

KONSTRUKCIJE DRVENIH KUPOLA

Rebraste kupole

Mrežaste kupole

Geodetske kupole

Tensegrity kupole

POVIJESNI KONCEPTI PROJEKTIRANJA I IZVOĐENJA

POVIJESNI PREGLED I OSNOVE

- Tretiraju se kao skup RAVNINSKIH NOSAČA ili kao IZRAZITO PROSTORNE KONSTRUKCIJE
- OBLIK - obično kružni segment (ekstrados kupole je kalota), rotacioni elipsoid ili paraboloid
- Odnos "strelice" uobičajeno se kreće od 1:2 do 1:4 (1:6 za vrlo spljoštene kupole)
- Kupole se obično projektiraju sa SVJETLIKOM (laterna služi za osvjetljenje i ventilaciju) koji ima i konstruktivnu ulogu (obruč - prsten u kojem završavaju meridijalna rebra konstrukcije)

KONSTRUKCIJE KUPOLASTOG OBLIKA

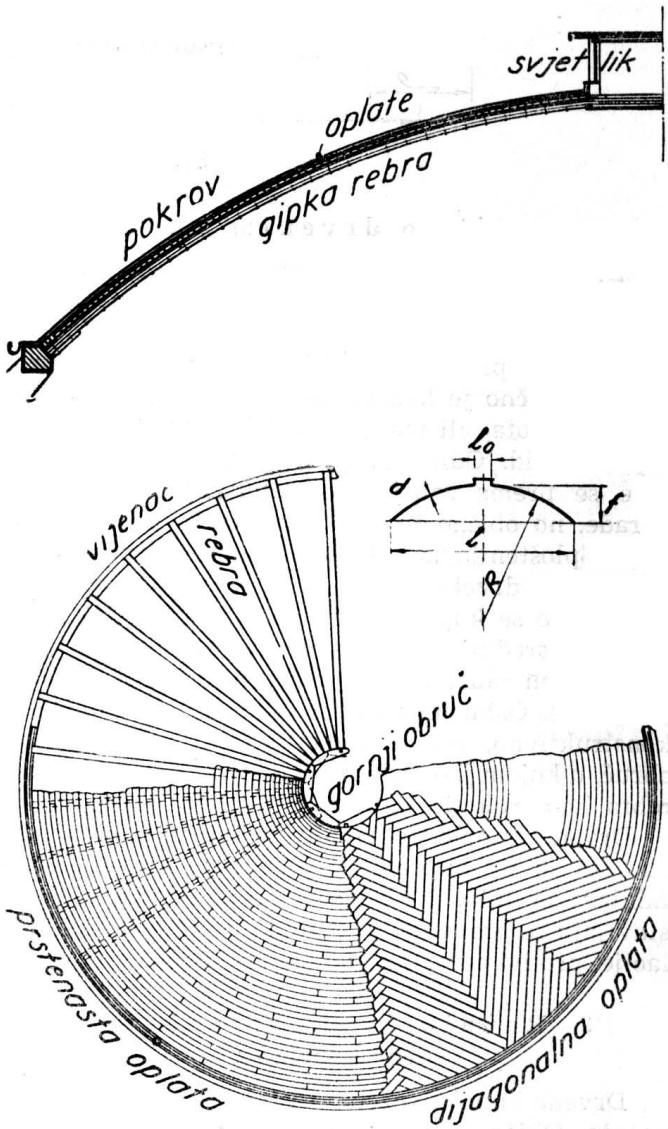
- **Rešetkasti ili punostijeni lukovi** radijalno postavljeni po tlocrtu - sastaju se u jednoj točki
- Konstruktivno se tretiraju kao ravninski lukovi
- Gornji elementi kupola (oplate, ukrućenja rebara) sudjeluju u radu konstrukcije kao cjeline (predaju opterećenje na nosive lukove i međusobno ih povezuju u jedinstvenu strukturu - stabilizacija)
- Poprečna stabilizacija osigurava se redovima koncentričnih horizontalnih greda povezanih s lukovima
- Oplata (nosač pokrova) položena meridijalno (jednostruko zakrivljena)
- **Suvremene konstrukcije** - potkonstrukcija pokrova iz pločastih materijala na bazi drva (dodatna stabilnost i krutost sustava)

POVIJESNI SUSTAVI PROSTORNIH DRVENIH KUPOLA

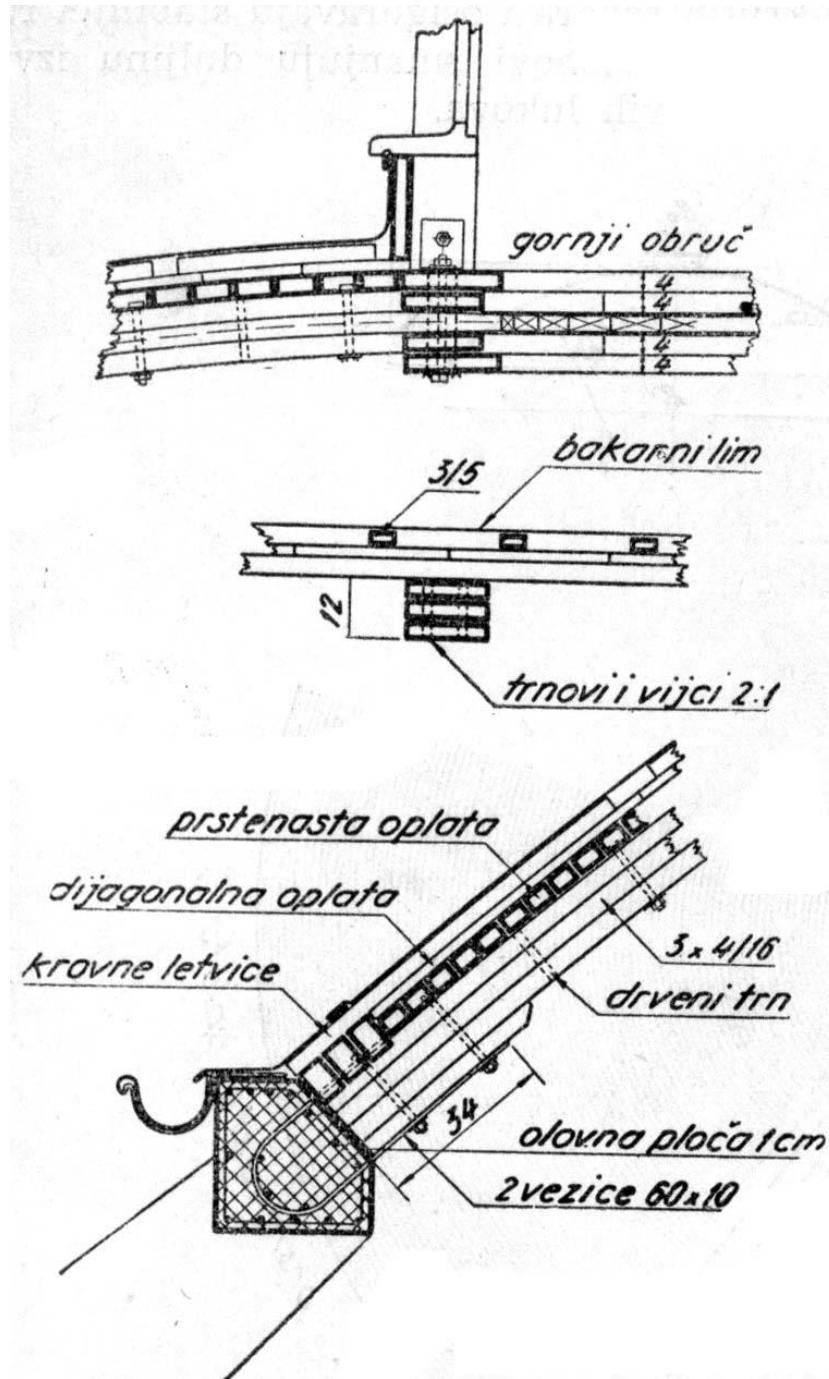
- **Svi elementi sudjeluju u radu konstrukcije kao cjeline**
- **Temeljni prostorni koncept** - križno postavljene daske međusobno spojene čavlima
- Za svaku vrstu unutrašnjih sila predviđen **posebni konstruktivni element** koji jedini prenosi tu vrstu opterećenja
- U konstruktivnom smislu izvedene su kao **LJUSKE** (na rasponima 12-30m; spljoštenosti 1:4 ili 1:6) ili kao **REBRASTE KONSTRUKCIJE** (rasponi do 30m)

TANKOSTIJENE LJUSKASTE KUPOLE

K
O
N
S
T
R
U
K
C
I
J
A



D
E
T
A
L
I



TANKOSTIJENE LJUSKASTE KUPOLE

● Elementi konstruktivnog sustava

● MERIDIJALNI LUKOVI

- preuzimaju meridijalne tlačne sile
- nosači tipa Emu lukova (sastavljeni od pljoštimice položenih dasaka (spojene čavlima, trnovima, vijcima ili lijepljenjem)
- osni razmak lukova na donjem oboru je cca 0.8-1.4m
- širina lukova 15-20cm, visina L/150-L/200

● PRSTENASTA OPLATA

- preuzima obodne ili prstenaste sile (vlak, tlak)
- oplata se polaže nastavljanjem (pravilan i naizmjeničan položaj nastavaka) na kružne horizontalne prstene kupole u dva sloja
- gornji sloj pokriva nastavke donjeg sloja
- čavlani spojevi
- daske 1.8-2.5cm/10-16cm
- pri vrhu (uz prsten svjetlika) samo jedan sloj debljih dasaka

TANKOSTIJENE LJUSKASTE KUPOLE

• DIJAGONALNA OPLATA

- preuzima posmične sile nastale od nesimetričnog opterećenja
- nalazi se iznad prstenaste oplate
- sloj dasaka debljine 1.8-2.5cm položene križno pod kutem cca 45° na smjer lukova (daske se nastavljaju iznad lukova)

• GORNJI OBRUČ

- gornje uporište lukova (preuzima tlačne sile)
- dvodijelni daščani prsten tipa De l' Orme (međusobni spoj vijcima)
- u prostor između slojeva ulaze platice meridijalnih lukova

• LEŽAJNI (DONJI) OBRUČ ILI VIJENAC

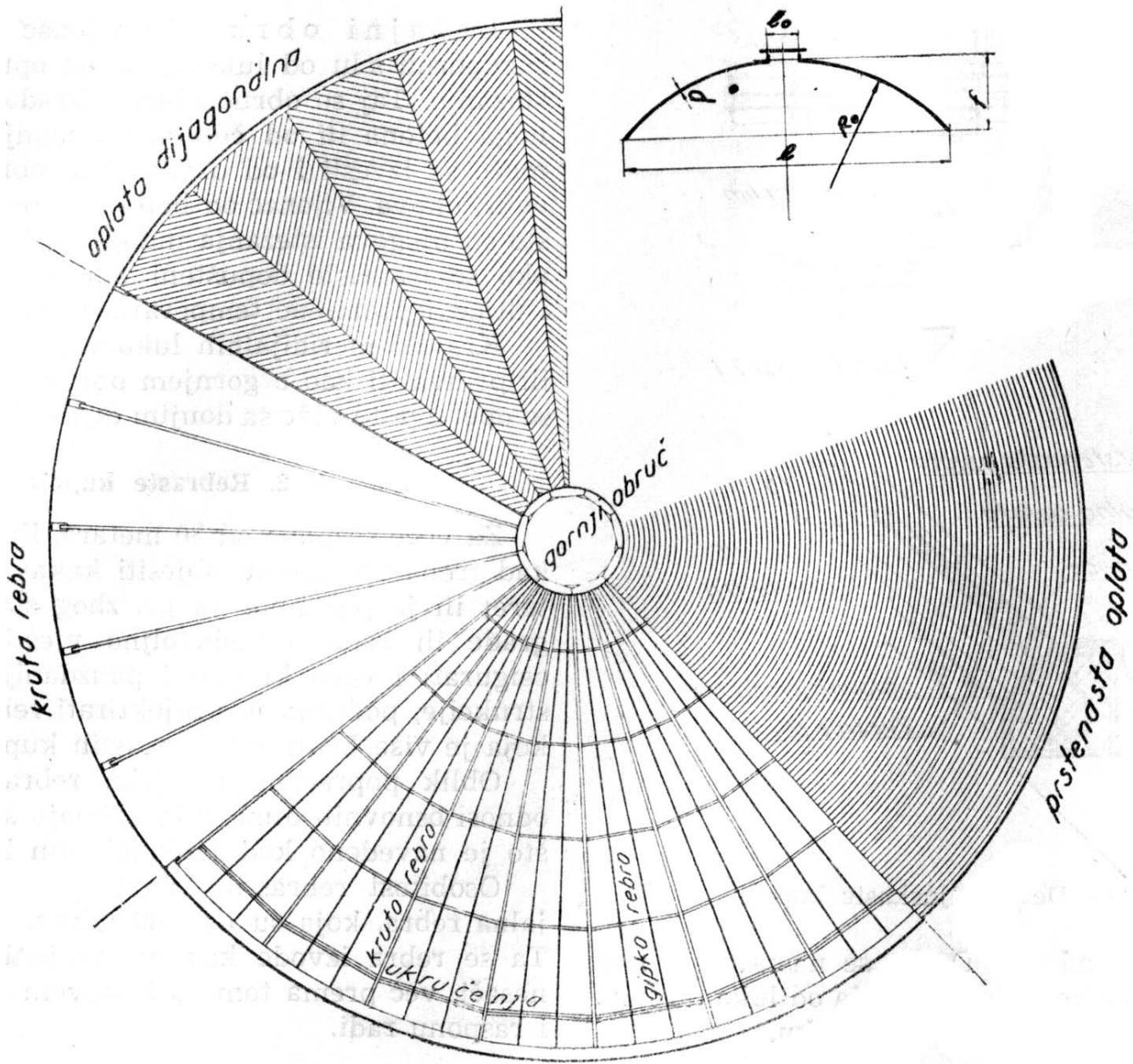
- prima razuporne sile meridijalnih lukova koji se u njemu sidre
- opterećen na rastezanje (vlak)
- izvodi se od armiranog betona (ili čelika), a na manjim rasponima i kao Emy drveni prsten

• SVJETLIK (ILI ZAMJENSKA KONSTRUKCIJA)

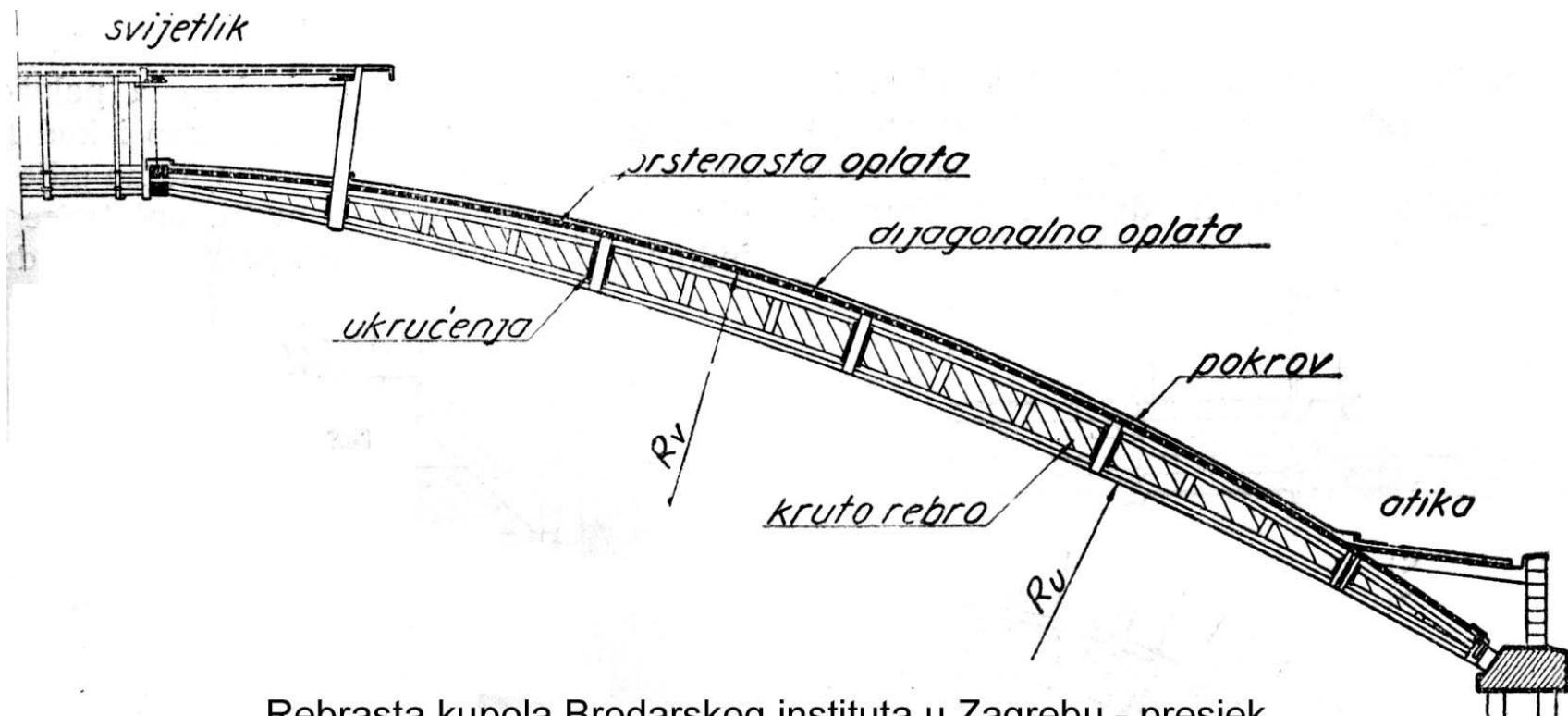
• POKROV

REBRASTE DRVENE KUPOLE

KONSTRUKCIJA

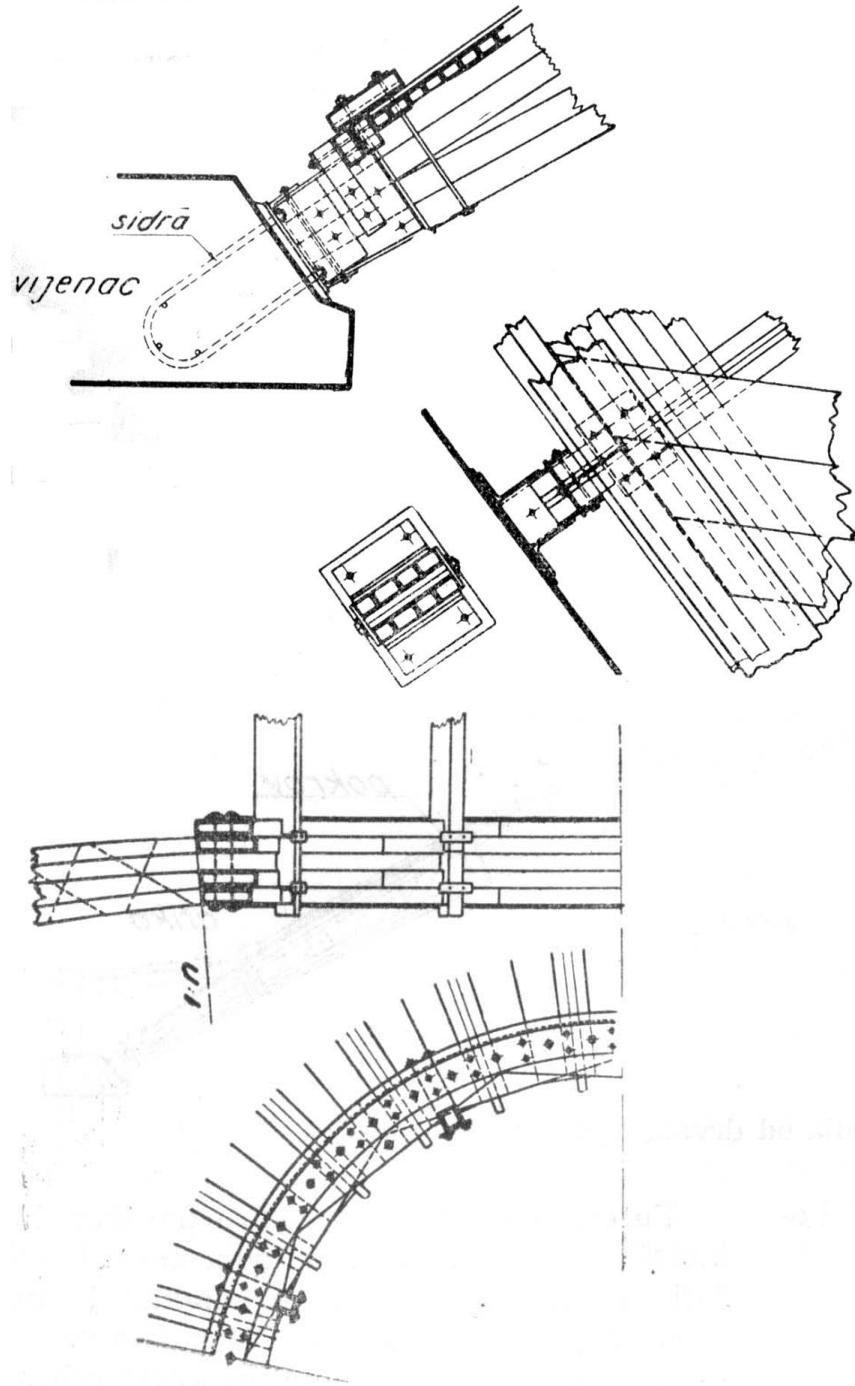


REBRASTE DRVENE KUPOLE

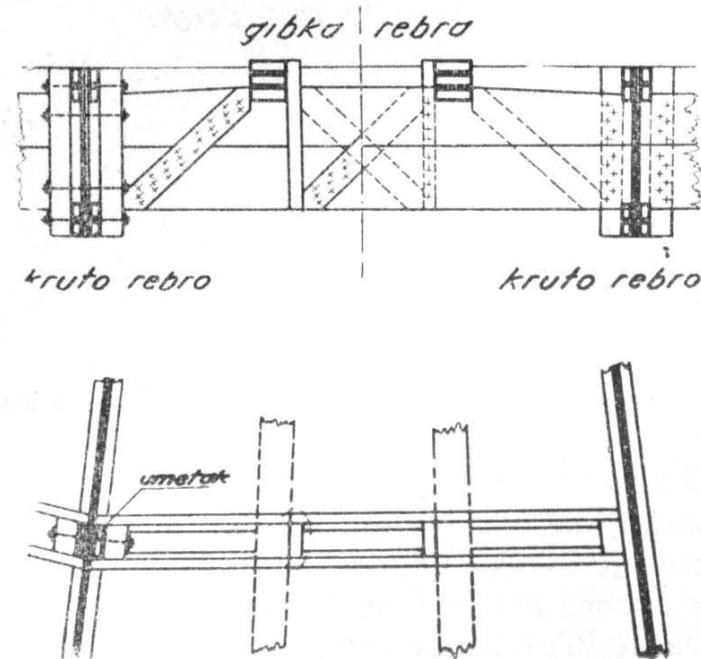


Rebrasta kupola Brodarskog instituta u Zagrebu - presjek

DETALJI



REBRASTE DRVENE KUPOLE



REBRASTE DRVENE KUPOLE

- Koncept krućeg i pouzdanijeg sustava (u odnosu na ljkaste kupole) primjerenoj većim rasponima
- Elementi konstruktivnog sustava
 - KRUTA MERIDIJALNA REBRA - SRPASTI LUKOVI
 - punostijeni ili rešetkasti nosači (povećavaju krutost i osiguravaju zadržavanje oblika konstrukcije, olakšavaju izvedbu i montažu)
 - raspored krutih rebara takav da je samo svako treće/četvrto do najviše šestog rebra kruto, svi ostali su daščani Emi lukovi
 - preuzimaju meridijalne tlačne sile
 - osni razmak krutih rebara na donjem oboru je cca 1.5m
 - visina L/50-L/70 (raspona kupole)
 - MEKA DAŠČANA REBRA (EMY LUKOVI)
 - PRSTENASTE HORIZONTALNE VEZE
 - umetnute između krutih rebara
 - ukrućuju donji pojas krutih rebara i stabiliziraju Emi lukove

REBRASTE DRVENE KUPOLE

• PRSTENASTA OPLATA

- preuzima obodne ili prstenaste sile (vlak, tlak)**
- oplata se se za manje raspone polaže nastavljanjem (pravilan i naizmjeničan položaj nastavaka) na kružne horizontalne prstene kupole u dva sloja**
- gornji sloj pokriva nastavke donjeg sloja**
- čavlani spojevi**
- daske 1.8-2.5cm/10-16cm**
- pri vrhu (uz prsten svjetlika) samo jedan sloj debljih dasaka**

REBRASTE DRVENE KUPOLE

- **DIAGONALNA OPLATA**

- preuzima posmične sile nastale od nesimetričnog opterećenja
- nalazi se iznad prstenaste oplate
- sloj dasaka debljine 1.8-2.5cm položene križno pod kutem cca 45° na smjer lukova (daske se nastavljaju iznad lukova)

- **GORNJI OBRUČ**

- gornje uporište lukova (preuzima tlačne sile)
- dvodijelni daščani prsten tipa De l' Orme (međusobni spoj vijcima)
- u prostor između slojeva ulaze platice meridijalnih lukova

- **LEŽAJNI (DONJI) OBRUČ ILI VIJENAC**

- prima razuporne sile meridijalnih lukova koji se u njemu sidre
- opterećen na rastezanje (vlak)
- izvodi se od armiranog betona (ili čelika), a na manjim rasponima i kao Emy drveni prsten

- **SVJETLIK (ILI ZAMJENSKA KONSTRUKCIJA)**

- **POKROV**

OSNOVE POJEDNOSTAVLJENOG PRORAČUNA ROTACIONIH KUPOLA

- **Proračun po bezmomentnoj membranskoj teoriji**
- **Prepostavke proračuna - gipki elementi konstrukcije**
 - unutrašnje rezne sile djeluju po kaloti koja prolazi sredinom gipkih rebara
 - sile djeluju u tangencijalnim površinama (nema momenata savijanja i poprečnih sila) - aksijalne tlačne ili vlačne sile
 - konstrukcija teži da se slegne (uz neznatnu promjenu tlocrtnog oblika - male deformacije prate mali momenti savijanja II reda)
 - svaku vrstu unutrašnjih sila preuzima pojedini element konstrukcije - meridijalne sile N preuzimaju meridijalni lukovi ili rebra, prstenasta oplata preuzima obodne sile T , a dijagonalna oplata preuzima posmične sile S

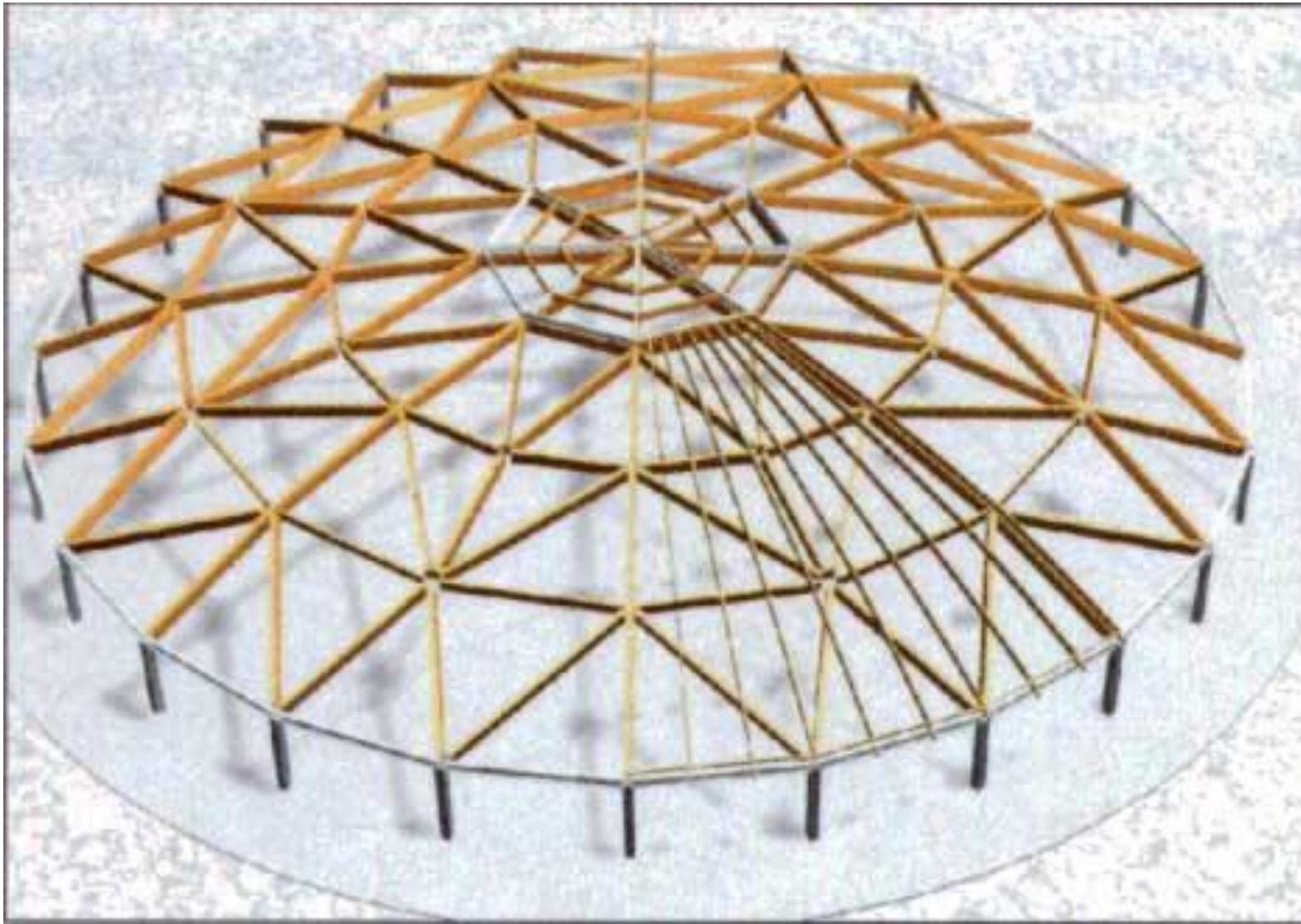
**SUVREMENI
PROSTORNI KONCEPTI
KUPOLA**

REBRASTE KUPOLE

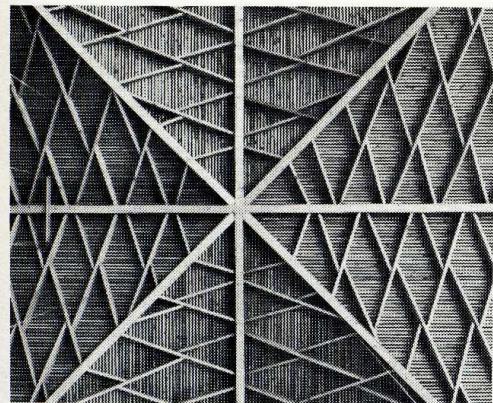
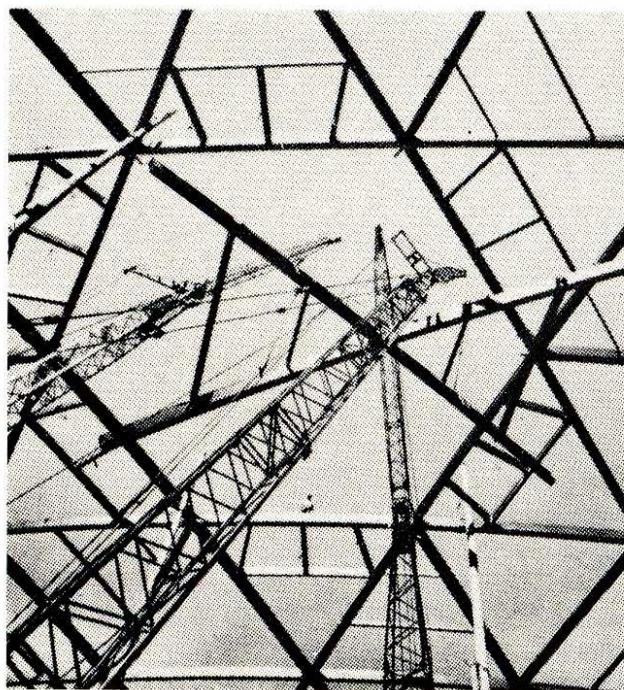
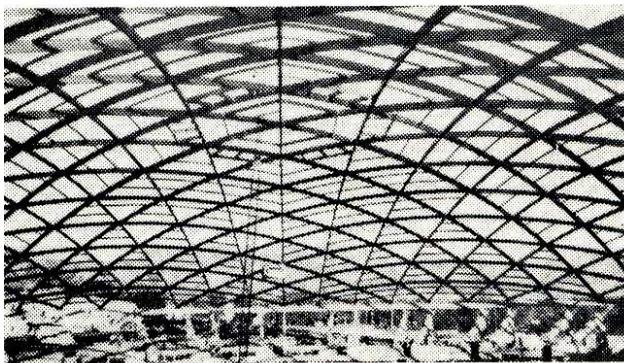
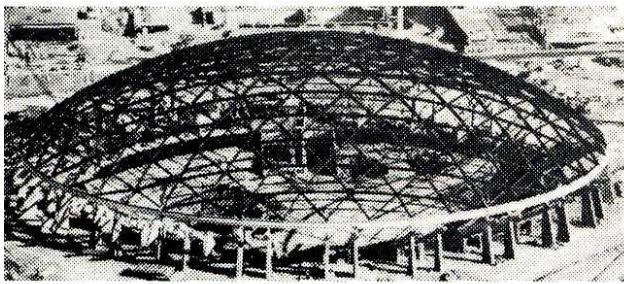
Sferna rebrasta kupola (Helsinki, Finska, 1999) - promjer 28m, radijus zakrivljenosti 19.8m (montaža iz 22 predgotovljena elementa), materijal LLD i lamelirana šperploča



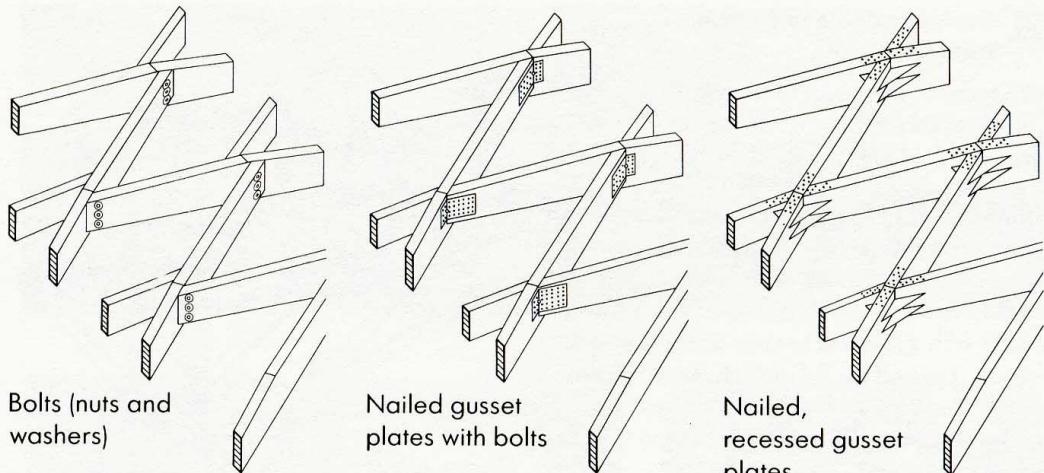
Schwedler-ova kupola bazena (Geyer, Njemačka, 1997)
(promjer 70m, visine kupole 7.0m) - konstrukcija je
podijeljena na osam rebara ukrućenih na četiri razine



MREŽASTE KONSTRUKCIJE KUPOLA



150 Ribbed Construction, Underside of Church Roof in Köln-Volkhofen, West Germany



Technical drawings illustrating three methods of connecting truss members:

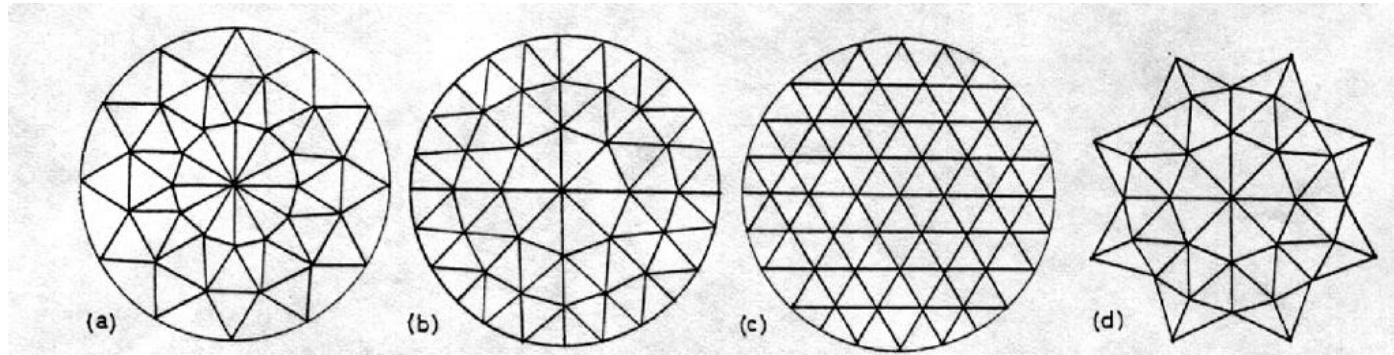
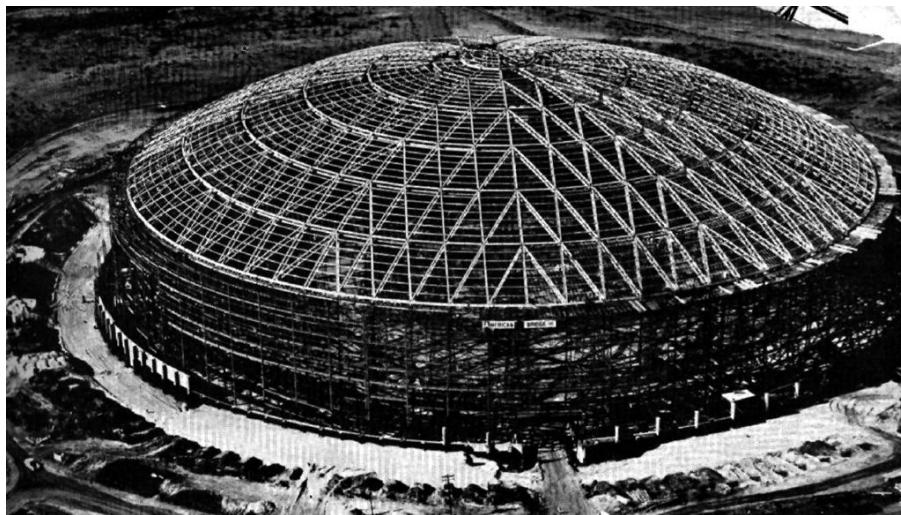
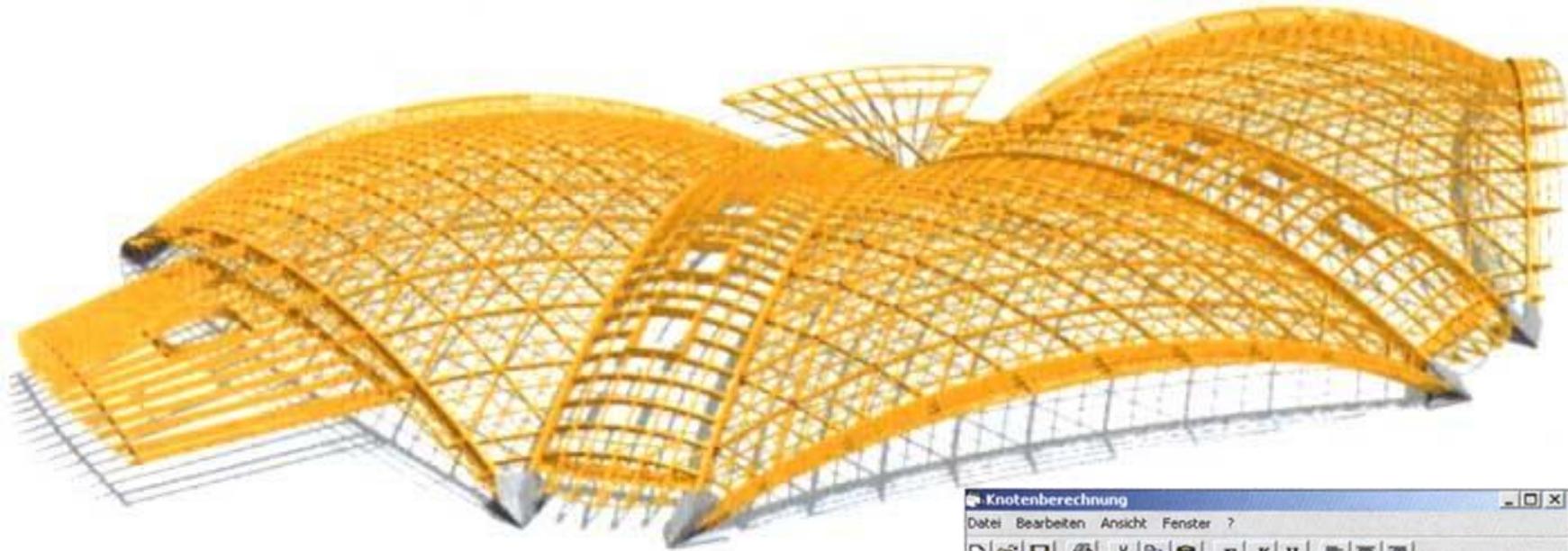


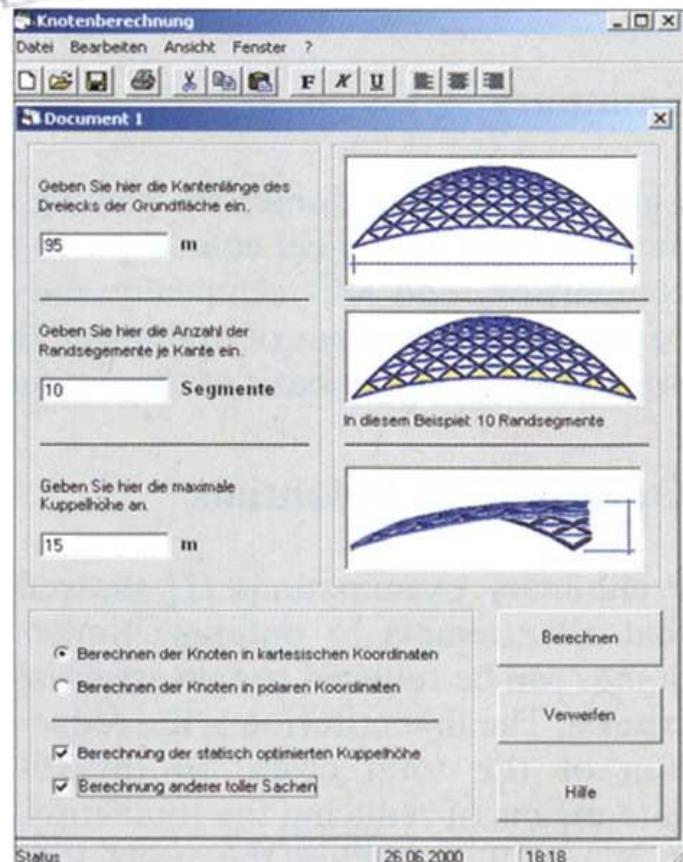
Figure 1. (a) to (d) Variations in lamella frames.





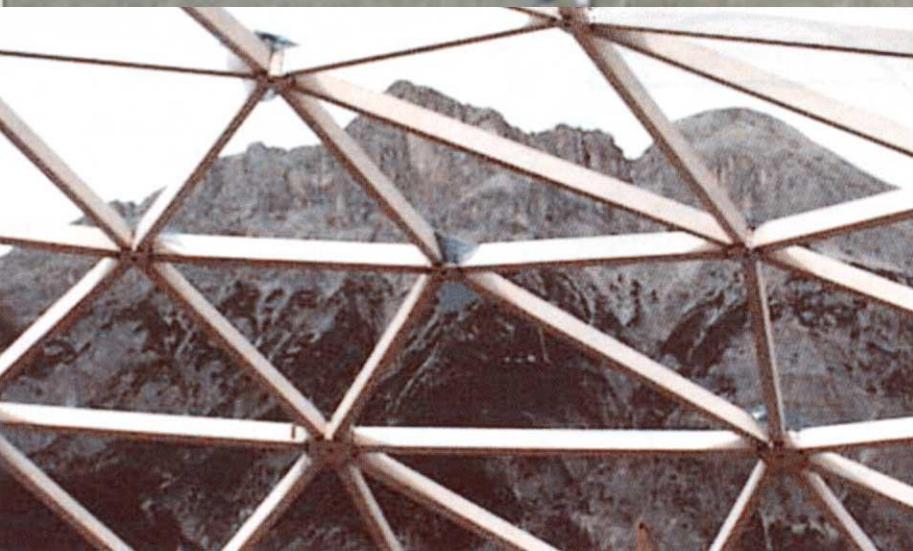
Sportska hala (Kirchberg, Luxemburg, 2000.) - tri sferne kupole ukupne površine 25000m², raspon rubnih lukova 95m, visina 15m, trokutasta mreža od 10 segmenata

Suvremeni FE alati za određivanje geometrije kupole i projektiranje



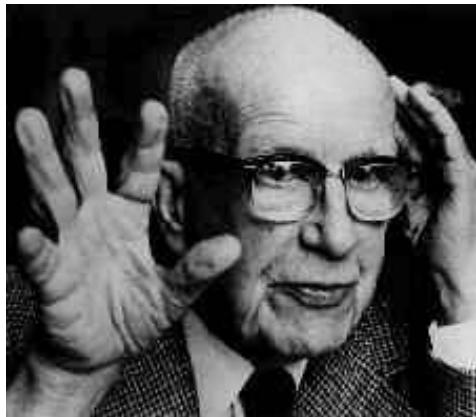


Eliptična LLD kupola sportskog centra (Telfs, Austrija, 1999)



Površina kupole 3300m^2 ukupne duljine prstena 210m , težine 50t , **248 štapova u 74 čvora**, utrošeno 170m^3 LLD različite klase kako bi se postigle iste dimenziije štapova

Geodetske kupole



- **Buckminster Fuller (1895-1983)**
- filozof, izumitelj, inžinjer i arhitekt
- otac primijenjenih **tensional integrity** konstrukcija i **geodetskih kupola**

(Kenneth Snelson je 1948 razvio tensegrity načelo)



- proveo opsežna laboratorijske ispitivanja svojih teorija
- praktično primijenio prirodne pojavnosti bioloških i energetskih uzoraka

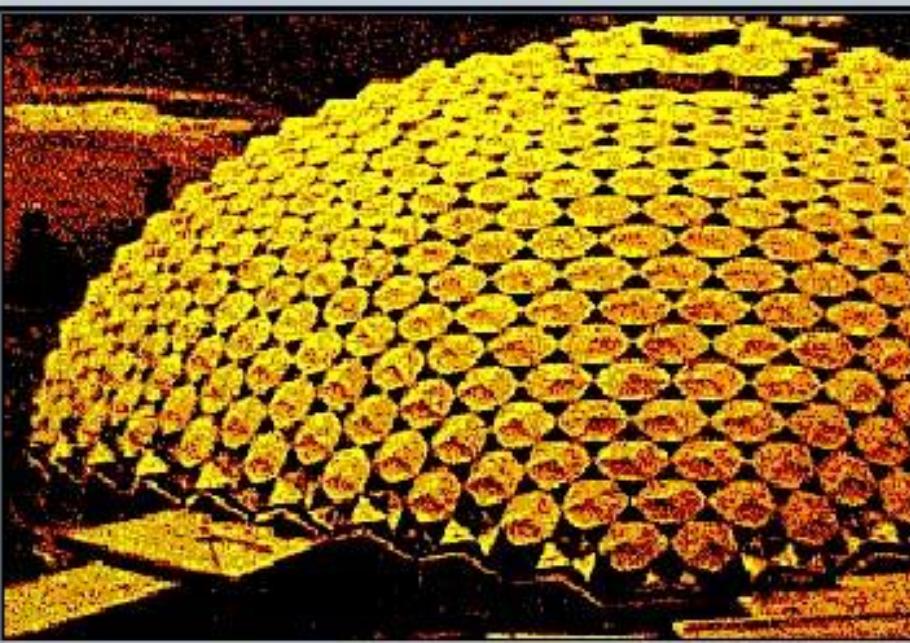
STRETCHED

PINEAPPLE DOMES



DOMES

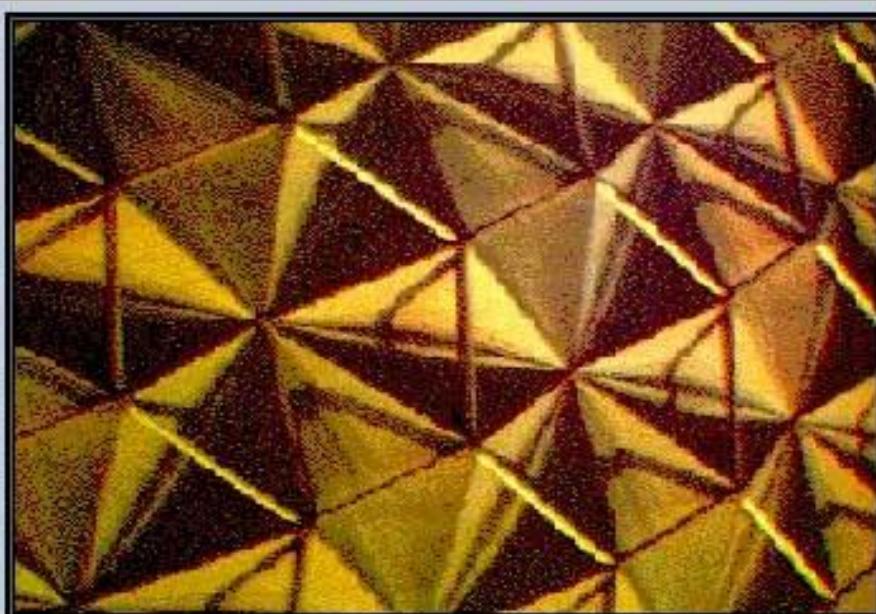
OCTA TENSEGRITY DOME: TOKYO, JAPAN



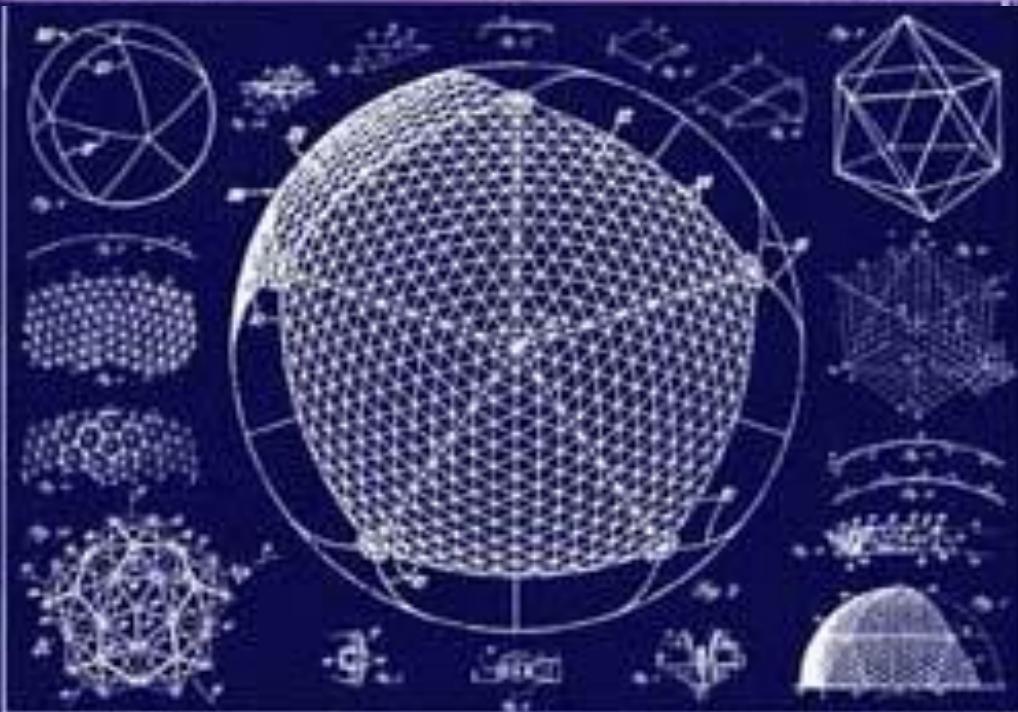
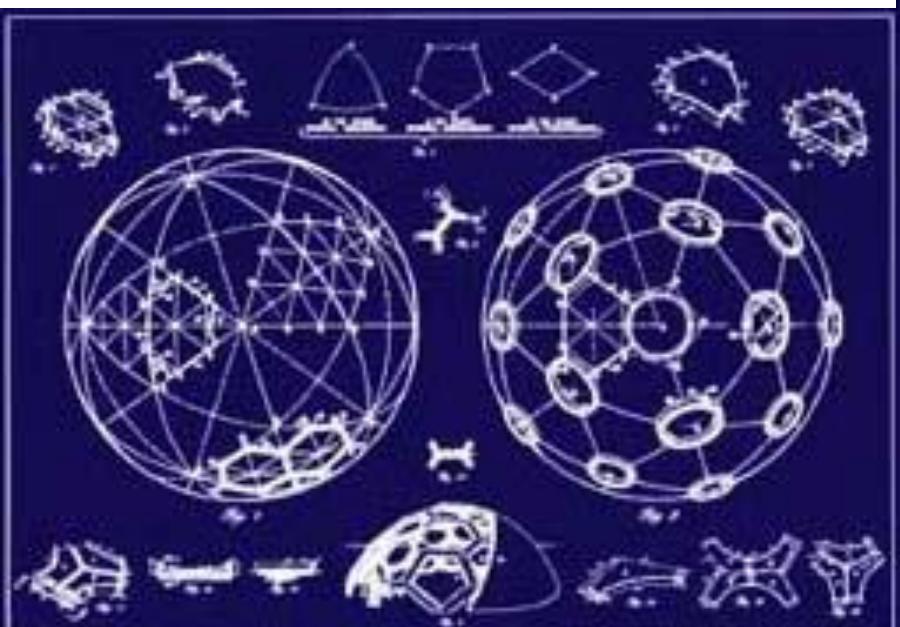
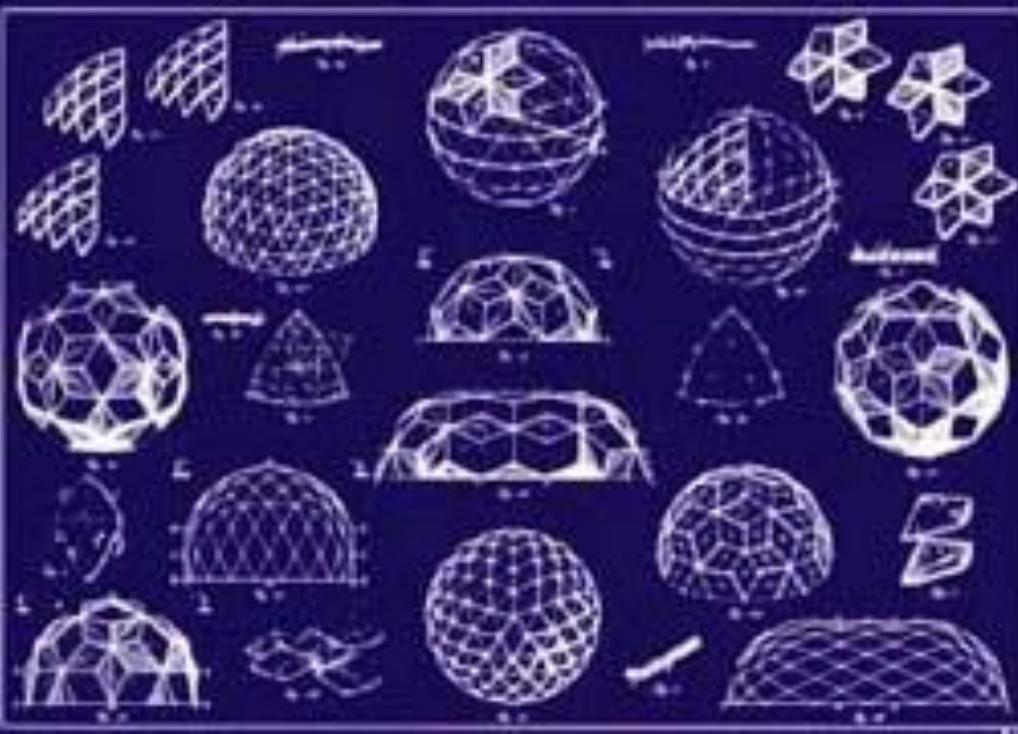
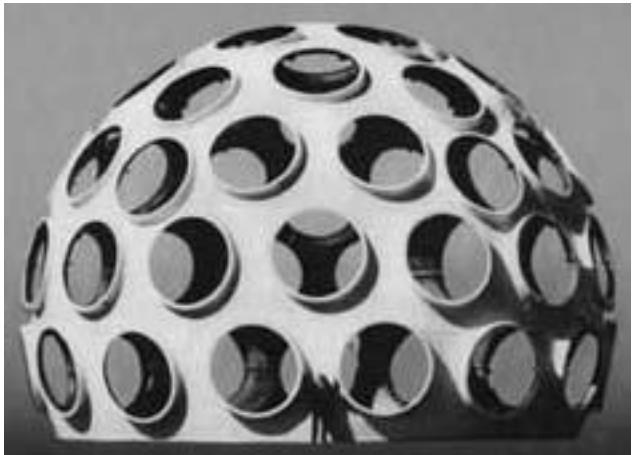
TETRA TRUSS DOMES: AUDITORIUM



MIXED TETRA TRUSS CLOSE-UP



GEODETSKE KUPOLE



Opći podaci o geodetskim kupolama

- **3D STRUKTURE ISTOVJETNIH ELEMENTA**
 - industrijska proizvodnja
 - lagano rukovanje tipskim (serijskim) elementima
 - minimum standardnih alata za obradu
- **ISTOVJETNI (TIPIZIRANI) ČVOROVI VEZA**
- **PROSTORNE LAGANE KONSTRUKCIJE**
 - strukturalni elementi male mase
 - prostorna geometrija i sustav prijenosa sile
 - racionalne i ekonomične 3D konstrukcije (nepotrebna sekundarna konstrukcija za nošenje pokrova - ušteda materijala)

Opći podaci o geodetskim kupolama

- **STABILAN PROSTORNI SUSTAV**
 - umjerena lokalna oštećenja ne izazivaju i kolaps strukture
 - nepotreban poseban stabilizacijski sustav za preuzimanje lateralnih djelovanja
- **RAZNOLIKI MATERIJALI MREŽE I POKROVA**
- **RAZNOLIKI SUSTAVI**
 - štapasti (kostur od drva, metala, polimera - razni pokrovi)
 - panelni (paneli od raznovrsnih materijala integrirani u nosivi skelet)
- **POTKONSTRUKCIJA**
 - armirano betonski kružni (prstenasti) temelji
 - armiranobetonska ili zidana platforma

Opći podaci o geodetskim kupolama

- **JEFTIN TRANSPORT**
 - prijevoz tipiziranih laganih elemenata gusto pakiranih
- **BRZA I DJELOTVORNA MONTAŽA/DEMONTAŽA**
 - minimum mehanizacije na gradilištu (dizalice nepotrebne)
 - lagane skele
 - minimalan broj radnika (za montažu i pokrivanje)
- **MINIMALNA INVESTICIJA**
 - korist izražena u veličini slobodnog prostora mnogostruko veća od početnih ulaganja
- **MAKSIMALNO ISKORISTIV PROSTOR**
 - veliki volumen konstrukcije u odnosu na njenu površinu

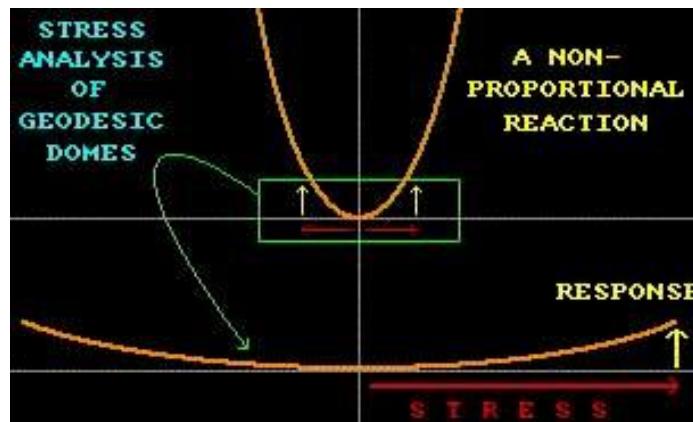
Prikaz lake montaže-demontaže





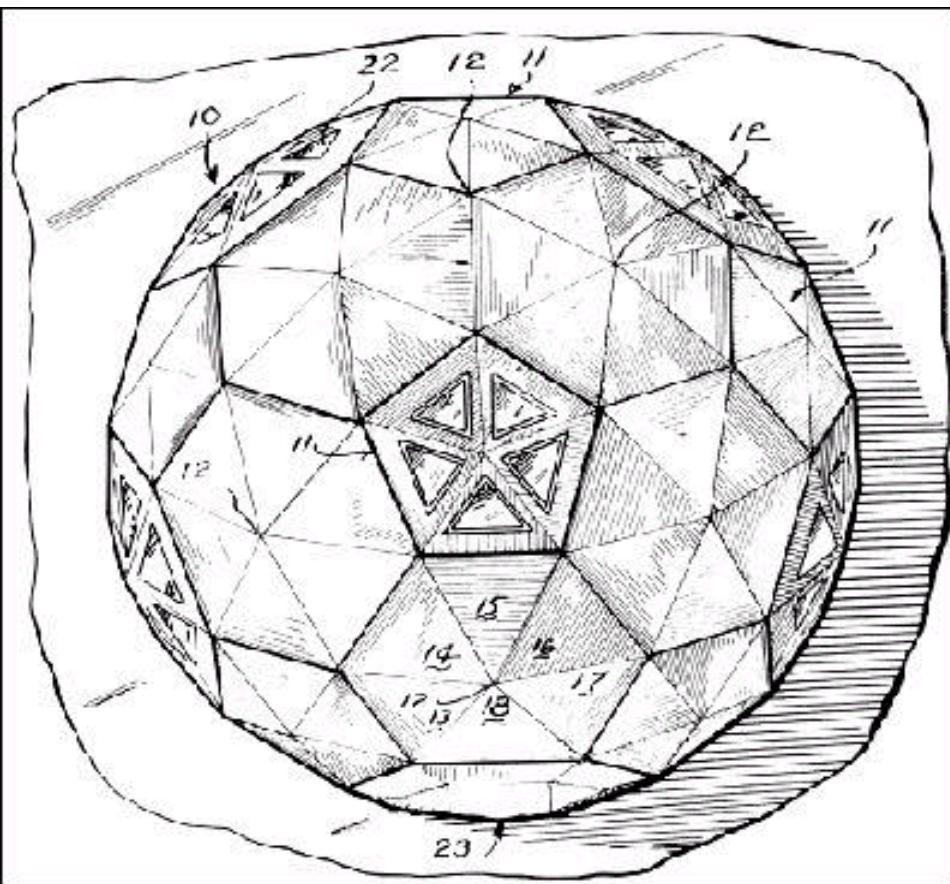


- **GEOMETRIJA KROJA LOPTE - MREŽA TROKUTA**
- **podjela osnovnog sfernog trokuta (suma trokuta $72^\circ \times 3 = 216^\circ$) na potpodjele-frekvencije (služe tome da se veličini kupole podredi industrijski priređen odgovarajući materijal)**
- **štапасте куполе:** jednoslojni i dvoslojni pokrovi
- **panelne куполе:** покрови су Al-lim, Fe-lim, polimerne ploče i pločasti materijali na bazi drva (**оквирне конstrukcije са интегрираним panelima**)



- Fullerov ikosaedar

- Podjela na frekvencije



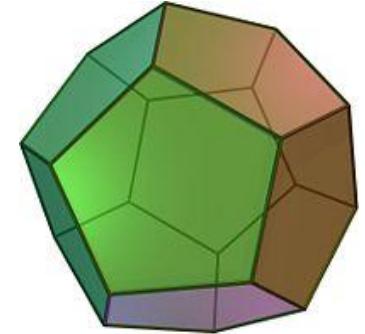
Za većinu podjela (“frekvencije”) postoje tablice za razne oblike sfera (kugla, elipsoid...) na osnovu kojih je moguće za bilo koji polumjer kupole odrediti duljine štapova iako se to uobičajeno provodi CAD programima !!!

Izložbeni paviljon USA (Montreal, 1967.) - B. Fuller

TETRAHEDRAL TRUSS DOMES: EXPO '67



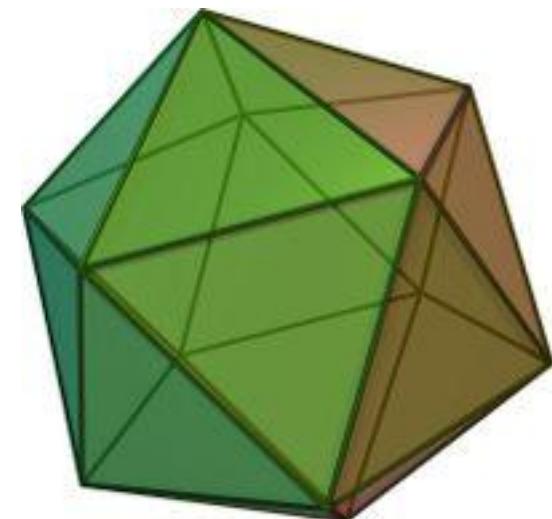
Geometrija kupole



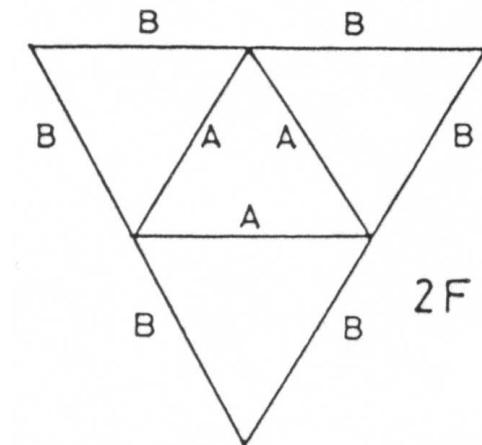
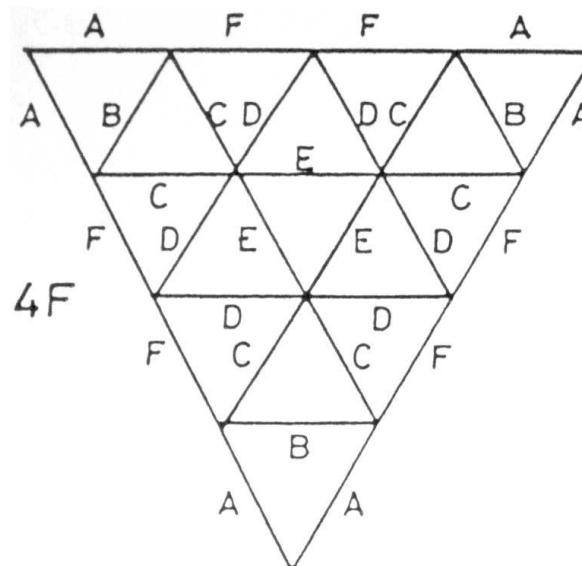
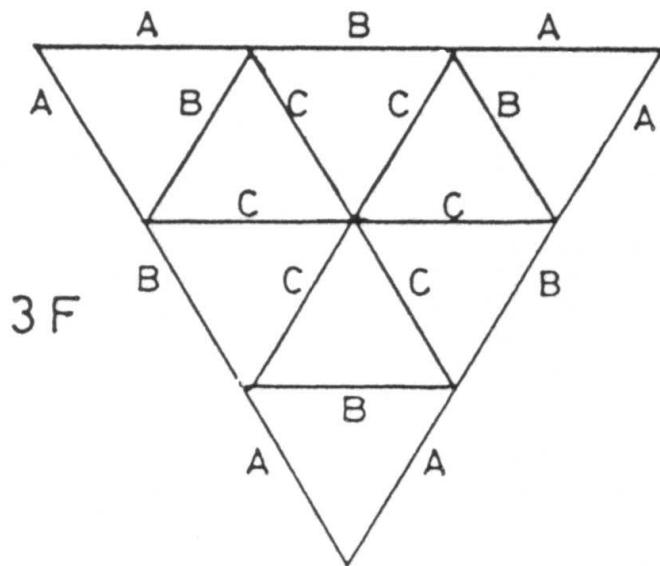
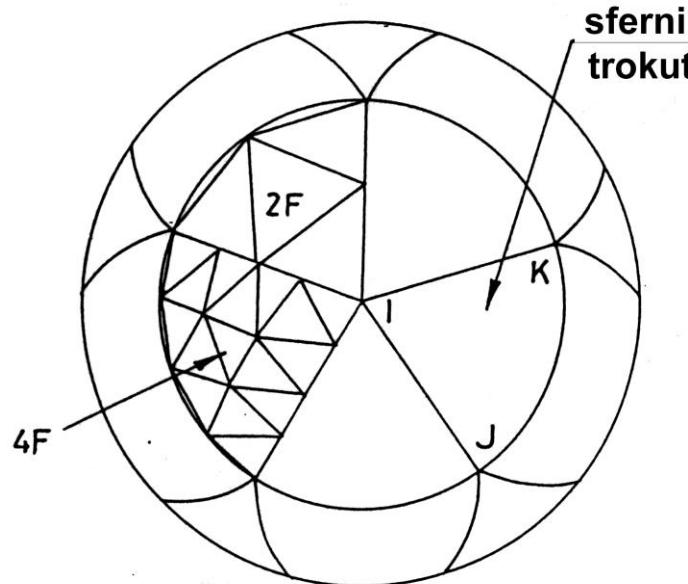
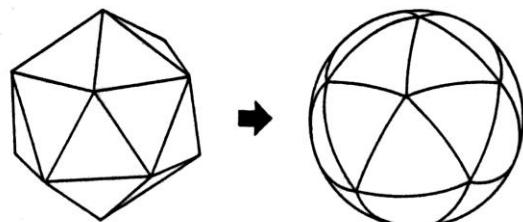
- kugla = napuhani dodekaedar
- pretvorba dodekaedra u sferne trokute
- sferni trokuti se mogu podijeliti na manje geometrijske trokute tzv. frekvencije (lakši transport i montaža)
- iz konstrukcije mreže štapova proizlazi da su na mjestima kuteva izvornog ikosaedra smješteni peterokuti, a ostali su likovi podjele šesterokuti (u kutevima izvornog ikosaedra susreće se pet štapova, a u svim ostalim unutarnjim sjecištima mreže susreće se po šest štapova mreže kupole)
- štapovi kupole su ravni (iznimno se koriste kružni lukovi i zakrivljeni nosači kod kupola velikih raspona)

Dodekaedar je jedan od pet pravilnih poliedara. Omeđen je sa dvanest međusobno jednakih površina koje imaju oblik jednakostraničnih peterokuta i raspoređene su tako da tijelo ima trideset rubova i dvadeset tjemena.

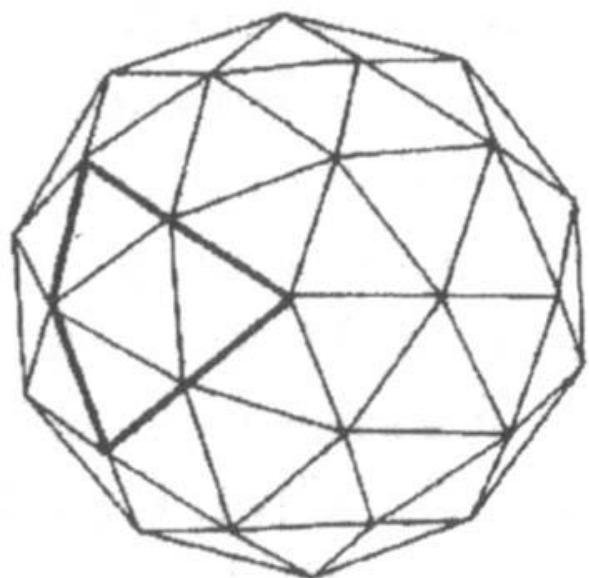
- **Ikosaedar** (grč. εἴκοσάεδρον, eikosáedron - tijelo sa dvadeset površina) je jedan od pet pravilnih poliedara. Omeđen je sa dvadeset međusobno jednakih površina koje imaju oblik jednakostraničnih troukuta i raspoređene su tako da tijelo ima trideset stranica i dvanaest tjemena.



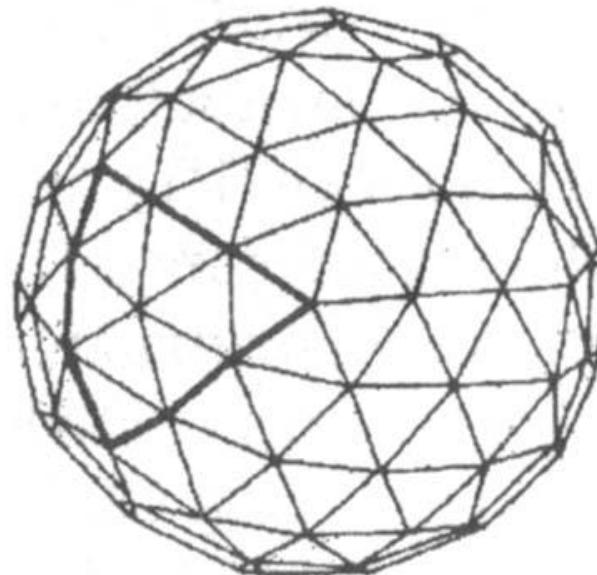
Analogija s
"nogometnom loptom"



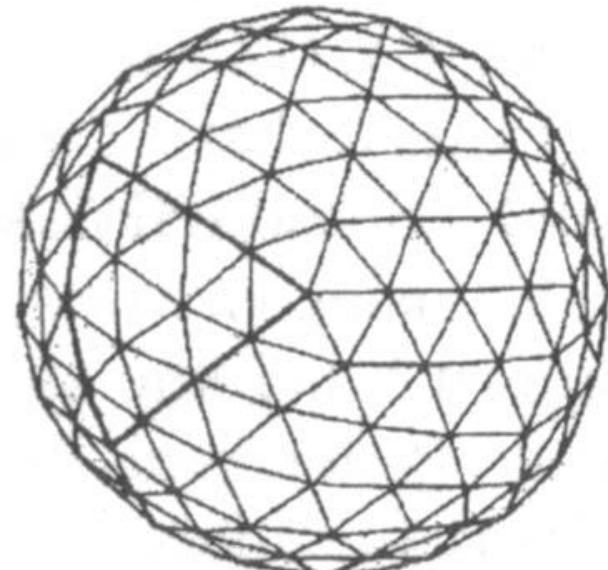
Ravne trokutne plohe dodekaedra pretvaraju se u sferne trokute unutarnjih vršnih kuteva $360^\circ/5=72^\circ$ i zbrojem unutarnjih kuteva 216°



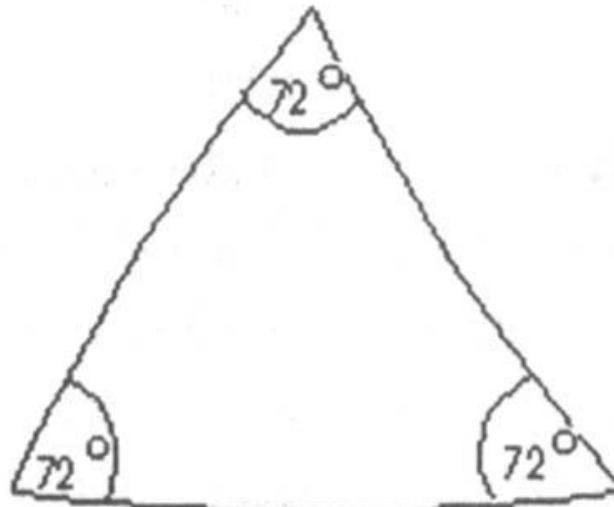
Dvofrekventna



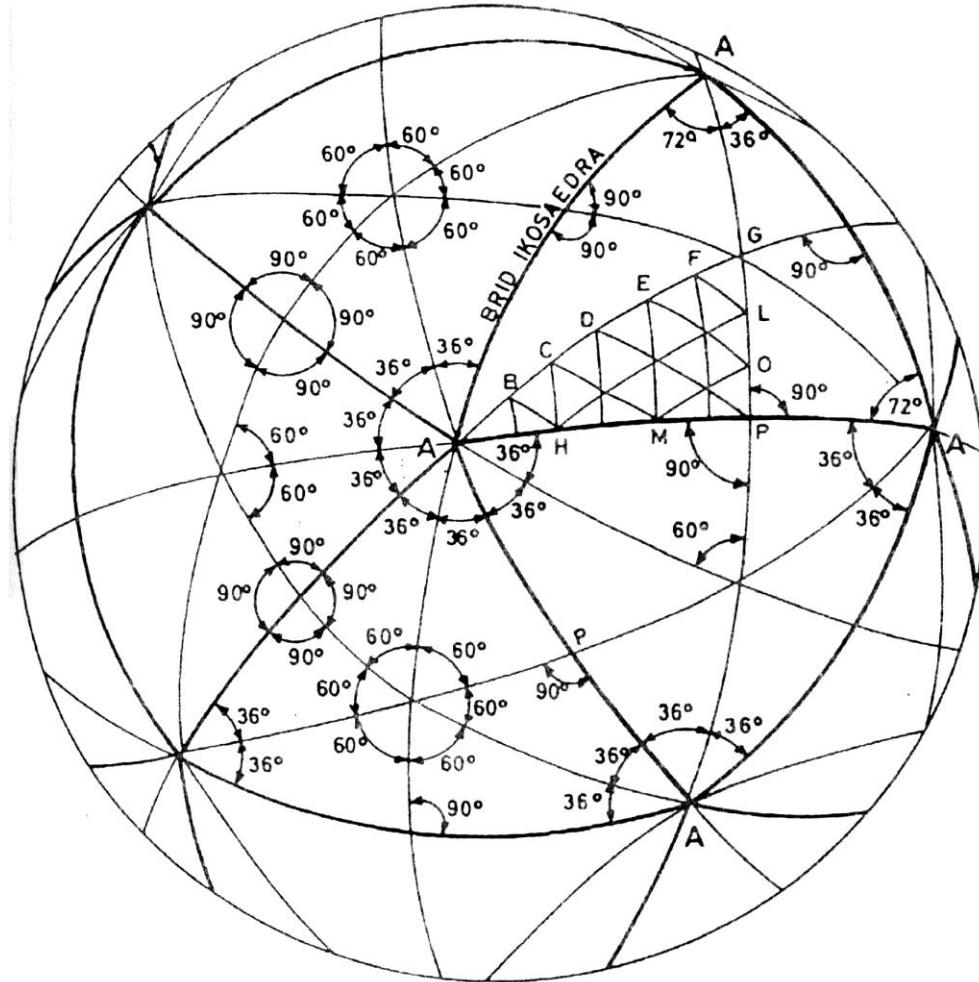
Trofrekventna



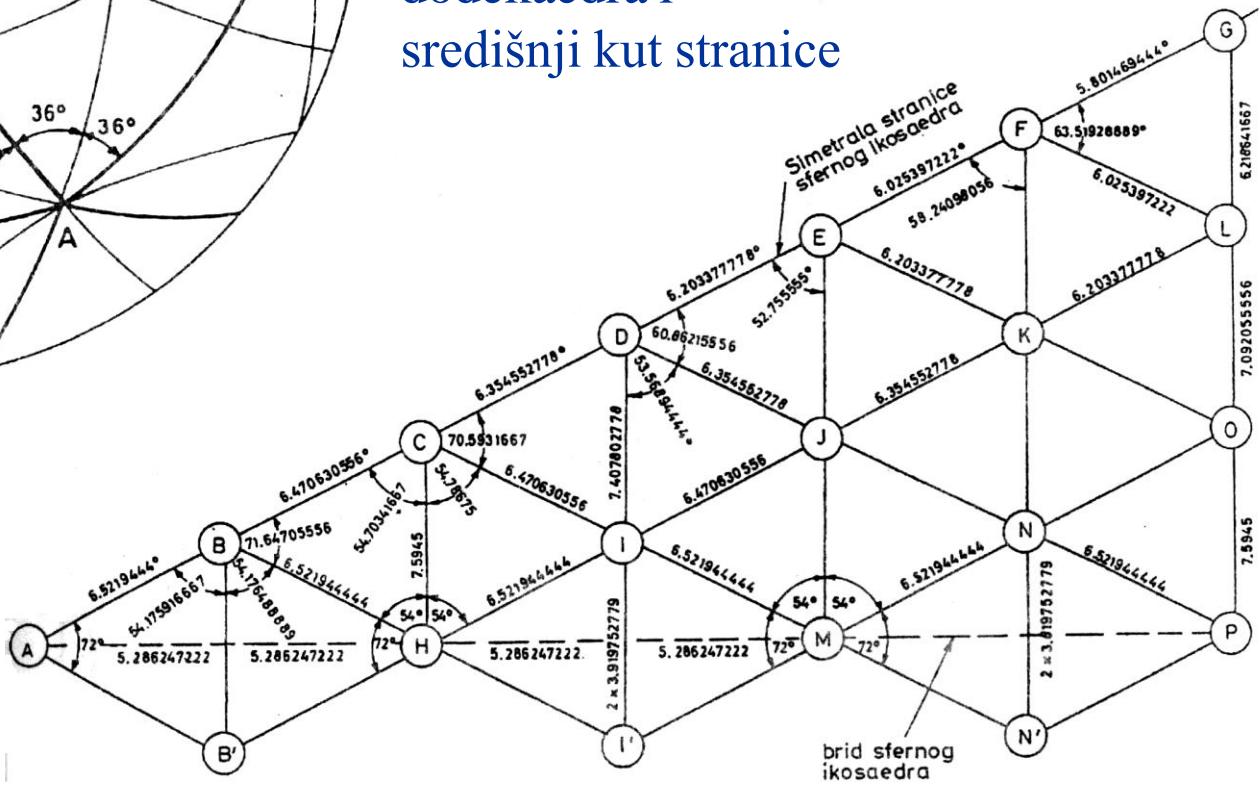
Četverofrekventna



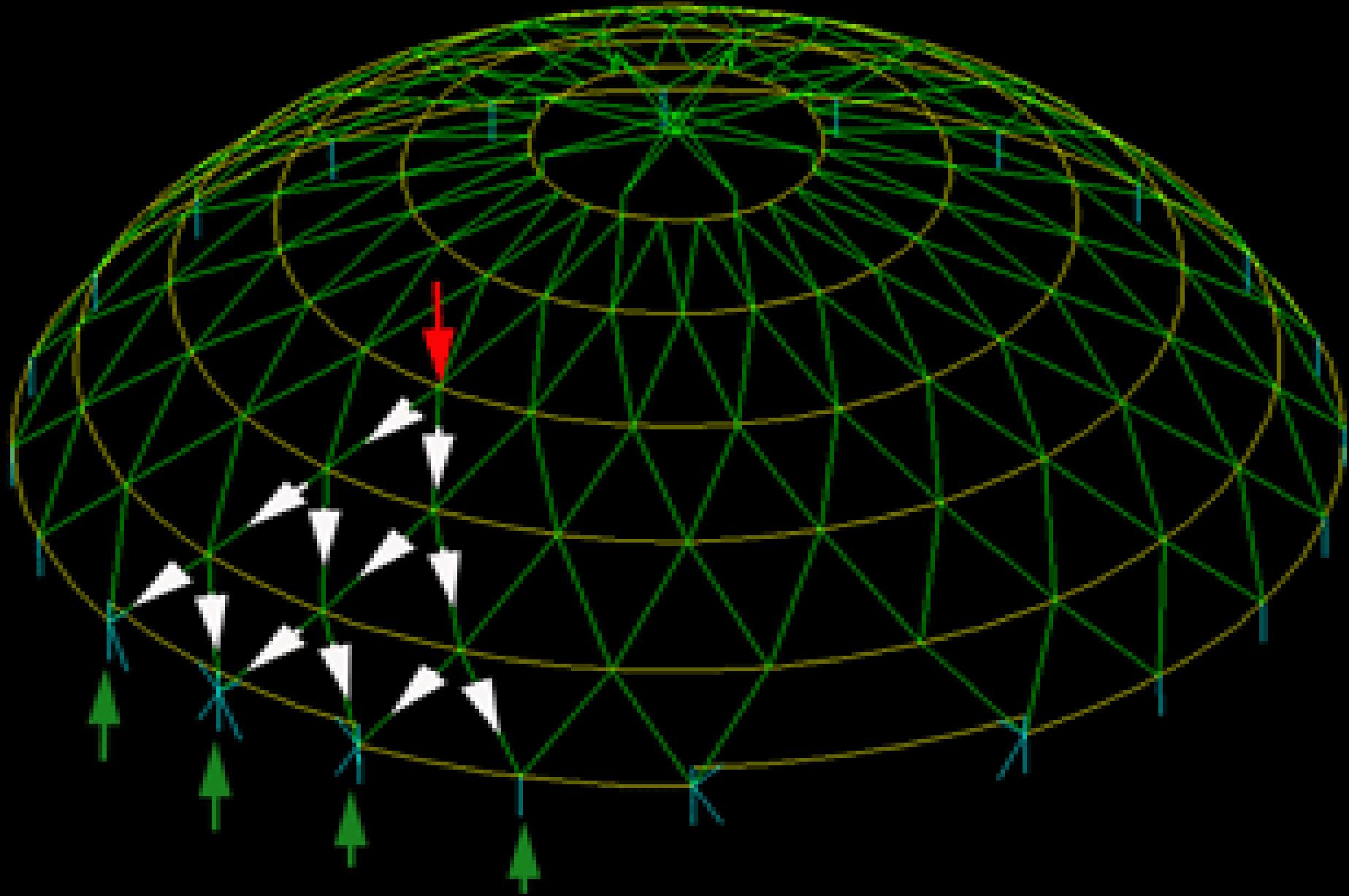
Osnovna geometrijska podjela sfere



Lučna duljina sfernog dodekaedra i središnji kut stranice



Prikaz preuzimanja sila



Materijali

- **čelik**
- **drvo** - lamelirano lijepljeno drvo
 - lijepljene tanke uslojene furnirske ploče (KERT-LVL)
 - rezana (piljena) građa
- **aluminij**
- **armirani beton**
- **kombinacija prethodnih**

Konstruktivni sustavi kupola

- **ŠTAPASTI
SUSTAVI**

```
graph LR; A[ŠTAPASTI SUSTAVI] --> B[Drvo (piljena građa, LLD, Parallam i sl.)]; A --> C[Metal (cijevi ili hladno vučeni profili)]; A --> D[Armirane plastične mase]
```

Drvo (piljena građa, LLD, Parallam i sl.)
Metal (cijevi ili hladno vučeni profili)
Armirane plastične mase

- **Pokrovi**

```
graph LR; A[Pokrovi] --> B[Fleksibilni - trevira (poduprta, ovješena), diolen, teflon...]; A --> C[Pneumatski jastuci od trevire]; A --> D[Klasični pokrovi na sekundarnoj konstrukciji (šindra, limovi i sl.)]
```

Fleksibilni - trevira (poduprta, ovješena),
diolen, teflon...
Pneumatski jastuci od trevire
Klasični pokrovi na sekundarnoj
konstrukciji (šindra, limovi i sl.)

Konstruktivni sustavi kupola

- **PANELNI SUSTAVI**

- Drveni okviri (piljena građa, LLD, PSL)
- Metalni okviri (čelik, aluminij)
- Okviri od armiranih plastičnih masa

- **Pokrovi**

- Pločasti materijali na bazi drva (višeslojne furnirske ploče, vlaknatice, iverice) prekriveni šindrom, Cu-limom, prskanim arm. poliesterom
- Gips-ploče, polimerne ploče
- Metalni paneli (najčešće AL, ali i FE limovi)

Paneli su integrirani u trokutaste/penta(heksa)gonske okvire !!!

Štapasti sustavi geodetskih kupola

- **Frekvencija mreže** opisuje podjelu osnovnog sfernog trokuta na (sub)podjele → jedno, dvo, tro i više frekventna mreža
 - potpodjele (frekvencije) služe za optimalizaciju materijala (minimum otpada), lakši transport i montažu
 - geometrija je određena posebnim programom krojenja elemenata
- **Spajanje drvenih elemenata (štapova)**
 - metalnim pločama
 - prstenastim spojem
 - posebnim uvojitim vijčanim spojem
 - patentiranim spajalima

Štapaste geodetske kupole - mreža

- Duljine štapastih elemenata ovise o geometriji i frekvenciji, a dimenzije se određuju statičkim proračunom
 - Kupole malog raspona: drvena piljena građa malih dimenzija
 - Kupole velikog raspona: zakrivljeni LLN velikog presjeka
- Spajanje metalnih štapova - patentirani čvorni elementi
- Spajanje drvenih elemenata (štapova) - patentirane veze koje moraju omogućiti i pričvršćenje pokrova
 - metalnim perforiranim pločama
 - prstenastim spojem
 - posebnim navijenim vijcima za drvo
 - patentiranim spajalima

Štapaste geodetske kupole - pokrov

- **Jednoslojni pokrov od trevire (PVC impregnirana poliesterska netkana tkanina)**
 - težina trevire cca 360 gr/m², širina tkanine 160-250cm (kroj podesiti prema raspoloživim mjerama)
 - kroji se od trokutastih elemenata (međusobno sastavljeni VF zavarivanjem pod visokim pritiskom) čije se dimenzije geometrijski proračunavaju
 - posebni nacrti za isijecanje trevire i kroj membrane (“ukrojavaju” se prozori i svi otvorovi predviđeni projektom)
 - nema posebnih elemenata za pričvršćenje pokrova (pričvršćenja se integriraju u vezni sklop štapova)
 - **ovješena membrana** - “vješa” se za čvorove mreže kupole
 - **poduprta membrana** - posebna loptasta podupire se u čvorovima mreže (zadržava se napetost membrane)

Štapaste geodetske kupole - pokrov

- na mjestima čvorova potrebno je uvesti kružna višestruka ojačanja pokrova
- za kupole većih rastera i razmaka točaka pričvršćenja pokrova uvode se “međuovjesi”
- membrana je pri donjem rubu (dno) ojačana i ima metalne prstenove za koje se veže najlon-uže (pričvršćenje na temelj)
- moderna varijanta su opruge s amortizerima za održavanje napetosti membrane (smještene u centrima trokuta) te napuhani baloni u čvorovima između kostura i pokrova (automatsko prednapinjanje)

“Ovješeni pokrovi” su estetski bolja varijanta, ali postoji problem zaštite izloženog kostura kupole od atmosferilija !!!

“Poduprti pokrovi” (membrana postavljena na kostur kupole) daju estetski lošiji dojam izvana, ali je nosiva konstrukcija bolje zaštićena !!!

Štapaste geodetske kupole - pokrov

- **Dvostruki pokrov od trevire** (ispunjen zrakom; napetost autom. regulirana) - niz trokutastih dvo(više)slojnih pneumatskih jastuka
 - ovješeni na mrežu kupole (“saćasti” pokrov)
- **Klasični pokrovi sa sekundarnom potkonstrukcijom** (kupole velikih promjera sa lameliranim glavnim nosačima i sekundarnom konstrukcijom uklopljenom u raster prostornih sfernih trokuta)
 - pokrov od dva sloja dasaka na koje pričvrsti trevira, šindra ili (bakreni) lim
- **Paneli** (štапasti sustav se tada približava panelnom sustavu)
 - od materijala na bazi drva (furnirske ploče, ploče vlaknatice, ploče iverice i sl.)
 - ploče od armiranih polimera
 - ploče od ravnih ili profiliranih limova (metalni paneli)

Panelne geodetske kupole - mreža

- **Okvirni elementi u koji su integrirani paneli** - rade se po načelu slaganja i formiranja mreža štapastih kupola
 - koriste se isti materijali (drvo, metal, armirani polimeri)
 - slaganje okvira od temelja prema tjemenu kupole prema pripremljenim shemama (elementi kodirani brojevima ili bojom)
 - unutar elemenata mogu se ugraditi instalacije, otvor i sl.
 - izrada elemenata je jednostavna i ne zahtijeva veliku mehanizaciju, opremu ili ljudstvo

Panelne geodetske kupole - pokrov

- **Paneli**

- ploče od materijala na bazi drva (furnirske ploče, ploče vlaknatice, ploče iverice, “sendvič-ploče” i sl.; iznad se može staviti šindra)
- ploče od armiranih poliesterera (armiranje polimera staklenim tkaninama ili voalom)
- ploče od ravnih ili profiliranih metalnih limova (paneli 0.5-3mm formirani tako da budu otporni na proboj)
- ploče od mikrobetona (stiroporbeton-polimernim vlaknima armirani pjenobeton) koje su male mase, a vrlo kompaktne i dobrih izolacijskih svojstava - pogodno za sve namjene, a posebno za lagane stambene konstrukcije

OPREMA GEODETSKIH KUPOLA

- **Interijer**

- uređuje se u zatvorenom prostoru (nakon montaže kupole)
- ugradnja prefabriciranog “ognjišta” (mokri i energetski čvor; sanitarije, kuhinja, instalacije...) može i prethoditi montaži same konstrukcije
- pregradni zidovi su lagani razdjelni paneli (izvode se naknadno), pregradne stijene, a može se upotrijebiti i posebno dizajnirani namještaj (ormari s dva lica, prolazima i sl.)
- na pregrade je moguće osloniti i etažu (kupole velikog raspona i volumena)
- **REGULACIJSKI SUSTAV (aktivan/pasivan) SINERGETSKIH KONSTRUKCIJA** (sastavni dio opreme; sadrži ventilatore/kompresore, senzore, elektronske sklopove za napuhavanje... “smart structures”)

OSLANJANJE I TEMELJENJE GEODETSKIH KUPOLA

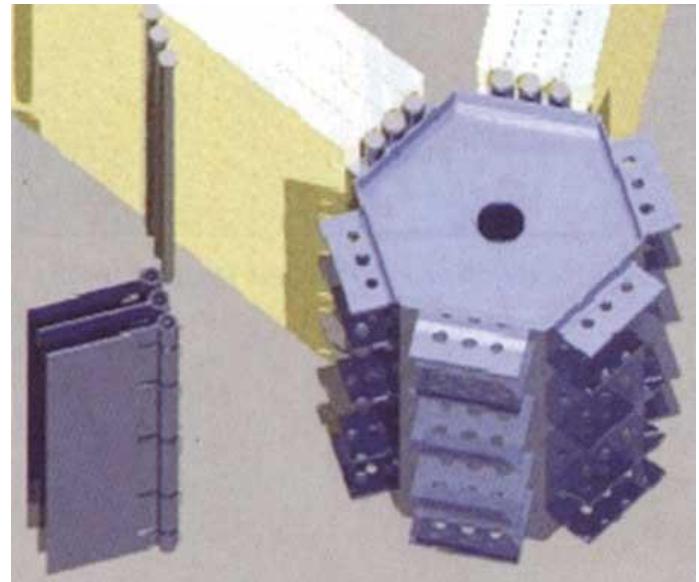
- **Armiranobetonske platforme (potkonstrukcija)**
- **Kružni (obodni) armiranobetonski temelji (prsten, blok)**
 - sustav može biti rađen “in situ” ili prefabriciran
 - prefabricirani sustavi se izvode od blokova betona postavljenih na poravnato tlo (prema nacrtu sidrenja i temeljenja)
 - mala masa konstrukcije ne zahtijeva velike temelje
 - konstrukcije nisu osjetljive na diferencijalno slijeganje (kvaliteta i nosivost tla nije presudna)
 - SIDRENJE je vrlo važno (mala težina konstrukcije - osjetljivost na sile uzgona i vjetra)
 - privremeni objekti sidre se izravno u tlo ili priređenu podlogu

Spojevi drvenih elemenata

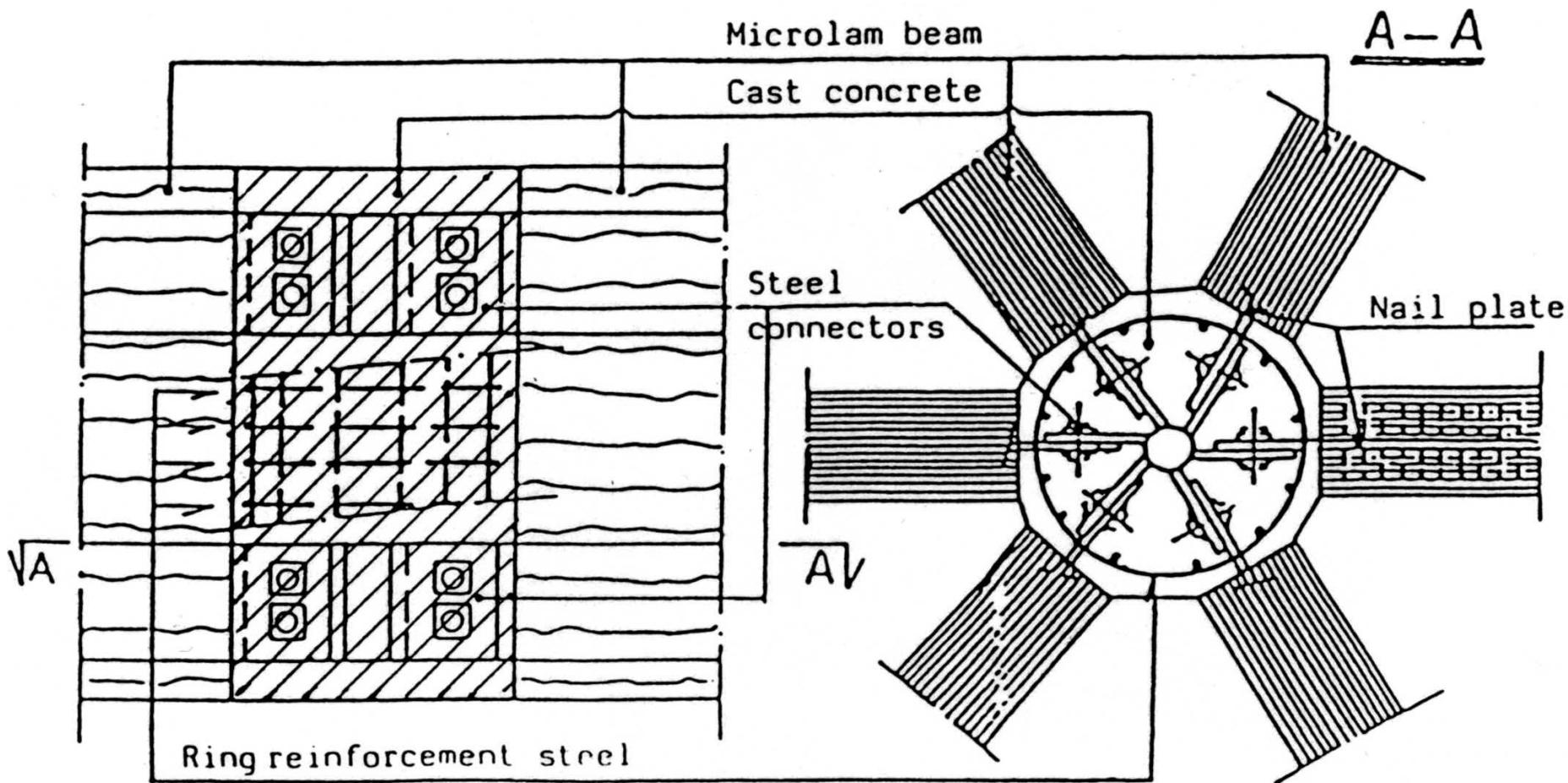
- patentirani moždanici
- vijci uvrtani u čela štapova (uvojiti vijčani spoj)
- perforirane kružne metalne ploče s pet ili šest rupa
- metalni prsteni promjera oko 100 mm, debljine 5 mm, visine 50-60 mm (drveni štapovi učvršćeni vijcima)



- štapovi kupola većih raspona vežu se:
 - betoniranjem čvora u blok armiranog betona
 - metalnim pločama
- kod panelnih kupola paneli se vežu :
 - jednostrano ili obostrano pričvršćenim pločama (višeslojne furnirske ploče, panelke, iverice ili su od nekog drugog vodootpornog materijala), i skobicama, čavlima ili su lijepljenjem pričvršćene za obodni okvir

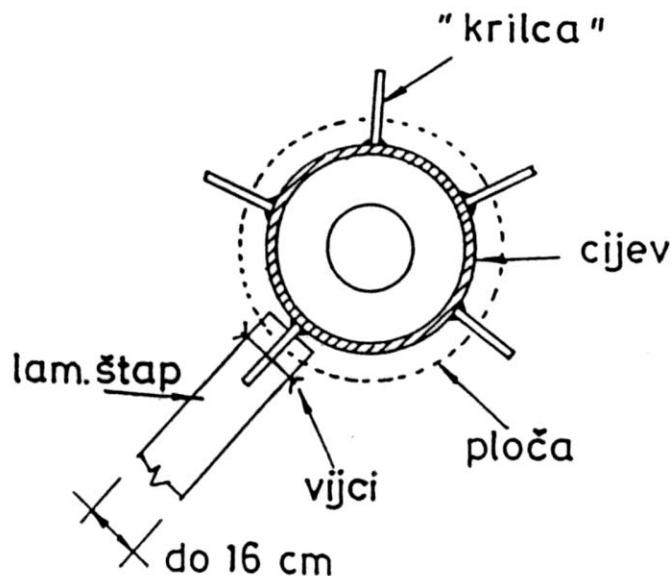
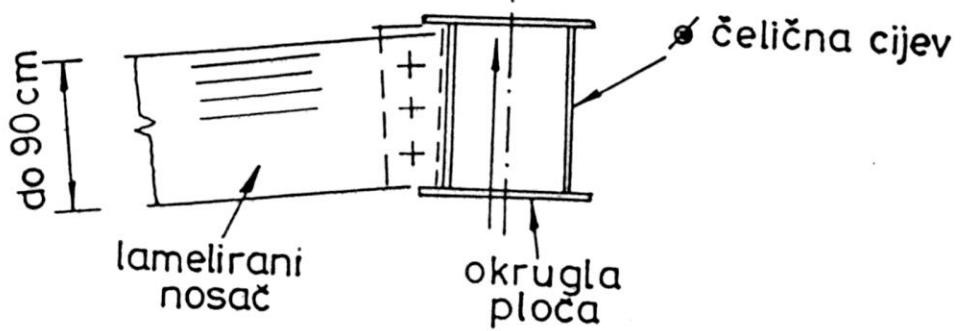
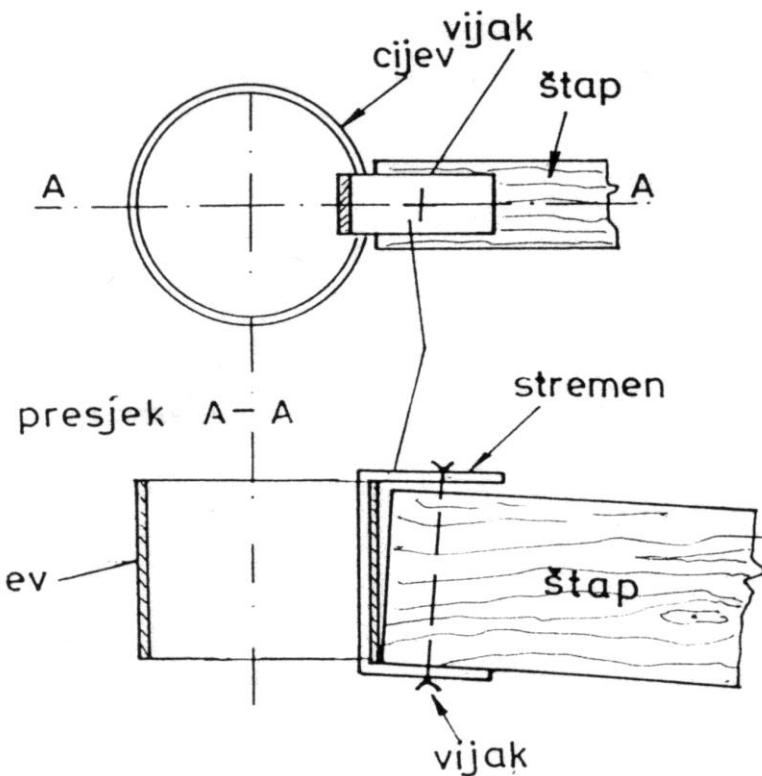


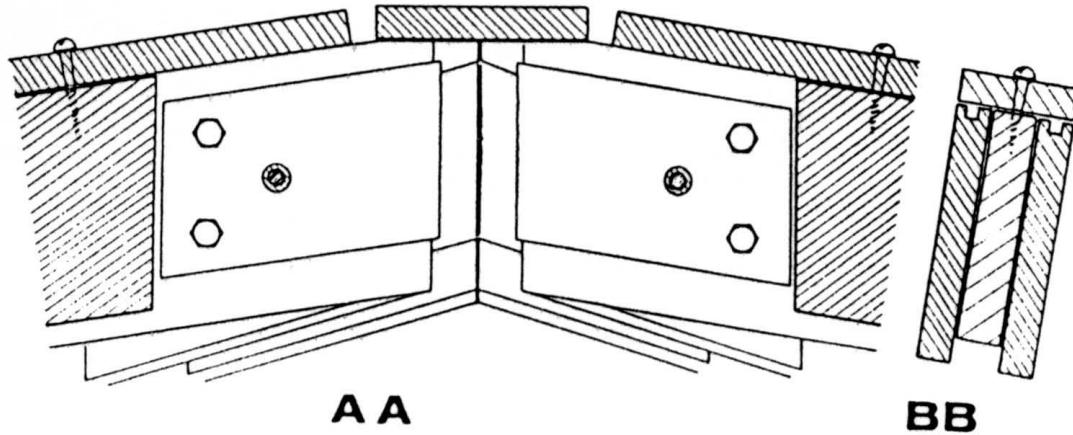
Detalj čvora ubetoniranog u armiranobetonski blok (primijenjeno kod štapaste kupole promjera 115m u Oulu, Finska); mreža kupole je iz KERTO-LVL nosača



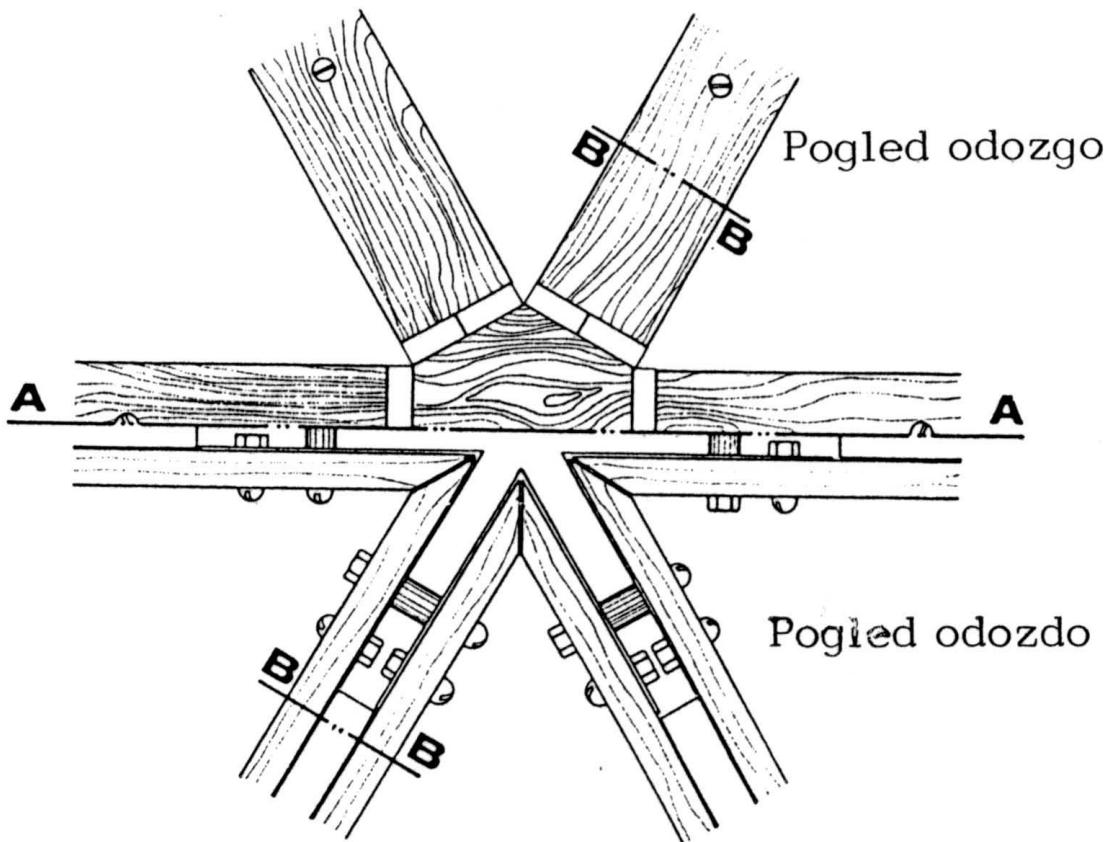
Veza drvenih elemenata kupola raspona do 20m - metalna cijev sa U-stremenima (potrebno poštivati nagibe elemenata i osigurati dovoljno mesta za spojna sredstava !!!)

Metalni prsten sa zrakasto navarenim limovima (veza vijcima)





Detalj spoja štapova kupole kod koje se meduprostor pokriva armiranom krutom plastikom (prema Geometrics Inc., USA)



Kupola tipa N – Sydney 96x96x35 m



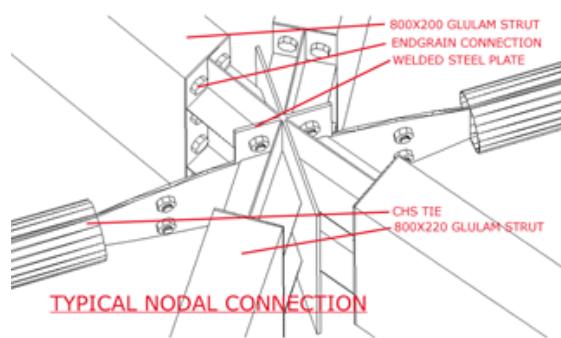
© OCA 1997



© Saxon Johns / UNSW-FBE 2001



© Saxon Johns / UNSW-FBE 2001

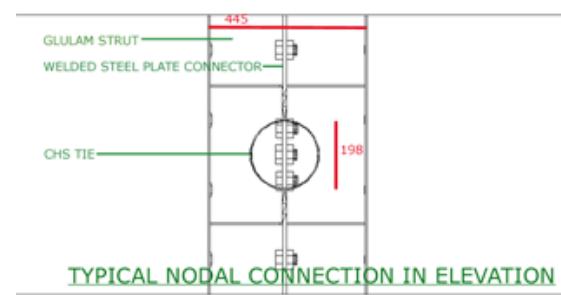
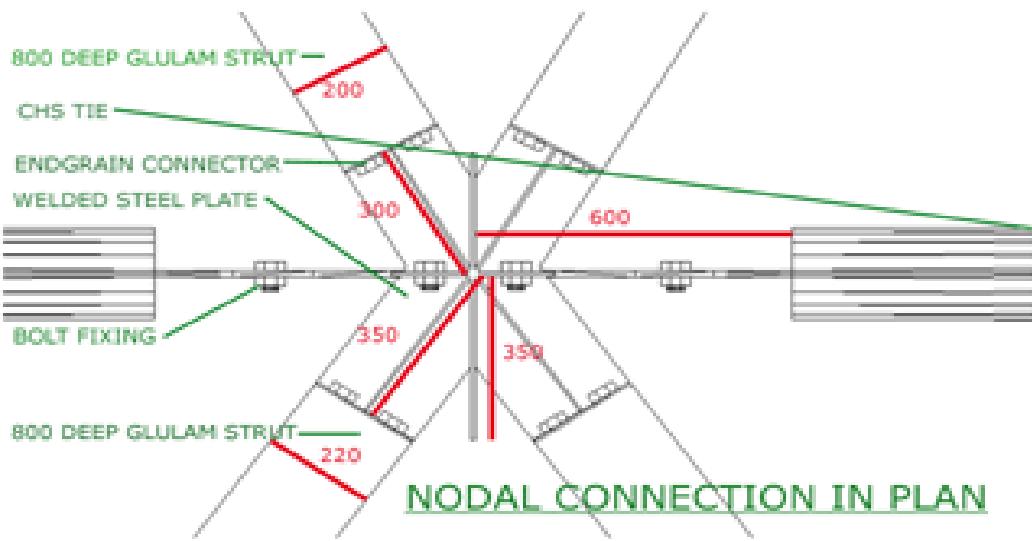




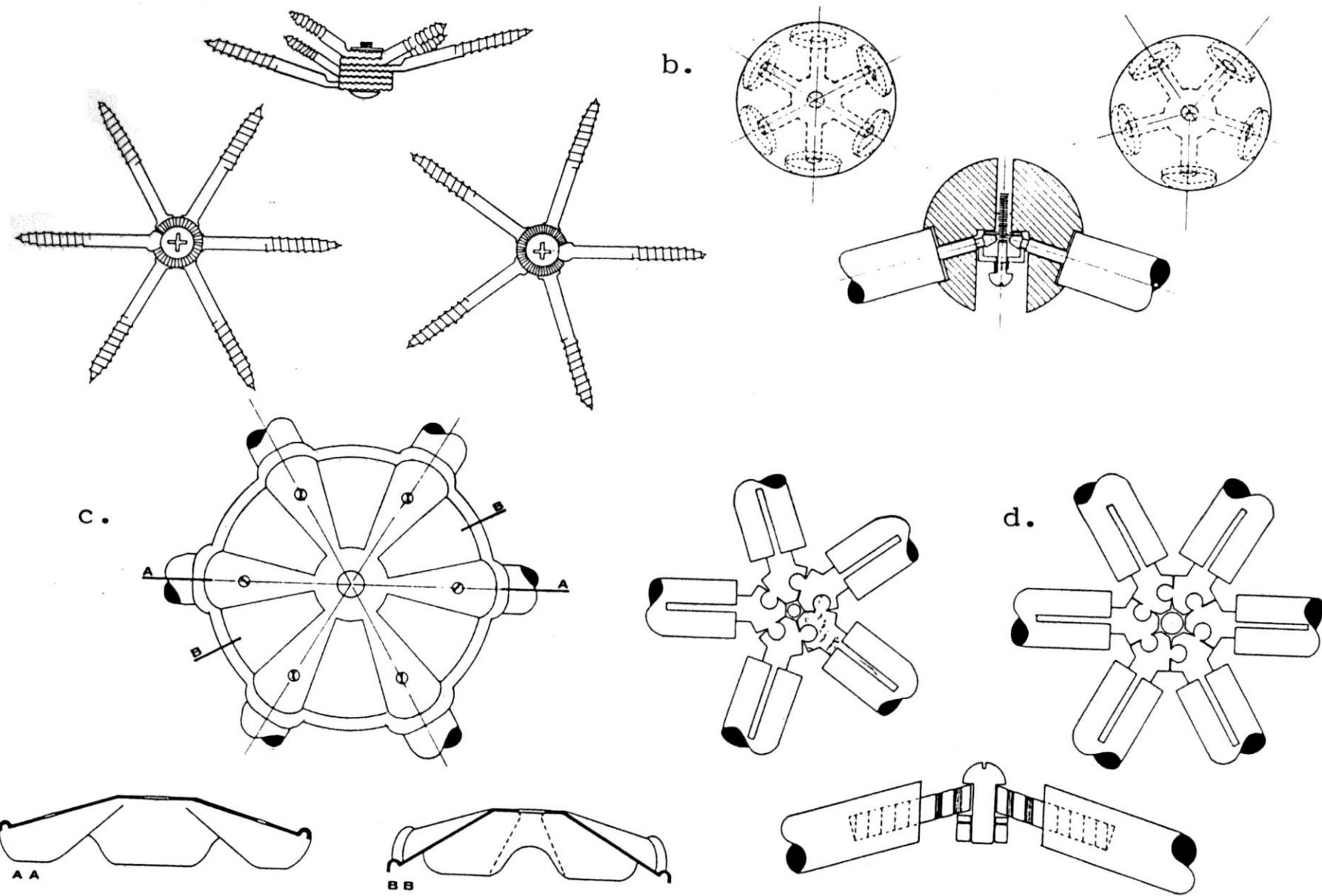
© Saxon Johns / UNSW-FBE 2001



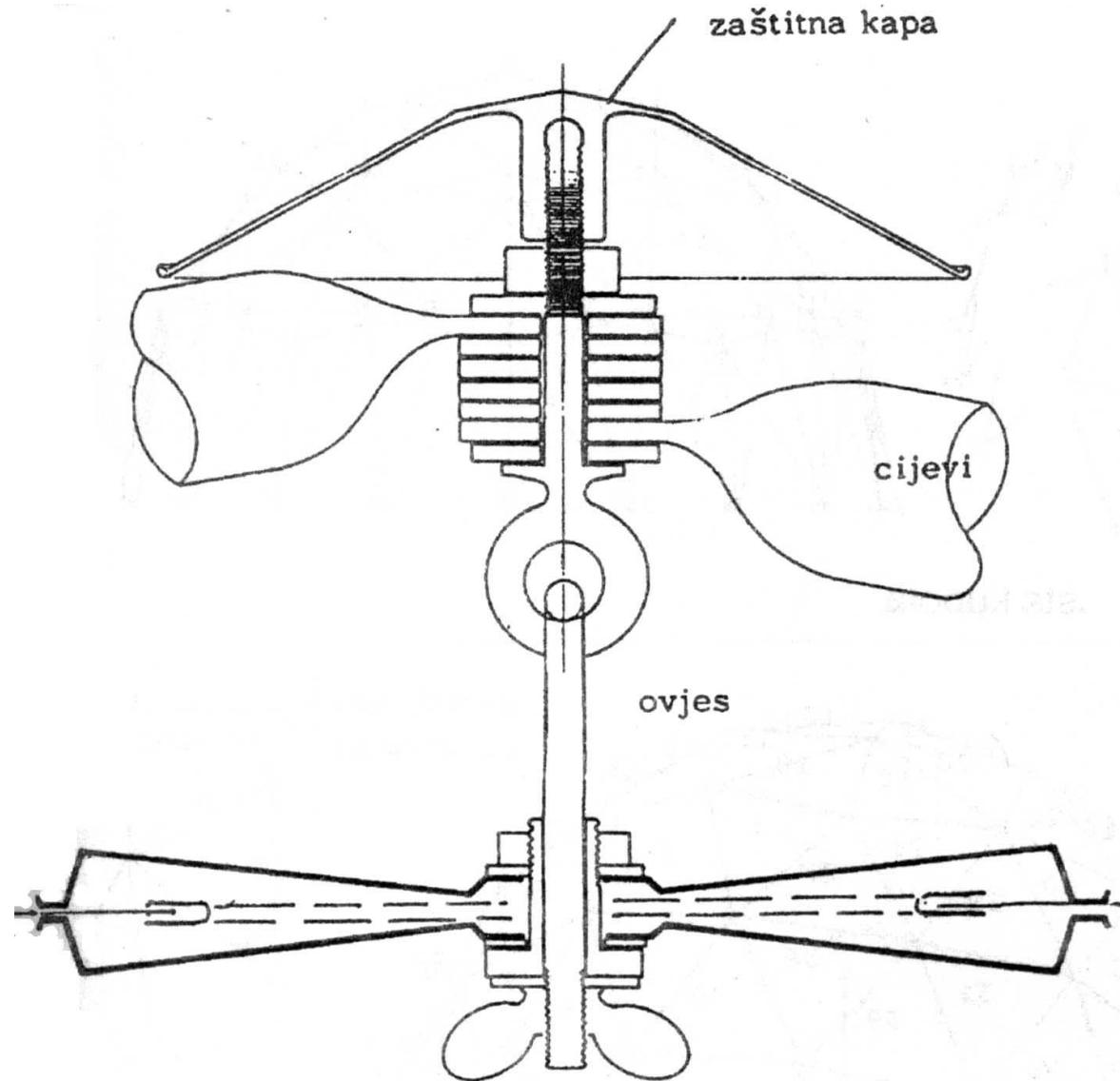
© Saxon Johns / UNSW-FBE 2001



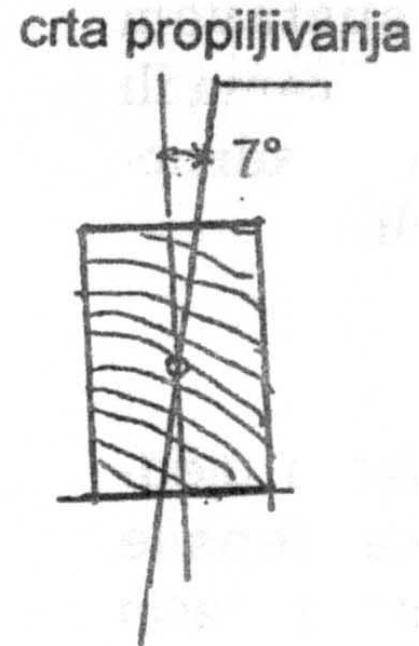
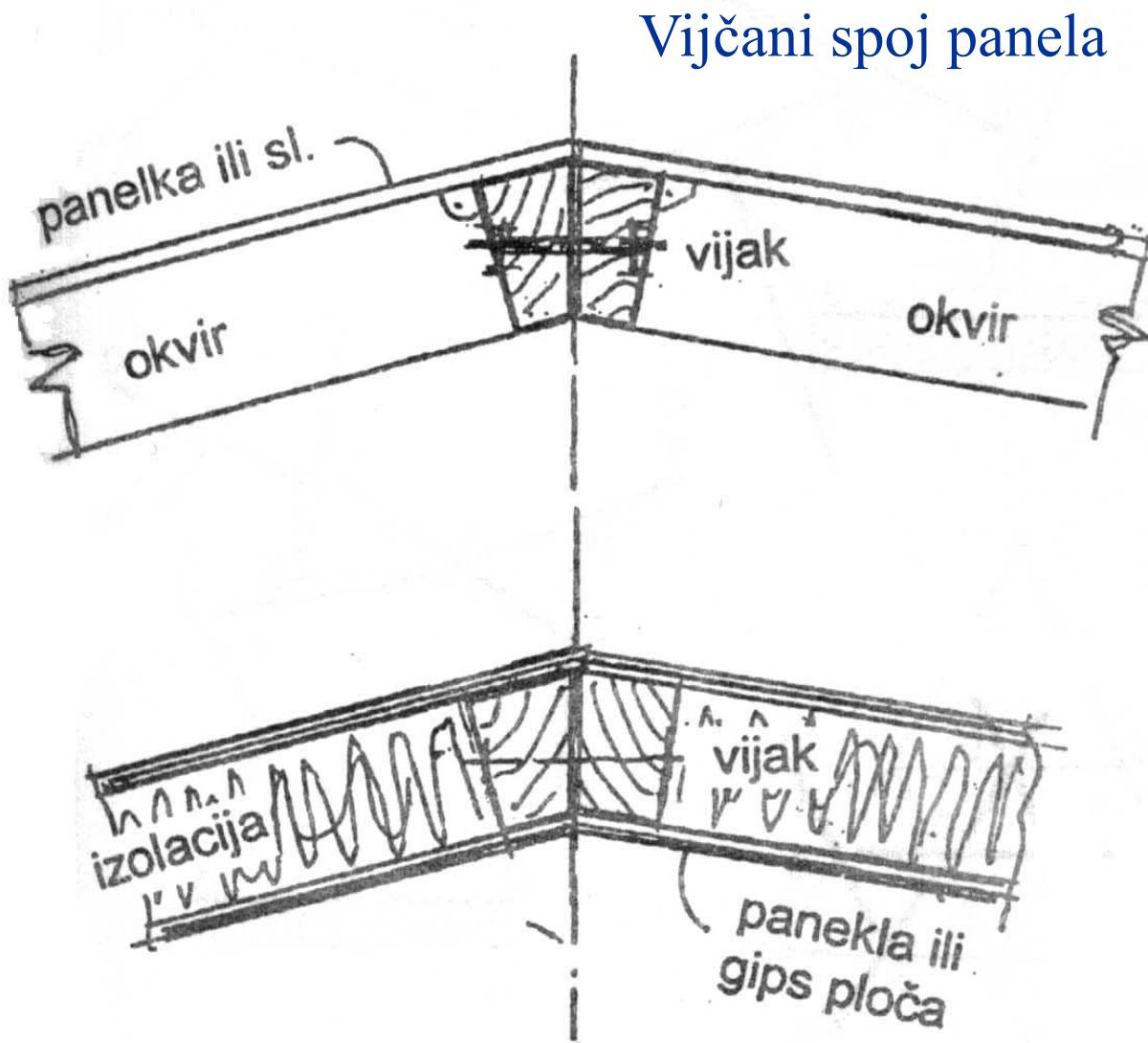
Detalj spoja metalnih štapova kupola manjih promjera



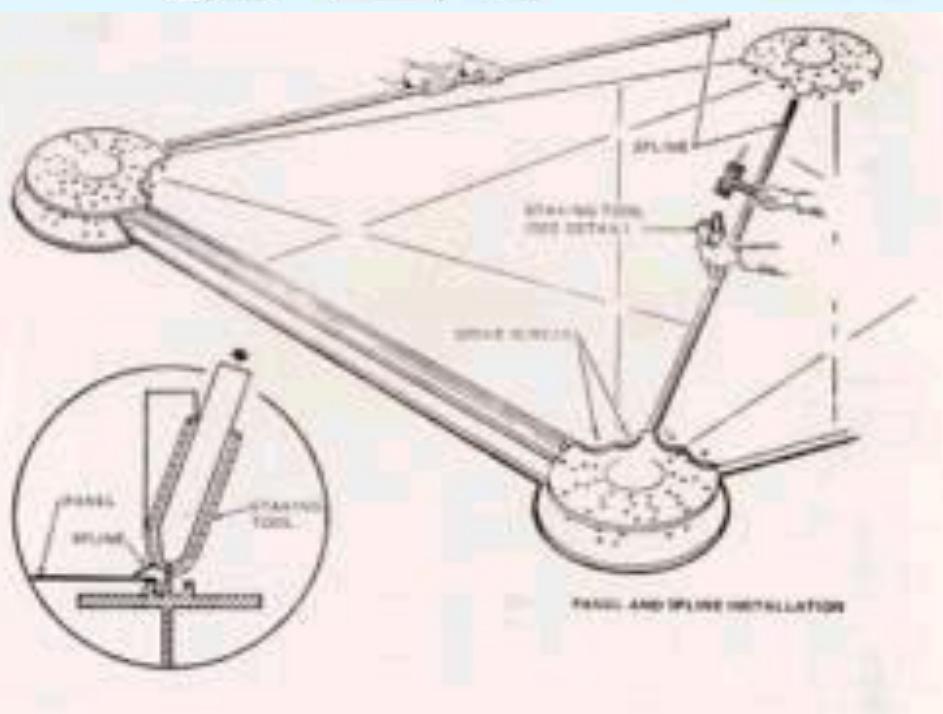
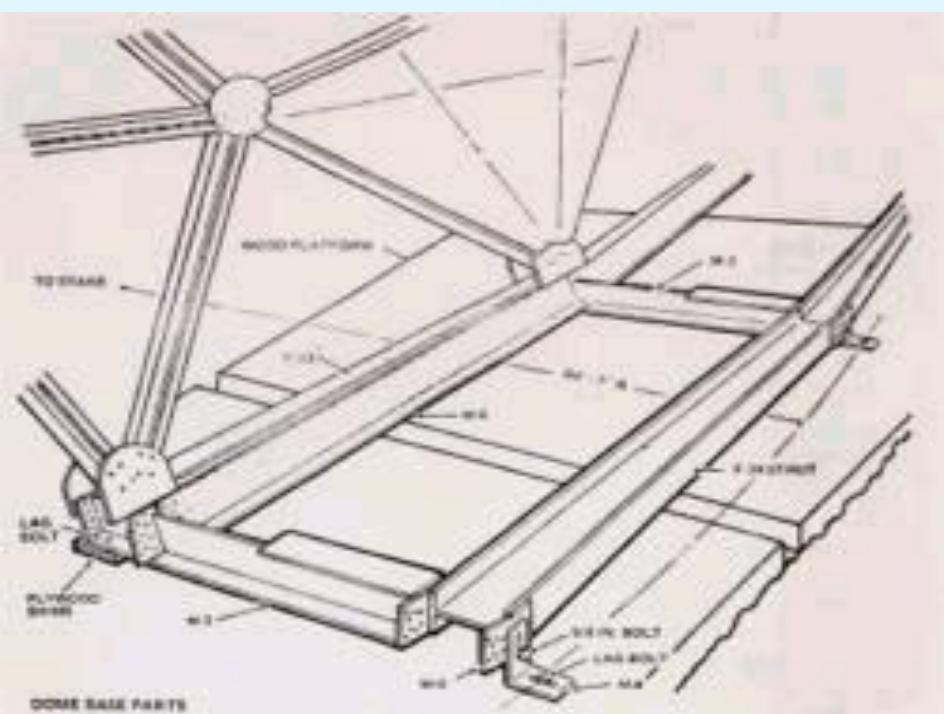
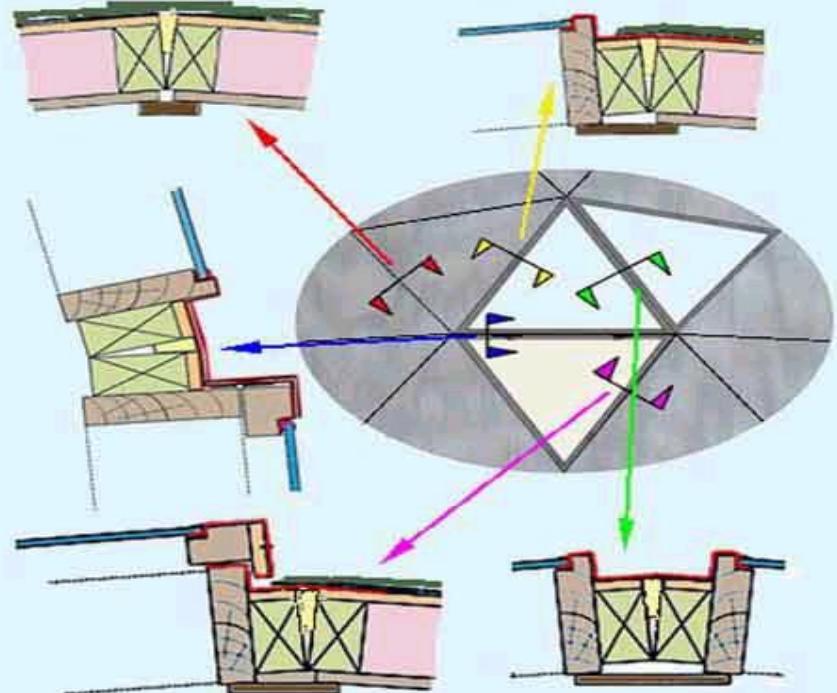
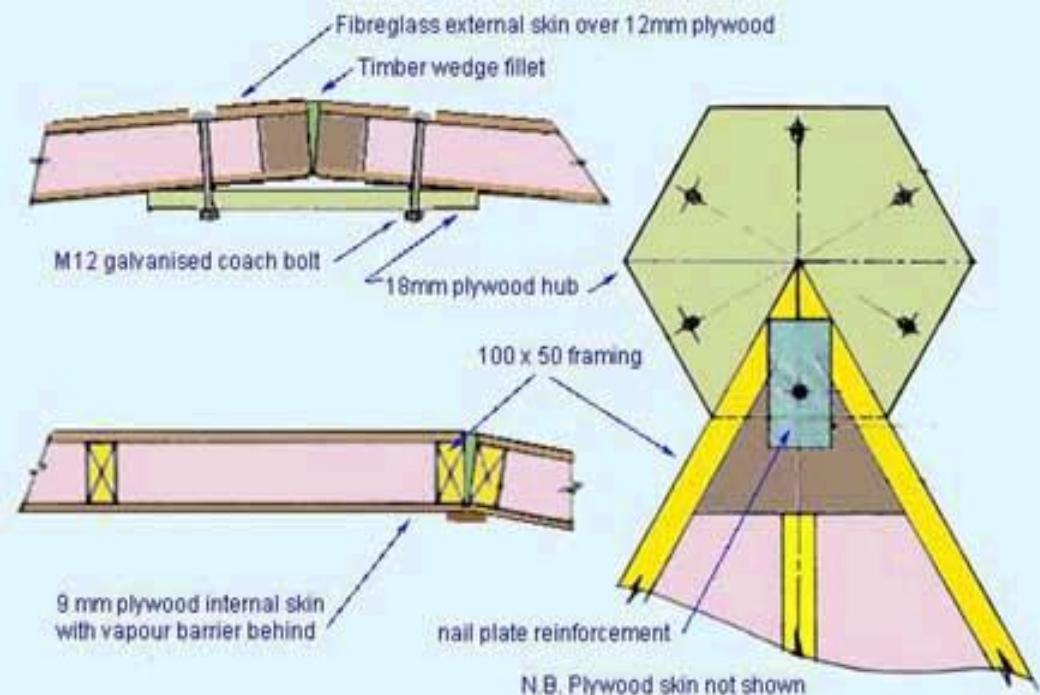
Detalj spoja metalnih štapova kupole s ovješenom trevirom



Detalj spoja drvenih panela geodetske kupole panelnog tipa

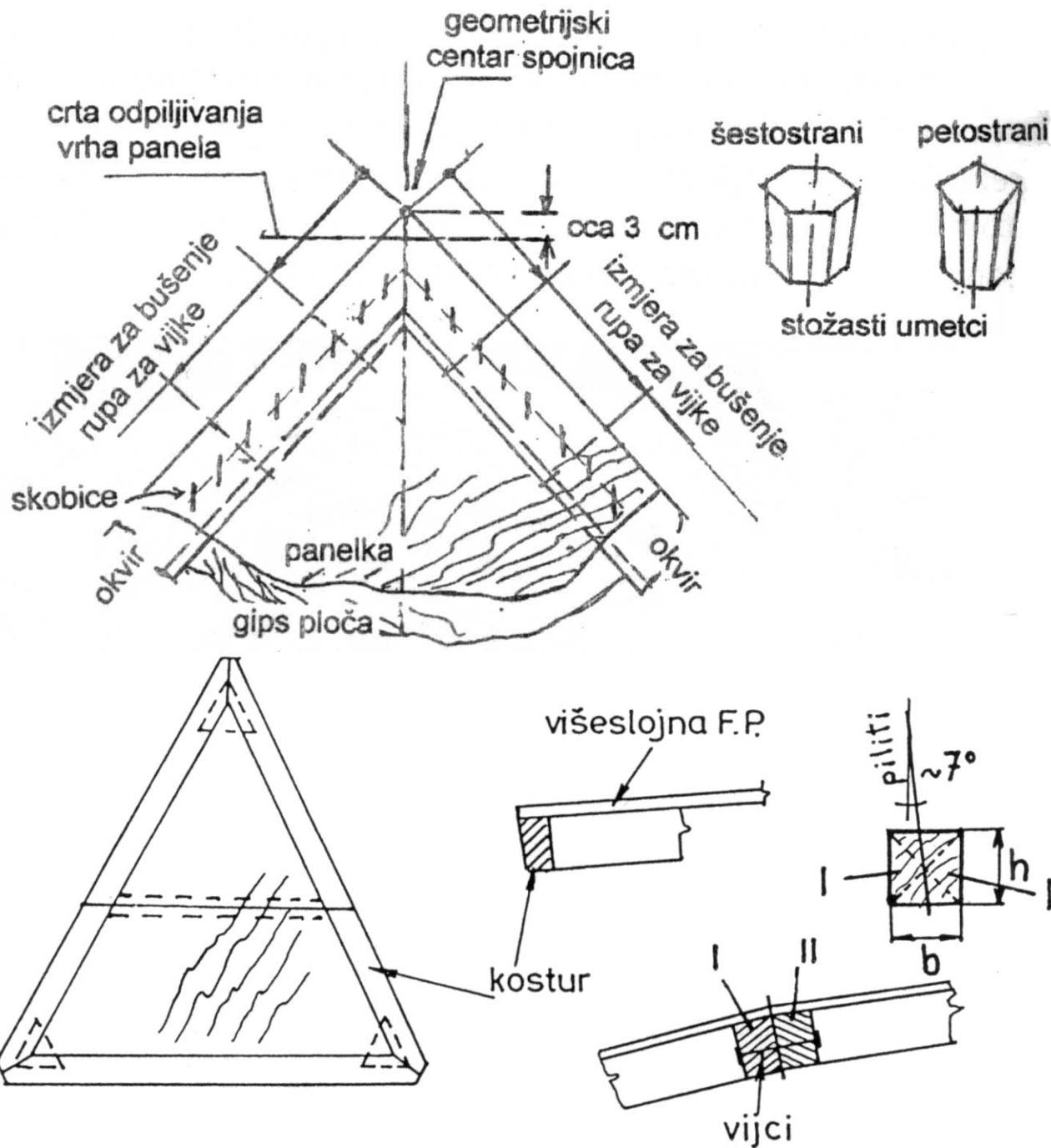


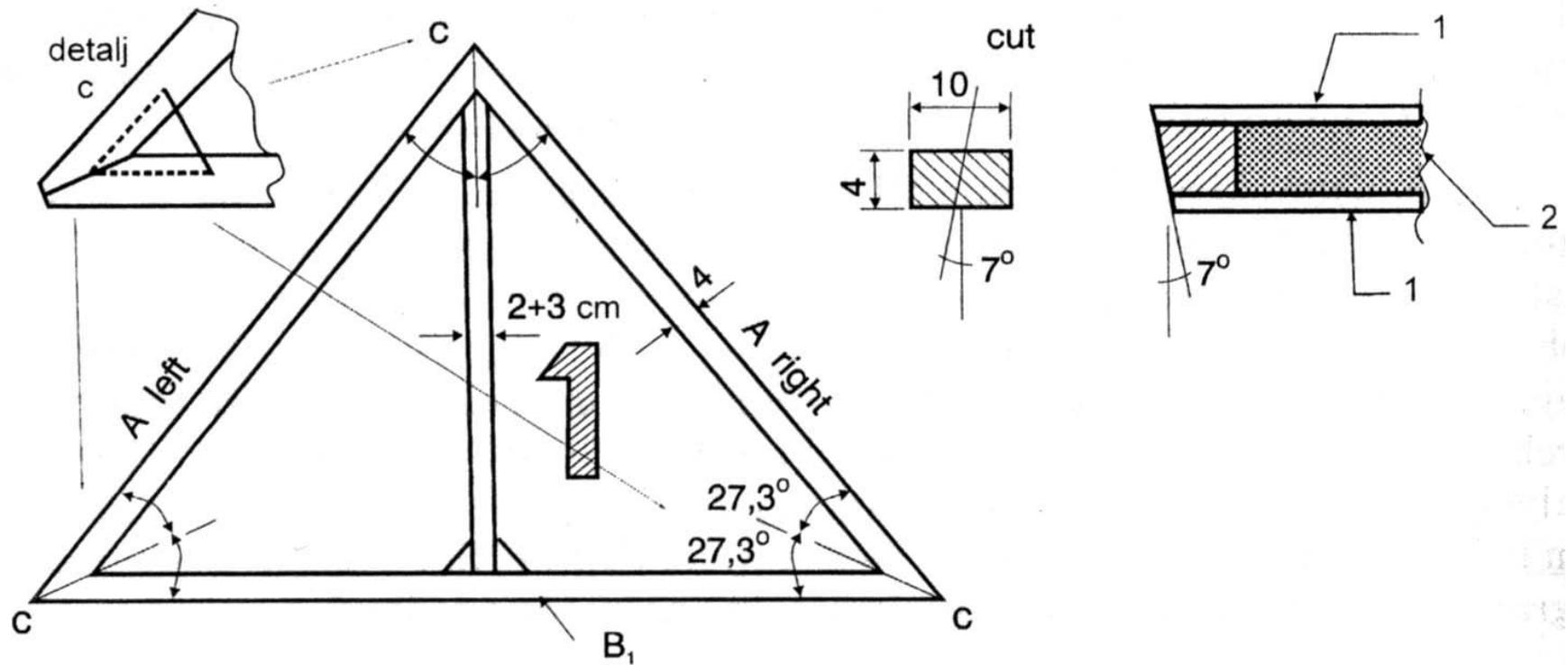
Raspiljavanje
gredice za
okvir panela



Otpiljivanjem vrha panela omogućava se prilagodba svih panela, odstranjuju se greške i netočnosti izvedbe.

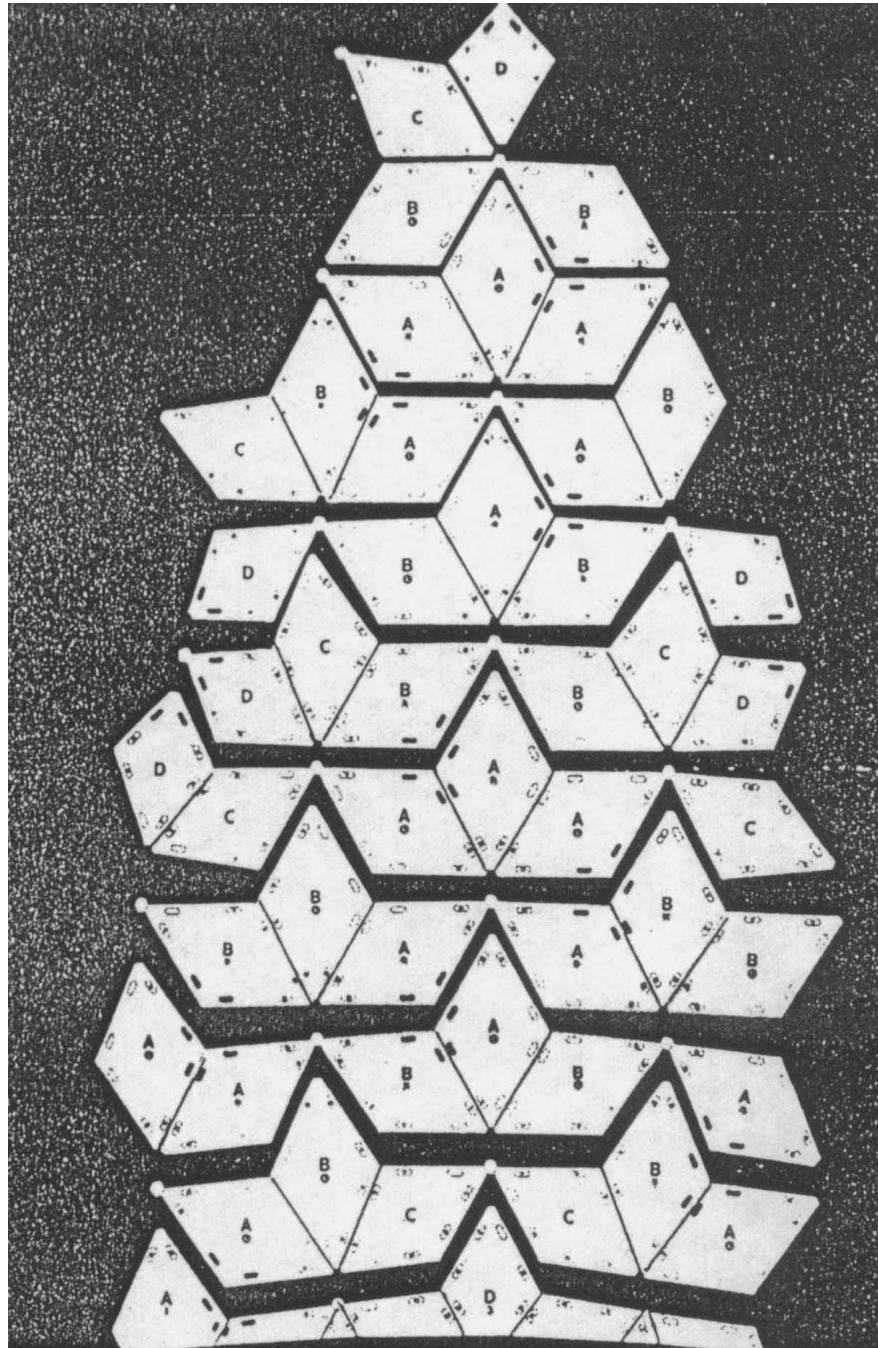
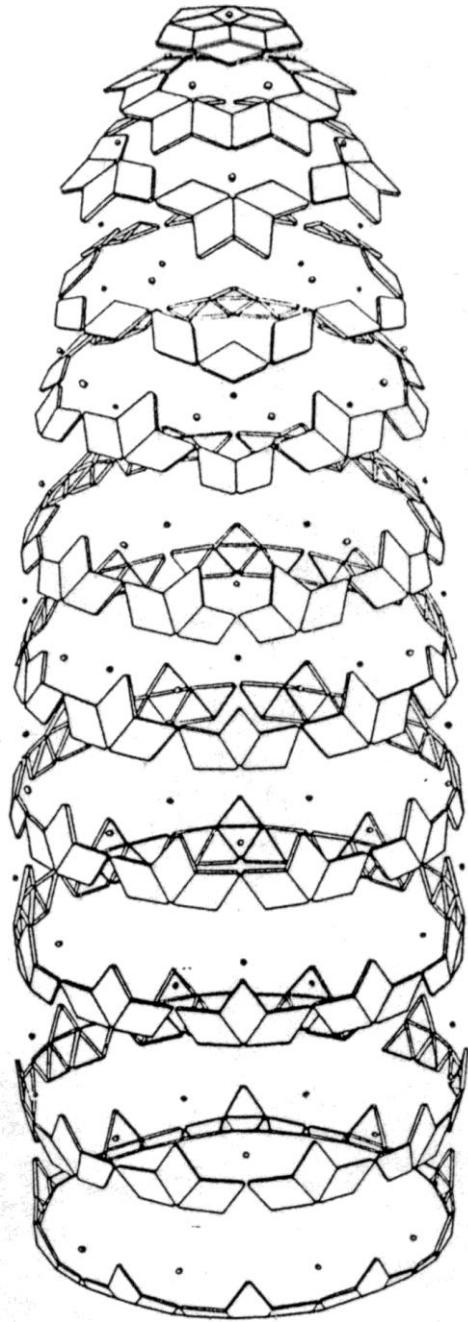
U (prethodno labavo vijcima spojene panele) utiskuje se konični drveni komad koji omogućava fiksiranje panela nakon čega se vijci pritežu



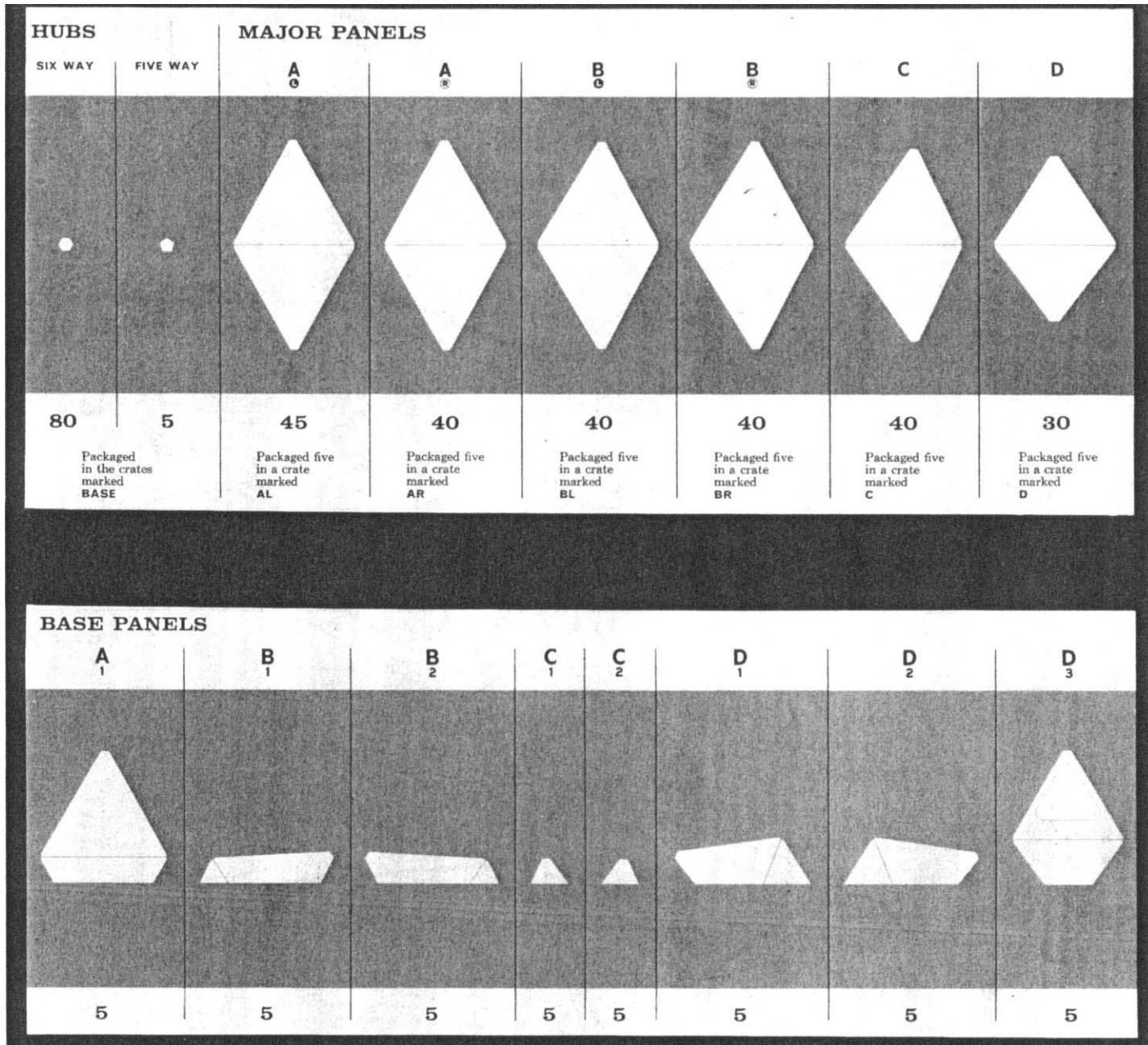


Prikaz osnovnog panela geodetske kupole za stambenu jedinicu

Panel je sastavljen od rubnih gredica (kruti okvir) i pokrovног panela (oplata - vodootporna panelka, iverica ili furnirska ploča)



Dio
montažnog
plana
geodetske
kupole
(panelni
elementi
kodirani
bojom i
brojem)



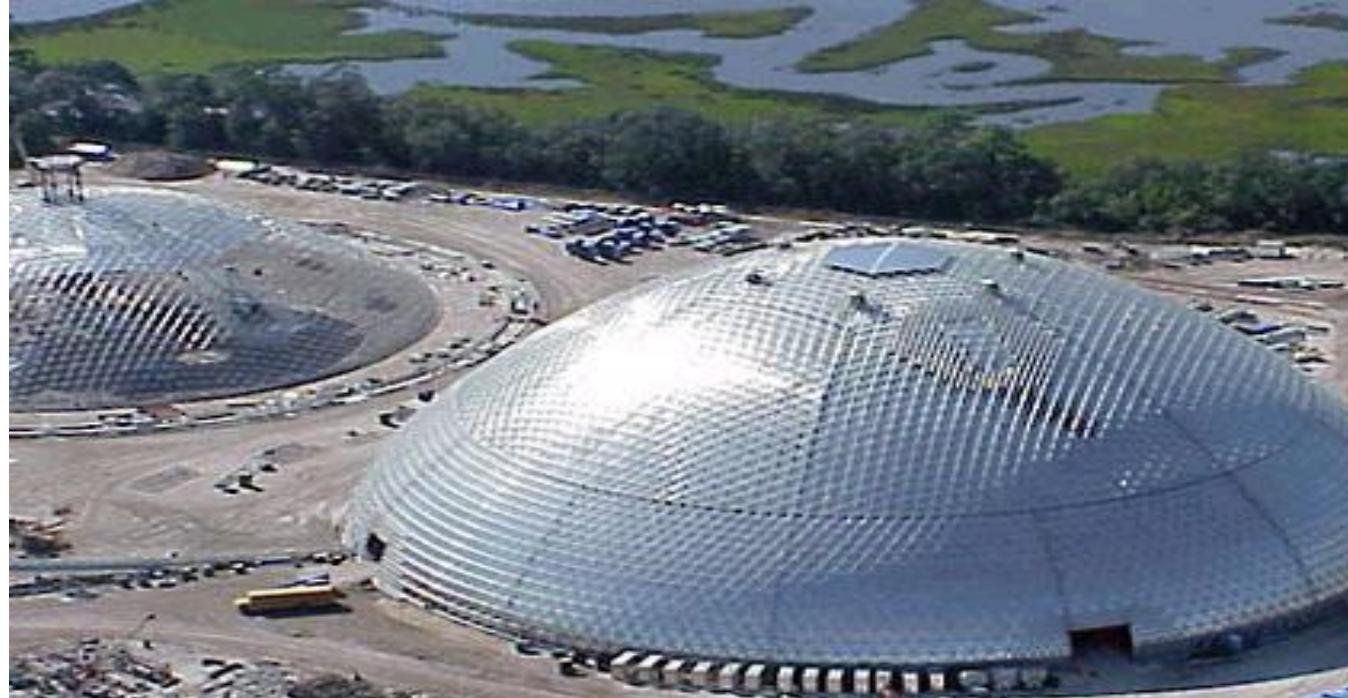
**Dio
montažnog
plana
geodetske
kupole
stambenog
objekta
(panelni
elementi
kodirani
bojom i
brojem)**

Primjena konstrukcija kupola

- industrijske hale - skladišta
- sportski objekti : bazeni, sportske dvorane, teniski tereni, klizališta ...
- obiteljske kuće
- osvijetljeni hodnici
- moderni poslovni centri
- izložbeni paviljoni (EXPO npr.)
- sakralni objekti

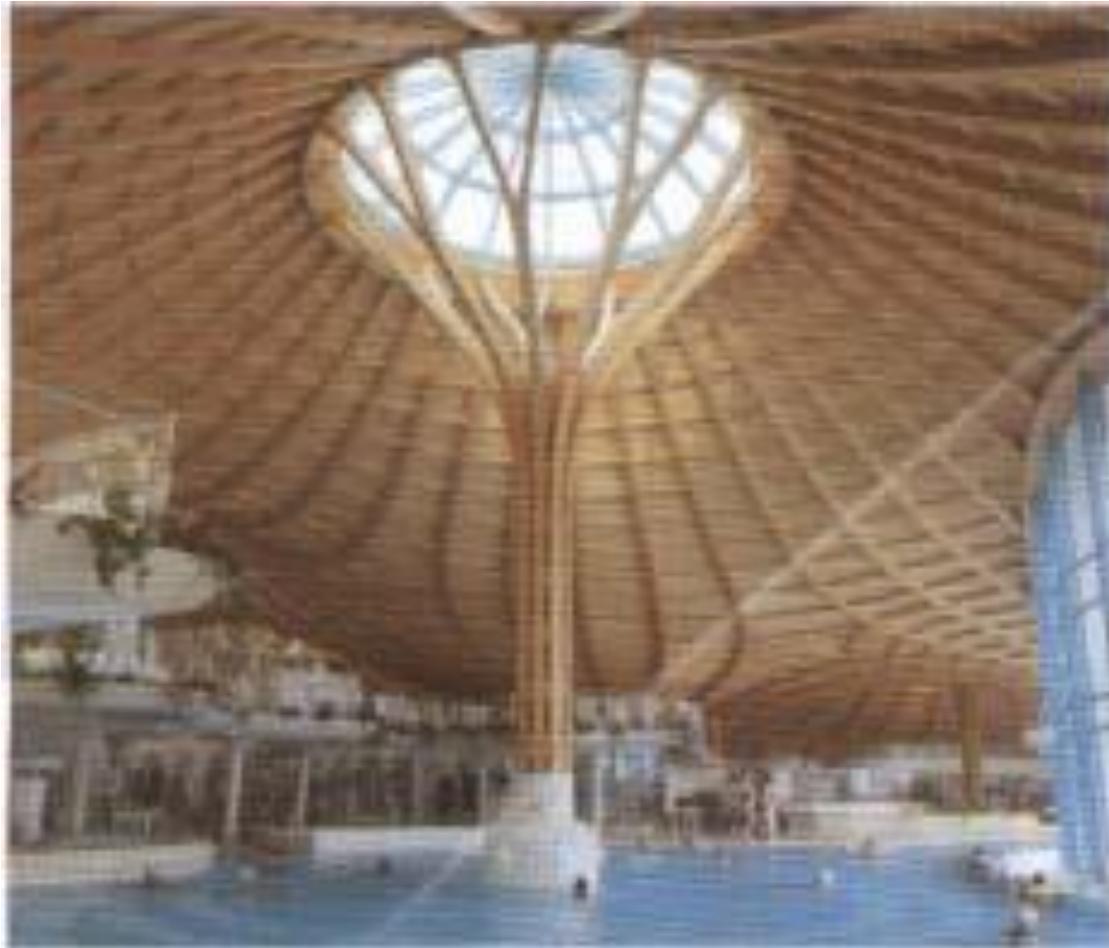
Primjeri industrijskih hala





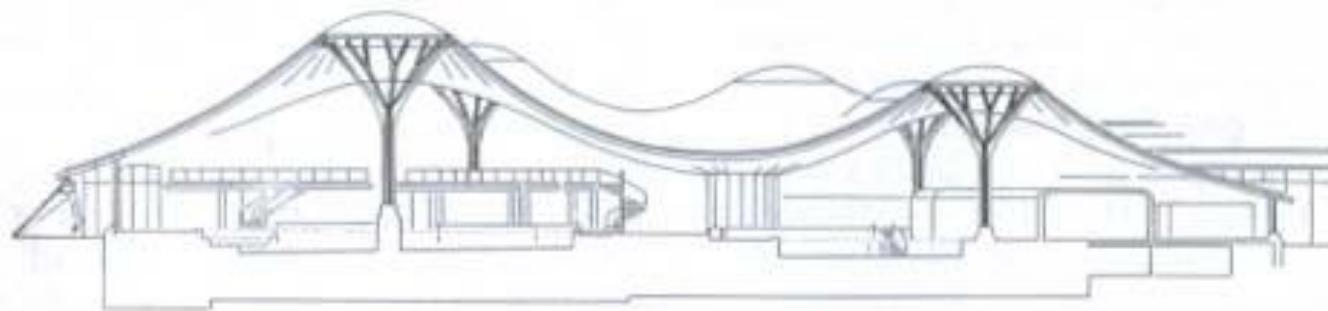
Sportski objekti

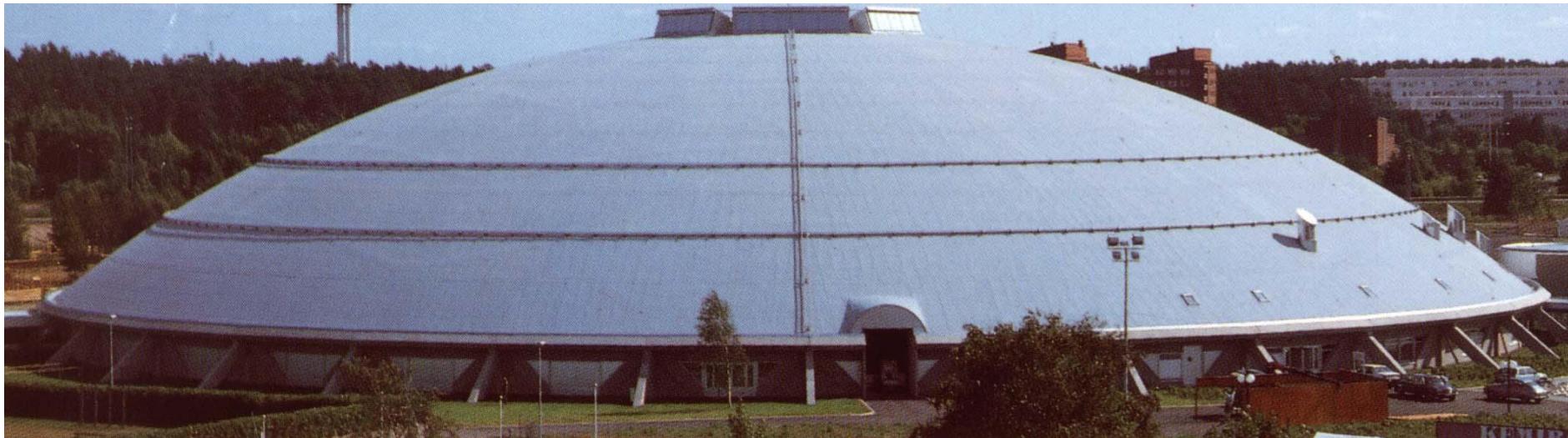




**Drvena konstrukcija
krovišta Solebad bazena
u Bad Durrheimu
(Njemačka)**

Pogled i konstrukcija





Sportska hala -
Oul (Finska)

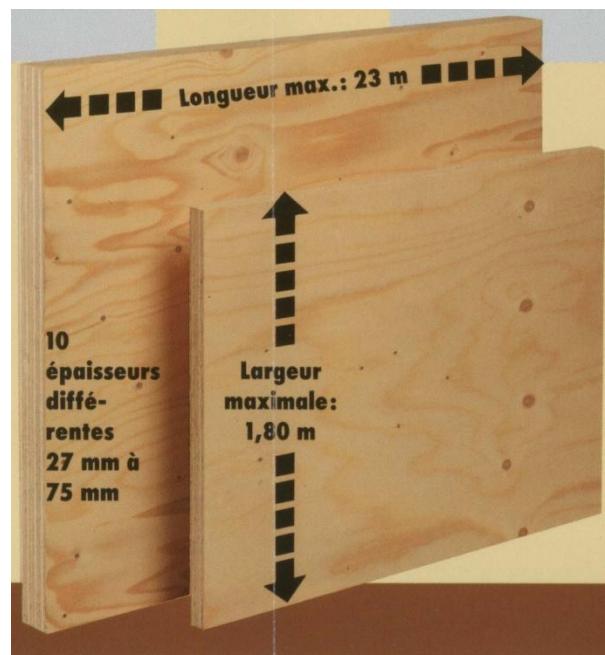
Materijal KERTO-LVL

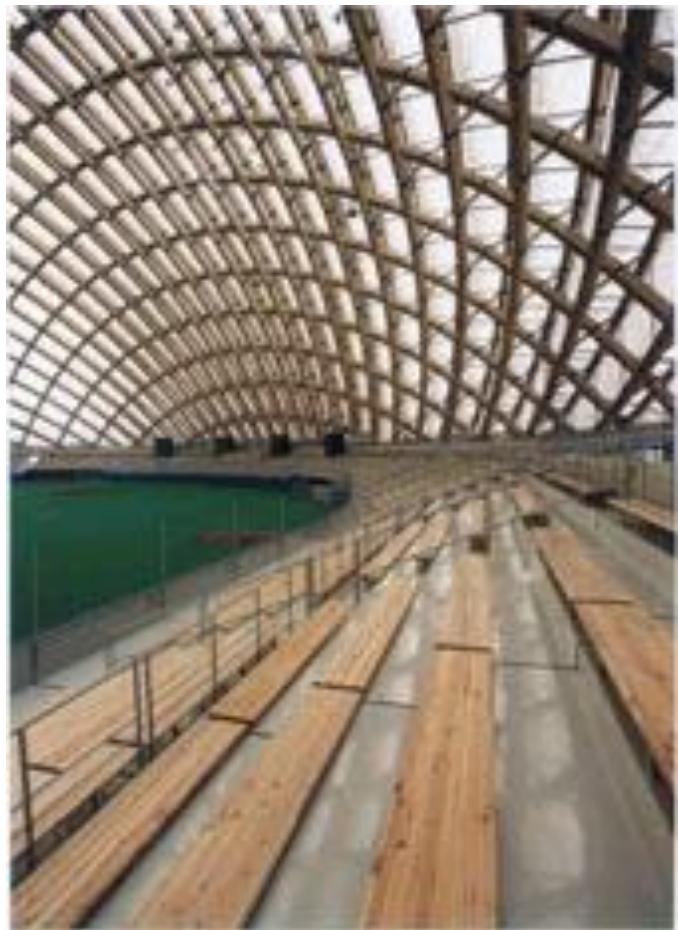




Sportska hala - Oul (Finska)

Materijal KERTO-LVL

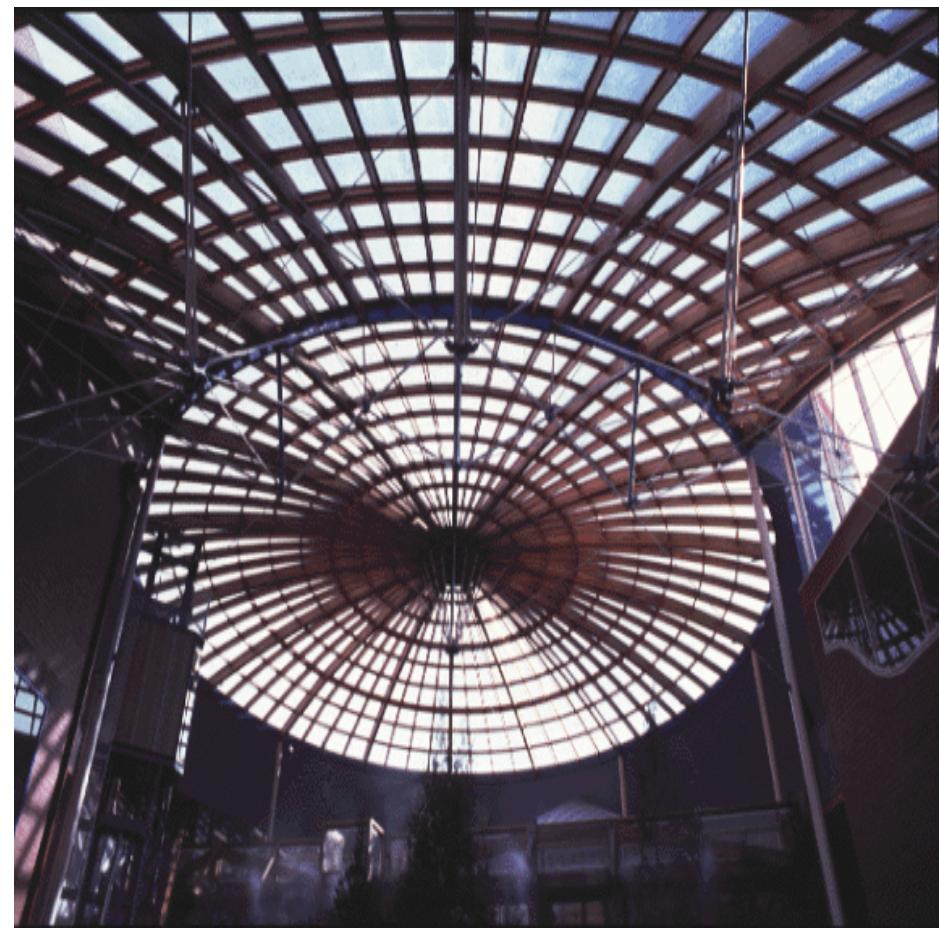


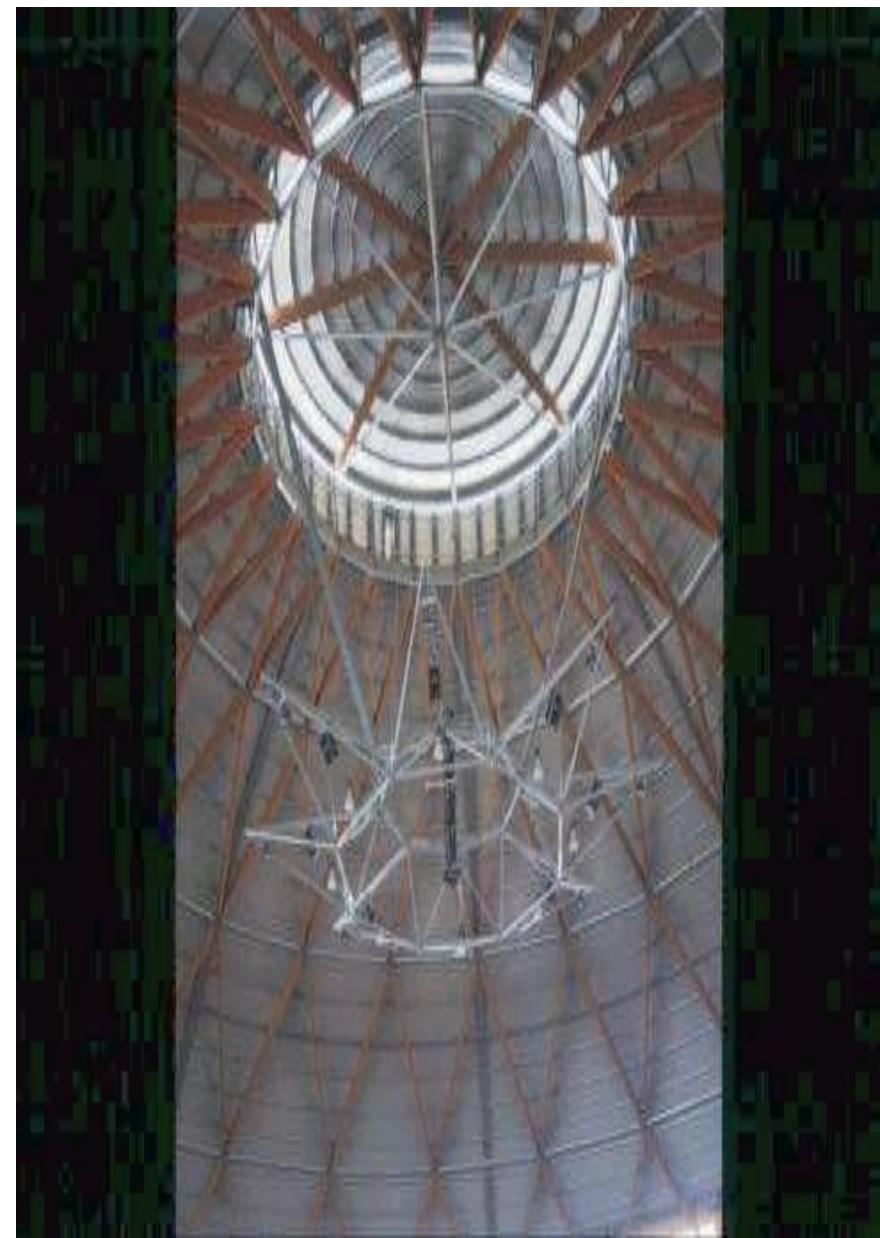


Obiteljske kuće

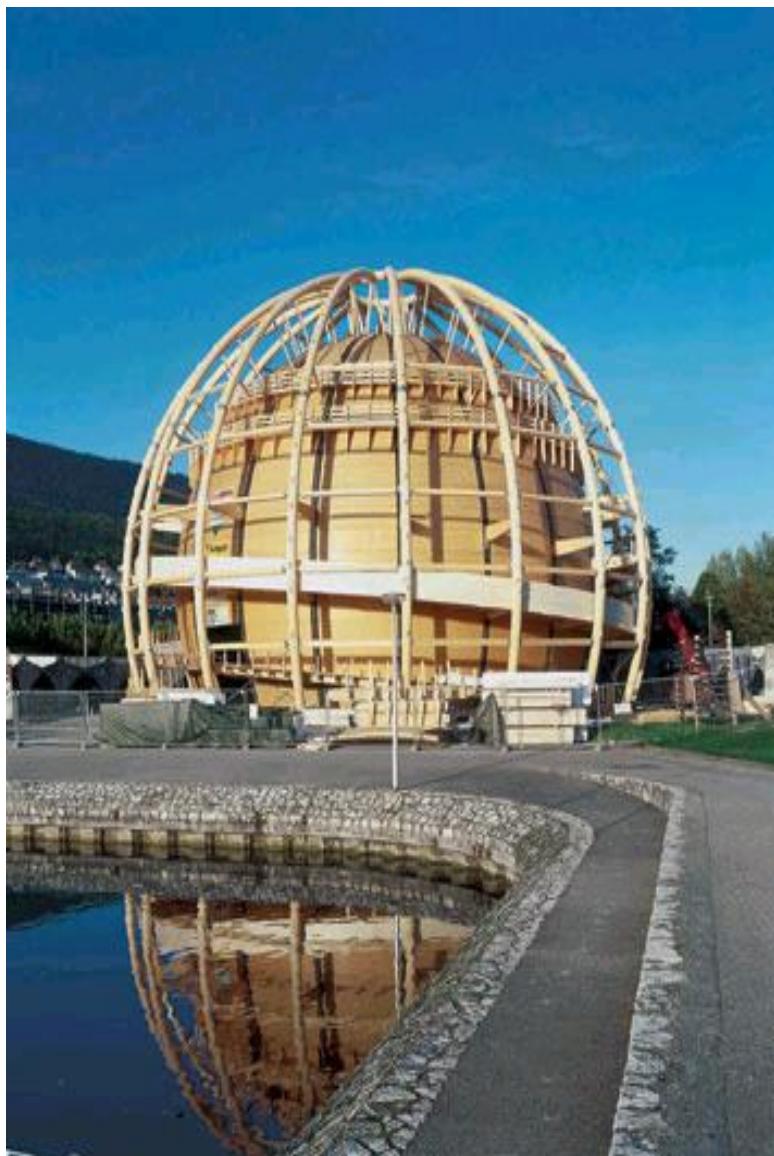
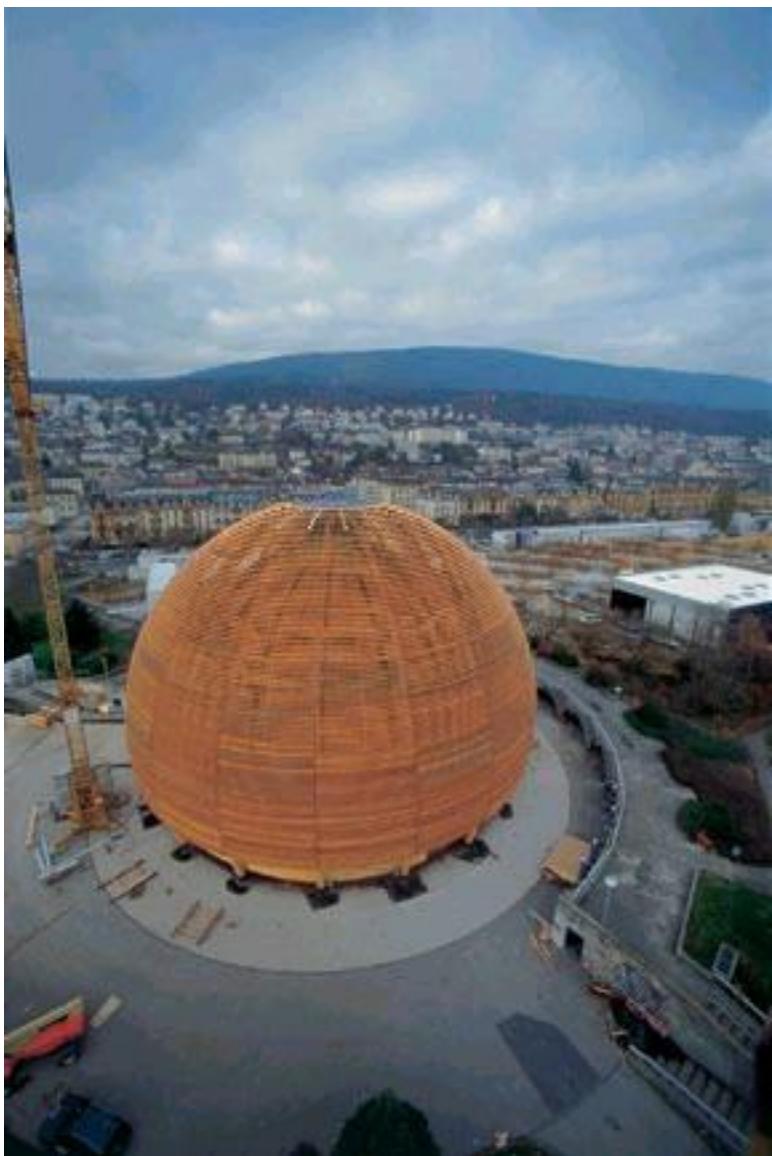


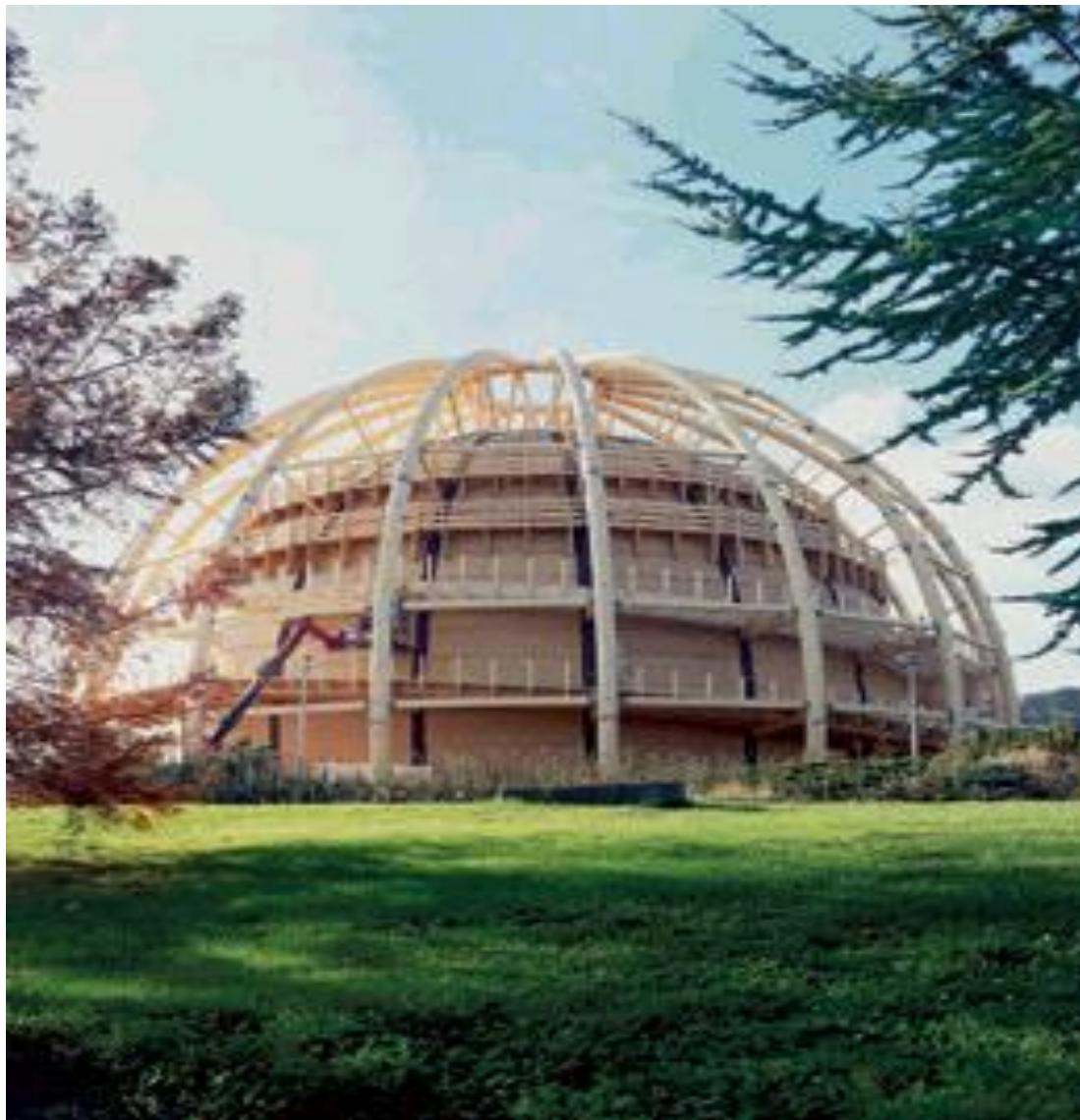
Osvijetljeni hodnici





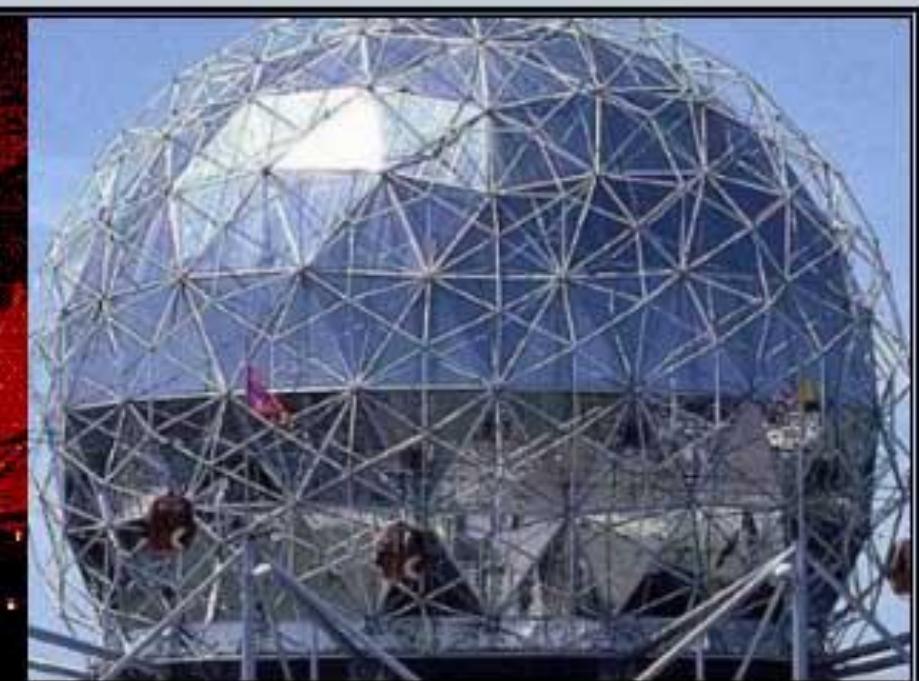
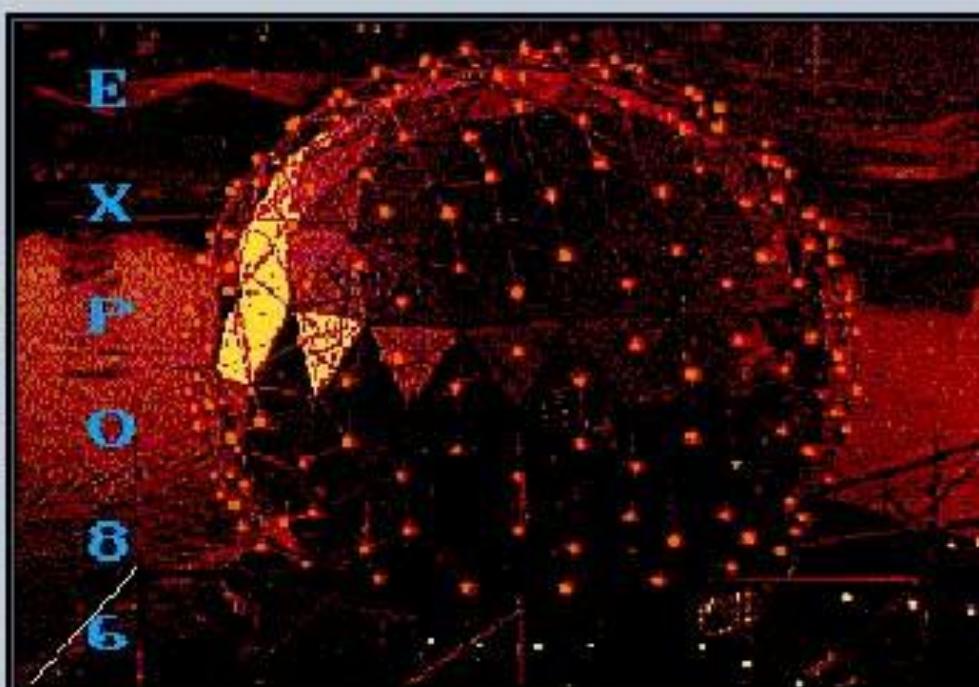
Izložbeni paviljoni EXPO



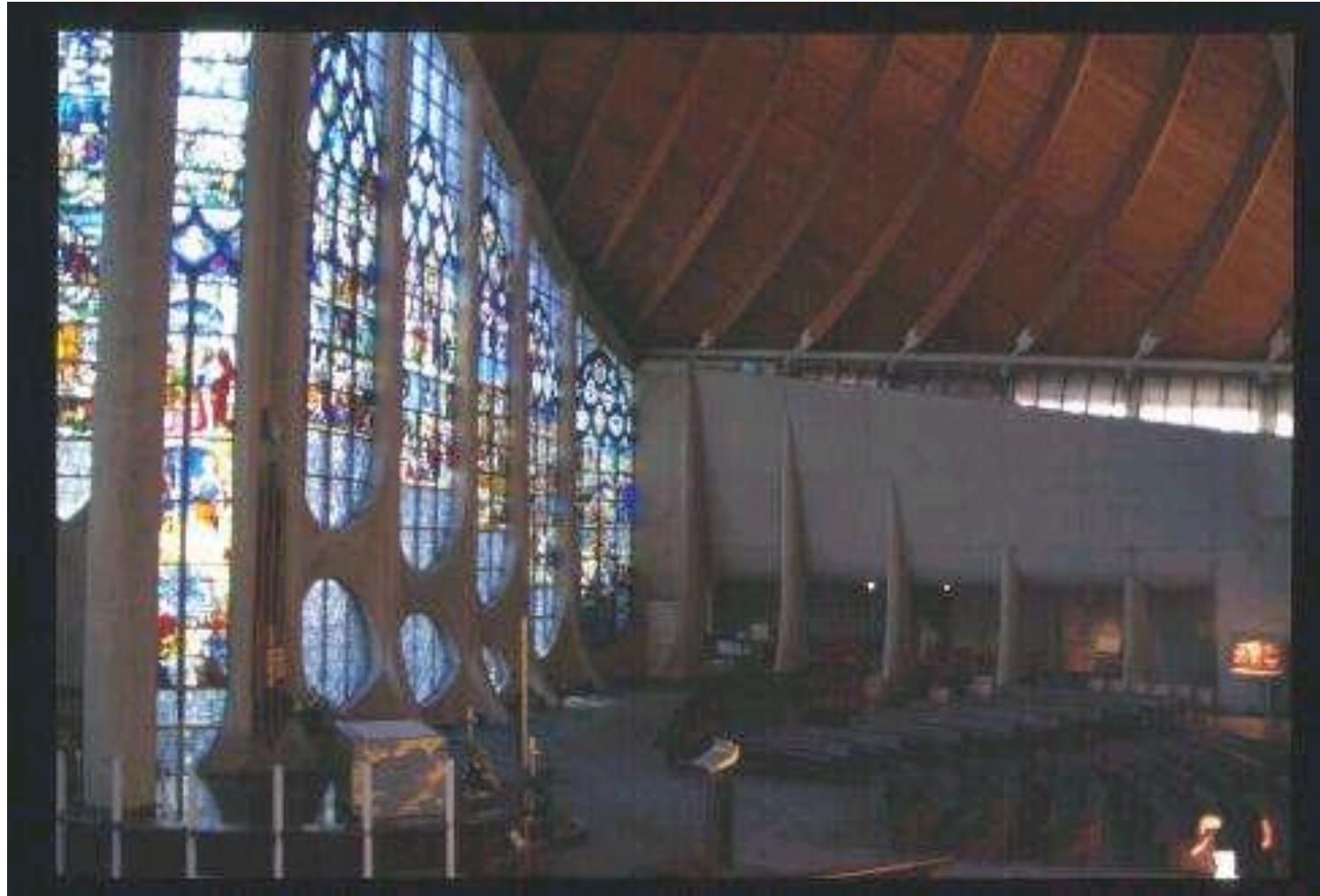


Izložbeni paviljon USA - Buckminster Fuller

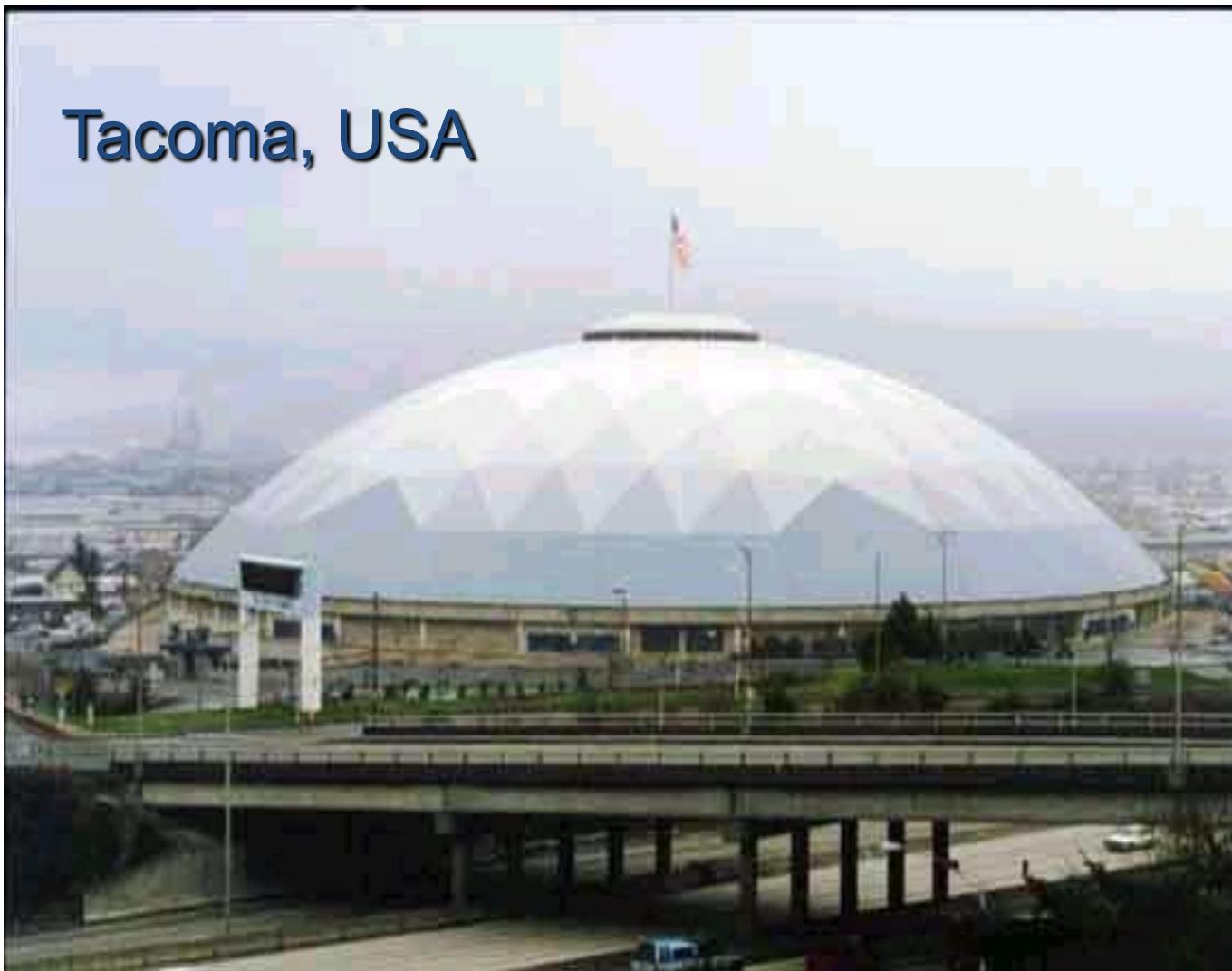
EXPO '86 DOME



Sakralni objekt



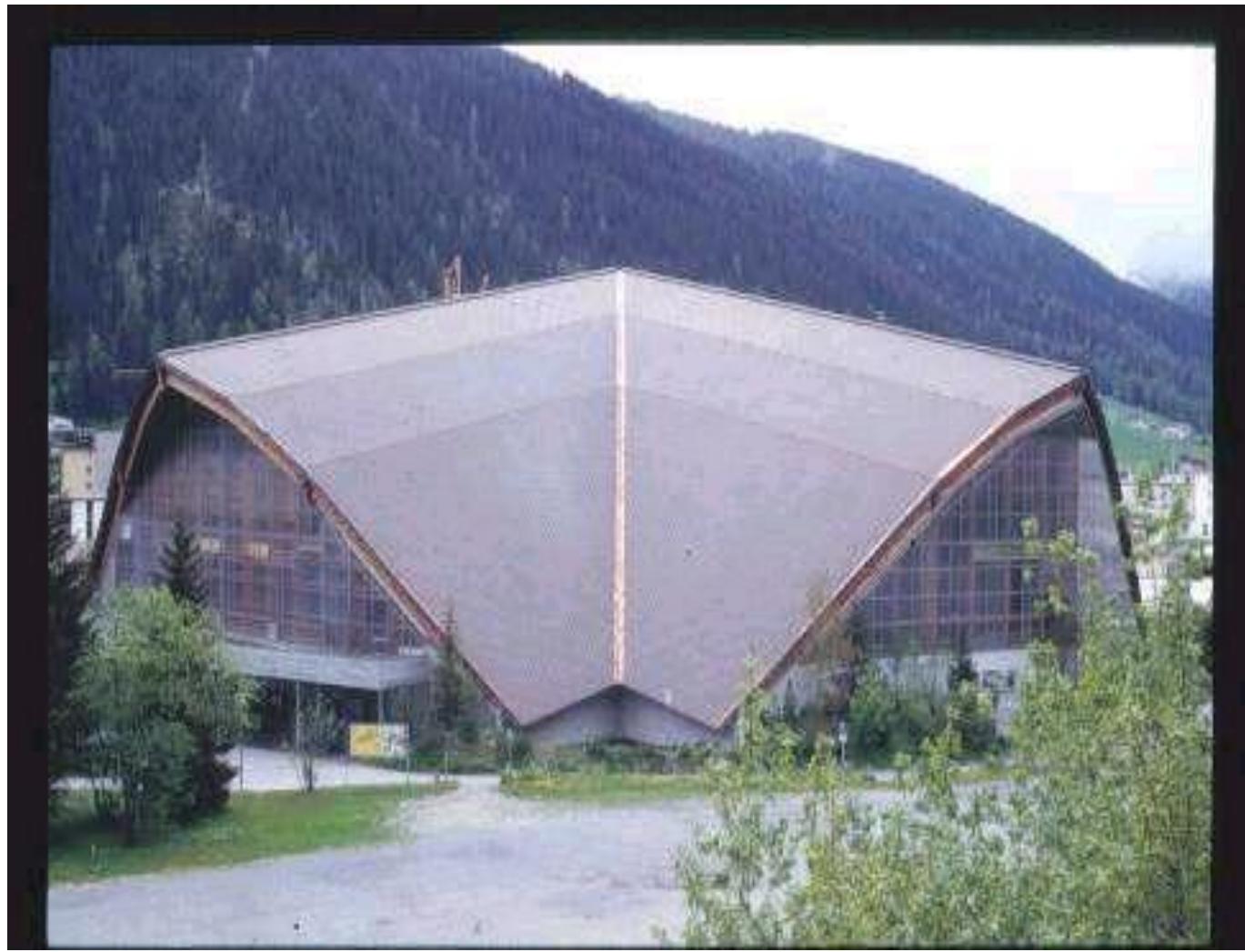
Ostali objekti



“Plywood dome” - prema ideji B. Fullera





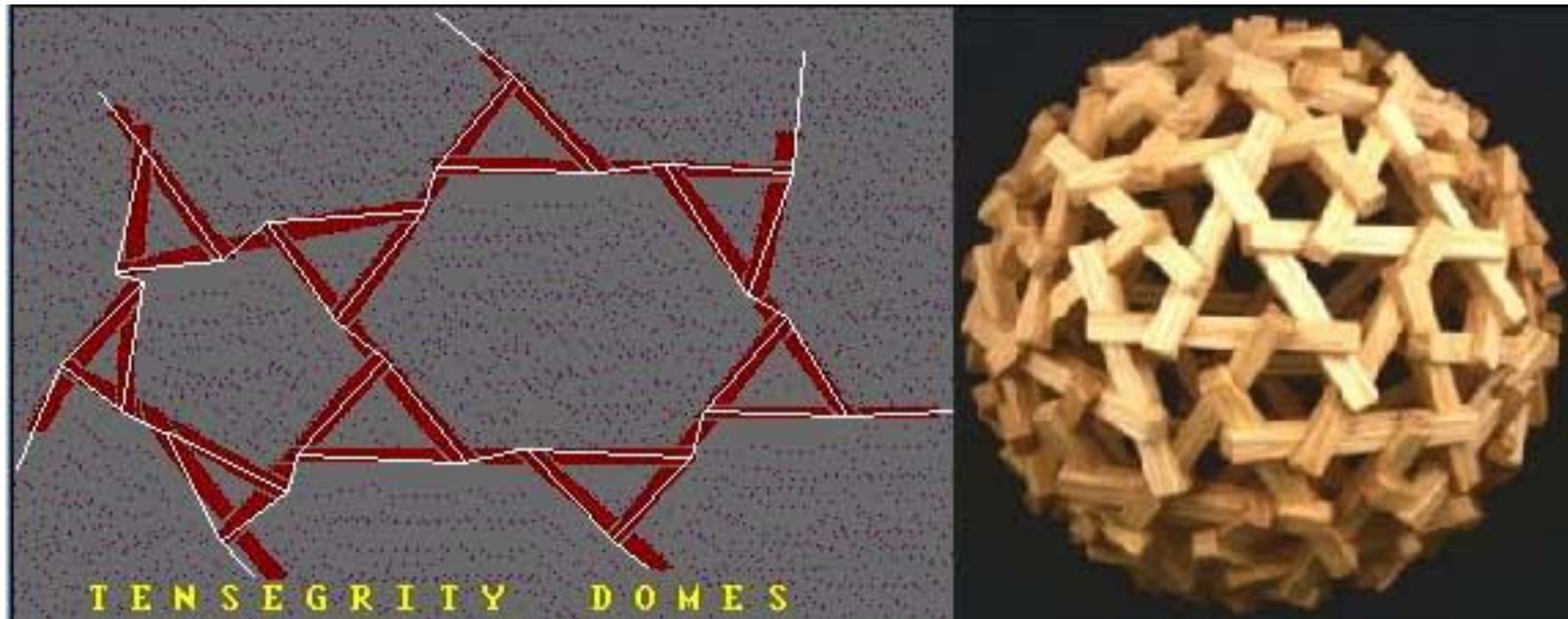


TENSEGRITY KONSTRUKCIJE - OSNOVE

- Integrirani sustavi diskontinuirano raspoređenih tlačnih i vlačnih elemenata - način raspodjele sila u štapovima međusobno razlikuje pojedine grupe tensegrity konstrukcija
- U širem smislu tensegrity konstrukcijama pripadaju sve grupe sinergetskih, membranskih i na zrak oslonjenih (pneumatskih) struktura kao i geodetskih kupola
- U užem smislu dijele se na podgrupe
 - **Tensegrity kupola** - svi elementi strukture mogu preuzeti i tlačna i vlačna djelovanja (niz potpodjela prema geometrijskoj formi jediničnih elemenata - tetrahedar, oktahedar, ikosahedar...)
 - **Ulralaganih (nesimetričnih) tensegrity konstrukcija** - tlačni elementi imaju homogen presjek, a vlačni su elementi (često prednapeti) iz kablova ili žica koji i ne mogu preuzet tlak

TENSEGRITY KUPOLE

- Klasični proračuni - neprimjenjivi
- Nelinearna analiza tensegrity konstrukcija - ponašanje materijala i sila u vremenu
- Simulacija umjesto proračuna
- Laboratorijski pokusi - ispitivanje nosivosti

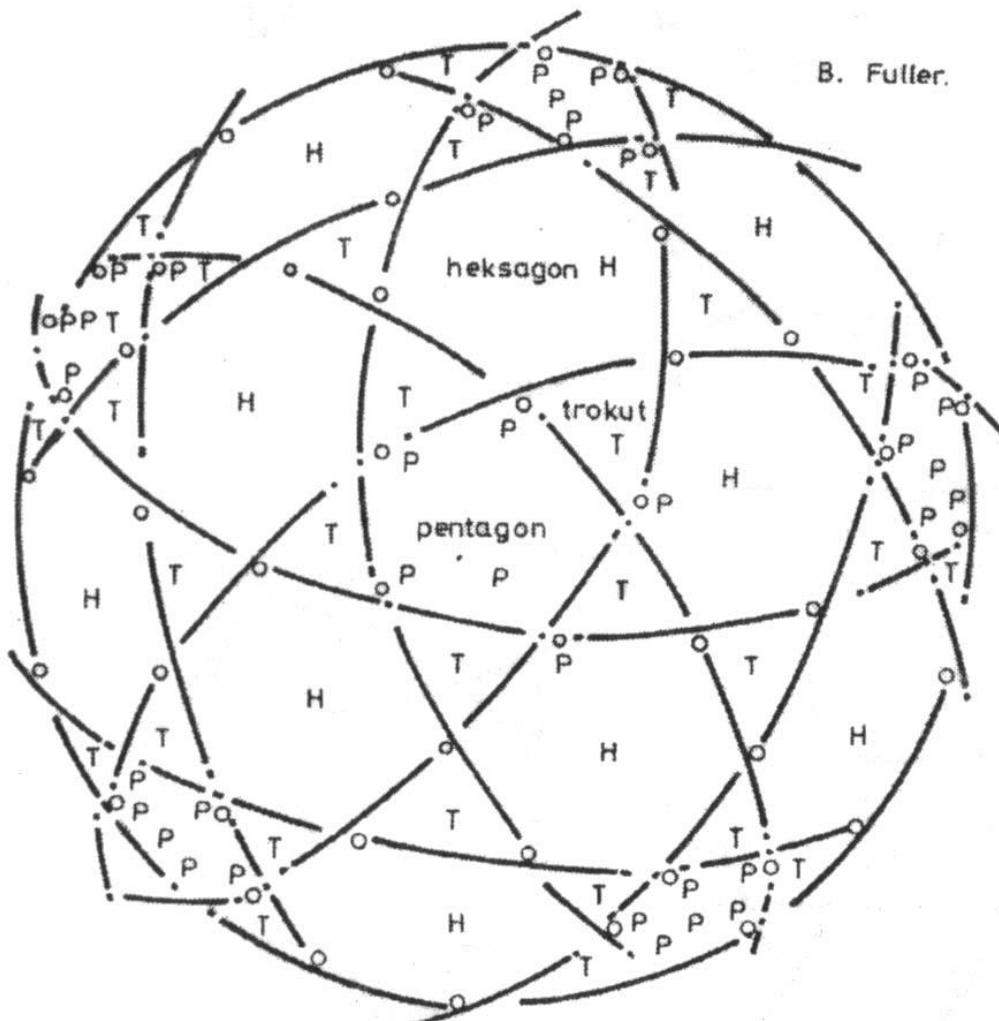


D
O
M
E
S

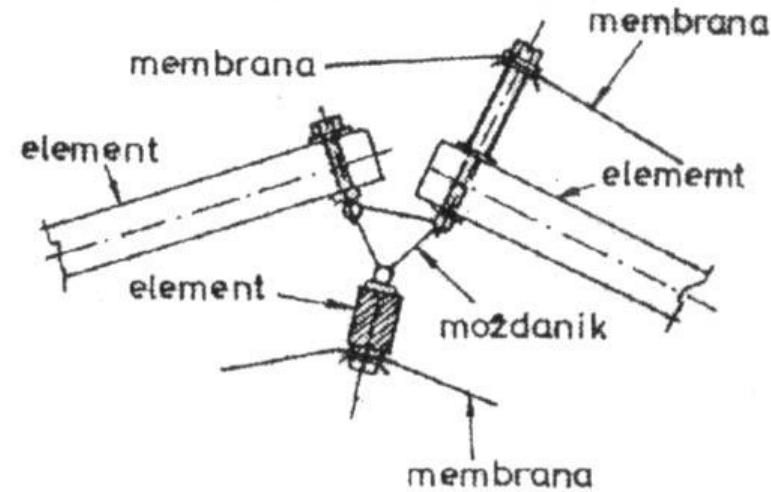


TENSEGRITY KUPOLE

- Nema izrazito naglašenog načela razdvajanja vlaka i tlaka



Elementi u čvoru povezani posebnim vezama



S unutrašnje strane moguć ovjes fleksibilne membrane (trevira, diolen)