

ÖNÁRNYÉKOLÁS LEHETŐSÉGE AZ ÉPÍTÉSZETBEN EGY
NÖVÉNYI PÉLDA ALAPJÁN

BIOMIMIKRI – KAKTUSZOK AZ ÉPÍTÉSZETBEN

Pál Mónika

2024

Pécsi Tudományegyetem
Műszaki és Informatikai Kar
Épületszerkezetek – Energiadesign Tanszék

Önárnyékolás lehetősége az építészetben egy növényi példa alapján
Biomimikri - Kaktuszok az építészetben

Készítette: Pál Mónika
Évfolyam: 7.félév

Belső konzulens: Dr. Kokas Balázs
Beosztása: adjunktus

Belső konzulens: Dr. Baranyai Bálint
Beosztása: adjunktus

Pécs
2024

TARTALOMJEGYZÉK

I.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	4. oldal
II.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	
	1. KUTATÁSI EREDMÉNYEK	5. oldal
	2. KAKTUSZOK	
	1. A kaktuszokról általánosságban	8. oldal
	2. A kaktusz adaptációi	9. oldal
	3. A kiválasztott terület kaktuszai	11. oldal
	3. MEXIKÓRA JELLEMZŐ TRADÍCIONÁLIS ÉPÍTÉSZET	15. oldal
III.	MÓDSZEREK	17. oldal
IV.	EREDMÉNYEK	
	1. KAKTUSZ	
	1. Választott kaktusz: Mammillaria spinosissima (tüskés tűpárna kaktusz)	19. oldal
	2. A kaktusz geometriai felépítése	21. oldal
	3. A kaktuszon végzett számítások	22. oldal
	2. A KAKTUSZHÁZ	
	1. Geometria	31. oldal
	2. Alaprajz, metszet	33. oldal
	3. TRADÍCIONÁLIS ÉPÍTÉSZET	
	1. Miniház kialakítása	36. oldal
	4. ENERGETIKAI MODELL	
	1. Éghajlati jellemzők	38. oldal
	2. Szimulációs program eredmények	40. oldal
V.	ÉRTÉKELÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK	45. oldal
VI.	ÖSSZEFOGLALÁS	46. oldal
VII.	KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS	47. oldal
VIII.	FORRÁSOK	48. oldal

I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A klímaváltozás és a globális felmelegedés napjainkban egyre nagyobb probléma. Többen foglalkoznak ezzel a jelenséggel, és próbálnak rá különböző módokon megoldást találni, hogy a helyzet javuljon vagy legalábbis ne rosszabbodjon. Az átlagos éves hőmérséklet csúcspontja évről évre újabb rekordokat dönt, és az éghajlatváltozás hatására gyakoribbá válnak a szélsőséges időjárási viszonyok. Gyakoriak az áradások, szárazságok, tengerparti viharok.

A globális felmelegedés hatására az utóbbi nyarak szinte már elviselhetetlenül melegek voltak. A forró nyári napokon a külső árnyékolók gyakran már nem tudnak a problémán segíteni, és a szobák felmelegszenek. Az éjszaka folyamán a levegő hőmérséklete kevésbé csökken le, így az éjszakai szellőztetés, és hűtés is néha már lehetetlenné válik. Ennek eredményeképpen egyre több épületben jelenik meg a hűtésre szolgáló gépészeti egység, amely üzemeltetésével a klímaváltozás csak rosszabbodik.

A téma aktualitása és fontossága miatt úgy döntöttem, közelebbi szemszögből vizsgálom meg, és próbálok valamilyen módszert találni arra, hogy egy épületen belül a megfelelő komfortérzetet biztosítani lehessen bármilyen gépészeti berendezés nélkül.

II. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

1. KUTATÁSI EREDMÉNYEK

A kutatás megkezdésénél az árnyékolók szerepét tanulmányoztam. Az árnyékolók segítségével szabályozható a belső térbe jutó természetes fény mennyisége, káprázás mentesít, sötétít, ugyanakkor a külső homlokzaton elhelyezett árnyékolóknak jelentős szerepe van a belső terek túlmelegedésének csökkentésében is.

Egy Singapore-ban (trópusi éghajlat) található 5000 m²-es irodaépületet szimuláltak le a Designbuilder v7 szimulációs programban, azzal a céllal, hogy ha árnyékolják a homlokzatot milyen hatással lesz a belső komfortérzetre, a mikroklímára, az üvegezett felületekre ható hőterhelésre, és a hűtési energiának a csökkentésére, és esetlegesen a karbonlábnyom csökkenthető-e az épület üzemeltetése során.

Árnyékolók kialakíthatóak épületen belül és kívül is. A belső árnyékolóknak a hőterhelés csökkentésében nincs jelentős szerepe, mivel az épület üvegezett felületén keresztül már bejut a meleg levegő. A belső árnyékolóknak inkább csak vizuális szerepe van, hiszen beállítható vele a belső térben lévő természetes fény erőssége és tükröződése. Ezzel szemben a külső árnyékolóknak a vizuális komfortérzeten felül jelentős szerepe van a hőterhelés csökkentésében. Jelentőségüket már számos tanulmány is alátámasztotta. Az adott tanulmányban az árnyékolók elhelyezésének lehetőségét, annak dőlési szögét, az előnyeit és hátrányait tanulmányozták. Az árnyékolók többféleképpen helyezkedhetnek el egy épület homlokzatán. Lehetnek az üvegezett felület felett horizontálisan, az üvegezett felület mellett vertikálisan, „doboz”-ként a nyílászáró körül, és elhelyezkedhetnek előtte is. Az árnyékolók dőlési szöge és mélysége változtatható, amely szintén befolyásolja a hőterhelés mértékét. A szimuláció során egy évre kiterjedően vizsgálták, hogy az épület energetikája hogyan változik az árnyékolók hatására. Az eredményekben kimutatták, hogy a leghatékonyabb árnyékolási mód a nyílászárók felülete előtt létrehozott. Ugyanakkor az egyéb árnyékolók is jelentősen javították a hőterhelés mértékét, a belső komfortérzetet, és a hűtéshez szükséges energiát csökkentették. A vizsgálatban kimutatták, hogy az árnyékolók hatással vannak az épület körüli mikroklímára is. Az árnyékolók beépítésével az épület üzemeltetési költségei 34%-kal csökkenthetőek.

A növények között több példából is inspirálinspirációt meríthetünk, ami az árnyékolást illeti. A kaktuszok olyan területeken élnek, ahol jellemzően magas a napsütéses órák száma és kevés csapadék esik. Ezen növények a kiszáradás ellen egy sajátos módszert fejlesztettek ki: a kaktuszbordákat. A bordák (amelynek számos változata kifejlődött) leárnyékolják a kaktuszt (önárnyék) így nem hagyják túlmelegedni a növényt a forró napokon. A bordák nem csak önárnyékot adnak a kaktusznak, hanem sokkal nagyobb párologtató felületeket is biztosítanak, amelyen keresztül leadják a hőt az éjszaka folyamán.

Több olyan kutatási tervvel is találkozhatunk, amelyekben kaktuszok inspirálta árnyékolórendszert fejlesztettek ki.

A kaktusz inspirálta árnyékolórendszerről szóló tanulmányban az Iraqi irodaépületek energiahatékonyágát vizsgálták. Az országra a mérsékelt és sivatagi éghajlat a jellemző. Az irodáknál ott is gyakran jelenik meg a teljes felületű függönyfal homlokzat. A nagy üvegezett felületek hatására jelentős mennyiségű energiát kell az épületek hűtésére áldozni. A tanulmányban egy választott kaktusz (*Pilosocereus chrysostele*) geometriáját tanulmányozták. A kaktusz arányainak segítségével egy vertikális és horizontális rendszerű árnyékolórendszer lett kifejlesztve. Az árnyékolók helyzetét, annak előnyeit és hátrányait függőleges és vízszintes elhelyezés esetén is leszimulálták az IDA ICE programban. A kaktusz inspirálta árnyékolórendszer alkalmazásával az épület hűtésére szükséges energia akár 31%-kal csökkenthető, amely a területre jellemző legmagasabb energiamegtakarítás körébe tartozik.

Egy új irodaépület épül Qatar-ban, amelynek formáját a kaktusztól mintázták. Qatar meglehetősen kopár, száraz területen helyezkedik el, ahol a földet homok borítja. Az év nagy részében forróság van és kevés eső. Az ottani építészek úgy döntöttek, hogy a kaktusz működését tanulmányozzák, azt, hogy hogyan éli túl a növény a forró éghajlaton, majd ezt a megszerzett tudást alkalmazzák az irodaépület tervezésénél. A kaktusz mintájára egy nagyon energiahatékony árnyékoló rendszert és formát készítettek. Az árnyékolók a nap intenzitásától függően kinyílnak és összezsugorodnak, kint tartva a meleget, amikor már túlságosan felmelegedne a belső tér. A rendszer hasonló ahhoz, ahogy a kaktusz szabályozza azt, hogy éjszaka és nappal milyen mértékben párologtassa a vizet.

Egy Arizonában található irodaépület szintén a kaktusz működési alapelvét tanulmányozta, annak érdekében, hogy az épületet jobban megfeleltesse az éghajlatnak. Kidolgoztak egy lélegző homlokzati rendszert bordázott fém panelekkel, amelyet a Saguaro kaktuszból mintáztak. Annak ellenére, hogy a fém panelek elnyelik a hőt, a tervezett homlokzati forma biztosít egy megfelelő levegőáramlást és hőelosztást. Ugyanakkor bőséges mennyiségű természetes fény jut a belső terekbe, növelve a belső térben tartózkodók komfortérzetét. A tervezőcsapat a kaktusz tanulmányozta, hogy a kaktusz miként védi meg magát az intenzív napsütéstől. A megoldás a kaktusz bordáiban rejlik. A kaktusz a bordáival leárnyékolja magát, így a kaktusz bármelyik részét a nap nem süti tovább közvetlenül, mint 15-20 perc (naponta). a kaktusz így elkerüli annak a lehetőségét, hogy megégjen egy forró nyári napon. Az épületen elhelyezett panelek leárnyékolják a homlokzat nagy részét, így mindig csak egy kis részen kap közvetlen napsütést, és a természetes szellőztetésnek köszönhetően lehűti a felületet. Ahol ablakok voltak szükségesek, ott olyan formában helyezték el a fém paneleket, hogy az üveget ne érje napfény. A tervezési módszerekkel 22%-kal tudnák csökkenteni a hőnyereséget a déli oldalon, és 14%-kal a nyugati oldalon. A szimulációs modellben megállapították, hogy 39%-kal csökkenthetik az épület éves energiaszükségleteit.

2. KAKTUSZOK

1. A KAKTUSZOKRÓL ÁLTALÁNOSÁGBAN

A kaktusz a forró, száraz éghajlathoz alkalmazkodott növényfajta. Az ilyen életmódot folytató növényeket xerofitáknak nevezik. A legtöbbjük szukkulens, amely vizet tárol.

Kaktuszokkal természetes élőhelyükön Amerikában és Afrikában találkozhatunk a legtöbbet. A sivatagi, félsivatagi, esetenként a száraz trópusi éghajlati övekben terjedtek el. Különlegességük, hogy az adott éghajlati övekben lévő extrém éghajlati körülményekhez kiválóan alkalmazkodtak felépítésükben. Vegetációjukkal megszínésítik a száraz sivatagi környezetet. A kaktuszok a száraz, forró éghajlaton a tápláléklánc fontos részét képezik.



2.2.1.1. a kaktuszok elterjedése

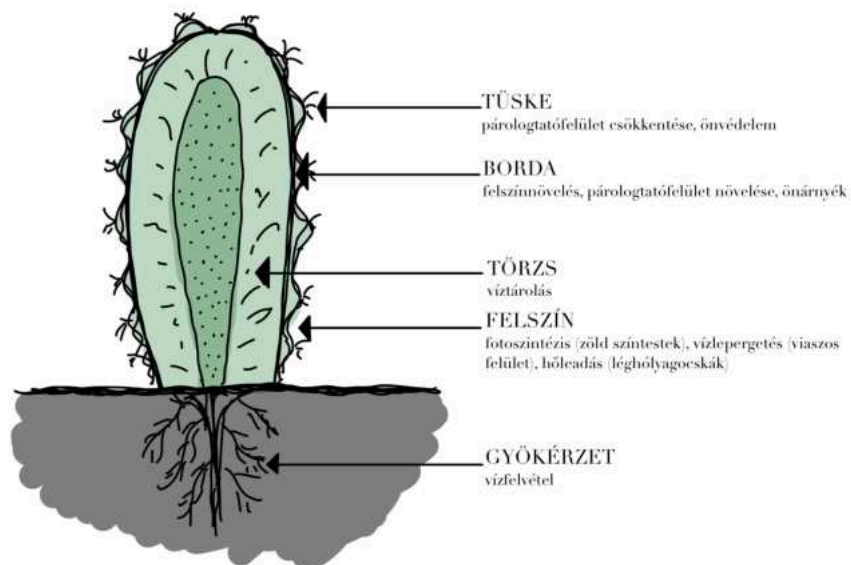
A kaktuszoknak sokféle formája és mérete van. Egyesek rövidek és kerekék, mások magasak és vékonyak. Többféle alakban megjelennek a természetben. Lehetnek henger, gömb, oszlop, korong alakúak, de számos más formát is ölthetnek. Gyakran párnákat alkotva növekednek. Sok kaktusz virága nagy és szép. Néhány kaktusz termése élénk színű és fogyasztható.

2. A KAKTUSZ ADAPTÁCIÓI

Adaptációnak nevezünk minden olyan tulajdonságot, amely segít egy élőlénynek a túlélésben, és abban, hogy több saját fajtáját hozza létre. A kaktuszok számos alkalmazkodási képességgel rendelkeznek ahhoz, hogy olyan helyeken éljenek, ahol néha hosszú ideig száraz a levegő. Máskor ezeken a helyeken sok eső esik.

A gyökér szerepe a víz - és tápanyag raktározása, és a növény rögzítése a talajhoz, felülethez. A kaktuszoknak kétféle gyökértípusa lehet. A sok apró, vékony gyökér a talaj tetejének a közelében ágazik szét, így amikor esik az eső, akkor onnan gyorsan fel tudja venni a vizet. Ugyanennek a kaktusznak lehet egy hosszú, vastag gyökere (csapgyökér), amely mélyen a földbe hatol, és onnan is tud vizet felvenni, amikor már régóta nem esett eső, és a talaj felsőbb rétegei teljesen kiszáradtak.

A kaktuszok a víz nagy részét a szárukban tárolják, itt találhatóak a víztároló sejtek is. A szárat egy megvastagodott bőr borítja, amelyen viaszréteg található. Ez arra szolgál, hogy a vízvesztést lassítsa, és megvédje a káros napsugárzástól. A száron található légzőnyílások (kis mélyedésben elhelyezkedő szómák) nyitásával és zárásával szabályozni tudja a párologtatást is.



2.2.2.1. a kaktuszok felépítése

A száron kis “párnák” nőnek, amelyekből a tüskék fejlődnek ki. A párnák és a tüskék a kaktusz szára árnyékot vetnek, védik a növényt a túlmelegedéstől és csökkentik a párologtató hatást. A kaktusz felülete a térfogatához viszonyítva sokkal nagyobb, amely hozzájárul ahhoz, hogy éjszaka, nagyobb felületen tudja leadni a felvett hőt.

3. A KIVÁLASZTOTT TERÜLET KAKTUSZAI

Választásom Mexikóra esett, amelyre jellemző a forró éghajlat, és számos kaktuszfajta megtalálható. Az ott élő kaktuszoknak utánanézve találtam számos fajt, amely hasonló arányokkal és méretekkel rendelkezik. Ezek közül a későbbiekben kiválasztottam egyet, amelyen pontosabb méréseket végeztem. Ezek az adatok feltehetőleg megközelítőleg megegyeznek ezen kaktuszfajoknál.

Mexikóra jellemző néhány kaktuszfaj:



2.2.3.1. *Mammillaria huitzilopochtli*



2.2.3.2. *Echinocactus*



2.2.3.3. *Echinocereus reichenbachii*



2.2.3.4. *Cochemiea albicans*



2.2.3.5. *Ferocactus echidne*



2.2.3.6. *Cochemiea armillata*



2.2.3.7. *Ferocactus glaucescens*



2.2.3.8. *Coryphantha*



2.2.3.9. *Mammillaria parkinsonii*



2.2.3.10. *Mammillaria mathildae*



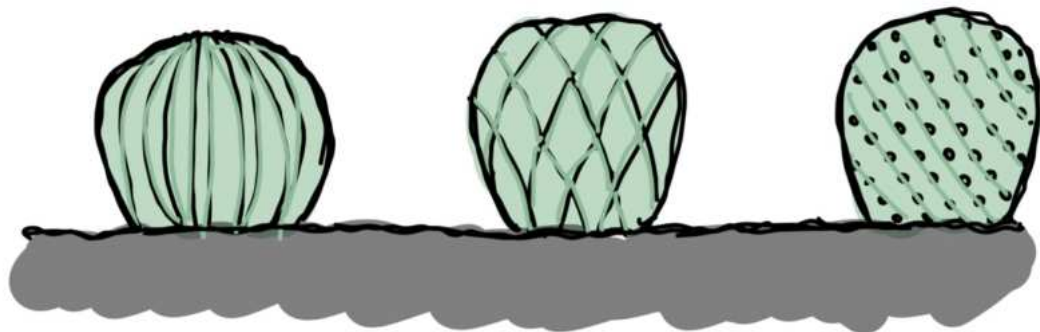
2.2.3.11. *Mammillaria gasseriana*



2.2.3.12. *Mammillaria spinosissima*



2.2.3.13. *Mammillaria bombycina*



2.2.3.14. ábra: a kaktuszbordák elhelyezkedése és formája a kaktuszokon

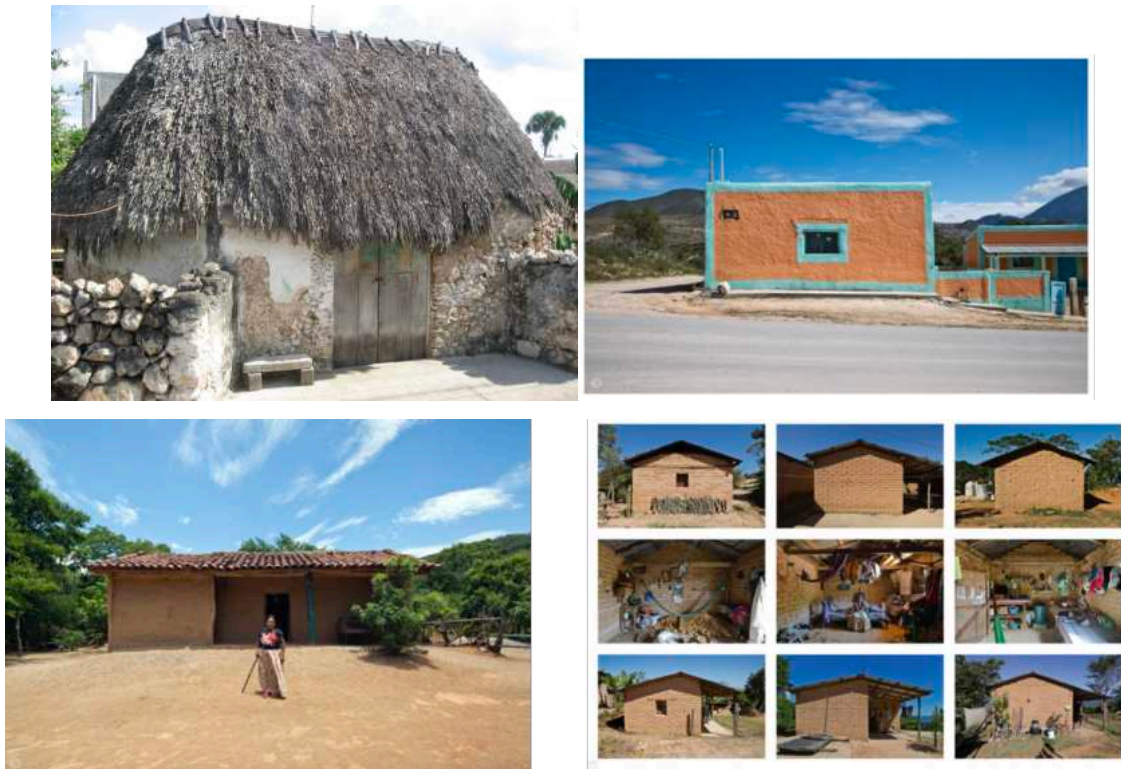
Az egyik legjellemzőbb kaktuszcsalád Mexikóban a *Mammillaria*, amelyek közül egyet kiválasztottam, és részletesebben tanulmányoztam.

3. MEXIKÓRA JELLEMZŐ TRADICIONÁLIS ÉPÍTÉSZET

Mexikóban a tradicionális épületeket tökéletesen adoptálták az éghajlati viszonyokhoz, és a környéken fellelhető építőanyagokat használták. Legtöbbször pálmafalevelet használtak tetőfedésre, a falak pedig fából, kőből és vályogtéglából épültek. Ezek az építőanyagok a mai napig jellemzik a terület hagyományos építészetét. Számos formát alkalmaztak a házak építése során. Találkozhatunk kör, téglalap, sokszög alakú épületekkel is. Az épületeket általában nyeregtetővel fedik le, de a lapostetős megoldások is előfordulnak.

Nagyobb falvakban és városokban épült házaknál gyakran találkozhatunk olyan megoldással is, amelynél a szobákat egy nagyobb belső udvar köré csoportosították.

A házak vibráló színekkel vannak lefestve.



2.3.1.- 2.3.4. tradicionális építészet Mexikóban

A tradicionális építészet azonban Mexikóban, mint sok másik országban is eltűnőben van. Ennek okozója a modernizáció. A házak funkciói is folyamatos változásban vannak az életmód változásának köszönhetően. Korábban a háznak kapcsolata volt a mellette lévő földekkel, azonban az újonnan épülő háznak már másra van szükség, ami a helyiségeket illeti. Elengedhetetlen a fürdőszoba, a nappali, a konyha, a hálószoba.

A tradicionális építészetnek való „visszanyúlás” előnyökkel is járhat. Többek között mivel a biológiailag lebomló építőanyagok használata kedvez a környezetnek. Ez egy jó szempont, hiszen Mexikóban is törekszenek arra, hogy az épületek nem csak megfizethetőek, de fenntarthatóak és környezetbarátok is legyenek.

A hagyományos épületekkel a legtöbb baj az, hogy nem rendelkeznek alapozással, és a vályogtéglák közvetlenül a földre vannak helyezve, amelyből adódóan beáznak, és számos problémát okoznak a lakójának. Azonban, ha tervezésnél figyelünk néhány alapvető dologra, akkor a hagyományos építőanyagokat is alkalmazhatjuk, hozzájárulva ahhoz, hogy egy környezetéhez jobban alkalmazkodó, de a kor igényeit kielégítő épületet tervezhessünk.

III. MÓDSZEREK

A kutatásom kiindulópontját a biomimikri biztosította. A biomimikri a természet megoldásaival foglalkozik. Célja, hogy a természetben fellelhető, megfelelő módszerek és működési mechanizmusok megtalálásával, gyakorlatba helyezésével fenntarthatóbb módszereket alkalmazhassunk az élet minden területén. A természetben többmillió év alatt kifejlődött az élővilág úgy, hogy az tökéletesen alkalmazkodjon környezetéhez és életben maradjon. Az evolúció során az élőlények alkalmazkodtak a környezetükhöz, és sok megoldás született egy-egy környezeti sajátosságra. A természet és az élővilág működésének tanulmányozásával, és a megszerzett tudással létrehozható valami olyasmí, amely sokkal jobban alkalmazkodik a természethez és együttműködik vele.

A kaktuszok működési elvét alkalmasnak találtam arra, hogy mélyebben tanulmányozzam, és megfelelőnek találtam, hogy akár épületeken is alkalmazhassam. A célom egy olyan önárnyékoló felület készítése a házak falán – a kautszbordák mintájára -, amely megakadályozza az épület túlmelegedését, így a belső térben lévő komfortérzet kellemes marad, úgy, hogy közben az épület nem melegszik túl, így kevesebb energiát kell a hűtésére fordítani.

A kutatásom során a kaktuszok bordázatát, és annak jelentőségét tanulmányoztam. Először általánosságban vizsgáltam meg magát a növényt. A kaktusz működési alapelve nagyon egyszerű, mégis zseniális. A kaktusz az evolúció során kifejlesztett magának egy bordázatot, amellyel leárnyékolja a felületének nagy részét. A bordáknak köszönhetően a közvetlen napsütés esetén is a felszínének egy része árnyékban van, így nem hagyja, hogy a növény túl sok vizet párologtasson el, és túlmelegedjen nappal. Másrészt az így megnövelt felületen keresztül több hőt tud leadni az éjszaka folyamán.

A kaktuszok működési alapelveit megértve még jobban leszűkítettem a kört, és kiválasztottam egy területet, amely területre jellemző kaktuszokat részletesebben tanulmányoztam. Kerestem hasonló arányokkal és méretekkel rendelkező kaktuszokat, amelyek közül kiválasztottam egyet, amelynek a pontos geometriai arányait (a kaktusz felületének és térfogatának aránya, a bordák méretei, és elhelyezkedése a kaktusz törzsén) vizsgáltam meg. Ezt a kaktuszt lehetőségem volt közelebbről is tanulmányozni, metszetet készíteni róla, és pontos arányait lemérni.

A továbbiakban ezeket az arányokat dolgoztam át egy kisebb családi ház homlokzatára, amellyel egy elég különleges és érdekes megjelenést is kapott.

A tervezett épületet, annak előnyeit és hátrányait egy energetikai szimulációs program segítségével (IDA ICE) áttanulmányoztam. Elsősorban a tanulmányozott kaktusz természetes élőhelyén jelen lévő klimatikus viszonyoknál modelleztem le, hogy ott mennyire lehet hatékony egy ilyen épület. Viszonyításképpen egy átlagos, ugyanakkora léptékű családi házat is lemodelleztem ugyanazon az éghajlati övezeten. Ennek célja, hogy az önárnyékoló felület hatékonyságát megállapítsam. A bordázott épületet ezután egy ennél melegebb, valamint egy hűvösebb, kevésbé napsütéses éghajlaton is megvizsgáltam, hogy ott mennyire lehet fenntartható egy ilyen épület.

A kutatási program célja egy olyan épület tervezése volt, amely önmagát képes leárnyékolni, nappal nem melegszik túl, éjszaka viszont a felület aktív szerepet játszhat a lehűlésben. A belső komfort biztosítva lehet úgy, hogy kevesebb – vagy semmilyen - energiát kell fordítani a belső terek hűtésére. Az elsődleges szempont a fenntarthatóság volt, de mellette jelentős szerepet kapott az esztétika is.

IV. EREDMÉNYEK

1. KAKTUSZ

1. VÁLASZTOTT KAKTUSZ: MAMMILLARIA SPINOSISSIMA (TÜSKÉS TŰPÁRNA KAKTUSZ)

Mammillaria spinosissima, hétköznapiabb nevén a tüskés tűpárna kaktusz a kaktuszfélék családjába tartozó virágzó faj, amely Mexikó Guerrero és Morelos Államában a legelterjedtebb, 1600-1900 méteres magasságban. A természetben még megtalálható Kolumbiában, Venezuelában, az Egyesült Államok délnyugati részén és Nyugat-Indiában.



4.1.1.1. *Mammillaria spinosissima* elterjedése

Körülbelül 30 cm magasra nőnek. Teljes Magasságukat 5-10 év alatt érik el. A sziklás, homokos talajt kedvelik, a földhöz közel nőnek egyedül vagy csoportban. Kevés vizet, és sok napsütést, szórt fényt igényelnek, kevés páratartalommal. A száraz trópusi, száraz éghajlatot kedvelő növényekhez tartoznak.

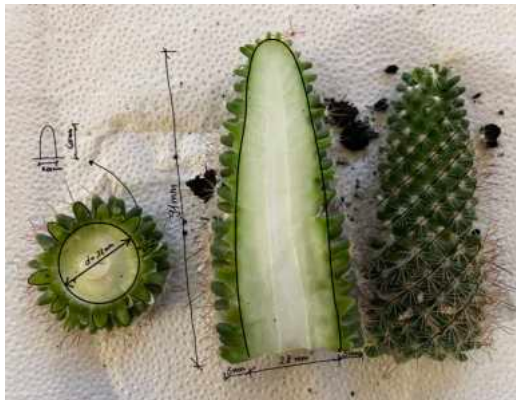


4.1.1.2.-4.1.1.3. tüskés tűpárna kaktusz

Henger alakú, bordái spirál alakban futnak fel a növényen, amelyekből tüskék nőnek ki. A tüskék piros-barna, fehér színűek (kör alakban a száron). A virágok hosszúkás, megnyúlt alakúak, a törzs tetejétől egy kicsivel lejjebb helyezkednek el.

2. A KAKTUSZ GEOMETRIAI FELÉPÍTÉSE

A kaktusz felépítését tanulmányoztam: a kaktusz magas, parabola alakú. A bordák pontszerűen helyezkednek el a száron, amelyek spirális alakban futnak fel a tetejéig. A kaktuszon két metszetet készítettem, egy vízszinteset és egy függőlegeset. A jellemző méreteit lemértem, majd pontos méreteit kiszámoltam.

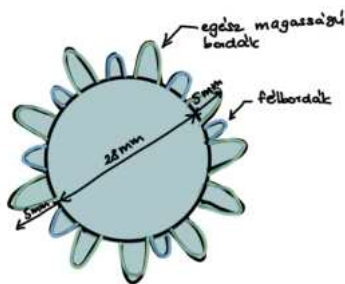


4.1.2.1.– 4.1.2.2. *A kaktusz vízszintes és függőleges metszete és külső geometriája*

3. A KAKTUSZON VÉGZETT SZÁMÍTÁSOK

Ha a kaktuszt függőlegesen elvágjuk, akkor jól látható lesz, hogy a kaktusz belső magját egy parabola képezi le. Ez a parabolaalak vízszintesen elmeteszve egy kör keresztmetszetet ad. A belső kör átmérője 28 mm. A metszeten jól láthatóak a belső körre ráépülő bordák. A vízszintes metszeten körülbelül 10 egész bordát, és 7 db fél bordát metszünk el. Ezek magassága megközelítőleg 5 mm, és szélességük 3 mm. A bordák metszete szintén egy parabola ívre hasonlít.

Az elsőként elvégzett számításoknál a kaktuszmetszet területét és körvonalának hosszát határoztam meg. Ezek után tértem át a térbeli tömeg arányainak (felszín és térfogat) meghatározására. A számítások egyszerűsítése érdekében a formát leegyszerűsítettem, így a számítások végeredménye is egy megközelítőleges értéket mutat.



4.1.3.1. vízszintes keresztmetszet

A kaktusz vízszintes keresztmetszetét 2 részre bontottam, a kaktusz tömegét képező hengerre, amely metszeten egy kör alakot ír le, és az arra épülő parabola formájú bordákra.

A kör keresztmetszetének kerülete

$$K = 2r\pi = 2 \times 1,4\pi = 8,79 \text{ cm}$$

A kör keresztmetszet területe

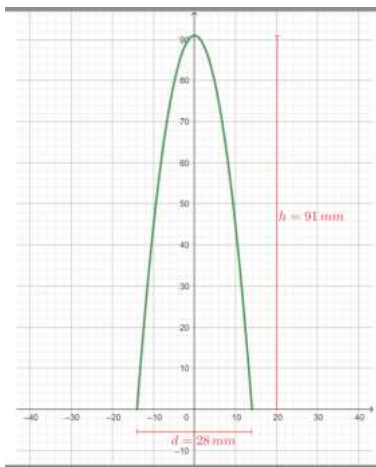
$$T = r^2\pi = 1,4^2\pi = 6,15 \text{ cm}^2$$

A kör metszet területéhez viszonylag nagy felszín tartozik, amelyet a kaktusz még további bordákkal növel.

A bordák keresztmetszete egy felfordított parabola ívnek felel meg. Szimmetriatengelye az y-tengely, az alja pedig az x tengely. A parabola egyenletének meghatározása után a parabola alatti terület, és a parabolaív hosszát integrálással meg lehet határozni.

A parabola egyenlete: $y = ax^2 + b$

A b-t igazából el is lehetne hagyni a képletből, de keresztmetszeti terület számolásának szempontjából egyszerűbb, ha benne hagyjuk, így a kaktusz alja lesz az x-tengely. H-val jelöljük a keresztmetszet magasságát, d-vel az alap hosszát, és a sugarat, $r = d/2$.



4.1.3.2. parabolaív

Mivel a formánk szimmetrikus, ezért $f(x) = ax^2 + b$

Feltételek az ábra alapján:

$$f(0) = h \rightarrow b = h$$

$$f(r) = 0 \rightarrow ar^2 + b = 0 \rightarrow ar^2 + h = 0 \rightarrow a = -h/r^2$$

$$f(x) = h - h/r^2 x^2$$

Először az általános képleteket határoztam meg, amelyekbe már csak a különböző értékeket szükséges behelyettesíteni, ahhoz, hogy megkapjuk a szükséges eredményt.

Keresztmetszet területe: a keresztmetszet területe a függvénygörbe alatti terület, amelyet az $f(x)$ $[-r; r]$ intervallumon történő integrálásnál egyszerűbb, ha a $[0; r]$ intervallumon integrálunk, és a végén a kapott értéket 2-vel felszorozzuk.

A parabola keresztmetszetének a területe, képlet:

$$T = \int_{-r}^r f(x) dx = 2 \int_0^r f(x) dx = 2 \int_0^r h - \frac{h}{r^2} x^2 dx$$

$$= 2 \left[hx - \frac{h}{r^2} \times \frac{x^3}{3} \right]_0^r = 2 \left(hr - \frac{h}{r^2} \times \frac{r^3}{3} \right) = 2hr - \frac{2}{3} hr = \frac{4}{3} hr$$

A parabola ívhossza:

Az $y = f(x)$ függvénygörbe ívhossza az a, b intervallum felett:

$$S = \int_a^b \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$$

$$f'(x) = -\frac{2h}{r^2} x \Rightarrow$$

$$S = \int_{-r}^r \sqrt{1 + \left(-\frac{2h}{r^2} x\right)^2} dx = 2 \int_0^r \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{r^2} x\right)^2} dx$$

Ez a $g(x) = 1 + x^2$ függvény lineáris transzformáltjának az integrálja

Legyen $g(x)$ primitív függvénye $G(x)$; ekkor

$$S = 2 \int_0^r g\left(\frac{2h}{r^2} x\right) dx = 2 \left[\frac{G\left(\frac{2h}{r^2} x\right)}{\frac{2h}{r^2}} \right]_0^r = \frac{r^2}{h} \left(G\left(\frac{2h}{r}\right) - G(0) \right)$$

Már csak a $G(x) = \int \sqrt{1 + x^2} dx$ primitív függvényt kellene ismerni. Ennek kiszámítása kicsit bonyolult, de eredménye fellelhető az interneten.

$$G(x) = \frac{1}{2} x \sqrt{1 + x^2} + \frac{1}{2} \ln(\sqrt{1 + x^2} + x)$$

Az előző lépéseket összerakva az ívhossz:

$$S = \frac{r^2}{h} \left(G\left(\frac{2h}{r}\right) - G(0) \right)$$

$$= \frac{r^2}{h} \left(\frac{1}{2} \times \frac{2h}{r} \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{r}\right)^2} + \frac{1}{2} \ln \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{r}\right)^2} + \frac{2h}{r} \right) - 0 - 0 \right)$$

$$= r \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{r}\right)^2} + \frac{r^2}{2h} \ln \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{r}\right)^2} + \frac{2h}{r} \right)$$

$$= r \sqrt{1 + z^2} + \frac{r}{z} \ln(\sqrt{1 + z^2} + z), \text{ ahol } z = \frac{2h}{r}$$

Az egyenletekből levezetett végeredmények:

A parabola keresztmetszetének területe:

$$h=5 \text{ mm}, d=3 \text{ mm}, r=1,5 \text{ mm}$$

$$T = \frac{4}{3} \times 5 \times 1,5 = 10 \text{ mm}^2$$

A parabola keresztmetszetének ívhossza:

$$h=5 \text{ mm}, d=3 \text{ mm}, r=1,5 \text{ mm}$$

$$z=2*5/1,5=20/3$$

$$S= 1,5 \times \sqrt{1 + \left(\frac{20}{3}\right)^2} + \frac{1,5}{\left(\frac{20}{3}\right)} \ln \left(\sqrt{1 + \frac{20}{3}}^2 + \frac{20}{3} \right)$$

$$S= 12,71 \text{ mm}$$

A keresztmetszeten 10 db egész, és 7 db fél borda található.

A metszeten található összes borda területe:

$$10*10\text{mm}^2+7*5\text{mm}^2=135\text{mm}^2=1,35 \text{ cm}^2$$

A metszeten található összes borda felszíne:

$$10*12,71\text{mm}+7*12,71/2= 171,59\text{mm}=17,16 \text{ cm}$$

A kaktusz az adott metszetben a bordáival a körvonalát 195%-kal (az új felszín körvonala tulajdonképpen a kaktuszbordák folyamatos ívje: 17,16/8,79) növelte, a területe azonban csak ($T_{\text{kör}}+T_{\text{borda}}=6,15\text{cm}^2+1,35\text{cm}^2=7,5 \text{ cm}^2$; 7,5/6,15) 122%-kal nőtt. A kör arányaihoz hasonlítva a térfogathoz képest egy sokkal nagyobb kerület tartozik, vagyis a kaktusz párologtató felülete jelentősen megnőtt.

A vízszintes metszet tanulmányozása után, a függőleges metszetén is elvégeztem ezeket a számításokat.

A függőleges metszetet a kaktusz szimmetria középpontján vettem fel. Ezen a metszeten látható a “belső tömeg” parabola alakja. Itt megközelítőleg 12 egész és 12 fél bordát metszettem el. (A kaktusz teteje felé a bordák nagysága is arányosan kisebb lesz.)

4.1.3.3.függőleges metszet ábra

4.1.3.4. függőleges metszet méretezés

A belső parabola területének és kerületének kiszámításához használhatjuk a korábbi egyenleteket.

A belső kaktusz parabola kerülete: (A kerület kiszámításoknál az alsó, egyenes vonalat nem vettem a számításba sem a bordáknál, sem pedig a kaktusz tömegénél, mivel azok nem számítanak párologtató felületnek.)

h=91 mm, d=28 mm, r=14 mm

$$z=2*91/14=13$$

$$S=14 \times \sqrt{1+13^2} + \frac{14}{13} \ln(\sqrt{1+13^2}+13)$$

$$S = 186,048 \text{ mm} = 18,6 \text{ cm}$$

A parabola területe:

h=91 mm, d=28 mm, r=14 mm

$$T = 4/3 * 91 * 14 = 1698,67 \text{ mm}^2 = 16,99 \text{ cm}^2$$

Ha a kaktuszt a bordákkal együtt vizsgáljuk, akkor a felszíne a bordák felszínével megnövekedik.

$$S = 12 \cdot 12,71 + 12 \cdot 12,71 / 2 = 228,78 \text{ mm} = 22,88 \text{ cm}$$

A metszeten található összes borda területe:

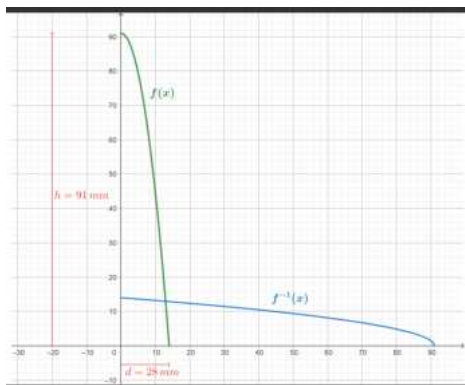
$$12 \cdot 10 + 12 \cdot 5 = 180 \text{ mm}^2 = 1,8 \text{ cm}^2$$

$$\text{A függőleges metszet megközelítőleges területe: } 16,99 + 1,8 = 18,79 \text{ cm}^2$$

A függőleges metszetet figyelembe véve a parabolaívvel összehasonlítva a bordázott kaktuszfelületet a körvonal 123%-kal ($22,88/18,6$) nőtt (azonban ez az érték elég pontatlan, mivel az elmetezett kaktuszon a bordák mérete is már csak megközelítőleges érték). A kaktusz függőleges metszete az egyszerű parabolához viszonyítva 110%-kal ($18,79/16,99$) nagyobb.

Integrálással kiszámítható a parabolaív y-tengely körüli megforgatásával kapott forgástest térfogata és palástjának felszíne (az alapkör nélkül).

Mindkét esetben az x-tengely körüli forgatásra van képlet, ezért az inverz függvényt kell használnunk a $[0; r]$ intervallumra történő megszorítással.



4.1.3.5. félparabolaív

Megszorítjuk az értelmezési tartományt az eredeti intervallum pozitív felére, ahol a függvény invertálható és amiből a forgástest még változatlanul megkapható.

$$f(x) = h - \frac{h}{r^2} x^2, D_f = [0; r]$$

Inverzfüggvény:

$$y = h - \frac{h}{r^2} x^2$$

$$\frac{h}{r^2} x^2 = h - y$$

$$x^2 = \frac{r^2}{h}(h-y) = r^2 \left(1 - \frac{y}{h}\right)$$

$$x = r \sqrt{1 - \frac{y}{h}} \Rightarrow f^{-1}(y) = r \sqrt{1 - \frac{y}{h}}, \quad D_{f^{-1}} = [0; h]$$

Az x-tengely körüli megforgatással keletkező forgástest térfogata:

$$V = \pi \int_a^b f^2(x) dx$$

Ez alkalmazható jelen esetben az inverzfüggvényre.

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_0^h (f^{-1}(y))^2 dy = \pi \int_0^h \left(r \sqrt{1 - \frac{y}{h}}\right)^2 dy \\ &= \pi \int_0^h r^2 \left(1 - \frac{y}{h}\right) dy = \pi r^2 \left[y - \frac{1y^2}{2h}\right]_0^h = \pi r^2 \left(h - \frac{h^2}{2h} - 0\right) \\ &= \frac{\pi r^2 h}{2} \end{aligned}$$

A forgástest palástjának felszíne

Képlet az x-tengely körüli forgatás esetén:

$$A = 2\pi \int_a^b f(x) \times \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$$

Ezt most az inverzfüggvényre alkalmazzuk, mert az y-tengely körül forgatunk:

$$A = 2\pi \int_0^h f^{-1}(y) \times \sqrt{1 + ((f^{-1}(y))')^2} dy$$

Az inverz függvény deriváltjának meghatározása:

$$(f^{-1}(y))' = \left(r \sqrt{1 - \frac{y}{h}}\right)' = r \frac{1}{2 \times \sqrt{1 - \frac{y}{h}}} \times \left(-\frac{1}{h}\right) = -\frac{r}{2h \sqrt{1 - \frac{y}{h}}}$$

A forgástest palástjának felszíne:

$$\begin{aligned} A &= 2\pi \int_0^h f^{-1}(y) \times \sqrt{1 + ((f^{-1}(y))')^2} dy \\ &= 2\pi \int_0^h r \sqrt{1 - \frac{y}{h}} \times \sqrt{1 + \left(-\frac{r}{2h \sqrt{1 - \frac{y}{h}}}\right)^2} dy \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2\pi \int_0^h r \sqrt{1 - \frac{y}{h} \times \sqrt{1 + \frac{r^2}{4h^2(1 - \frac{y}{h})}}} dx \\
&= 2\pi r \int_0^h \sqrt{1 - \frac{y}{h} + \frac{r^2}{4h^2}} dx = 2\pi r \int_0^h \sqrt{-\frac{y}{h} + \left(1 + \frac{r^2}{4h^2}\right)} dx \\
&= 2\pi r \left[\frac{\left(-\frac{y}{h} + 1 + \frac{r^2}{4h^2}\right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2} \times \left(-\frac{1}{h}\right)} \right]_0^h = -\frac{4\pi r h}{3} \left[\left(\frac{r^2}{4h^2}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(1 + \frac{r^2}{4h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \right] \\
&= \frac{4\pi r h}{3} \times \frac{1}{8h^3} \times \left((4h^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} - r^3 \right) = \frac{\pi r}{6h^2} (4h^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} - r^3 \\
&= \frac{\pi r^4}{6h^2} \sqrt{\left(\frac{2h^2}{r} + 1\right)^3 - 1} = \frac{2\pi r^2}{3z^2} \left(\sqrt{(z^2 + 1)^3} - 1 \right), \text{ ahol } z = \frac{2h}{r}
\end{aligned}$$

A képletek segítségével meghatározott kaktusz felszíne és térfogata:

$$h=91\text{mm}, r=14\text{mm}, z=2*91/14$$

$$A = \frac{2\pi 14^2}{3 \times 2 \frac{91}{14}} \left(\sqrt{\left(2 \times \left(\frac{91}{14}\right)^2 + 1\right)^3 - 1} \right)$$

$$A = 5381,53 \text{ mm}^2 = 53,82 \text{ cm}^2$$

$$V = \pi 14^2 \times$$

$$V = \pi * 14^2 * 91/2 = 28016,72 \text{ mm}^3 = 28,017 \text{ cm}^3$$

A kaktuszborða felszíne és térfogata:

$$h=5 \text{ mm}, r=1,5 \text{ mm}, z=20/3$$

$$A = \frac{2\pi 1,5^2}{3 \left(\frac{20}{3}\right)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{20^2}{3} + 1\right)^3 - 1} \right)$$

$$A = 32,47 \text{ mm}^2 = 0,32 \text{ cm}^2$$

$$V = \pi 1,5^2 \times 5/2$$

$$V = 17,66 \text{ mm}^3 = 0,018 \text{ cm}^3$$

A kaktusz teljes felszínét és térfogatát nehéz meghatározni (a kaktusbordák elhelyezkedése, és eltérő méretük miatt), így itt is leegyszerűsítettem, és a felső képleteket használtam az értékek meghatározására. A kaktuszon a bordák spirálszerűen futnak fel, és ezek a bordák kétsoronként nagyjából egymás alá esnek. Ezek egy függőleges vonallal így összeköthetőek. Egy ilyen vonalon 10 borda található. Ezekből a függőleges vonalakkal körülbelül 17 fut fel a kaktusz aljától a tetejéig.



4.1.3.6. kaktusbordák elhelyezkedése

Egy vonal mentén lévő kaktusbordák felszíne:

$$10 \cdot 0,32 = 3,2 \text{ cm}^2$$

Egy vonal mentén lévő kaktusbordák térfogata:

$$10 \cdot 0,018 = 0,18 \text{ cm}^3$$

A kaktuszon lévő bordák összesen:

$$\text{Felszín: } 17 \cdot 3,2 \text{ cm}^2 = 54,4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Térfogat: } 17 \cdot 0,18 \text{ cm}^3 = 3,06 \text{ cm}^3$$

A kaktusz felszínét teljes felületen bordák burkolják, ezért a növény felszíne megegyezik a bordák felszínével, azaz $54,4 \text{ cm}^2$. A kaktusz térfogata a kaktusbordák és a parabola térfogatának összessége, vagyis $31,08 \text{ cm}^3$.

A kaktusz felszínének és térfogatának az aránya (A/V): 1,75.

2. A KAKTUSZHÁZ

1. GEOMETRIA

A korábban megmért és kiszámított adatokat vettem alapul a kaktuszház megalkotásánál. Az egyszerűbb geometriai kialakítás miatt a kaktuszbordákat a függőleges vonal mentén összekötöttem, és az egy vonal mentén elhelyezkedő bordákból készítettem egy nagyobb bordát. Ez a 3D vályognyomtatás során egyszerűbben megoldható, mint a több, kisebb, bonyolultabb geometriájú kaktuszborda kialakítása. A kaktuszház tömegbeli megjelenése szintén a kaktuszét veszi át.

A kaktuszház magassága 600 cm. Belső sugara 250 cm.

A belső parabolához hasonló tömeg felszíne és térfogata:

$$A = \frac{2\pi 2,5^2}{3 \frac{12}{2,5}} \left(\sqrt{\left(\left(\frac{12}{2,5} \right)^2 + 1 \right)^3 - 1} \right)$$

$$A = 120,57 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{\pi 2,5^2 \times 6}{2}$$

$$V = 58,88 \text{ m}^3$$

A kaktuszház bordáinak megközelítőleges értéke:

Esztétikai okok miatt a bordák mélysége kisebb lett, viszont így több került egymás mellé.

A borda szélessége 50 cm, mélysége 40 cm. A borda metszetének körvonala, és területe:

$$S = 25 \sqrt{1 + \frac{80^2}{25} + \frac{25}{\frac{80}{25}} \ln \left(\sqrt{\left(1 + \frac{80}{25} \right)^2 + \frac{80}{25}} \right)}$$

$$S = 0,98 \text{ m}$$

$$T = \frac{4}{3} 40 \times 25$$

$$T = 0,133 \text{ m}^2.$$

Ívhossz:

$$S = 2,5 \sqrt{1 + \frac{12}{2,5}} + \ln \left(\sqrt{1 + \frac{12^2}{2,5}} + \frac{12}{2,5} + \frac{12}{2,5} \right)$$

Az ívhossz, amelyen felfutnak a bordák 8,36 m.

A bordák közelítőleges felszíne és térfogata:

$A = 0,98 * 8,36 = 8,19 \text{ m}^2$ —> a bordák felfelé szűkülnek, ezért a felszínük is kisebb felfelé, megközelítőleg ennek a fele lesz. $8,19/2 = 4,095 \text{ m}^2$.

$V = 0,133 * 8,36 = 1,11 \text{ m}^3$ $1,11/2 = 0,55 \text{ m}^3$ egy borda térfogata.

A bordákból 36 db van a házon.

A kaktuszház felszíne a bordák felszínével lesz egyenlő: $36 * 4,095 \text{ m}^2 = 147,42 \text{ m}^2$.

A kaktuszház térfogata: $36 * 0,55 + 58,88 = 78,68 \text{ m}^3$.

A kaktuszház felszínének és térfogatának az aránya $(A/V) = 1,87$

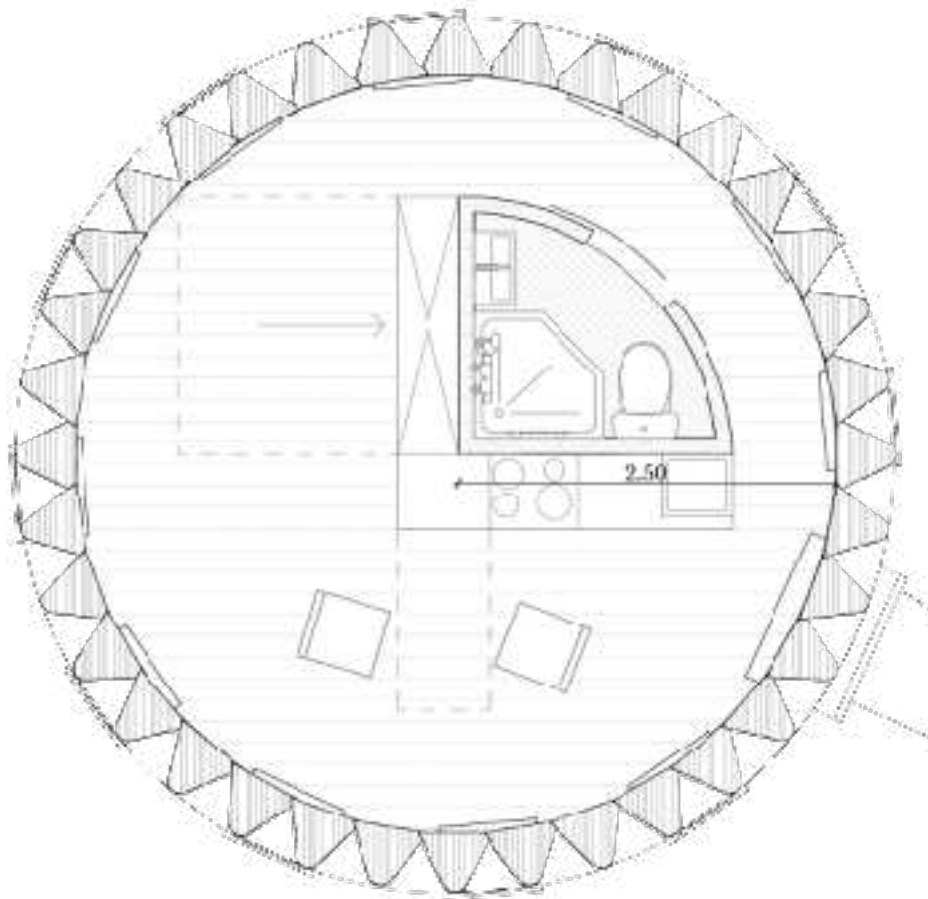
A kapott arány hasonló a kaktusz arányaihoz, ezért ezt az épülettömeget vittem tovább az energetikai programba.



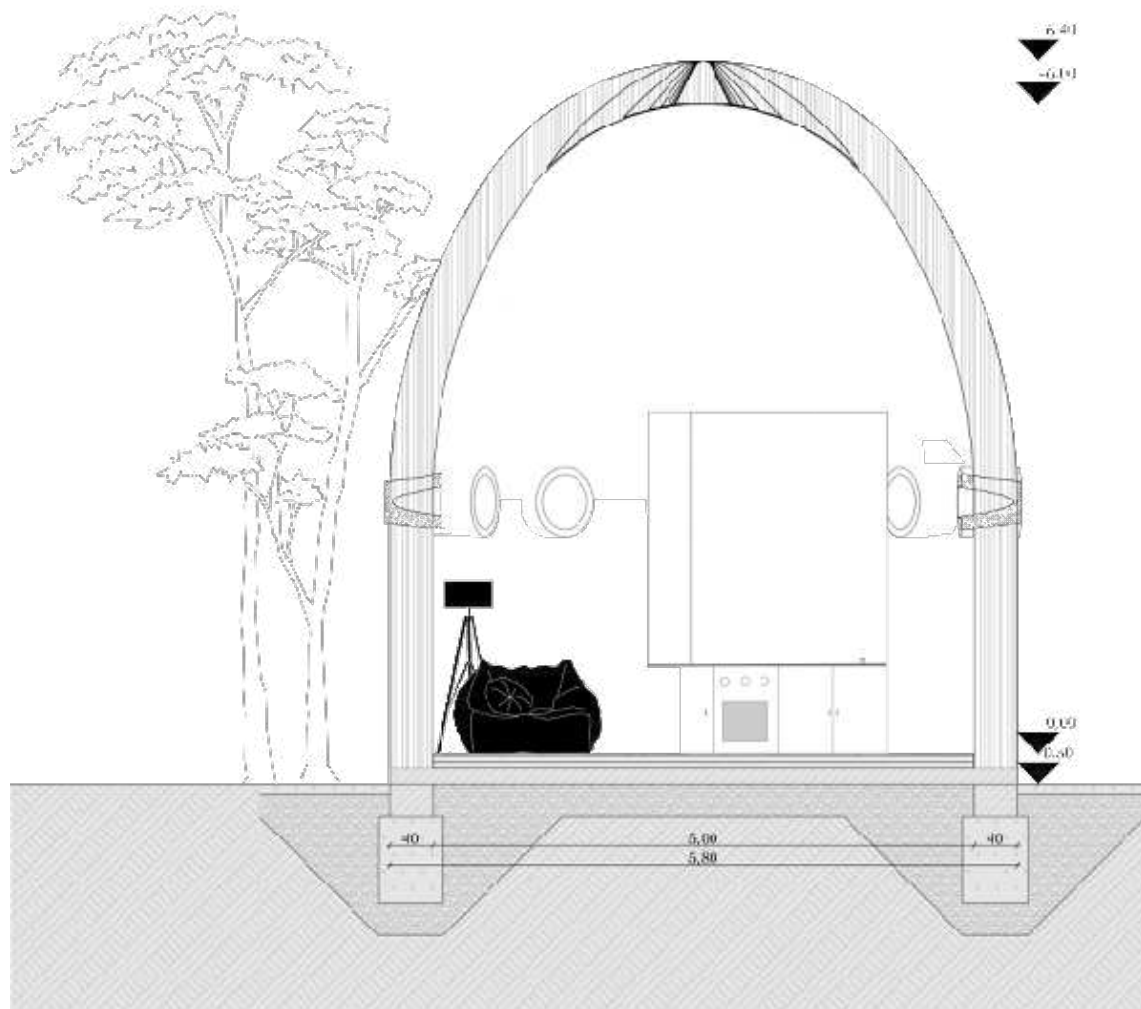
4.2.1.1. kaktuszház látványterv

2. ALAPRAJZ, METSZET

A kaktuszház 3D vályognyomtatási technológiával elkészíthető lenne. A 3D nyomtatás során egy nyomtatógéppel a ház formája egyszerűen lekövethető. A vályogfalnál - mivel a vályog érzékeny a vízre - az alsó 30 cm-nél egy speciális adalékanyagot szükséges hozzáadni, amitől ellenállóbb lesz a vízzel szemben. A vályogfal felületét kívülről egy lélegző vakolattal szükséges levakolni, amely engedi a vályognak, hogy a párát leadja, de közben védi az esőtől a felületét. A vályogfalat 5 cm-es „hurkákban” nyomtatják, amelyekből felépül a fal. A falnak körülbelül 40 cm vastagságúnak kell lennie a megfelelő teherbírás érdekében. A nyomtatott vályogfal belsejét hőszigetelő anyaggal ki lehet tölteni.



4.2.2.1. kaktuszház alaprajz



Talajon fekvő padló rétegrend
 30 cm kavicságyazat
 1 réteg technológiai fólia
 15 cm vasalt aljzat
 5 cm légrés
 6 cm esztrich
 2 cm padlóburkolat

4.2.2.2. kaktuszház metszet



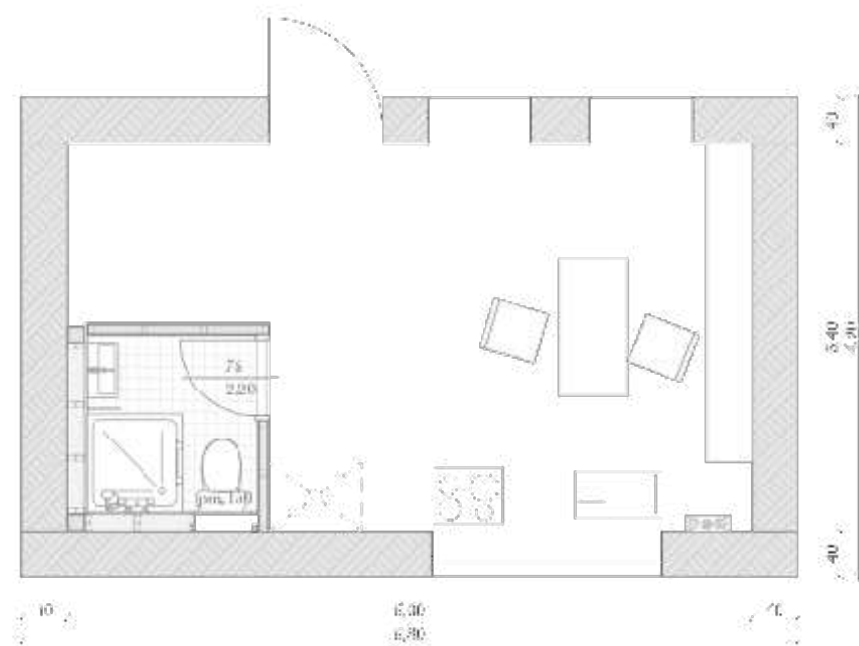
4.2.2.3. kaktusház látványterv



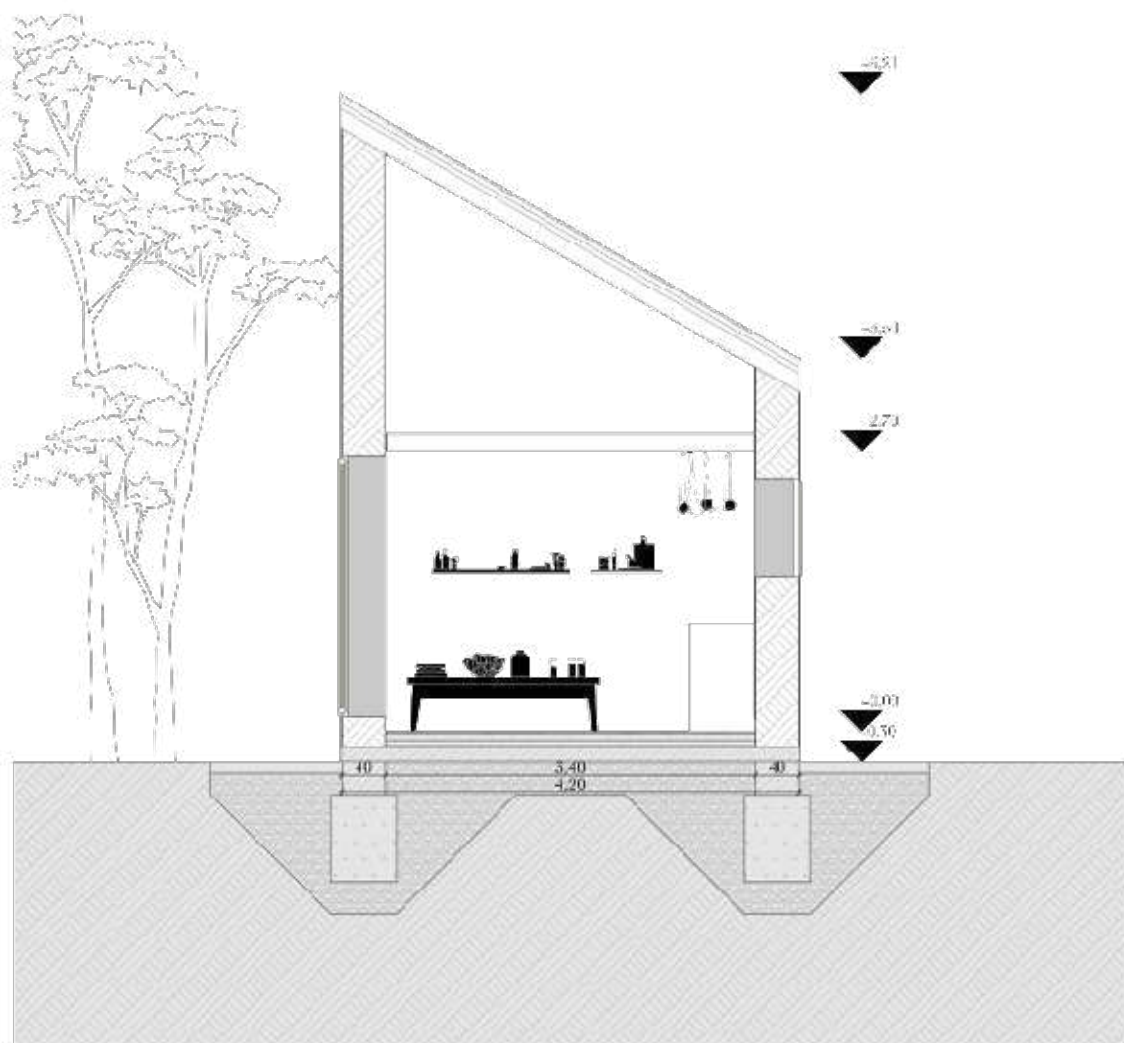
4.2.2.4. kaktusház látványterv

3. MINIHÁZ KIALAKÍTÁSA

A kaktuszházamat a helyi építészetre jellemző, a kaktuszház alaprajzi méretével hasonló, kisléptékű épülettel hasonlítottam össze. Az épület beton alapozással rendelkezik, vályogtégla falazattal. A miniházban egy alsó szint és galéria van. Az alsó szinten található a fürdőszoba és a konyha, a társalgó rész, a felső szinten pedig a hálószoba. A lefedés félnyereggtetővel történik.



4.3.1. miniház alaprajz



4.3.2. miniház metszet

4. ENERGETIKAI MODELL

1. ÉGHAJLATI JELLEMZŐK

A két legjellemzőbb államban, ahol a kaktusz előfordul, szerettem volna kiválasztani egy várost. Ezek azonban az energetikai programban nem voltak megtalálhatóak, ezért Mexikó másik területéről választottam egy várost, amely ugyanazon éghajlati jellemzőkkel rendelkezik. A választásom Mexikóvárosra esett.

Klimatikus jellemzők táblázatba foglalva:

	Mexikóváros
Éves átlagos csapadékmennyiség	1058 mm
Éves átlagos hőmérséklet	16 °C
Éves átlagos páratartalom	60,75 %
Átlagos napsütéses órák száma évente	3126,3 óra

4.4.1.1. táblázat: Mexikóváros klimatikus jellemzői

Átlagos talaj hőmérséklet: 18 °C

A későbbiekben az épületet más éghajlati jellemzőknél is megvizsgáltam. Választottam egy sokkal szárazabb, szélsőségesebb időjárással rendelkező várost (Kairó), és egy csapadékosabb, kevésbé napsütéses várost is (Pécs).

Klimatikus jellemzők táblázatba foglalva:

	Kairo
Éves átlagos csapadékmennyiség	18 mm
Éves átlagos hőmérséklet	22,1 °C
Éves átlagos páratartalom	46 %
Átlagos napsütéses órák száma évente	3682,13 óra

4.4.1.2.: Kairo klimatikus jellemzői táblázatba foglalva

Átlagos talaj hőmérséklet: 23 °C

Klimatikus jellemzők táblázatba foglalva:

	Pécs
Éves átlagos csapadékmennyiség	706 mm
Éves átlagos hőmérséklet	11,6 °C
Éves átlagos páratartalom	71 %
Átlagos napsütéses órák száma évente	3019,3 óra

4.4.1.3. táblázat: Pécs klimatikus jellemzői táblázatba foglalva

Átlagos talaj hőmérséklet: 11 °C

2. SZIMULÁCIÓS PROGRAM EREDMÉNYEK

1. A kaktuszház eredményei

A kaktuszház bonyolult íves geometriáját (Archicadban készült) nem sikerült beolvasni épületformaként az IDA ICE szimulációs programban, így ott le kellett egyszerűsíteni egy háromszögekből felépülő formára a bordázatot.

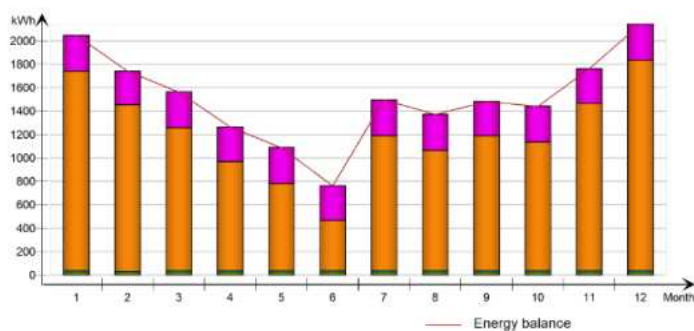
terület: 22,8 m²

légtérfogat: 91 m³

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.1	9.6	0.1	01 May 20:27
Electric cooling	200.6	8.8	0.02284	17 May 14:15
Electric heating	14129.3	618.6	2.456	19 Dec 04:38
Electric DHW heating	3606.6	157.9	0.4106	17 May 14:15
Total Used	18156.6	794.9		
Electricity balance Facility	18156.6	794.9		

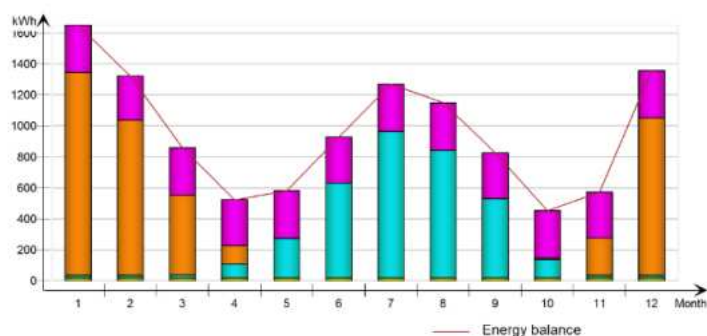


4.4.2.1.1. kaktuszház energetikai eredmények, Mexikóváros

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.1	9.6	0.1	08 Apr 20:28
Electric cooling	3443.1	150.7	3.231	04 Jul 18:02
Electric heating	4218.7	184.7	2.456	14 Jan 00:04
Electric DHW heating	3606.6	157.9	0.4106	09 Nov 23:40
Total Used	11488.5	503.0		
Electricity balance Facility	11488.5	503.0		

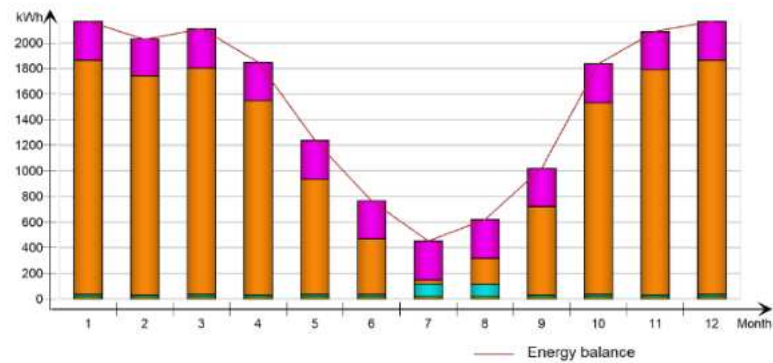


4.4.2.1.2. kaktuszház energetikai eredmények, Cairo

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.1	9.6	0.1	21 Aug 20:31
Electric cooling	364.9	16.0	1.721	21 Jul 18:31
Electric heating	14156.1	619.8	2.456	04 Jun 09:55
Electric DHW heating	3606.6	157.9	0.4106	21 Aug 20:31
Total Used	18347.7	803.3		
Electricity balance Facility	18347.7	803.3		



4.4.2.1.3. kaktuszház energetikai eredmények, Pécs

2. Borda nélküli épület eredményei

Az Archicad programban elkészült parabolaív alakú, kör alaprajzú épületet formáját szintén háromszögekre és sokszögekre kellett egyszerűsíteni, hogy az IDA ICE programban meghatározható lehessen az épület alakja.

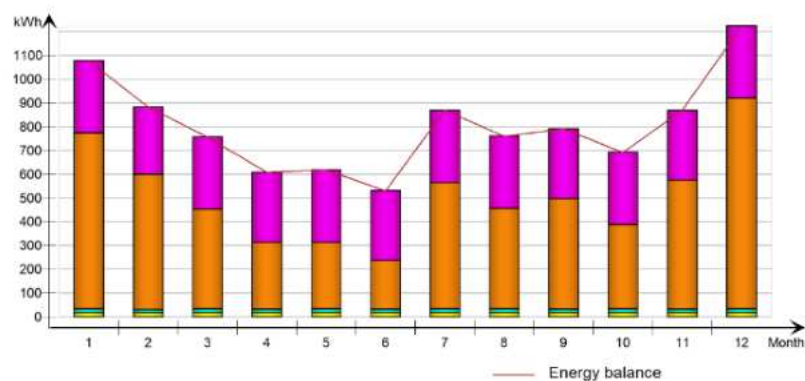
alapterület: 19,7 m²

légtérfogat: 78,6 m³

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.4	11.2	0.1	20 Jul 20:59
Electric cooling	172.7	8.8	0.01966	20 Jul 20:59
Electric heating	5701.7	290.0	2.114	26 May 00:02
Electric DHW heating	3578.4	182.0	0.4074	20 Jul 20:59
Total Used	9673.3	492.0		
Electricity balance Facility	9673.3	492.0		

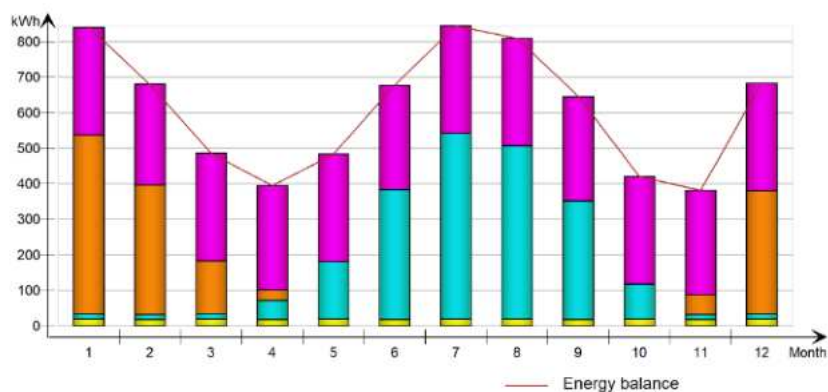


4.4.2.2.1. borda nélküli épület energetikai eredmények, Mexikóváros

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.4	11.2	0.1	27 Aug 21:12
Electric cooling	2098.5	106.7	2.315	29 Jul 21:38
Electric heating	1451.6	73.8	1.87	14 Jan 07:09
Electric DHW heating	3578.4	182.0	0.4074	09 Apr 10:01
Total Used	7348.9	373.8		
Electricity balance Facility	7348.9	373.8		

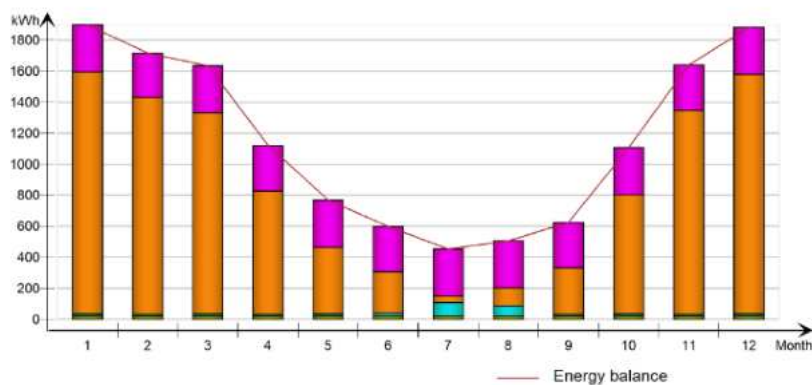


4.4.2.2.2. borda nélküli épület energetikai eredmények, Cairo

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.5	11.2	0.1	20 Sep 21:10
Electric cooling	311.3	15.8	3.952	21 Jul 17:23
Electric heating	9837.5	500.4	2.114	15 Dec 00:00
Electric DHW heating	3578.4	182.0	0.4074	28 Jul 02:04
Total Used	13947.7	709.4		
Electricity balance Facility	13947.7	709.4		



4.4.2.2.3. borda nélküli épület energetikai eredmények, Pécs

3. A miniház eredményei

Az Archicadben megtervezett miniház formája beolvasható volt az IDA ICE programban az épület formáját illetően, így azon a szimulációs programon belül nem volt szükséges változtatni.

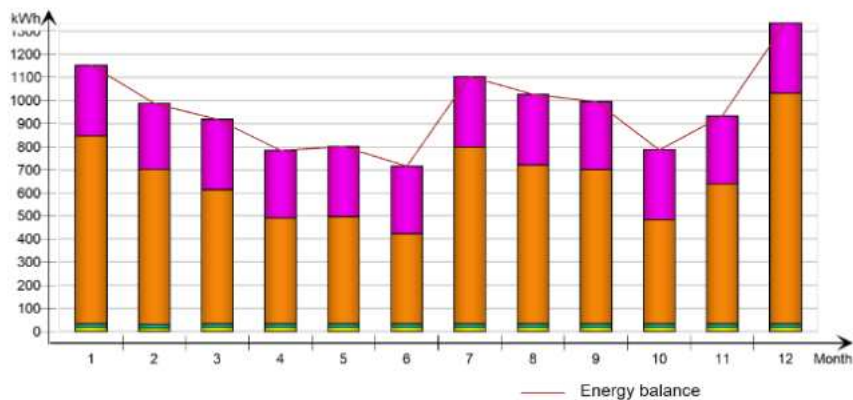
alapterület: 20,4 m²

légtérfogat: 86 m³

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.4	10.8	0.1	08 May 20:35
Electric cooling	179.3	8.8	0.07845	08 Jun 17:01
Electric heating	7554.2	370.3	2.194	03 Mar 21:26
Electric DHW heating	3584.4	175.7	0.4081	25 May 11:31
Total Used	11538.2	565.6		
Electricity balance Facility	11538.2	565.6		

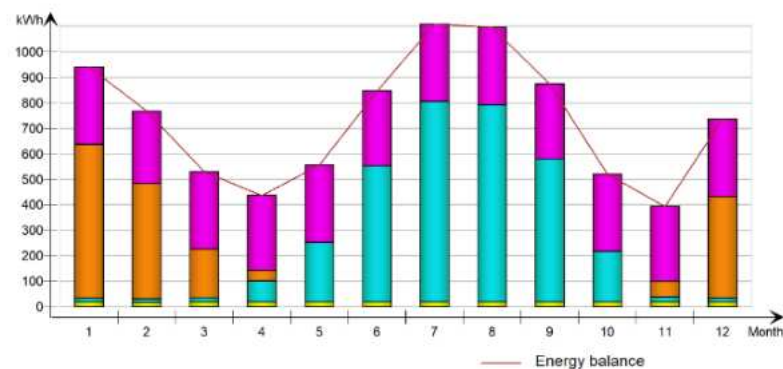


4.4.2.3.1. miniház energetikai eredmények, Mexikóváros

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.3	10.8	0.1	19 Jul 20:24
Electric cooling	3258.7	159.7	3.541	29 Jul 21:47
Electric heating	1751.4	85.9	2.194	09 Jan 07:13
Electric DHW heating	3584.4	175.7	0.4081	16 Apr 01:03
Total Used	8814.8	432.1		
Electricity balance Facility	8814.8	432.1		

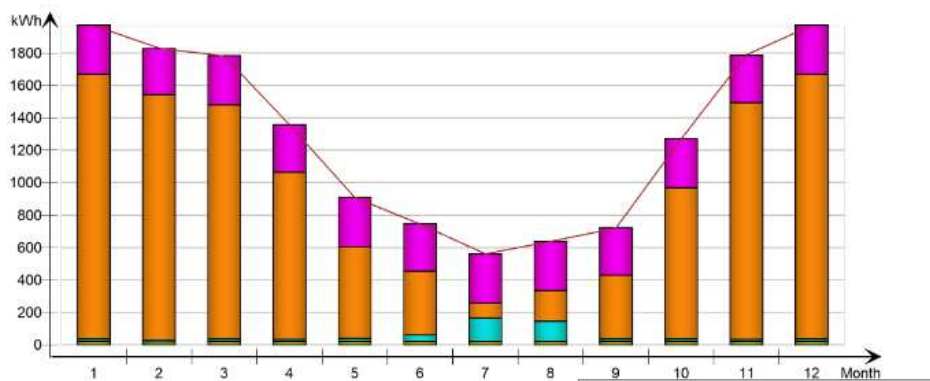


4.4.2.3.2. miniház energetikai eredmények, Cairo

Facility Electricity

Used/Produced

	Total		Peak demand	
	kWh	kWh/m ²	kW	Time
Lighting, facility	220.4	10.8	0.1	27 Jul 20:29
Electric cooling	450.6	22.1	4.1	30 Jun 17:23
Electric heating	11277.8	552.8	2.194	04 May 06:28
Electric DHW heating	3584.4	175.7	0.4081	25 May 00:06
Total Used	15533.2	761.4		
Electricity balance Facility	15533.2	761.4		



4.4.2.3.3. miniház energetikai eredmények, Pécs

V. ÉRTÉKELÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

	Bordázott épület	Borda nélküli	Miniház
Mexikóváros	200,6 kWh 8,8 kWh/m ²	172,7 kWh 8,8 kWh/m ²	179,3 kWh 8,8 kWh/m ²
Kairo	3443,1 kWh 150,7 kWh/m ²	2098,5 kWh 106,7 kWh/m ²	3258,7 kWh 159,7 kWh/m ²
Pécs	364,9 kWh 16 kWh/m ²	311,3 kWh 15,8 kWh/m ²	450,6 kWh 22,1 kWh/m ²

4.5.1. hűtésre fordított energiamennyiség táblázatban összefoglalva

A kapott értékeket először Mexikóvárosnál hasonlítottam össze. Alapterületre mind a három modellnek 8,8 kW/m²-es energiaigény szükséges a hűtésre, azonban, ha megnézzük a hozzá tartozó légtérfogatot is, akkor látható, hogy a kaktuszbordázott épületnek van a legnagyobb térfogata. Ez azt jelenti, hogy a legnagyobb légtérfogatot m²-ként ugyanannyi energiával lehet lehűteni, mint a legkisebbet, vagyis a kaktuszbordázott épület számít a leghatékonyabbnak a három közül.

Az épületekhez szükséges hűtési energia jelentősen megnőtt egy melegebb éghajlati övezetben, esetünkben Kairóban. Az eredmények azt mutatták, hogy a legkevesebb hűtési energiát a borda nélküli épület igényli. Ha nem csak az alapterületet, hanem a hozzá tartozó légtérfogatot is figyelembe vesszük, az eredmény akkor is a bordázat nélküli épületnél mutat jobb adatokat. Egy melegebb éghajlati övezetben így nem a leghatásosabb a kaktuszbordázott épület. Ennek egyik feltételezett oka lehet az, hogy a bordázattal jelentsen megnőtt a hőleadó felület is, amely esetünkben az épületnél nem mutat kedvező eredményeket.

Ha a kaktuszbordázott épületünket egy hidegebb éghajlati övezetben elemezzük (jelen esetben Pécsen) akkor az eredmények szintén a kaktuszbordázott épületnél mutatják a legkedvezőbbeket. (ha az alapterülethez tartozó légtérfogatot vesszük figyelembe, és nem csak az alapterületnél kapott szükségletet m²-es hűtési energia szükségletet.)

VI. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során a biomimikri témakörrel kezdtem foglalkozni, ahonnan kiválasztottam egy igen szűk területet, a kaktuszokat. A kaktuszokat először általánosságban vizsgáltam, majd ezek közül kiválasztottam egyet, amelyeken számításokat végeztem. A számításokat követően az arányok alapján megterveztem a kaktusbordázott épületet. Ezek után rövid kitekintést tettem a Mexikóra jellemző hagyományos építészetre, amely alapján egy területre jellemző, mini házat is terveztem, amely viszonyítási alapként szolgált a kaktuszházhoz. A két épületen felül a kaktuszházat bordák nélkül is lemodelleztem. A számítások és az épületmodellek elkészülése után az energetikai szimulációk következtek. Az ívelt formájú épületeket nem sikerült a programban alak szerint meghatározni, ezért ezek az íves formák háromszögekre és sokszögekre leegyszerűsítve kerültek. Az elkészült épületmodelleken lefuttattam a szimulációs programot, amely kedvező eredményeket mutatott a kaktusz természetes élőhelyen, és egy hidegebb éghajlati övezetben is. Egy melegebb éghajlati övezetben már rosszabbul teljesített, mint egy egyszerűbb geometriával rendelkező épület. Feltételezem, hogy az miatt, mert az épületen a bordák nemcsak árnyékoló felületként szerepelnek, hanem egyben az épület szerkezetét is képezik, ezért jelentős mértékben megnövekedett az épület felszíne, amely befolyásolhatta az eredményeket. A továbbiakban a kapott eredményeket szeretném felülvizsgálni, illetve egy olyan bordázott árnyékolórendszert létrehozni, amely ezen geometriával rendelkezik, de csak árnyékoló felületként jelenne meg az épületen, és nem lenne egybekötve az épület szerkezetével. Ezzel az épület hőleadó felszíne csökkenne, amely akár még jobb eredményeket is eredményezhet.

VII. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom Kokas Balázsnak, aki segített nekem a kaktuszbordázott épület kialakításában, jellemzőinek kitalálásában, a dolgozat megírásában, és Baranyai Bálintnak, aki segített az energetikai szimulációk elkészítésében. Továbbá köszönettel tartozom Szabó Péternek, aki segített nekem a parabola egyenletének, és az ezzel kapcsolatos számítások elkészítésében. A kutatást az Egyetemi Kutatói Ösztöndíj program; a Kulturális és Innovációs Minisztérium; és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatta.



7.1.ábra

VIII. FORRÁSOK

I.Shah, B.Soh, C. Lim, S-K. Lau, A. Ghahramani (2022): *Thermal transfer and temperature reductions from shading systems on facades: Quantifying the impacts of influential factors*, ScienceDirect, 2022-11-10

Leandro A. (2021): *Kaktuszfélék*, Alegsonline.com 2021-10-11

A.Nóvoa, J.L.Le Roux, M. Robertson, John R.U. Wilson, D.Richardson (2014): *Introduced and invasive cactus species: a global review*, Aob Plants, 2014-12-3

Kevin R.Hultine (2016): Figure 1- The Role of Botanical Gardens in the Conservation of Cactae 2016-10

M.Sanxhez : *Mammlaria Spinossisima*, Ciberactus.com

M.Ordonez y Onnis Luque, fordító M. Johnson (2018): *Mexico's Traditional Architecture is disappearing – this project is seeking to keep it alive*, archdaily.com, 2018-08-29

M.Ordonez Grajales, O.Luque (2018): *Mexico's tradicional housing is disappearing – and with it, a way of life*, archleague.org 2018-04.10

International Trade Administration (2023): *Mexico – country commercial guide, Construction*, International Trade Administration, 2023-11-04

D. Del Sol (2011): *A cactus sprouts as a new office tower in Qatar*, evolo.us, 2011-02-09
Arizona's native cactus inspires sustainable office design, the construction specifier.com, 2023-02-16

Appendix 1- *Ground temperatures*, greenhomebuilding.com

T.Rasool, S.Jamal Jalal, T.J. Katona, B.Baranyai (2024): *A cactus-inspired biomimicry shading device for office building typologies*, Resarchgate, 2024-01-22

WEBOLDALAK:

wikipédia.org

en.climate-data.org

Soil temperature maps by depth, National weather service.gov

KÉPEK:

2.2.1.1. saját ábra

2.2.2.1. saját ábra

2.2.3.1. – 2.2.3.13. wikipédia

2.2.3.14. saját ábra

2.3.1. – 2.3.4. M.Ordonez y Onnis Luque, fordító M. Johnson (2018): *Mexico's Traditional Architecture is disappearing – this project is seeking to keep it alive*, archdaily.com, 2018-08-29

4.1.1.1.. *Mammillaria Spinossisima*, Royal Botanic Gardens, Plants of the world online

4.1.1.2. – 4.1.1.3. *Mammillaria Spinossisima F. Rubripina*, giromagi.com

4.1.2.1. saját kép

4.1.2.2. saját kép

4.1.3.1. saját ábra

4.1.3.2. ábra, Szabó Péter

4.1.3.3. saját ábra

4.1.3.4. saját ábra

4.1.3.5. ábra, Szabó Péter

4.1.3.6. saját kép

4.2.1.1. saját ábra

4.2.2.1. saját ábra

4.2.2.2. saját ábra

4.2.2.3. saját ábra

4.2.2.4. saját ábra

4.3.1. saját ábra

4.3.2. saját ábra

4.4.1.1. saját ábra

4.4.1.2. saját ábra

4.4.1.3. saját ábra

4.4.2.1.1.-4.4.2.3.3. ábra, IDA ICE

4.5.1. saját ábra

7.1. nkfi.hu