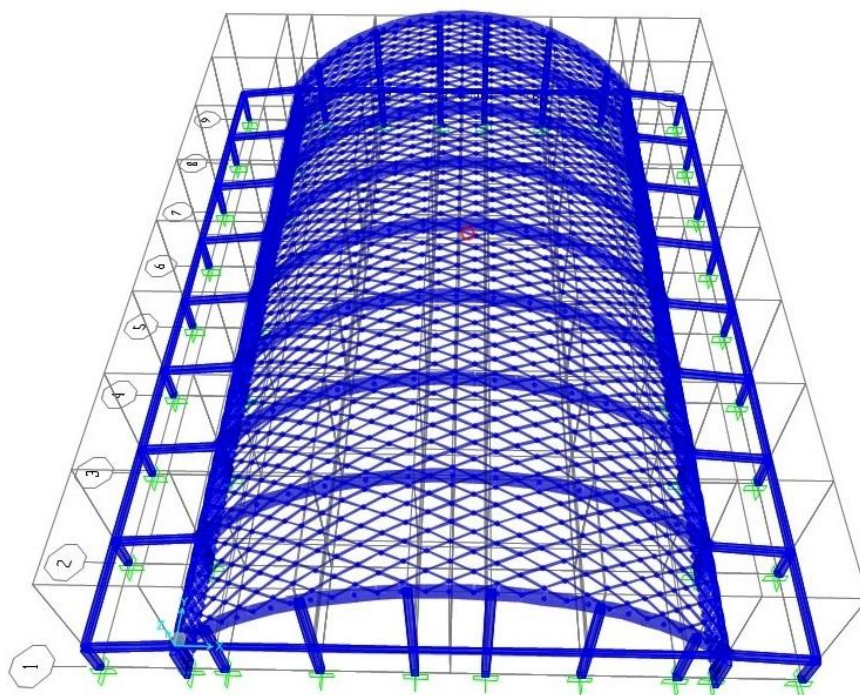


Kolozsvári Műszaki Egyetem

Építőmérnöki kar

Ragasztott faelemekből kiképezett íves tetőszervezetek.

Szerkezeti összehasonlítások



Szerző: Márton Péter

Konzulens: Dr. Gobesz Ferdinánd-Zsongor

1. Bevezetés

Dolgozatom témájaként a fa tetőszerkezetek egyik alegységét választottam, mert véleményem szerint a természetes építőanyagok hamarosan megint reneszánszukat fogják élni. Ha jól gazdálkodunk ezzel a megújuló erőforrásunkkal, akkor gyakorlatilag, örökké rendelkezésünkre fog majd állni.

„Addig hajlítsd a fát, amíg fiatal”- tartja a mondás, vagyis fiatal korában kell az embert nevelni. Már kiskorom óta kapcsolatban vagyok a fával, mint építőanyag, ugyanis ükapám, aki Lengyelországból jött, a palotailvai fűrésztelep mestereként élte le az életét. Ezt követték Márton Péter dédapám, majd Márton Lajos nagyapám, akinek egyik fia erdészmérnök, a másik fia (édesapám), aki egy faszerkezetek gyártásával foglalkozó cég tulajdonosa. Én, így akarva, akaratlanul már gyermekkoromtól fogva ismerem a fenyőnek az illatát, kellemes színét, tapintását és gyakorlati hasznát.

2. A fa, mint építőanyag

A fa, illetve a növényi eredetű anyagok könnyű beépíthetősége tette lehetővé építőanyagkénti széleskörű elterjedésüket. Így nem csoda, hogy a kő és agyag mellett az egyik legősibb építőanyag a fa. Gyakori előfordulása révén nemcsak a beszerzés volt egyszerű, hanem kedvező tulajdonságai miatt is gyors és egyszerű építést tett lehetővé.

A faszerkezetek számos előnye közül a következőket emelném ki:

- viszonylag magas szilárdság, kedvező mechanikai jellemzők
- kevés szerszámot igénylő összeszerelés
- magas hővezetési ellenállás
- a faszerkezetek kis tömegüknek köszönhetően magas stabilitást mutatnak a földrengés esetén is
- kis hőtágulási együttható
- a megfelelően kezelt faszerkezetet magas élettartammal rendelkeznek.

A faanyag szilárdsági osztályait az Eurocode adja meg, amely a következő módon jelenik meg:

-kilenc osztály a puhafa fűrészárura:

C14, C16, C18, C22, C24, C27, C30, C35 és C40

-hat osztály a lombhullató fára:

D30, D35, D40, D50, D60 és D70

A szilárdsági osztályok jelölésénél szereplő kétjegyű szám a rostirányú hajlítószilárdság karakterisztikus értékét mutatja.

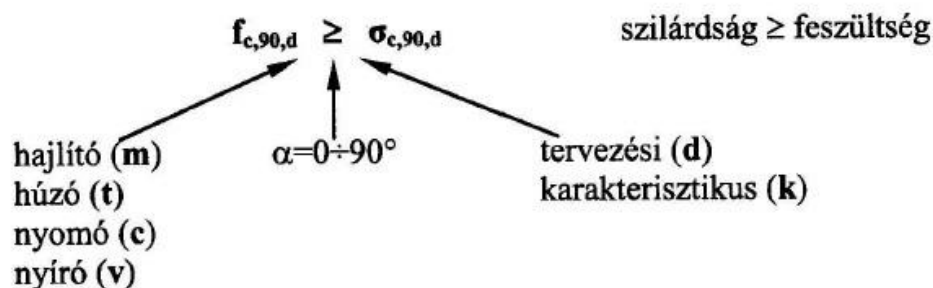
A gyakorlatban nem jellemző a szilárdság szerinti osztályozás, a fűrészárut csupán két kategóriába osztják: „asztalos” és „építő” minőségbe, melyből az utóbbi gyengébb.

„A szilárdsági és feszültségi értékek jelölésénél az index első tagja az igénybevétel típusára utal, második tagja a feszültség irányának a rosttal bezárt szögét mutatja (ugyanis a fa anizotróp), míg az index harmadik tagja a szilárdság valószínűségi szintjét jelöli ” [1]. A jelölés módját az 1. ábra szemlélteti.

Valós - fahibákkal, göcsökkel rendelkező - faanyag esetén közel lineárisan rugalmas, míg a hibamentes faanyagnál képlékeny feszültségábra is megfigyelhető a nyomott övben, a tönkremenetel előtt.

A szerkezeti elemek tönkremenetele jellemzően a húzott övbeli fa rostok ridegtörésével áll elő, ezért a faelemek igénybevételeinek számítását rugalmas anyagmodellel végezzük. Képlékeny ellenőrzés alapvetően a képlékeny tartalékkal rendelkező acél csap típusú illetve, fogas tárcsás kapcsolatoknál alkalmazható.

A fa szilárdsági jellemzőit befolyásolja az igénybevétel módja, a terhelő erő, a rostirány által bezárt szög, a faanyag egyensúlyi nedvességtartalma és a működő teher időtartama.



1. ábra: szilárdsági jelölések a fa esetében [1]

Fenyők		Tülevelűek és nyárfafélék							
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C40
Szilárdsági értékek (N/mm ²)									
Hajlítás	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	40
Húzás	Rosttal párhuzamos $f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	24
	Rostra merőleges $f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Nyomás	Rosttal párhuzamos $f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	26
	Rostra merőleges $f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9
Nyírás	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2	2,4	2,5	2,8	3	3,8
Merevségi értékek (kN/mm ²)									
Rugalmassági modulus	$E_{0,mean}$	7	8	9	10	11	12	12	14
Rosttal párhuzamos átlagértéke 5%-os küszöbértéke	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6	6,7	7,4	8	8	9,4
Rostra merőleges átlagértéke	$E_{90,mean}$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
Nyírási modulus átlagértéke	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,72	0,75	0,88
Sűrűség (kg/m ³)									
Átlagos sűrűség	ρ_{mean}	350	370	380	410	420	450	460	500
Stabilitási anyagjellemzők									
k_c tényező számításához kihajlásvizsgálatnál	λ_E	53,8	56,0	57,4	57,5	59,0	59,9	58,6	59,7
k_{crit} tényező számításához kifordulásvizsgálatnál	$\lambda_{E,m}$	16,2	16,2	16,2	15,5	15,5	15,3	14,5	13,6

2. ábra: a fenyőfák tulajdonságai [1]

Keményszárak		Lombhullató fajták				
		D30	D35	D40	D50	D60
Szilárdsági értékek (N/mm ²)						
Hajlítás	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60
Húzás	Rosttal párhuzamos $f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36
	Rostra merőleges $f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7
Nyomás	Rosttal párhuzamos $f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32
	Rostra merőleges $f_{c,90,k}$	8	8,4	8,8	9,7	11
Nyírás	$f_{v,k}$	3	3,4	3,8	4,6	5,3
Merevségi értékek (kN/mm ²)						
Rugalmassági modulus	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17
Rosttal párhuzamos átlagértéke	$E_{0,05}$	8	8,7	9,4	12	14
5%-os küszöbértéke	$E_{0,05,mean}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
Rostra merőleges átlagértéke	G_{mean}	0,6	0,7	0,7	0,9	1,1
Nyírási modulus átlagértéke						
Sűrűség (kg/m ³)						
Sűrűség középértéke	ρ_{mean}	640	670	700	780	840
Stabilitási anyagjellemzők						
k_c tényezőhöz kihajlásvizsgálat	λ_E	59	59	60	63	66
k_{crit} tényezőhöz kifordulásvizsgálat	$\lambda_{E,0}$	14	14	14	14	14

3. ábra: a keményszárak tulajdonságai [1]

3. Ragasztott faanyagok

A ragasztott faelemek a természetes fához hasonló tulajdonságú termékek, amelyek természetes faanyagú elemekből hossz- vagy széltoldott, illetve rétegelt formában, a szükséges hosszúságú vagy keresztmetszetű faelem előállítását teszik lehetővé a megfelelő ragasztót használva.

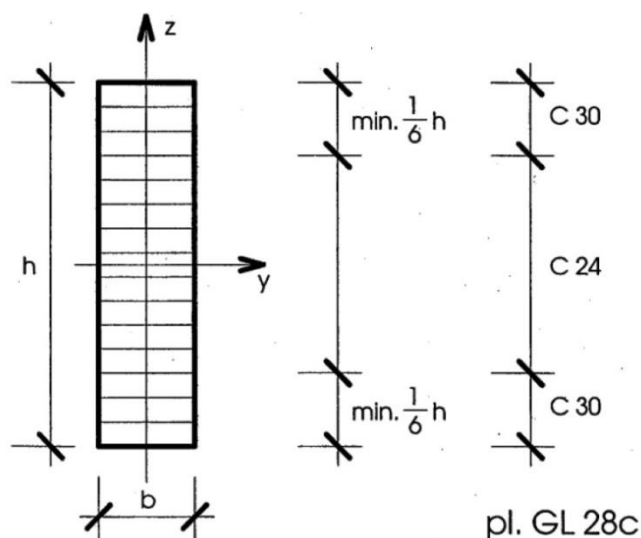
„A természetes faanyag méretei sok esetben kisebbek, fahibákat tartalmaznak és erősen hajlamosak a vetemedésre. A ragasztott fa előállítása során nemcsak a kívánt geometriai méretekkel rendelkező faelem előállítása a cél, hanem a válogatott faanyag nagyméretű összeragasztásával a mechanikai tulajdonságok is javíthatók.” [1]

A rétegelt-ragasztott gerendák esetében a metszet felső és alsó része van a legjobban igénybe véve. Tudván ezt, a gerenda felső- és alsó részét képező elemek erősebbek, a metszet belsejébe viszont gyengébb mechanikai jellemzőkkel rendelkező faanyagot is tehetünk. Az által, hogy a jobb minőségű faanyagot a metszet azon részére helyezzük, ahol maximális a feszültség és az alacsonyabb feszültségű zónákhoz gyengébb faanyagot teszünk, egy hatékony faanyag gazdálkodáshoz járulunk hozzá, amely természetesen költséghatékony is.

A kombinált rétegelt ragasztott elemek esetében az 5.ábrán látható arányt kell betartani, ami a keresztmetszet kiképezését illeti.

Rétegelt ragasztott fa / RRFA /		Homogén GL24h 36h				Kombinált GL24c 36c			
		24h	28h	32h	36h	24c	28c	32c	36c
Szilárdsági értékek (N/mm ²)									
Hajlítás	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Húzás Rosttal párhuzamos Rostra merőleges	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6	0,35	0,4	0,45	0,5
Nyomás Rosttal párhuzamos Rostra merőleges	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3	3,3	3,6	2,4	2,7	3	3,3
Nyírás	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
Merevségi értékek (kN/mm ²)									
Rugalmassági modulus Rosttal párhuzamos átlagértéke 5%-os küszöbértéke Rostra merőleges átlagértéke	$E_{0,g,mean}$	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
	$E_{0,g,05}$	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
	$E_{90,g,mean}$	0,38	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,42	0,46
Nyírási modulus átlagértéke	$G_{g,mean}$	0,72	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,78	0,85
Sűrűség (kg/m ³)									
Sűrűség középértéke	ρ_{mean}	460	490	510	535	420	460	490	520
Stabilitási anyagjellemzők									
k_x tényezőhöz kihajlászvizsg.	λ_E	62,2	61,6	61,5	61,6	66,5	64,8	64,3	63,6
k_{crit} tényezőhöz kifordulásv.	$\lambda_{E,m}$	17,5	17,1	16,7	16,3	16,9	16,8	16,4	16

4. ábra: a rétegelt ragasztott fák tulajdonságai [1]

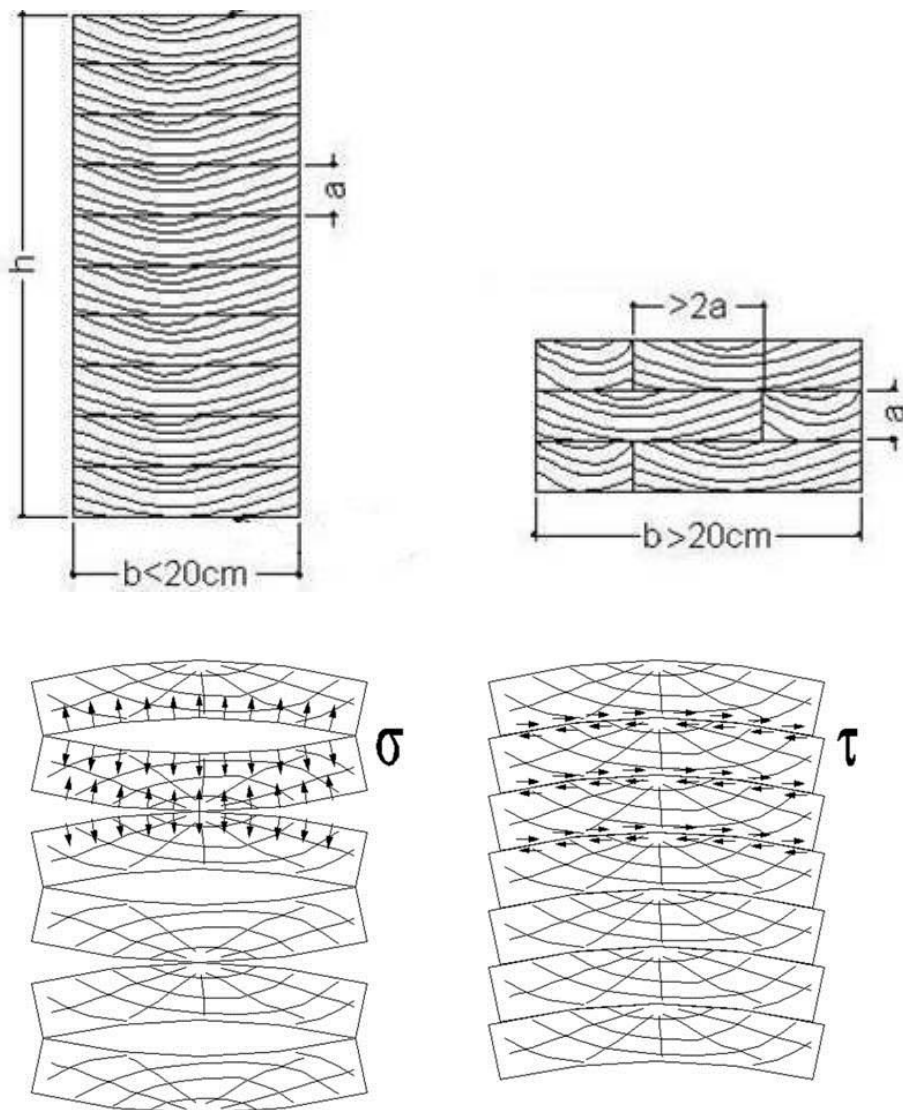


5. ábra: kombinált RR gerenda

A rétegelt ragasztott gerendák metszetének magassága változó, a lamellák számának módosításával tudjuk növelni vagy csökkenteni azt.

Az RR elem keresztmetszetében, az illesztett lamellák száma legtöbb egynegyede lehet a metszet magasságának. A lamellák legtöbb 2,5 m hosszúak lehetnek és vastagságuk pedig legtöbb 50 mm. Két lamella közötti távolság, több, mint 50 cm kell legyen.

A deszkák elhelyezése is nagyon fontos az elem kiképezésekor. Az évgűrűk ugyanazon irányba kell mutassanak minden deszkán, ezáltal kiküszöbölhető a fa száradása és tágulása során jelentkező húzás, amely következtében az elem szétválhat a ragasztó mentén. Ezt szemlélteti a 6. ábra.



6. ábra: lamellák elhelyezése



7. ábra: rétegelt ragasztott gerenda

Az egy elemből kiképezett ragasztott gerenda szélessége leg több 20 cm lehet, de, amennyiben ennél szélesebb keresztmetszetű elemre van szükségünk, alkalmazhatunk szélesítő toldást is.

4. Rétegelt ragasztott fa ívekből kiképezett tetőszerkezetek

Államvizsga dolgozatom témájául egy sportcsarnok statikai tervezését választottam. A számomra különleges tetőszerkezete miatt indultam ebbe az irányba.

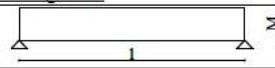
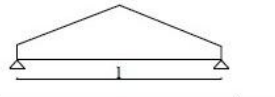
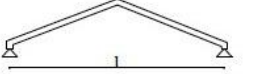
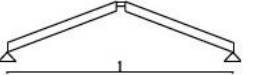
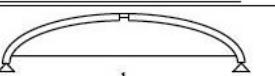
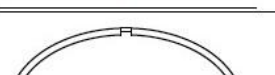
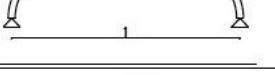
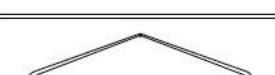
Mivel nekem 28,66 m nyitású, 7,55 m tartómagasságú és 6m-es állásközü ívekre volt szükségem, ezért a 8. ábrát felhasználva, a háromcsuklós ívek mellett döntöttem.

A látvány szempontjából, nem a vonórudas megoldást használtam, így az íveket tartó diafragmákat oldalt, keretszerkezetekkel kellett megerősítenem. Ezek a keretszerkezetek, az ívekből adódó oldalnyomásokat hivatottak átvenni.

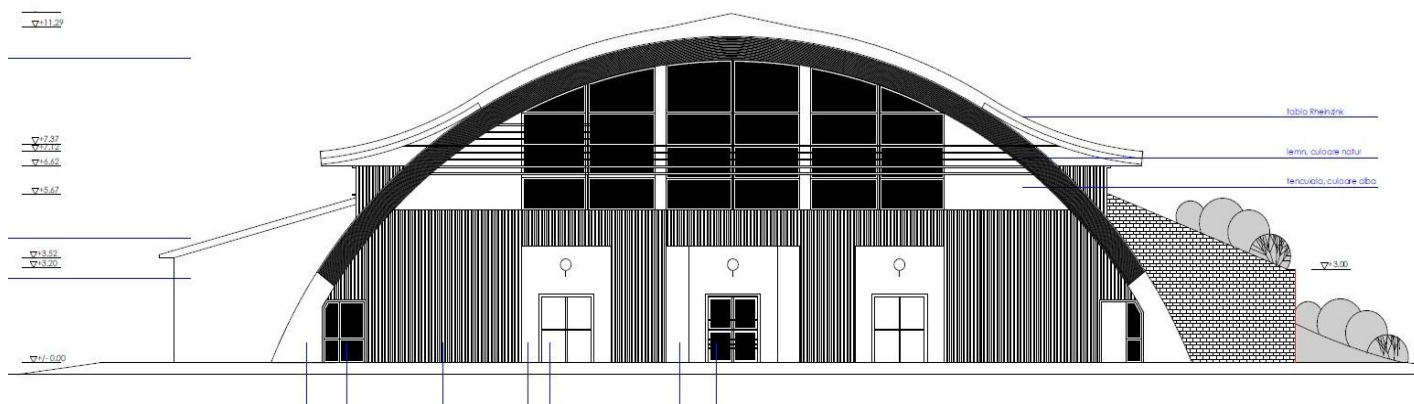
Az ívekből származó oldalnyomások miatt, az alapozás tervezése is nagy figyelmet igényelt, két irányú, elasztikus sávalapot használtam, melyet helyenként diafragmákkal kellett megerősítenem.

Az alábbi rajzok, (9.-,10.-,11.-,12. ábra) amelyek az én szerkezetemet ábrázolják, jól szemléltetik a fent említett megoldást:

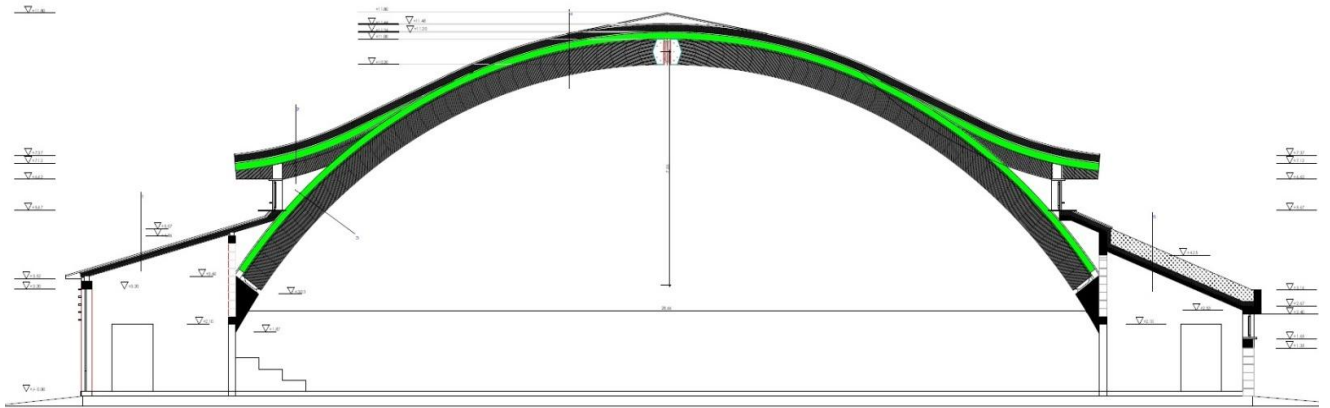
Gyakoribb rétegelt-ragasztott tartótípusok szokásos méretei:

Jellegábra	Tartótípus	Fesztáv	Állasköz	Tartómagasság
	Kéttámaszú Párhuzamos övű	10-50 m	5-10 m	0,06×1
	Kéttámaszú egyensúlyátságú	10-50 m	5-10 m	0,07×1
	Kéttámaszú törttengelyű	10-35 m	5-10 m	0,07×1
	Háromcsuklós vonórudas	20-60 m	5-10 m	0,03×1
	Háromcsuklós vonórudas	20-100 m	5-10 m	0,025×1
	Háromcsuklós ív	25-150 m	5-10 m	0,02×1
	Háromcsuklós keret	10-50 m	5-10 m	0,06×1
	Háromcsuklós Íves vállú keret	10-80 m	5-10 m	0,05×1
	Kétsuklóskeret	10-40 m	5-10 m	0,05×1

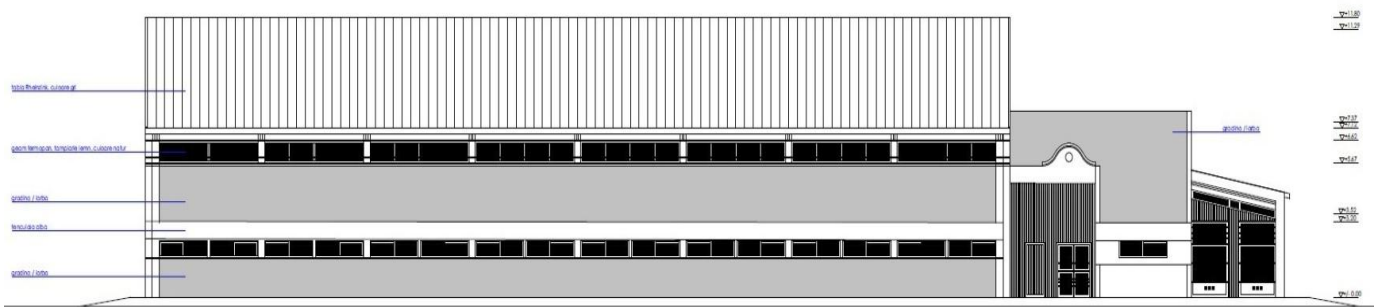
8. ábra: gyakoribb rétegelt-ragasztott tartótípusok szokásos méretei [3]



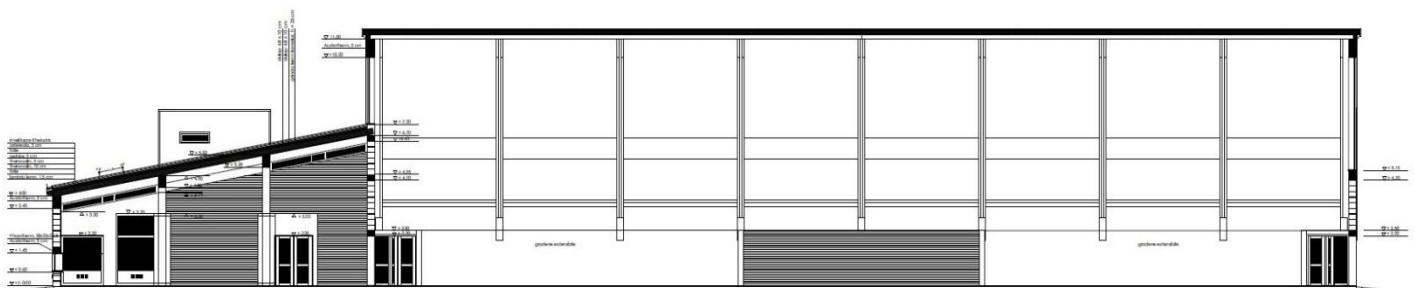
9. ábra: a sportcsarnok homlokzati rajza



10. ábra: a sportcsarnok keresztmetszeti rajza



11. ábra: a sportcsarnok homlokzati rajza

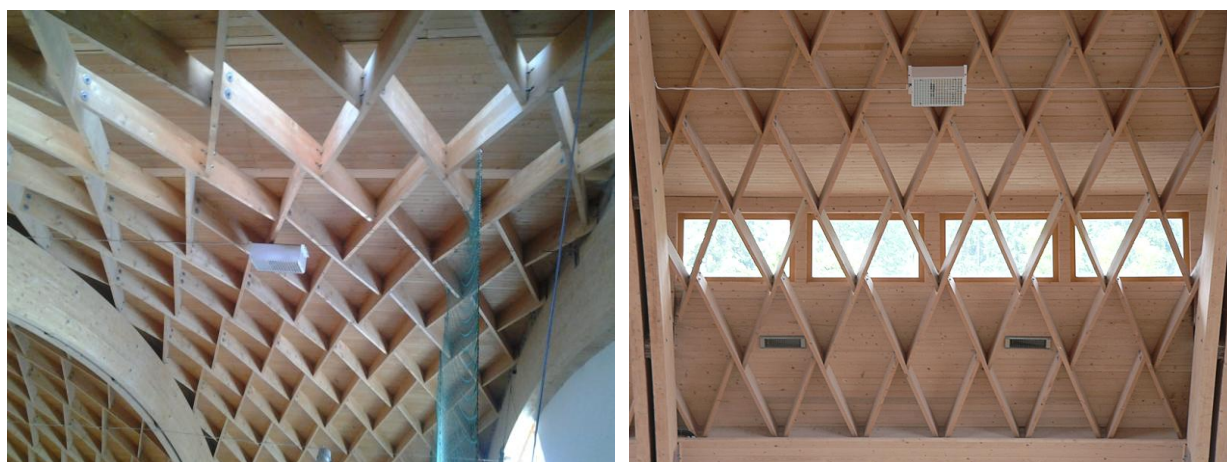


12. ábra: a sportcsarnok hosszanti irányban készített metszeti rajza

Az Oikos rendszerben kiképezett tetőszerkezetet szokás nevezni még lamellatetőnek is, amely egy fából készült, formaazonos lamellákból kialakított, acél kötőelemekkel rögzített, kiváló mérnöki esztétikával rendelkező íves térrács, amely alkalmas nagyfeszítávú terek lefedésére.



13. ábra: lamellatetős sportcsarnok-www.larixstudio.ro [5]

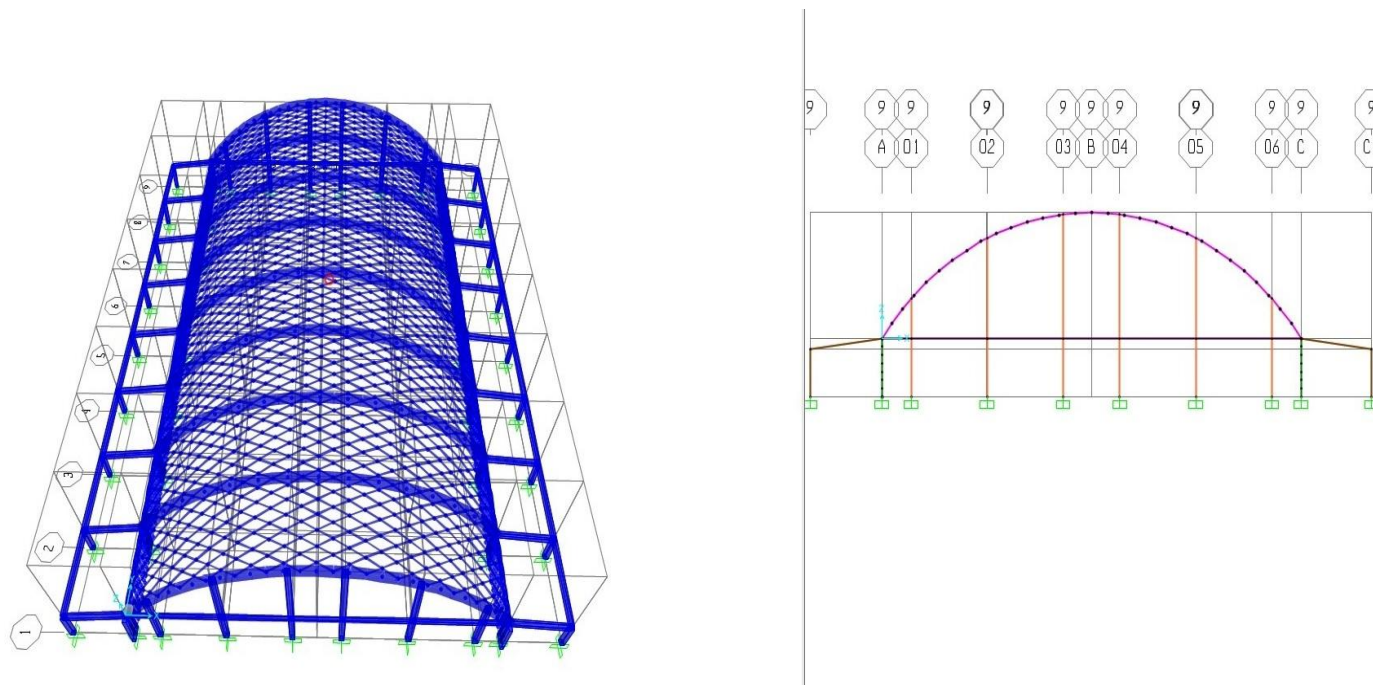


14. ábra: Oikos térrács-www.larixstudio.ro [5]

A szerkezet statikai modelljét (15. ábra) SAP 2000-ben készítettem, annak ellenére, hogy találtam néhány empirikus számolást a Dr. Dumitru Marusciac professzor által szerzett könyvben, de úgy gondoltam, hogy pontosabb eredményeket fogok kapni, abban az esetben, ha statikai szoftvert használok.

A modellezésre több eljárást találtam lehetségesnek. Az egyik módszer esetében, amely viszonylag egyszerű és kevesebb munkát igényel, elégséges csupán az íveket és a rájuk helyezkedő földemekeket modellezni. Ennél még egyszerűbb megoldás, a csupán ívelt földemek használata. Az előbb említett esetekben az oikosok nincsenek külön modellezve, de figyelembe kell venni azok teherhordási hozzájárulását is.

A legaprólékosabb modellezést választottam, amelyben minden szerkezeti elem megtalálható. Ez az eljárás többletmunkát igényelt, de fontosnak tartottam ebbe az irányba elindulni, ugyanis így valósághűbb eredményeket kaptam. A térrács elemeinek igénybevétele és viselkedésének pontos vizsgálata is, az aprólékosabb munka mellett szólt, amelynek következtében néhány érdekes dologot figyelhettem meg, amely a dolgozatom során bemutatásra kerül.



15. ábra: a szerkezet statikai modellje

Tetőszerkezet formája miatt, a szimmetrikus terhek mellett számolnom kellett az asszimmetrikus terhek esetével is.

Mivel az államvizsga dolgozatom témájaként választott sportszarnok építésének helye Gyergyószentmiklós, amely a Keleti-Kárpátok, azonos nevű hegközi medencében található, a téli időszakban lehullott hó mennyisége miatt, jelentős hőterheléssel kell számolnom.

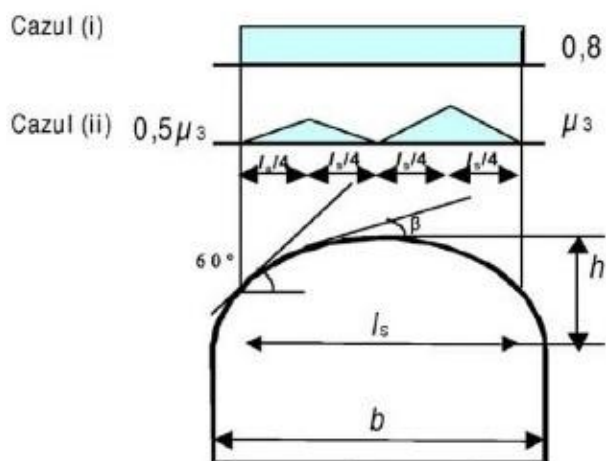
A felszíni hőterhelés karakterisztikus értékét (s_k) a 16. ábrát felhasználva határoztam meg.



Figura NA.1 – Harta de zonare a valorii caracteristice a încărcării date de zăpadă (interval mediu de recurență IMR = 50 ani)

16. ábra: a felszíni hőterhelés karakterisztikus értékei Románia területén[6]

A számításokat az EUROCODE 1 alapján végeztem. A hőteher szimmetrikus és asszimmetrikus változatainak modellezése a 17. ábra alapján történt.



17. ábra: a hőteher alaki tényezői a hengerfelületek esetében[6]

A szélteherre vonatkozó előírások az EC1-ben meglehetősen bonyolultak és szövevényesek, különösen az román szabvány elég egyszerű előírásaihoz képest. A hengerfelületek esetében a szélteher szimmetrikus és asszimmetrikus változatra kell tervezni.

Abban az esetben, amikor a terhelés iránya merőleges a szerkezetem hosszanti oldalával az EUROCODE a 18. ábrán látható grafikon használatára ad utasítást.

Annak ellenére, hogy az EUROCODE nem tér ki a hengerfelületek esetében, arra a jelenségre, amikor a szél, a rövid oldal irányából fúj, vagyis az ívek síkjára merőlegesen, én ezt a jelenséget a nyeregtetők mintájára oldottam meg, amelyet a 19. ábra szemléltet.

A háttérkomponenst a szabvány nyomásértékek segítségével adja meg, melyek így természetesen mindig az adott határoló felületre merőlegesen értendők (ellentétben a hőteherrel, mely vízszintes vetületre vonatkozott). Ez a nyomás, ha pozitív előjelű, akkor a felületet ténylegesen nyomja, de lehet negatív előjelű is, ekkor szívást jelent.

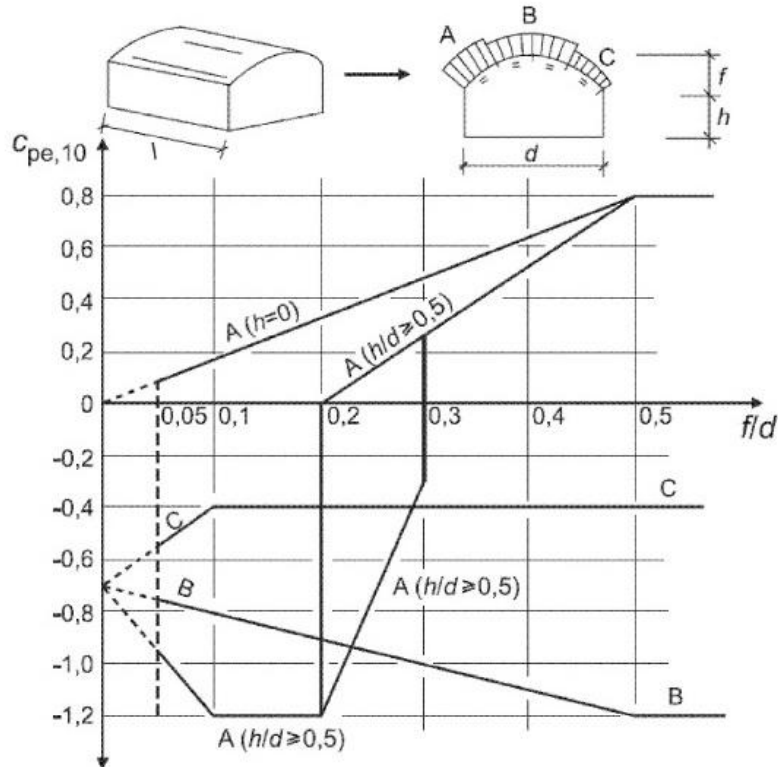
A földrengésszámítás, a román szabványban meghatározott válaszspektrummal történt. Mivel Gyergyószentmiklós nem rendelkezik jelentős szeizmikus aktivitással (a talajgyorsulás $a_g=0,12g$) és a fa tetőszerkezet tömege is nem túl nagy, a maximális igénybevételek nem a földrengést tartalmazó teherkombinációkból származnak.

SR EN 1991-1-4:2006

7.2.8 Acoperișuri cilindrice și cupole

(1) Această secțiune se aplică acoperișurilor cilindrice și cupolelor.

NOTĂ - Valorile $c_{pe,10}$ și $c_{pe,1}$ folosite pentru acoperișurile cilindrice și cupole pot fi indicate în anexa națională. Valorile recomandate pentru $c_{pe,10}$ și $c_{pe,1}$ sunt indicate în figurile 7.11 și 7.12 pentru diferite zone. Înălțimea de referință care se ia în considerare este $z_s = h + f$.



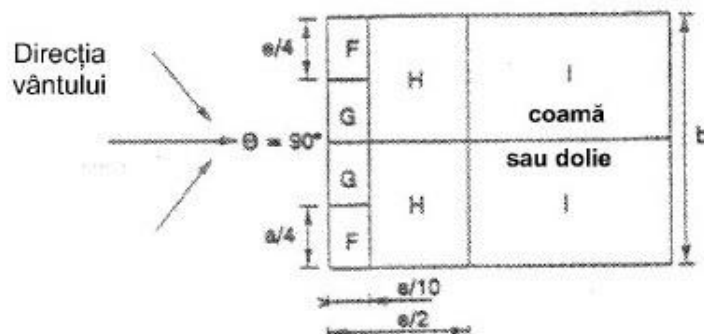
pentru $0 < h/d < 0.5$, $c_{pe,10}$ se obține prin interpolare liniară

pentru $0.2 \leq f/d \leq 0.3$ și $h/d \geq 0.5$ se consideră două valori pentru $c_{pe,10}$

diagrama nu este aplicabilă pentru acoperișuri terasă

18. ábra: az épület hosszú oldalára merőlegesen ható szél külső nyomási tényezői[6]

(b) direcția vântului $\theta = 0^\circ$



(c) direcția vântului $\theta = 90^\circ$

19. ábra: az épület rövid oldalára merőlegesen ható szél esetében történő felületek meghatározása[6]

A SAP 2000 segítségével (15.ábra) az elemekben jelenlévő erőket és lehajlásokat kaptam meg. Ezek alapján voltak a méretezések és ellenőrzések végezve.

Az ívek anyaga GL24h rétegelt ragasztott fenyőfa, a rátevődő Oikos háló pedig C24-es tömör fenyőfából van.

A faelemek vizsgálata az Eurocode 5 alapján történt és négy eset közül választottam ki a keresztmetszetben jelenlévő legnagyobb feszültséget. Az alábbi esetek a maximum nyomaték és annak megfelelő axiális erő vagy a maximális axiális erő és annak megfelelő nyomaték párosításait tükrözik.

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. $M = -257,825 \text{ kN}\cdot\text{m}$ | $N = -275,31 \text{ kN}$ |
| 2. $M = 247,446 \text{ kN}\cdot\text{m}$ | $N = 113,776 \text{ kN}$ |
| 3. $M = -463,642 \text{ kN}\cdot\text{m}$ | $N = -102,46 \text{ kN}$ |
| 4. $M = 114,481 \text{ kN}\cdot\text{m}$ | $N = 227,906 \text{ kN}$ |

Az ívekben a legnagyobb feszültséget az $M = 247,446 \text{ kN}\cdot\text{m}$ nyomaték és az ennek megfelelő $N = 113,776 \text{ kN}$ nyomás kombinációja adja. A feszültség számolásakor a kihajlást is figyelembe vettem a nyomott elemeknél.

A faelemeknél gyakori eset, hogy a keresztmetszet végső méretét a lehajlás feltételei szabják meg. Az én esetemben is ez így történt, ugyanis az Eurocode alapján, az ívekben 40,51 mm lehajlással kellett számoljak.

A megengedett lehajlás a ragasztott faelemeknél $L/500$, ami az én esetemben $28,66\text{m}/500 = 57,32\text{mm}$.

Ezeket az eredményeket 36 cm széles és 80 cm magas keresztmetszetű ívekkel értem el, amely több próbálkozás eredményeként sikerült optimalizálni, ami a szükséges és felhasznált anyagmennyiséget illeti.

Az Oikos rendszer legterheltebb elemében a következő igénybevételt kaptam a statikai program szerint:

$N = 86,02 \text{ kN}$ $M = 1,01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Az ellenőrzéseket, nyomásra és hajlításra igénybevett elemek mintájára végeztem, ahol természetesen figyelembe vettem a kihajlást is.

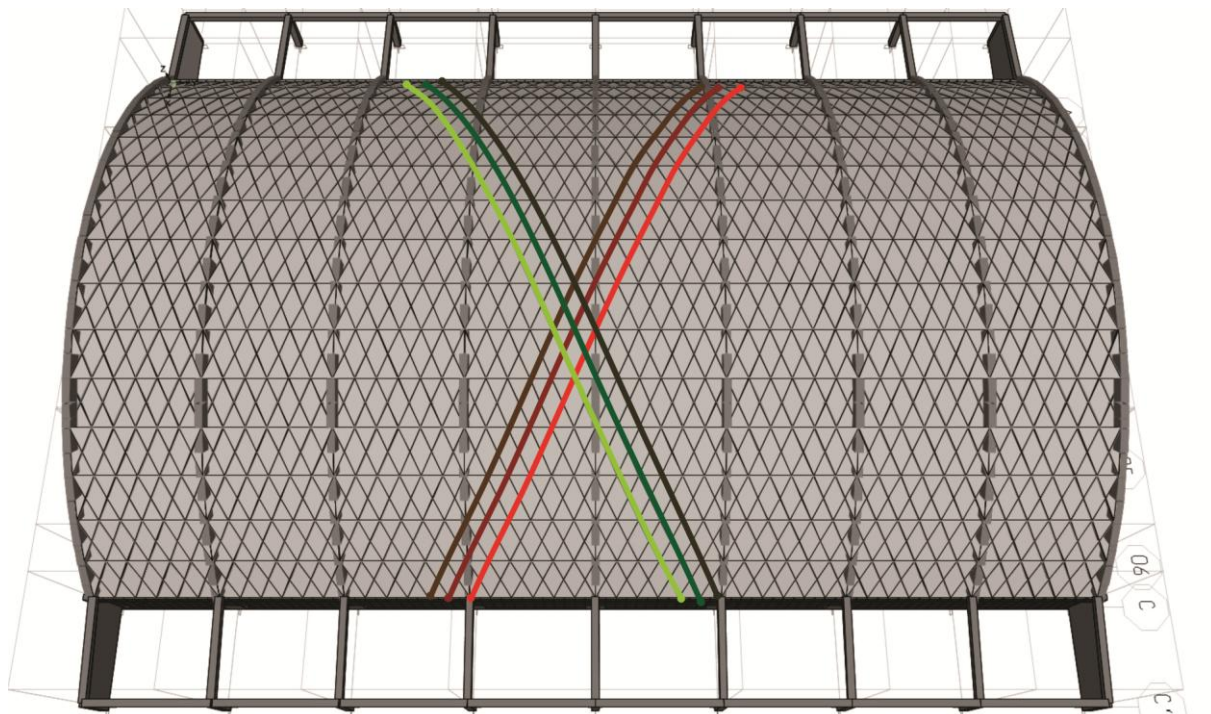
A 4cm szélességű és 20 cm magasságú keresztmetszet esetében a feszültség és tervezési szilárdság aránya csupán 0,72. Számomra nagyon meglepő volt ez az eredmény, amelyet egy 8,6 tonnányi tömeg által nyomott 4/20 cm keresztmetszetű fenyőfa terhelésével vontam párhuzamba.

Egy Oikos sávban történő lehajlás legnagyobb értéke 5 cm, amely teljesíti az $L/150=9,67\text{cm}$ feltételt.

Ebben az esetben nem mondhatni, hogy túlnyomórészt a lehajlási feltételek határozzák meg a keresztmetszet méreteit.

Amire igazán felfigyeltem az az volt, hogy sávokban, az oikosokban jelenlevő igénybevételek nagyon közeli értékek voltak. Ez az észrevétel, a jövő évi Tudományos Diákköri Konferenciára nevezendő dolgozatomhoz adott egy kiindulópontot.

A 20. ábrán megjelöltem, példának okáért három sávot, amellyel tükrözni szeretném a fent említett észrevételeimet.



20. ábra: hasonló igénybevételek a megjelölt sávok mentén

A 15. ábrán látható modellben az ívek főtartó-, míg a fenyőfa deszkákból kiképezett oikos háló másodtartó szerepet játszik. Ennek a hálónak a hatékonyságának felmérése céljából, létrehoztam még egy modellt, amelyben a főtartók ugyancsak az ívek, a másodtartók pedig a szelemenek voltak.

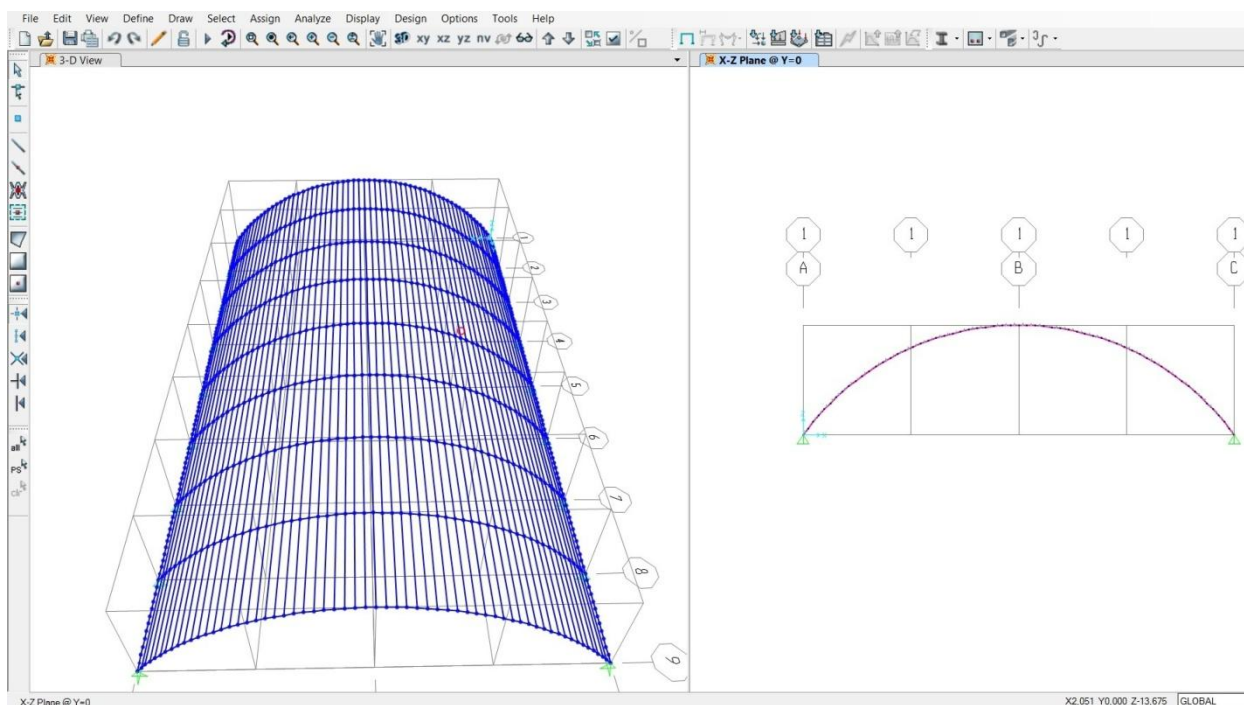
A második modell egyszerűsége miatt döntöttem úgy, hogy a másodtartók szelemenek lesznek.

A szelemenés változat esetében az ívekben megjelenő hajlítónyomatékok és axiális erők a következőképpen alakultak:

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. $M = -239,03 \text{ kN}\cdot\text{m}$ | $N = -424,45 \text{ kN}$ |
| 2. $M = 330,61 \text{ kN}\cdot\text{m}$ | $N = -328,31 \text{ kN}$ |
| 3. $M = -1,21 \text{ kN}\cdot\text{m}$ | $N = -576,21 \text{ kN}$ |
| 4. $M = 9,31 \text{ kN}\cdot\text{m}$ | $N = 2,12 \text{ kN}$ |

Ebben az esetben azt figyeltem meg, hogy az ívekben keletkezett maximum feszültség értéke 1,5-ször nagyobb, mint az első változatban.

Az ívek végleges keresztmetszete ebben az esetben is a lehajlási feltételekből adódik. A szelemenés változat esetében a lehajlás értéke az ívekben 9mm-rel nagyobb, mint az első modell esetében, de még mindig a megengedett értékeken belül maradt. Ezért mindkét esetben 36/80 keresztmetszetű íveknél maradtam.



21. ábra: 2. modell, amelyben a másodtartók a szelemenek

A szelemenekben a domináns igénybevétel a nyomaték, többi erők, méretüket tekintve elhanyagolhatóak.

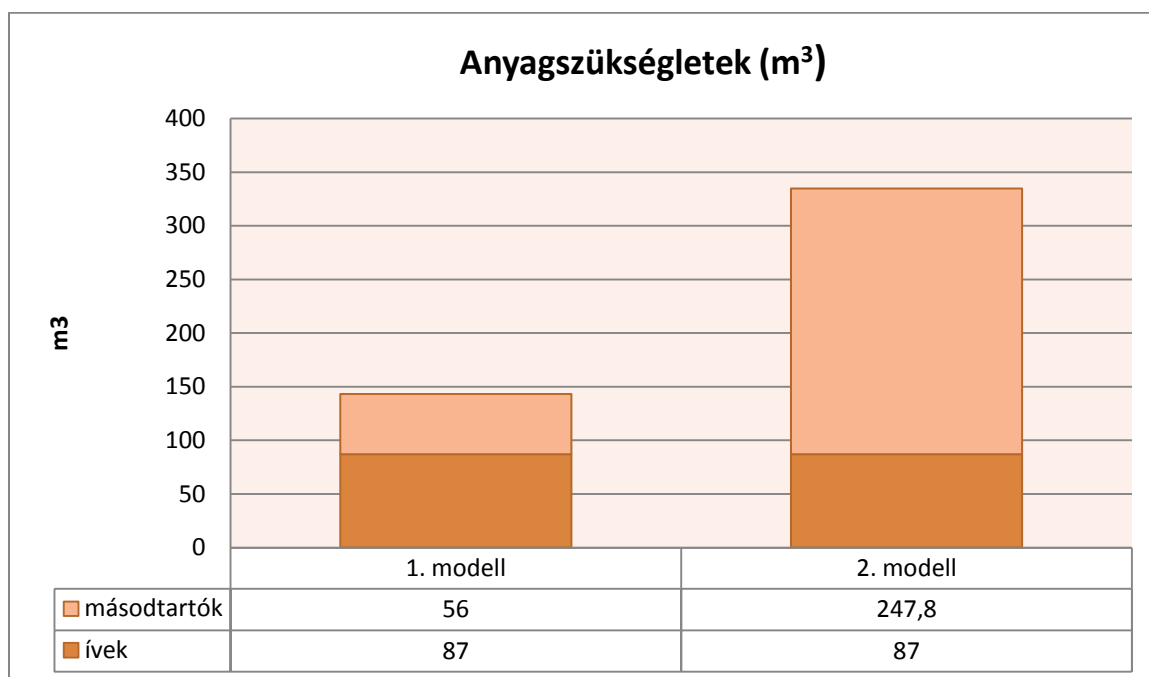
A második modell esetében igazolódik leginkább az a tézis, hogy a faelemek keresztmetszének meghatározásában jelentős szerepe van a lehajlás vizsgálatának. Több keresztmetszettel próbálkoztam a másodtartók esetében, úgy a rétegelt ragasztott fával, mint az egyszerű tömör fával. Mivel a RR fatartók esetében megengedett lehajlás az $L/500$, ami nagyon szigorú határok közé sűrített, ezért kénytelen voltam tömör fát használni.

A tömör fa esetében az Eurocode 5 alapján a lehajlás megengedett mértéke $L/200$. Ezt a feltételt 25cmX35cm keresztmetszetű szelemenekkel tudtam teljesíteni, amelyeket 34 cm-ként tettem. Valószínűleg a gyakorlatban nem szükséges ekkora méretű másodtartó, mert én a számolásaimban nem vettem figyelembe a deszka borítás hozzájárulását.

Ami az anyagfelhasználást illeti, a két modell jelentősen különbözik egymástól.

Az első változat esetében az ívekhez 87m^3 megmunkált ragasztott faanyag, a teljes oikos hálózhoz pedig, 56m^3 tömör, megmunkált fa szükséges.

A második változatnál a ívekhez szükséges anyagmennyiség nem változik, a másodtartók ebben az esetben a szelemenek, amelyek $247,8\text{ m}^3$ megmunkált faanyagot igényelnek. Ezeket az adatokat az 22. ábra szemlélteti.



22. ábra: a főtartók és másodtartók anyagszükségletei

A fenti adatokból kiindulva megállapítható, hogy az 1. modell a költséghatékonyság szempontjából előnyösebb, mint a 2. modell, annak ellenére, hogy nem tükrözi a szerelési költségeket. A szelemenek esetében ez nem jelent nagy költséget ugyanis az előregyártott elemeket a helyszínre szállítják és a munkálatok megfelelő fázisában az ívekre illesztik.

Az oikos térrács esetében is van megoldás a hatékonyabb szerelésre, különböző méretű oikospanók készíthetők, amelyek segítségével a szerelési munkálatok időtartama jelentősen lerövidül, tehát a két változat szerelési költségeiből adódó különbség nem dönt a második modell javára, ami a hatékonyságot illeti.

Következtetésképpen, a térrácsos megoldás számos előnyöket tartalmaz, amely használata nagy nyitások esetén is igazolt. Az egyszerű, egy réteggel fedett terrácstól, a többrétegű tetőig, bármilyen rétegrend kialakítható, így az épület rendeltetésétől függetlenül lehet alkalmazni ezt a fajta tetőszerkezetet.

A fent említett Oikos-rendszerek legfőbb előnyei a következők:

-A legtöbb esetben a lamellák tipizálhatóak, amely gyártási folyamat hatékonyságát eredményezi

-A faszerkezeti elemek kis tömegének és méretének köszönhetően, kedvező szállítási feltételeknek örvend

-Az elemek gyors és egyszerű szerelhetősége

-Nem szükségesek szélrácsok és a tetőfedő anyag felhelyezéséhez nincs szükség egyéb kiegészítő elemekre(szelemenek, szarufák)

Végezetül, megállapíthatom, hogy hasznos volt elkészítenem az oikos térrácsos- és szelemenes modellt, amelyeket párhuzamba is állítottam egymással, ezáltal kiemelve mindkét változat sajátosságait. Párhuzamba állítva egyik változatot a másikkal, a térrácsos modell számos gyakorlati haszna igazolódott be.

5. Irodalom

- [1]. Dezső Zsigmond, Szabó László: Faszerkezetek tervezése Eurocode 5 alapján
- [2]. Bíró Mariann, Doboczki Szandra, Hollósi Diána, Lengyel Barbara: Fa csarnokszerkezetek, típusok, kialakításuk, erőjátékuk példákon keresztül
- [3]. Koris Kálmán, Bódi István: Rétegelt ragasztott fa tartók vizsgálata
- [4]. Dumitru Marusciac: Constructii moderne din lemn
- [5]. www.larixstudio.ro- letöltve: 2014. április
- [6]. SR EN 1991-1: EUROCODE 1- Acțiuni asupra construcțiilor
- [7]. SR EN 1995-1: EUROCODE 5- Proiectarea structurilor din lemn
- [8]. P100-1/2013 „Cod de proiectare seismică"