

HI
HERING



IZRAČUN OPLATE I SKELE ZA ARMIRANOBETONSKU KUPOLU SPORTSKE DVORANE VIŠNJIK U ZADRU

Prof dr. sc. Alen Harapin, dipl. ing. građ

Sveučilište u Splitu, Građevinski i arhitektonski fakultet

Doc.dr.sc. Dragan Ćubela, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet

Mr.sc.Ladislav Bevanda, dipl.ing. građ.,

Mario Jurišić, dipl.ing.građ.

HERING d.d. Široki Brijeg

Ivo Rako, dipl.ing. građ., Goran Miloloža, dipl.ing.građ.,

Danijela Dujlović, dipl.ing.građ.

LAVČEVIĆ-inženjering d.o.o

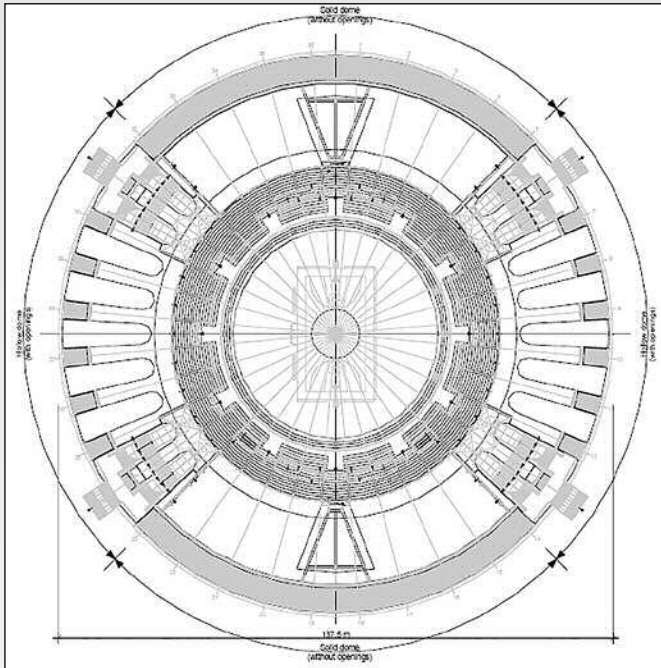
Sažetak

U radu se ukratko opisuje izračun oplata i skele za armiranobetonsku kupolu sportske dvorane Višnjik u Zadru. Veličina i složenost strukture zahtijeva kontrolu svih kritičnih elemenata oplata i skele u svim fazama izgradnje koje se uspostavljaju kroz tehnologiju građenja. Štoviše, veličina projekta i relativno dugo razdoblje izgradnje diktiraju dodatnu analizu djelovanja opterećenja na oplatu i skelu tijekom izgradnje.

Ključne riječi: betonska kupola, oplata i skela, izračun oplata i skele, opterećenja na oplatu i skelu

Uvod

Sportska dvorana Višnjik u Zadru vjerojatno je najveća građevina koja se trenutno gradi u Hrvatskoj. Na slikama 1, 2 i 3 prikazani su neki crteži s dimenzijama ove zgrade, kao i kompjuterska vizualizacija završenog projekta. Također se može naznačiti da će gotova građevina biti izrađena od 14.000 m³ betona i 1.400 t armature, kao i 60.000 m³ skele i 20.000 m² oplata.



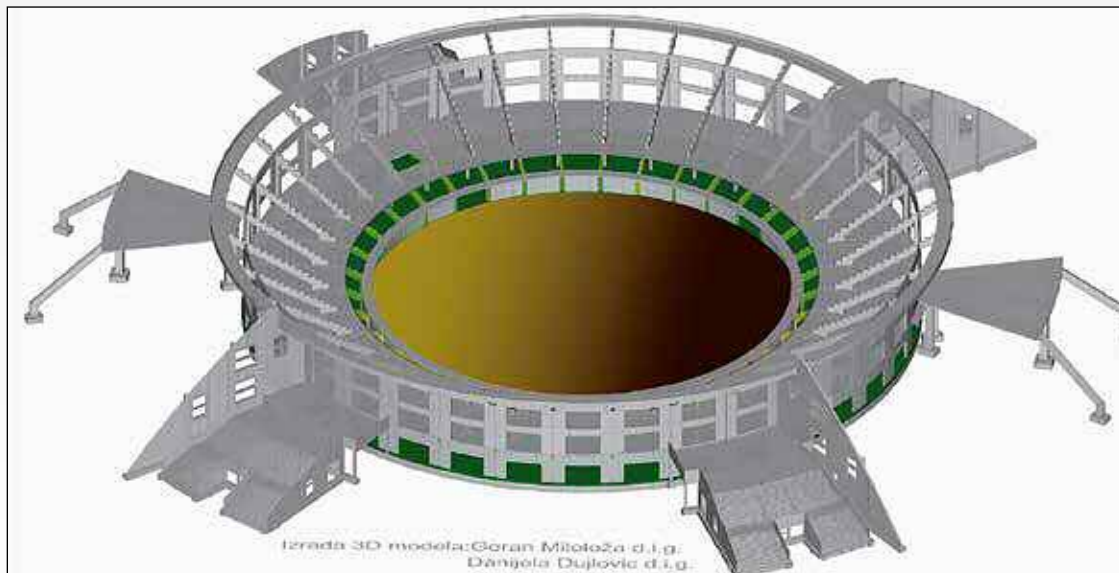
Ova građevina bi se mogla koristiti u mnoge svrhe. Pored glavne dvorane s auditorijem, koja može primiti oko 8.100 posjetitelja, građevina ima dvije manje dodatne dvorane za različite sportske treninge, kao i mnoge druge prateće sadržaje poput teretane, kafića, restorana i uredskih prostorija.

Investitor ovog velikog projekta je: Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske i Grada Zadra. Procijenjeni troškovi građevinskih radova iznose oko 65 milijuna kuna.

(bez otvora)

Slika 1. Plan sportske dvorane Višnjik

Slika 2. Kompjuterska vizualizacija sportske dvorane Višnjik (auditorijum i unutarnja struktura)



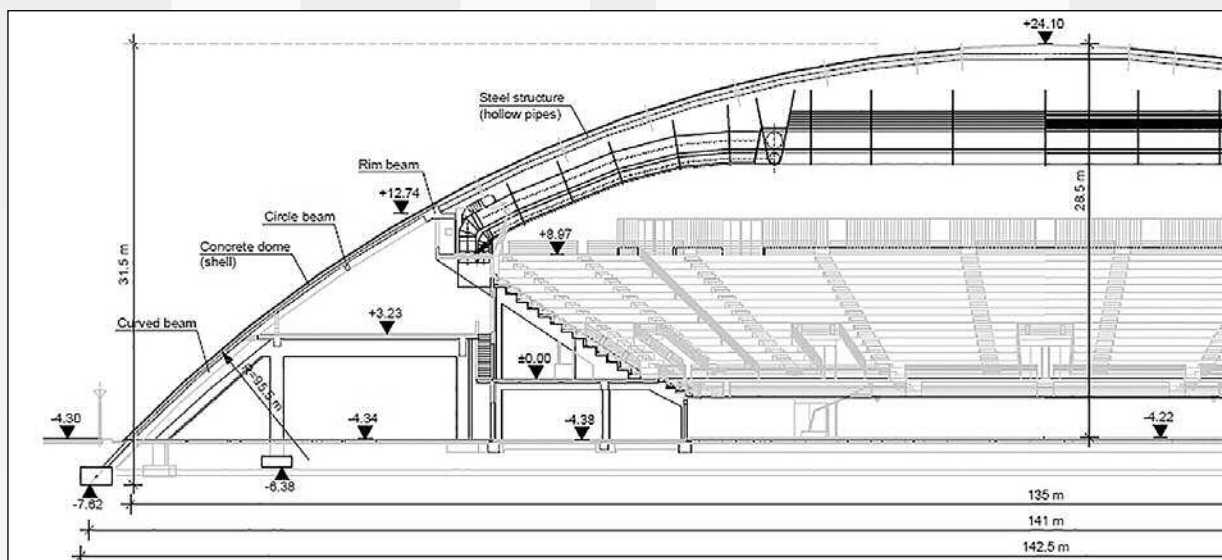
O strukturi i tehnologiji građenja

Glavna struktura nosivosti zgrade je armiranobetonska kupola, od temelja do vrha dvorane (19,16 m), a iznad toga je rešetkasta struktura čeličnih šupljih profila. Ova kupola je dio površine kugle sa polumjerom $R = 95,46$ m, tj. kalota $R = 70,05$ m s visinom $h = 30,52$ m. Ova ljuska, u strukturnom smislu, oslabljena je slijedom ulaznih otvora koji suprotne strane kupole čine slabijima. Ljuska se temelji na prednapregnutom betonskom prstenu.

Odabrana tehnologija je monolitna konstrukcija, betonirana u oplati na gradilištu.

Zbog veličine građevine i potrebne količine oplata i skele, nemoguće je izraditi svu skelu i oplatu odjednom, tako da se oplata i skela moraju praviti u dijelovima tijekom napredovanja izgradnje i betoniranja.

+24.10



Slika 3. Poprečni presjek sportske dvorane Višnjik

Opterećenja

Glavno pitanje pri izračunu skele i oplata je pitanje odabira vrste i intenziteta opterećenja te odabira odgovarajućeg konstrukcijskog modela izračuna.

Analiziraju se sljedeća opterećenja: težina same skele i oplata, korisno opterećenje betona (svježeg i otvrdnutog), hidrostatski pritisak tijekom betoniranja, pokretna opterećenja radnika i vjetar.

Ovdje se ne analizira opterećenje snijega, jer nije uobičajeno uzimati ga u obzir za ove strukture (oplate i skele). Iznimke su specifične strukture skele i oplata, kada to opterećenje treba uzeti u obzir

u skladu sa zakonskim propisima, kada je to vrlo značajno sa aspekta stabilnosti skele i oplate. Za ovu strukturu (kupola), snijeg može biti značajan s obzirom na planiranu dinamiku radova i vijek trajanja skela i oplate. S druge strane, uvjetovano klimatskom zonom gradilišta (mediteranska obala), opterećenje snijegom nije dominantno u odnosu na sva druga relevantna opterećenja (svježi beton i drugi utjecaji tijekom betoniranja), pa se ne uzima u izračun.

Samoopterećenje oplata i skele izračunava se prema stvarnim količinama i volumnim masama korištenih materijala. Drvena građa je od drva četinara, 2. razreda. Volumenska masa od $7,0 \text{ kN/m}^3$ je uključena u izračun.

Korisno opterećenje betona uzeto u izračun iznosilo je $25,0 \text{ kN/m}^3$. Količina težine betona povećava se prema dinamičkim utjecajima tijekom betoniranja. Koriste se dinamički koeficijenti (prema HRN U.C9.400):

- 1,20 - za podne i ležajne elemente oplata (drvene daske i remenate na dijelu krute kupole, drvene daske, uzdužne remenate, poprečni presjeci i H20 nosači na šupljem dijelu kupole);
- 1,10 - za donje dijelove oplata (nosive drvene grede) i skele.

Posebna pažnja u statičnom proračunu posvećena je elementima na koje dodatno utječe hidrostatski tlak. Intenzitet hidrostatskog tlaka ovisi o brzini betoniranja, konzistenciji betona i visini betoniranog sektora. Dobiveni parametri (prema DIN 18-218) su: tekuća konzistencija betona, brzina betoniranja od $1,0 \text{ m/h}$ i visina betoniranog sektora od $2,7 \text{ m}$. Na šupljem dijelu kupole (zakrivljene grede) planira se simultano betoniranje dvaju sektora.

U obzir je uzeto opterećenje radnika intenziteta od $1,0 \text{ kN/m}^2$ (HRN U.C9.400).

Posebna pozornost posvećuje se utjecajima vjetra na skele i oplata. Utjecaj pritiska vjetra nije od bitne važnosti, ali usisni utjecaj je značajniji. Usisavanje može uzrokovati problem podizanja oplata i skele, kada su one neopterećene (bez betona i pojačanja). U slučaju utjecaja pritiska vjetra, stabilnost strukture osigurava se dijagonalnim i horizontalnim spojnicama. U slučaju usisnog utjecaja vjetra na neopterećenu površinu, dijagonalna i vodoravna spojnica nije dovoljna, pa se dodaju i zatege.

Intenzitet opterećenja vjetra izračunava se prema Tehničkim propisima za opterećenje vjetrom, format 1964.

Ukupni opterećenje vjetrom je:

- $w = c \cdot w_0$ (kN/m^2 - okomito na površinu oplata), gdje je: w_0 osnovno opterećenje vjetra, a c je koeficijent oblika.

Intenzitet osnovnog opterećenja vjetra izračunava se prema geografskoj zoni građevine (zona vjetra) i maksimalnim utjecajima vjetra glede izlaganja građevine vjetru.

- Za utjecaj tlaka: $w_0=1.1 \text{ kN/m}^2$ (vertikalna projekcija) za prvu fazu oplata (visina oplata do 10 m); $w_0=1.3 \text{ kN/m}^2$ (vertikalna projekcija) za ostale faze oplata (visina oplata iznad 10 m);
- Za utjecaj usisavanja: $w_0=0.8 \text{ kN/m}^2$ (vertikalna projekcija) za prvu fazu oplata (visina oplata do 10 m); $w_0=1.1 \text{ kN/m}^2$ (vertikalna projekcija) za ostale faze oplata (visina oplata iznad 10 m);

Zahvaljujući specifičnom obliku, koeficijent oblika je:

- za utjecaj tlaka (smjer vjetera sa izvana unutra), kao i za jednodjelni krov (u skladu sa ranije navedenim pravilnikom):
 $c = 1.7 - 0.9 (c_{sr} = 1.3 - \text{prosječna vrijednost}) - \text{ovisno o kosini oplatae}$
- Za utjecaj usisavanja (smjer vjetera sa izvana unutra), kao i za jednodjelni krov (u skladu sa ranije navedenim pravilnikom):
- $c = 1.6$ donja polovica površine oplatae
- $c = 1.9$ gornja polovica površine oplatae

Tangencijalni (lateralni) utjecaj vjetera je 10% od uobičajenog (okomitog) utjecaja vjetera $w_t = 0.1 \text{ kN/m}^2$.

Na kraju, elementi skele i oplatae izračunati su i dimenzionirani za sve relevantne kombinacije opterećenja prema teoriji dopuštenih naprezanja. Izračunske sheme uključuju sve faze betoniranja, u skladu sa stečenom shemom betoniranja.

Model izračunavanja

Tijekom odabira prikladnog proračunskog modela raspravljalo se o nekoliko rješenja. Najjednostavnije rješenje svakako je raščlaniti strukturu u nekoliko jednostavnih statičkih modela i razmotriti ih odvojeno. Ovo rješenje ima prednosti u jednostavnosti i laganoj razrješivosti, kao i jednostavnu kontrolu rezultata i veći faktor sigurnosti.

Drugo, potpuno suprotno rješenje je napraviti kompletni prostorni model koji bi najbolje opisao stvarnu situaciju. No, ovo rješenje zahtijeva veliku količinu računalnog vremena, kao i dodatno vrijeme za kontrolu ulaznih i izlaznih podataka.

Konačno odabrano rješenje je:

- Izračun elemenata oplatae izrađuje se modelom izračuna jednostavne ravnine.
- Izračun elemenata skele izrađuje se složenim prostornim modelom izračuna.

Ovaj model može bolje opisati ponašanje sustava, uključujući njegovu stabilnost.

Ovaj model također nije kompletni prostorni model, već prostorni model karakteristično strukturnih segmenata.

Izračunavanje oplatnih elemenata i dimenzioniranje elemenata vrši se računalnim programom TOWER 3D MODEL BUILDER 5.5.

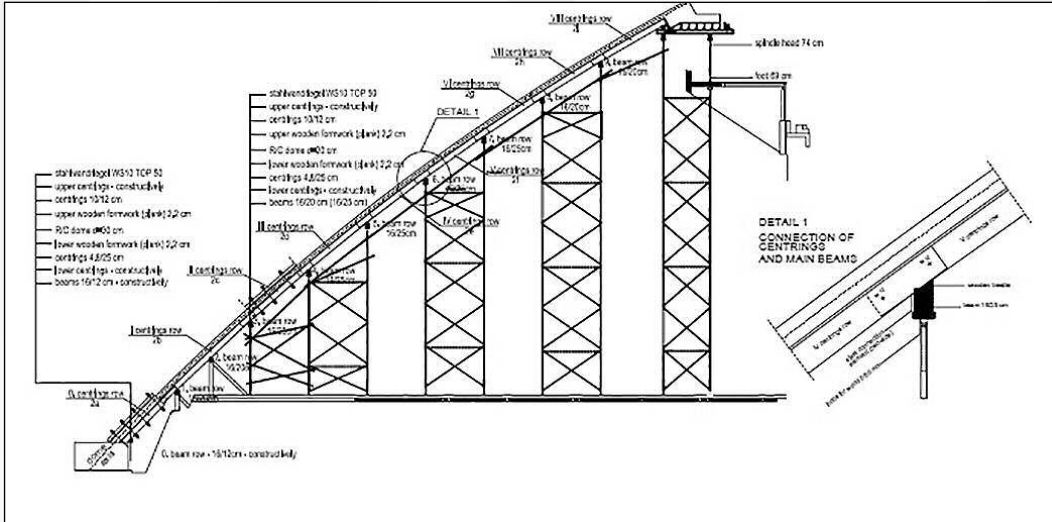
Svi elementi (drveni ili čelični) dimenzionirani su prema teoriji dopuštenih naprezanja. Paralelno s dimenzioniranjem obavlja se proračun odstupanja, gdje je dopušteno odstupanje ograničeno na $L/500$ (L - raspon strukturnog elementa) ili $L/250$ za elemente konzole. Statični sustavi su definirani prema formiranju elemenata i njihovim vezama. Neki statički sustavi za oplatu su navedeni u nastavku:

- Drvene daske – kontinuirani nosači na dva ili više potporna poduprti s remenatama.
- Remenate – konzolne grede na dva potporna, poduprti s glavnim nosivim gredama.
- Glavne nosive grede – konzolne grede na dva potporna sa dvostranom konzolom, poduprte sa STAXO tornjevima. Na krajevima grede imaju šarke za vezu, tako da statički predstavljaju neprekidne nosače preko nekoliko polja sa šarkom na spojevima greda.
- Nosači H20 – neprekidni nosači preko tri polja, poduprti s glavnim nosivim gredama.

Svi navedeni elementi izračunavaju se za sva relevantna opterećenja i njihove kombinacije. Analiziraju se sve faze betoniranja u skladu s planiranom dinamikom betoniranja. Poseban izračun se vrši za usisni utjecaja vjetra na elemente skele i oplata s odgovarajućim proračunom veznih šipki-zatega za prevenciju dizanja. U nekim slučajevima, pod usisnim opterećenjem vjetrom, struktura mijenja svoj statički model, što se uzima u obzir tijekom izračuna.

Neki karakteristični prikazi modela izračuna za prvu fazu oplata prikazani su na sljedećim slikama (Slike 5-8).

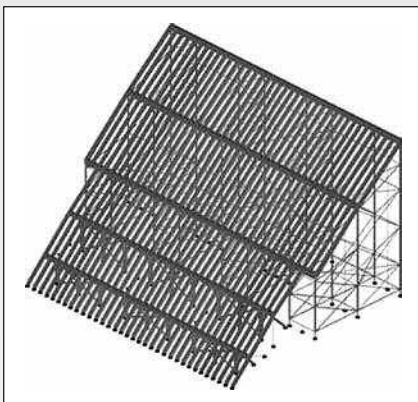
Kao što je prije spomenuto, izračuni elemenata skele i oplata izrađeni su za neovisne segmente prostornog modela kupole. Prema planiranim metodama globalnog osiguranja stabilnosti skela, neovisni segmenti moraju simulirati ponašanje cjelokupne strukture. Također, s odgovarajućim materijalnim svojstvima korištenih materijala, modelirana je adekvatna krutost koja je vrlo važna s aspekta globalne stabilnosti



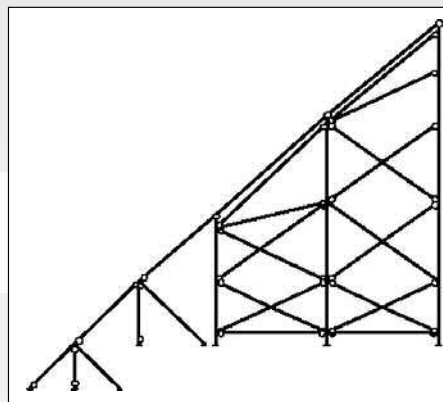
Slika 4. Poprečni presjek skele i oplata kroz čvrstu kupolu

Neki karakteristični prikazi modela proračuna za prvu fazu oplata prikazani su u sljedećim slikama. (Slike 5-8).

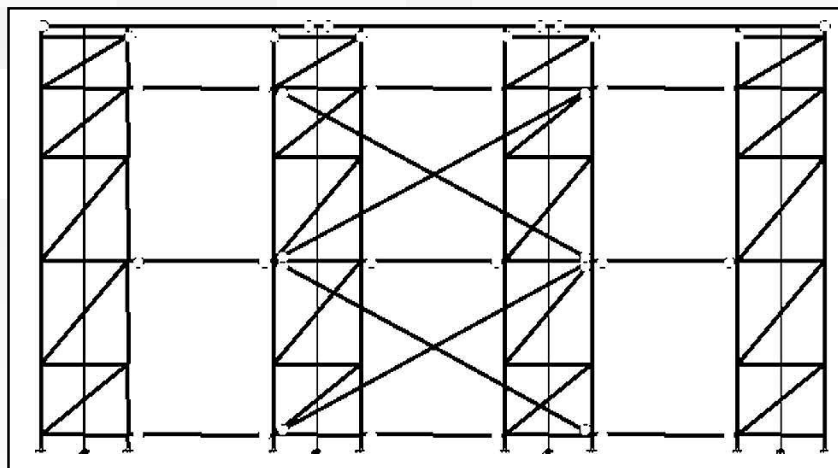
Prva faza formiranja skele sastoji se od dva reda drvenih nogara i tri reda STAXO tornjeva (prvo zaseban toranj i dvostruki tornjevi). Slika 5 prikazuje karakteristični prostorni segment. Ovaj segment sastoji se od četiri tornja s pripadajućom oplatom i skelom na drvenim potpornjima. U radialnom smjeru, pored očvršćenja samih STAXO tornjeva (u vodoravnoj i okomitoj ravnini), svi tornjevi su dodatno pričvršćeni i povezani čeličnim cijevnim sustavom od 48 mm (slike 5-7). Spajanje skele i oplata na drvenim nogarama (prva dva reda) s ostalim dijelovima skele i oplata osigurano je samom čvrstoćom oplata.



Slika 5. Presjek prostornog (3D) prizora



Slika 6. Karakterističan poprečni okvir



Slika 7. Karakteristični tangencijalni okvir

U tangencijalnom smjeru dva tornja skele su povezana sa cijevnim pojačanjima (tornjevi blizanci – Slika 7), a ta veza je osigurana sa horizontalnim čeličnim cijevima. Model izračuna pokazuje kako

bi sve prostorne konstrukcije bile sigurne glede nosivosti i po stabilnosti. Prva dva reda podupirača (drvene nogare) su osigurana tangencijalno sa drvenim dijagonalama (koje mogu izdržati jedino sile naprezanja), pa je tako veza cijele strukture ispod glavnih nosivih greda osigurana (Slika 7). U radialnom smjeru stupovi su pričvršćeni sa dijagonalnim pojačanjima, a također i sa oplatom.

Statički izračun se vrši za sve faze betoniranja kupole. Karakteristični slučajevi su:

- Faza neopterećene oplata, kada su skele i oplata nestabilne za usisni utjecaj vjetra, jer je prisutan rizik od podizanja cijele strukture ili nekih dijelova strukture. Taj se problem pojavljuje u svim neopterećenim oplatama. Skele su osigurane zategama koje pričvršćuju skelu za tlo (baza). Zatege su oblikovane sa čeličnim elementima koji mogu podnijeti samo vlačnu silu (Slika 8 - okomiti elementi u sredini STAXO tornjeva).
- Faza potpuno opterećene oplata, kada je vrlo važno kontrolirati utjecaja tlaka kojeg stvara vjetar na svježu betoniranu površinu, jer u ovom slučaju sva opterećenja izravno utječu na tornjeve STAXO (drveni stupovi i podnožja).

Sve ostale međufaze također se kontroliraju (betoniranje vjenaca).

Posebna pažnja posvećena je statičkom proračunu u:

- Kontrolu tlačnih sila u vezicama,
- Kontrolu vlačnih sila u zategama,
- Reakciji u podupiračima – kontroli moguće pojave negativnih okomitih reakcija (podizanje podupirača),
- utonuću podupirača pod stalnim opterećenjem (težina same oplata i skele i težina betona),
- kontroli naprezanja i stabilnosti za sve elemente skele.



Slika 9. Postavljanje oplata i skele

Na isti način se modeliraju i statički obrađuju sve ostale faze oplata i skele za čvrstu kupolu, uključujući i dio rubne grede koja pripada ovome dijelu kupole.

Na dijelu šuplje kupole se javljaju dodatni problemi utjecaja bočnoga vjetrova na zakrivljene grede između otvora. Skela se pričvršćuje prostornim zategama, što je korisno i u slučajevima usisnog opterećenja vjetrova. Također se modeliraju i statički obrađuju sve ostale faze oplata i skele za čvrstu kupolu, uključujući dio rubne grede koji pripada šupljem dijelu kupole.

Koristeći predočene modele izračuna doneseni su važni zaključci o montiranju skele i oplata, njihovom ojačanju radialno i tangencijalno, kao i montaža i uklanjanje zatega. Ovi zaključci mogu biti vrlo značajni za projekt građevne tehnologije, a isto tako i pri razvoju dinamičkog plana izgradnje.

Zaključak

Oplata i skela su privremene strukture koje služe jedino tijekom radova izgradnje. U mnogim slučajevima ovo razdoblje je kratko te su oplata i skela tipski proizvodi, pa se često ignorira izračun njihove statike. Ali sudeći po prethodnoj raspravi, jasno je predočeno kako je izračunavanje skele i oplata u istom rangu kao izračunavanje same građevine. Iako su oplata i skela privremene strukture, one se moraju izgraditi i izračunati uzevši u obzir sva opterećenja do kojih može doći tijekom izgradnje, ali s druge strane, moraju biti racionalne i ekonomične. Racionalnost i ekonomičnost su posebice važni pri montaži i uklanjanju, ali također pri mogućem premještanju, osiguravanju slobodnog radnog prostora pod njom i mogućnosti višestruke uporabe. Racionalnost i ekonomičnost za skelu ove veličine se također treba odražavati u korištenju elemenata sa traženim dimenzijama, jer bi rabljenje većih dijelova, budući da su dijelovi brojni, znatno povećalo ukupnu cijenu strukture. Dok izbor za uporabu većih dijelova za elemente trajnih građevina može imati ekonomsku opravdanost, jer se većim dimenzijama smanjuju naprezanja i povećava izdržljivost, kod skele i oplata, pogotovo ove veličine, to nije slučaj.

Reference

- [1] Arhitektonski projekt: „Sportska dvorana Višnjik u Zadru“, Arhitektonski biro Hrčić, Zagreb, 2003., projektant: Marijan Hrčić (na hrvatskom jeziku)
- [2] Strukturni projekt: „Sportska dvorana Višnjik u Zadru“, D&Z, Zadar, 2003., projektant: Davorin Uglešić (na hrvatskom jeziku)
- [3] Strukturni projekt: „Sportska dvorana Višnjik u Zadru – izračun skele i oplata“, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2004., projektanti: Milutin Anđelić i Damir Lazarević (na hrvatskom jeziku)
- [4] Radni projekt: „Sportska dvorana Višnjik u Zadru - projekt skele i oplata“, Sveučilište u Splitu, Građevinski i arhitektonski fakultet, 2005., projektanti: Alen Harapin, Ladislav Bevanda, Mario Jurišić i Dragan Čubela (na hrvatskom jeziku)
- [5] STAXO –projektantski priručnik (na njemačkom jeziku)
- [6] Kompjuterski program: TOWER 3D Builder, ver. 5.5, Radimpex, Beograd, vlasnik: HERING d.o.o. Široki Brijeg i Građevinski fakultet, Sveučilište u Mostaru

HI
HERING

