

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/337824667>

PROVOCĂRI INGINEREȘTI LA PROIECTAREA STRUCTURII DE REZISTENȚĂ A ACOPERIȘULUI "SHOPPING CITY SIBIU"

Conference Paper · June 2019

CITATIONS

0

READS

113

4 authors, including:



Nagy Zsolt

Universitatea Tehnica Cluj-Napoca

41 PUBLICATIONS 96 CITATIONS

SEE PROFILE



Karoly Balint

3 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Andrea Dezo

Universitatea Tehnica Cluj-Napoca

9 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



CFSExpert - Structural design tool for cold-formed steel structures [View project](#)



Research on stressed skin diaphragm design [View project](#)

PROVOCĂRI INGINEREȘTI LA PROIECTAREA STRUCTURII DE REZISTENȚĂ A ACOPERIȘULUI “SHOPPING CITY SIBIU”

Zsolt Nagy^{1,2}, Zoltán Kiss^{1,3}, Károly Bálint³, Andrea Dezó^{1,2}

¹ Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul de Structuri

² Gordias SRL, Cluj-Napoca

³ Plan 31 RO SRL, Cluj-Napoca

Rezumat

The current article presents the difficulties and the technical solutions implemented while designing the roof structure and the elliptic skylight structure for the extension of the commercial complex „Shopping City” Sibiu. The roof structure had an area of approximately 1600 sqm, in the middle of which a 27 m long and 10 m wide elliptic skylight was placed. The difficulties of the project arose from the large span of the structure, being supported only on 13 perimeter concrete columns. Thus, the structure had to be designed in such a way, that it would support the extra 20 tonnes coming from the skylight structure, while also making sure that the view of the skylight is not obstructed by any structural elements. The paper summarize the engineering challenges of the project team during the design process.

Abstract

Articolul prezintă problemele și soluțiile tehnice adoptate în vederea remodelării și extinderii complexului comercial „Shopping City” Sibiu, care a constat în proiectarea unui acoperiș de circa 1600 mp, în mijlocul căruia a fost amplasat un luminator de formă eliptică de 27 m lungime și 10 m lățime. Dificultățile proiectului s-au datorat deschiderii mari a acoperișului, care a putut fi rezemat doar perimetral, pe 13 stâlpi de beton armat. Luminatorul s-a rezemat pe grinzi cu zăbrele perimetrare, care au format structura acoperișului și care au fost fixate de stâlpii de susținere prin îmbinări articulate. În direcția transversală, la capetele luminatorului, grinzile perimetrare au fost susținute prin introducerea a două ferme spațiale triunghiulare. Articolul detaliază provocările ingineresti cu care s-a confruntat echipa de proiect în procesul de proiectare.

1. Prezentare generală

Zona de acoperiș și structura cu rol de luminator prezentat în acest articol fac parte din proiectul de remodelare și extindere a complexului comercial “Shopping City Sibiu”, amplasat în localitatea Șelimbăr, la periferia orașului Sibiu. Suprafața acoperișului metalic este de aproximativ 1624 m², având o lungime de 56 m și lățime de 29 m (vezi zonă hașurată în Figura 1). Punctele de rezemare a structurii acoperișului formează o rețea aleatoare în plan pe 13 stâlpi perimetrali din beton prefabricat, conform planului arhitectural realizat de către biroul de arhitectură HBRO din Figura 1, marcate cu pătrățele roșii. Acoperișul a fost conceput în două ape, cu o pantă de 2° și învelitoare având suport din tablă cutată de 80 mm, izolat cu vată minerală de 150 mm și hidroizolație din membrană PVC.

Din punct de vedere arhitectural, suprafața marcată este delimitată pe 3 laturi de corpuri de clădiri adiacente, având inclusiv pe cea de-a patra latură (pe axul 7) obstacol pe cca 30% din suprafața peretelui, astfel devenind aproape imposibil asigurarea luminii naturale pentru zona de Food Court.

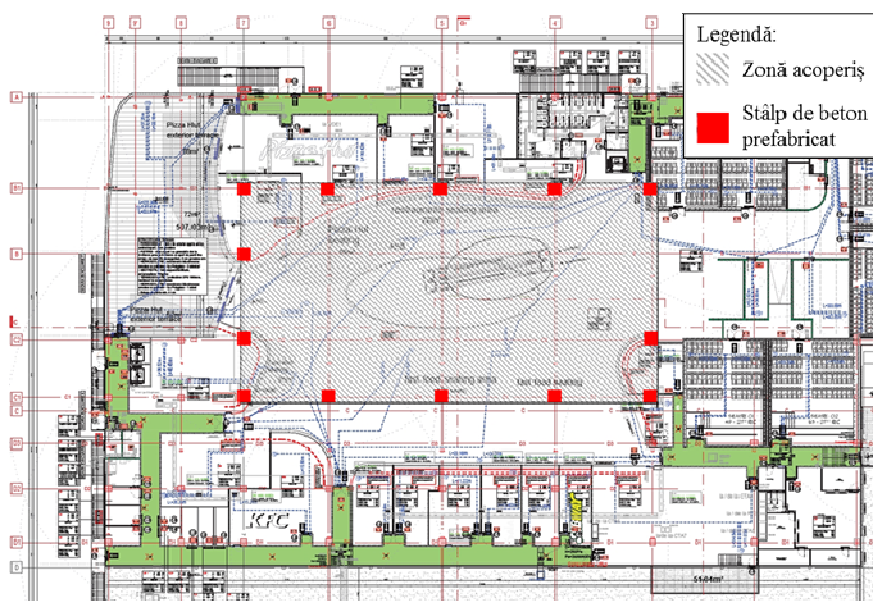


Figura 1 – Planul corpului de clădire cu luminator (sursa: Biroul de Arhitectură HBRO)

Ca urmare, în zona centrală a spațiului a fost prevăzut un luminator de formă eliptică, cu lungime de 27 m și lățime de 10 m. Poziționarea lui a necesitat o conformare a structurii acoperișului metalic în așa manieră, încât să se asigure un spațiu liber, obturarea suprafeței luminatorului de către elemente structurale fiind în mod expres interzisă. Forma și configurația spațială a luminatorului a fost concepută sub forma unei rețele triangulare de țevi, care să permită pe deoparte fixarea sticlei, care formează suprafața vitrată, pe de altă parte să se asigure continuitatea canalelor de colectarea condensului.

Înălțimea rezultată a luminatorului propus este de aproximativ 2,6 m, compus din 25 de arce din țevi rectangulare SHS80x4 orientate radial, conectate prin diagonale din țevi rotunde CHS60,3x5. Inițial, rezemarea structurii luminatorului pe fermele acoperișului a fost prevăzută pe o grindă perimetrală de soclu, pentru care a rezultat o înălțime relativ redusă. Limitarea înălțimii reazemului perimetral avea în vedere și limitarea excentricităților create prin detaliile constructive: structura spațială a luminatorului impunea rezemarea la nivelul tălpii superioare a grinzii suport, care la rândul său rezema pe fermele acoperișului. Conceptul inițial a necesitat modificarea înălțimii grinzii suport pentru asigurarea integrării sistemului de ventilații, care asigură priza de aer proaspăt pentru tratarea volumului de aer interior. Această condiționare a impus înălțimea constructivă de 1,40 metri a grinzii perimetrice suport în acord cu dimensiunea maximă a tubulaturii de ventilație și a grilelor de extracție.

În Figurile 2-3 este prezentat forma finală a luminatorului, planșele arhitecturale de prezentare cuprinzând zona de extindere a centrului comercial.

Echipă a contribuit la realizarea proiectului și a construcției:

Investitor:	"NRE SIBIU SHOPPING CITY" S.R.L.
Proiectant general:	H.B. DESIGN & HANDELS GMBH / HBRO
Management de proiect:	Implenia Baugesellschaft m.b.H/Gleeds
Arhitectură:	HBRO
Proiectant structură metalică	Gordias Srl.
Proiectant structură beton:	Plan 31 Ro Srl.
Fabricant structură metalică și constructor:	MTD Simплу Construct Srl. / PAB Srl.

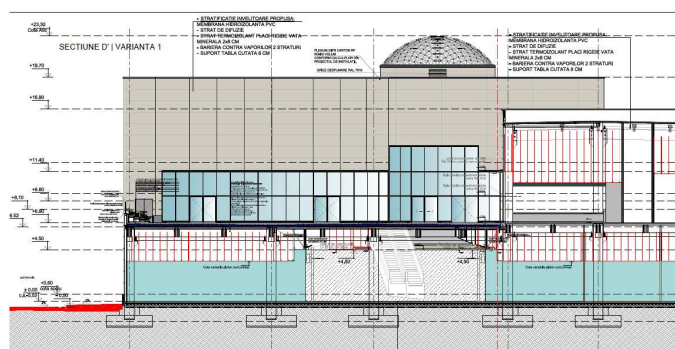


Figura 2 – Fațadă laterală (Planșe Birou arhitectură HBRO)

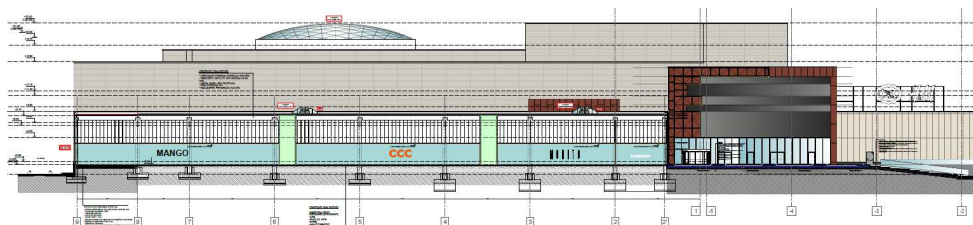


Figura 3 – Fațada dinspre parcare cu accesul principal (Planșe Birou arhitectură HBRO)

2. Descrierea conceptului structural

Conceptul structural a pornit de la premiza că pe aria luminatorului nu ar trebui să treacă elemente structurale ale acoperișului, maximizând astfel pătrunderea luminii naturale în spațiul interior dinspre exterior. Considerând deschiderile semnificative s-a optat pentru un sistem structural format din grinzi cu zăbrele, prezentat în Figura 4. Conexiunea cu structura de beton se face prin intermediul a 13 reazeme articulate. Datorită configurației în două ape a acoperișului, înălțimea fermelor transversale variază din lateral spre centrul acoperișului de la 3.4 m până 3.7 m. La marginea structurii luminatorului sunt plasate grinzi spațiale triunghiulare cu lățime de 4.95 m, a căror tălpi sunt compuși din profile SHS 250x16 și SHS 350x16, iar diagonalele variază de la SHS 100x5 până la SHS 200x16. Fermele transversale reazemă pe fermele longitudinale prin îmbinări articulate.

Grinda de soclu a luminatorului s-a conceput sub forma unei secțiuni chesonate sudată cu două inimi, talpa fiind din plăci de 14x340 mm și inimile de 8x1372, rezultând un profil cu înălțimea totală de 1,4 m. Atât înălțimea profilului, cât și poziționarea golurilor de $d=800$ mm prin inima acestuia a fost ales din condiții tehnice impuse de instalații, în vederea poziționării grilelor de extracție. Fiecare gol tehnologic a fost rigidizat cu un guler de țevă cu grosime de 8 mm.

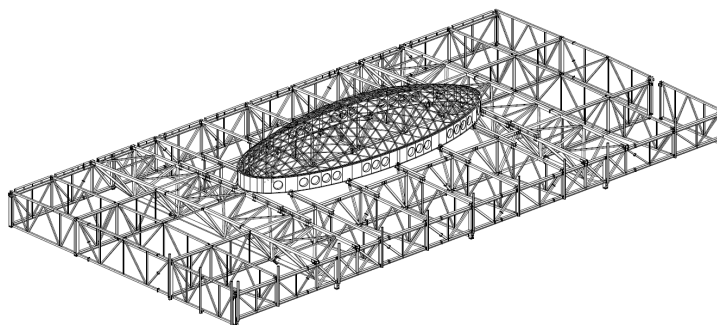


Figura 4 – Ansamblu spațial a structurii acoperișului cu luminatorul

Dimensiuni caracteristice - structură acoperiș :

Lățimea:	29 m
Lungimea:	56 m
Înălțimea min/max a fermelor:	2.47 m – 3.68 m
Pantă acoperiș:	2°
Greutate structură:	130 t

Dimensiuni caracteristice - structură luminator:

Lățimea:	10 m
Lungimea:	27 m
Înălțimea totală:	4 m (2,6 + 1,4 m)
Înălțime grinzi perimetrale:	1.4 m
Greutate structură:	20 t

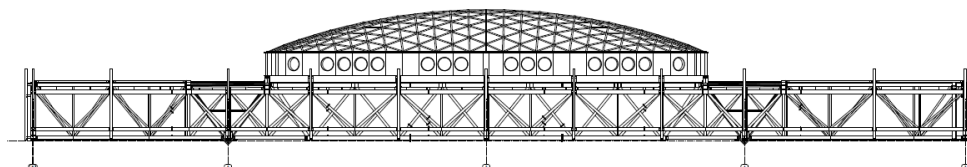


Figura 5 – Vedere laterală a structurii acoperișului cu amplasarea luminatorului

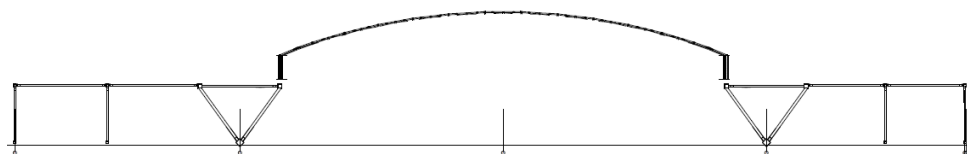


Figura 6 – Secțiune longitudinală a structurii acoperișului prin luminator

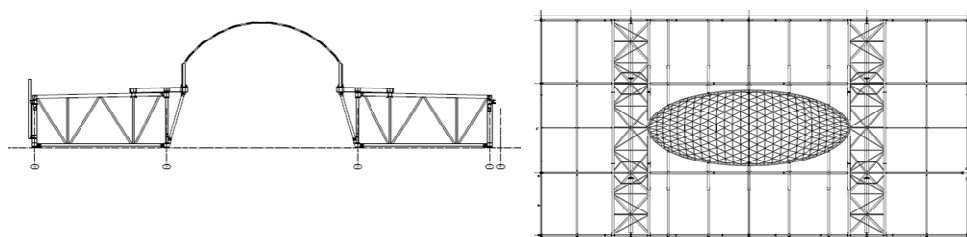


Figura 7 – Secțiune transversală prin luminator și vederea de sus a structurii acoperișului

3. Detalii privind calculul structurii – analiză globală

Încărcările considerate în analiza structurii au fost următoarele:

- Încărcările permanente pe acoperiș $g_k = 0.5 \text{ kN} / \text{m}^2$
- Încărcările tehnologică $u_k = 0.7 \text{ kN} / \text{m}_2$
- Încărcarea din zăpadă s-a considerat conform CR 1-1-3-2012 [1], $s_{0,k} = 1.2 \text{ kN/m}^2$
- Încărcarea din vânt conform CR 1-1-4-2012 [2], $q_{ref} = 0.6 \text{ kN/m}^2$
- Acțiunea seismică s-a evaluat conform P100-1-2013 [3], $a_g = 0.2g$, $T_c = 0.7 \text{ sec}$
- Combinațiile încărcărilor s-au evaluat în conformitate cu CR 0-2012 [4], privind gruparea efectelor structurale ale acțiunilor pentru verificarea la stări limite ultime.

Structura a fost dimensionată conform prevederilor SR-EN1993-1-1 [5], SR-EN1993-1-3 [6], SR-EN1993-1-5 [7], SR-EN1993-1-8 [8] și P100/2013-1 [3] folosind programul de analiză structurală Consteel [9] pentru configurarea globală, respectiv IDEA StatiCa [10] pentru detalierea îmbinărilor. În Figurile 8-9 se pot vedea deformațiile verticale ale structurii și gradul de utilizare, conform calculului efectuat. Deformația maximă relativă a fost evaluată ca fiind max. 30 mm.

Elementele principale de rezistență orizontale au fost protejate cu vopsea termosfumantă în vederea asigurării rezistenței la foc de minimum 45 min.

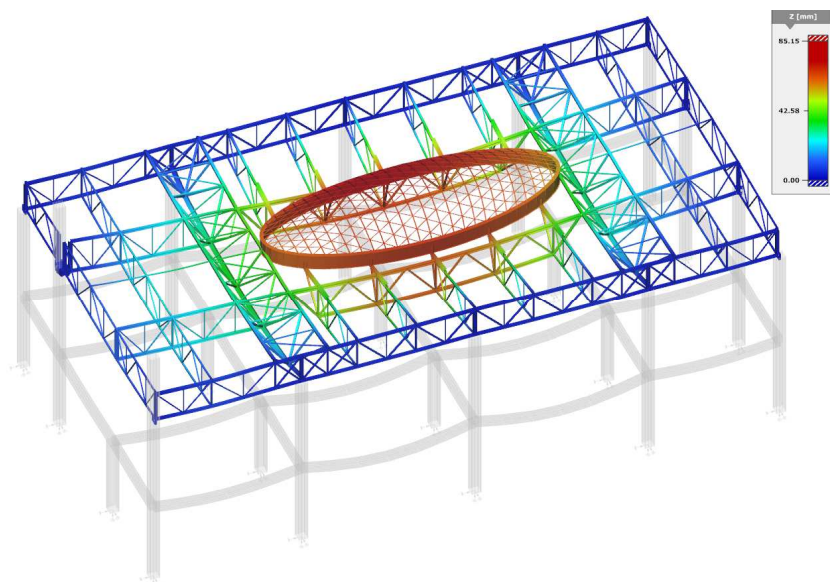


Figura 8 – Deformații verticale SLS maxime (deformații relative max. 30 mm) în programul de analiză structurală Consteel

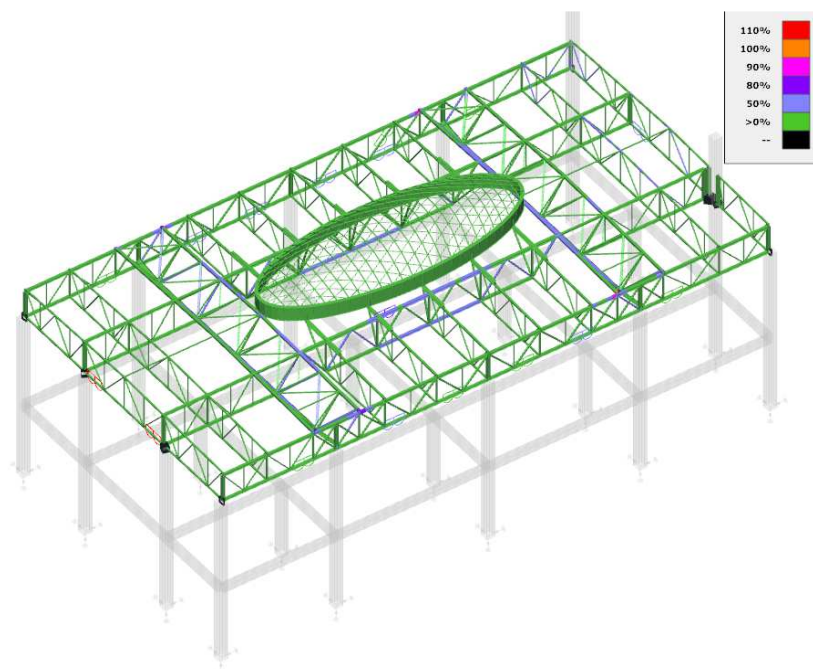


Figura 9 – Gradul de utilizare a elementelor în SLU

4. Aspecte privind procesul de proiectare (analiză detaliată) și execuție

Comportarea grinzii de tip soclu a luminatorului a fost investigat în detaliu, cu ajutorul unui model complex, utilizând elemente finite de tip shell. Reazemele grinzii suport al luminatorului au fost definite ca reazeme tasabile, luând în considerare deformațiile fermelor de acoperiș. Curbura grinzii fiind realizat din segmente drepte, inițial s-au aplicat goluri tehnologice cu diametru de 800 mm în fiecare segment drept în deajuns de mare, studiind numărul maxim și diametrul maxim de penetrare. Datorită concentrărilor de eforturi în jurul reazemelor (Figura 10) și a riscurilor de voalare locală a inimii grinzii suport sub efectul forțelor concentrate din dreptul reazemelor ($\alpha_{cr}=14.17$ - Figura 11), s-au eliminat golurile deasupra reazemelor, ajungând la configurația executată și prezentată în Figura 12.

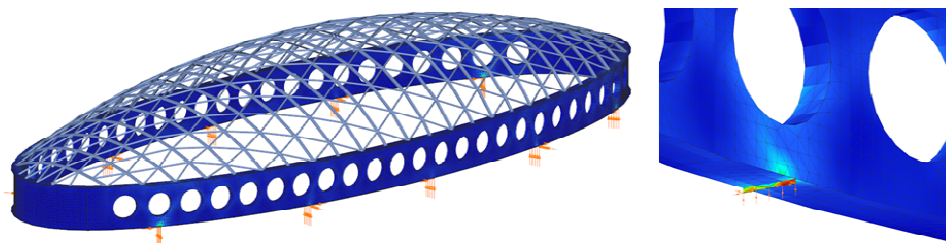


Figura 10 – Analiză shell a grinzii soclului – σ_{HMH} Concentrări de eforturi

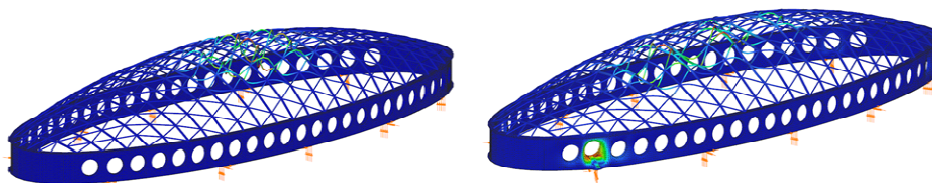


Figura 11 – Analiza stabilității (stânga: $\alpha_{cr}=10.74$; dreapta: $\alpha_{cr}=14.17$)

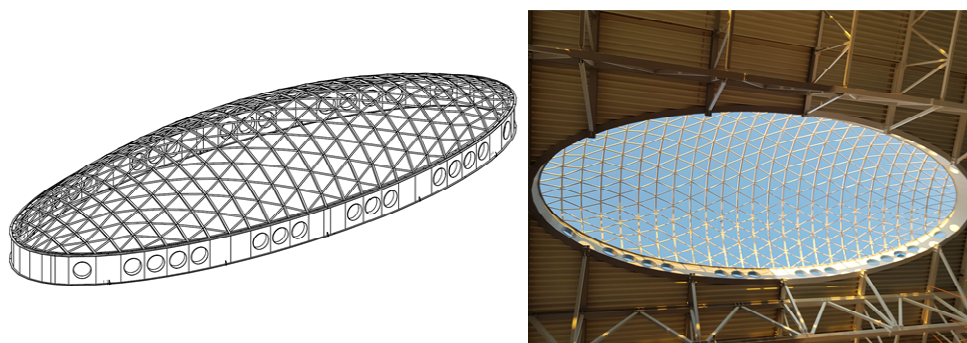


Figura 12 – Configurația finală a grinzii suport și a luminatorului

Datorită dimensiunilor acoperișului și a accesului limitat cu utilaje de ridicare, tehnologia de montaj al structurii a necesitat o atenție sporită încă din fazele incipiente ale proiectării. Structura luminatorului, grinda suport de formă elipsoidală, respectiv fermele spațiale au necesitat preasamblare la sol, fiind ridicate pe poziție într-o singură bucată. Etapele cu ordinea de montaj al ansamblurilor sunt prezentate în Figura 13, fiecare etapă fiind marcată cu o culoare diferită. În etapa I, fermele perimetrale au necesitat stabilizare suplimentară, până în momentul montării fermelor spațiale din etapa II. Elementele principale ale fermei spațiale au fost compuse din trei bucăți, prinse prin îmbinare cu șuruburi, pentru a permite transportarea gabaritică a acestora. Deoarece sudarea diagonalelor în fabrică ar fi necesitat transport agabaritic cu costuri destul de mari, s-a optat pentru sudarea diagonalelor în șantier, după premontarea și poziționarea elementelor principale. Pentru a asigura stabilitatea în faza de montaj al structurii, pe tot parcursul montajului s-au păstrat elementele de stabilizare a fermelor perimetrale. După montarea fermelor spațiale, s-au poziționat fermele longitudinale intermediare, marcate cu culoarea galbenă, mai apoi fermele transversale intermediare, marcate în Figura 13 cu culoarea gri. Grinda suport a fost asamblată din 10 bucăți, fiind sudate pe șantier și prinse articulat în 10 puncte de rezemare pe fermele transversale, prin intermediul unor ansambluri de suport (Fig. 14). Ansamblurile de suport au fost concepute în așa fel încât să producă un braț de pârghie. Cele două capete a elipsei nu au fost fixate de ferma spațială, datorită diferenței de rigiditate dintre fermele longitudinale și cele două ferme spațiale transversale. În mod intenționat au fost păstrate spații pentru a permite deplasarea pe verticală, în vederea eliminării reacțiunilor exagerate apărute din diferențele de rigiditate. Această etapă este surprinsă în Figura 15, prin poze de pe parcursul montajului. În ultima etapă structura luminatorului a fost prinsă de grinda suport, după poziționarea acesteia prin sudură de șantier.

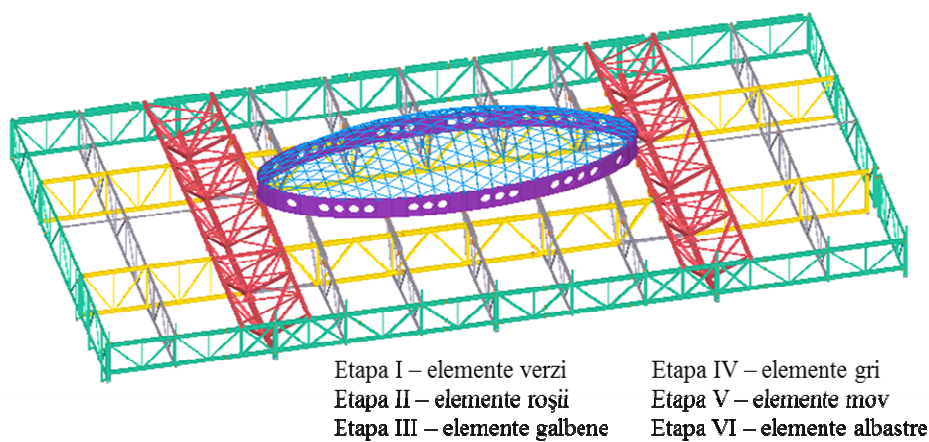


Figura 13 – Etape de montaj grupate pe culori

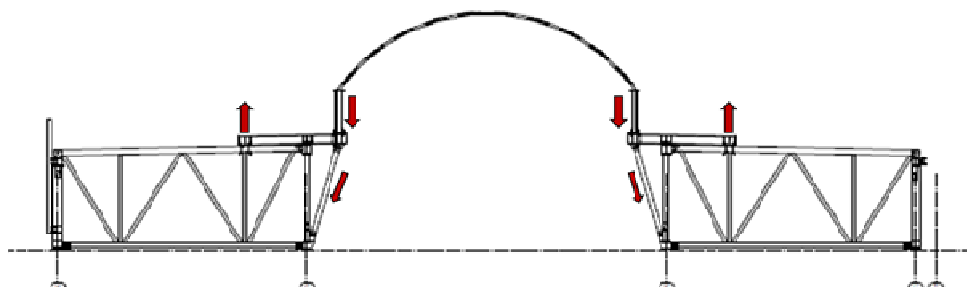


Figura 14 – Conceptul rezemării luminatorului pe structură



Figura 15 – Poze de pe parcursul montajului (etapa V)

După cum se poate vedea și din detaliile de îmbinare prezentate în Figurile 16-17, metodele standardizate conform SR EN1993-1-8 au fost posibile de aplicat numai în câteva situații, majoritatea îmbinărilor necesitând analize individuale, în afara condițiilor acoperite de norme. Au fost necesare de conceput detalii particulare ca și configurație și analiză a acestor detalii la eforturi însemnate ca intensitate. Un astfel de caz întâlnit, a fost detaliul de îmbinare a tălpii întinse a fermei spațiale, unde forța axială la îmbinarea de continuizare a tălpii (Fig. 16) a fost de 2750 kN. Îmbinarea a fost realizată folosind 12 șuruburi M36-Gr. 10.9, ajungând la o utilizare de 85% a șuruburilor.

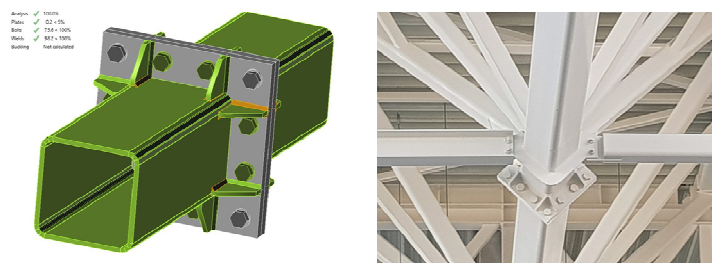


Figura 16 – Îmbinare de continuizare pentru talpa inferioară a fermei spațiale

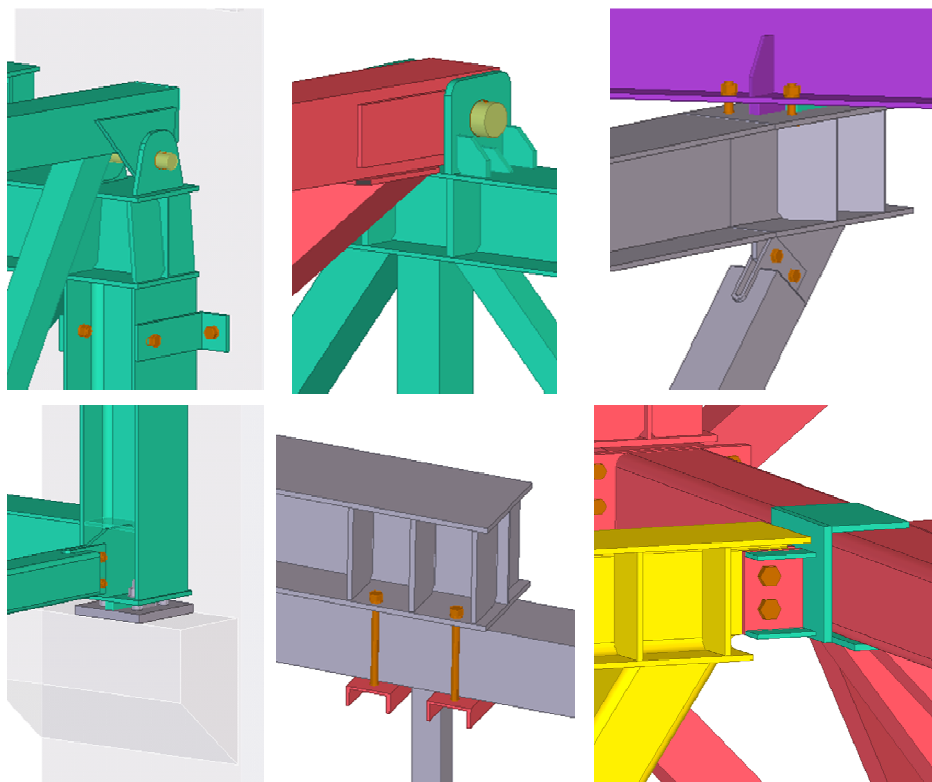


Figura 17 – Exemple de îmbinări concepute

5. Concluzii finale

Remodelarea și extinderea complexului comercial Shopping City Sibiu, care a constat în proiectarea unui acoperiș de circa 1600 mp, în mijlocul căruia a fost amplasat un luminator de formă eliptică de 27 m lungime și 10 m lățime, chiar dacă pare la prima vedere banală, a necesitat un întreg arsenal de detalii și analize sofisticate. Dificultățile s-au datorat deschiderii mari a acoperișului, care a putut fi rezemat doar perimetral, pe 13 stâlpi de beton, dispuse fără o regularitate în plan. Structura luminatorului și rezemarea lui pe rețeaua de grinzi cu zăbrele perimetrale, au necesitat spirit de inventivitate, necesitând aproape în fiecare nod aplicarea a unui detaliu particular. Rețeaua neregulată de rezemare, care au creat dificultățile de configurare structurală, combinată cu neuniformitățile de încărcări au necesitat atenție sporită în evaluarea răspunsului structural sub efectul diferitelor combinații de încărcări. Deformațiile relative mari între punctele de rezemare pot avea efecte nefaste asupra comportamentului în exploatare a luminatorului, de aceea verificările în SLS au avut un rol foarte important în analiză. Analizele rulate pe submodele simplificate dublate de verificările sub efectul diferitelor combinații de încărcări pe un model complex 3D s-au dovedit deosebit de utile în vederea identificării zonelor sensibile și care au căpătat în final detalii adecvate.

13. Referințe

- [1] Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor. Indicativ CR 1-1-3-2012.
- [2] Cod de proiectare. Bazele proiectării și acțiuni asupra construcțiilor. Acțiunea vântului. Indicativ CR 1-1-4-2012.
- [3] P100-2013: Cod de proiectare seismică P100. Partea I. Prevederi de proiectare pentru clădiri;
- [4] CR-0-2012: Cod de proiectare pentru bazele proiectării structurilor în construcții;
- [5] SR EN 1993-1-1 Eurocode 3: Proiectarea structurilor de oțel Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri;
- [6] SR-EN 1993-1-3: Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel Partea 1-3: Reguli suplimentare pentru elemente structurale și table formate la rece;
- [7] SR-EN 1993-1-5: Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel Partea 1-5: Elemente structurale din plăci plane solicate în planul lor;
- [8] SR-EN1993-1-8: Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-8: Proiectarea îmbinărilor.
- [9] Consteel software user manual – www.consteelsoftware.com
- [10] IDEA StatiCa software user manual – www.ideastatica.com