutosti na savijanje" (Bending Rigidity Index – BRI)

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

MJERE KONSTRUKCIJSKE UČINKOVITOSTI

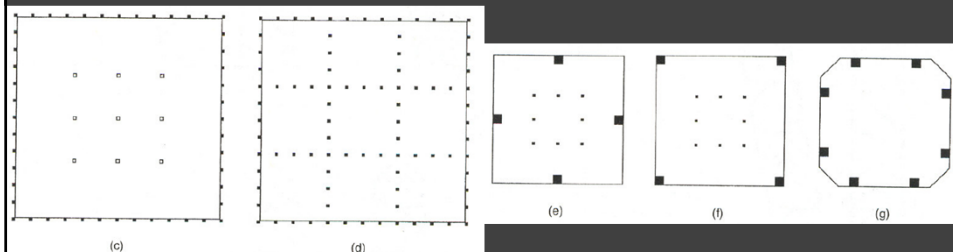
- Za usporedbu učinkovitosti na savijanje za različite tlocrtne rasporede, najveći indeks $BRI = 100$ dodjeljen je za raspored prikazan na slici (a) – kvadratni oblik sa stupovima samo u kutevima kvadrata
- BRI predstavlja ukupni moment inercije svih stupova u odnosu na središnju os
- Empire State Building se odupire horizontalnom opterećenju pomoću svih stupova – rubnih i unutrašnjih, čiji je raspored prikazan na slici (b)
- BRI iznosi 33, što znači da je učinkovitost konstrukcije samo 33%



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

MJERE KONSTRUKCIJSKE UČINKOVITOSTI

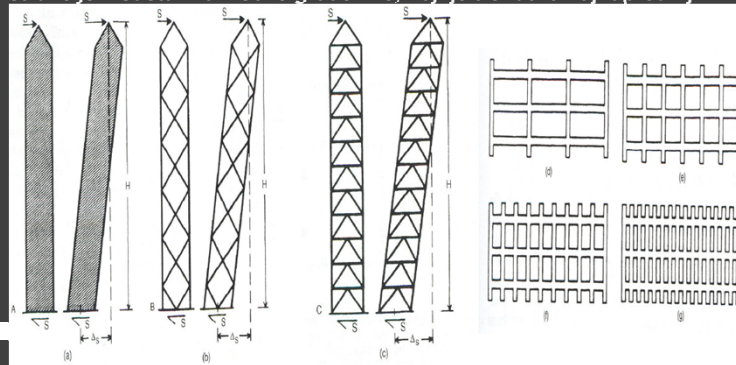
- moderne građevine imaju zgusnutiji raspored vanjskih (rubnih) stupova bez unutarnjih stupova do jezgre dizala formirajući tako “cijev” (“tube”)
- prve građevine koncipirane i izgrađene prema ovom načelu bili su neboderi World Trade Center (c)
- Sears u Chicagu su sastavljeni od 9 cijevi (d)
- Citicorp tower prikazan na slici (e) nema stupove smještene u kuteve, tako da mu je BRI pao na 31%, da su stupovi smješteni u kuteve (f) BRI bi bio 56%
- Bank of South West Tower u Houstonu prikazan na slici (g) ima $BRI = 63\%$



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

MJERE KONSTRUKCIJSKE UČINKOVITOSTI

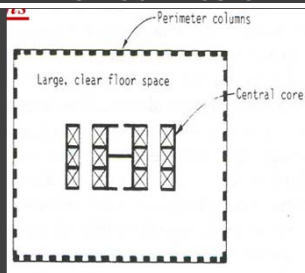
- stupovi visoke građevine moraju se ponašati kao dijelovi cjelokupnog sustava formirajući djelotvoran posmično kruti sustav, koji se može iskazati pomoću "indeksa posmične krutosti" (*Shear Rigidity Index – SRI*)
- idealni $SRI = 100$ prikazan je na slici (a), a sastoji se samo od zidova, bez otvora
- sustav prikazan na slici (b) sa dijagonalama pod kutem od 45° ima $SRI = 62.5$
- spreg koji se uobičajeno koristi u praksi prikazan na slici (c), koji se sastoji od horizontalnih prečki i dijagonala ima $SRI = 31.3$
- moderni posmični sustavi koji su sačinjeni od krutih okvira prikazani na slikama (d) do (g) imaju veći SRI koji ovisi o odnosima raspona i visine (debljine) pojedinih elemenata
- kada su sve četiri strane građevine sastavljene od ovakvih okvira onda oni formiraju "cijevi", a to je konstrukcijski sustav za visoke građevine, koji je trenutno najnapredniji



MJERE KONSTRUKCIJSKE UČINKOVITOSTI

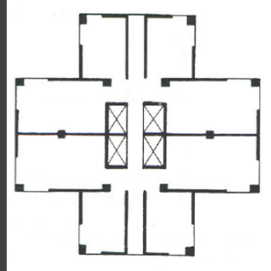
FUNKCIJA PROSTORA NASPRAM KONSTRUKCIJSKOM SUSTAVU

Uredski prostori



- uredski prostori trebaju biti veliki i otvoreni sa što je moguće više prostora sa pogledom prema van
- prostor treba biti podijeljen sa laganim pregradama
- glavni vertikalni elementi (stupovi) smješteni su po rubovima
- instalacije se vode horizontalno po katovima i smještene su u stropovima
- tipična visina kata za poslovne zgrade iznosi 3,5 m ili više
- → visina 40-ero katne poslovne zgrade iznosi oko 140 m

Stambeni prostori



- stambeni i hotelski prostori imaju jednaku podjelu prostora po visini
- vertikalni elementi konstrukcije mogu biti skriveni unutar pregrada
- instalacije se vode vertikalno
- visoke stropne konstrukcije nisu potrebne, osim eventualno na hodnicima
- tipična visina kata za stambene i hotelske zgrade iznosi 2,7 m ili više
- → visina 40-katne stambene zgrade iznosi oko 108 m ili 80% visine poslovne zgrade za isti broj katova

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

Mjere konstrukcijske učinkovitosti:

1. Indeks krutosti na savijanje (BRI)

2. Indeks posmične krutosti (SRI)

Konstrukcijski sustavi:

1. Kruti okviri

2. Okviri sa spregovima

3. "Ispunjeni" okviri

4. Posmični zidovi

5. Okviri sačinjeni od zidova

6. Okvirne cijevi

7. "Outrigger" konstrukcije sa spregovima

8. Ovešene konstrukcije

9. Konstrukcije sa jezgrom

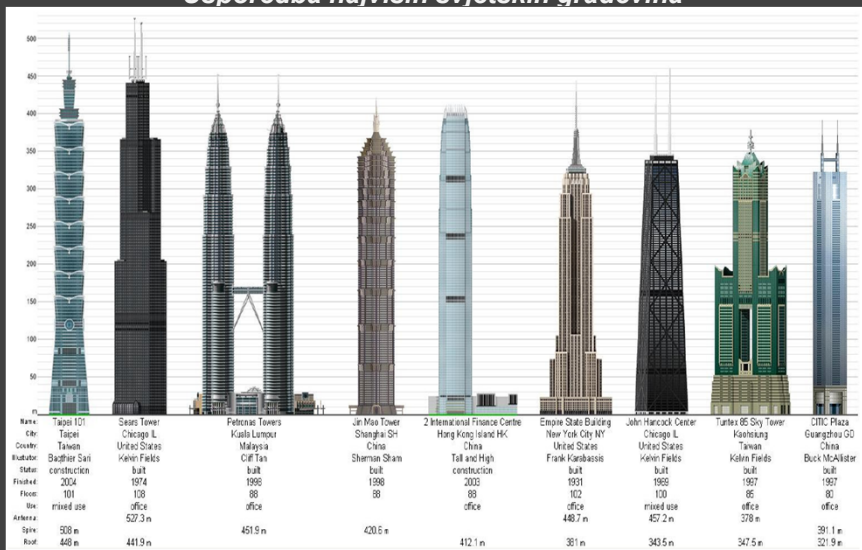
10. Prostorne konstrukcije

11. Miješane konstrukcije

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

Usporedba najviših svjetskih građevina



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

NAJVIŠE GRAĐEVINE NA SVIJETU



Burj Dubai
818 m



Taipei 101
509 m



Shanghai
World Financial Center
492 m

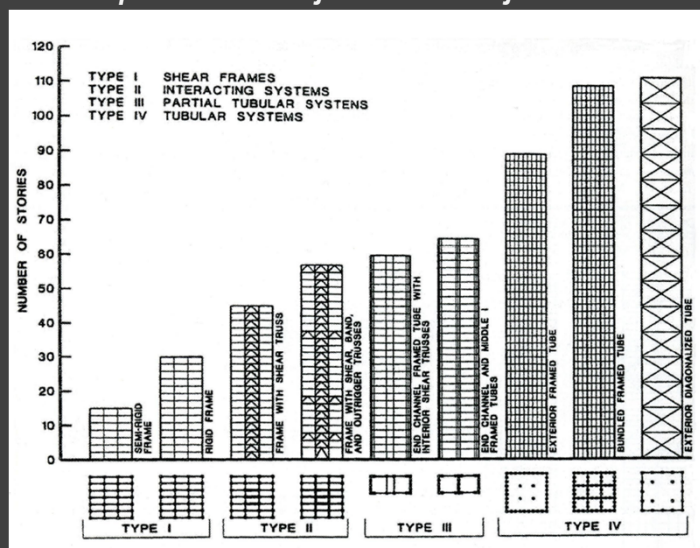


Hong Kong
International Commerce
Centre - 483 m

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

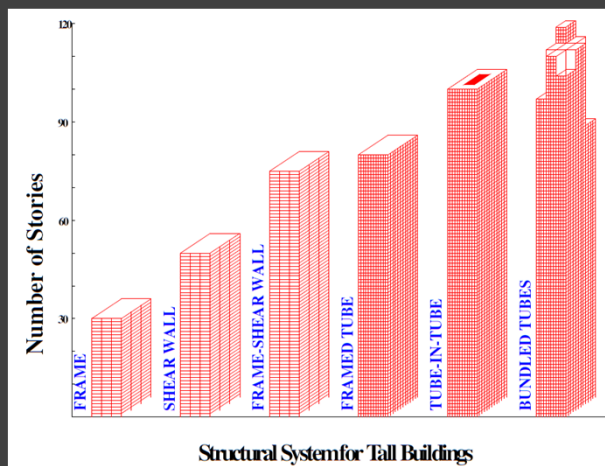
Tipovi konstrukcije ovisno o broju katova



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

Tipovi konstrukcije ovisno o broju katova



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Jednostavni okviri



- Miami's Stiltsville u Biscayne Bayu je primjer izuzetno jednostavne okvirne konstrukcije

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Kruti okviri



- *Home Insurance Building*
- prva zgrada na svijetu sa sustavom krutih čeličnih okvira
- postaje prva zgrada "druge generacije" konstrukcija
- sagrađena u Chicagu 1885.
- Chicago je bila prirodna sredina za ovaj iskorak jer je u to doba bio središte američke željezničke mreže
- željeznica znači čelik – iako je ova zgrada sagrađena od kovanog željeza
- fasade su i dalje davale izgled masivne građevine, što je bilo uobičajeno za to doba
- projektanti još uvijek nisu u potpunosti razumjeli uporabu novog materijala – čelika

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI



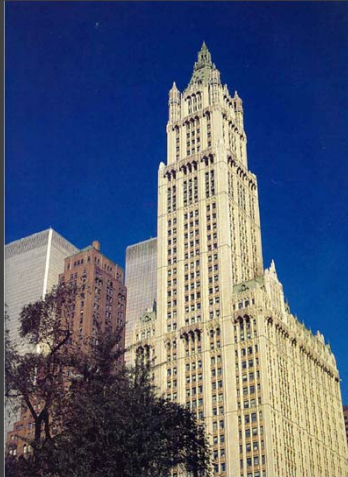
- *Usporedba: Home Insurance Building (1885) desno i "prava" masivna zgrada Manadock Building (1891) lijevo*

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Kruti okviri



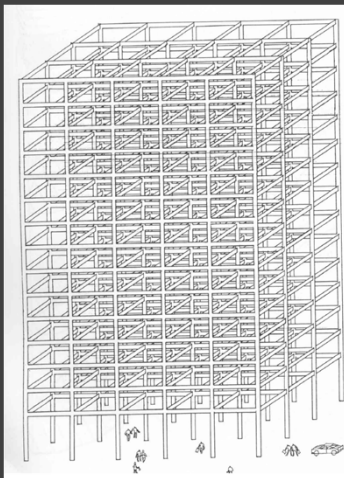
- *Woolworth Building (New York)*
- dovršena 1913
- 60 katova
- za nju je izmišljen naziv “neboder” (skyscraper)
- statički sustav su *kruti čelični okviri* koji se oslanjaju na unutrašnje masivne zidove, koji pružaju bočnu otpornost na horizontalne sile od vjetrova

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Kruti okviri



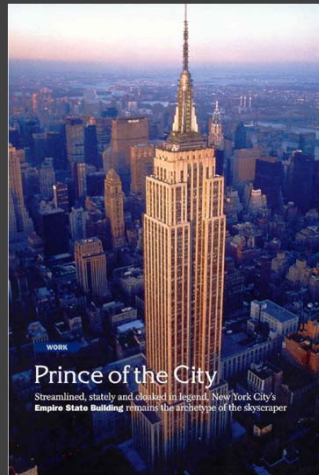
- Tradicionalni kruti okviri
- kruti okvir bio je izvanredan napredak u konstrukterskom promišljanju, rođen 1885. uporabom čelika i postao je najvažniji proizvod “druge generacije” konstrukcija
- problem koji se javlja, kod tih sad već tradicionalnih konstrukcijskih sustava, je “gužva” koja se stvara posebno u području jezgre, gdje dizala, stubišta i instalacije onemogućuju ekonomično i estetsko korištenje prostora

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Kruti okviri



▪ Empire State Building (New York)

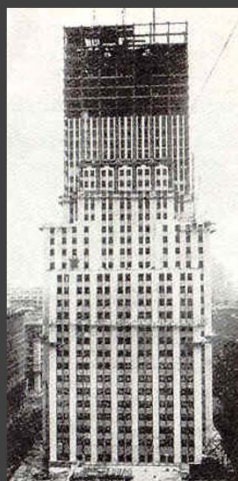
- Empire State je također kruti okvir
- sagrađena je 1931. godine, dva tjedna prije početka velike depresije i postaje najviša zgrada na svijetu
- osnovni konstrukcijski sustav je čelični okvir ubetoniran u beton sa dodatkom zgure
- 70 000 tona čelične konstrukcije montirano je u samo 23 tjedna
- težina konstrukcije bila je 210 kg/m^2 naspram svega 53 kg/m^2 koliko je bilo potrebno za WTC

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Kruti okviri



- za vrijeme depresije dvije značajne građevine postale su predmetom osobnog nadmetanja između Waltera Chryslera (sagradio je Chrysler Building) i Johna Jakoba (sagradio je Empire State Building) – obojica su željela sagraditi najvišu zgradu na svijetu
- nakon uništenja WTC-a Empire State Building je ponovno najviša zgrada u New Yorku, sa vidikovcima na 86. i 102. katu
- izgradnja ESB-a započela je 17.03.1930.
- temelji se nalaze na dubini 17 m ispod razine tla, na stijeni

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Kruti okviri



- *Empire State Building* sagrađena je za vrijeme depresije
- bila je predmetom nadmetanja između Waltera Chryslera i Johna Jakoba u izgradnji najviše zgrade na svijetu
- izgradnja je započela 17.03.1930. i do 3.10.1930. bilo je sagrađeno 88 katova, još je bilo preostalo 14
- Betonski i čelični temelji se nalaze na dubini 17 m ispod razine tla, na stijeni ispod Manhattan-a
- horizontalni pomak zgrade (drift) od djelovanja vjetra iznosi 50 cm

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Kruti okviri



- *Bank of America Building* u San Franciscu
- konstrukcijski sustav je kruti okvir u visokoj potresnoj zoni
- zbog toga ima konzervativnu formu (oblik)

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI



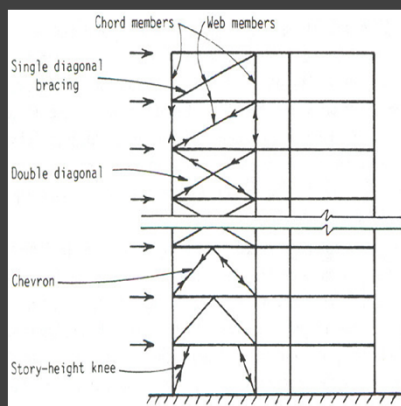
- Tipičan AB okvir za 12-katni luksuzni hotel na Markovom otoku (Florida), sa 103 jedinice

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri sa spregovima



- kod okvira sa spregovima otpornost na horizontalna djelovanja ostvarena je preko "hrptova" koje čine dijagonale spojene na grede
- tako se formiraju vertikalne rešetke, gdje stupovi djeluju kao pojasevi
- horizontalnom posmiku odupiru se horizontalne komponente elemenata sprega
- ovaj sustav je izuzetno ekonomičan i učinkovit za preuzimanje horizontalnih sila neovisno o visini zgrade, pa je prikladan i za najviše zgrade
- još jedna prednost ovakvih trokutastih spregova je da grede sudjeluju vrlo malo u preuzimanju horizontalnog opterećenja, tako da stropna konstrukcija nije ovisna o visini zgrade
- dijagonalni spregovi ometaju unutarnje planiranje prostora (vrata, prozori)
- zato su uobičajeno smješteni oko dizala, stubišta i servisnih okana

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri sa spregovima



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof. dr. sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri sa spregovima



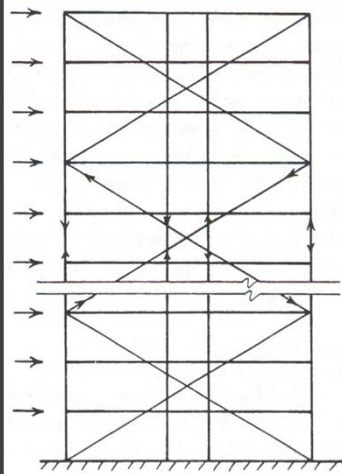
- čelični okvir sa spregovima, zgrada na donjem Manhattanu

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof. dr. sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri sa spregovima



- u prošlosti su dijagonale bile raspoređene po katovima
- danas su sve češći sustavi sa dijagonalama koje se protežu preko više katova i više raspona
- jedan primjer je zgrada Torre Mayor u Mexicu (slijedeći slide)

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri sa spregovima



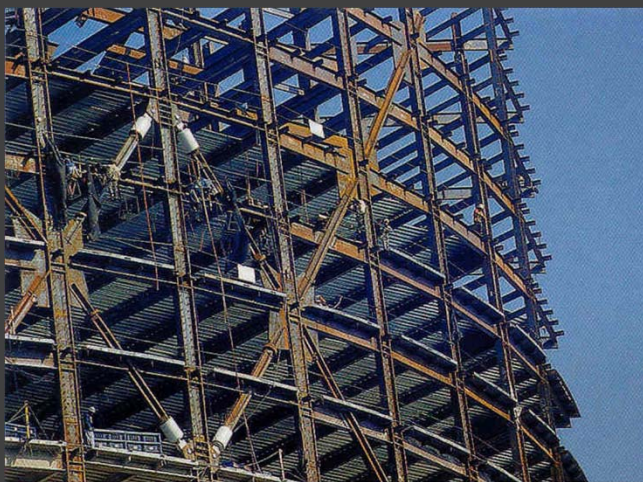
- Torre Mayor (Mexico City)
- zgrada sa 57 katova visine 225 m
- najviša zgrada u Južnoj Americi
- sagrađena je 2004., cijena 250 milijuna USD
- nema spregova unutar dva središnja raspona, osim na tri mjesta, gdje skup dijagonala dijamantnog oblika povezuje super-X sustave
- prigušivači su postavljeni na južnoj i sjevernoj fasadi na mjestima tih dijamantnih spregova
- tako se povećava prigušenje konstrukcijskog sustava stvarajući "prigušene veze" (damped link) između super-X sustava

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri sa spregovima



- *super-X spregovi za otpornost na potresno djelovanje*
- *poprečni spregovi formiraju Super-X sustav na istočnoj i zapadnoj fasadi gdje X sustav obuhvaća cijelu širinu tornja zgrade*
- *na južnoj i sjevernoj fasadi nalaze se po dva skupa super-X sustava*

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri sa spregovima



- *detalji super-X spregova na Torre Mayor*
- *dodatni prigušivači smanjuju međukatni pomak (sway interstory drift)*

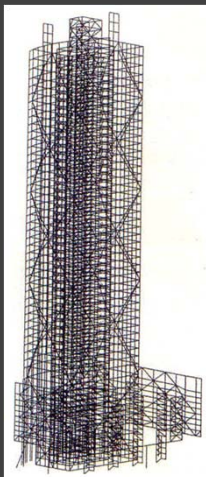


INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri sa spregovima



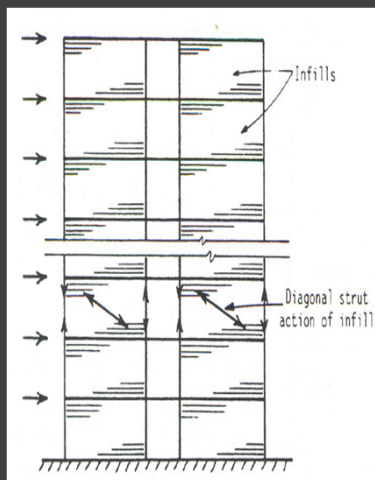
- Torre Mayor zgrada u Meksiku proračunata je na trodimenzionalnom numeričkom modelu koristeći programski paket SAP 2000

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okviri s ispunom



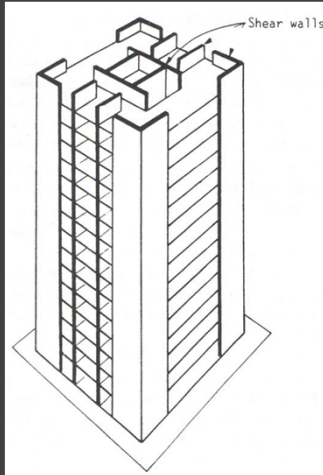
- statički sustav *okvira s ispunom* često se koristi u Europi za zgrade visoke do 30 katova
- osnovni armirano-betonski okvir, koji čine stupovi i grede, ispunjava se zidovima (panelima) od opeke ili betona izvedenog na licu mjesta
- za horizontalne napadne sile ispuna djeluje kao tlačna dijagonala i tako ukrućuje okvir
- okvir s ispunom nije lako proračunati zbog nejasnog toka preuzimanja bočnih horizontalnih djelovanja
- osim toga, često se događa da budući stanari uklone neke zidove, čime se otpornost okvira nepredvidivo slabi

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Posmični zidovi



- *posmični zidovi* od armiranog betona mogu poslužiti kao arhitektonske i konstrukcijske pregrade, koje preuzimaju vertikalna i bočna djelovanja
- njihova vrlo velika membranska krutost i čvrstoća čine ih idealnim elementima za stabilizaciju visokih zgrada
- kod zgrade s posmičnim zidovima, ti zidovi daju osnovnu otpornost na bočna djelovanja
- posmični zidovi djeluju kao vertikalne konzole kao pojedinačni zidovi u ravnini (membrane) i kao sklopovi van ravnine, obično oko liftova, stepenica i servisnih okana

INŽENJERSKE GRADEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Posmični zidovi

- posmični zidovi su krući od krutih okvira i ekonomični do visine od oko 55 katova
- ograničenja u planiranju posmičnih zidova čine ih pogodnim samo za hotele i zgrade za stanovanje
- stropne konstrukcije se ponavljaju, a kontinuirani vertikalni zidovi služe istovremeno za zvučnu izolaciju i zaštitu od požara između pojedinih prostora
- kad se posmični zidovi primjenjuju u kombinaciji s okvirima, oni praktično preuzimaju sva horizontalna djelovanja, tako da se okviri dimenzioniraju samo na vertikalna djelovanja
- raspored posmičnih zidova mora se planirati tako da su vlačna naprezanja od horizontalnih djelovanja manja od tlačnih naprezanja od vertikalnih djelovanja
- posmični zidovi se dobro ponašaju za potresna djelovanja, zbog njihove velike duktilnosti

INŽENJERSKE GRADEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Posmični zidovi



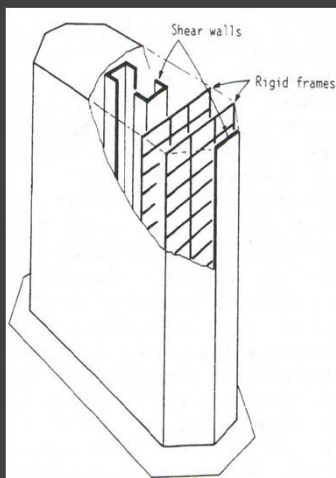
- tipični kondominij (velika stambena zgrada) u Miami-u, koju čine jaki stupovi po obodu i unutrašnji posmični zidovi, horizontalno međusobno povezani prednapetim nosivim pločama

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcije od zidova i okvira



- ako se otpornost konstrukcije postiže zajedničkim djelovanjem posmičnih zidova i okvira, takva konstrukcija se tako i zove (*wall-frame structure*)
- konstrukcija zauzima zajednički deformirani oblik za oba konstrukcijska sustava, što se postiže horizontalnom krutošću greda i katnih ploča
- zidovi i okvir horizontalno međusobno djeluju, poglavito na vrhu zgrade, čime se dobiva krući i jači konstrukcijski sklop
- tim dvojnim sustavom ekonomičnost se diže do razine od 65 katova, daleko više nego za pojedinačno djelovanje bilo krutih okvira bilo posmičnih zidova

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcije od zidova i okvira

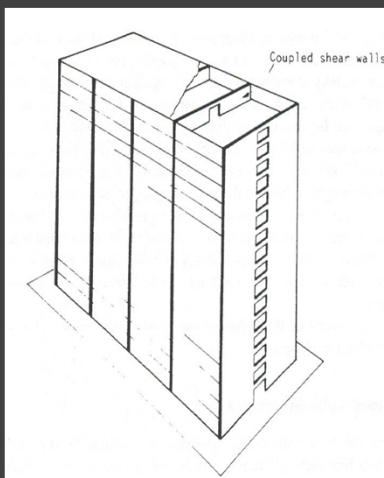
- uz pažljivo podešavanje, posmik u okviru može biti približno nepromjenjiv po cijeloj visini građevine, što omogućuje izvedbu jednakih katnih (stropnih) konstrukcija – ponavljanje
- većina ovakvih sklopova je od armiranog betona
- međutim, kod čeličnih zgrada slično djelovanje (horizontalna interakcija) može se ostvariti ugradbom vertikalnih spregova
- čelični okviri sa spregovima pokazuju na savijanje sklonost ka međusobnom djelovanju (interakciji) s posmičnim odgovorom (oblikom) krutog okvira – interakcija savijanja i posmika

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Povezani zidovi (coupled walls)



- konstrukcijski sklopovi s *povezanim zidovima* su uobičajeni statički sustavi od posmičnih zidova, sa dva ili više zidova u istoj ravnini povezana na razinama stropova gredama ili krutim pločama
- time se ostvaruje spregnuto djelovanje skupa zidova oko zajedničke težišne osi
- horizontalna krutost je naravno neusporedivo veća od krutosti zbroja nepovezanih zidova, koji djeluju pojedinačno
- povezani zidovi se uobičajeno koriste kod stambenih zgrada od armiranog betona
- u pojedinačnim slučajevima i kod čeličnih okvira primjenjene su jake čelične ploče na mjestima najvećih posmičnih sila, kao npr. kod podnožja okana za dizala

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Povezani zidovi (coupled walls)



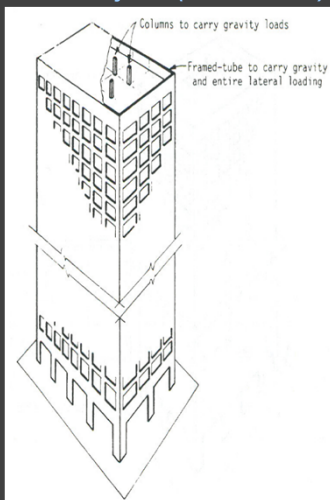
- *Espiritu Santo neboder (Miami)*
- dovršena 2003.
- projekt: Kohn Pederson Fox Associates.
- dramatična prednja fasada je geometrijski rezultat presjeka valjkaste plohe i nagnutog pravca
- zgrada (toranj) sadrži hotel na donjim etažama, urede na srednjim etažama i stanove na vrhu

INŽENJERSKE GRADEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- *okvirne cijevne konstrukcije* tvore četiri vrlo kruta okvira, otporna na savijanje, koji oblikuju „cijev“ („tube“) oko oboda zgrade
- okviri se sastoje od stupova na malom razmaku (tipično 2-4m), međusobno povezanih visokim horizontalnim gredama
- na razini ulice mali razmaci stupova moraju se prekinuti, a za prijenos sila koriste se jake prijelazne (transfer) grede
- vanjska cijev preuzima 100% horizontalnih djelovanja i 75-90% vertikalnih djelovanja
- preostala vertikalna djelovanja preuzimaju stupovi (ili posmični zidovi) jezgre
- za horizontalna opterećenja obodni okviri u smjeru opterećenja djeluju kao hrptovi masivne konzolne cijevi
- preostala dva okvira okomita na smjer opterećenja djeluju kao pojasevi

INŽENJERSKE GRADEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije

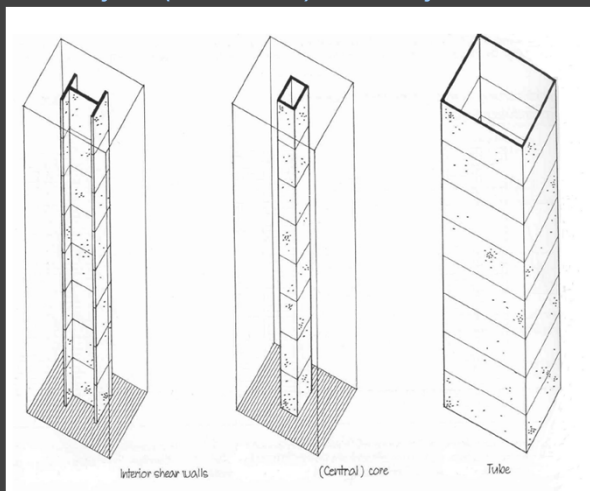
- razvidno je da je najučinkovitija cijev u tlocrtu kvadratnog oblika (WTC i Sears) ili kružnog oblika (Petronas)
- ova konstrukcijska forma prikladna je i za čelik i za armirani beton za visine od 45 do 110 katova
- vrlo ponavljajuća struktura omogućuje ekonomičnu prefabrikaciju
- ova konstrukcijska forma predstavlja najznačajniji moderni iskorak kod visokih zgrada
- poboljšanja su potrebna, jer pojasevi trpe od posmičnih deformacija (*shear lag*)
- te posmične deformacije nastaju od manjeg opterećenja srednjih od kutnih pojasnih stupova
- stoga srednji stupovi ne doprinose u potpunosti krutosti pojaseva

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- vertikalni posmični zidovi
središnja jezgra cijev

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

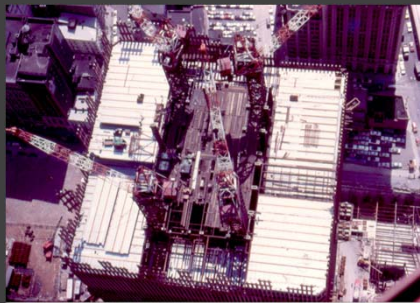
KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- *World Trade Center (New York)*
- južni toranj dovršen je 23.12.1970, a sjeverni toranj 1972
- to su bile *prve okvirne cijevi*, koje su dostigle visinu od 110 katova
- izgradnja WTC-a inicirala je novu generaciju konstrukcijskih sustava visokih građevina



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- *World Trade Center (New York)*
- konstrukcijski sustav okvirne cijevi prvi puta je iskušan na WTC tornjevima
- cijev je sačinjena od vertikalnih čeličnih stupova 356x356 mm, na osnov razmaku od 56 cm
- vertikalni stupovi povezani su horizontalnim gredama na razini svakog kata

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



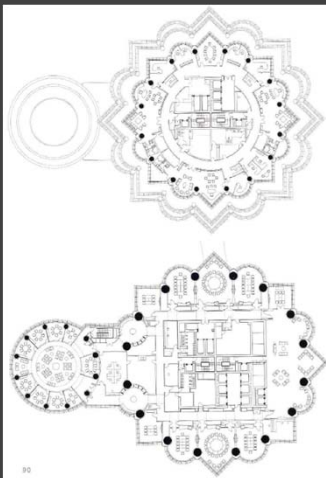
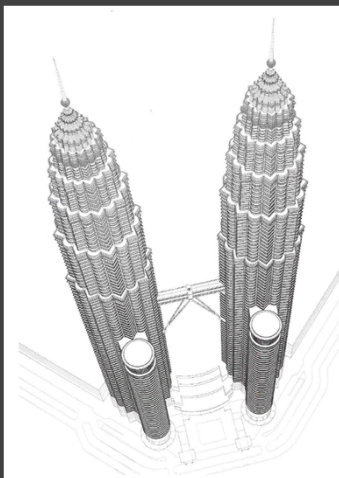
- *Prudential Building (Chicago)*
- čista i učinkovita uporaba konstrukcijskog sustava okvirne cijevi

INŽENJERSKE GRADEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



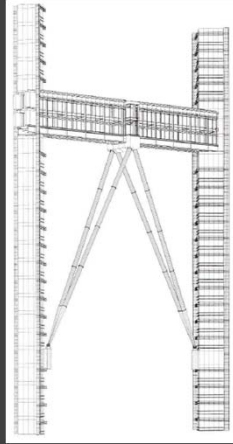
- *Petronas Towers (Kuala Lumpur - Malezija)*

INŽENJERSKE GRADEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



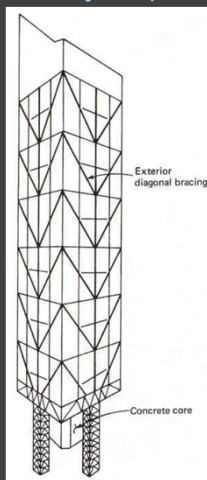
- *Petronas Towers (Kuala Lumpur)*
- Petronas tornjevi visine 452 m (10m viši od Sears Tower-a u Chicagu) dovršeni su 1988
- tornjevi imaju 88 numeriranih razina, ali ustvari imaju 95 katova (broj „8“ je sretni broj za Kineze)
- korišten je armirani beton za središnju jezgru i obodne stupove sa prstenastim gredama od betona tlačne čvrstoće 80 MPa
- svaki toranj je valjkastog oblika promjenjivog promjera sa 16 stupova

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- *Citicorp Tower (New York City)*
- zgrada Citicorp je konstrukcijski uvinuta čelična cijev, sa vanjskim trupom u tlocrtu uvinutom za 90 stupnjeva
- to prisiljava opterećenja da se usmjeravaju na četiri glavna oslonca pomoću vanjskih dijagonalnih spregova i ogromne prijelazne (transfer) obodne grede na nižim razinama
- projektant konstrukcije LeMessurier, sjeća se da ga je 1993. jedan student upitao, što bi se dogodilo zgradi, da vjetar puše dijagonalno
- razmišljao je o pitanju danima i konačno otkrio da bi se u tom slučaju toranj srušio
- vanjski dijagonalni spregovi spojeni su vijčano, umjesto zavareni, kao što je bilo predviđeno projektom

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



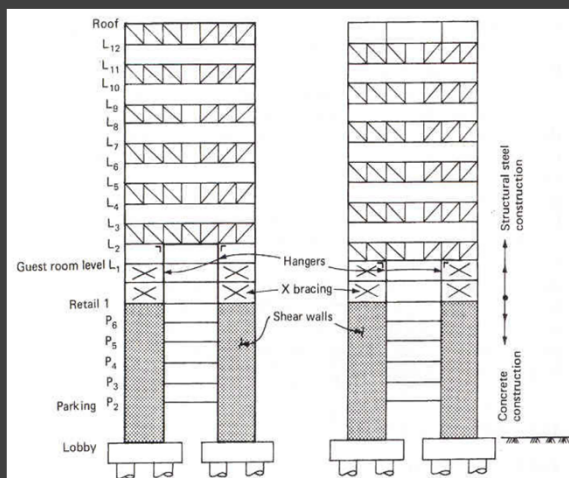
- vijci su bili nedovoljni jaki, da prenesu opterećenja bočno dolje na četiri glavna oslonca
- projektant je odmah alarmirao vlasnika zgrade i predložio da se toranj ukruti zavarivanjem ploča duljine 60cm iznad svakog vijka
- ti popravci izvedeni su tajno, da se ne uznemire stanari zgrade
- prije završetka sanacijskih radova hurikan Elsa prošao je vrlo blizu New Yorka i tako nije došlo do katastrofe Citicorp tornja
- postupak projektanta, njegova iskrenost i profesionalni integritet prepoznati su od strane inženjerske zajednice i danas služi kao primjer etičkog ponašanja svima nama u našem složenom i izazovnom poslu

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



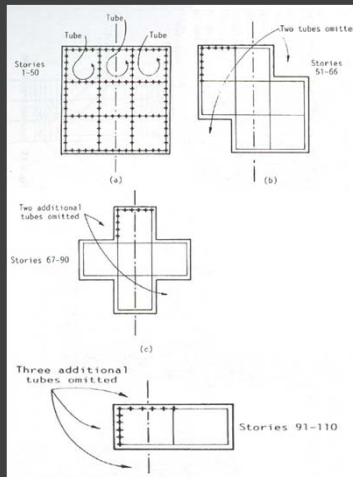
- tipični raspored mega stupova

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



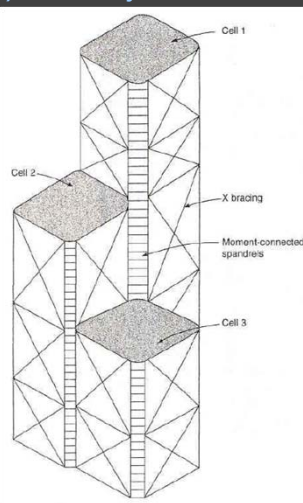
- Konstrukcijski sklopovi od cijevi, povezanih u snopove (*Bundled-Tube*)
- prirodna evolucija forme WTC-ovih okvirnih cijevi bila je primjena više međusobno povezanih cijevi, „kao vezani kolci“
- povezani skup cijevi ostvaruje veću krutost od pojedinačne cijevi
- ovaj konstrukcijski sustav prvi puta je primijenio svjetski poznati arhitekt Fazlur Khan za Sears Tower u Chicagu 1974.
- novi unutrašnji hrptovi bitno smanjuju utjecaj posmične fleksibilnosti (*shear lag*) u pojasevima
- naprezanja u stupovima su sukladno rapoređena ravnomjernije nego kod konstrukcijskog sustava s jednom cijevi
- konstrukcijski sklopovi od cijevi povezanih u sklopove tako ostvaruju mnogo veću bočnu (horizontalnu) krutost, nažalost na račun ograničavajućeg unutrašnjeg planiranja

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- Sears Tower (Chicago)

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- Sears Tower je 1974. postao najviša zgrada na svijetu, pretevši prvo mjesto WTC-u, koji ga je držao od 1970
- konstrukcijskim sustavom od cijevi povezanih u snopove, koji je razvio Fazlur Khan, ostvarena je mnogo veća horizontalna krutost građevine

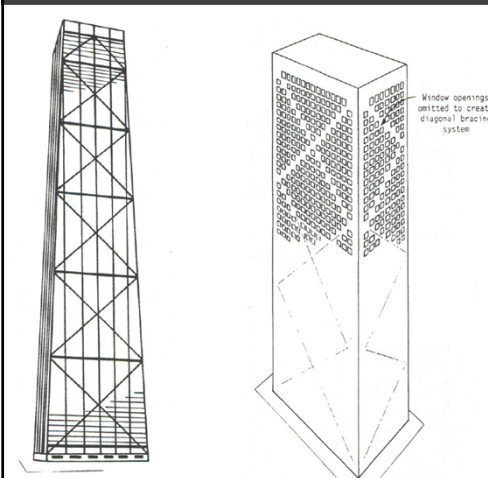


INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- Konstrukcijski sustavi od *cijevi sa spregovima (Braced-Tube)*
- učinkovitost okvirnih cijevnih konstrukcija može se povećati dodavanjem dijagonalnih spregova na fasadama
- to omogućuje veće visine i veći razmak između obodnih stupova
- prva čelična cijev sa spregovima primjenjena je za zgradu John Hancock sa 97 katova, izgrađenu u Chicagu 1969. – slika lijevo
- na slici desno prikazana je 780 Third Avenue Building u New Yorku, zgrada od armiranog betona, dovršena 1985.

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



- čelična cijev ima spregove poprečno na smjer pružanja krutog okvira
- kod armiranog betona spregovi su oblikovani kao dijagonalni sustav betonskih ploča (panela), veličine prozora, betoniranih zajedno s okvirom
- obzirom da su dijagonale cijevi sa spregovima spojene na stupove na svakom spoju (križanju), one gotovo potpuno eliminiraju utjecaj posmičnih deformacija (*shear lag*) i u okvirima pojasevima i u okvirima hrptovima
- konstrukcijski sklop se za bočna (horizontalna) djelovanja sukladno ponaša slično kao okvir sa spregovima (*braced frame*)
- utjecaj savijanje u štapovima okvira je bitno smanjen
- stoga stupovi mogu biti postavljeni na većem razmaku, što omogućuje mnogo veće prozore nego kod konvencionalnih cijevi

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Okvirne cijevne (Framed-Tube) konstrukcije



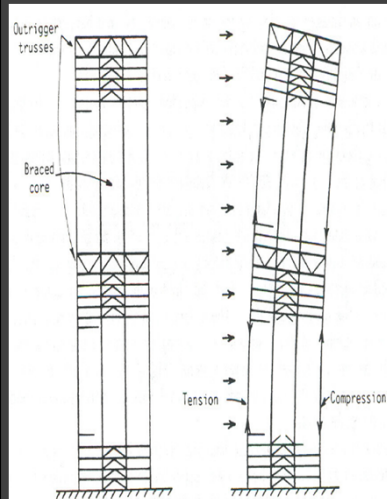
- vanjski spregovi su ugrađeni na zgradi John Hancock u centru Chicaga

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustavi sa "outrigger" i spregovima (Outrigger-Braced)



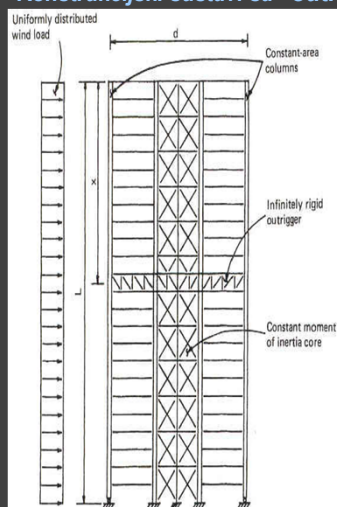
- taj konstrukcijski sustav čine *središnja jezgra sa spregovima*, koja je ili okvir sa spregovima ili posmični zidovi i horizontalne *outrigger* rešetke ili nosači, koji povezuju jezgru s vanjskim stupovima
- za horizontalna djelovanja rotaciju jezgre u vertikalnoj ravnini sprečavaju *outrigger-i* vlakom u stupovima na privjetrini i tlakom u stupovima u zavjetrini
- efektivna konstrukcijska visina zgrade je bitno povećana
- sukladno je povećana bočna (horizontalna) krutost i smanjeni su horizontalni pomaci i momenti savijanja jezgre
- *outrigger-i* vežu vanjske stupove na jezgru i konstrukcijski sustav se ponaša kao djelomično spregnuta konzola
- obodni stupovi mogu se uključiti u prijenos sila, ako se povežu horizontalnom rešetkom ili nosačem po obodu zgrade na razini "outrigger"-a

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustavi sa "outrigger" i spregovima (Outrigger-Braced)



- razina "outrigger"-a je uobičajeno visine dva kata i ti katovi su obično servisni katovi za smještaj svih instalacija i tehnoloških uređaja za funkcioniranje zgrade
- ovaj konstrukcijski sustav primjenjen je do visine od 70 katova
- ako su tlorisne dimenzije zgrade velike, ovaj konstrukcijski sustav omogućuje i mnogo veće visine
- učinkovitost ovog konstrukcijskog sustava bitno ovisi o vezi obodnih stupova i jezgre pomoću "outrigger"-a
- "outrigger"-i veće od visine jednog kata sve se češće koriste, jer dodaju građevini mnogo veću bočnu krutost
- međutim, ekonomska granica visine "outrigger"-a je reda veličine 4-5 katova
- ovaj konstrukcijski sustav primjenjen je do visine od 70 katova
- ako su tlorisne dimenzije zgrade velike, ovaj konstrukcijski sustav omogućuje i mnogo veće visine

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstruktivski sustavi sa "outrigger" i spregovima (Outrigger-Braced)



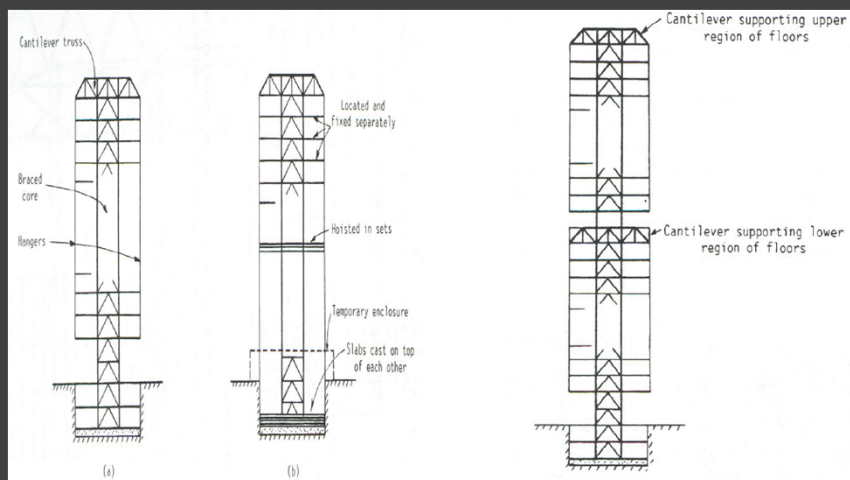
- AT&T Building (New York)
- arhitekt: Philip Johnson
- konstrukcijski projekt: Leslie Robertson and Associates
- osnovni konstrukcijski sustav čini cijev od krutih čeličnih okvira po obodu zgrade
- dodatna krutost po širini zgrade ostvarena je ugradbom četiri vertikalne čelične rešetke
- na svakom se osmom katu dva zida od čeličnih ploča I-oblika sa otvorima za ventilaciju pružaju od rubova rešetke do vanjskih stupova na istoj liniji stupova
- čelični zidovi djeluju kao *outrigger-i* i mobiliziraju punu širinu zgrade u otpornosti na horizontalna djelovanja
- horizontalni posmik u podnožju zgrade preuzima se s dva ogromna čelična sanduka

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Ovještene konstrukcije



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Ovješene konstrukcije

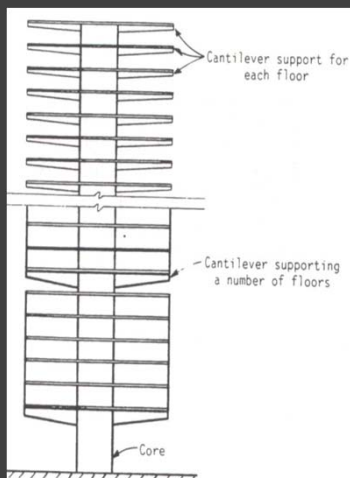
- ovješeni konstrukcijski sklop čini *središnja jezgra sa horizontalnim konzolnim rešetkama na razini krova*, s koje su obješene vertikalne vješaljke od čeličnih užadi
- stropne ploče vezane su na te kabele
- to omogućuje da na najdonjem katu na razini tla nema obodnih stupova i prostor je potpuno otvoren
- vješaljke imaju vrlo mali poprečni presjek naspram stupova i mogu se ubetonirati oko prozorskih okvira
- dodatna prednost je da se stropne konstrukcije mogu betonirati na tlu i onda podići u konačan položaj
- ovaj konstrukcijski sustav dopušta relativno male visine zgrade do oko 10-15 katova, zbog konstrukcijskih mana, kao npr. ograničene izmjere jezgre i varijacije veza između stropova za pokretna djelovanja

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustav s jezgrom (Core)



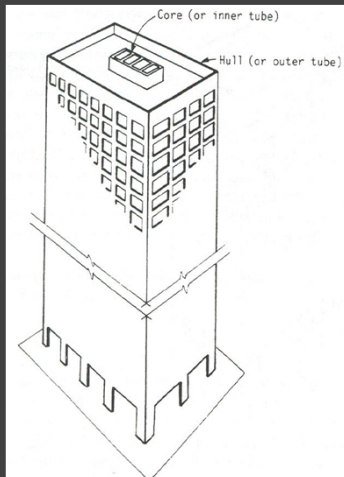
- jedna jezgra preuzima sva vertikalna i horizontalna djelovanja
- konstrukcijsko djelovanje je slično ovješenom sklopu, ako su obodni stupovi na razini tla izbačeni
- ovaj sustav je potpuno neučinkovit

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustav s jezgrom (Core)



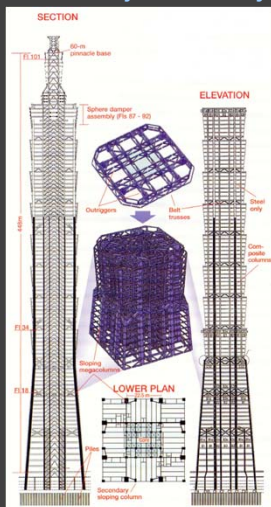
- konstrukcijski sustav s *jezgrom ili cijev u cijevi (Tube-in-Tube)* konstrukcija
- varijanta oblika okvirne cijevi može se ostvariti zamjenom unutrašnjih stupova ili stupova i zidova jezgre sa drugom cijevi
- tako trup (ili vanjska cijev) i nova cijev jezgre zajedno preuzimaju i vertikalna i horizontalna djelovanja
- ta unaprijeđena forma zove se *cijev u cijevi (tube-in-tube)* ili *trup-jezgra (hull-core)* konstrukcija
- kod čeličnih zgrada unutrašnja cijev jezgre može se formirati od okvira sa spregovima
- kod armirano betonskih zgrada jezgru čine posmični zidovi
- vanjska okvirna cijev (trup) i unutrašnja jezgra međusobno djeluju kao posmične i savojne komponente konstrukcije od zidova i okvira (*wall-frame*)
- prednost je bitno povećana bočna krutost
- vanjska cijev (trup) naravno uvijek dominira zbog svoje veće konstrukcijske visine
- pretpostavlja se da se ovim konstrukcijskim sustavom ekonomično mogu izvesti građevine do 120 katova

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustav s jezgrom (Core)



- *Taipei 101 Building (Taipei – Taiwan)*
- zgrada Taipei 101 je 2003. postala najvišom građevinom na svijetu, nadmašivši Petronas Towers u Kuala Lumpuru
- konstrukcijski sustav je cijev u cijevi
- unutrašnja cijev (jezgra) izvedena je od rešetki, a vanjska cijev (trup) je okvir s spregovima

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustav s jezgrom (Core)



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustav s jezgrom (Core)

- mega stupovi na vanjskom obodu preuzimaju ukupna vertikalno i horizontalna djelovanja

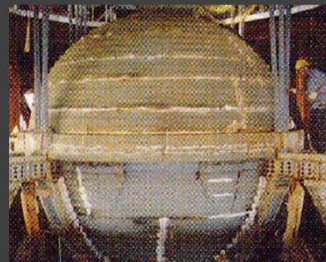
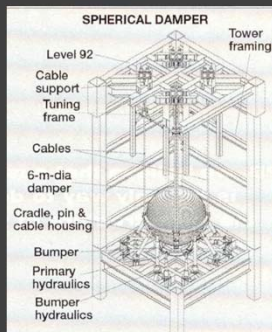
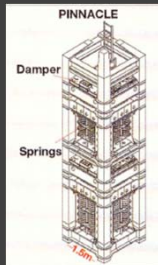


INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustav s jezgrom (Core)



INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

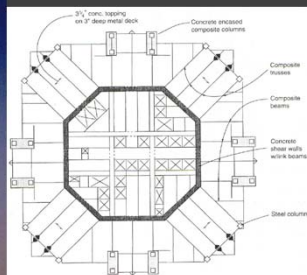
KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Konstrukcijski sustav s jezgrom (Core)



- Posmični zidovi jezgre (Jin Mao Tower, Shanghai)
- još jedan toranj sa 88 katova ili 421m
- 50 katova za uredske prostore, 36 katova za hotel, 2 kata restorana i vidikovac
- konstrukcijski sustav čini središnja osmerokutna armirano-betonska jezgra, povezana s vanjskim spregnutim mega stupovima pomoću konzolnih rešetki



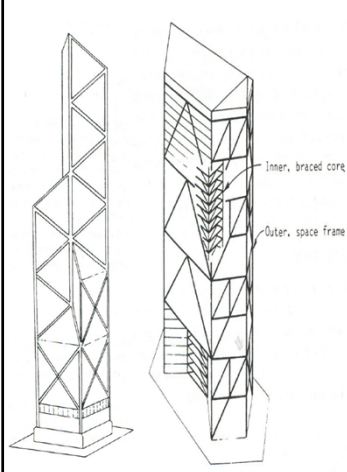
- debljine pojaseva posmičnih zidova su promjenjive od 84cm na spoju s temeljom do 46 cm na razini 87
- tlačna čvrstoća betona iznosi od 35 MPa do 52 MPa

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Prostorne konstrukcije



- *Prostorne konstrukcije*
- *prostorni okviri: trodimenzionalne trokutaste konstrukcije*, bitno se razlikuju od prethodno opisanih ravninskih okvira
- prostorni okvir preuzima vertikalna i horizontalna djelovanja
- tako je jedan od najučinkovitijih konstrukcijskih oblika
- mala težina i velika učinkovitost omogućuju postizanje najvećih visina građevina
- vrijedan primjer je Bank of China Building, sa 76 katova u Hongkongu
- proračun prostornih okvira je obično složen
- teško je projektirati odgovarajuće nosive spojeve između katnih konstrukcija i glavnog okvira
- ti spojevi su skupi i nekad ružno izgledaju

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Prostorne konstrukcije

- jedno rješenje sadrži unutrašnju jezgru sa spregovima, koja služi za prikupljanje bočnih (horizontalnih) opterećenja i preuzimanje unutrašnjih vertikalnih opterećenja od katnih ploča iznad niza višekatnih prostora
- u podnožju svakog od tih prostora horizontalna i vertikalna opterećenja predaju se van na glavne čvorove prostornog okvira
- ovi konstrukcijski sustavi su estetski vrlo privlačni i sviđaju se i arhitektima i običnom puku

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Prostorne konstrukcije



- *Bank of China (Hongkong)*
- Bank of China sa 76 katova dovršena je 1989 i predstavlja izvrstan primjer *prostorne rešetke sa poprečnim spregovima*
- arhitekt: I.M. Pei
- konstrukcijski projekt: Leslie Robertson and Associates
- konstrukcijski sustav 369m visoke građevine je *prostorna rešetka sa poprečnim spregovima (cross-braced space truss)*
- prostorna rešetka preuzima gotovo ukupnu težinu građevine i istovremeno horizontalna djelovanja od tajfunskih vjetrova
- i horizontalna i gravitacijska opterećenja prenose se na četiri spregnuta stupa, smještena u kutovima zgrade, čime je ostvaren slobodni raspon od 52m u podnožju građevine
- peti spregnuti stup u središtu zgrade počinje na 25 katu i proteže se do vrha
- sile od tog stupa prelaze na kutne stupove na razini 25 kata

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Prostorne konstrukcije



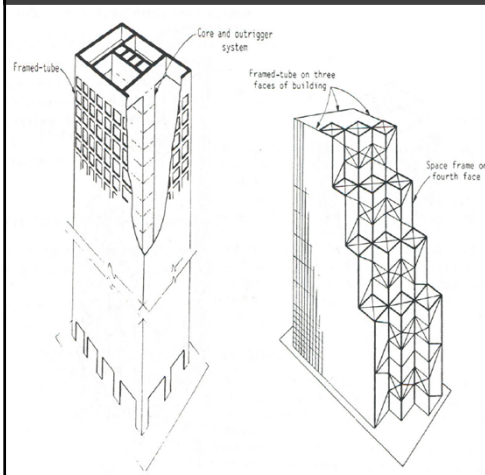
- izmjere glavnih stupova u kutovima na razini temelja iznose 4,3x8 m
- veličina čeličnih dijelova spregnutih stupova smanjuje se prema vrhu
- promjena izmjera iznosi više od 3,1 m
- izvedbom okvira od ubetoniranih čeličnih elemenata izbjegnuta je potreba za skupim 3-D spojevima (priključcima) u kutovima zgrade

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

KONSTRUKCIJSKI KONCEPTI

KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI

Hibridne konstrukcije



- sadašnji trend u arhitekturi, poglavito tzv. „postmodernizmu“ je kreiranje zgrada nepravilnih oblika
- konstruktor ih neće moći svrstati u pojedini konstrukcijski sustav
- kod proračuna se sukladno mora koristiti više kombinacija prije pojašnjenih konstrukcijskih sustava
- slika lijevo prikazuje primjer konstrukcijskog sustava cijevi i konstrukcijskog sustava konzolne rešetke postavljenih jedan preko drugog
- na slici desno cijevni sustav na tri fasade kombiniran je s prostornim okvirom na četvrtoj fasadi
- napredak u računalnom hardware-u i software-u dopušta konstruktorima približna prihvatljiva rješenja za te složene građevine
- više primjera sadašnjeg arhitektonskog trenda pokazati će se u predavanju 03 *Neobični konstrukcijski tipovi*

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor

Vrela:

Taranath, B. S.: *Steel, Concrete & Composite Design of Tall Buildings*, Second Edition, McGraw-Hill, 1998.

Stafford Smith, B., Coull, A.: *Tall Building Structures, Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 1991.

Dupré, J.: *Skyscrapers*, Revised Edition, Black Dog & Leventhal Publishers, Inc., 2008.

Chew Yit Lin, M.: *Construction Technology for Tall Buildings (2nd Edition)*, Singapore University Press & World Scientific Publishing Co., 2007.

Aoyama, H. (Ed.): *Design of modern highrise reinforced concrete structures*, Imperial College Press & World Scientific Publishing Co., 2001.

Wells, M.: *Skyscrapers Structure and Design*, Yale University Press, 2005.

Lepik, A.: *Skyscrapers (Revised Edition)*, Prestel Verlag, 2008.

Binder, G. (Ed.): *Tall Buildings of Europe, the Middle East and Africa*, The Images Publishing Group Pty, 2006.

Tall Buildings, The Museum of Modern Art, 2003.

Terranova, A. (Ed.): *New Urban Giants - the Ultimate Skyscrapers*, Edizioni White Star, 2008.

INŽENJERSKE GRAĐEVINE, prof.dr.sc. Zlatko Šavor