



AF

INŽENJERSKE
KONSTRUKCIJE

**Visoke
građevine**

- *neboderi*
- *tornjevi, čelični i betonski*
- *rashladni tornjevi*
- *dimnjaci*
- *jarboli*
- *vodotornjevi*
- *vjetroelektrane*

The image is a two-page spread. The left page has a yellow background and contains the text 'AF' and 'INŽENJERSKE KONSTRUKCIJE' at the top, followed by the title 'Visoke građevine' in a large blue font. Below the title is a list of types of tall structures: 'neboderi', 'tornjevi, čelični i betonski', 'rashladni tornjevi', 'dimnjaci', 'jarboli', 'vodotornjevi', and 'vjetroelektrane'. The right page features a photograph of the Eiffel Tower in Paris, France, illuminated at night with many lights, reflecting in the water of the Seine river.

UVOD

- Ljudi su se od pamtivijeka divili visokim građevinama, zbog njihovog socijalnog statusa: one su vidljive svima.
- Njihovi su graditelji imali najviši društveni status a njihove građevine postale su predmetom legendi.
- Rane visoke građevine → **SEDAM ČUDA ANTIKE**

POVIJEST VISOKIH GRAĐEVINA:

Prve visoke i monumentalne građevine izgrađene su već u starome vijeku.

Piramide:

- Imphotep, stepenasta piramida, 2780 god.p.n.e.

- Cheops, 2680 god.p.n.e., visina 146m.

Sfinga kod Gizeha:

2500 god.p.n.e., dužine 73.5m, visine 20m.



RODSKI KOLOS: KIP OD
POZLAČENE BRONCE,
304 GOD.P.N.E., VISINA
32M



PHAROS: SVJETIONIK KRAJ
ALEKSANDRIJE,
280GOD.P.N.E., VISINA 120 M.
Graditelj: Sostratos iz Knidosa
Srušio se u 13. st uslijed potresa,
kameni toranj, kamenovi spojeni
zalivenim olovom

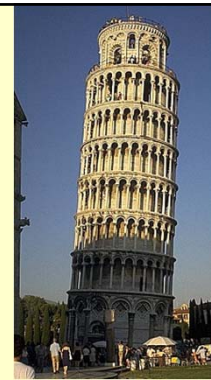
MONUMENTALNE GRAĐEVINE STAROG VIJEKA- SEDAM SVJETSKIH ČUDA





-Washington Monument -
169m -stupasti toranj dovršen
1885

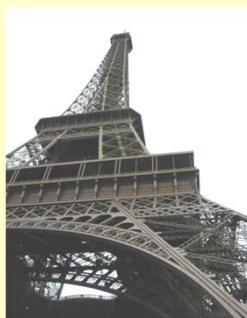
-Kosi toranj u Pisi – 56m.
Stupasti toranj građen od
1173-1350 god



-15st. Gotičke katedrale –
izražena nastojanja za
izgradnjom što većih
građevina.
Katedrala u Ulmu –161,5m,
najviša katedrala na svijetu,
izgradnja 1376-1890 god



-1889god. Eiffelov toranj –301m
-Champ-de-Mars, Paris
-najviša građevina do 1930g
-temeljenje na kesonima
-čelična konstrukcija teška 7300t
-zamjetna razlika u odnosu na
tadašnje građevine, ogledalo
ljudske kreativnosti



UVOD

▪ **NEBODERI**

▪ Dakle što je visoka građevina danas ?

▪ Visina je relativan pojam.

▪ No, za građevinske inženjere visoka građevina je ona građevina, kod koje su dominantna djelovanja bočne sile od vjetrova i potresa.

▪ Prva moderna visoka građevina Home Insurance Building sagrađena je 1885. godine u Chicagu.

▪ Visoke građevine grade se gotovo isključivo za komercijalne potrebe i stanovanje. Visoke komercijalne građevine bile su kao simboli prestiža velikih korporacija (Woolworth Building, Chrysler Building, Trump Towers, itd.)

▪ U Hongkongu i Rio de Janeiru npr. 40. katnice su razmaknute samo nekoliko metara.

▪ Porast turizma traži visoke hotele u gradskim centrima, gdje je zemljište vrlo skupo i slobodne parcele je vrlo teško pronaći.

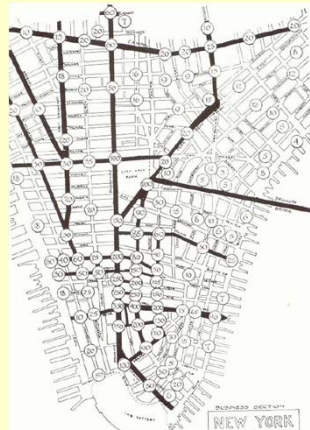
UVOD

▪ Poznati američki arhitekt Louis Sullivan izmislio je frazu da u zgradama „oblik (forma) slijedi funkciju“.

▪ Možda bolju definiciju za nebodere dao je Case Gilbert projektant Woolworth Building, prvog nebodera na svijetu): „Neboder je stroj koji čini da zemljište plaća“.

▪ Gilbertova tvrdnja je jasno uočljiva iz publikacije za promet nekretninama iz 1903. Ona prikazuje cijene zemljišta na Donjem Manhattan-u. Praktički svaka tvrtka u New Yorku je željela biti locirana unutar nekoliko stotina metara širokom pojasu između ulica Broadway i Wall Street. Na slici je vidljiva i velika razlika u cijenama unutar samo nekoliko stotina metara (od \$400/sf do samo \$10/sf).

Cijene zemljišta na Donjem Manhattan-u (1903.) →



KRONOLOGIJA RASTA VISOKIH GRAĐEVINA

▪ Drevni Rim

- Stambene sedmokatnice od drva i zidane građe
- Nakon velikog Neronovog požara u Rimu, novi materijali (beton i opeka) su korišteni za izvedbu konstrukcija sa lukovima i bačvastim svodovima
- Zidana građa i drvo su osnovna gradiva u narednih 18 stoljeća

▪ Chicago

- 1891. 16-erokatnica Monadnock doseže granice za zidane konstrukcije sa zidovima debelima 2 m.
- 1885. 11-erokatnica Home Insurance je prva visoka građevina sa čitavom metalnom okvirnom nosivom konstrukcijom (kovano željezo).
- 1889. 9-erokatnica Rand-McNally, prva visoka građevina sa čitavom čeličnom okvirnom nosivom konstrukcijom.
- 1891. 20-erokatnica Masonic Temple, uvedena su dijagonalna ukrućenja u fasadne okvire i time su formirane vertikalne rešetke.

KRONOLOGIJA RASTA VISOKIH GRAĐEVINA

▪ New York

- 1913. 60-erokatnica Woolworth (smatra se prvim svjetskim neboderom).
- 1931. 102 kata Empire State Building (visoka 381 m).

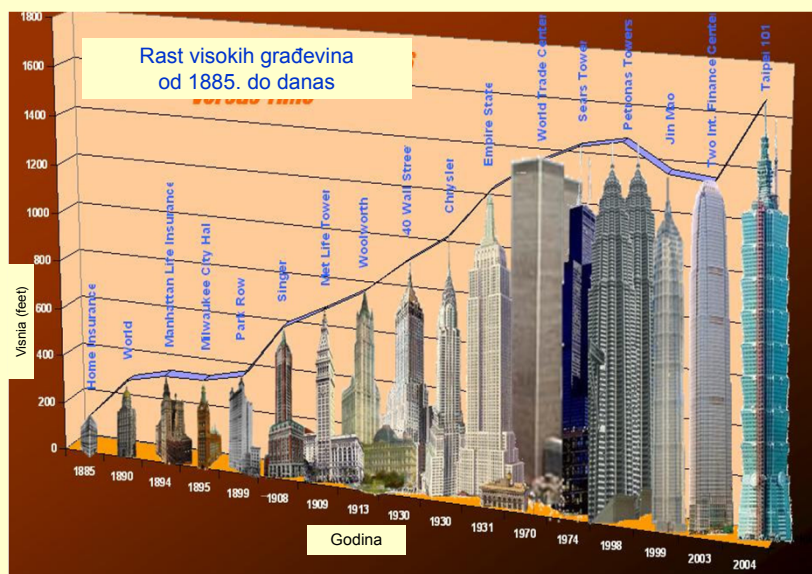
▪ Zlatno doba gradnje američkih nebodera završava sa svjetskom krizom 1930-ih.

▪ Ponovna gradnja nebodera se nastavlja tek nekoliko godina nakon završetka 2. Svjetskog rata.

▪ Umjesto rasta u visinu, moderni razvoj nebodera je donio nove konstrukcijske sustave, poboljšane karakteristike materijala i bolje tehnike projektiranja i izvedbe.

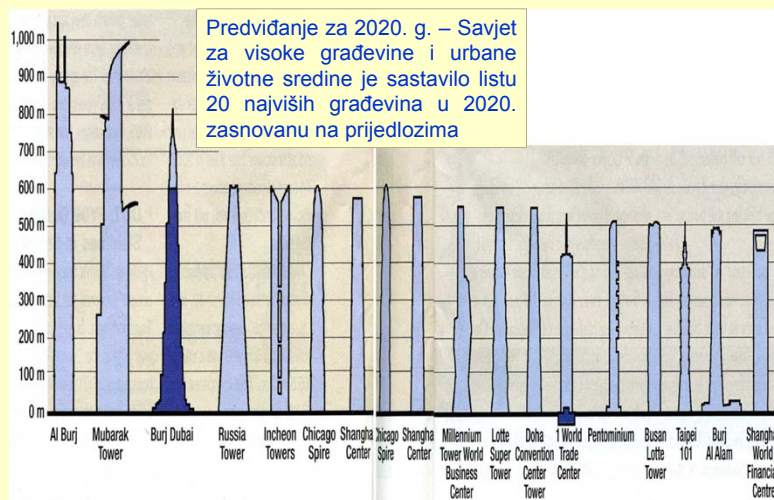
▪ Tek je 1970.g Empire State Building premašena sa 110 katova visokim sjevernim tornjem WTC-a (412 m), a zatim 1974. sa Sears Tower-om (442 m).

KRONOLOGIJA RASTA VISOKIH GRAĐEVINA

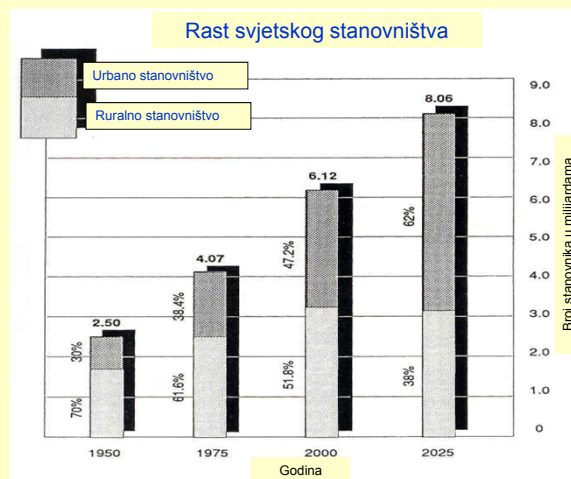


KRONOLOGIJA RASTA VISOKIH GRAĐEVINA

Prikaz svih visokih građevina planiranih i u fazi projektiranja u odnosu na najviše postojeće građevine



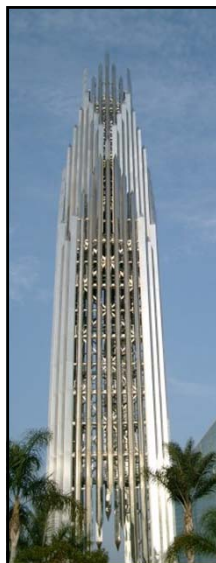
RAST SVJETSKOG STANOVNIŠTVA



Primjeri nebodera:

Sears Tower (1974)
Chicago, USA – 443m,
110 katova





Cren Tower
(1990)
California,
USA

Emirates Towers(2000)
Dubai, UAE – 355m



John Hancock Tower
(1973) Boston USA –
241m

Burj Khalifa, Dubai, UAE, 2010





Bank of China, 1989, Hong Kong

- visina 369m



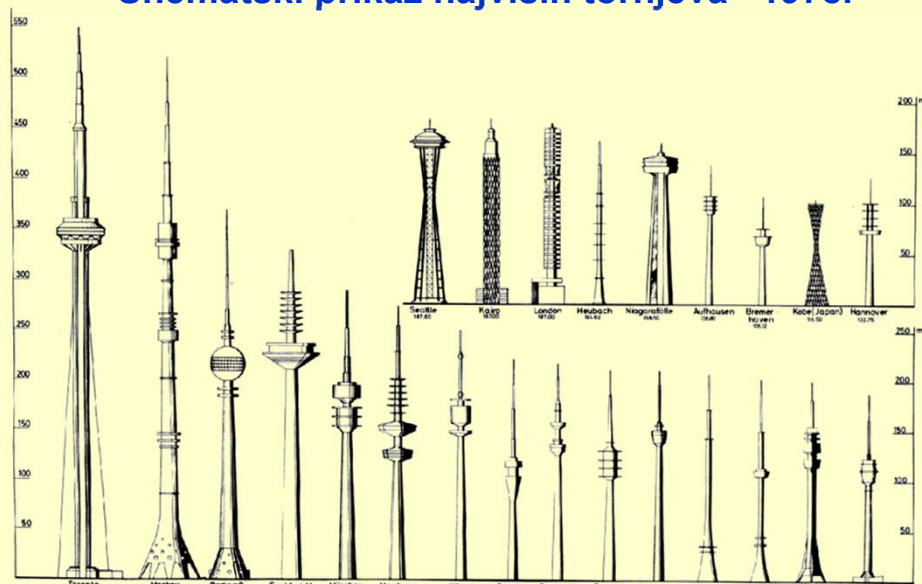


TORNJEVI

Tornjevi su inženjerske konstrukcije naglašene vertikale izgrađene na relativno skućenoj osnovi.

- samostalne građevine ili dio nekog većeg inženjerskog sklopa.
- obzirom na **tip konstrukcije**: *stupasti, pridržani uždima, rešetkasti, vertikalni uspinjući.*
- obzirom na **gradivo**: *betonski, čelićni (jarboli)*
- obzirom na **funkciju**: *vodotornjevi, rashladni tornjevi, svjetionici, opservatorijski, televizijski, bušilaćki, bojni, kontrolni, silosi.*

Shematski prikaz najviših tornjeva –1978.



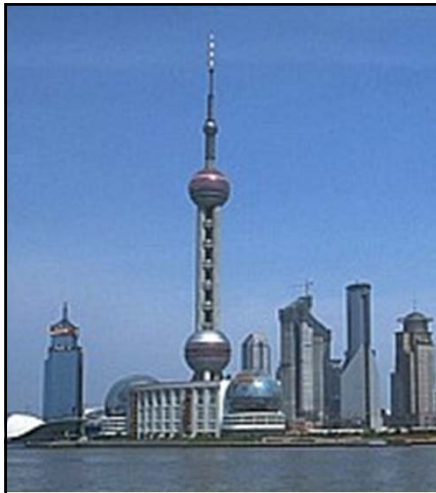
Najviši tornjevi danas:



Ostankino Tower (1967)
Moskva, Rusija –537m

CN Tower (1976)
Toronto, Canada
– 553m





Oriental Pearl Tower (1995)
Shanghai, China – 464m

Tianjin Tower (1991) Tianjin,
China – 415m

KL Tower (1996) ,
Kuala Lumpur,
Malaysia – 421m

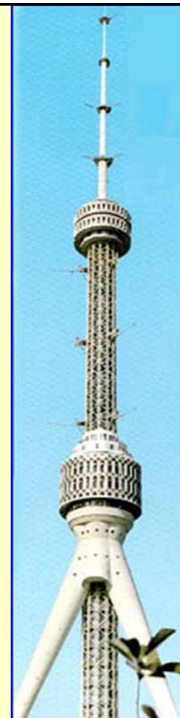


Alma-Ata Tower (1983)
Kazakhstan – 376m

Tashkent TV Tower
(1985) Uzbekistan
– 375m

Kiev TV Tower (1985)
Ukraina – 375m

Riga TV Tower
Riga, Latvija – 371m





Berlin TV Tower (1969)
Berlin, Njemačka – 365m



Stratosphere (1996) Las Vegas, U.S.A. –350m



Tokyo Tower (1958)
Tokyo, Japan – 333m

Europa Tower (1969) Ginnheim, Germany -331m



Montreal Olympic Tower (1987)
Montreal, Canada – 175m

Betonski tornjevi:

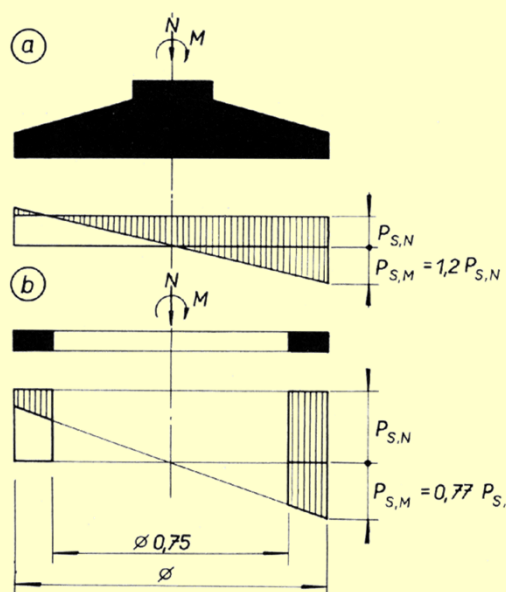
-1953 g. Stuttgart – prvi armiranobetonski toranj

Oblikovanje:

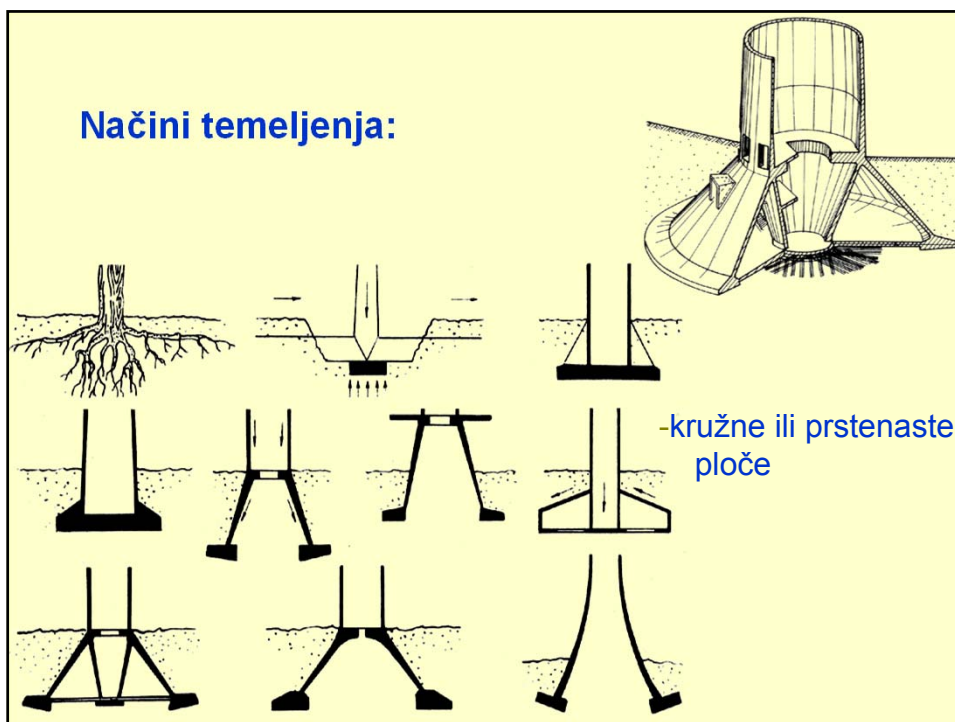
- ekonomski zahtjevi
- konstrukcijski zahtjevi
- prirodni uvjeti
- zahtjevi uklapanja u okoliš
- zahtjevi na oblik (*klasičan izgled, ekstravagancija...*).

Temeljenje:

- dominantne sile u temelju određuju način temeljenja.
- potrebna je zaštita od korozije.
- imati u vidu djelovanje agresivnih voda

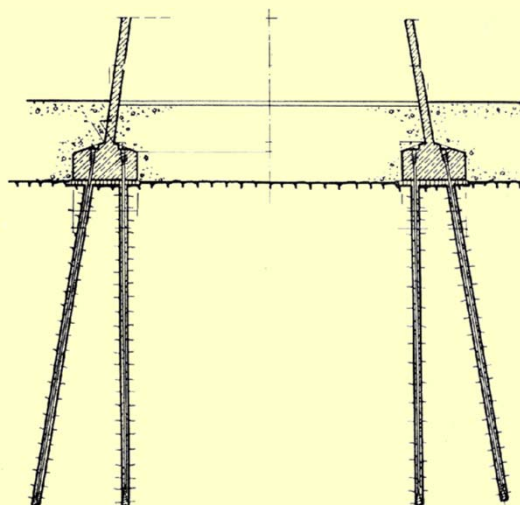


Načini temeljenja:



Temeljenje sa geotehničkim sidrima:

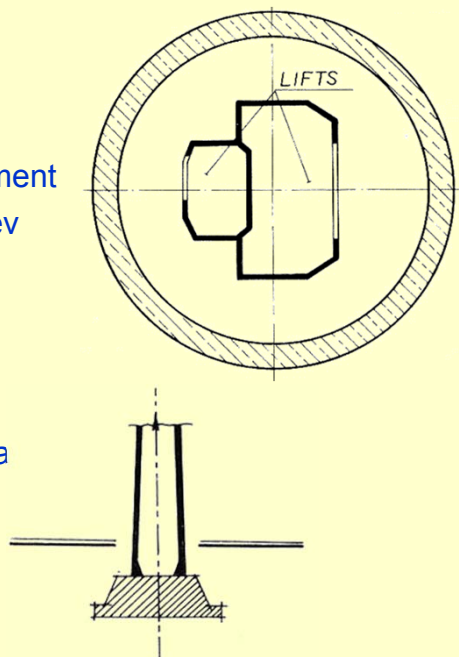
-u stjenovitom ili
kamenom tlu
-preuzimanje
momenta sidrima



Tijelo tornja:

-najbolji konstrukcijski element
je zatvorena betonska cijev
kružnog ili poligonalnog
poprečnog presjeka

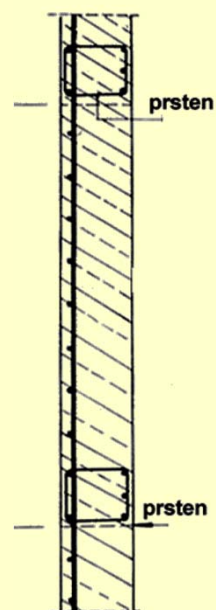
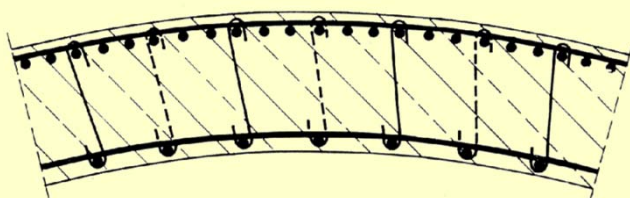
-zašiljena konstrukcija
penjajućeg ili kliznog oblika



Armiranje tijela tornja:

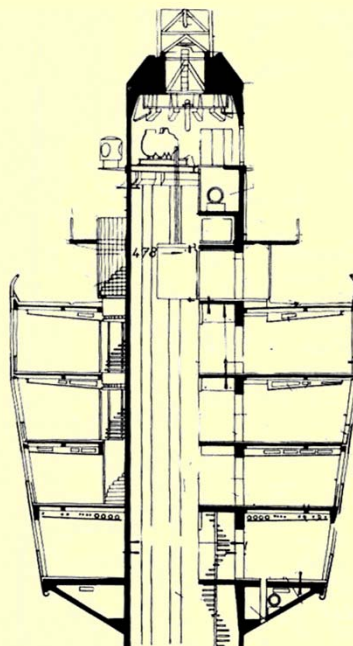
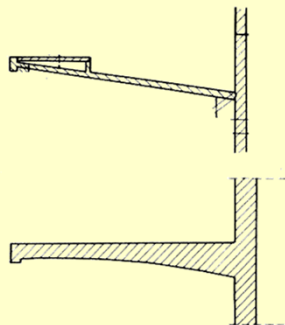
-vertikalna armatura: šipke na
razmacima 10-15 cm.

-kružna armatura: prihvaćanje
radijalnih sila



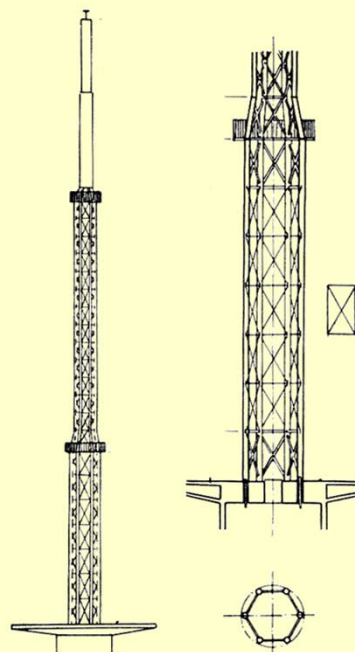
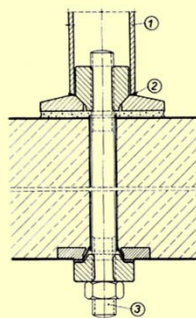
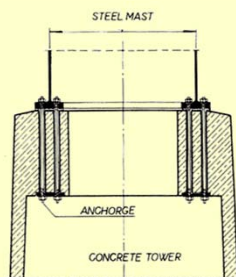
Platforme tornjeva:

- ovješene platforme
(plosnata konoidna ljuska)
- klasična konzola



Čelični jarboli na betonskim tornjevima:

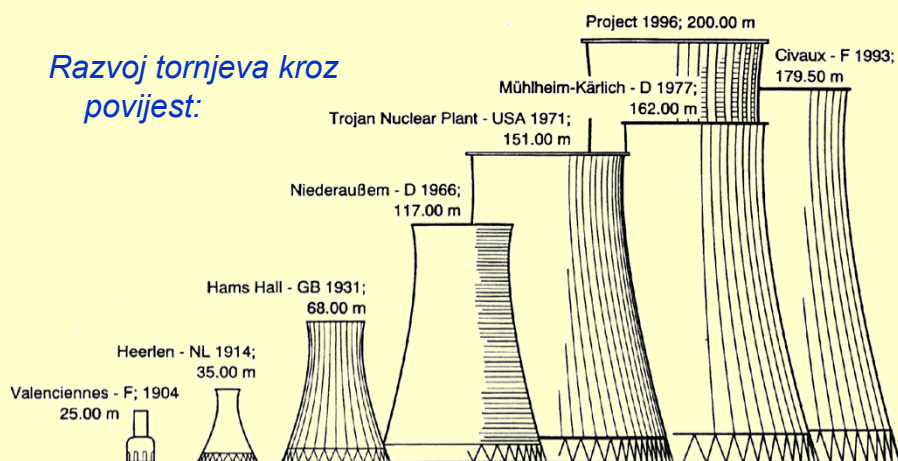
- čelična rešetka usidrena na betonski dio tornja
- poprečni presjek većinom heksagon



Rashladni tornjevi:

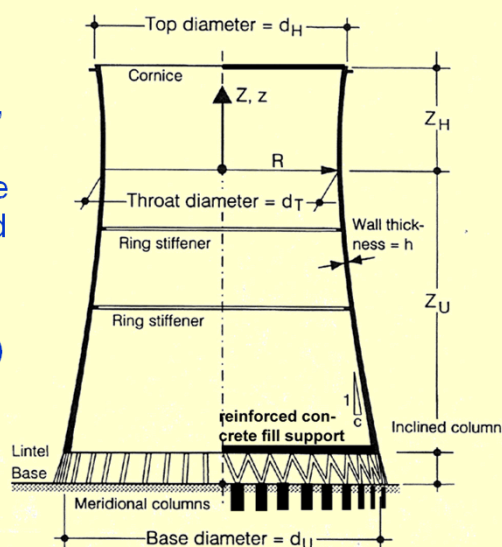
-hiperbolične konstrukcije koje se pojavljuju kao dio većeg inženjerskog sklopa

Razvoj tornjeva kroz povijest:



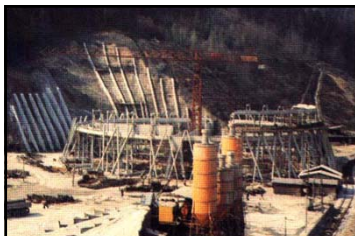
Dijelovi rashladnih tornjeva:

- temelji
- stupovi baze (dijagonalni, meridijalni, vertikalni)
- nadvoj (koncentrirane sile stupova distribuira u zid ljuske kao kontinuirano opterećenje)
- ljuska (hipar, $h=16-18\text{cm}$)
- lokalna ukrućenja
- vijenac

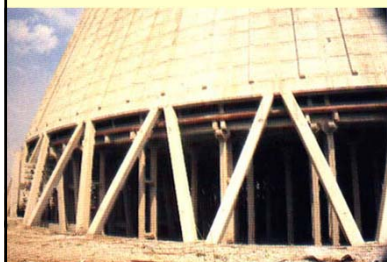


Projektiranje , izgradnja:

- sigurne i trajne konstrukcije ako su dobro projektirane
- značajan utjecaj vjetra na konstrukciju
- ukrućenja konstrukcije postaviti na odgovarajuća mjesta (prsteni)
- armiranje ljuske (vertikalna i kružna armatura)



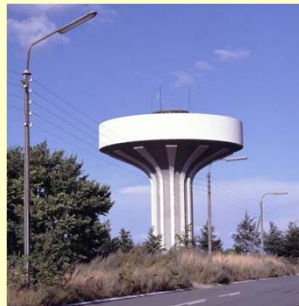
- betoniranje u segmentima
- prijenos materijala toranjskim dizalicama sidrenim u gotovim dijelovima ljuske



Vodotornjevi:



- velike varijacije oblika noseće konstrukcije i rezervoara
- betonski i čelični

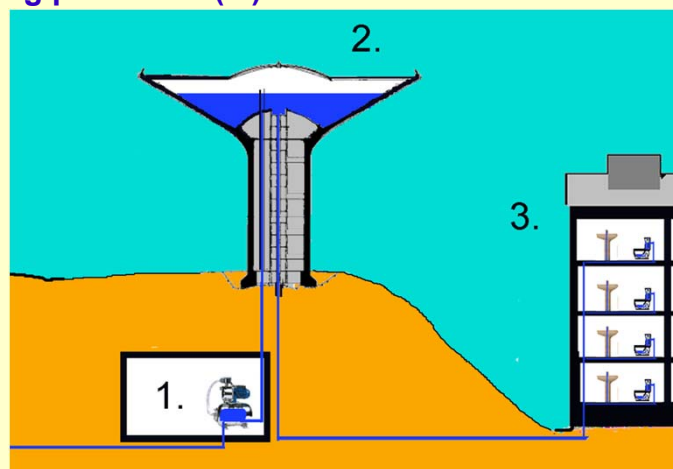


Princip funkcioniranja vodotornja:

Vodotoranj je konstrukcija za skladištenje vode

Pumpom (1.) se voda dovodi do vodotornja (2.)

Iz vodotornja (2.) se djelovanjem gravitacije voda dovodi do konačnog potrošača (3.)



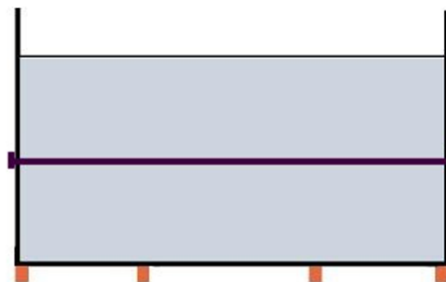
Princip funkcioniranja vodotornja

- Kod vodovodnih sustava sa vodotornjevima, pumpne stanice služe samo za punjenje vodotornjeva vodom
- Vodotornjevi se konstantno pune kako bi se održao tlak u cjevovodu
- Nijedan potrošač ne smije biti na većoj nadmorskoj visini od vodotornja da bi sustav funkcionirao

Konstruktivni oblici vodotornjeva

Pravokutni vodospremnik

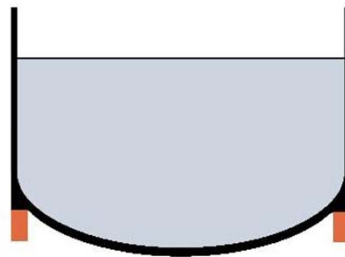
- Prvi vodospremnici izvedeni (1830) imali su pravokutni tlocrt sa ravnim dnom
- Dio sila je preuzet vlačnim zategama koje su prolazile kroz vodospremnik i time bile vrlo podložne koroziji
- Zatege su otežavale čišćenje spremnika
- Kasnije se počinju izvoditi spremnici kružnog tlocrtnog oblika



Konstruktivni oblici vodotornjeva

Vodospremnik sa ovješnim dnom

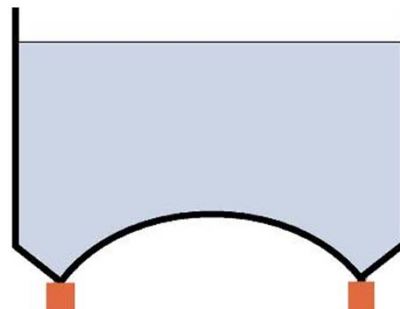
- (1860) pojavljuje se poboljšani oblik konstrukcije vodospremnika u Francuskoj
- Dno spremnika je ljuska koja se spaja na kružne zidove spremnika gdje se formira tlačni prsten
- Deformacije tlačnog prstena su uzrokovala oštećenja spojne konstrukcije



Konstruktivni oblici vodotornjeva

Intze-ov vodospremnik

- Otto Intze (1883) riješio je problem deformacija tlačnog prstena pomoću konstrukcije koja se naziva Intze-ov princip.
- Formira se tlačni prsten na dnu vodospremnika
- Dno vodospremnika sastoji se od unutrašnjeg sfernog dna i vanjskog dijela dna u obliku krnjeg stošca
- Pritom su sve horizontalne sile uravnotežene i ne uzrokuju štetna naprezanja



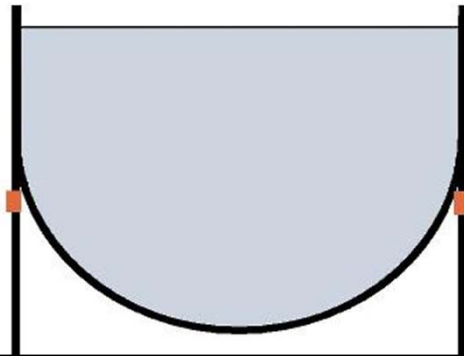
Konstruktivni oblici vodotornjeva

Barkhausen vodospremnik

- Barkhausen vodospremnik ili vodospremnik sa kuglastim dnom je (1898) godine izumio Georg Barkhausen

-Dno spremnika je polukugla

- Zbog tangencijalnog prijelaza između zidova i dna nije potrebno izvoditi potporni prsten

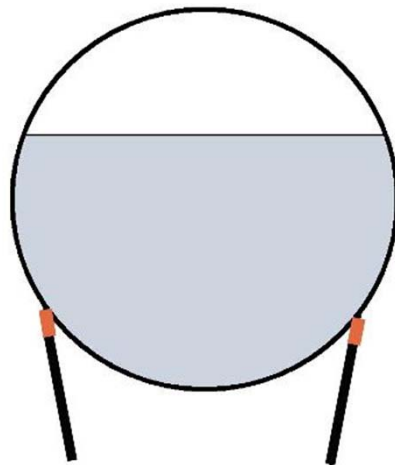


Konstruktivni oblici vodotornjeva

Klönne-ov vodospremnik

- 1898. godine je August Klönne patentirao kuglasti spremnik sa potpornjima

- Stupovi su tangencijalno spojeni na zidove kugle (kao kod Barkhausen vodospremnika)



Gradnja vodospremnika

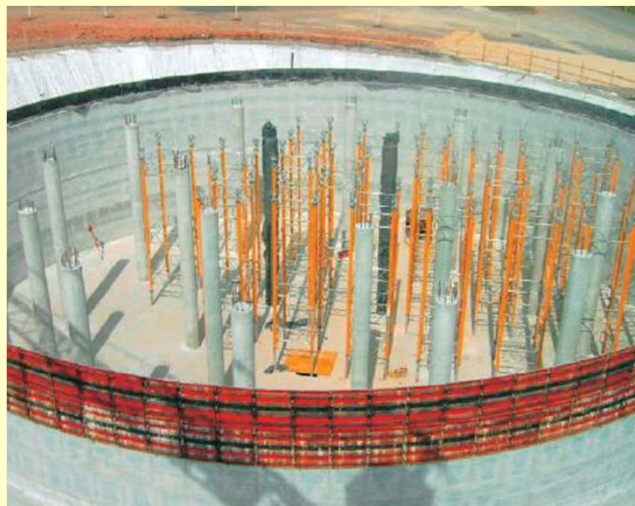


Prednapeta temeljna ploča



Oplata zidova vodospremnika

Gradnja vodospremnika



Podupirači za izvedbu krovne ploče

Gradnja vodospremnika



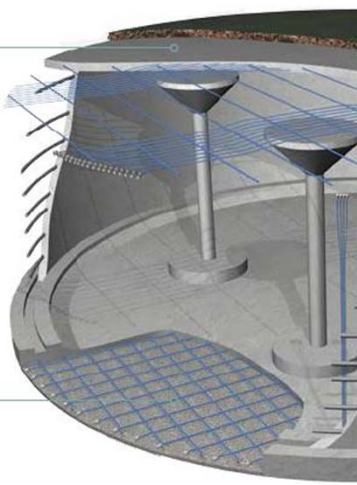
Izvedba prednapete krovne konstrukcije

Gradnja vodospremnika

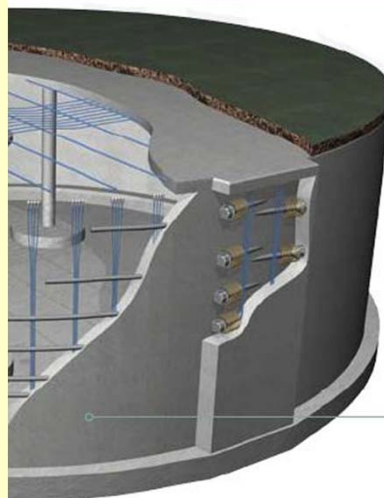


Gotov vodospremnik prije ukapanja

Prednapinjanje vodospremnika



Položaj natega



**Sidrenje vodoravnih
natega u zidovima**

Seizmička oštećenja vodospremnika



Oštećenje spremnika tekućine nakon potresa u Turskoj (1999)

Seizmička oštećenja vodospremnika



Oštećenje spremnika tekućine nakon potresa u Turskoj (1999)

Seizmička oštećenja vodospremnika



Oštećenje spremnika tekućine nakon potresa u Turskoj (1999)

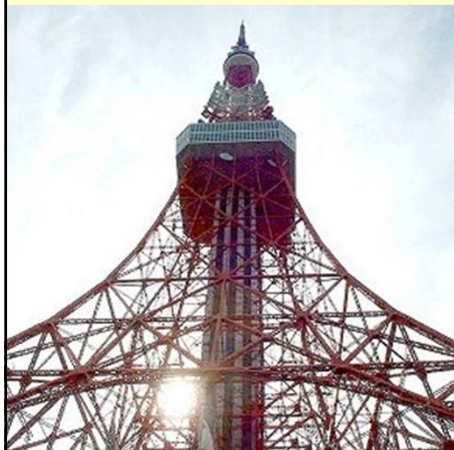
Čelični tornjevi, jarboli:

- 1889g. Eiffel – prvi čelični toranj
- izgrađuju se većinom za telekomunikacijske potrebe
- glavna prednost u odnosu na beton je manja težina konstrukcije



Oblikovanje:

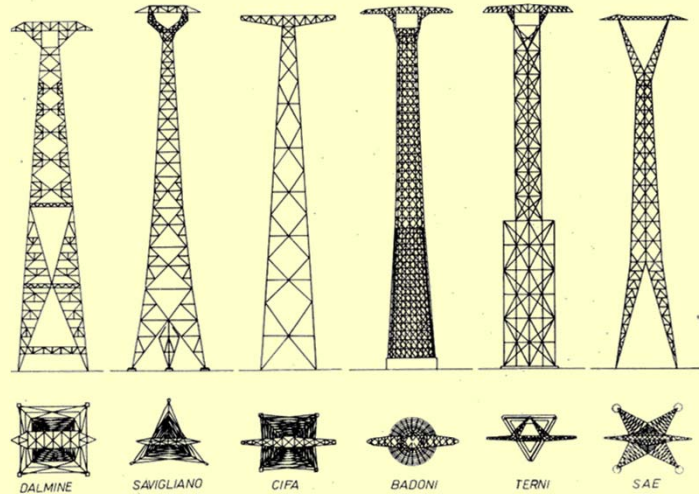
- jednaki zahtjevi kao i kod betonskih tornjeva
- rešetkaste ili cilindrične konstrukcije



- bitna je aerodinamika konstrukcije da bi se smanjili utjecaji vjetra

Čelični dalekovodi – oblici:

-velika horizontalna sila vjetra na vrhu stupa



Sutro Tower (1973) San Francisco, USA – 295m

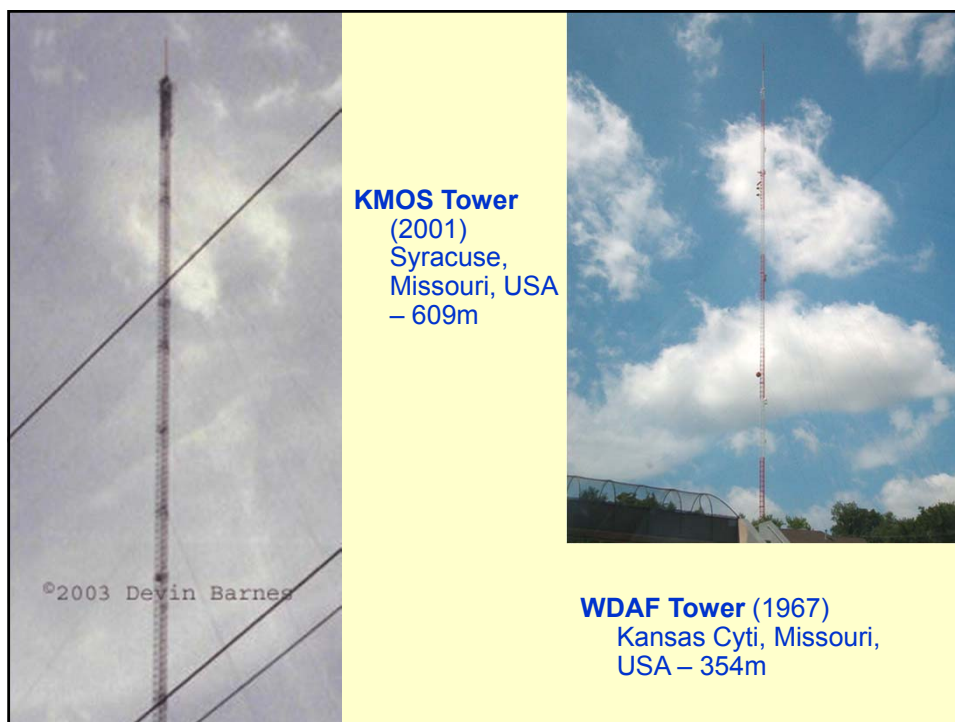
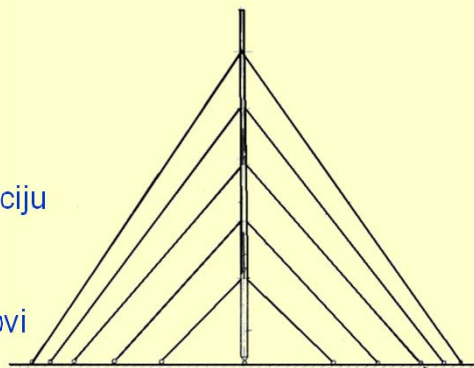


Montjuic Tower (1992) Barcelona, Spain – 136m



Jarboli:

- rešetkaste ili cilindrične konstrukcije pridržane čeličnim kablovima
- utjecaji vjetra na konstrukciju su veliki pa su nužna pridržanja
- pridržanja su čelični kablovi sidreni u temeljnom tlu



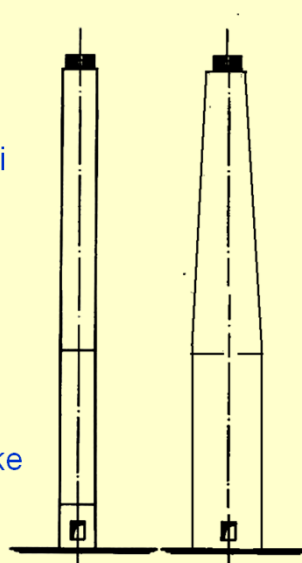
KMOS Tower
(2001)
Syracuse,
Missouri, USA
– 609m

WDAF Tower (1967)
Kansas City, Missouri,
USA – 354m

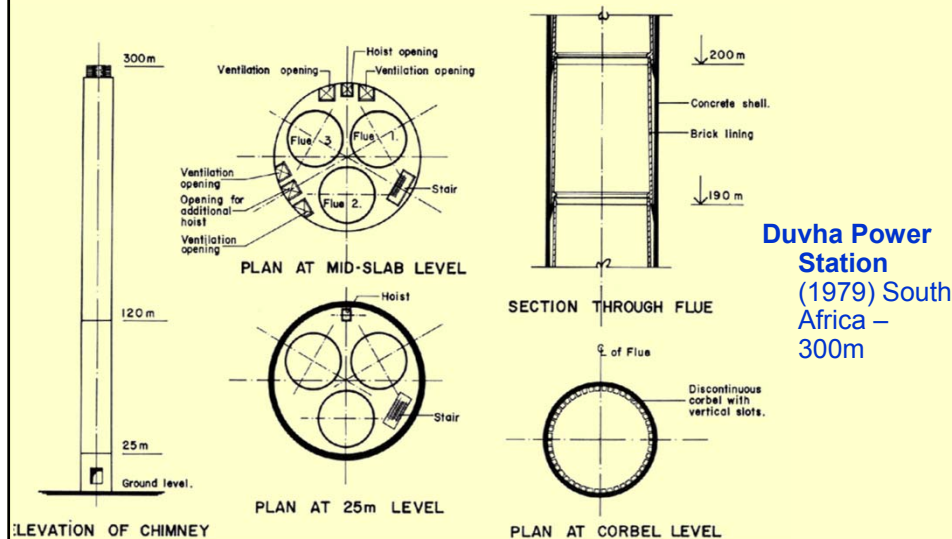


Dimnjaci:

- obzirom na materijal: armiranobetonski i čelični
- zašiljene ili cilindrične konstrukcije
- obzirom na izvedbu: klizna i penjuća tehnologija
- mogu biti s jednom ili s više cijevi u poprečnom presjeku
- značajni su ekološki zahtjevi na dimnjake



Dimnjaci složenog poprečnog presjeka:



- početni troškovi višecijevnih dimnjaka su veći, no troškovi u uporabi manji od jednocijevnih (prekidi rada jednocijevnih dimnjaka za vrijeme obnove, kontrole, održavanja)
- čelični dimnjaci – ako su dim i prašina vrlo agresivni

Djelovanja:

- vjetar
- temperatura- uzrok pukotina u betonu
- kemijski agensi- potrebne specijalne cijevi

Zahtjevi na beton

- mala apsorpcija (4-5%)
- nepropusnost
- otpornost na smrzavanje
- malo skupljanje i puzanje

Solar Chimney (1989)
Manzanares, Spain –
200m



Problemi oblikovanja visokih građevina:

Opterećenja konstrukcije:

-vlastita težina, opterećenje vjetrom, potresna opterećenja, temperature promjene, geometrijske imperfekcije građevine, slijeganje temeljnog tla

Dominantan utjecaj vjetra: - *jačina i smjer vjetra*
-*oscilacije vjetra*

-ograničenje sila i naprezanja

-faktori sigurnosti

Metode analize:

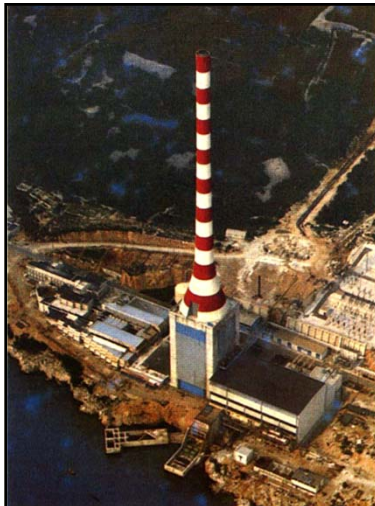
-dvodimenzionalne i trodimenzionalne analize (MKE)

Visoke građevine u Hrvatskoj:

Dimnjak ELTO, Zagreb

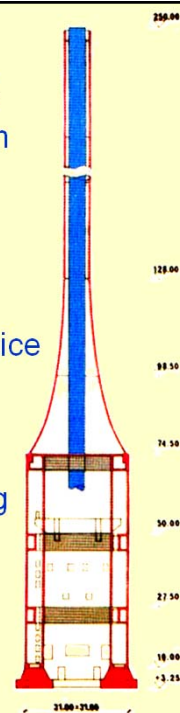
- visina dimnjaka je 200m
- projektiran je kao armiranobetonska konzola
- za temperaturu dimnih plinova 150-200°C
- debljina nosive stijenske trupa varira od 45-20cm
- izvedba u kliznoj tehnologiji

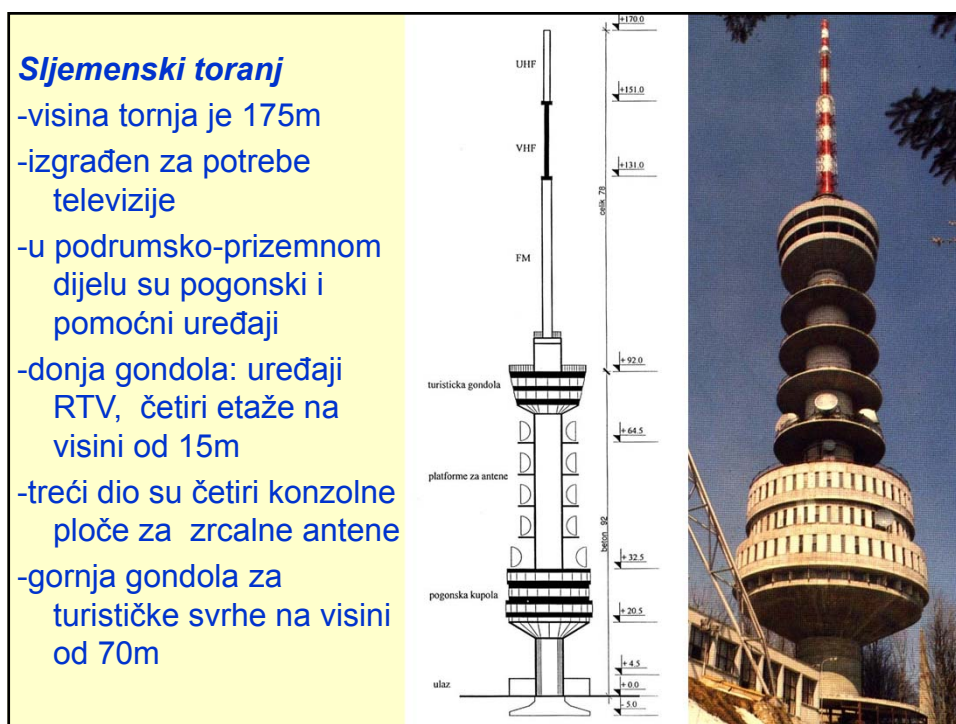
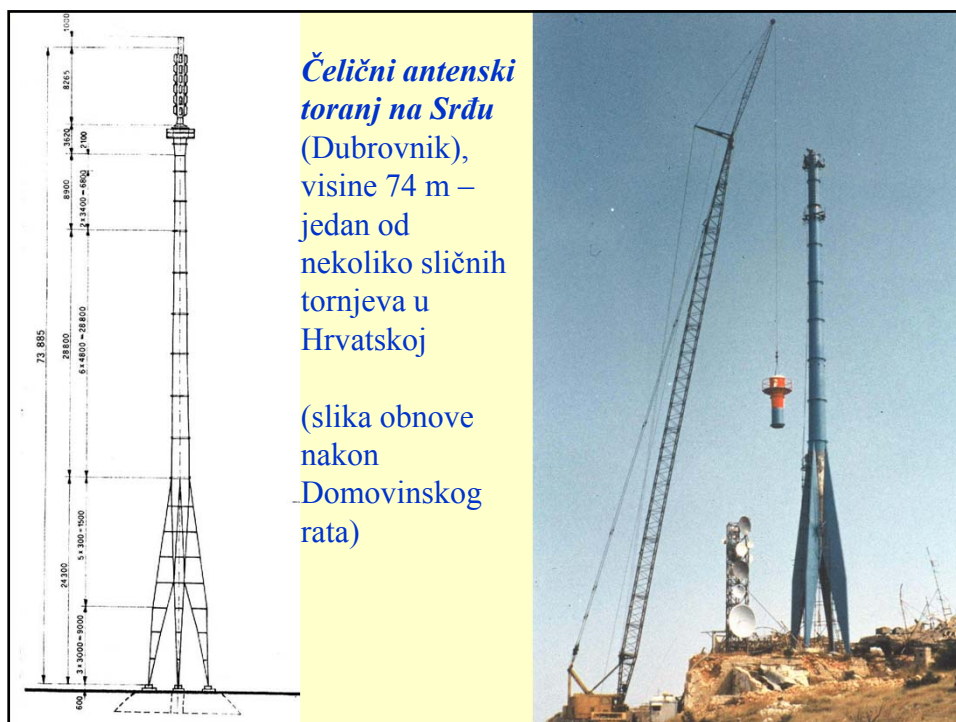
Najviša građevina u Hrvatskoj:
dimnjak Plominske
termoelektrane, visok preko 300 m

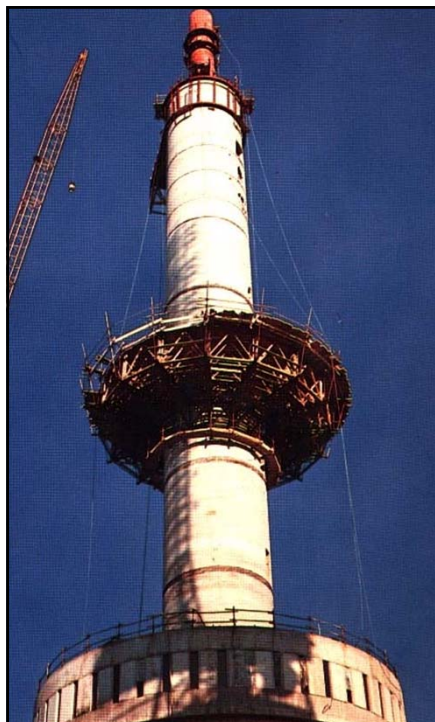


Termoelektrana Rijeka I.

- visina dimnjaka je 175.5m
- temelj dimnjaka je armiranobetonska konstrukcija kotlovnice visine 70,5m
- tlocrtna dimenzija kotlovnice su 31×31m, a čine ju međusobno povezani stupovi (5×5m) i grede sandučastog poprečnog presjeka u tri razine



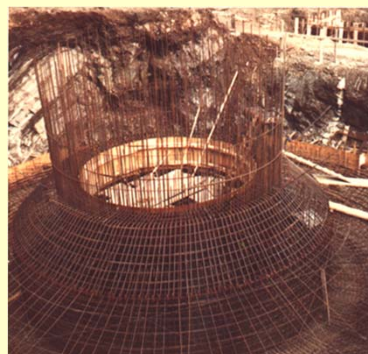


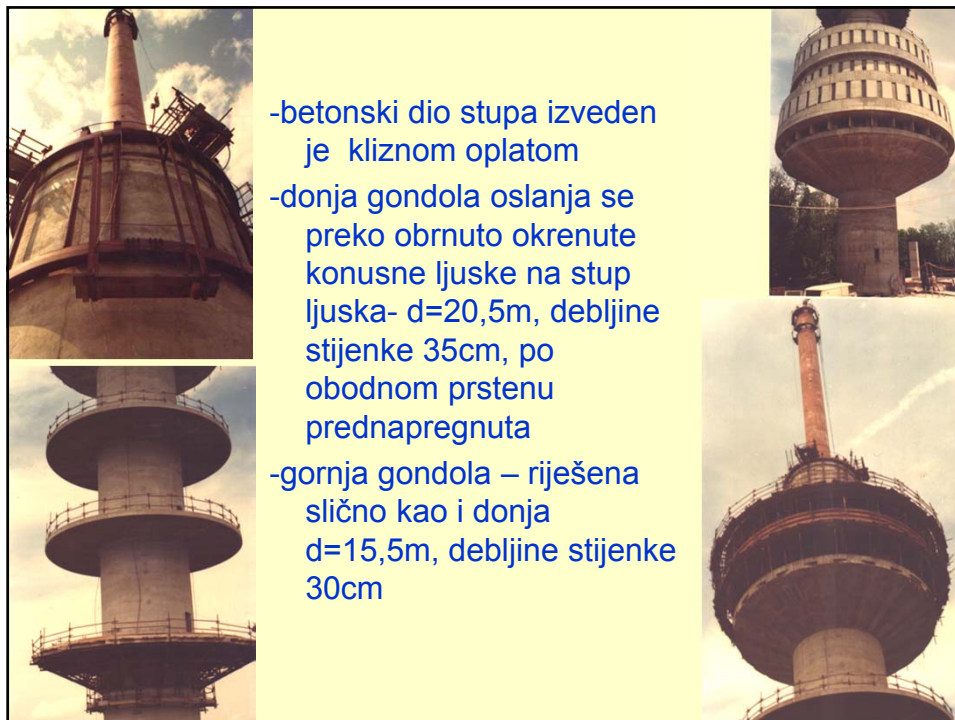


- dijelovi tornja povezani armiranobetonskim stupom visine 90m u kojem su smještena dizala, stubišta i vertikalne instalacije
- čelični dio stupa s antenom visok je 86m
- stup tornja je okrugla cijev početnog promjera 6,90m i debljine zidova 65cm
- na koti 20,3m zidovi se simetrično sužuju na 35cm

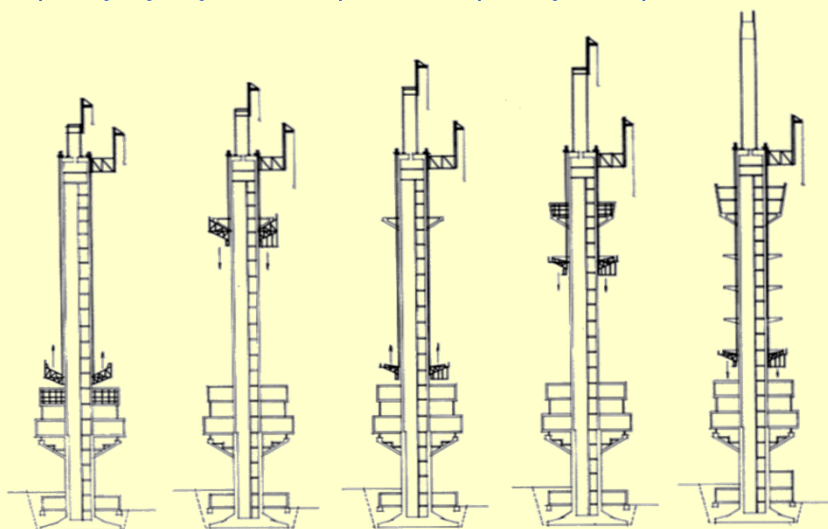
Značajke, izvedba:

- temelji – kružna ploča





-za izvođenje ljuske gornje gondole i konzolnih ploča primijenjen je sistem podizno-spuštajuće oplata



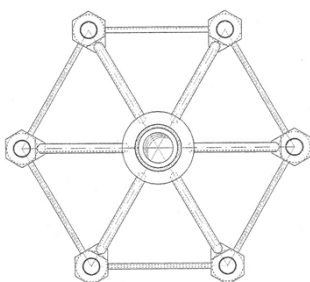
-



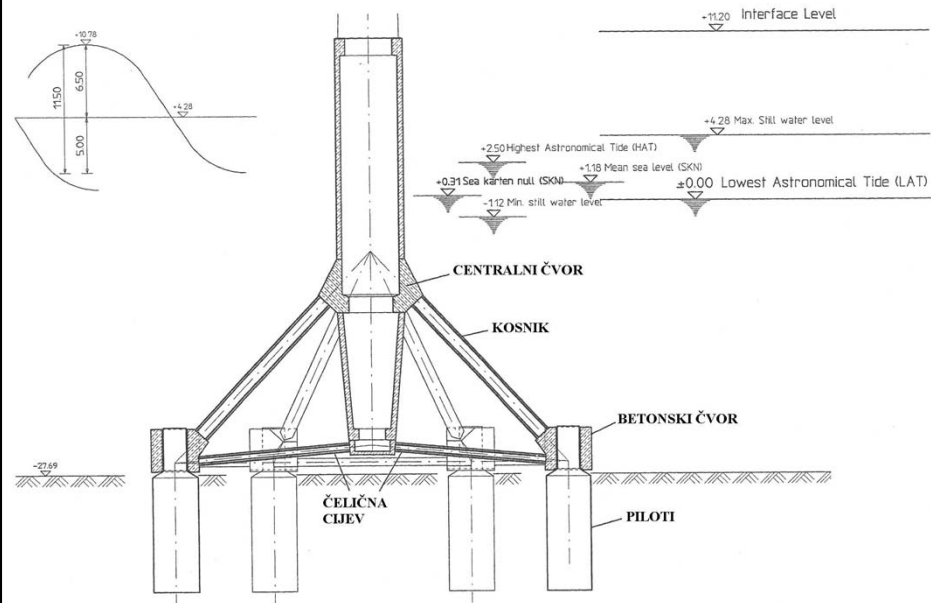
- za vrijeme izvođenja donje gondole montirao se čelični dio tornja, a u toku izvođenja konzolnih ploča izvodile su se ravne ploče gornje gondole i montirao čelični dio

The drawing illustrates a wind turbine structure with a three-bladed rotor. The main body is a tall, slender tower supported by a tripod-like base. To the left, a cross-section of the tower shows a diameter of 600 units. To the right, a detailed elevation view of the tower and its base is shown, with various levels marked: +0.00 (Mean sea level), +0.31 (Sea surface), +0.52 (Min. still water level), +0.72 (Highest Astronomical Tide), and +0.92 (Max. still water level). The base of the tower is shown resting on a foundation. A small inset shows a cross-section of the tower with a diameter of 600 units and a height of 100 units. The drawing is labeled 'Elevation' and 'Cross Section'.

Tlocrt pilota:

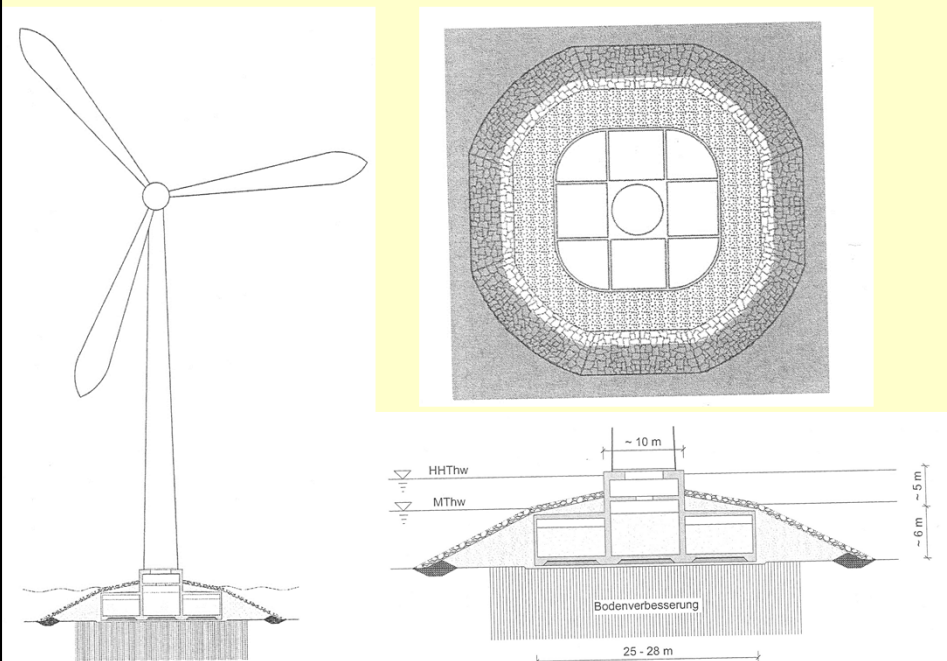


Vjetroelektrane:



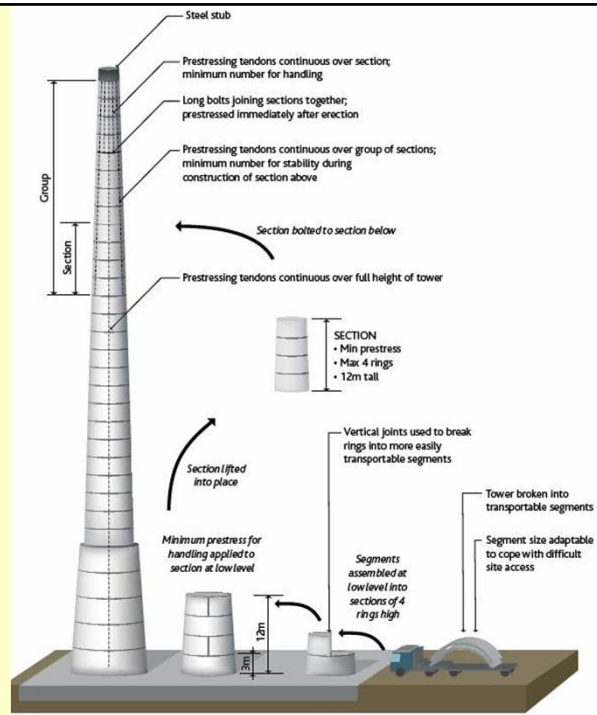
Vjetroelektrane:

- temelj vjetroelektrane



Vjetroelektrane:

- izvedba tornja
vjetroelektrane na
kopnu od predgotovljenih
segmenata



Vjetroelektrane – izgradnja:

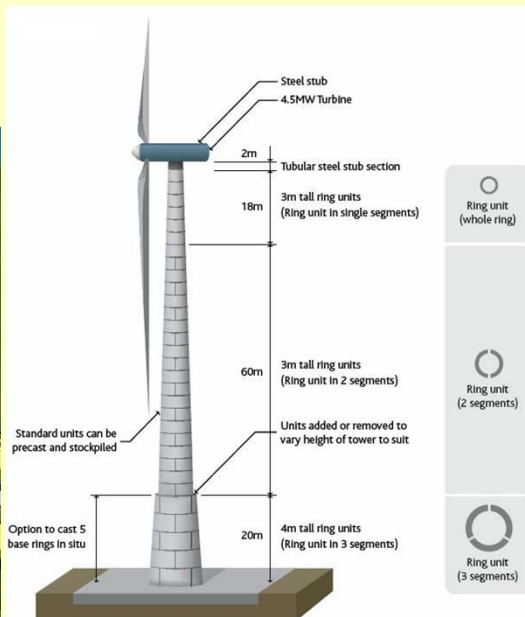
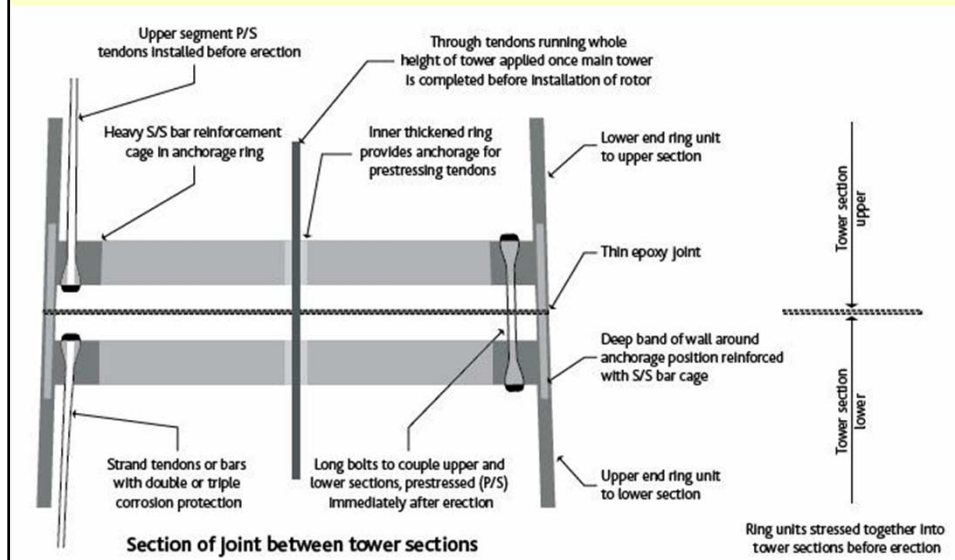


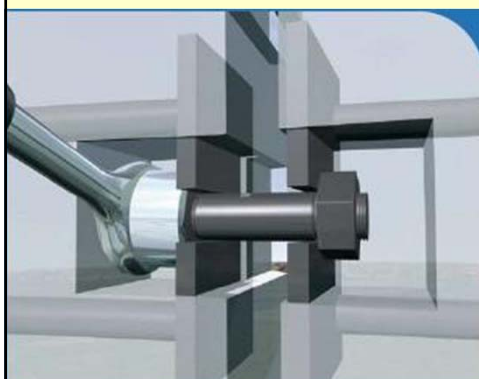
Figure 1: Typical precast concrete configuration

Vjetroelektrane – izgradnja:

- detalj spoja susjednih predgotovljenih segmenata vjetroelektrane



Vjetroelektrane – izgradnja:



- spajanje predgotovljenih segmenata sa vijcima



- prednapinjanje predgotovljenih segmenata

Vjetroelektrane – izgradnja:

- izvedba kasetiranog temelja koji se naknadno puni tlom i kamenjem



Vjetroelektrane – izgradnja:

- izvedba kasetiranog temelja koji se naknadno puni tlom i kamenjem



Vjetroelektrane – izgradnja:



- doprema predgotovljenih temelja
iz suhog doka



- ugradba predgotovljenog
temelja pomoću dizalice

