

PTE-PMMIK

TDK 2014.

Építészeti és épületszerkeztani szekció

“ORIGAMI” új mozgalom az építészetben

készítette:

Senaši Diana
SEDSAAP.PTE
Építész (osztatlan) hallgató

konzulens: dr. Szél Attila Béla

Tartalomjegyzék:

1. Bevezetés
2. Az origami története
3. Az origami építészeti alkalmazása
 - 3.1. Fix origami szerkezetek bemutatása
 - példák
 - 3.2. Kinetikus origami szerkezetek bemutatása
 - 3.3. Kinetikus
 - Az origami mozgások geometriai alapjai
 - Az anyagvastagságból keletkező problémák
 - 3.4. Példák kinetikus origami szerkezetekre
 - Mechanikus napernyők, Medina
 - Al Bahar toronypár, Abu Dhabi
 - Hangfelhő, prototípus, Tokyo
4. Origami és általános kinetikus arnyékoló szerkezetek összehasonlítása
5. Összegzés
6. Források

1. Bevezetés

Dolgozatomban az origami technika technológiai, elsősorban építészeti alkalmazásait, adaptációját tárgyalom, a hagyományos épületszerkezetekhez való viszonyát, és az építészeti formavilágra gyakorolt hatásait vizsgálom.

Mit is tudunk az origamiról? Az origami egy régi, papír hajtogatási technika. A lényege, hogy a forma kialakítása pusztán hajtással, vágás, nyújtás vagy ragasztás nélkül történjen. Az origami művészet több száz évvel ezelőtt jelent meg és azóta sokat fejlődött. Elsősorban a hajtogatási módok száma növekedett, emellett változtak, sokasodtak az anyagok, melyekből hajtogatni tudunk, napjainkban pedig egyre szélesebb körű az origami felhasználása.

Habár az origami technika eredetileg egy érdekes papírhajtogatós játék és művészet, felhasználása sok más területen lehetséges, amelyeknek hozzájárul a fejlődéséhez. Ilyen a biológia, orvostudományok, matematika, mérnöki tudományok, nem utolsósorban az építészet is.

2. Az origami története

Sok feltételezés létezik arról, honnan is ered a papírhajtogatás ősi művészete.

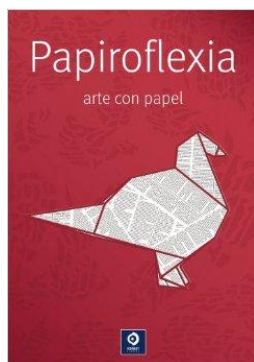
A papír maga Kínából származik. Feltalálását Tsai-Lun nevéhez kötik, és időszámításunk szerint 105-be helyezik. Valószínűsíthető, hogy a papírhajtogatást is nem sokkal ezután találták fel. A 6. század végén a papírt, és ezzel együtt a hajtogatás szokását elhozták a kínaiak Japánba is. A papír abban az időben drága anyagnak számított, amit a japánok több módon is felhasználtak. A két legfőbb felhasználási területe az építészet és az istenek számára készített ajándékok voltak.

Habár az igazi eredetét nem tudjuk biztosan, mivel a kínai papírhajtogatásról nem maradtak fenn emlékek, a japán papírhajtogatás kultúrájának legrégebbi nyoma pedig 18. századból maradt ránk, Japán lett az origami otthona. Ezen a területen fejlődött ki és terjedt el világszerte.

A legelején a tradíció szájról szájra terjedt, és csak az alap formák maradtak azonosak a generációk során keresztül. Az első írásos feljegyzés 1797-ben jelent meg Senbazuru Orikata *Thousand Crane Folding* című könyvében. 1845-ben jelent meg a *Kayaragusa* című könyv, mely a Japán kultúra enciklopédiája volt, mely többek között bemutatta a tradicionális japán hajtogatott formákat.

Az origami a nevét 1880 körül kapta és jelentése oru = hajlítás és kami = papír szavakból tevődik össze. Előtte orikata volt a papírhajtogatás elnevezése, ami a hajlított formákat jelent.

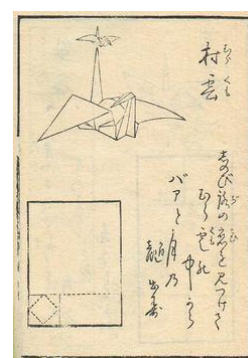
A 8. században az arabok világába is eljutott a papírhajtogatás kultúrája, ők pedig a 12. században behozták Spanyolországba. Arabok a muszlim vallás szabályai szerint nem hajtogathattak reprezentatív figurákat így a papírhajtogatást tanulmányi kísérletekre használták, matematikai és geometriai tudásukat fejlesztették általa. A spanyolok, miután az arabok elhagyták az országot, tovább vitték ezt a tudományt és egy olyan művészetet alkottak, amit papirflexia néven neveztek.



1.kép sorozat: Papiroflexia, Spanyolországban a papírhajrtogatózás technikája

Ha összehasonlítjuk a papírhajtogatás keleti és nyugati kultúráját, láthatjuk, hogy igen sok mindenben különböznek, nem csak a formákban, de a hajtogatási módokban is. A kétféle papírhajtogatási technika akkor vegyült, amikor a japánok átvették a német óvoda rendszert, így létrehozva egy olyan tantervet, mely segítette a gyerekek fejlődését a matematika, művészet és kézügyesség terén is. A legismertebb hajtogatott forma még ma is a daru madár, mely a hosszú életet és a békét szimbolizálja.

Yoshizawa Akira mesternek köszönhetjük a mai ismeretünket az origamiról. A kifejlődött origami formák a századok során közel állandóak voltak, azonban az 1950-es években Yoshizawa mester olyan könyveket adott ki, melyekben teljesen új formákat mutatott be. Az amerikai Sam Randlettal együtt kialakították az origami hajtogatás alapvető szimbólumait, melyeket ma is használnak. Yoshizawa Akira találta fel emellett a vizes papír technikát, mellyel könnyebben lehet szoborszerű formákat is létrehozni.



2.képsorozat: Yoshizawa Akira mester

Napjainkban az origami továbbra is fejlődik, sok világhírű szakértő foglalkozik a technikák fejlesztésével. Talán az egyik legszélsőségebb példa erre, hogy egyes mesterek anatómiailag hiteles, de ismeretlen fajtájú rovarokat hajtogatnak meg. Emellett az origami, mint művészet is virágkorát éli. A kompozíciók és anyagok állandó fejlődése biztosítja az origami technika fejlődését is.

3. Az origami építészeti alkalmazása

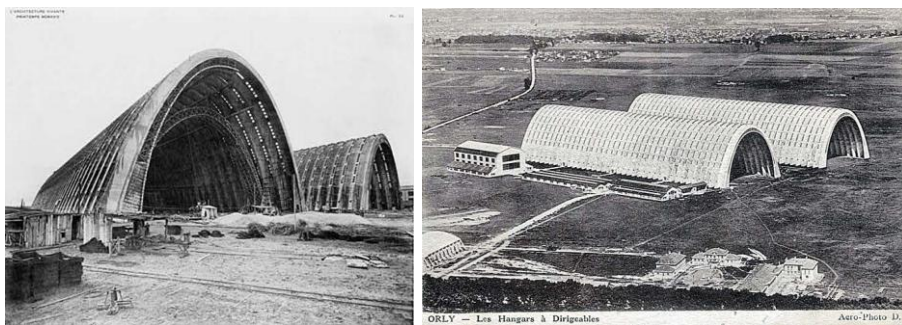
Az építészetben belül több területen is felhasználható, egyrészt formaalakítás szempontjából nem megszokott, organikus formák világába vezet be minket, akár a parametrikus építészetben felhasználható módon. Másrészt az origami technika új szerkezeti megoldásokra kínál lehetőséget, például üreges tartóként alkalmazva egyedi hőhídmentes szerkezetet alakíthatunk ki. Mindezek mellett az origami legelterjedtebb építészeti hasznosítása az árnyékolószerkezetek terén található, ezen belül statikus és kinetikus, azaz fix és mozgatható szerkezetekről beszélhetünk, melyekkel nagy üvegfelületek, akár több irányban íves felületek árnyékolása is megoldható.

Mivel az előbb felsorolt területek közül a kinetikus árnyékolószerkezetek témaköre a legfrissebb, a leginnovatívabb, ennek következtében a legkevésbé kutatott is, így ez keltette föl leginkább az érdeklődésem, dolgozatomban nagyrészt ezekkel a szerkezetekkel foglalkozok. Előtte tárgyalom az origami történeti fejlődését, annak legfontosabb lépéseit, az origami technika matematikai-geometria alapjait, majd ismertetem és példákkal illusztrálom az előbbieken felsorolt szerkezeteket. A mozgatható árnyékolószerkezetek témakörében kitérek a különböző formai és szerkezeti megoldásokra, a felhasználható anyagokra, és a kivitelezés módjaira is.

3.1. Fix origami szerkezetek bemutatása

A hajlított szerkezeteket az építészetben egy részt azért hozták be, hogy a tartószerkezetek merevségét növeljék, magát a szerkezetet növekedjen, de közbe csökkenjen az önsúlya. A hajlított szerkezetek merevségét és ellenállását elsősorban a szerkezet igényes megtervezésével lehet elérni, továbbá a karcsúságával és a méreteivel.

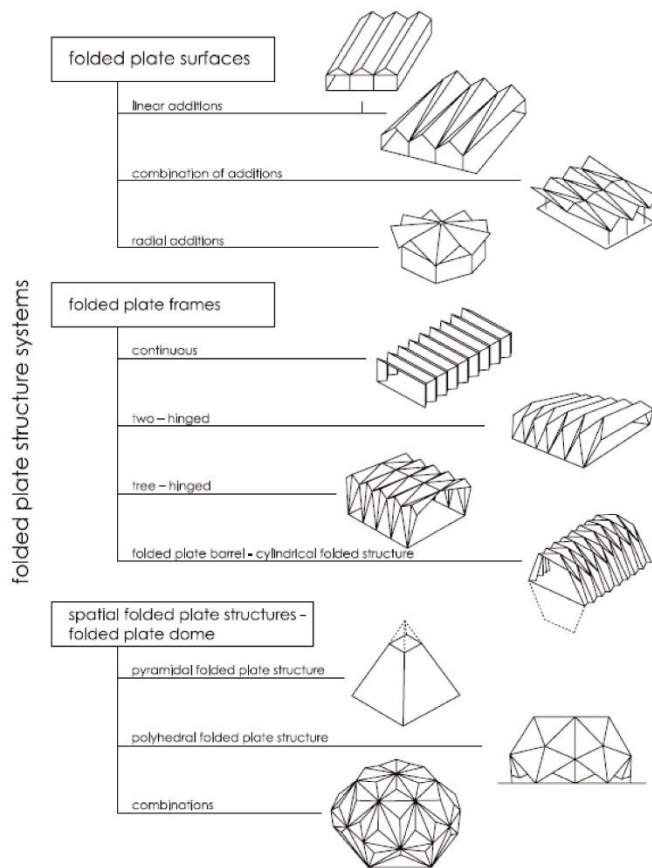
Az első ilyen hajlított szerkezet, tető szerkezet volt. 1923-ban Eudene Freyssinet mérnök tervezte, a Párizsi Orly repülőtérre a hangárt. A tető előregyártott elemekből épült és előfeszített módszerrel.



3.kép sorozat: Párizsi Orlyrepülőtér hangárok, Eudene Freyssinet

Az ilyen szerkezetek azért előnyösek, mert kevesebb anyagfelhasználásra van szükségük, a merevségük miatt, amely a hajlatoknak a legmagasabb pontjában a legnagyobb. A kisebb szerkezet vastagságok miatt a hajlított formák jobban alkalmasabbak arra, hogy nagy felületeket lefedjenek, mint az egyenes lemezes szerkezetek. A teherbírásuk függ a szerkezet vastagságtól és a anyagfelhasználástól.

Ezekből a hajtogatásokból sokféle formát ki tudunk hozni. Geometriaiban értelemben háromféle ilyen forma van: a hajlított lemez felületek, hajlított keretek és különleges hajlított lemez szerkezetek.



4.kép : feometria alapokon történő forma csoportosítása

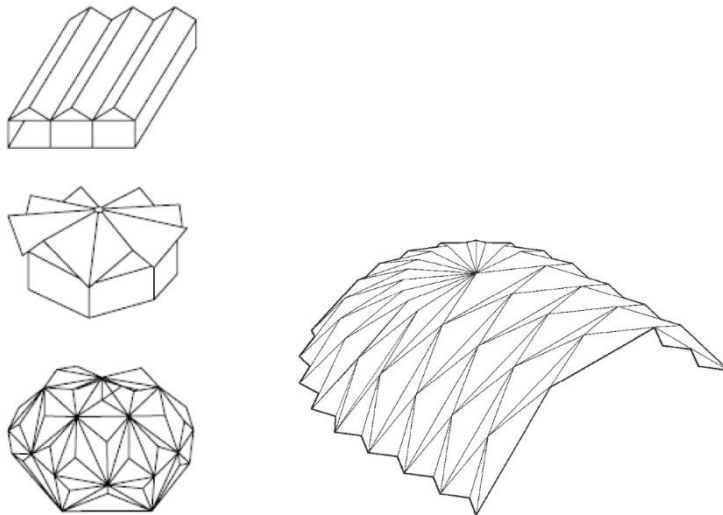
Az első csoport, a hajlított lemez felületek, olyanok hogy az összes legmagasabb pontjuk és az összes legalacsonyabb pontjuk két párhuzamos lemezhez tartoznak.

A hajlított keretek egy bizonyos szerkezeti készletet képeznek, ahol mindegyik szegmens ugyan annyira részt vesz a különleges forma alakításában.

A harmadik csoportba azok a szerkezetek tartoznak, amelyek a hajlított keretek féle formákból állnak össze.

A forma befolyásolja a terhek átvitelének irányát, és ezek alapján a forma lehet: lineárisan hajlított lemez szerkezet, sugárirányú hajlított lemez szerkezet és különleges hajlított lemez szerkezet.

Az összetett formák kialakításához összetett geometria is szükséges. Ezek általában az egyszerűbb formák sorolásával jönnek létre.

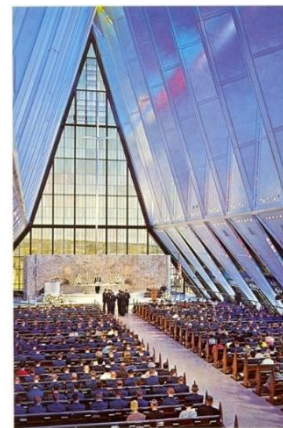


5.képsorozat: teherbérás szerinti csoportosítás

Ilyen formáknak a kivitelezése is két féleképpen történhet, lehetnek előregyártottak vagy helyszínen felépítettek. Az előregyártott szerkezeteket a helyszínen állítják össze, de ha a szerkezet mérete nagy egy része készülhet előregyártásban és a többi pedig helyszínen, mert a szállítás miatt csak kisebb részeket tudnak előregyártani.

- Példák

Az Air Force Academy kápolna a Colorado Springsben, USA-ban. Walter Netsch tervezte. A szerkezet 100 tetroéder formájú alóregyártott elemből áll. Ez az egyik legjelentősebb példa a hajtogatott szerkezetekről.



6.kép sorozat: Air Force Academy kápolna látványai

A födém szerkezete is megoldható hajtogatott lemezekből. Ezek többféle anyagokból is lehetnek, mint pl. vasbeton, fa vagy acéllemezkből. Ilyen pl. a mezzanine fa födém. Furnér V alakú elemekből áll. Ez a szerkezet Ausztriában jött létre, és az origami hajtogatott szerkezeteknek a kisméretű változata.



7.kép: mezzanine fa födém

International Convention and Exposition Centre, Kinában, ennek a tető szerkezete fém bordákból áll. A tetőn kívül a függőleges teherhordó hajtogatott szerkezeteket rácsosan lehet létrehozni. Az ilyen szerkezeteket általában a sportcsarnokoknál és kiállító termeknél használják.



8.képsorozat: International Convention and Exposition Centre

3.2. Kinetikus origami szerkezetek bemutatása

Napjainkban az építészet világában új technológiákat és új megoldásokat keresünk, ahogy az esztétikában úgy a szerkezetekben is. A szerkezetek mozgatása kerül előtérbe, mint megoldás az eddig még meg nem válaszolt kérdésekre. A szerkezetek mozgatása révén az épület és a környezete közti interakció jelentősebbé válik, maguk az épületek is életre kelnek.

A kinetikus építészet a szerkezetek mozgásával az épületet használó emberek számára igyekszik jobb körülményeket teremteni. Arra törekszik, hogy a természeti mozgásokat utánozza és a természeti erőkkel együtt dolgozzon.

Az origami elvén működő árnyékolók és burkolatok külső és belső terekben is létrehozhatók. A formák a természetet utánozzák, a hajlítások és a forma szabad alakítása miatt íves felületek is könnyen lefedhetőek vele. Az összehajthatóságnak köszönhetően könnyen mobilizálhatók, kihúzható, becsukható, elbontható szerkezetek készíthetők. A merev elemekből álló, csak a csatlakozási pontoknál, éleknél mozgatható, ún. merev origami szerkezetek transzformálható, többszörösen tört felületeket képeznek. Ezek akkor tudnak mozgó mechanizmusként működni, ha a merev síkok merev hajlatok helyett zsanérokkal csatlakoznak egymáshoz. Ennek a nehézsége abban rejlik, hogy a szerkezet mozgásának meg kell felelnie a funkcionális követelményeknek, mindemellett pedig kivitelezhetőnek is kell lennie. A korai, alapvető origami formák még nem teljesen alkalmasak ilyen szerkezetek létrehozására. Hogy a várt végeredményt kapjuk, ami minden szempontnak megfelel, ezen szerkezetek tervezésénél a geometriai alapoktól kell elindulni.

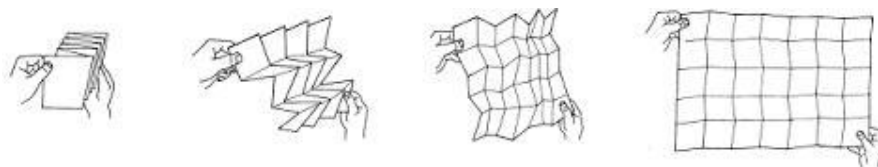
Már az 1970-es években megjelent többféle javaslat építészetben hasznosítható geometriai formákra. Ennek három kiemelt példáját Koryo Miura, Ron Resch és Chuck Hoberman fejlesztette ki.

A Miura-ori elnevezésű technika nevét Koryo Miura-ról kapta. A Miura-ori egy duplán redőzött geometriájú papírhajtogató technika. Ismétlődő hegyekből és völgyekből áll, melyeket össze lehet csukni, így egészen kis területű szerkezet képezhető belőle. Könnyen szét is lehet húzni, ezért alkalmas úrbeli szerkezetek napvitorlájának hajtogatására. A napvitorlákat minél kisebbre kell összehajtani, hogy beférjenek a rakétába, majd miután kijuttatták az ürbe szétnyitják, így jutva napenergiához. A Földre való visszaszállításhoz a napvitorlát újra össze kell csukni.

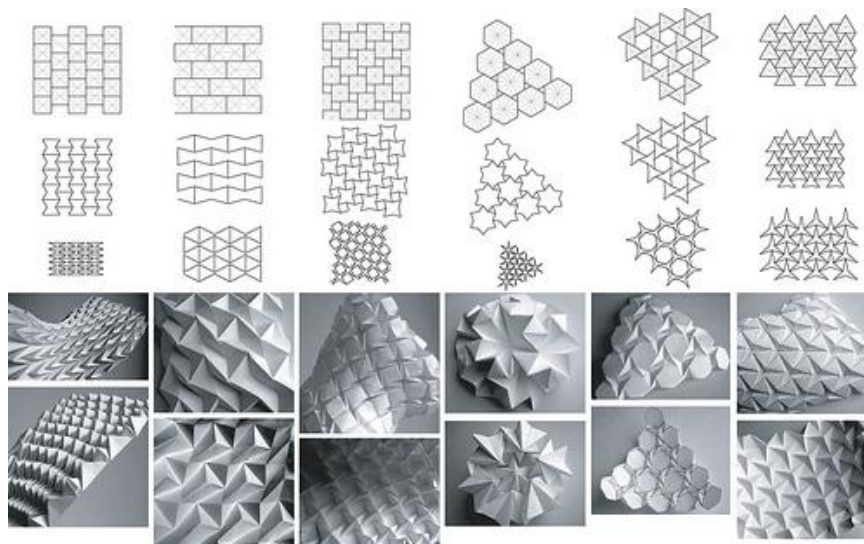
A következő példa egy háromdimenziós kupola, Ron Resch találmánya. Az alap forma úgy alakul ki hogy szabályos háromszögek közé illeszkednek csillagok, amik a „völgyeket” képezik a háromszögek „hegyei” között. A háromszögek helyettesíthetők négy-, öt-, vagy hatszögekkel, ezáltal bonyolultabb formákat létrehozva.

Chuck Hoberman fejlesztette ki a harmadik példaként szolgáló technikát. Az ő hajlított merev szerkezete a szimmetrián alapszik. Ezen modellekben a tartószerkezet maga az összecukható elem.

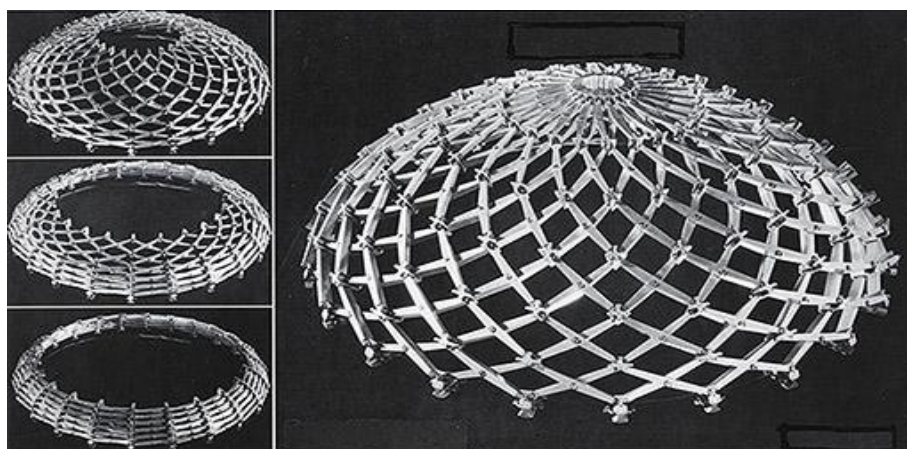
Gyakorlatban mobil sátorszerkezetként vagy stadionok mobil tetőszerkezeteként alkalmazható.



9. kép: Miura-ori hajtogatás mód



10.kép: Ron Resch féle hajtogatási mód



11.kép: Chuck Hoberman féle szerkezet

A merev origami alapvető geometriája hasonlatos Chuck Hoberman modelljéhez. Egy pontra ható erő okozza a mozgást, összecusukható csúcsokat eredményezve.

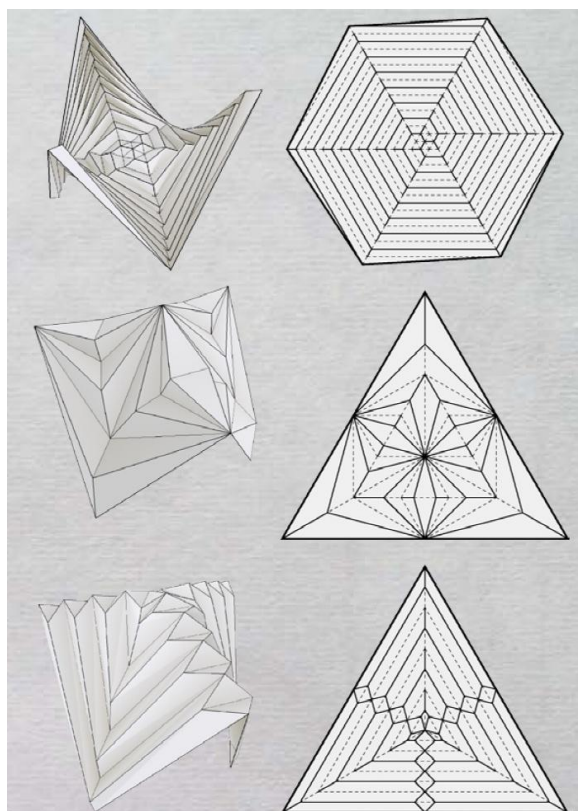
- Az origami mozgások geometriai alapjai

A merev origami mozgása általánosan egy csukló modellel elmagyarázható. A képlet előállítható 3V-vektor koordinátákkal.

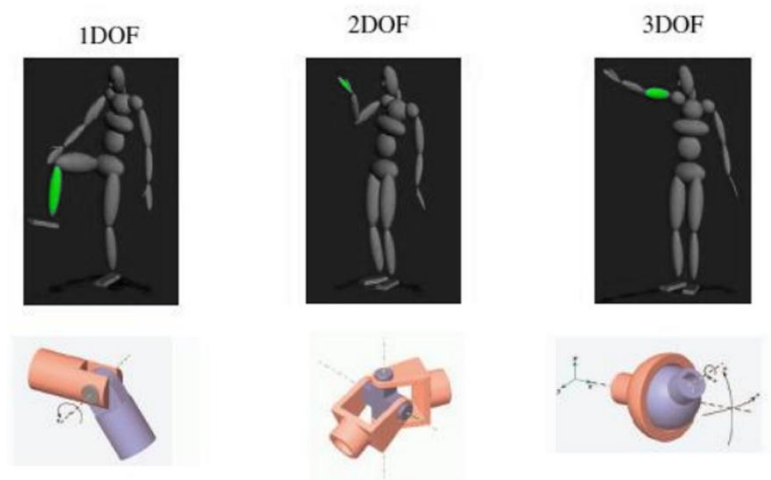
$\mathbf{x} = (x_1 \dots x_v)^T = (x_1 \ y_1 \ z_1 \dots x_v \ y_v \ z_v)^T$, ezeket pedig meghatározzák az élek hosszúságát $L(x)$ (E-vektor), melyek állandóak. Ha $3V > E = 0$, a transzformáció szemléltethető a Jacobian-féle mátrixszal ($E \times 3V$ mátrix) a hosszúság vektorra.

$$[\delta L / \delta x] \{\Delta x\} = \{0\}$$

Ebből az egyenletből megtudjuk a transzformáció módját és a szerkezet mozgási szabadság fokainak számát.



12.kép: Háromszög háló, több szabadságfokot tartalmazó formák

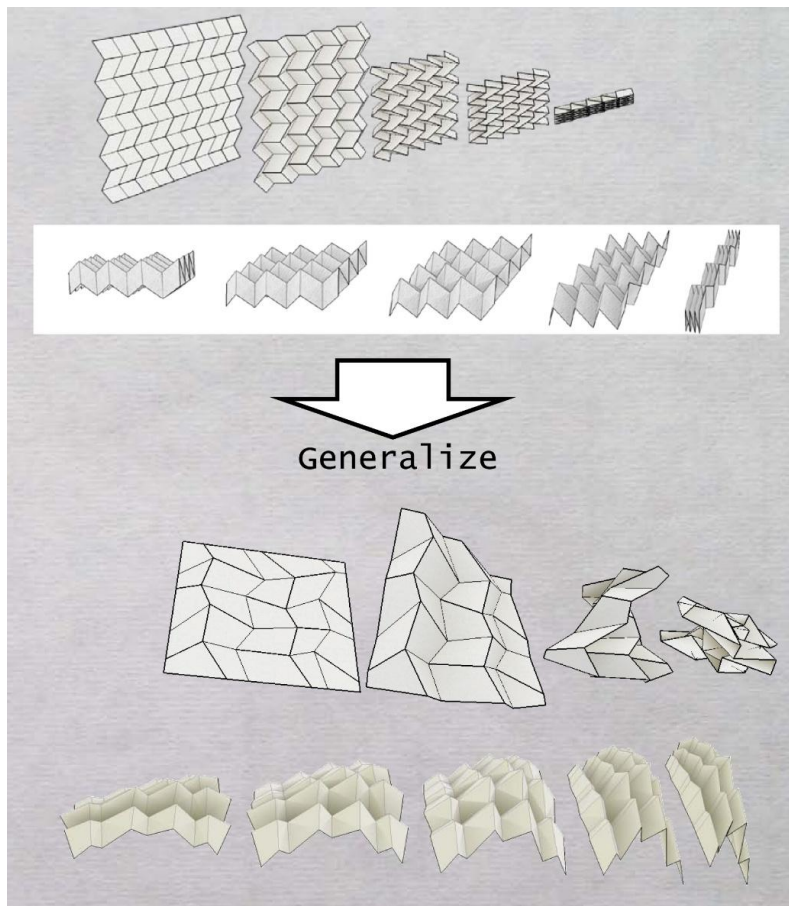


13.kép:
szabadságfokok száma

Egyes csuklók mozgási lehetőségeit az határozza meg, hogy hány szabadságfokkal rendelkeznek. Egy szabadságfok esetén a szerkezet kényszermozgású, csak egy irányban fordul, kettőnél két tengely mentén fordulhat el a csukló, háromnál pedig bármely irányba fordulhat.

Olyan szerkezeteknél, ahol a fix csúcsok több szabadságfokkal rendelkeznek, nem mozognak együtt a mozgó csúcsok, és a forma tetszés szerint változtatható. Így a merev origamit általánosíthatjuk, és szabad formát készíthetünk belőle.

Négyszögekből álló háló is készíthető, egy szabadságfokkal rendelkező csúcsokkal, de ebben az esetben az együttműködő szerkezet létrehozása problémákba ütközik. A gyakorlatban egy ilyen formát ismerünk, ez a Miura-ori szerkezet. Az ilyen szerkezetek mindig együtt tudnak működni, miközben az egységek függetlenek egymástól. Egyes egységek kihagyásával a többi továbbra is együtt fog működni és ugyanazt a mozgást hozzák létre. Ezen tulajdonságának köszönhetően egy sokkal szabadabb tervezést enged meg.



14. kép: szimmetrikus szerkezetek általánosítása

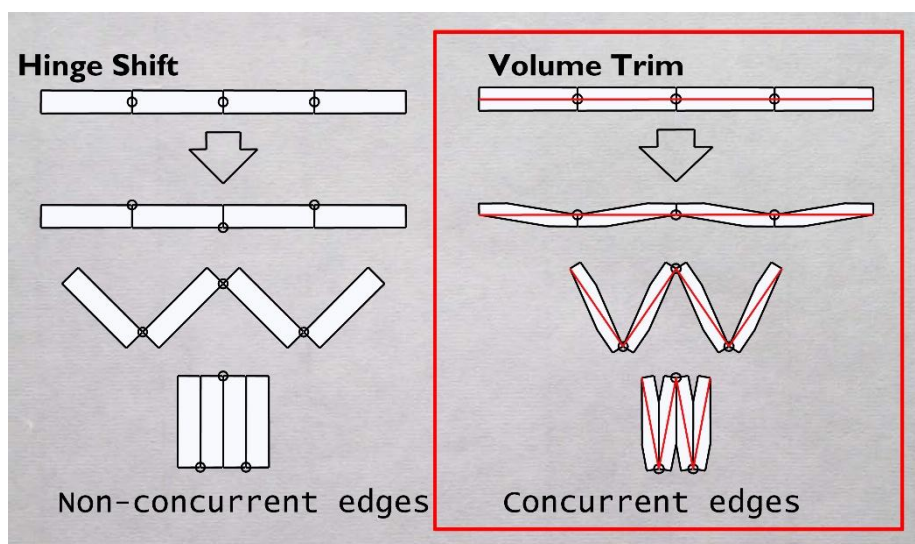
- Az anyagvastagságból keletkező problémák

A papír hajtogatását és annak mozgatását könnyű megoldani, mivel vastagsága elhanyagolható. Viszont az építészetben alkalmazható anyagok vastagsága viszont már jelentősebb, ezért a szerkezet geometriáját úgy kell kialakítani, hogy ne gátolja a szerkezet mozgását. Ezen probléma kezelésére többféle megoldás is alkalmazható.

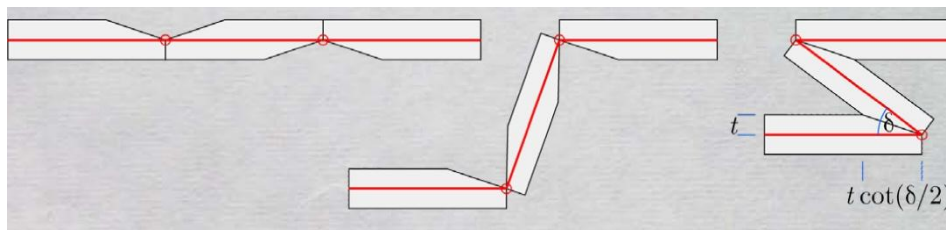
A szerkezeteket általában egységekre lehet szétszedni. A mozgást csukló biztosítja, amely összeköti a két egységet. Az egyik megoldás, hogy a csuklókat mindig a behajlás oldalára rakjuk, ebben az esetben azonban további problémák jelennek meg. Ha több elemet rakunk egymás mellé, az összecukódásnál több él is találkozik egy pontban, ami ezzel a módszerrel nem megoldható problémát okoz. Emiatt a csuklók élre való eltolása helyett a panelek végét csonktítjuk. A hajlított állapot fogja meghatározni, hogy milyen szögben és hosszban kell levágni az egységek végeit. A csonkolásnál a hajlítási szög és a vastagság felét vesszük figyelembe, így az elmozdulás képlete:

$t \cdot \cos(\alpha/2)$. Szintén működő megoldás, hogy a paneleket duplázzák, ezzel oldva fel a csúcsok ütközésének problémáját.

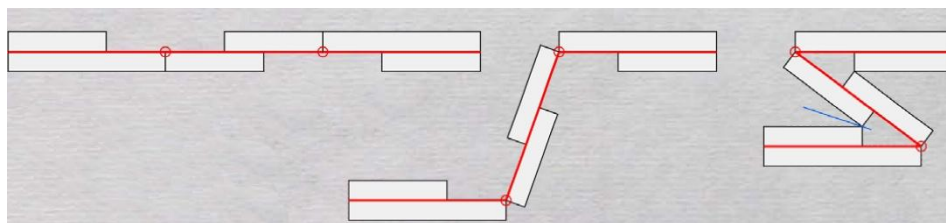
Az origami szerkezetek egységei gyakorlatilag bármilyen anyagból készülhetnek, lehet az beton, fa, fém, üveg.



15.kép: nem egyvonalba állított és egyvonalba állított csuklók



16. kép: hajlítás megoldás a szerkezet csonkításával



17. kép: hajlításmegoldás a panelek duplázásával

Az anyagvastagság mellett a szerkezet épülethez való rögzítése is problémákat okozhat, ugyanis a rögzítési pontokon fix pontok jönnek létre. Hogy minél kevesebb fix

pontja legyen a szerkezetnek, a csuklóként működő éleknek merevíteniük kell a szerkezetet. Ennek egyik módszere a vákuum technológia alkalmazása. Ezt a módszert csak műanyagoknál, viszkózus és rugalmas anyagoknál lehet használni. Negatív nyomásalkalmazásával az anyagban lévő részecskék között keletkezik súrlódási erő, mely következtében az anyag merevsége növekszik. A merevség mértéke a vákuum erősségétől függ. Ezt a módszert könnyen lehet hasznosítani a Resch- és a Miura-ori féle formáknál, mert tartalmazznak konvex és konkáv hajlatokat is. A hajtásoknál keletkező élek teszik lehetővé a szerkezet mozgását, de emellett a szerkezet terheit is hordaniuk kell, ellen kell állniuk az őt érő erőknek (pl. szélnyomás). Ennek elősegítésére alkalmasak az átfedésben lévő panelek. Ebben az esetben a hajtás belső oldalán lévő paneleket visszább húzzák, elkerülendő a nem kívánt összeütközést. Behajtott állapotban rések keletkeznek a panelek között, melyeket kitöltenek valamilyen agrgátummal, és az egészet bevonják egy hermetikusan zárt vékony fóliával. Ennek hatására, a külső és a belső térben fellépő különböző nyomások miatt az aggregátum részecskéi között súrlódási erő lép fel, ezáltal egy előfeszített állapotot hoz létre. Ennek a feszültségnek köszönhetően elég merev lesz a csukló ahhoz, hogy viselje az őt érő terheket, amíg a feszültsége nagyobb vagy egyenlő a rá ható erő által keltett feszültségénél.

3.4. Példák kinetikus origami szerkezetekre

- Mechanikus napernyők, Medina

1995-ben a Medina Szent Dzsámiba kiírtak egy pályázatot, melyben megoldást kerestek a dzsámi két nagy udvarának mobilizálható lefedésére. A feladat különlegessége, hogy naponta ezren keresik fel a helyet, és a célok között szerepel a klímaállapotok javítása, miközben a hely sajátos jellege nem sérül. A forma a Frei Otto és Bodo Rasch féle finding form koncept alapján készült. Ottó és Rasch a formák keresésénél fontosnak tartották az ösztönös formaalkotást. Úgy tartották, hogy az ösztönösen létrehozott formákat kell tovább képezni és formázni, amíg nem jutunk el a kívánt formáig. Ennek keresésében a matematikai és algoritmikus modellek állnak a tervező rendelkezésére.

A napárnyékoló projektnél több szempontot is figyelembe vettek:

- a membránt jól hajlítható anyagból kell megépíteni
- az anyag UV álló és hosszú életű legyen
- az oszlopot fehér márvánnyal kell burkolni, hogy beilleszkedjen a környezetbe
- a vezetékeket el kell rejteni, nem jelenhetnek meg az udvarban
- az oszlopoknak be kell vezetniük hideg levegőt és elvezetni a csapadékvizet a csatornába

A ponyvaszerkezet anyaga végül teflon lett (PTFE), mivel a teflon olyan anyag, mely teljesen ellen áll az UV sugárzásoknak. A vizsgálatokat Floridában végezték, ahol egy 1950-ben készült teflon ponyva található, melyen a mai napig nem jelentek meg változások, vagy bármilyen károsodás. Ezen kívül a szélállóságot is vizsgálták, és a helyi viszonyoknak megfelelő sűrűségű szövetet választottak.

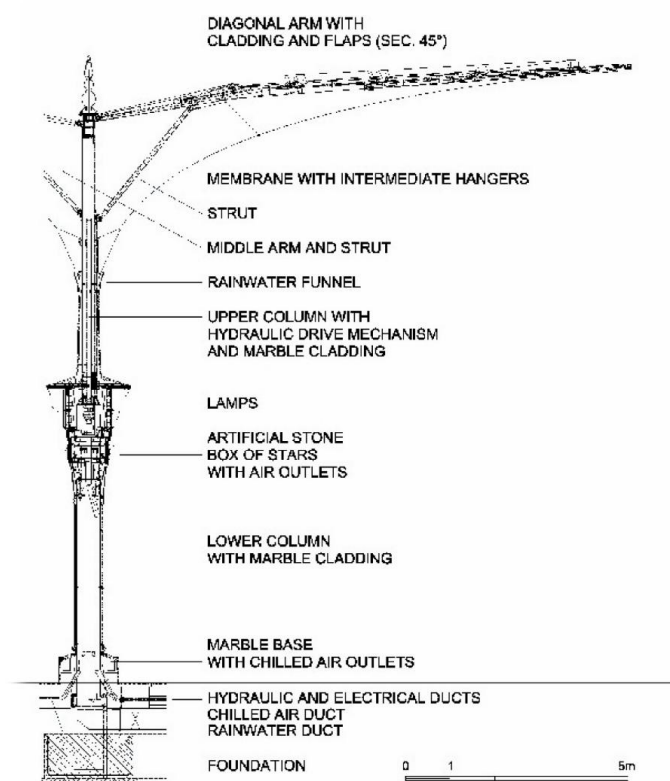
A hatalmas napernyők lecsukva 6,8 m átmérőjűek, felnyitva ez 5,50 m. A széthúzott ponyva 17x18 méteres és összesen 25 m² takar le.

A meghajtó mechanizmus a pincébe került. Az irányító rendszerhez a hidraulikus rendszert találták a legoptimálisabbnak. A ponyváknak a nagyon vékony kerete CAD technológiával készült.

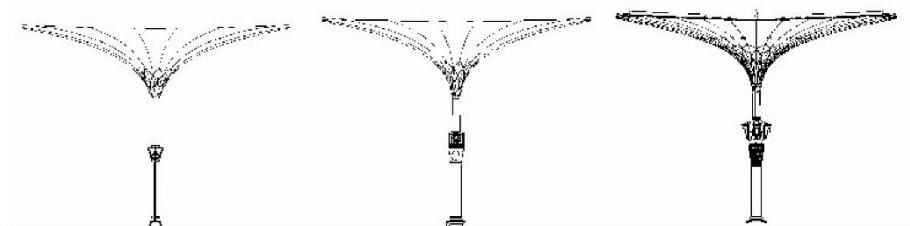




18. képsorozat: napernyők mozgási állapota



19.kép: oszlop szerkezeti felépítése



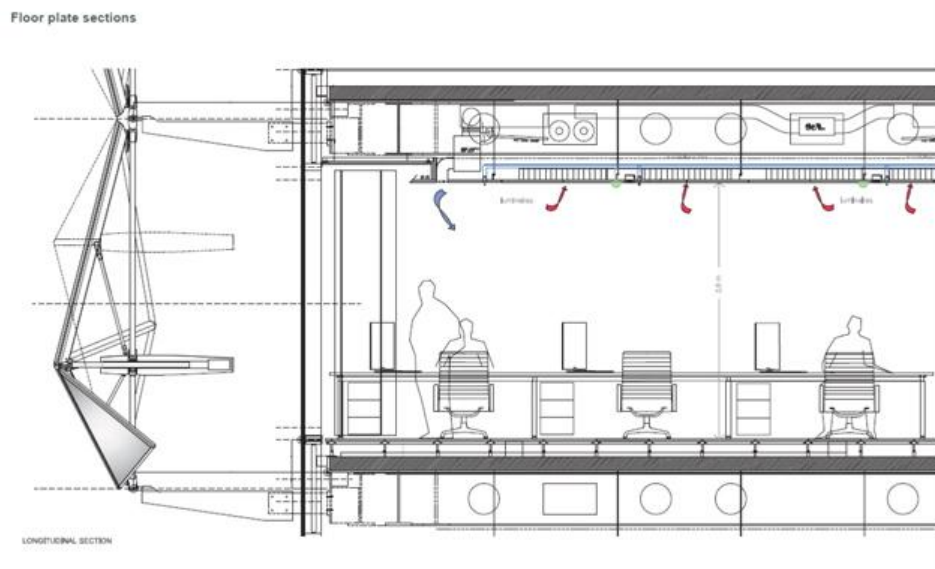
20.kép: napernyők nézetben

- Al Bahar toronypár, Abu Dhabi

Maga a projekt egy pályázatra készült. A pályázati kiírásban kettő, a környezetében kiemelkedő tornyot kértek, melyben helyet kapnak egy befektetési tanácsadó cég irodái, szálláshelyek, konferencia- és gyűléstermek, és lehetőség van étkezésre is. Mindez több, mint 2000 dolgozó számára készült.

Az épületek koncepciója az iszlám tradicionális architektúráján alapszik, az Aedeas építésziroda tervei alapján épült. A két 29 emeletes torony 1000-1000 főt szolgál ki.

Az épület fő különlegessége az átlátszó árnyékoló szerkezet az épületek homlokzatán, mely háló formában jelenik meg, és követi a nap mozgását. A mozgáshoz napenergiát használ, miközben a belső térben való tartózkodást is kényelmesebbé teszi. A kristályszerű szerkezet formáját egy origami minta alapján kapta. A forma olyan szerkezeti megoldáshoz vezetett, mely stabil, rugalmas és gazdaságos. A napelemek, melyek a mozgáshoz gyűjtik az energiát az épületek tetején helyezkednek el.



21.kép: az árnyékoló metszete

A szerkezet kiválasztásánál az építések három szerkezetet hasonlítottak össze: a sima függönyfalas homlokzatot, a fix árnyékolót és a mobil árnyékolót.

- A függönyfal tulajdonságai: 1. erősen színezett üveg
 - 2. kevés természetes fény
 - 3. nyugvó geometria
 - 4. túlzott belső árnyékolók használat
- A fix árnyékoló tulajdonságai: 1. mérsékelt üveg kezelés
 - 2. mérsékelt fény állapotok
 - 3. akadályozot kilátás
 - 4. lehatárolt geometria
 - 5. mérsékelt belső árnyékoló használat
- A mobil árnyékoló: 1. kevésbé színezett üveg
 - 2. javított természetes fény
 - 3. akadály nélküli kilátás
 - 4. rugalmas geometria
 - 5. csökkentett belső árnyékoló használat

Ezeket tekintve látható, hogy a mobil árnyékoló a legoptimálisabb megoldás. A végzett vizsgálatok szerint a mozgatható árnyékolók 25 százalékos hűtési energiaigény csökkenést eredményeznek, ami az Egyesült Arab Emírátsokban döntő jelentőségű.

Az árnyékoló egy egysége hat darab háromszögből áll, ezek együtt mozognak. Háromféle helyzetben állhatnak, nyitott, félig nyitott és zárt pozícióban. Az árnyékoló nem fordul körbe az épület teljes homlokzatán, az északi homlokzat szabadon marad, mivel ezen az oldalon nincs szükség az árnyékolásra.

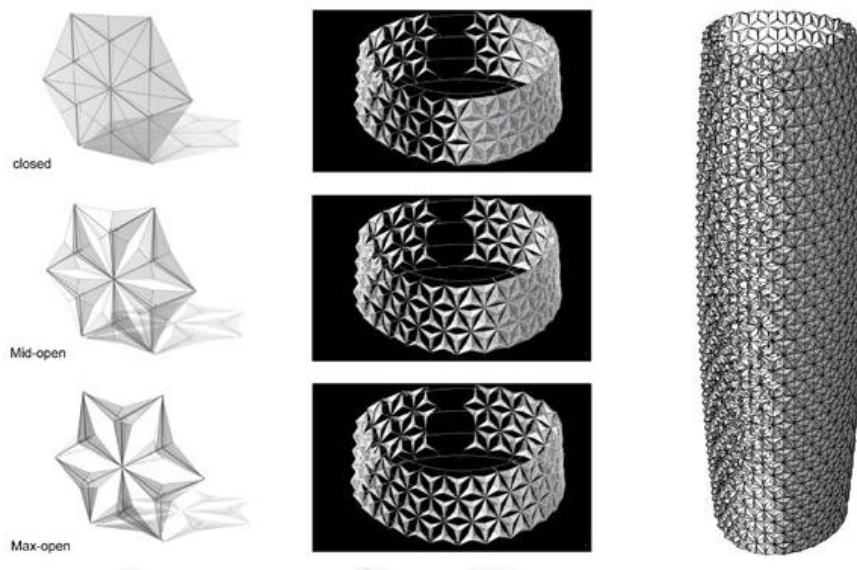
A tartószerkezet fémből készült, és rá teflon bevonatú PTFE hálókérült, az egyes háromszögek egy szint magasak.

Építés előtt az árnyékolóról prototípus készült, ezen különféle vizsgálatokat végeztek, többek között vizsgálták a szélnyomásnak és az UV-sugárzásnak való ellenállóságot.





22.. képsorozat: az Al Bahar toronypár



23.kép: árnyikolók 3 állás módja

Hangfelhő, prototípus, Tokyo

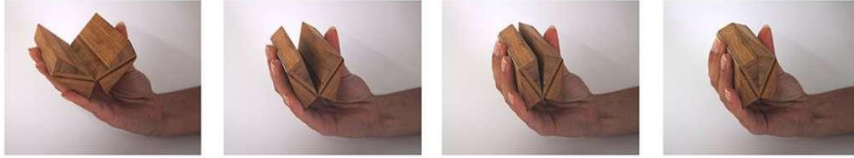
Origami szerkezeteket nem csak kültéri, hanem beltéri szerkezetként is alkalmazhatunk. A terek megfelelő akusztikájának kialakítása nem egyszerű feladat, különösen, ha változó igényeknek kell megfelelnie. Ilyen helyeken korábban is belógatott, esetleg változtatható magasságú szerkezeteket használtak, az origami alkalmazásával azonban mozgatható álmennyezetet is lehet készíteni.

A hangfelhő úgy működik, mint egy hatalmas alakváltásra képes hangszóró, mely szenzorok segítségével reagál a bejövő adatokra, a hallgatók mozgására, és ennek megfelelően változtatja a formáját.

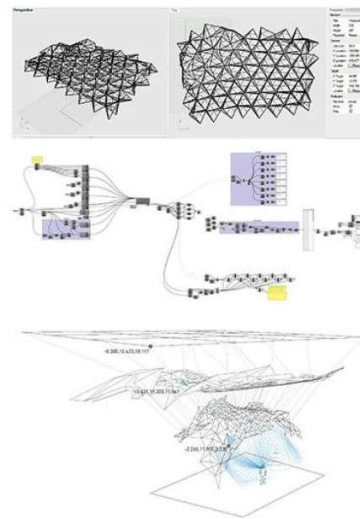
A prototípus, melyet Rezonáns Kamrának (Resonant Chamber) neveztek el, megnyerte a 2013 *Architizer A+ Jury* díjat és a *Popular Choice* díjat az építészet és hang kategóriában.

A tervezők három formát készítettek, ún. hangfelhőket és ezeket felszerelték a Michigani Egyetem építészeti karán. A három felhő együtt képez egy egységet. Többféle háromszög alakú panelből állnak ezek a hangfelhők, melyek mindegyike más funkciót lát el. A tömör panelek a hang visszaverésére szolgálnak, a polipropilén anyagú panelek a hang elnyelését segítik, az üreges panelek pedig hangszórókkal vannak felszerelve.

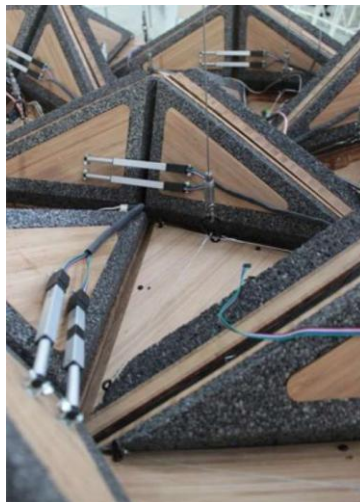
A forma könnyed hajlíthatósága miatt a szerkezet könnyen rögzíthető a falhoz, vagy függeszthető a födémre.



24.kép : a modul
részei



25.kép : a
szerkezet mechanizmusa



26. a felhő pozitív és negatív oldala

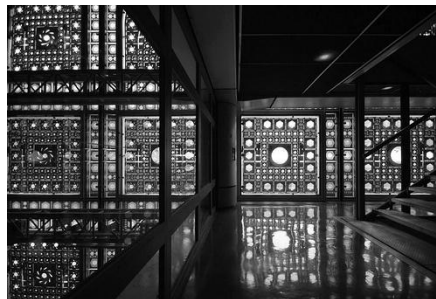
4. Hagyományos és origami szerkezetű árnyékolók összehasonlítása

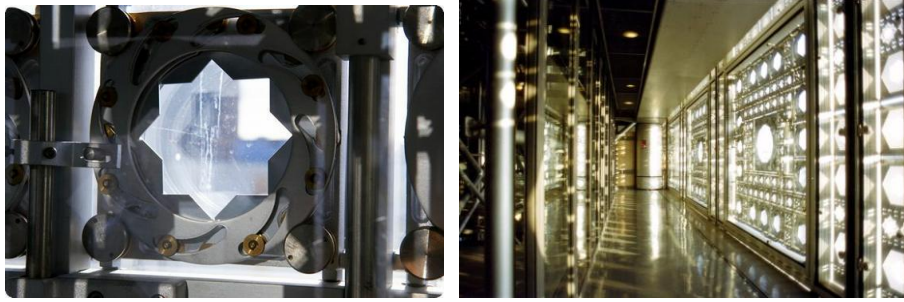
Mivel az origami szerkezetek építészeti felhasználása leginkább az árnyékolók körében terjedt el, ezért ezt tarom a legalkalmasabbnak arra, hogy bemutassam az origami szerkezetek erősségeit és gyengeségeit hasonló szerkezetekkel összehasonlítva. Az összehasonlítást két konkrét példa elemzésével, bizonyos szempontrendszer szerinti osztályozásán keresztül mutatom be.

Mindkét példa az arab tradicionális építészetet hatásait mutatja, az ún. *moucharabieh* formából indul ki. A másik hasonlóság hogy mindkét szerkezetet napenergia segítségével mozgatják.

Az origami szerkezetek példaként a már korábban említett Al Bahar toronypár szolgál, az origami elvén működő, kinetikus, napenergiával mozgatott külső árnyékolóival..

Összehasonlításképp a Jean Nouel által tervezett Arab Intézetet választottam, ami Franciaországban található..Árnyékolója 30 000 (fényérzékelő) membránból és 1600 elemből áll, a szerkezet rozsdamentes acélból és alumíniumból készült, két üveglap fogja közre.Működéséhez napelemek szolgáltatják az energiát. A homlokzat átláthatóságát a kamera lencséjének elvén működő mechanizmusok segítségével lehet változtatni. Ezen lencsék egymás mellett egy zárt geometriájú, arab formákat utánzó mintát hoznak létre. Az összes lencse egy központi számítógéphez van csatlakoztatva, amely kontrolálja a mozgásukat.





27.képsorozat: Arab Intézet, Párizs

	Al Bahar toronypár	Arab intézet
energiaellátás	napelemek	napelemek
anyag	fém keret, teflon	rozsdamentes acél, üveg, fém
kivitelezés	előregyártott panelek, helyszínen rögzítve az épületre	előregyártott panelek, helyszínen rögzítve az épületre
ökológia	5,8 % elektrikus energiát bíztaítanak a panelek	10-30 % napfényt enged be és ezzel kontrollálja az épület felmelegedését
esztétika	együtműködő felület, rugalmas geometria	kötött geometria

A két épület, hasonló alapokon nyugszik, ennek ellenére a végeredmény rendkívül más képet mutat. Az Arab Intézet árnyékoló szerkezete tömör homlokzatot képez, míg az Al Bahar toronypár árnyékolója egy könnyű burkolat hatását kelti. Ezáltal az utóbbi mozgása sokkal látványosabb, jobban befolyásolja az épület megjelenését. Bevilágítás szempontjából is lényeges különbség mutatkozik a két épület között. Az Arab Intézet árnyékoló szerkezete esetében több a tömör felület mint az áttetsző, így a napfénynek csak 10-30 %-a jut be az épületbe. Ennek előnye, hogy az épület nyári felmelegedését nagyban csökkenti, hátránya viszont, hogy gátolja a kilátást az épületből. Ezzel szemben az Al Bahar tornyok origami árnyékolója hasonló hatékonyságú

árnyékolás mellett, közel teljes kilátást biztosít. Emellett szükség esetén jóval több fényt képes beengedni, és a környezettel való kapcsolata is erősebb.

Az összehasonlításból látható, hogy az Al Bahar origami szerkezete az Arab Intézet blendéihez képest szabadabban mozgatható, minek eredményeképp azonos hatékonyságú árnyékolás mellett nagyobb bevilágítást és formai szabadságot lehet elérni. Ebből látható, hogy egy jól megválassztott origami szerkezet milyen jól képes alkalmazkodni az épületet használók igényeihez.

5. Összegzés

A dolgozatban ismertetett példák alapján látható, hogy a kinetika és a mozgás jelenléte az építészeti megoldásoknál is egyre nagyobb. A mozgathatóság javíthatja az épületek és a szerkezetek tulajdonságait, kényelmesebbé teheti az épületekben való tartózkodást, akár a környezettel való interakciót is.

A mozgatandó forma kialakítása igen fontos része a kinetikus épületszerkezetek tervezésének. Az origami hajtogatott szerkezetei sokoldalú megoldást jelentenek erre a problémára, mivel nyírásmentes felületek hozhatók létre belőlük, több irányban íves felületeket is le tudunk fedni velük, az egységekre való feloszlás pedig előnyös többek között a szállítás szempontjából is.

Az origami szerkezetek tervezésének legérdekesebb kihívása a megfelelő forma és mozgási mód megtalálása, ennek energiatakarékos üzemeltetése, és hatása az épület energiamérlegére.

6. Források:

<http://www.origami.as/Info/history.php>

<http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/>

<http://discovermagazine.com/1992/mar/theunfoldingworld>

<http://kerala-junction-news.blogspot.hu/2010/09/wwwkeralitesnet-beautifull-islamic.html>

<http://www.tsg.ne.jp/TT/arch/oriniwa/>

http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/DesignOfRigidOrigamiStructures_tachi_IASS2010.pdf

<http://rvtr.com/research/resonant-chamber/>

<http://architizer.com/blog/resonant-chamber-rvtr/>

<http://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel/>

<http://www.archdaily.com/510226/light-matters-mashrabiya-translating-tradition-into-dynamic-facades/>

[http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/DesignOfRigidOrigamiStructures_tachi_IASS2010.p
df](http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/DesignOfRigidOrigamiStructures_tachi_IASS2010.pdf)

http://www.tsg.ne.jp/TT/cg/ElasticOrigami_Tachi_IASS2013.pdf

<http://www.e-architect.co.uk/dubai/abu-dhabi-investment-council-hq>

<http://www.designboom.com/technology/rvtr-resonant-chamber-origami-architectural-acoustic-panels/>

<http://courses.csail.mit.edu/6.849/fall10/lectures/L23.html>