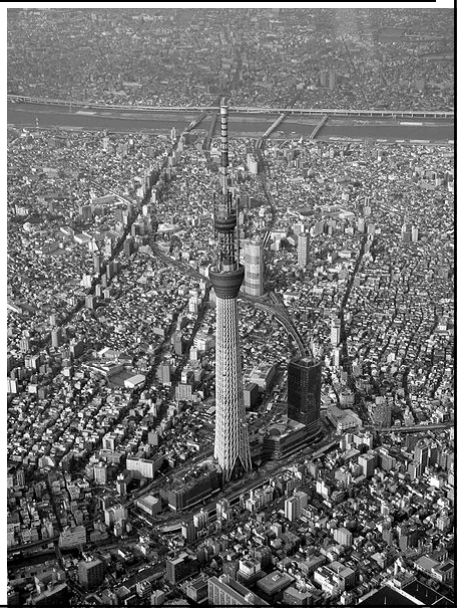
SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE
5. PREDAVANJE

Tornjevi

(općenito, tipovi, funkcija, primjeri)

TORNJEVI
SADRŽAJ PREDAVANJA

- Tornjevi
  - Definicija i podjele
  - Shematski prikaz najviših tornjeva 1978.
  - Najviši tornjevi danas
  - Oblikovanje
    - Tradicionalne i suvremene konstrukcije
    - Odabir poprečnog presjeka
    - Granične visine dimnjaka ovisno o materijalu
- Primjeri tehničkih tornjeva
  - Svjetionici
  - Televizijski tornjevi
  - Dimnjaci i rashladni tornjevi
  - Vodotornjevi
  - Vjetroturbine
  - Vjetroelektrane
  - Betonski jarboli
  - Betonske off-shore platforme
  - Skijaške skakaonice



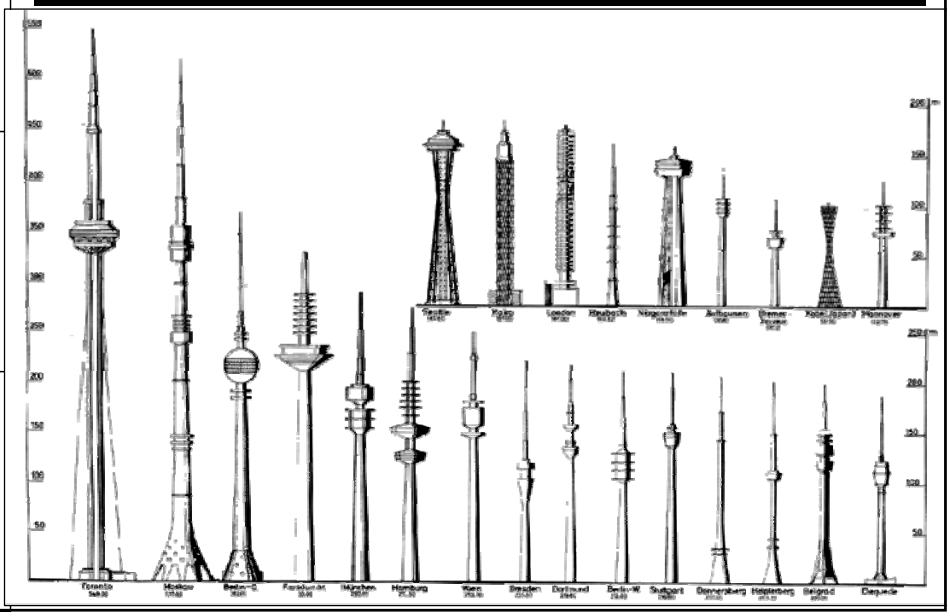
TORNJEVI
DEFINICIJA I OSNOVNA PODJELA

- inženjerske konstrukcije naglašene vertikale izgrađene na relativno skučenoj osnovi
- samostalne građevine ili dio nekog većeg inženjerskog sklopa
- obzirom na tip konstrukcije:
  - stupasti,
  - pridržani užadima,
  - rešetkasti,
  - vertikalni uspinjući
- obzirom na materijal:
  - betonski,
  - čelični (jarboli)
- obzirom na funkciju:
  - vodotornjevi,
  - rashladni tornjevi,
  - svjetionici,
  - opservatorijski,
  - televizijski,
  - bušilački,
  - vojni,
  - kontrolni,
  - silosi

Europa Tower (1969)
Ginnheim, Njemačka – H=331m

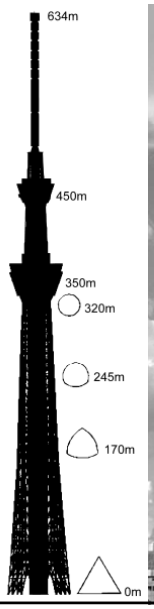
Montreal Olympic Tower (1987)
Montreal, Canada – H=175m

TORNJEVI
SHEMATSKI PRIKAZ NAJVIŠIH TORNJEVA –1978.



TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***Tokyo Sky Tree*** (2012), Japan
  - H=634 m (s antenom)
  - H=495 m (krov)
  - H=450 m (najgornji kat)
  - Planirano otvaranje 22.05.2012.
  - Televizijski toranj, restoran i vidikovac
  - Poprečni presjek pri temelju je jednakostranični trokut (tronožac) koji se pomalo zaobljuje tako da na visini od 320 m postaje kružni presjek.
  - Od visine 350 m na gore konstrukcija je cilindrična što je prikladno za jake vjetrove.
  - Vidikovci su na visini 350 m i 450 m.
  - Seizmička otpornost postiže se središnjom jezgrom od armiranog betona koja je pričvršćena s vanjskom konstrukcijom tornja na visini 125 m iznad tla. Od te visine pa do 375 m jezgra je pričvršćena s vanjskom konstrukcijom s uljnim prigušivačima koji bi trebali preuzeti 50% energije koju izazove potres.



TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***Canton Tower*** (2010), Guangzhou, Kina
  - H=600 m (s antenom)
  - H=459,2 m (krov)
  - Broj katova 108 + 2 ispod zemlje
  - Televizijski toranj, restoran i vidikovac
  - Otvoreni eliptični vidikovac je na visini 488 m (najviši otvoreni i najveći na svijetu).
  - Konstrukcija je oblikovana generiranjem dviju elipsa, jedne na razini temelja, druge na razini 450 m. te se dvije elipse rotiraju relativno jedna prema drugoj.
  - Rotacijom između dviju elipsa generirano je suženje u obliku struka i progušćčavanje materijala na pola visine tornja – rešetkasta konstrukcija, koja je na dnu tornja šupljikava i većih raspona postaje gušća na razini suženja (smanjena vidljivost) a prema vrhu opet se otvara.
  - Ovakav oblik je zapravo hiperbolična konstrukcija koja odgovara patentu ruskog inženjera Shukhova

TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***CN Tower*** (1976) Toronto, Canada
  - H=553,33 m (s antenom)
  - H=457,2 m (krov)
  - H=446,5 m (najviši kat)
  - Broj katova: 147
  - Televizijski toranj, restoran i vidikovac
  - Toranj čini nekoliko različitih konstrukcija.
  - Glavni dio je betonska jezgra šesterokutnog presjeka s dizalima i stepeništem i instalacijama.
  - Iznad toga je 102 m visoka radiotelevizijska antena.
  - Dvije površine namijenjene su za vidikovce na visini 346 m i 446,5 m.
  - Šesterokutni oblik vidljiv je između vidikovaca, a ispod donjeg tri odvojena presjeka – noge daju tornju izgled velikog tronošca.

TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***Ostankino Tower*** (1967) Moskva, Rusija
  - H=540,1 m (s antenom)
  - H=385,4 m (krov)
  - H=360 m (najviši kat)
  - Broj katova: 147
  - Televizijski toranj, vidikovac, (restoran zatvoren nakon požara)
  - Armirani i prednapeti beton
  - 2000. na visini od približno 458 m nastao je požar, čije su posljedice bile i gubitak ljudskih života (4) i materijalna šteta, i to zbog dotrajalih i slabo održavanih električnih instalacija te otkazivanja sustava požarne zaštite.

TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***Oriental Pearl Tower*** (1996) Šangaj, Kina
  - H=468 m (s antenom 118 m)
  - H=350 m (najviši kat)
  - Broj katova: 14
  - Televizijski toranj, vidikovac, restoran, hotel
  - Beton
  - U sklopu tornja je 11 kugli (sfera).
  - Dvije najveće su promjera 50 m (niža) i 45 m (viša). Povezane su s tri stupa promjera 9 m.
  - Najviša kugla je promjera 14 m.
  - Građevinu podupiru tri velika stupa koja počinju pod zemljom + razupore.

TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***Milad Tower*** (2008) Teheran, Iran
  - H=435 m (s antenom); H=315 m (krov); Broj katova: 12
  - Televizijski toranj, vidikovac, restoran, hotel, trgovački i konferencijski centar
  - Beton i čelik
  - Osnovni elementi konstrukcije:
    - temelji (temeljna ploča promjera 66 m, dubine 9 m)
    - prijelazna konstrukcija od 6 katova,
    - betonska jezgra visine 315 m iznad tla
    - ''glava tornja'' čelična konstrukcija mase 25000 t od 12 katova, najveća i najviša među svim svjetskim tornjevima, s platformom promjera 60 m. Na vrhu je od požara zaštićena zona

TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***KL Tower*** (1996) , Kuala Lumpur, Malezija
  - H=421 m (s antenom);
  - H=335 m (krov);
  - Broj katova: 6
  - Televizijski toranj, vidikovac, turizam (skakanje s padobranom)
  - Beton
  - Osnovni elementi konstrukcije:
    - Tri podrumska kata za skladište, radove održavanja, smještaj sigurnosnih uređaja
    - Betonski cijevni toranj s 22 razine s četiri lifta i stepeništem
    - ''Glava tornja'' sa 6 katova za trgovinu i turiste s vidikovcem na 276 m i restoranom
    - Antenski jarbol za telekomunikacije

TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***Tianjin Tower*** (1991) Tianjin, Kina
  - H=415m (s antenom)
  - radiotelevizijski toranj,
  - vidikovac na visini 253 m
  - beton

- ***China Central Television Tower*** (1992) Peking, Kina
  - H=405m (s antenom)
  - radiotelevizijski toranj
  - vidikovac i restoran na visini 238 m, rotira se
  - beton

TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***Kiev TV Tower*** (1973) Ukrajina
  - H=385 m (s antenom)
  - radiotelevizijski toranj
  - Najviša rešetkasta konstrukcija
  - Sačinjena od čeličnih cijevi različitih promjera
  - Središnja cijev jezgre za smještaj dizala je promjera 4 m i debljine 12 mm.
  - Nalazi se na temeljnoj konstrukciji sa četiri ''noge'' visine približno 100 m
  - Posebitost je što su svi spojevi izvedeni zavarivanjem, nema mehaničkih spajala.

TORNJEVI
NAJVIŠI TORNJEVI DANAS

- ***Tashkent Tower*** (1984) Uzbekistan
  - H=375 m (s antenom)
  - radiotelevizijski toranj
  - vidikovac na 98 m
  - čelična konstrukcija

- ***Liberation Tower*** (1993) Kuwait
  - H=372 m (s antenom)
  - radiotelevizijski toranj
  - vidikovac i restoran
  - betonska konstrukcija

- ***Alma-Ata Tower*** (1983) Kazakhstan
  - H=371,5 m (s antenom)
  - radiotelevizijski toranj
  - Cijevna čelična konstrukcija

TORNJEVI
OBLIKOVANJE

- Na oblikovanje tornjeva utječu:
  - ekonomski zahtjevi
  - konstrukcijski zahtjevi
  - prirodni uvjeti
  - zahtjevi uklapanja u okoliš
  - zahtjevi na oblik (klasičan izgled, ekstravagancija...).
- s porastom vitkosti oblik konstrukcije najviše ovisi o prijenosu sila
- tradicionalni način gradnje tornjeva
  - temeljio se je na iskustvu i jednostavnim odnosima proporcija
  - tradicionalnim graditeljima je bio poznat odnos visine tornja i širine temelja i položaj težišta koji je za građevine od 2-140m bio neovisan o apsolutnoj visini konstrukcije
- suvremene konstrukcije tornjeva su
  - više skulpture, a manje odraz prijenosa sila i karakteristika građevinskih materijala,
  - poprimaju akrobatske oblike

TORNJEVI
OBLIKOVANJE

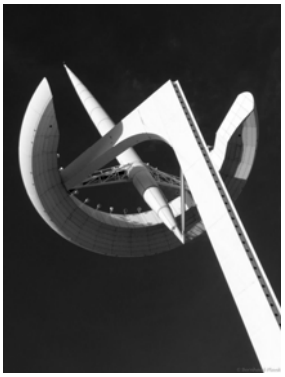
Primjer tradicionalne konstrukcije:

- ***televizijski toranj u Stuttgart-u*** (1953)
  - prvi armiranobetonski toranj
  - slijed unutarnje logike prijenosa sile doveo je do zadovoljavajućeg izgleda tornja
  - rezultat intuicije, iskustva i interakcije izgleda i dojma iskusnog projektanta
  - izgled je težnja za ostvarenjem kvalitetne konstrukcije

TORNJEVI
OBLIKOVANJE

Primjer suvremene konstrukcije:

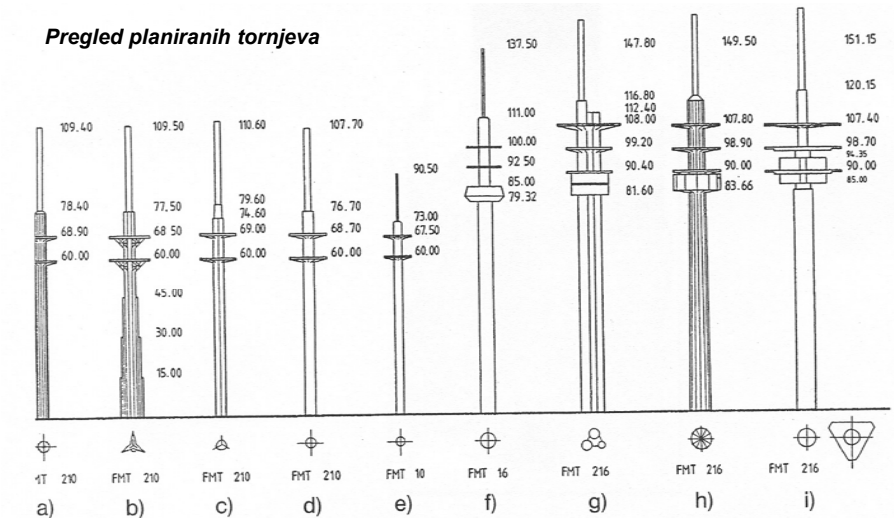
- ***Televizijski toranj Barcelona*** (Torre de Montjuic) – Calatrava (1992)
  - povezivanje vlačnih nosivih elemenata sa centralnim tlačno opterećenim tornjem
  - betonski toranj cilindričnog poprečnog presjeka promjera 4,5 m
  - na vrhu čelična platforma pridržana vlačnom zategom i s betonskom konzolom
  - volumen zatvara nenosiva konstrukcija od aramidnih vlakana
  - visina H=136 m



TORNJEVI
OBLIKOVANJE

- izazov kod težnje za dosizanjem graničnih visina predstavlja
  - formiranje oblika poprečnog presjeka tornja

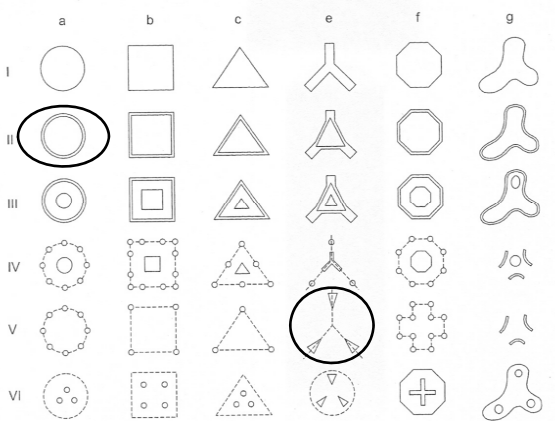
Pregled planiranih tornjeva



TORNJEVI
OBLIKOVANJE

- izazov kod težnje za dosizanjem graničnih visina predstavlja
  - formiranje oblika poprečnog presjeka tornja
- Oblik poprečnog presjeka tornja:
  - a)kružnica
  - b)kvadrat
  - c)trokut
  - e)ipsilon
  - f)višekutnik
  - g)slobodni oblici
- *IIa – srednjovjekovna kula*
- *Ve – vodotornjevi u SAD-u*

Oblici poprečnog presjeka tornjeva

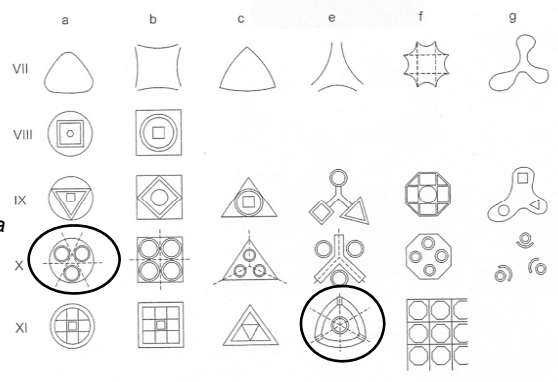


TORNJEVI
OBLIKOVANJE

- izazov kod težnje za dosizanjem graničnih visina predstavlja
  - formiranje oblika poprečnog presjeka tornja
- Oblik poprečnog presjeka tornja:
  - a)kružnica
  - b)kvadrat
  - c)trokut
  - e)ipsilon
  - f)višekutnik
  - g)slobodni oblici

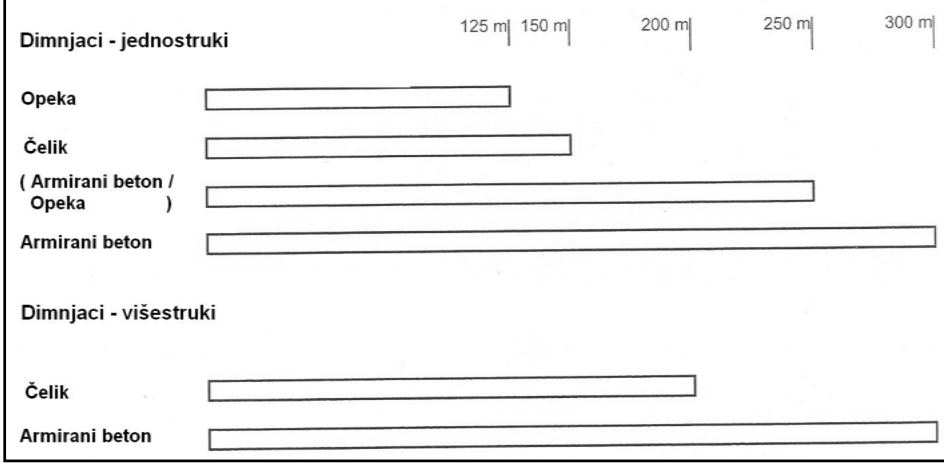
- *Xa – dimnjak sa 3 cijevna ispusta*
- *XIe – poprečni presjek silosa*

Oblici poprečnog presjeka tornjeva



TORNJEVI
OBLIKOVANJE

- *Primjer:* granične visine dimnjaka ovisno o građevnom materijalu
- kombinacija armiranog betona i opeke predstavlja posebnu konstrukciju
  - konusna armiranobetonska ljuska s oblogom od opeke



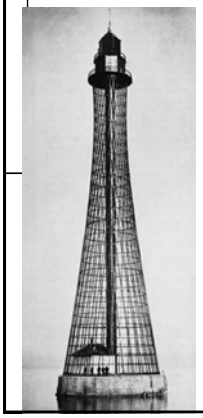
TORNJEVI
TEHNIČKI TORNJEVI

- *S nekom tehničkom funkcijom, dijele se na:*
  - **svjetionici**
  - **telekomunikacijski tornjevi**
  - **dimnjaci**
  - **rashladni tornjevi**
  - **spremnici**
  - **silosi**
  - **vodotornjevi**
  - **vjetrenjače**
  - **vjetroelektrane**
  - **off -shore naftni tornjevi**
  - **naftni i rudarski tornjevi**
  - **aerodromski tornjevi**

aerodromski toranj u Beču

TEHNIČKI TORNJEVI:
Svjetionici

- Svjetionici se koriste za označavanje opasne obale, opasnih plićina i grebena, te sigurnih ulaza u luke i mogu također pomoći u zračnoj navigaciji.
- Kako bi bilo djelotvorno svjetlo mora biti dovoljno visoko da bude uočljivo na vrijeme. Minimalna visina se računa trigonometrijom s obzirom na željenu horizontalnu vidljivost u nautičkim miljama.

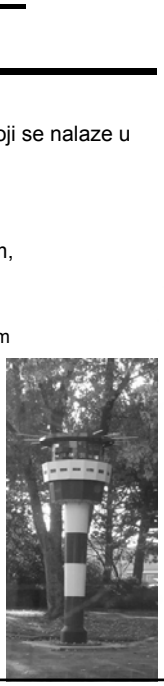


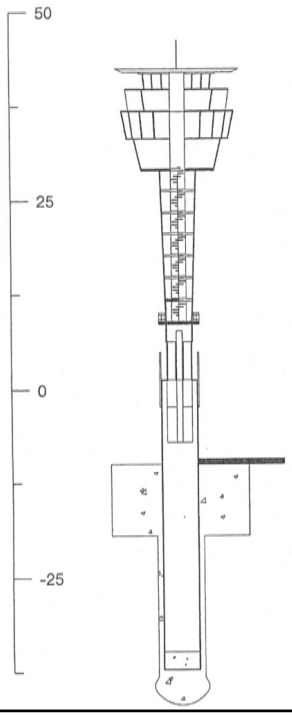
TEHNIČKI TORNJEVI:
Svjetionici

- Stariji svjetionici su zidani, u novije vrijeme betonski, a s napretkom tehnologije koriste se predgotovljeni elementi od betona i čelika.
- Kombinira se i uska cilindrična betonska jezgra okružena čeličnom rešetkastom konstrukcijom.

TEHNIČKI TORNJEVI: Svjetionici

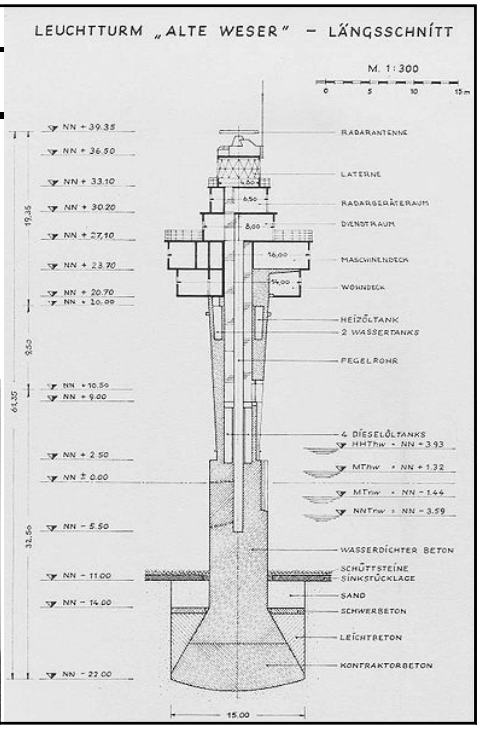
- ***Veliki Vogelsand***
  - na jednom od dva pješčana otoka koji se nalaze u rijeci Elbi, Njemačka
  - visina H=44,95 m iznad vode
  - dubina 39 m ispod vode
  - temeljenje na bunaru promjera 5,0 m,
  - na bunaru se nalazi:
    - toranj promjera Ø 3,5-5,0 m
    - sa 4 platforme promjera Ø 9 do 15 m



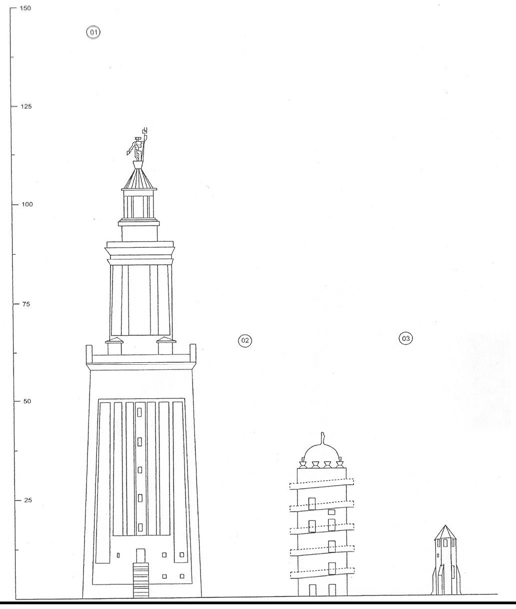


TEHNIČKI TORNJEVI Svjetionici

- ***Alte Weser***
  - temeljenje na bunaru
  - kuglasti temelj sa dodatnim teretom
  - toranj – konusna armiranobetonska ljuska sa integriranim tankovima za ulje promjera Ø 4,80 – 6,80 m
  - platforma na vrhu Ø 17,0 m

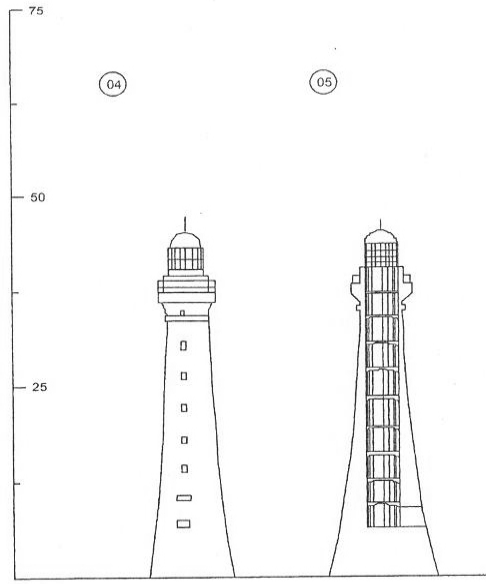


TEHNIČKI TORNJEVI:
Svjetionici



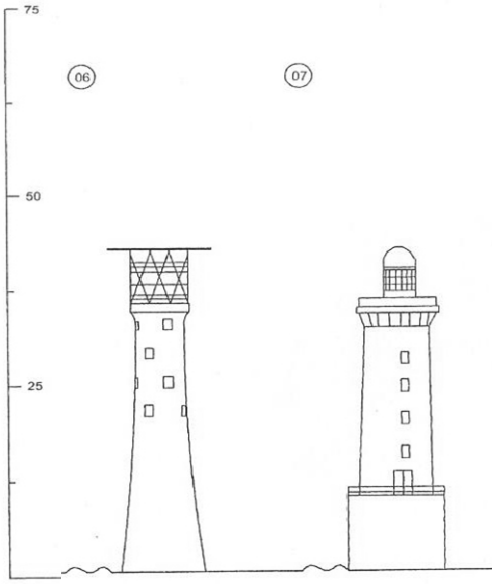
	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
01	Pharos, Alexandria	290-270 p.n.e	122
02	La Coruna	cca 400.	40
03	Chale Down	-	18
04	Skerryore, Škotska	1844	48
05	Skerryore, poprečni presjek	1844	48
06	Wolf Rook, Engleska	1870	41
07	Kereon, Francuska	1916	41
08	Adzuigol, Cherson	1911	88
09	Send Key, USA	1853	25
10	Point du Chene, USA	1895	14
11	Wangerooge Seefeurer, Njemačka	1966 - 1967	64

TEHNIČKI TORNJEVI:
Svjetionici



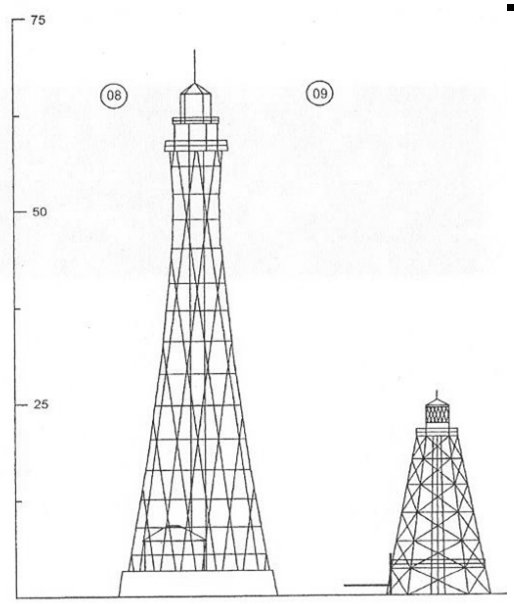
	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
01	Pharos, Alexandria	290-270 p.n.e	122
02	La Coruna	cca 400.	40
03	Chale Down	-	18
04	Skerryore, Škotska	1844	48
05	Skerryore, poprečni presjek	1844	48
06	Wolf Rook, Engleska	1870	41
07	Kereon, Francuska	1916	41
08	Adzuigol, Cherson	1911	88
09	Send Key, USA	1853	25
10	Point du Chene, USA	1895	14
11	Wangerooge Seefeurer, Njemačka	1966 - 1967	64

TEHNIČKI TORNJEVI:
Svjetionici



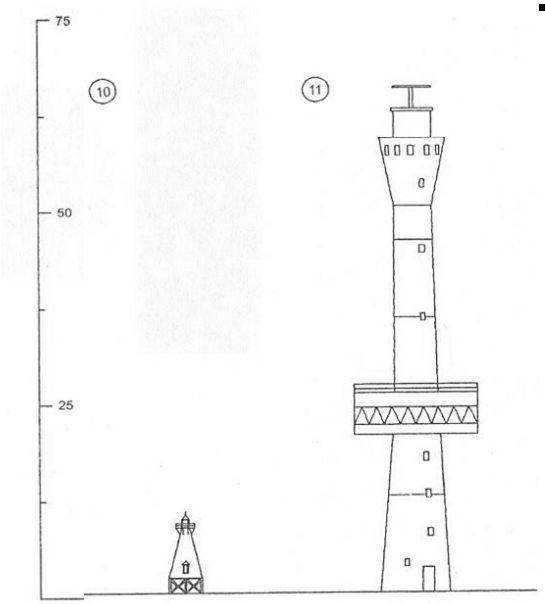
	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
01	Pharos, Alexandria	290-270 p.n.e	122
02	La Coruna	cca 400.	40
03	Chale Down	-	18
04	Skerryore, Škotska	1844	48
05	Skerryore, poprečni presjek	1844	48
06	Wolf Rook, Engleska	1870	41
07	Kereon, Francuska	1916	41
08	Adzuigol, Cherson	1911	88
09	Send Key, USA	1853	25
10	Point du Chene, USA	1895	14
11	Wangerooge Seefeurer, Njemačka	1966 - 1967	64

TEHNIČKI TORNJEVI:
Svjetionici



	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
01	Pharos, Alexandria	290-270 p.n.e	122
02	La Coruna	cca 400.	40
03	Chale Down	-	18
04	Skerryore, Škotska	1844	48
05	Skerryore, poprečni presjek	1844	48
06	Wolf Rook, Engleska	1870	41
07	Kereon, Francuska	1916	41
08	Adzuigol, Cherson	1911	88
09	Send Key, USA	1853	25
10	Point du Chene, USA	1895	14
11	Wangerooge Seefeurer, Njemačka	1966 - 1967	64

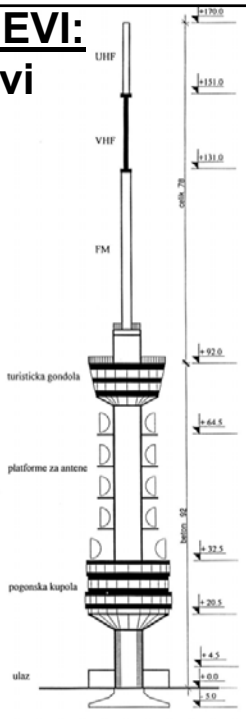
TEHNIČKI TORNJEVI:
Svjetionici

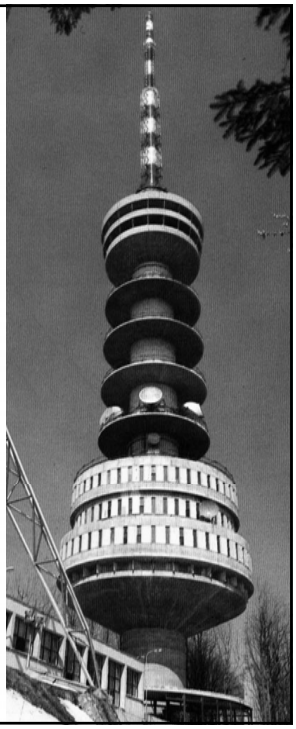


	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
01	Pharos, Alexandria	290-270 p.n.e	122
02	La Coruna	cca 400.	40
03	Chale Down	-	18
04	Skerryore, Škotska	1844	48
05	Skerryore, poprečni presjek	1844	48
06	Wolf Rook, Engleska	1870	41
07	Kereon, Francuska	1916	41
08	Adzuigol, Cherson	1911	88
09	Send Key, USA	1853	25
10	Point du Chene, USA	1895	14
11	Wangerooge Seefeurer, Njemačka	1966 - 1967	64

TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

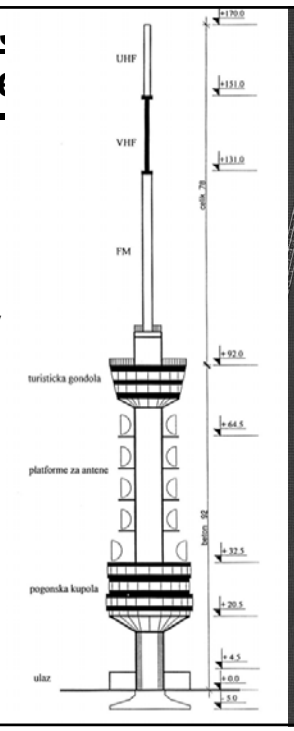
- ***Radiotelevizijski toranj Sljeme***
  - visina tornja je H=175 m
  - izgrađen za potrebe televizije (telekomunikacija)
  - u podrumsko-prizemnom dijelu su pogonski i pomoćni uređaji
  - - donja gondola: uređaji HTV, četiri etaže na koti +15m
  - - treći dio su četiri konzolne ploče za zrcalne antene
  - - gornja gondola za turističke svrhe na koti +70m

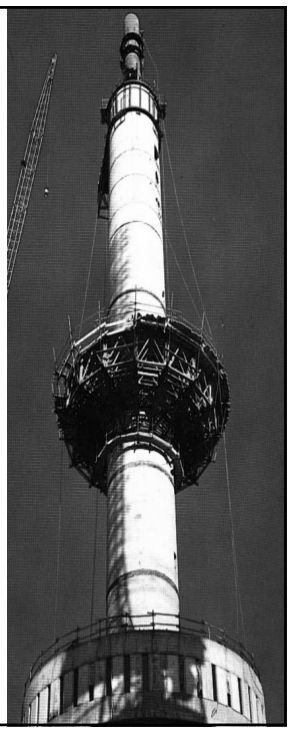




TEHNIČKI TORN.
Televizijski tornje

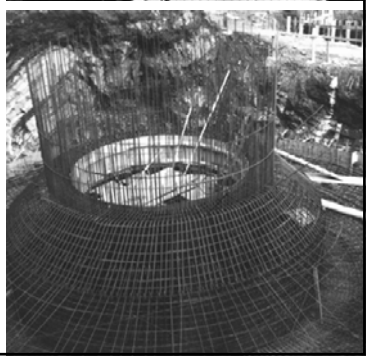
- ***Radiotelevizijski toranj Sljeme***
  - AB stup je visine 90m
  - u njemu su smještena dizala, stubišta i vertikalne instalacije
  - stup tornja je okrugla AB cijev početnog promjera 6,90 m i debljine zidova 65 cm
  - na koti 20,3 m zidovi se simetrično sužuju na 35 cm
  - čelični dio stupa s antenom visok je 86 m





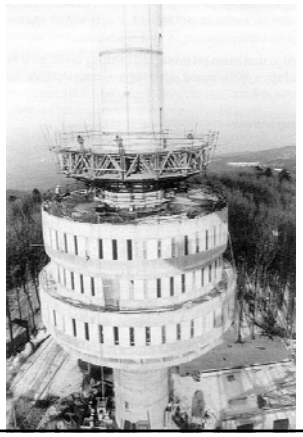
TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

- ***Radiotelevizijski toranj Sljeme***
  - temelj je kružna po obodu radijalno prednapeta ploča



TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

- ***Radiotelevizijski toranj Sljeme***
  - betonski dio stupa izveden je u kliznoj oplati

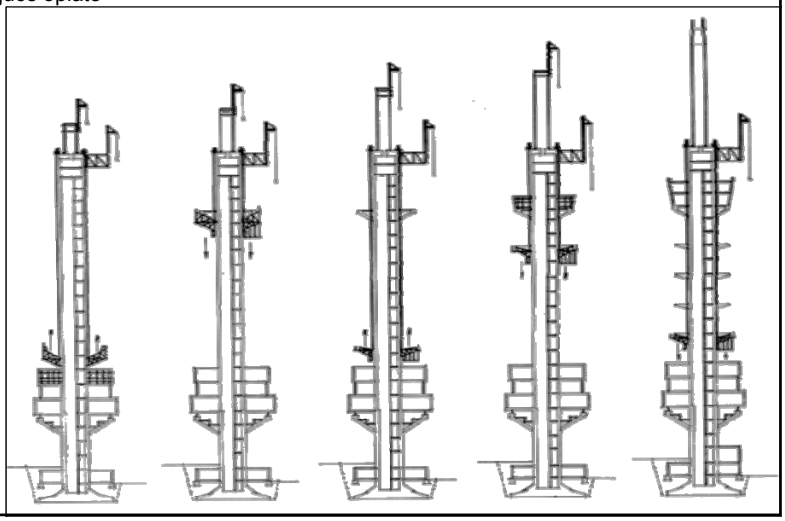


TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

- ***Radiotelevizijski toranj Sljeme***
  - donja gondola oslanja se na stup pomoću obrnuto okrenute konusne ljuske
  - najveći promjer ljuske 20,5 m debljine stijenke ljuske 35 cm
    - dolje zglobno oslonjena na stup
    - gore pridržana prednapetim obodnim prstenom
  - gornja gondola je riješena slično kao i donja, najveći promjer 15,5m, debljine stijenke 30cm

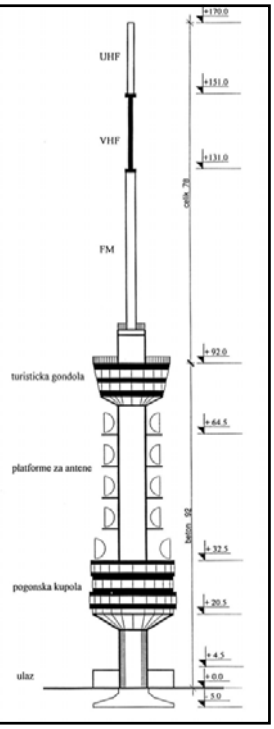
TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

- ***Radiotelevizijski toranj Sljeme***
  - za izvođenje ljuske gornje gondole i konzolnih ploča primijenjen je sustav podizno-spuštajuće oplate



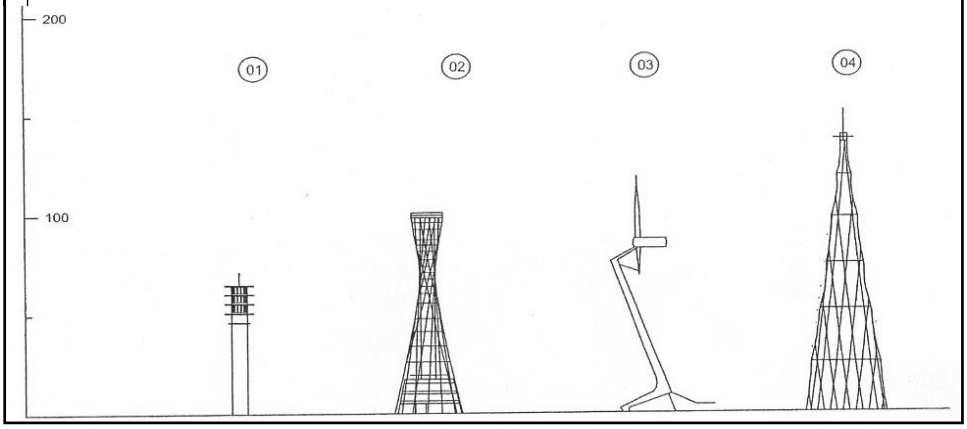
TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

- ***Radiotelevizijski toranj Sljeme***
  - za ubrzanje izvedbe ugrađeni beton je grijan (električno zagrijavanje sa žicama ugrađenim u beton)
  - opisani postupak izvođenja omogućavao je nesmetani rad na više mjesta
  - za vrijeme izvođenja donje gondole montiran je čelični dio tornja, a u toku izvođenja konzolnih ploča izvodile su se ravne ploče gornje gondole i montirao čelični dio



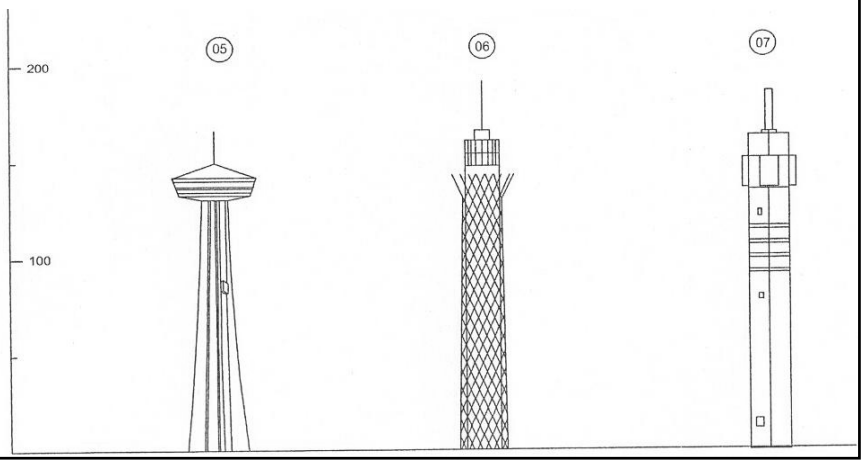
TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
01	FMT 1	1952 – 1954	69,2
02	Kobe	1959	100
03	Barcelona, Montjuic	1989 – 1992	110
04	Radiotoranj, Moskva	1919 – 1922	150



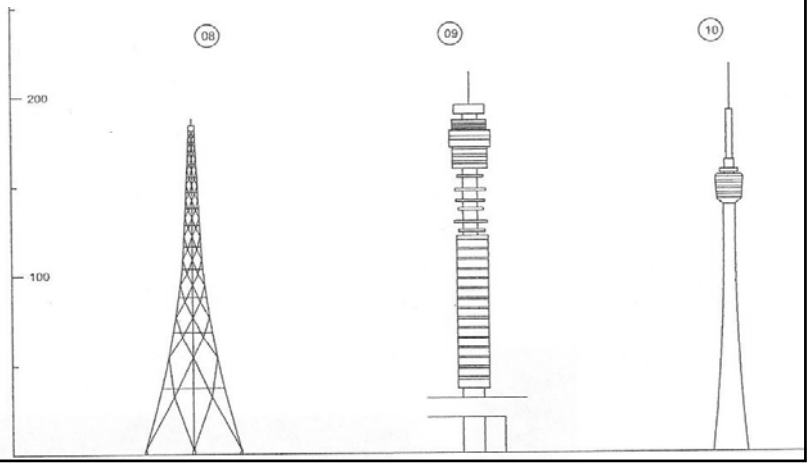
TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
05	Slapovi Nijagare (Skylon)	1963	160
06	Kairo	1971	175
07	Stockholm, Kaknästomet	1963	177



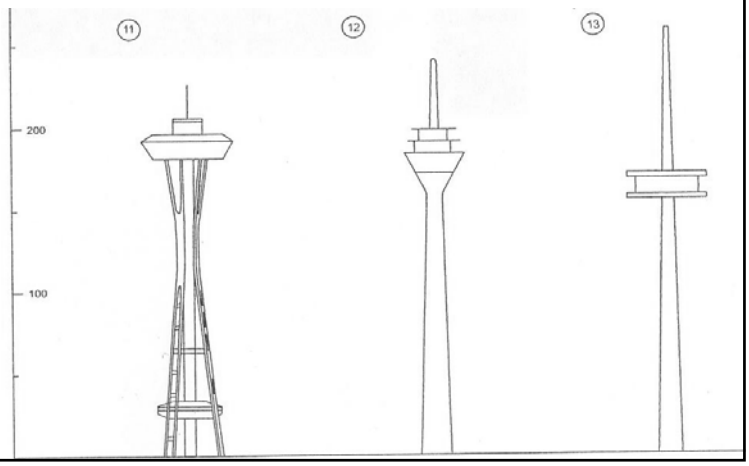
TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
08	Mühlacker	1933 – 1934	190
09	London	1969	210
10	Televizijski toranj Stuttgart	1953 – 1955	217



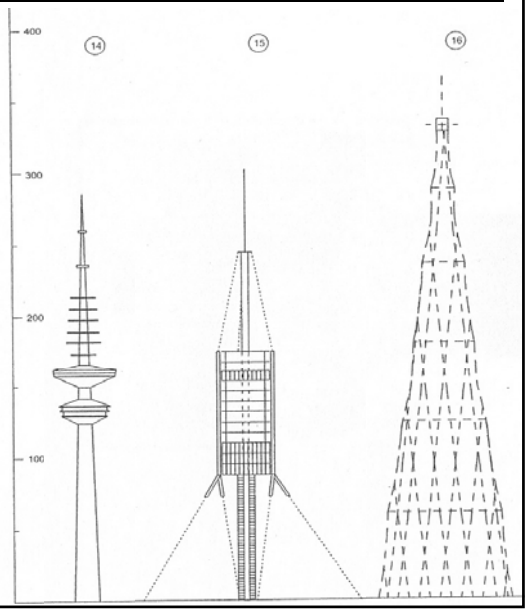
TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
11	Space Needle, Seattle	1962	223
12	Düsseldorf	1982	235
13	Koblenz	1976	255



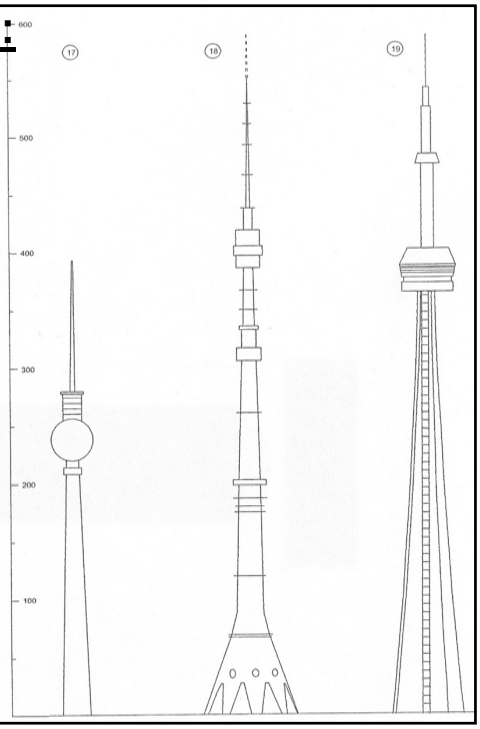
TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

	MJESTO	God. grad.	Visina [m]
14	Hamburg	1966	272
15	Torre de Collseoloma, Barcelona	1988 – 1992	288
16	Radiotoranj Moskva (planirano)	(1919)	(350)



TEHNIČKI TORNJEVI:
Televizijski tornjevi

	MJESTO	God. grad.	Visina [m]
17	Istočni Berlin	1969	365
18	Moskva – Ostankino	1959 – 1967	537 (577)
19	CN - Toranj	1974 - 1975	553

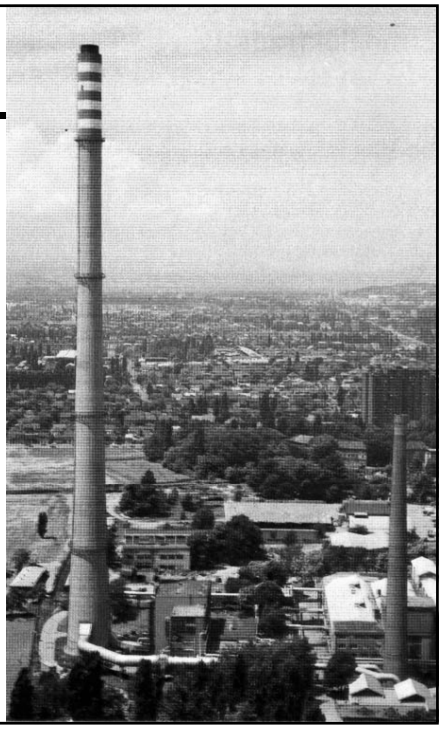


TEHNIČKI TORNJEVI: Dimnjaci

- Vertikalne konstrukcije za ispuštanje dima, plina, pare iz reaktora toplana ili industrijskih postrojenja u atmosferu.
- Najviši dimnjak u Kazahstanu, 419 m, 1993 godina

TEHNIČKI TORNJEVI: Dimnjaci

- ***Dimnjak ELTO, Zagreb*:**
  - ELektrana - TOplana
  - visina dimnjaka H=200 m
  - projektiran je kao AB konzola
  - za temperaturu dimnih plinova 150-200°C
  - debljina nosive stijenke trupa varira od 45-20 cm
  - izvedba u kliznoj tehnologiji
  - *najviša građevina u Hrvatskoj je dimnjak termoelektrane Plomin: H > 300 m*

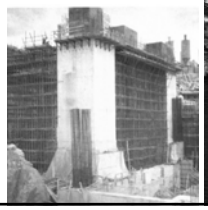


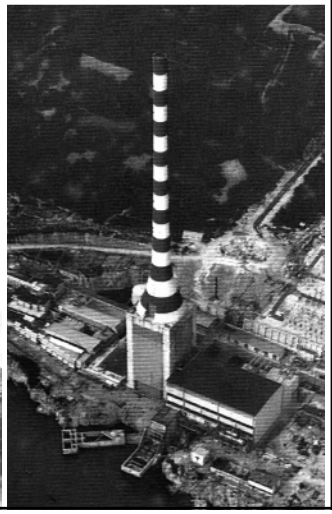
TEHNIČKI TORNJEVI: Dimnjaci

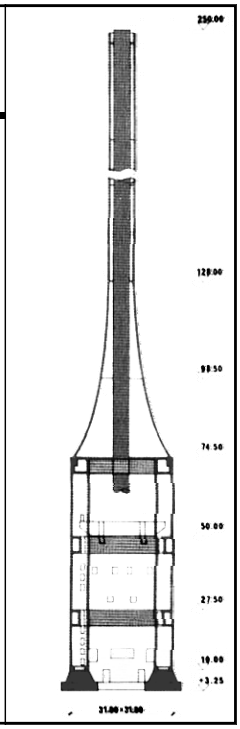
- ***Dimnjak ELTO, Zagreb*:**
  - ELektrana - TOplana
  - visina dimnjaka H=200 m
  - projektiran je kao AB konzola
  - za temperaturu dimnih plinova 150-200°C
  - debljina nosive stijenke trupa varira od 45-20 cm
  - izvedba u kliznoj tehnologiji
  - *najviša građevina u Hrvatskoj je dimnjak termoelektrane Plomin: H > 300 m*

TEHNIČKI TORNJEVI: Dimnjaci

- ***Dimnjak termoelektrane Rijeka I***
  - visina dimnjaka H=175,5m
  - temelj dimnjaka je armiranobetonska konstrukcija kotlovnice visine h=70,5m
  - tlocrtne dimenzije kotlovnice su 31×31 m, a čine ju međusobno povezani stupovi (5×5m) i grede sandučastog poprečnog presjeka u tri razine





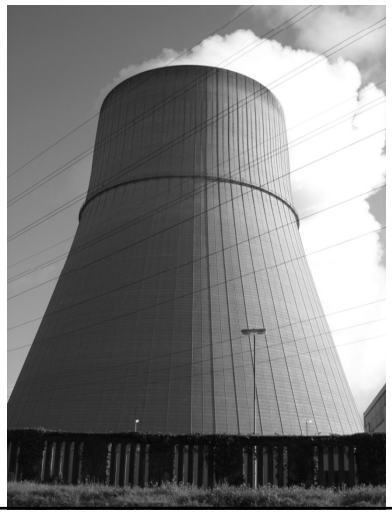


TEHNIČKI TORNJEVI: Dimnjaci

- ***Sajamski toranj u Leipzigu***
  - sagrađen 1995. godine
  - skulptura + dimnjak
  - baziran na ideji stabilizacije jedne cijevi sa vanjski vođenim paralelnim zategama (outrigger-sustav) koji je izvorno izumljen za standardne televizijske tornjeve
  - 4 odvodne cijevi dimnjaka visine 75 m, pridržane sa čeličnim cijevima koje formiraju kvadrat
  - stabilizirane su protiv horizontalnih pomaka prednapinjanjem vertikalnih natega

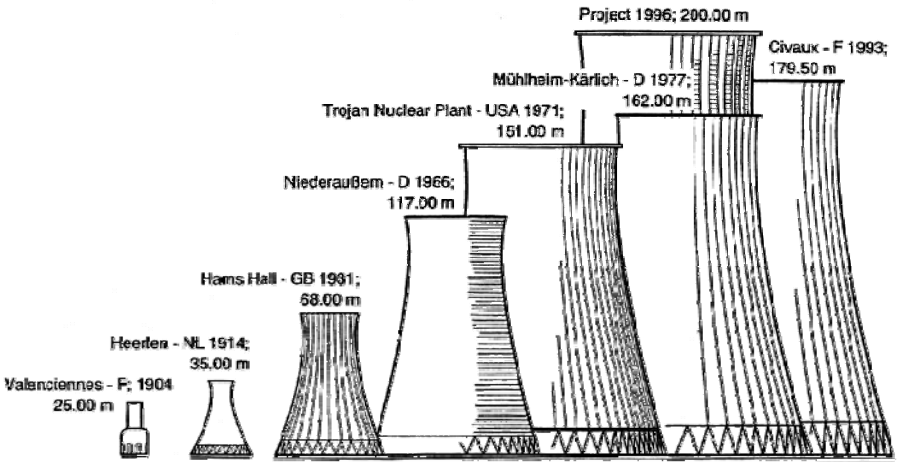
TEHNIČKI TORNJEVI: Rashladni tornjevi

- hiperbolične konstrukcije koje se pojavljuju kao dio većeg inženjerskog sklopa



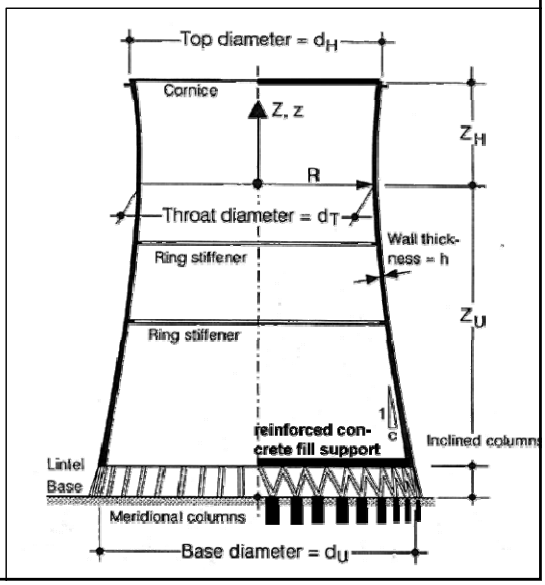
TEHNIČKI TORNJEVI:
Rashladni tornjevi

- Razvoj rashladnih tornjeva kroz povijest



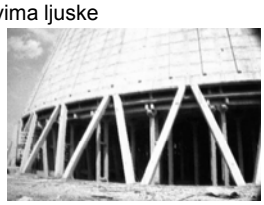
TEHNIČKI TORNJEVI:
Rashladni tornjevi

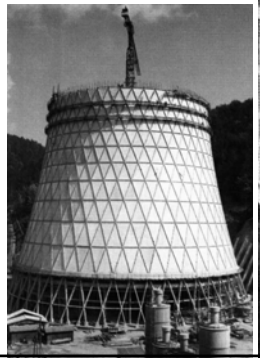
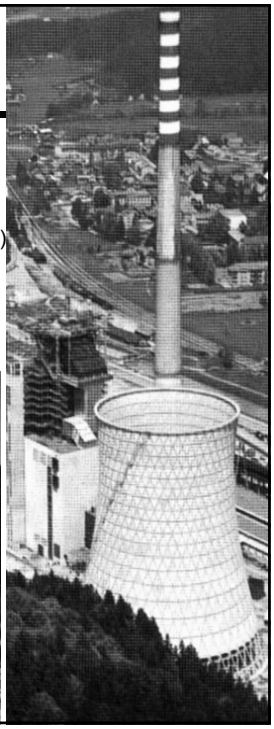
- Dijelovi rashladnih tornjeva:
  - temelji
  - stupovi baze
    - (dijagonalni, meridijalni, vertikalni)
  - nadvoj
    - (koncentrirane sile stupova distribuira u zid ljuske kao kontinuirano opterećenje)
  - ljuska (hipar, h=16-18cm)
  - lokalna ukrućenja
  - vijenac



TEHNIČKI TORNJEVI:
Rashladni tornjevi

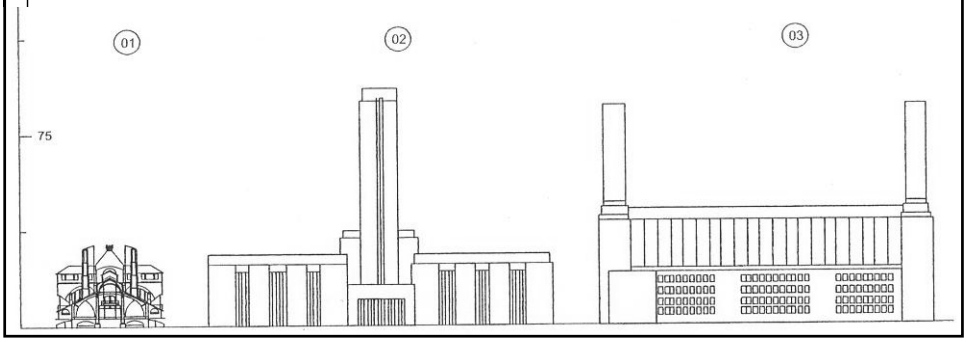
- Projektiranje i izgradnja:
  - sigurne i trajne konstrukcije ako su dobro projektirane
  - značajan utjecaj vjetra na konstrukciju
  - ukrućenja konstrukcije postaviti na adekvatna mjesta (prsteni)
  - armiranje ljuske (vertikalna i kružna armatura)
  - betoniranje u segmentima
  - prijenos materijala toranjskim dizalicama sidrenim u gotovim dijelovima ljuske



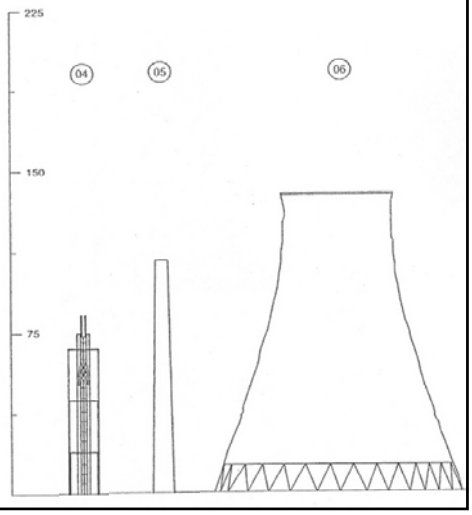
TEHNIČKI TORNJEVI:
Dimnjaci i rashladni tornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
01	Zgrada Sayner, Bendorf	1824 – 1830	-
02	Elektrana Bank Side, London	-	93
03	Elektrana Battersea, London	-	-



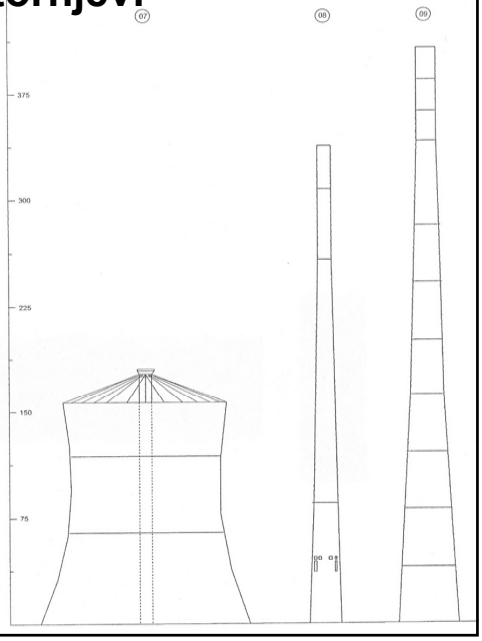
TEHNIČKI TORNJEVI:
Dimnjaci i rashladni tornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
04	Sajamski toranj, Leipzig	1995	75
05	Zidani dimnjak	1950	120
06	Standardni rashladni toranj	-	140



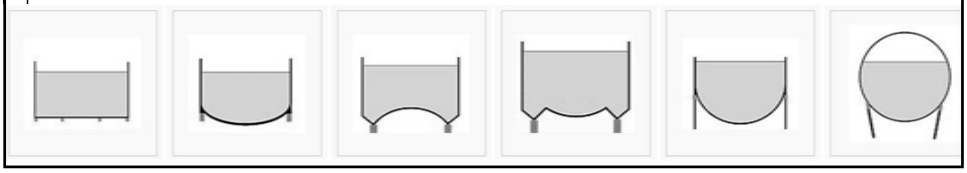
TEHNIČKI TORNJEVI:
Dimnjaci i rashladni tornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	Visina [m]
07	Rashladni Toranj Schmehausen	1974	180
08	Gelsenkirchen – Westerholdt	1997	337
09	Eidbastuz, Kazahstan	1987	419



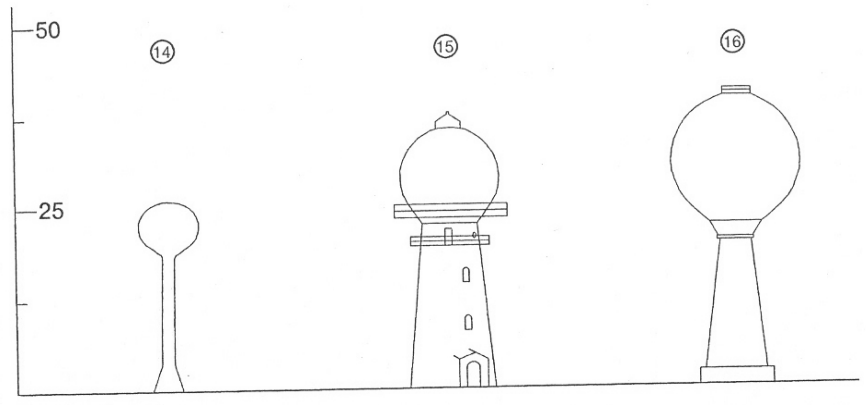
TEHNIČKI TORNJEVI:
Vodotornjevi

- Vodotoranj je konstrukcija za skladištenje vode
  - velike varijacije oblika nosive konstrukcije i spremnika
  - betonski i čelični



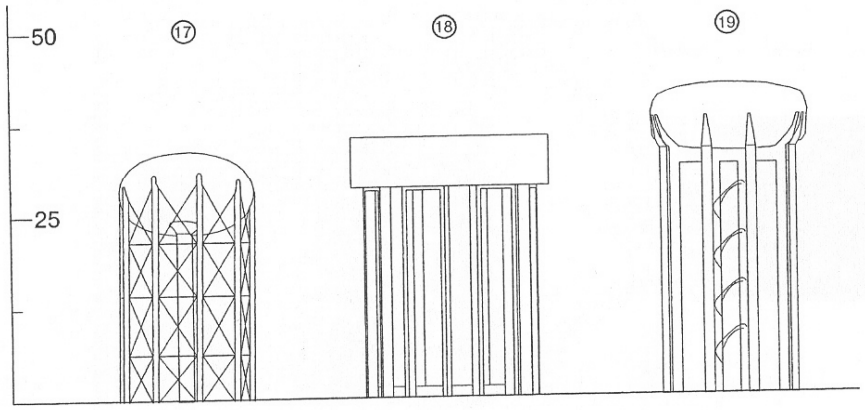
TEHNIČKI TORNJEVI:
Vodotornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	m^3	Visina [m]
14	Circle City, New Jersey	-	-	-
15	Koln Kalk	-	-	-
16	Rodange, Luxemburg	-	-	-



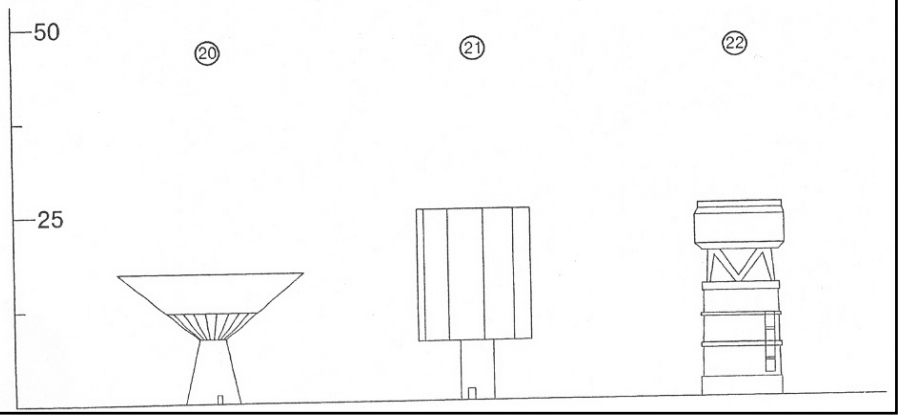
TEHNIČKI TORNJEVI:
Vodotornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	m^3	Visina [m]
17	Toledo, Ohio	-	-	-
18	Kwaadmechelen, Belgija	-	-	-
19	Gary, Indiana	-	-	-



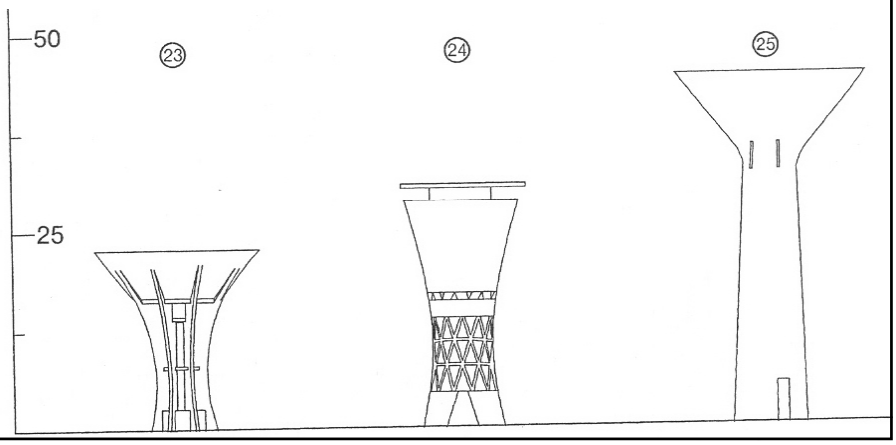
TEHNIČKI TORNJEVI:
Vodotornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	m^3	Visina [m]
20	Dole Jura, Francuska	-	-	-
21	Essen, Byfang	-	-	-
22	Miesburg, Hannover	-	-	-



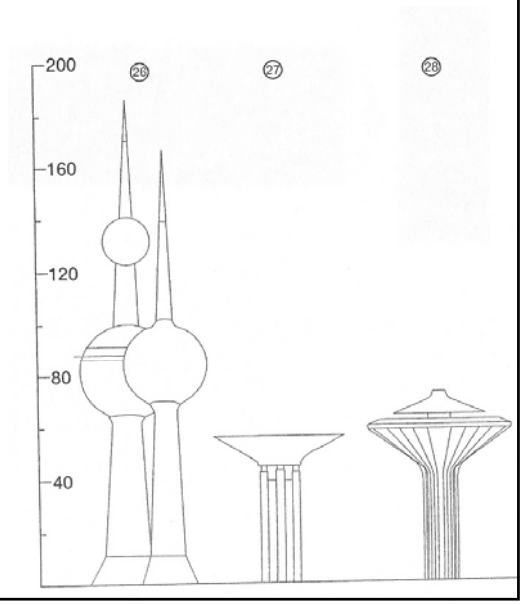
TEHNIČKI TORNJEVI:
Vodotornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	m^3	Visina [m]
23	St. Jean – de – Vede, Francuska	-	-	-
24	Moglingen	-	400	30
25	Maizieres-les-Metz, Francuska	-	-	-



TEHNIČKI TORNJEVI:
Vodotornjevi

	MJESTO	Godina gradnje	m^3	Visina [m]
26	Kuwait	-	4500	140 – 180
27	Land-skrona	1980	4000	cca 58
28	Orebro, Švedska	1957	9000	75



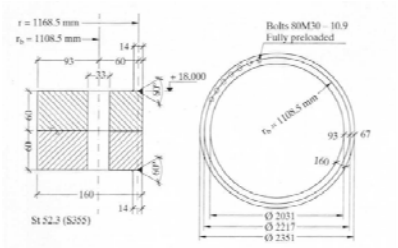
TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroturbine

- Sustavi za iskorištavanje energije vjetra koju pretvaraju u rotaciono ili pravocrtno gibanje, koja se poslije može iskoristiti ili za pokretanje određenih uređaja poput mlinova i pumpa, za što su se koristile kroz povijest, ili za pokretanje generatora električne energije i proizvodnju električne struje
- načelno vjetroturbine mogu raditi sukladno dva načela iskorištavanja energije vjetra
  1. vjetro-turbine koje rade na načelu *potisnog djelovanja* (*drag devices*)
  2. vjetro-turbine koje rade na načelu *odiznog djelovanja* (*lift devices*)
  3. vjetro-turbine koje koriste oba načela

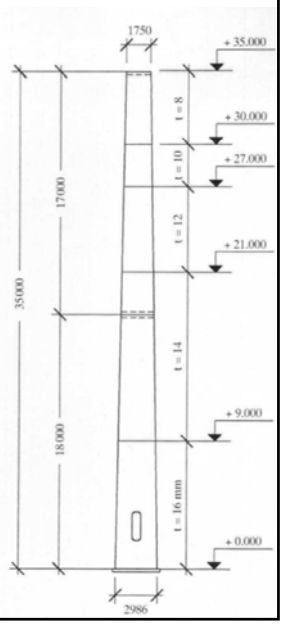
vjetro-turbine s vertikalnom osi

TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroturbine

- Čelični tornjevi za vjetroturbine, Grčka
  - Krnji stožasti cijevni tornjevi sastoje se od dva dijela (18 i 17 m) međusobno spojena preko pojasnica s prednapetim vijcima visoke čvrstoće.
  - Pojasnice su smještene unutar ljuske tako da izvana toranj izgleda kao da je izveden u jednom komadu.

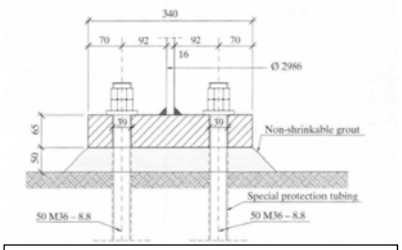


Povezivanje pojasnica međusobno

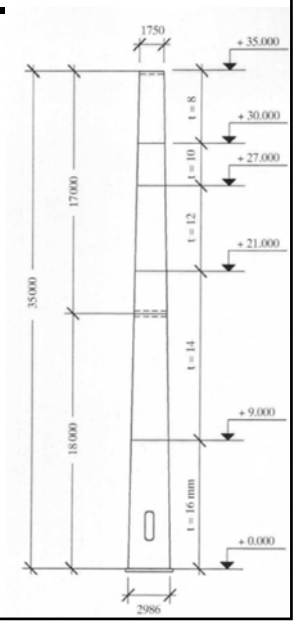


TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroturbine

- Čelični tornjevi za vjetroturbine, Grčka
  - Ljuska tornja debljine je 16 mm pri temelju do 8 mm na vrhu. Debljina pojasnica je 65 mm pri temelju, 50 mm na vrhu.
  - Toranj je usidren na betonske temelje tlocrtnih dimenzija 9,5x9,5 m preko pojasnice pomoću prednapetih sidrenih vijaka (100 vijaka u dva koncentrična kruga oko ljuske)

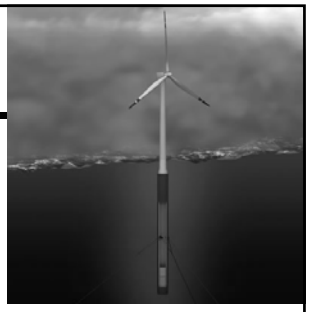


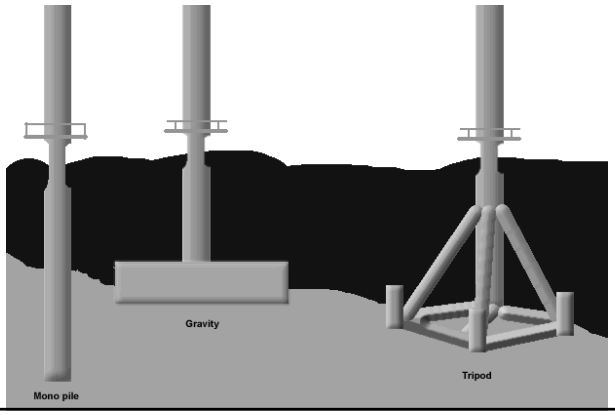
Povezivanje pojasnica na temelj



TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

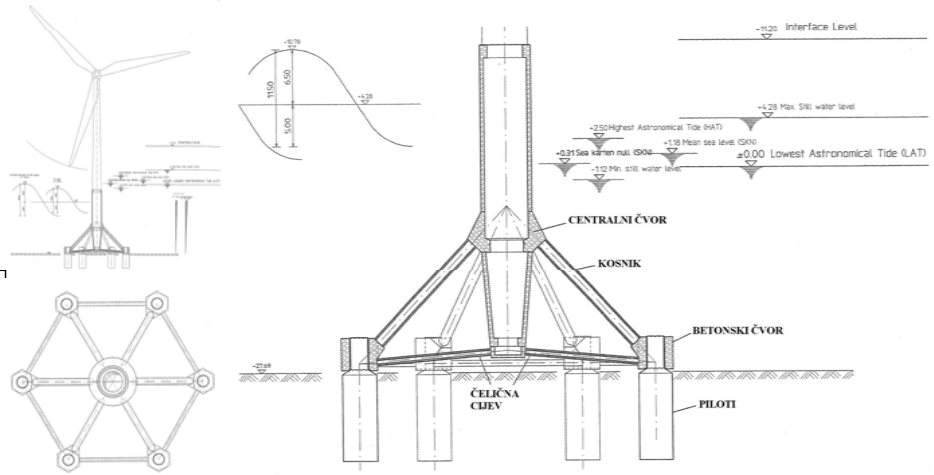
- Obnovljivi izvor električne energije pokretan snagom vjetra. Sastoji se iz nosive konstrukcije u obliku stupa, vjetroturbine, generatora elekt. struje te automatske regulacije broja okretaja i napona generatora, eventualno uz priključak na neki sustav akumuliranja energije.
- grade se na kopnu ili moru
- najčešće od predgotovljenih elemenata
- na moru je najveći problem temeljenje





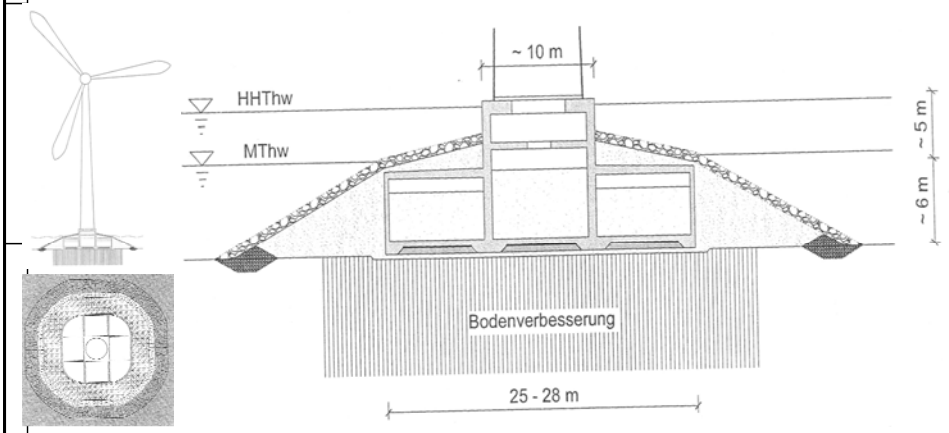
TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

- Primjeri temeljenja:
  - duboko temeljenje na pilotima



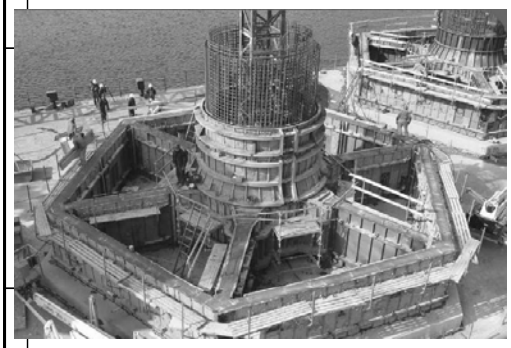
TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

- Primjeri temeljenja
  - Kasetirani temelj s ispunom



TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

- Primjeri temeljenja
  - izvedba kasetiranog temelja koji se naknadno puni tlom i kamenjem



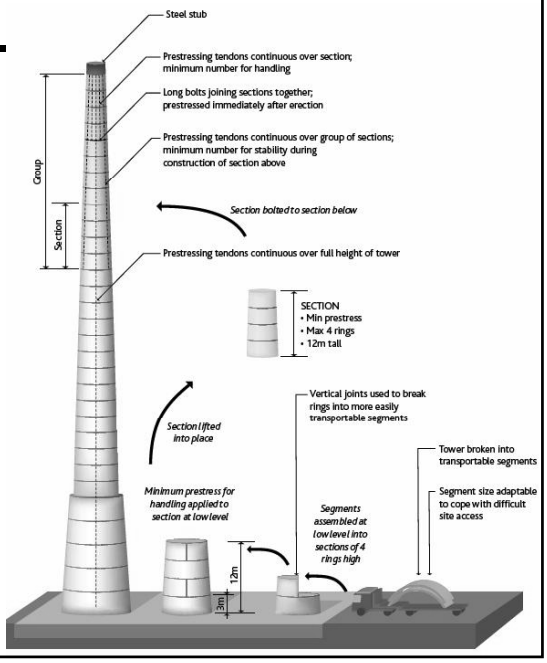
TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

- Primjeri temeljenja
  - doprema predgotovljenih temelja iz suhog doka

  - ugradba predgotovljenog temelja pomoću dizalice

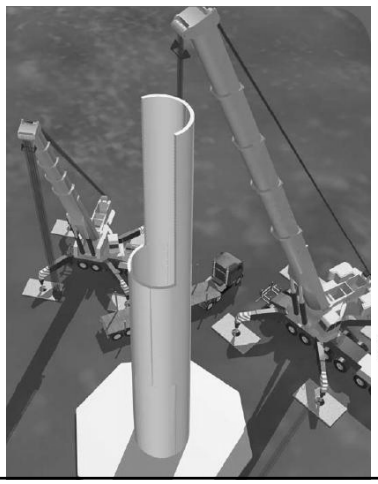
TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

- izvedba tornja vjetroelektrane na kopnu od predgotovljenih segmenata



TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

- izvedba tornja vjetroelektrane na kopnu od predgotovljenih segmenata



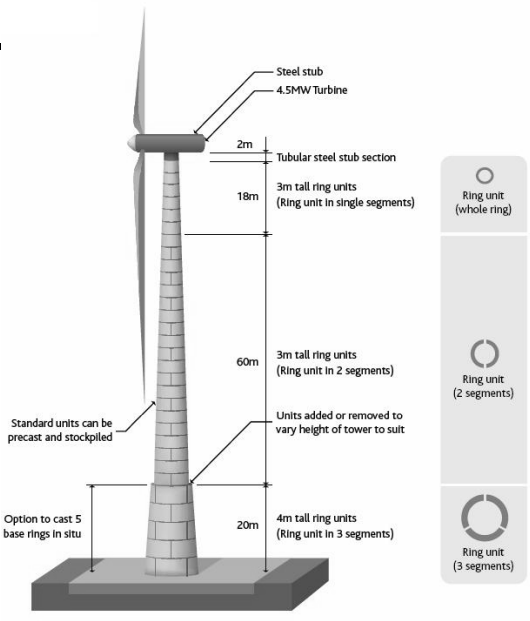
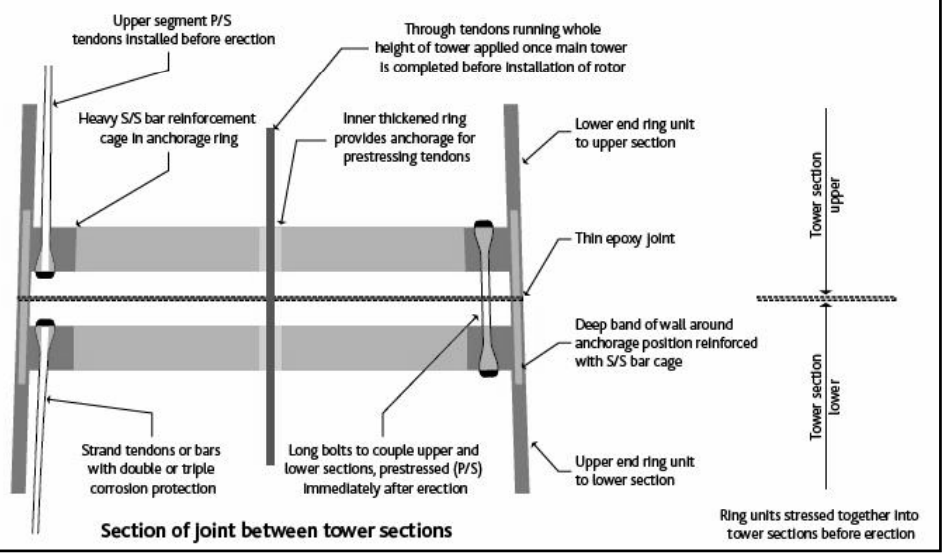


Figure 1: Typical precast concrete configuration

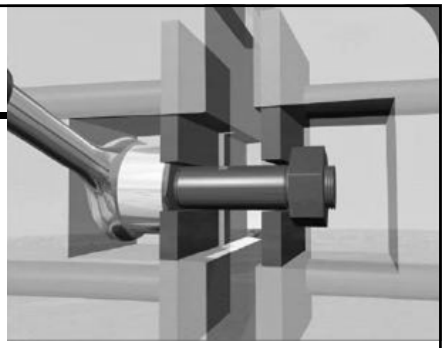
TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

- detalj spoja susjednih predgotovljenih segmenata vjetroelektrane

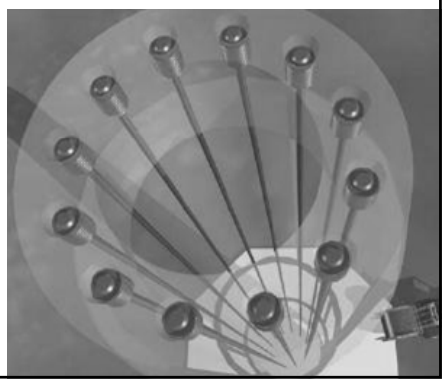


TEHNIČKI TORNJEVI: Vjetroelktrane

- spajanje predgotovljenih segmenata sa vijcima



- prednapinjanje predgotovljenih segmenata

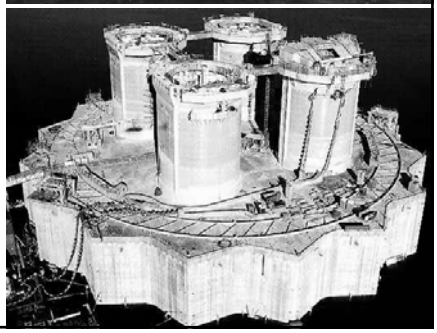


TEHNIČKI TORNJEVI:
Betonski jarboli

- Najčešće za nošenje reflektora, zvučnika na sportskim terenima, za strujne mreže, za željezničke mreže i sl.

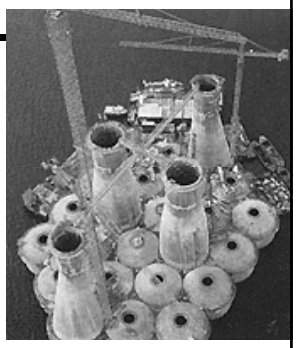
TEHNIČKI TORNJEVI:
Betonske off-shore platforme

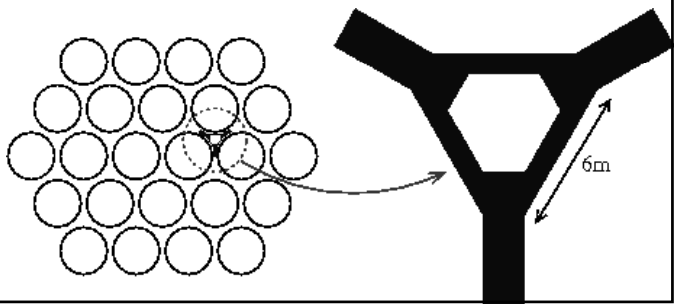
- betonske off-shore platforme se koriste zadnjih 30 godina
- prva platforma ***Ekofiks*** izgrađena u Sjevernom moru (1973)
- od tada je izvedeno 47 platformi
- 21 od 47 projektirao je dr. Olaf Olsen
- *prednosti:*
  - trajnost
  - ekonomičnost
  - moguća izvedba na mekanom tlu
  - pogodne za dubine veće i od 150 m



TEHNIČKI TORNJEVI:
Betonske off-shore platforme

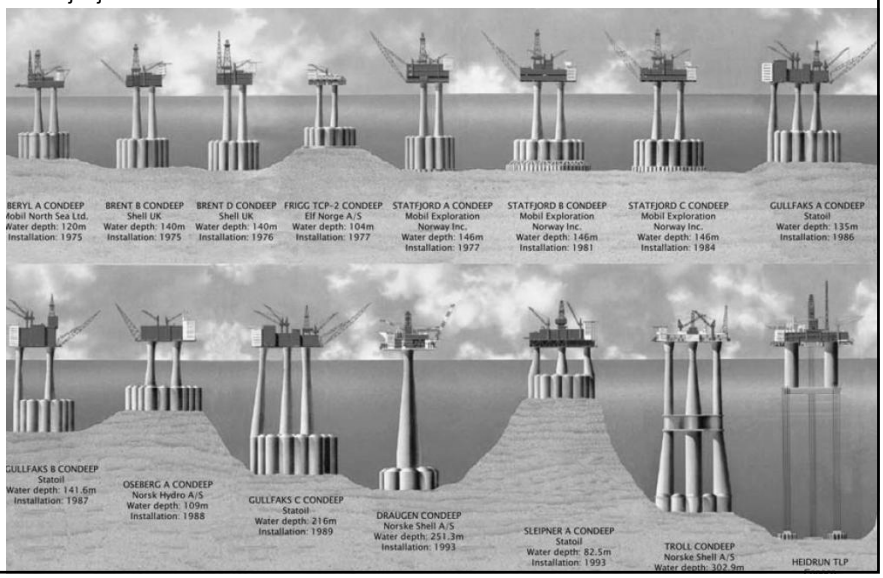
- havarija *Sleipner A platforme* – potonuće 1991. godine
- zbog želje za racionalizacijom konstrukcije platforma je potonula
- naknadnim ispitivanjima utvrđeno je loše numeričko modeliranje spoja ćelija, podcijenjena naprezanja, pretanke stijenke koje nisu izdržale hidrostatski pritisak pri spuštanju pa je došlo do raspucavanja zidova i prodora vode u ćelije
- nova platforma projektirana je sa većim utroškom materijala prema starim smjernicama





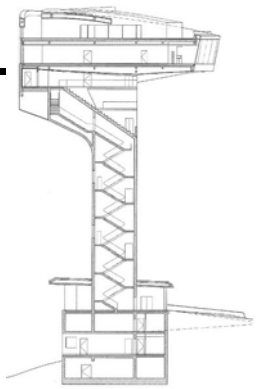
TEHNIČKI TORNJEVI:
Betonske off-shore platforme

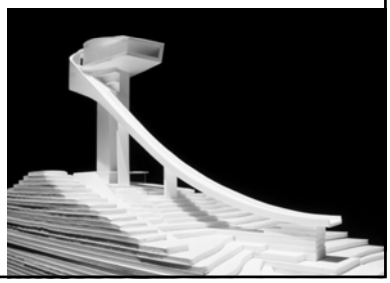
- Temeljenje:



TEHNIČKI TORNJEVI:
Skijaške skakaonice

- ***Innsbruck, Austria***
  - dijelom toranj, dijelom most
  - betonska konstrukcija tornja, visine 50 m
  - trodimenzionalna čelična konstrukcija koja povezuje rampu sa restoranom
  - rampa duljine 98 m, nagiba 35^{O}





SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE
SLJEDEĆE PREDAVANJE

Betonski tornjevi -
osnovni dijelovi, temeljenje, proračun i dimenzioniranje