



Újvidéki Egyetem

Műszaki Tudományok Kara

Építészeti és várostervezési szak

A BIOMIMETIKA ELVEINEK ALKALMAZÁSA AZ ÉPÍTÉSZETBEN

KAGYLÓ PAVILION

Témavezető:

Marko Vučić MSc

Asszisztens

Készítette:

B. Varga Emese

III. évfolyam

Újvidék, 2017

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETŐ	2
FELÉPÍTÉS ÉS ALKALMAZOTT MÓDSZEREK	3
A BIOLÓGIAI KUTATÁS	4
A MODELL TERVEZÉSE	5
GYÁRTÁS ÉS A MAKETT ÖSSZEÁLLTÁSA	13
A SZERKEZET FELHASZNÁLÁSA AZ ÉPÍTÉSZETBEN	16
KÖVETKEZTETÉS	19
FELHASZNÁLT IRODALOM	20

BEVEZETŐ

Az építészetben mindig is törekedtek a könnyed, vékonyabb konstrukciók és szerkezetek kialakítására és alkalmazására. Napjainkban korszerű tervező- és modellezőprogramoknak köszönhetően olyan formákat lehet létrehozni, amelyek régebben szinte elképzelhetetlenek voltak. Nem feltétlen korlátozódunk már a kocka alakzatokra, a sablonos gerenda-oszlop szerkezetekre, ám ezek a szabadabb formák újabb szerkezeti megoldásokat követelnek. A biomimetika ezek kivitelezésében lehet a segítségünkre.

Számos olyan kutatás létezik világszerte, mely a könnyed, önhordozó szerkezetek tervezésével foglalkozik. Ezek közül pár sikeresebb példa: az ICD-ITKE által készült Research Pavilion 2015-2016 [1], mely a tengerisün felépítési elvét alkalmazza, Research Pavilion 2011 [2] melyek a Clypeasteroid inspirált, vagy például az Igloo Pavilion [3], melyet a Digital Design Center tervezett. Ezek a pavilionok megfelelnek az feltüntetett elvárásoknak, sikeresen hoztak létre amorf szerkezeteket, melyek ellenállóak, és jó tulajdonságokkal rendelkeznek. Mégis, az egyik gyenge pontjuk a szerkezet vastagsága. A pavilionok szerkezete és anyaga egyaránt túl vastag és ez a kutatás ezt a hiányosságot tervezi kiküszöbölni.

A kutatás célja egy olyan könnyed struktúra tervezése, mely vékony, könnyen beszerezhető, nem túl drága lemez anyagokból kivitelezhető, ennek ellenére mégis eléggé erős, és ellenálló a külső tényezőkre.

FELÉPÍTÉS ÉS ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A természet másolása illetve az abból merített inspiráció nem egy újkeletű fogalom sem az építészetben, sem más tudományágakban. Már az ókori görögök is utánozták a különböző virágok formáit, s az idő előre haladtával, a mikroszkópoknak, a korszerűbb gépeknek és technikáknak köszönhetően egyre nagyobb betekintésünk van a természet által alkotott szerkezetekbe, és számos lehetőségünk van azok reprodukálására. Az evolúció által évmillióig tökéletesített természetes szervezetek, valamint azok felépítése és mechanizmusa az egyik legbiztosabb ötletforrás napjainkban. A biomimetika vagy biomimikri (a görög bios=élet mimézis=utánzás szóból) egy olyan tudományág, mely arra törekszik, hogy az élővilágban már meglévő szerkezeteket elveit lemásolja, és gyakorlati szinten alkalmazza őket a különböző mérnöki tudományokban. [4] [5]

A legelső lépés egy a célnak megfelelő, a természetben megtalálható szerkezetet találni. Olyan szerkezetre volt szükség, amelynek köszönhetően kevés anyag felhasználásával, nagy távokat is átépíthetünk. A legmegfelelőbb alanynak a kéthéjú kagyló bizonyult, mely „redős” felszínének köszönhetően, kevés anyag felhasználásával is erős és ellenálló. A kagyló felépítésének részletes elemzésekor már meglévő biológiai kutatásokra támaszkodunk. [6]

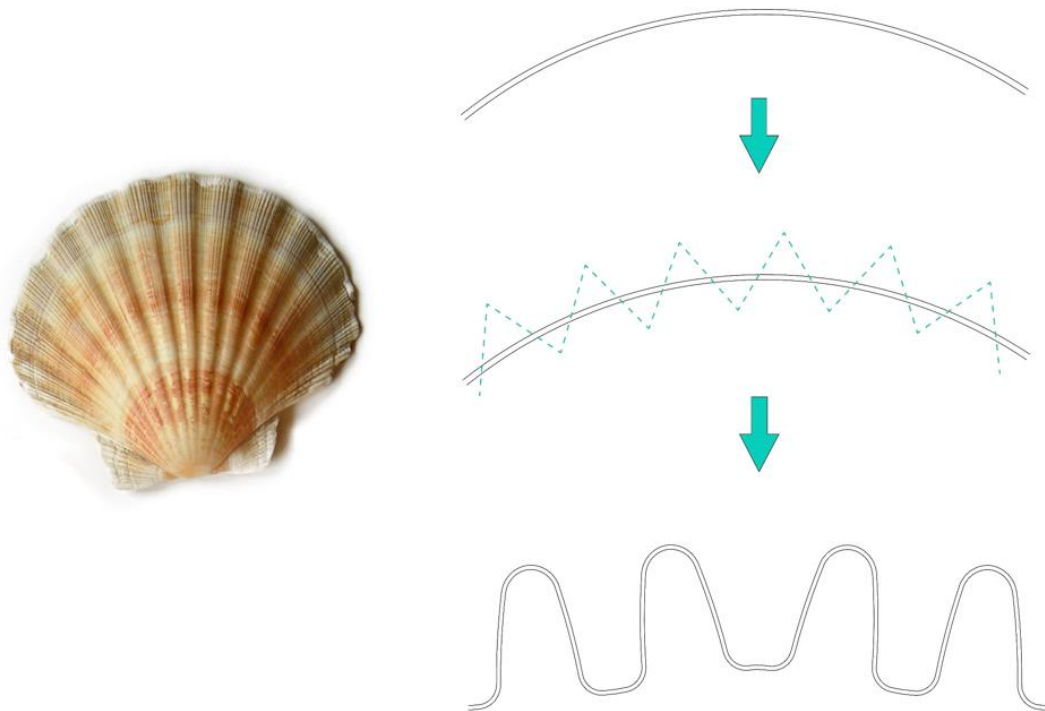
A következő lépés a pavilon formájának meghatározása, és a felfedezett szerkezet alkalmazása parametrikus modellezőprogram segítségével.

Hogy teljes mértékben meggyőződjünk az alkalmazott szerkezet és a pavilon stabilitásáról, egy kicsinyített makett is készült, mely magába foglalta a modell optimalizálását, az előkészítést a gyártásra a modellezőprogramra, a gyártás folyamatát, a makett összeállítását és a már kész makett ellenőrzését.

A BIOLÓGIAI KUTATÁS

A biológia kutatás során kezdetben nem volt meghatározva, hogy egy jelenség mikro- vagy makroszinten kell-e, hogy megvalósuljon, viszont több kutatómunka elemzése után, arra a következtetésre jutottunk, hogy ezen kutatásunkban egy makroszintű szerkezet sokkal minőségesebb eredményt hozna, hiszen a kutatás célja eleve egy nagyobb táv átépítése.

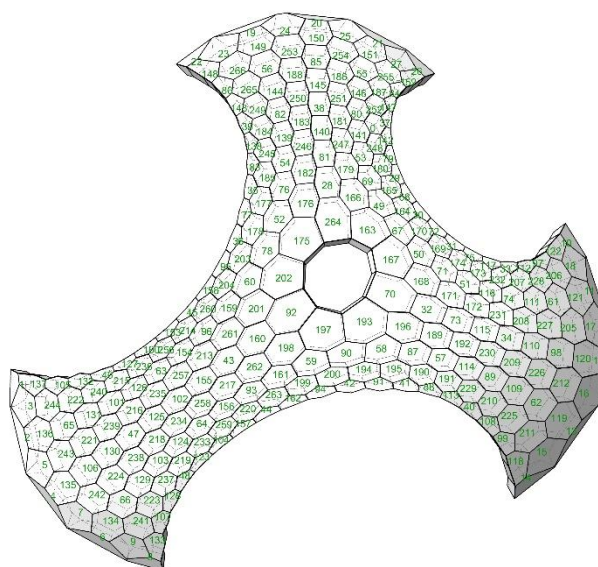
A gyöngykagyló felszíne redős szerkezetében eltér az egyszerű kagylóktól, melyeknek sima a felülete. Ennek oka a benne rejlő göngy, hisz az ő feladata az, hogy ezt a kincset megvédje a külső tényezők hatásától. Ennek érdekében, ő egy redős szerkezetet készít magának, mely kevés anyagot használ el, s ugyanolyan vékony lesz, mint más kagylók felszíne, ellenben az érdekes geometriának köszönhetően mégis sokkal ellenállóbb a külső hatásokra, és sokkal erősebb a szerkezete. [6]



1. ábra: A gyöngykagyló szerkezetének felépítése

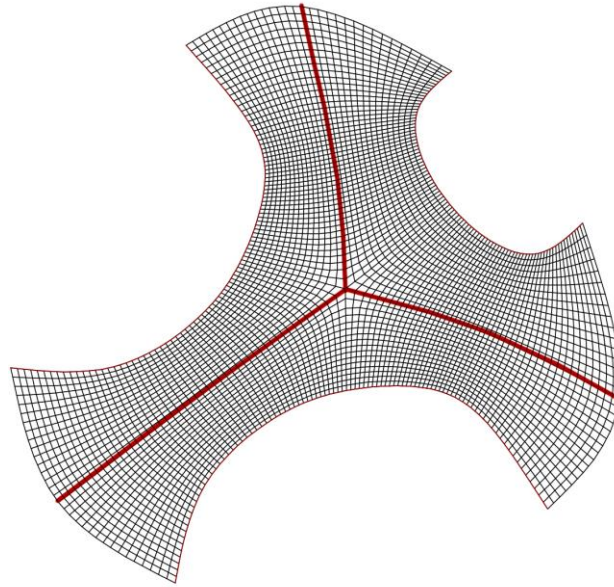
A MODELL TERVEZÉSE

A munka célja nem az volt, hogy a pavilon formájának tervezésével foglalkozzon, így alapul a már meglévő Igloo [3] nevezetű paviliót vettünk, mely redő nélküli, sima felületű és hatszögletű hungarocell elemek összeillesztésével lett kivitelezve. Annak érdekében, hogy a saját szerkezetünket minél hatékonyabban alkalmazzuk a már meglévő alakzaton, a Rhinoceros nevű parametrikus modellezőprogram Grasshopper nevű bővítményét használtuk. [9]



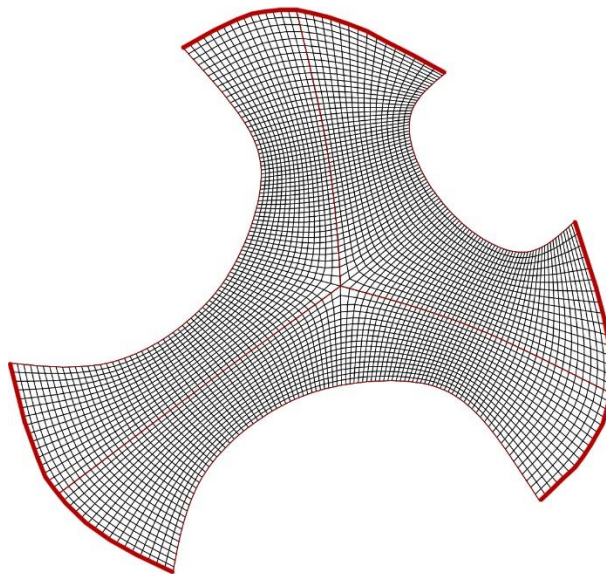
2. ábra: Igloo pavilion

Legelső lépésként, a paviliót geometriai szempontból fel kellett készíteni a redők elhelyezésére. Ehhez, a programon belül a már meglévő modellt szét kellett darabolni olyan részekre melyeken könnyebben alkalmazható a kagyló redős szerkezete. A pavilon három különböző korból és azok találkozásából áll össze, így első lépésként meghatároztuk minden kar vízszintes támaszvonalaának a felezőpontját, majd pedig mindegyik kar középvonalát. Ezek olyan vonalak, melyek körülbelül egy-egy kar két körvonala közötti távolság felén találhatók meg, majd pedig metszik egymást egy pontban, amit a modell középpontjának tekinthetünk, és egyben az a pavilion legmagasabb pontja (csúcsa) is.



3. ábra: A pavilon feldarabolása

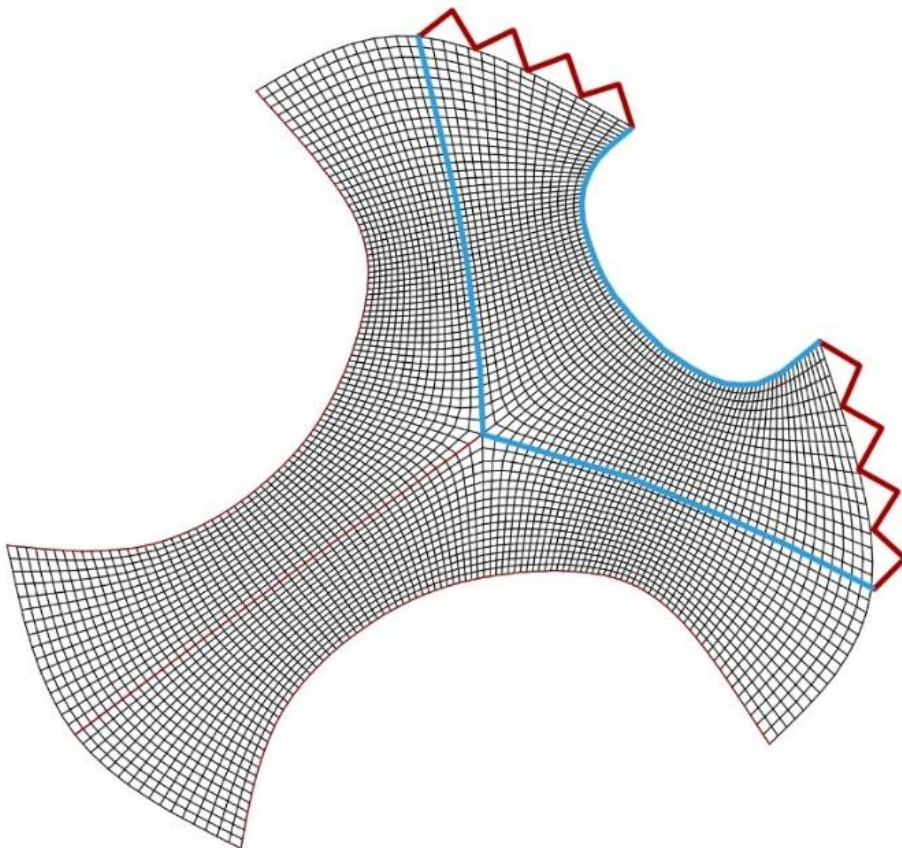
A felezővonalak azért fontos elemei a tervezésnek, mert később ezek mentén tudjuk vezetni a redős szerkezetet. Miután meghatároztuk ezeket a vonalakat, a modellt a vonalak mentén feldaraboltuk három részre. A szeleteléssel kapott elemeket ezentúl félkaroknak nevezzük, és mindegyiket külön geometriai elemként kezeljük a további tervezésben.



4. ábra: A körívek definiálása

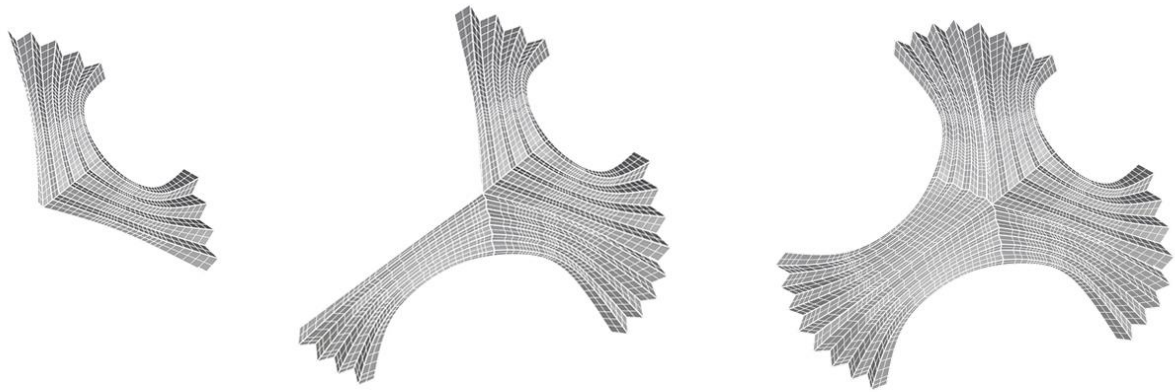
Következő lépés a redők keresztmetszetének definiálása volt. Ehhez három vízszintes körívre volt szükség, amelyek megegyeztek a már meglévő Iglo pavilon alaprajzával. Ezek a körívek egyben a pavilon támaszvonalai is, melyek érintkeznek a föld felszínével. Mindegyik köríven meghatároztunk $4xF+1$ pontot, melyek egymástól egyenlő távolságra helyezkednek el. A parametrikus programnak köszönhetően a pontok száma bármelyik pillanatban megnövelhető, illetve lecsökkenthető, a pavilon nagyságához illetve geometriájához mérten. Mivel a kagyló héjának keresztmetszete redős, egy, a körívhez igazodó cikk-cakk ívre volt szükségünk. Ezt az ívet úgy kaptuk meg, hogy minden páratlan pontot merőlegesen elmozdítottunk a saját tangenséhez viszonyítva, a modell középpontjától távolabbi irányba.

Az egy-egy fél karhoz tartozó pontokat egy vonallal összekötjük, és így négy redőből álló köríveket kapunk, melyeket a *Sweep 2 Rails* modifikátor segítségével végig vezetünk a képen megjelölt kék vonalakon.



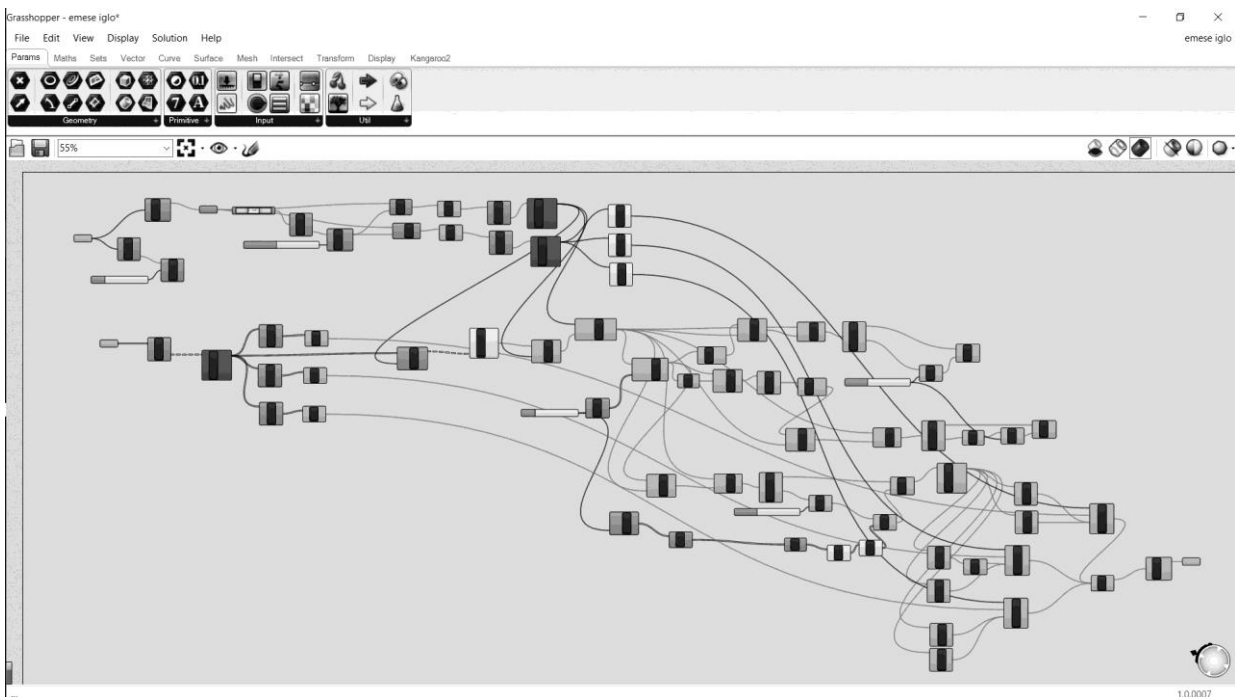
3. ábra: A felhasznált segéd vonalak

A modifikátort mindegyik félkaron alkalmazva megkapjuk a pavilon végleges formáját.

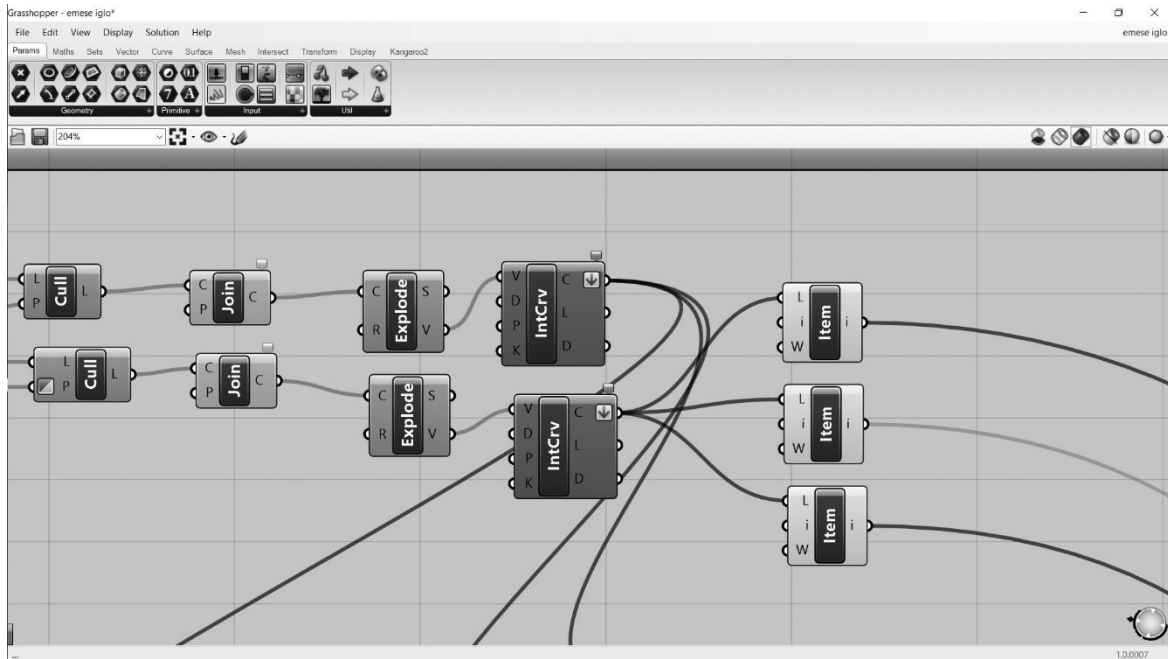


4. ábra: A felépítés fázisai

A tervezés során a Rhinoceros program Grasshopper nevű bővítményén belül sikerült egy olyan algoritmust megírni, melynek köszönhetően az adott redős szerkezet alkalmazható más alapformákon is, amennyiben azok felülete nem egyenes, hanem görbe, illetve megfelel bizonyos feltételeknek. Ahhoz, hogy az algoritmus a várt eredményt hozza, az egyik legfontosabb szempont, hogy az alkalmazott forma már magában is önhordozó legyen. Természetesen az algoritmus alkalmazható nem önhordozó, amorf formákon is, viszont ebben az esetben inkább esztétikai, mint funkcionális célja van.

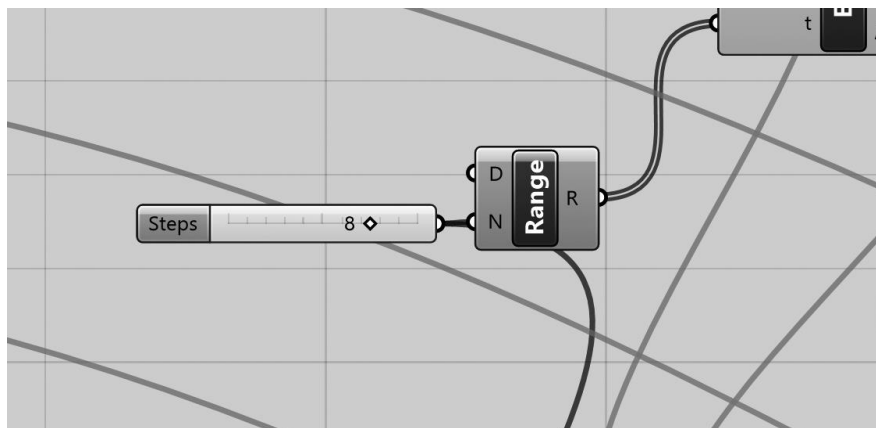


5. ábra: A szerkezet algoritmusai



6. ábra: A vezetővonalak definiálása

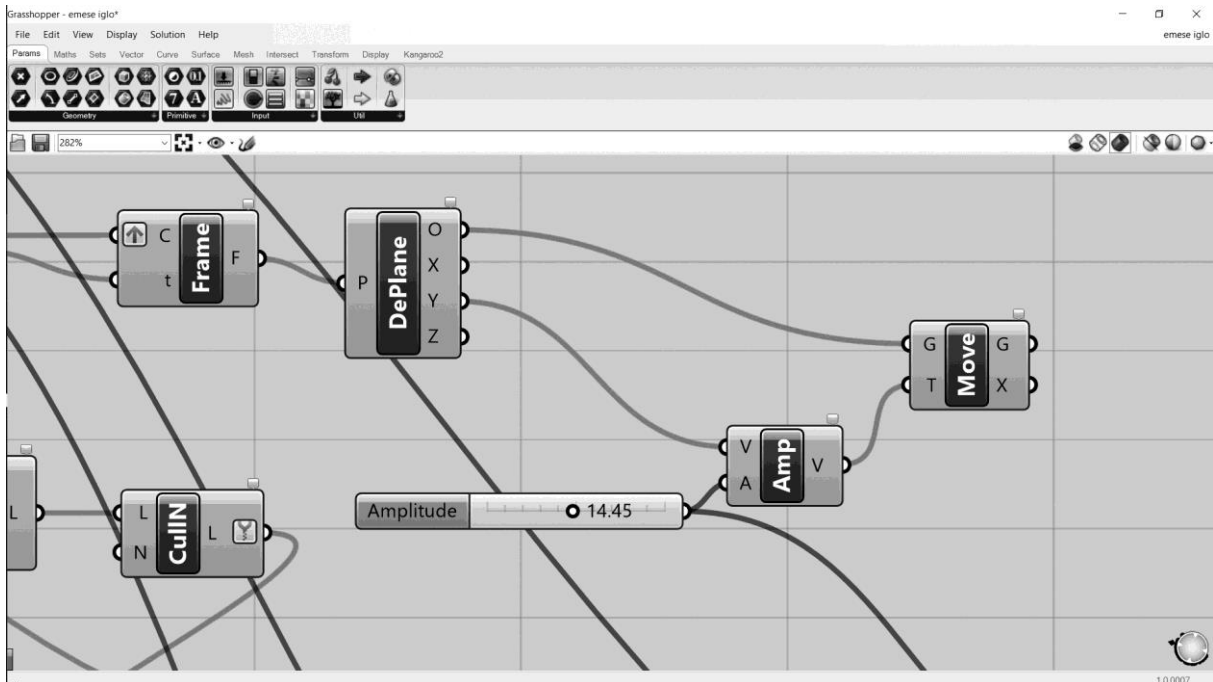
Az önhordozó szerkezeten, vagy amorf formán a fentebb leírt lépéssor alapján meg kell határozni a kért segéd vonalakat, illetve pontokat. A felezővonalak nem feltétlen szükségesek, inkább olyan ívekre van szükség, melyek a *Sweep 2 Rails* modifikátor útját meghatározzák, vagyis vezetővonalak. Az algoritmus alkalmazásához fontos lépés a redők keresztmetszetének, vagyis a cikk-cakk körívnek a definiálása. A felhasználóknak ez a lépés nagyon le van egyszerűsítve, ugyanis nem kell foglalkozzanak a pontok helyzetének definiálásával, sem a keresztmetszet kinézetével. Egyedül a vízszintes körívet kell meghatározni, mely fontos, hogy az alapsíkban terüljön el. Ezután az algoritmusban már előre el vannak készítve azok a funkciók és csúszkák, melyeket könnyedén lehet módosítani. A tervező csak azt az adatot kell betáplálja, hogy pontosan hány redőt szeretne egy-egy karon, és az algoritmus saját maga definiálja a



pontok számát, illetve a megfelelő tengelyhez mért elmozdulásokat.

7. ábra: A redők definiálása

Amennyiben nem vagyunk elégedettek a redők méretével, bármikor el lehet mozdítani a kontroll pontokat, illetve módosítani lehet a közöttük lévő távolságot.



8. ábra: A redők méretének módosítása

A felsorolt funkcióknak köszönhetően a redős szerkezet teljesen irányítható, és mindegyik paraméter megváltoztatható a tervezés bármely fázisában, a számítógépes modell mindig alkalmazkodni fog az új adatokhoz.

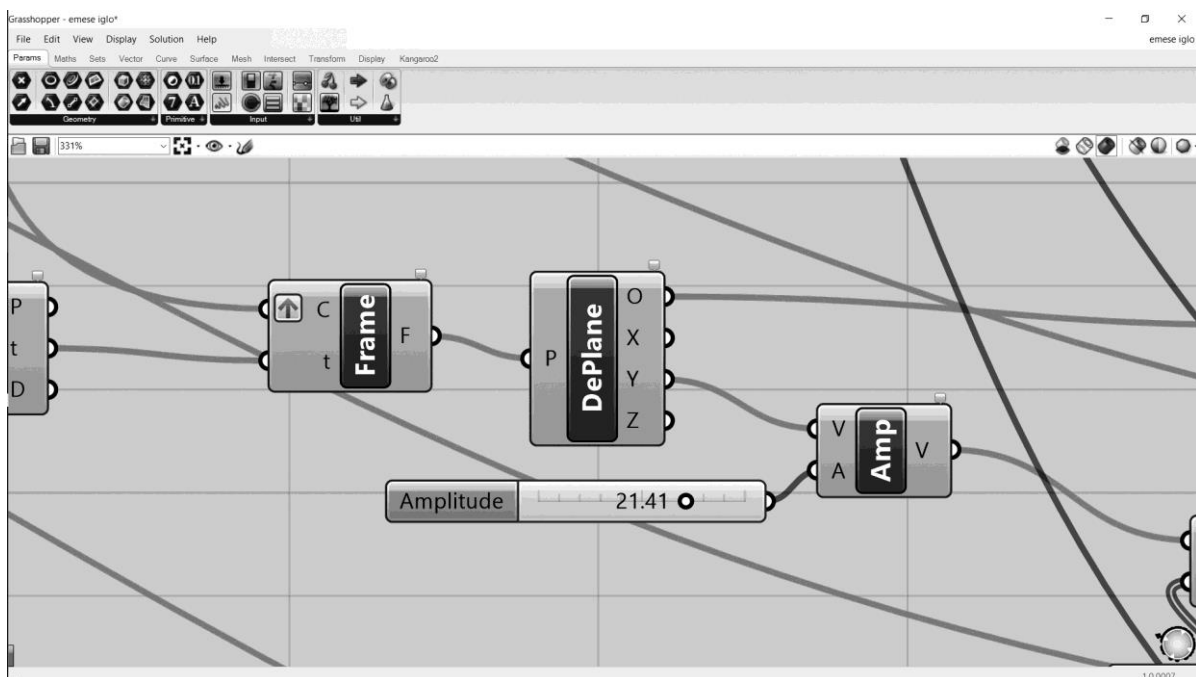
ELŐKÉSZÍTÉS A GYÁRTÁSRA

A legnagyobb gondot a gyártás folyamatára való előkészületeknél az optimális elemekre bontás és a meghatározott elemek összekötésének módjának meghatározása okozta.

A modell geometriája miatt nem lehetséges egy-egy kar, vagy akár félkar egyből nyomtatása, esetleg egy anyagból kivágása, mivel az két térbeli hajlása miatt nem kiteríthető a síkba. [8] Így arra a következtetésre jutottunk, hogy anyagspórolás szempontjából legmegfelelőbb módszer az, ha a modellt sávonként részekre bontjuk, és valamilyen módon összekötjük őket. Az összekötés módszereként a varrást választottuk, mely részben nem mindennapi, és esztétikailag is érdekes részletet ad a kész makettnek. [7]

Első lépésként a Grasshopper nevű bővítményben a modellt a hajlatok mentén szétvágtuk, és az így kapott sávokat kiterítettük egy síkba, mely a későbbiekben maga a síklemezű anyag lesz. Mindegyik kar két félkarból áll össze, így félkaronként 8, karonként pedig 16 sávot kaptunk, melyekre egy rendszert kellett kitalálni, hogyan kössük őket össze. Természetesen a sávok száma változik, amennyiben a számítógépes modellen is változtatjuk a redők számát.

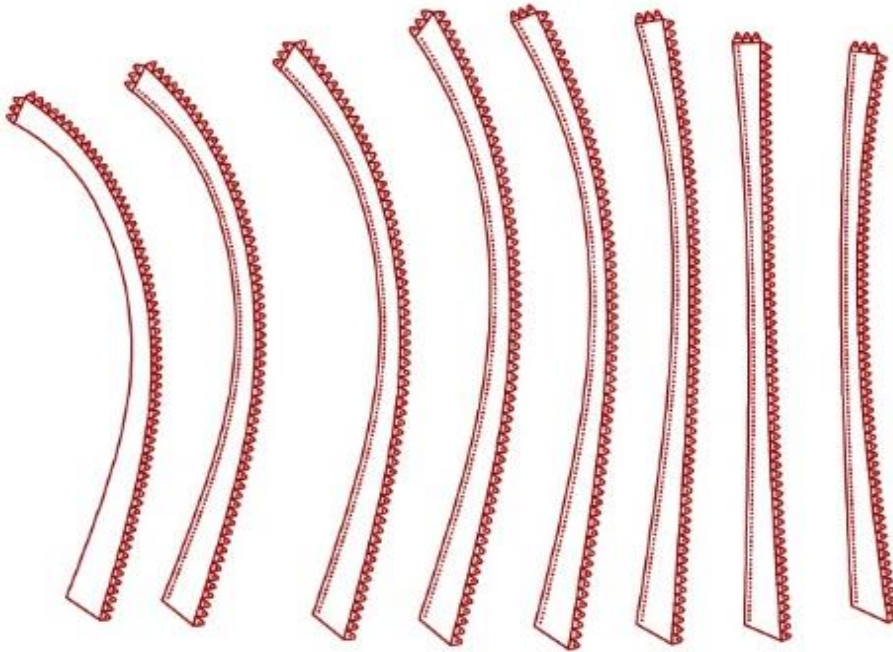
Mivel összekötési módnak a varrás lett választva, a sávok egyik oldalán fülecskék vannak, a közepén kis lyukkal, míg a sáv másik szélén csak lyukak vannak, egyenlő számban. A fülek nagysága és száma, illetve a lyukak száma alkalmazkodik az adott sáv nagyságához, illetve



9. ábra: A fülek és lyukak módosításai

térbeli hajlásához. Egy hosszabb sáv több fület illetve lyukat tartalmaz, míg egy rövidebb sáv kevesebbet. Amennyiben a sáv jobban görbül a térben, a fülek kisebbek kell legyenek, hogy ne fedjék le egymást. A párban lévő sávok füleinek és lyukainak megfelelő összeillesztésével, megkapjuk a kívánt formát. A fülek és a lyukak szintén a Grasshopper bővítményben készültek, így ezek száma és nagysága is bármikor változtatható.

A karok első, illetve utolsó sávjának széle lyuk és fül nélküli kell legyen, hisz ezek a sávok már semmihez sem illeszkednek. Ezt az esztétikai problémát úgy oldottuk meg, hogy az egymás mellett lévő félkarokon a sávokon lévő lyukak és fülek tükröződnek. Ez azt jelenti, hogy a bal oldali félkar szélső elemén baloldaltól nincsen semmi, jobb oldalról pedig fülecske, a következő elemeken pedig baloldaltól lyukak, jobb oldalról pedig fülecskék. A jobb oldali félkaron pedig pont ellenkezőleg. A jobb oldali félkar szélső eleme baloldaltól üres, jobb oldalról fülei vannak, a következő elemek pedig jobb oldalról lyukakkal, baloldaltól pedig fülekkel rendelkeznek.

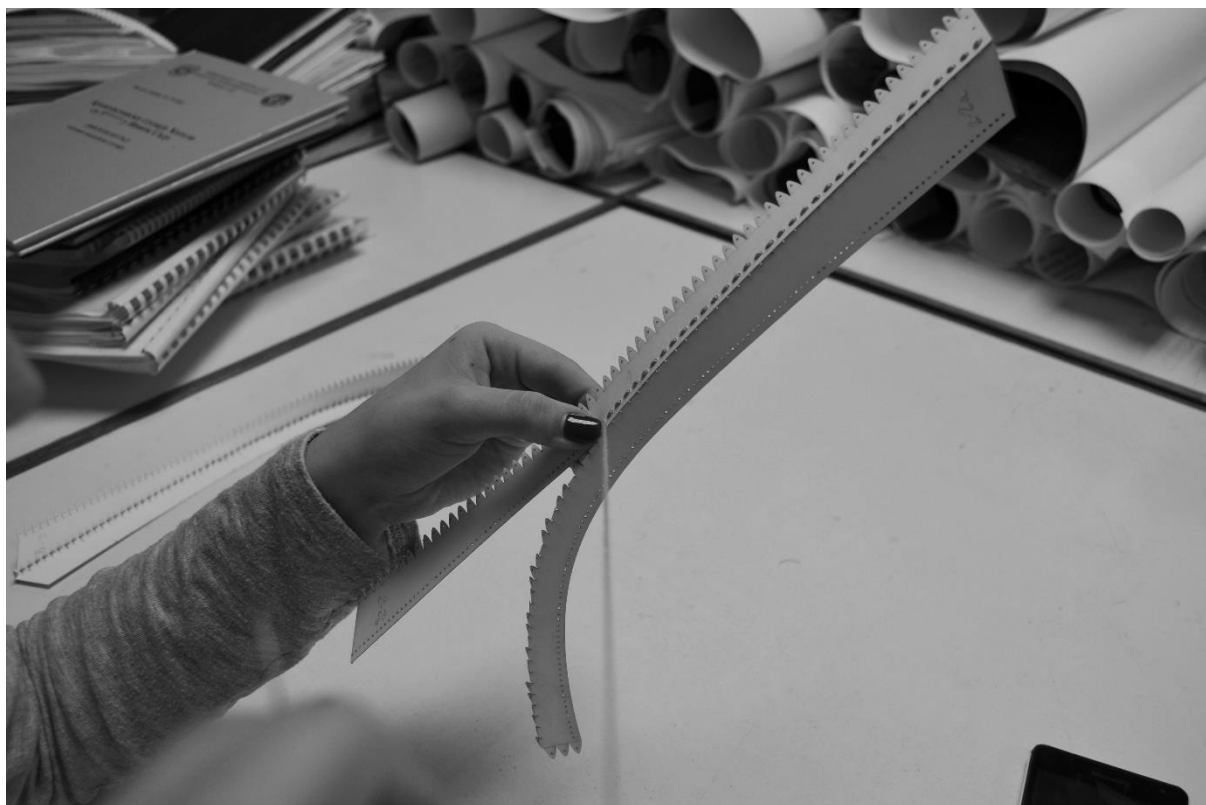


10. ábra: Egy baloldali félkar elemei

A három félkart szintén hasonló rendszerrel kötöttük össze. Ha a félkarokat elhelyezkedésük szerint szemből nézve jobb- és baloldali karoknak nevezzük el, akkor minden jobboldali karnak fülecskéje van felülről, és minden baloldali karnak pedig lyukacska. A fülecskék itt is ugyanúgy a másfajta végződésű sávok alá hajlítódnak.

GYÁRTÁS ÉS A MAKETT ÖSSZEÁLLTÁSA

Mivel az előkészített elemek leginkább különböző sugarú körívekből állnak össze, s azok közül elég sok csupán pár milliméter nagyságú (például a fülecskék) a maximális precizitás érdekében az elemek lézeres vágóval lettek kivágva. Több, különböző vastagságú papír tesztelése után, arra a következtetésre jutottunk, hogy a 0,5 miliméternél vékonyabb papírok túl gyengének minősültek. Azok megsérülnek, meggyűrődnek, így a gyártás szempontjából nem a legmegfelelőbbek. A kartonpapírnál vastagabb anyagok pedig túl merevek ahhoz, hogy tudják követni a sávok térbeli hajlását. Így a legmegfelelőbb anyagnak a kartonpapír minősült, amely megfelelő a lézeres vágásra, és a hajlást is jól tűri.

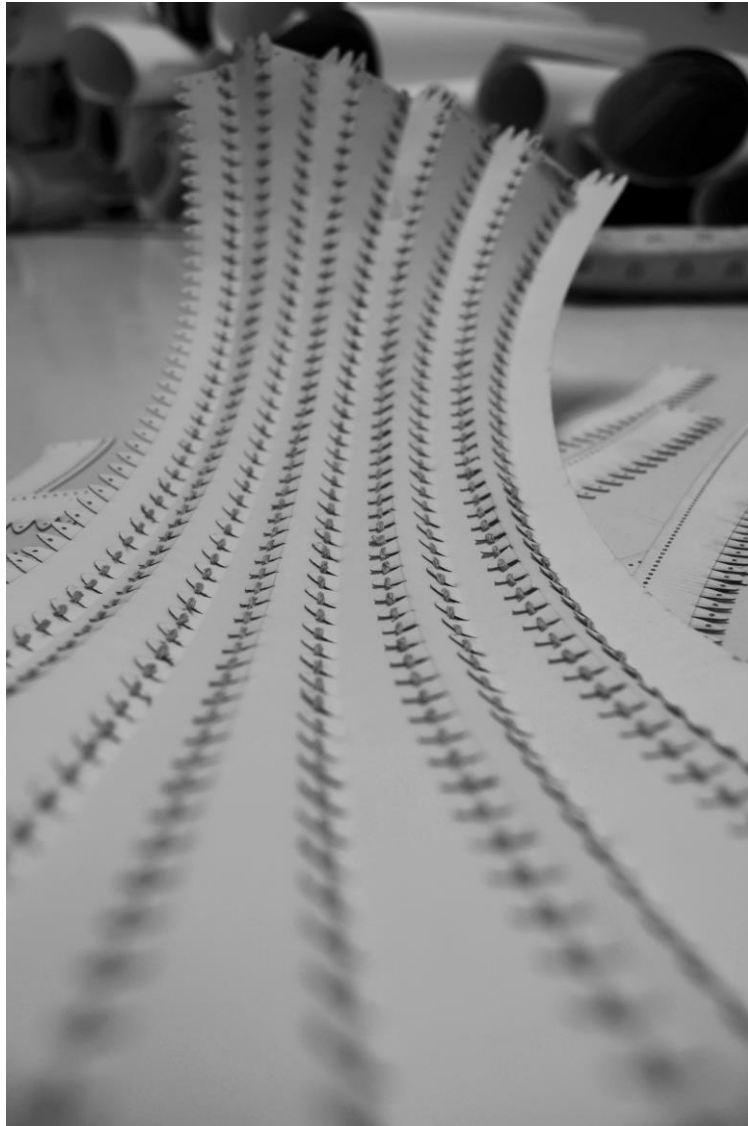


11. ábra: Fáziskép-varrás

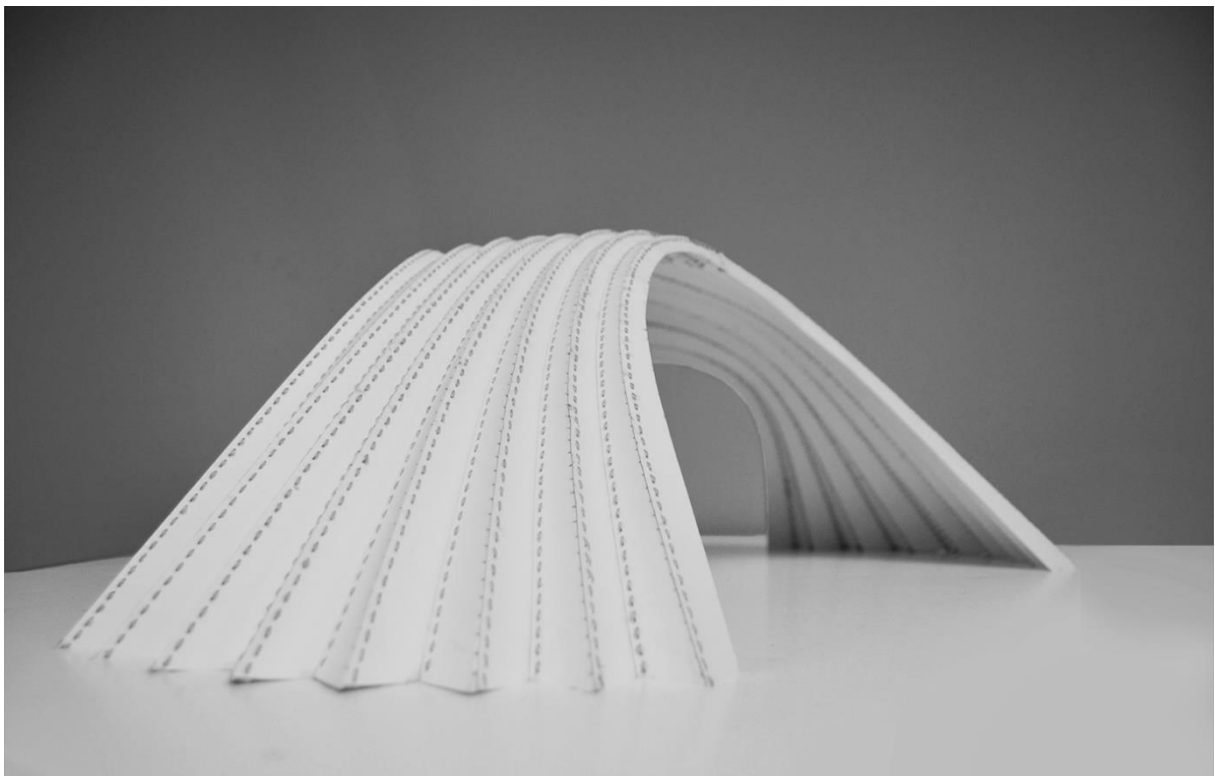
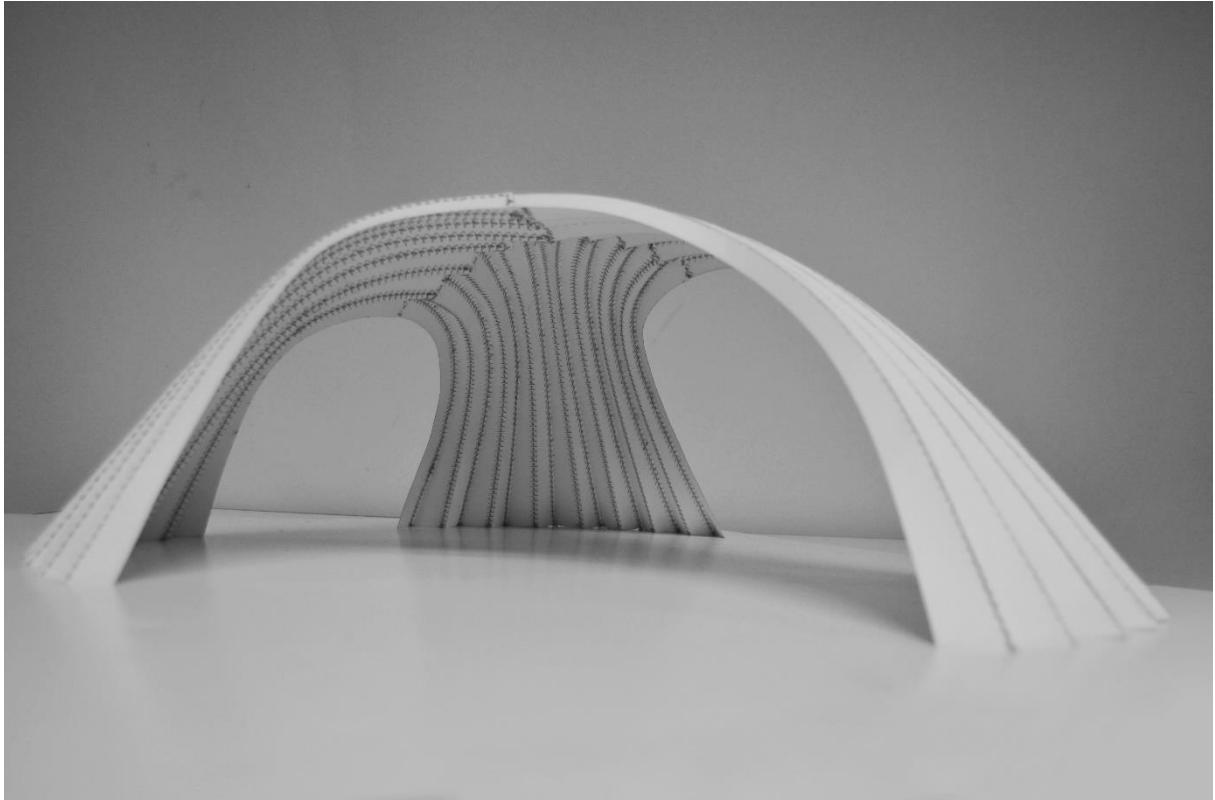
A makett egyedi részeit 0,3 mm-es cérnával varrtuk össze. A kiválasztott módszer ugyan nagyon esztétikus, és különleges, viszont ez mellett pár problémával és hibával is szembe ütköztünk. Az egyik az, hogy a művelet nagyon időigényes, s mivel a makett sok külön elemből áll össze, ezért ez nem a leghatékonyabb módszer. Habár ez a fajta papír nem gyűrődik olyan

könnyen, egy hevesebb mozdulat vagy egy figyelmetlen, erősebb rántás következtével könnyen megszakad.

A sávok páronként lettek összevarva, majd négyes csoportokban. Miután össze lett varva mindegyik félkar, külön rögzítve lett mindegyik egész kar. Legutolsó lépés a három kar összevarrása volt, a pavilion legmagasabb pontján.



12. ábra: Fáziskép-varrás



13.;14.ábra: A kész makett

A SZERKEZET FELHASZNÁLÁSA AZ ÉPÍTÉSZETBEN

A redős szerkezet egy másik pavilion formán is lett tesztelve a londoni FabFest építészeti fesztiválon.

A forma különlegessége, hogy a az előző pavilionhoz viszonyítva a sávok sokkal jobban meggörbülnek a térben. Az építmény valós nagyságban lett kivitelezve, és a felhasznált anyag szintén kartonpapír volt. Ebben az esetben a karton vastagsága 0,9 cm, és két rétegű volt, mely megnehezítette a sávok hajlítását, ellenben mégsem repedt meg egyetlen sáv sem. Egyes sávokon háromszög alakú nyílások lettek tervezve, melyek tovább gyengítik az anyagot, s ez esetben azt vettük észre, hogy a karton papír túlságosan könnyen törik azokon a helyeken, ahol háromszögek vannak a sávokban.



15.ábra: A valós nagyságú pavilion

A pavilion kivitelezésekor nem volt lehetőség az elemek összevarrására, így ez a módszer műanyag gyorskötővel lett helyettesítve, mely esztétikailag igen hasonlít a varrásra.

Ezt a fajta redős szerkezetet több helyen is lehet alkalmazni az építészetben.

Funkcionalitás szempontjából megoldás lehet komplexebb, gömbölyded tetők kivitelezésénél, nyilvános épületeknél, stadionoknál vagy esetleg csarnokok esetében. Alkalmazható még önhordozó pavilionoknál, vagy olyan helyzetekben, ha minimálisra kell csökkenteni az anyag használatának mennyiségét, illetve nagyon vékony szerkezetet szeretnénk eredményül.

Esztétikai szempontból fel lehet használni korszerű homlokzatok tervezésekor, vagy akár a belső tér elemeként is.

A sávok anyaga lehet valamilyen vékony fémlemez, esetleg különböző hajlékony műanyagok. A sávokat különböző fém csavarokkal is össze lehet illeszteni, viszont amennyiben a tervező szeretne a varrás módszerénél maradni, az megoldható KUKA robotok és egy speciális varrógép segítségével, mely cérna helyett gyorsan megszilárduló gumit használ. A KUKA robotok meghatározott időközönként fordítanak az összevarrandó sávokon, míg a varrógép egy számítógép vezérlésével varrja össze a megadott sémát. [7]



16.ábra: A valós nagyságú pavilion

KÖVETKEZTETÉS

A kutatás célja egy könnyed, vékony szerkezet tervezése volt, mely esztétikailag és minőségileg is megfelel az elvárásoknak. A biomimetika elveinek alkalmazása megfelelő módszernek bizonyult, és a felhasznált redős szerkezetet parametrikus modellezéssel sikerült alkalmaznunk a megadott pavilon formáján, majd később más formákon is. A pavilon igen erős és tartós, kevés anyagot igényel, így pénztárcabarát is, viszont a gyártáskor különböző problémák léptek fel, mint az anyagszakadás, az esztétikus, ám utólag hosszú időt igénybe vevő varrás. A kutatás eredménye egy igen pontos algoritmus, mely lehetővé teszi, hogy más tervezők is alkalmazzák ezt a technikát a saját formáikon.

A későbbi kutatásokban a megjelenő hibák javításán dolgozunk majd, és részletesebben foglalkozunk a lehetséges kivitelezési módszerek, felhasználható anyagok, illetve a varrás módszerének kidolgozásával. A kutatás végső célja a szerkezet tökéletesítése, hogy ne merüljenek fel esetleges problémák és gond nélkül alkalmazható legyen a mindennapokban.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] La Magna, R., Waimer, F., & Knippers, J. (2012). Nature-inspired generation scheme for shell structures.
- [2] Kim, S. Composite Systems for Lightweight Architectures.
- [3] Jovanovic, M., Vucic, M., Mitov, D., Tepavčević, B., Stojakovic, V., & Bajanski, I. Case Specific Robotic Fabrication of Foam Shell Structures
- [4] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Bionika>
- [5] Gruber, P. (2011). Biomimetics in architecture [Architekturbionik]. In Biomimetics-- Materials, Structures and Processes (pp. 127-148). Springer Berlin Heidelberg.
- [6] Jirapong, K., & Krawczyk, R. J. (2003, July). Seashell architectures. In ISAMA, Bridges Conference (Vol. 7).
- [7] Bechert, S., Knippers, J., Krieg, O. D., Menges, A., Schwinn, T., & Sonntag, D. (2016). Textile Fabrication Techniques for Timber Shells. Sigrid Adriaenssens, Fabio Gramazio, Matthias Kohler.
- [8] Liu, Y., Pottmann, H., Wallner, J., Yang, Y. L., & Wang, W. (2006, July). Geometric modeling with conical meshes and developable surfaces. In ACM Transactions on Graphics (TOG) (Vol. 25, No. 3, pp. 681-689). ACM
- [9] Arturo Tedeschi (2014) Le Penseur: AAD Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper