



Rétegelt-ragasztott íves fatartó kupola főtartójának tervezési problémái

VANYA Csilla¹, CSÉBFALVI Anikó¹

¹ PTE-Pollack Mihály Műszaki Kar Szilárdságtan és Tartószerkezetek Tanszék

Kivonat

Egy 30 m átmérőjű rétegelt-ragasztott fatartós kupola esetében, melyen egy 4 m átmérőjű felülvilágító helyezkedik el, komoly kihívás a teher- és a statikai váz felvétele. Kétféle meteorológiai teher hat a kupolára: a szél- és a hóteher. Mindkettőt, de főként a szélterhet csak nagyon körülményesen, több lépésben lehet számolni. Az ilyen kupoláknál a statikai váz felvétele sem egyszerű, mert sem a csuklós, sem a merev befogás nem megfelelő a kupola valós viselkedésének vizsgálatához. Ezért kétféle szerkezeti váz felvételére és vizsgálatára van szükség.

Kulcsszavak: kupola, rétegelt ragasztott fatartó, meteorológiai teher, hóteher, szélteher, statikai váz

Design problems of the main beam of a curved glued laminated wood dome

Abstract

The load and static frame assumption of a wood dome 30 m in diameter made of glued laminated timber with a skylight 4 m in diameter can be a great challenge. There are two types of meteorological loads affecting the dome: wind load and snow load. Both of them but especially the wind load can be calculated intricately, only in several steps. Even the assumption of the static frame for this type of domes can be difficult because none of the available static frames describe the real behavior correctly. Therefore, assumption and examination of two structural frames are required.

Key words: dome, glued laminated timber, meteorological load, snow load, wind load, static frame

Bevezetés

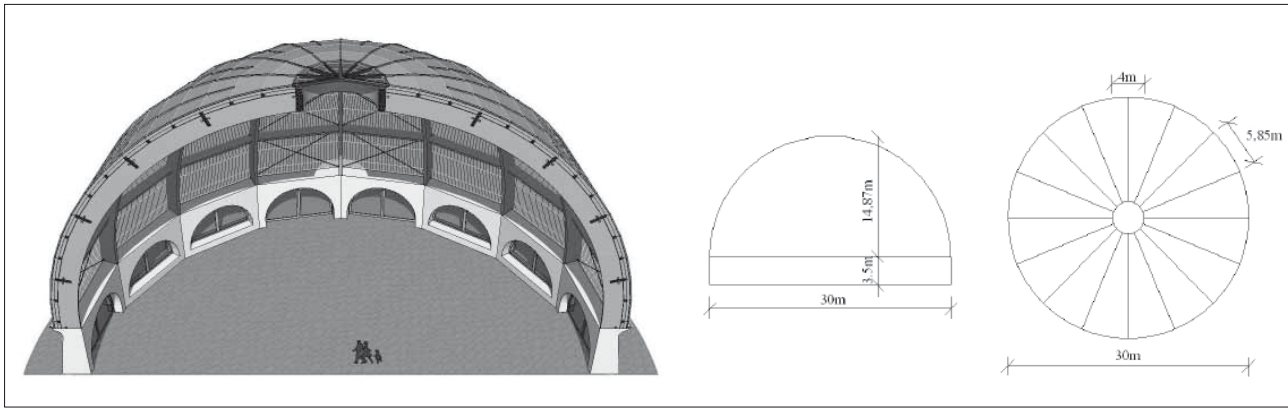
A térlefedések folyamatosan fejlődtek az idők folyamán. A kupolaszerkezeteket az íves térlefedések előzték meg (pl. a római Maxentius-bazilika). A 43 méter átmérőjű római Pantheon kupolája a legnagyobb egységes belső tér, amit az emberiség eddig kőboltozattal lefedett. A szerkezeti kialakítások és térlefedések nagysága az anyagok fejlődésével is változott. A fa, mint alapanyag külön említést érdemel, hiszen ha jól belegondolunk, a faszervezetek lényegében egyidősek az emberiséggel, ezért is olyan különlegesek. A fa szerkezeti alkalmazása összefüggésben van az adott kor műszaki, gazdasági és kulturális állapotával, fejlettségével. Első alkalmazásuk – a kő-

korszak idején – a megmunkálás hiányának jegyeit viselték. Később kifejlődött a fa megmunkálása és használata is.

A XX. század elejére tehető a rétegelt-ragasztott faszervezetek megjelenése, melyek nagy fesztávok lefedésére alkalmasak. A térlefedések nagysága változó, hiszen függ a statikai váz kialakításától, illetve az anyagminőségtől.

Anyagok és módszerek

A publikáció az 1. ábrán látható rétegelt-ragasztott fából készült kupola meteorológiai teherfelvételére (hóteher, szélteher), és a stabilitásvizsgálat összetettségére hívja fel a figyelmet.



1. ábra A rétegelt-ragasztott fából készült kupola látványterve és szerkezeti rajza

Figure 1 Design and framework of the dome made of glulam timber

A szerkezet egy 30 m átmérőjű félgömb alakú kupola. Tetején egy 4 m átmérőjű kör alakú felülvilágító helyezkedik el. A szerkezet 16 db főtartóból és főtartókat összekötő szelemenekből áll.

A kupola terheinek meghatározásakor az önsúlyterher figyelembevétele sem egyszerű feladat, számításához közelítések, egyszerűsítések szükségesek.

Eredmények és értékelés

A kupolára ható meteorológiai terhek a hőteher és a szélteher.

Hőteher (MSZ szerint)

Alapértéke a vízszintessel $\alpha < 30^\circ$ szöget bezáró tetőfelületen, a tető vízszintes felületére vonatkoztatva: $M < 300$ m tengerszint feletti magasságban:

$$p_s = 0.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \quad [1]$$

$\gamma_{hó} = 1.7$ (ha az önsúly kisebb, mint a hőteher alapértéke)

Ha a tető síkjának hajlása $\alpha > 60^\circ$, akkor hőteherrel nem kell számolni; közbenső hajlásszögek esetén az alapérték lineáris interpolációjával lehet meghatározni. Így a hőteher megoszlása a 2. ábra szerinti, a számításban a geometriát is figyelembe véve a 3. ábra szerinti.

Szélteher (MSZ szerint)

Alapértéke:

$$p_w = c \cdot w_0 \quad [2]$$

$$\gamma_{szél} = 1.2$$

ahol,

c - alaki tényező

w_0 - torlónyomás

100 m-nél nem magasabb építmények esetében a terepszinttől mért h magasságban a torlónyomást a

következő képlettel kell számítani:

$$w_0 = 0.7 \cdot \left(\frac{h}{10} \right)^{0.32} \quad [3]$$

Az építmény teljes magasságán a következő átlagos érték vehető figyelembe:

$$w_{0á} = 0.603 \cdot \left(\frac{H}{10} \right)^{0.32} \quad [4]$$

Alaki tényező meghatározása:

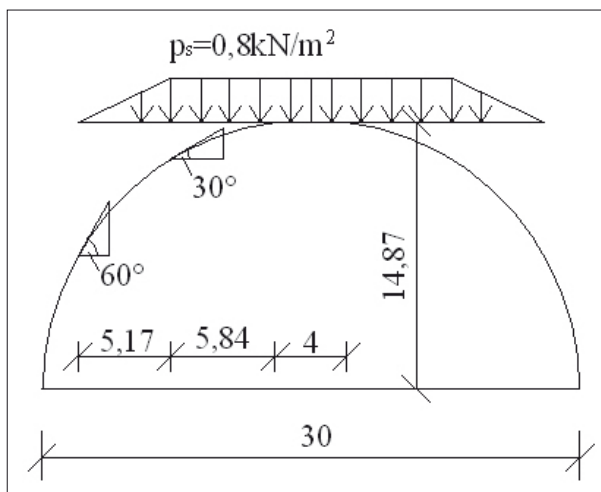
Gömbfelületű építmények alaki tényezője, a szélirányra merőleges vetületre számítandó együttes szélnyomásra és szélszívásra.

$$c = 0.35 \quad [5]$$

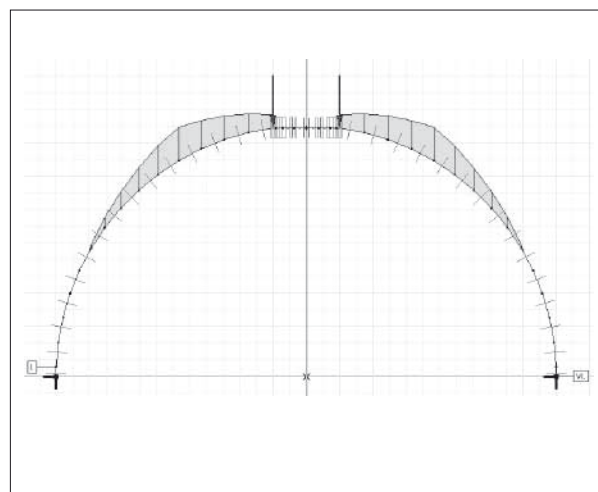
Mivel a szélnyomás mindig nagyobb, mindkét esetben $c \cdot \frac{2}{3}$ -dal számolunk.

A 4. ábrán látható a szélteher általános elhelyezkedése a két síkban. A széltehernek a tengelyre illetve a felületre merőleges vetületét számoljuk, a másik komponens érintő irányú, így „elmegy” a szerkezet mellett (lásd 5. ábra bal felső negyede). A tengelyre merőleges vetületet fel kell bontani x és y irányú komponensekre (lásd 5. ábra bal alsó negyede). Ahhoz, hogy a számítást Axis VM R2i végeselem program segítségével tudjuk elvégezni, a kapott eredményeket még fel kell bontani x, z komponensekre (lásd 6. ábra). Ezeket a számításokat Excel program segítségével lehet könnyen elvégezni. Ahhoz, hogy a tényleges csomóponti terheket megkapjuk, a megfelelő területekkel szorozni kell.

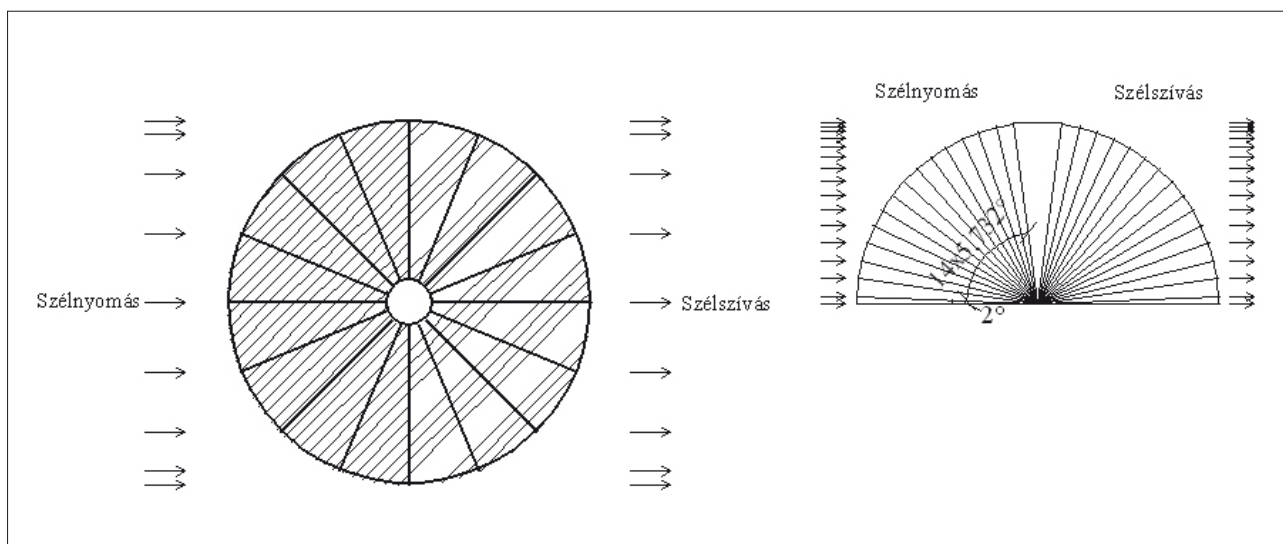
A 7. ábrán látható az Axis VM R2i végeselem programban megrajzolt, megadott szélteher. Látható a térbeli szélteher felvételének komplikáltsága.



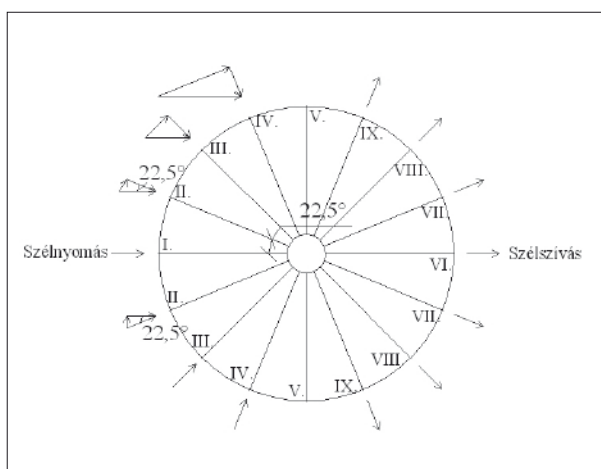
2. ábra Hóteher sematikus rajza
Figure 2 Diagram of the snow load



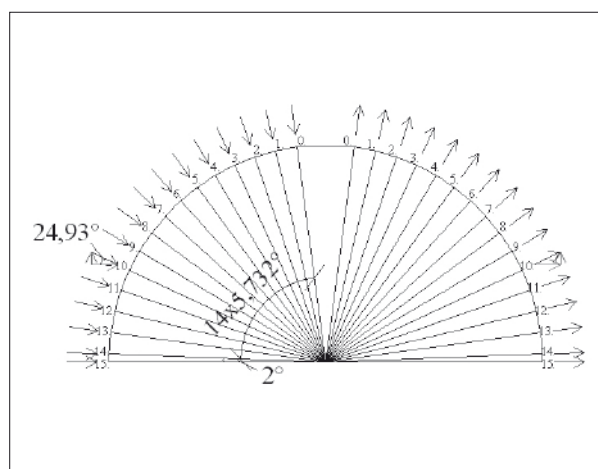
3. ábra A hóteher tényleges rajza
Figure 3 Actual snow load



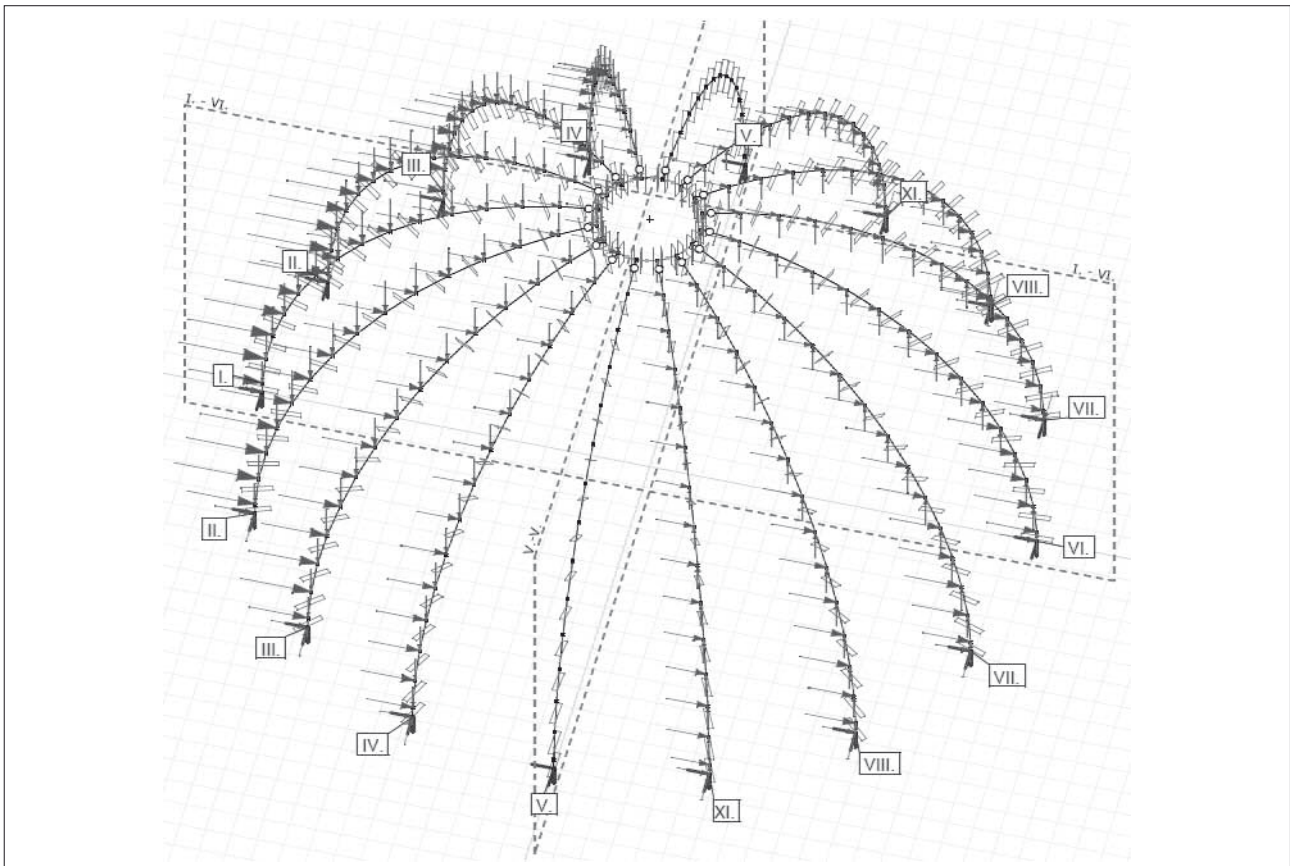
4. ábra Szélteher
Figure 4 Wind load



5. ábra Szélteher felbontása x, y irányú komponensekre
Figure 5 x and y component of the wind load



6. ábra Szélteher felbontása x, z irányú komponensekre
Figure 6 x and z component of the wind load



7. ábra Szélteher felvétele Axis VM R2i végelem program segítségével

Figure 7 Wind load demonstration in the Axis VM R2i finite element software

Statikai váz

A publikációban kiemelhető még a főtartó méretezése, ahol egy ilyen felülvilágító kupola esetében már a helyes statikai váz felvétele is problémát okoz. Ebben az esetben a kupola kétféle szerkezeti kialakítással modellezhető:

1. eset: a felső körgyűrűhöz mereven csatlakozik a főtartó,
2. eset: a felső körgyűrűhöz csuklósan csatlakozik a főtartó.

A kétféle statikai vázra azért van szükség, mert a valóság valahol a két modell között van. A csuklós csatlakozás esetében a főtartóban nagyobb igénybevételek keletkeznek, mint a merev csatlakozásnál, tehát a főtartót erre kell méretezni. Befogás esetén a körgyűrűben is ébred nyomaték (csuklós esetben nem), amit majd a körgyűrű méretezésénél használunk fel. Itt is a biztonság javára tévedünk, ha ezekre a nyomatékokra tervezünk. Tehát így mindkét esetben a biztonság javára tervezzük meg a szerkezetet.

A kétféle statikai váz igénybevételeinek összehasonlítása (7 féle teherkombinációt állítottunk elő):

1. Tk. önsúly + gépészeti teher + hó + szél
2. Tk. önsúly + gépészeti teher + hó

3. Tk. önsúly + gépészeti teher + szél
4. Tk. önsúly + gépészeti teher + szél + fél hó
5. Tk. önsúly + gépészeti teher + szél + fél hó
6. Tk. 1. Tk de alapértékeivel (lehajláshoz)
7. Tk. 4. Tk de alapértékeivel (lehajláshoz)

Az első teherkombináció lett a mértékadó. A keletkező igénybevételek közül meg kell határozni a maximális nyomatékot és az ugyanabban a pontban keletkező többi igénybevétel értékét is (maximális nyomatékhoz tartozó nyíróerő és normálerő). Az előző mintájára kell meghatározni a maximális nyíróerőhöz és a maximális normálerőhöz tartozó igénybevétel-hármasokat. Ezeket a mértékadó igénybevétel-hármasokon kívül még lehet a keresztmetszet más helyein is ellenőrizendő igénybevétel.

A főtartó igénybevételei:

1. A felső körgyűrűhöz csuklósan csatlakozik a főtartó

$$\begin{array}{ll}
 M_{max}=242,30 \text{ kNm} & N_{max}=-259,49 \text{ kN} \\
 T_{max}=73,70 \text{ kN} & \\
 T_M=1,97 \text{ kN} & T_N=64,12 \text{ kN} \\
 N_T=-214,62 \text{ kN} & N_M=-161,68 \text{ kN} \\
 M_N=0 \text{ kNm} & M_T=40,87 \text{ kNm}
 \end{array}$$

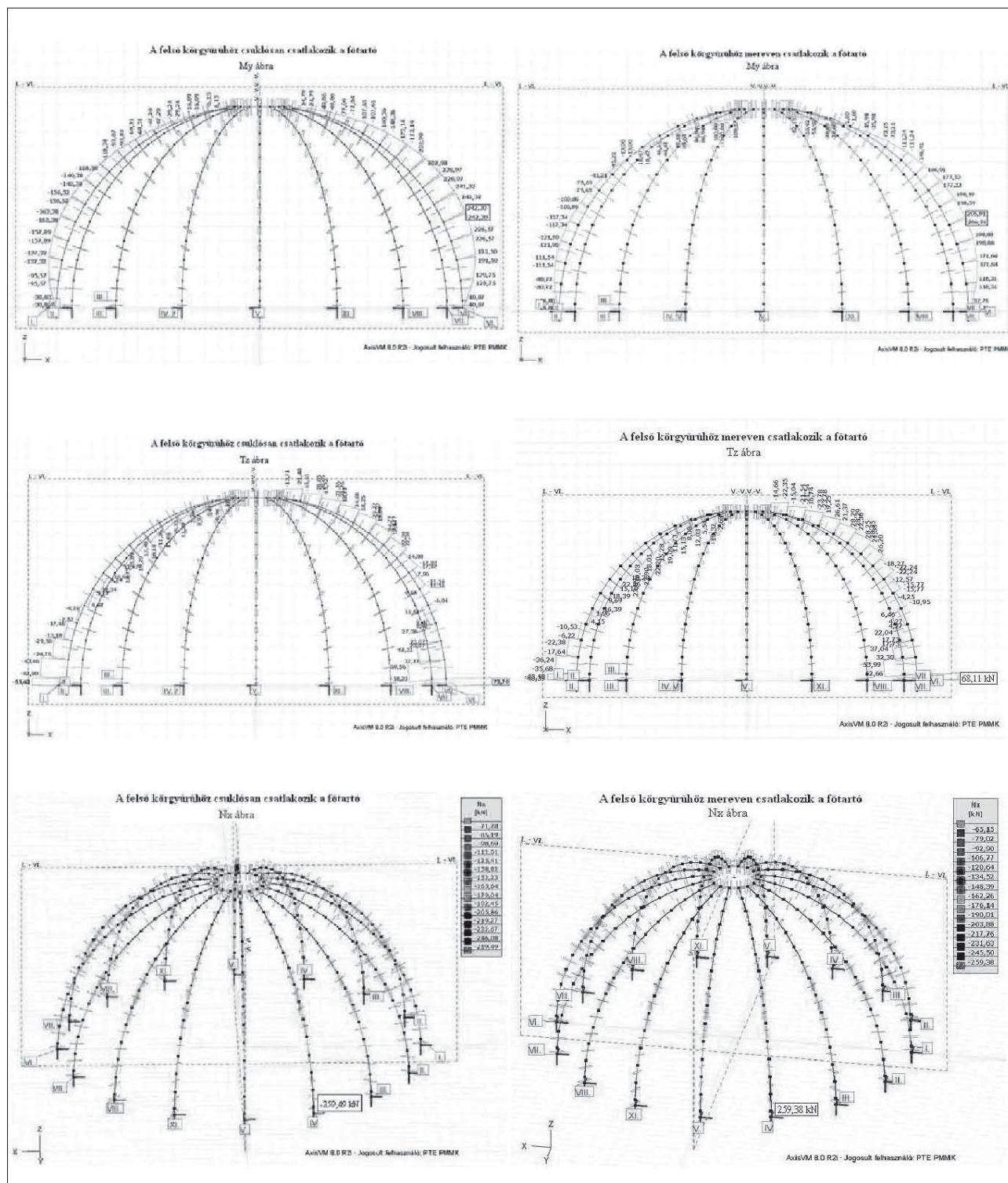
2. A felső körgyűrűhöz mereven csatlakozik a fő-tartó

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= 206,91 \text{ kNm} & N_{max} &= -259,38 \text{ kN} \\
 T_{max} &= 68,11 \text{ kN} \\
 T_M &= -6,87 \text{ kN} & T_N &= -57,31 \text{ kN} \\
 N_T &= -218,57 \text{ kN} & N_M &= -159,00 \text{ kN} \\
 M_N &= 0 \text{ kNm} & M_T &= 37,76 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Következtetések

A 8. ábra a végelem programban megrajzolt ábra a maximális igénybevételeit mutatja.

Összehasonlítva a kétféle esetet, azt állapíthatjuk meg, hogy a nyomaték értékében van a legnagyobb eltérés, 15%-os (közel 35 kNm-es eltérés). A méretezési eljárások során nem mindegy, hogy a ki-

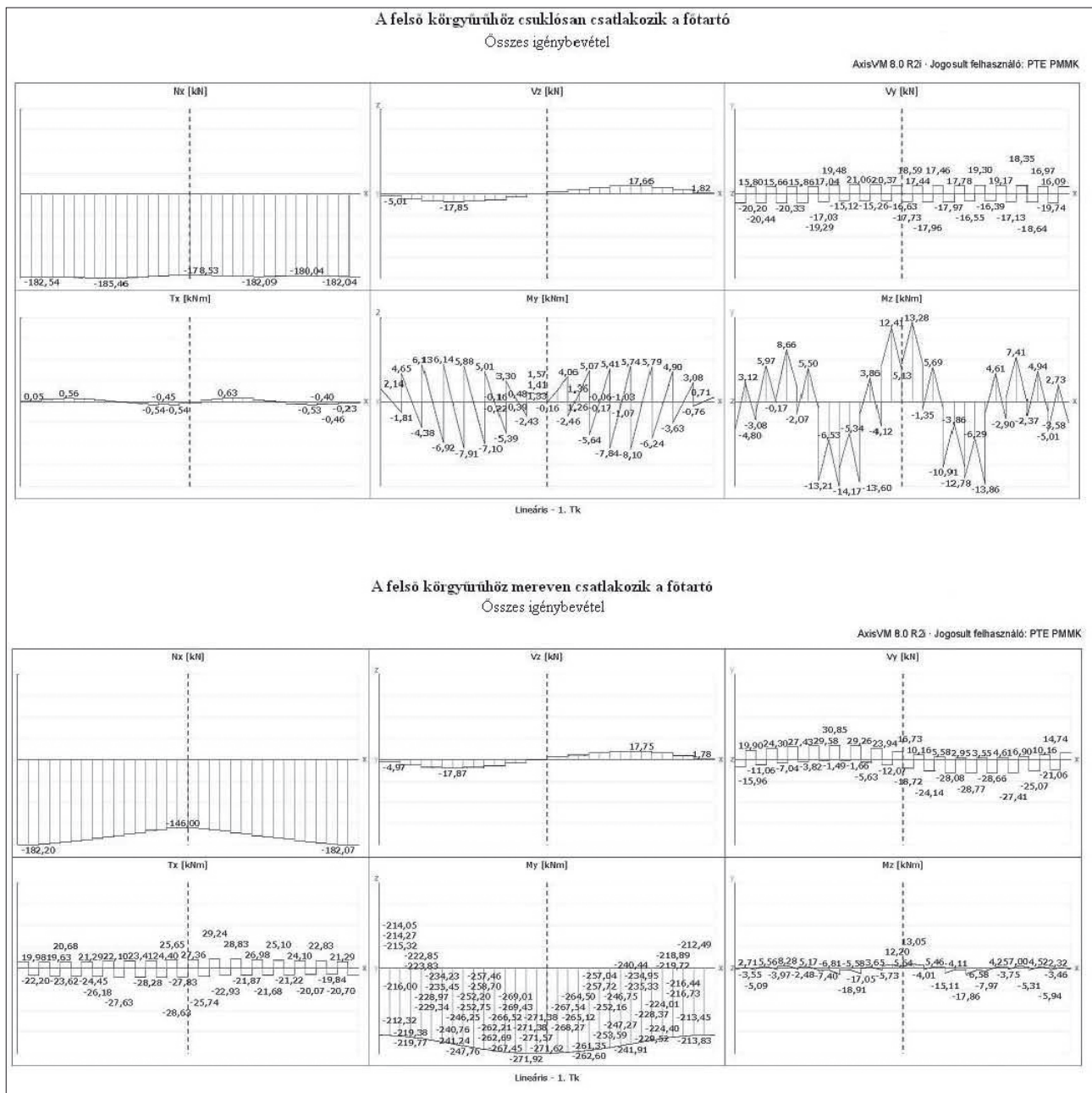


8. ábra A fő-tartó maximális igénybevételeinek összehasonlítása a kétféle statikai váz esetén

Figure 8 Maximum stresses in the main beam in case of the two different static frameworks

sebb vagy a nagyobb nyomaték értékre méretezünk, ellenőrizzük, hiszen a főtartó méretét befolyásolja. Így ténylegesen akkor döntünk jól, ha a főtartó esetén a csuklós statikai váz igénybevételeivel végezzük a számolásokat. Ebben az esetben biztos, hogy a biztonság javára tervezzük meg a szerkezetünket. A 9. ábrán láthatók az egész körgyűrű igénybevételei a kétféle statikai váz esetén. Ha megnézzük az értékeket, azt láthatjuk, hogy a normálerőben és a z irányú nyíróerőben (V_z) jelentős különbség nincs. Viszont az y irányú nyíróerő (V_y) 34%-kal (közel 10 kN-os eltérés), az y irányú nyomaték 97%-kal (közel 264 kNm-es eltérés) és a csavaró nyomaték

(T_x) 98%-kal (közel 29 kNm-es eltérés) nagyobb abban az esetben, ha a felső körgyűrű mereven csatlakozik a főtartóhoz. Így a felső körgyűrű esetén akkor tervezünk a biztonság javára, ha a mereven befogott statikai vázra méretezzük a szerkezetet. Mivel a valódi szerkezeti viselkedést modellezni nem tudjuk, így mindkét vázat (csuklós és mereven befogott) fel kell használnunk a biztonságos tervezés érdekében. A megfelelő és a megszokott vizsgálatokon túl, mivel jelen esetben a tartó fesztávolsága és keresztmetszetének szélessége aránya nem kisebb, mint 120, szükséges kifordulási stabilitási vizsgálatot vé-



9. ábra Körgyűrű maximális igénybevételeinek összehasonlítása a kétféle statikai váz esetén
Figure 9 Maximum stresses in the annulus in case of the two different static frameworks



gezni. Ennek a vizsgálatnak az elvégzésével akár új szerkezeti elemek betervezésére, alkalmazására is szükség lehet, mint például stabilizáló körgyűrűk, illetve szélrács, melyekre újabb terhek hatnak (stabilizáló erő).

Irodalomjegyzék

- Bársony J, Kész M (1993) Előírások és táblázatok tartószerkezetek méretezéséhez; Pécs, Janus Pannonius Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Kar Szilárdságtan és Tartószerkezetek Tanszék, BORNUS Kft. nyomdája, 226
- Dulácska E (2005) Statikai kisokos második kiadás, Budaörs, Springer Media Magyarország Kft. Manager Press Kft. nyomdája, 9.2
- MSZ 10144-1986: Teherhordó faszerkezetek anyaga

- MSZ 15020-1986: Építmények teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése általános előírásai
- MSZ 15021/1-1986: Építmények teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Magasépítési szerkezetek terhei
- MSZ 15021/2-1986: Építmények teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Magasépítési szerkezetek merevségi követelményei
- MSZ 15025-1989: Építmények teherhordó faszerkezeteinek erőtani tervezése.
- Wittmann Gy (2000) Mérnöki faszerkezetek I., Budapest Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 262

A rés-elmélet alkalmazása a bútorok ergonómiai tervezésében

HORVÁTH Péter György¹, KOVÁCS Zsolt¹

¹ NymE FMK Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

Kivonat

A terméktervezés folyamatában az egyik legfontosabb elem az ergonómiai tervezés. Ez tevékenységek sorozata, mely adatgyűjtésből és megfelelő tervezési elvek alkalmazásából áll. Ismernünk kell az összefüggéseket (rendszer), valamint ezek hatásait. Az ergonómia definíciója alapján a terméknek több szempont szerint kell megfelelnie. Ezen szempontokban az elvárt és a tényleges szint közötti különbséget a kiterjesztett rés-elmélet modellezi.

Kulcsszavak: ergonómia, termék, rendszer, alrendszer, környezet, funkció, rés-elmélet, kényelem, biztonság, hatékonyság, egészség

Gap theory in ergonomical furniture design

Abstract

In the product design development the ergonomics design is one of the most important thing. It is a set of activities, which consist of data collection and application of relevant design principles. We must be aware of the relations (system) and impacts. Impacts between the human and the environment (gap theory).

Key words: ergonomics, product, system, subsystem, environment, function, gap theory, comfort, safety, effectiveness, health