Tudományos Diákköri Konferencia

Tomasovszky Péter

II. éves építészhallgató

Egyenes vonalú torzfelületek építészeti alkalmazása

Konzulens:

dr. Szoboszlai Mihály

egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építészeti Ábrázolás Tanszék

2013

Tartalom

Bevezetés

A formavilág mérték nélküli sokszínűségét fedezhetjük fel korunk építészetében. A szakmán belüli vizsgálódásaink során rendszeresen olyan felületekkel találkozunk terveknél vagy akár megvalósult alkotásoknál, melyek egészen hihetetlennek, újszerűnek, de mégis teljesnek tűnnek. Ezt a hatást sokszor teljesen organikusan, szinte szabálytalanul görbült felületekkel érik el. Azonban ha tüzetesebb vizsgálat alá vesszük őket, azt vehetjük észre, hogy rendszerint komoly geometriai szabályok alkalmazásával válnak e formák eredetivé.

A dolgozatban olyan felületekkel szeretnék foglalkozni, melyek építészeti alkalmazásukat tekintve értelmezhetővé és használhatóvá válhatnak a jövő építészei számára. Elsősorban az egyenes alkotókból álló úgynevezett torzfelületekre szeretném kiterjeszteni vizsgálódásomat. Olyan származtatási módszereket, felületképzési eljárásokat szeretnék bemutatni, melyek egy építész számára érthetőek és alkalmazhatóak a tervezésben. Foglalkozni fogok olyan másodrendű, azaz görbült felületekkel, melyek egymáshoz érintőlegesen csatlakoznak folytonos felületátmenetet képezve.

A kortárs építészek, mint például Zaha Hadid, Santiago Calatrava és Frank O. Gehry előszeretettel használnak újszerű, futurisztikus, mondhatni egyre elegánsabb formákat, melyeket gyakran vasbeton vagy fém anyagú görbült héjfelületek alkalmazásával érik el. Ezek az épületek rendszerint formatervezési remekművek, melyek komoly matematikai háttérrel rendelkeznek. Ahhoz azonban, hogy szakmailag megértsük az ő épületeiket elengedhetetlen ismernünk a felületek geometriáját, sőt saját tervezési gyakorlatunkban is tisztában kell lennünk a lehetőségekkel, hogy egy-egy forma hogyan fogható meg az általunk ismert felülettípusok eszközrendszerével. A különböző görbe felületek bátor alkalmazásával színesebb tervezőkké válhatunk, gazdagíthatjuk építészeti formavilágunkat.

A képi illusztráción a híres építész Zaha Hadid alkotása látható. Úgy gondolom, ez az épület talán a legnagyszerűbb példája a görbe felületek építészetben való megnyilvánulásának. Építész és laikus szemmel sem mondhatjuk, hogy e forma túlságosan merész vagy öncélú lenne, ha ránézünk valahogy a természetes szépség árad belőle. Én is ezt a hatást szeretném elérni formaképzési kísérleteimmel a talán nem túl közkedvelt, nevük által is megbélyegzett torzfelületekkel.

Korábbi korok példái

Az építészetben mindig is felmerült az igény a változatos megjelenésre, a sokszínű formavilág minden kultúrának alapvető jellemzője. A történeti építészetben is leginkább a határozott formák, ívek különféle geometriája tette az egyes korstílusokat oly jellegzetessé. Az íves elemek azonban nemcsak ez okból váltak elterjedtté, hanem sokszor statikai működésük vagy funkcionális szerepük indokolta alkalmazásukat.

A boltövek síkban görbült geometriával rendelkeznek, a kupolák pedig már térben görbült elemek. Mindkettő forma elhelyezésénél fontos, hogy a hozzájuk csatlakozó szerkezettel harmóniában legyenek, például egy ablak megtervezésénél célszerű az ablak oldalfalait és az áthidaló geometriát - legyen az félkör vagy akár szamárhátív - úgy megkomponálni, hogy azok csatlakozási pontjában az érintő megegyezzen, vagyis szépen egyikbe simuljon a másik. Ez azért is előnyös, mert így az áthidaló szerkezet a terheket érintő irányban, általában függőlegesen fogja közvetíteni a vállfalra. A falban csak nyomás ébred, ami egy húzást felvenni nem képes kő - vagy téglafalban, esetleg pillérben igen kedvező. A kupolák kialakításánál ugyanez a helyzet, csak térben: gömbsüveg és henger érintőlegesen csatlakozik. Az afrikai Kamerun lakosai sem véletlenül használják házépítésre a paraboloid formát. Nem lévén fa azon a területen, építőanyagul csak az agyag vagy inkább csak a sár szolgál. Ez az anyag szintén csak nyomást tud felvenni, ennek következtében olyan módon kell kialakítani a formát, mely az építőanyag tulajdonságainak a leginkább megfelelő. A matematikai számítások már bizonyították, hogy erre a legalkalmasabb forma a forgási paraboloid, mert itt az egy agyagelemre jutó önsúlyterhek mindig érintőirányban hatnak, így nem keletkezik húzófeszültség az adott keresztmetszetben. Az ottani őslakosság ezt valószínűleg nem tudja, de a tapasztalat alapján ügyesen rájöttek, hogy ez a forma házépítés szempontjából igen kedvező.

A forma azonban nemcsak pusztán a funkciót követi, az emberi lelkivilághoz is közelebb áll egy görbült térlefedés. A szakrális építészetben is általában az égbolthatást próbálták valamilyen gömbsüveggel megközelíteni. A dolgozatomban kicsit bonyolultabb felületekkel igyekszem majd ugyanezt az ősrégi igényt kielégíteni.

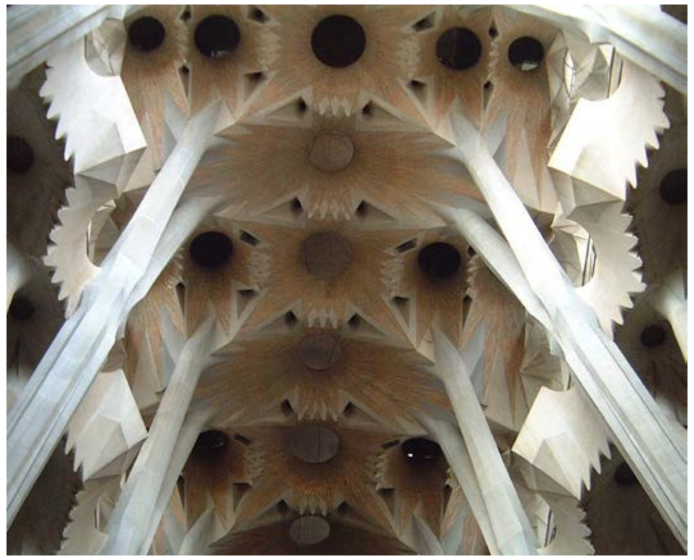
Építészeti példák torzfelületek alkalmazására

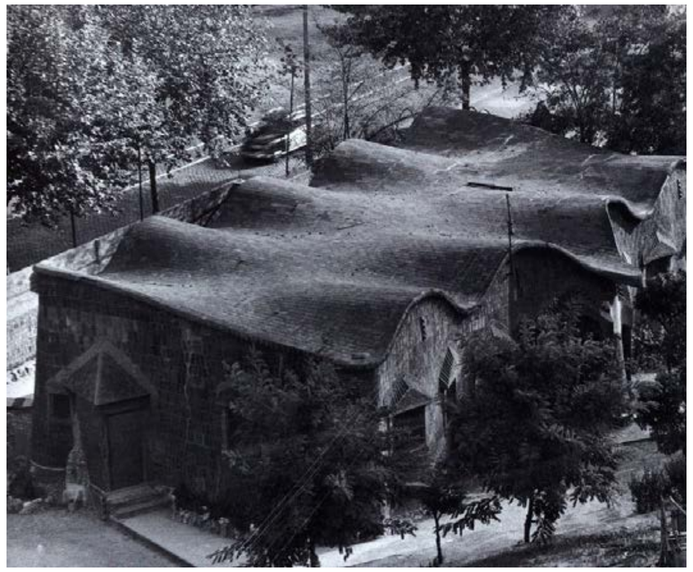
Összegyűjtöttem néhány tervet, megvalósult épületet, melyeket torzfelületek alkotnak. A torzfelületek egyenesekből állnak, ám mégis görbének látszanak, részletes geometriai tulajdonságait a későbbi fejezetekben tárgyalom.

Antonio Gaudí a nagy barcelonai mester előszeretettel alkalmazott organikus szobrai mellett torzfelületeket, ilyen példa a Sagrada Família hiperboloidok sokaságából összeszövődött mennyezete vagy a kis konoidokkal lefedett elő épülete. Santiago Calatrava szinte teljes eddigi alkotói munkássága során az egyenesekből álló görbe felületekkel foglalkozott. Mario Botta pedig talán a lehető legészrevehetetlenebb gesztussal téglából falaz torzfelületet a Cymbalista Synagogue nevezetű régies hatású épületében. Felix Candela munkáiban erőteljesen, szinte direkt módon jelennek meg a nyeregfelület különböző lélegzetelállító változatai.

A princetoni építészkar tevékenységét nézegetve észrevettem, hogy ott sokkal hangsúlyosabb a torzfelületek gyakorlati alkalmazása, gondoltam én is utána járok, hogyan lehet ezeket a felületeket építészeti szemszögből kreatívan megfogni. Az eddigi alkalmazási területek és eredmények torzfelületekkel kapcsolatban még abszolút nem érték el teljességüket. A torzfelületek egymáshoz való illesztése, összekapcsolásai további izgalmas kombinációkat eredményezhetnek, ezek megalkotása, szerkesztéseinek módszerei további konstruktív geometriai problémákat vetnek fel.



Görbe felületek tulajdonságai, osztályozása

A felületeket szükséges több szempontból jellemeznünk. Léteznek egyszeresen és többszörösen görbült felületek, én most ez utóbbi kategóriával szeretnék részletesebben foglalkozni. Az, hogy egy felület többszörösen görbült, tulajdonképpen azt jelenti, hogy a tér több irányában is ívelt.

Jellemezhetjük a felületi pontok tulajdonságai alapján is őket. A felületeken három féle ponttípust különböztetünk meg: parabolikus, hiperbolikus és elliptikus pontokat. Ezt a felosztást a pontbeli érintősík és a felület kapcsolata alapján határozzuk meg. A tórusz ilyen szempontból különleges felület, mert rajta mindhárom ponttípus megtalálható.

Mielőtt definiálnám a fenti fogalmakat, az érintősíkról ejtenék pár szót. Egy felületet általában végtelen számú síkgörbe alkot. Ha vesszük egy tetszőleges síkmetszetét a vizsgált felületnek, akkor ebben a síkban lévő görbének adott pontbeli érintői magának a felületnek is az érintői lesznek, így megállapítható, hogy egy pontban az érintősíkot egyértelműen meghatározza a ponton átmenő bármely két síkgörbe adott pontbeli érintője. A síkot ezek az érintők feszítik ki. Azokat a pontokat, ahol az érintési sík egyértelműen meghatározott reguláris pontoknak hívjuk, ellenkező esetben (például egy kúp csúcspontjában) szinguláris pontnak.

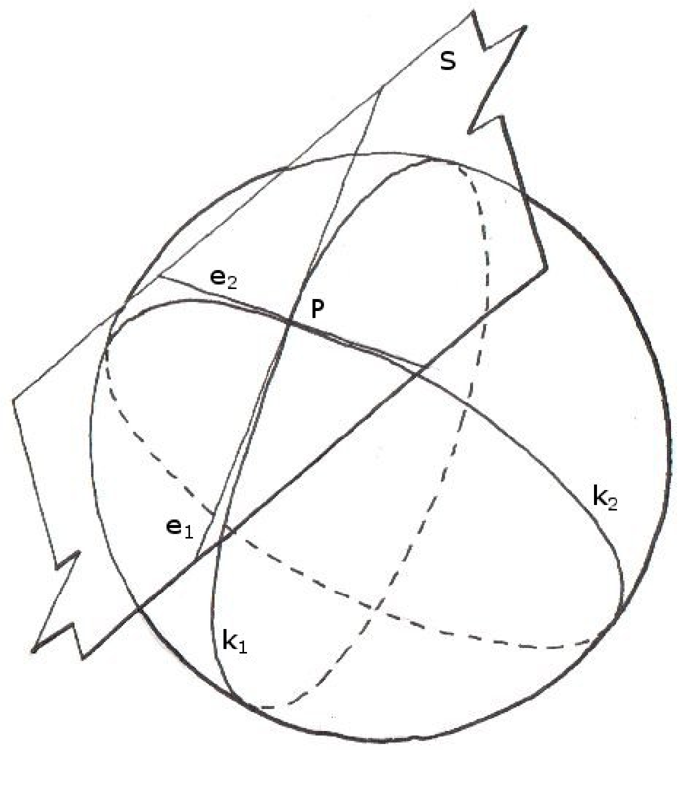
A felület egy pontját elliptikusnak nevezzük, ha az adott pontban az érintősík kizárólag egy pontban érinti meg a felületet. Az *1. ábrán* egy gömb tetszőleges P pontján szemléltettem a ponton átmenő k_1 és k_2 körmetszeteket, majd ezek e_1 és e_2 érintőit. A két érintő által meghatározott sík az S érintősík.

Hiperbolikusnak nevezzük a pontot, ha a felületbe belemetsz az érintősík, az áthatási görbe ekkor két síkgörbéje a felületnek. Az egyköpenyű hiperboloid csupa hiperbolikus pontokat tartalmaz *(2. ábra)*. A P pontban egymást metsző a és b, két ellentétes seregbeli alkotó az S érintősíkot feszítik ki. A P ponton átmenő összes felületet alkotó görbe érintője az S sík egyik egyenese, így a k torokköré is.

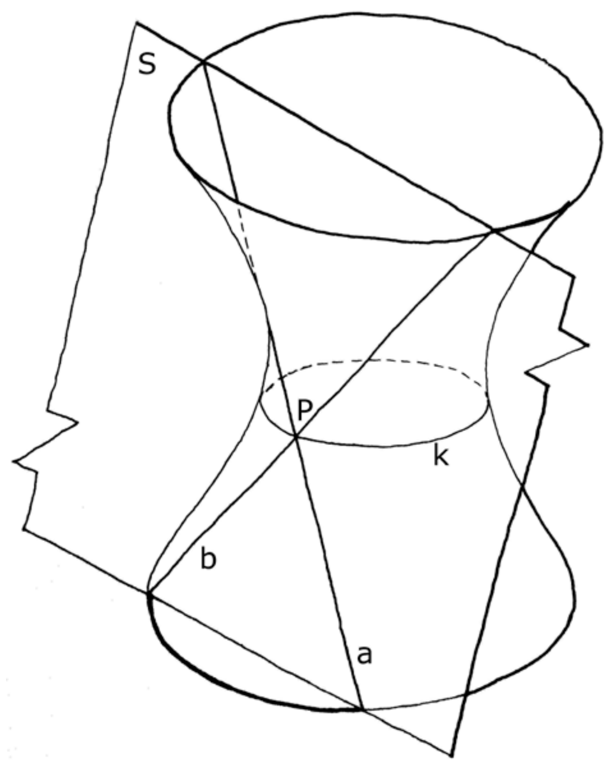
Minden egyéb esetben parabolikus pontnak hívjuk a felületi pontot. A parabolikus pontok jellemzője hogy a felület egy görbéjét végigérinti az érintősík.

A csupa elliptikus pontokat tartalmazó felületek gömbölydedek, viszont a hiperbolikus pontokat tartalmazóak már nem olyan feltétlenül kellemesen görbültek, de előnyös tulajdonságuk az, hogy állhatnak egyenesekből is. A torzfelületek nagy része hiperbolikus pontokat tartalmaz.

Ahogy az algebrai síkgörbék is rendelkeznek rendszámmal, úgy a felületek is. Az algebrai görbék olyan görbék, melyek koordináta rendszerben valamilyen n-ed fokú polinom által függvényként felírhatóak. Ezek alkalmazása a gyakorlatban a statikai számításoknál előnyös. Az algebrai síkgörbéknek rendszámán a síkjukban fekvő egyenes és a görbe közös pontjainak számát értjük. Felület rendszámán pedig egy egyenes döféspontjainak számát értjük a felületen. Bizonyítható, hogy három algebrai görbével megadott algebrai torzfelület rendszáma a görbék rendszámai szorzatának kétszerese. Ez azért fontos, mert így következtethetünk magukból a vezérgörbékből a felület milyenségére, többnyire arra, hogy mennyire „hullámos”.



1. ábra - gömb érintősíkja



2. ábra – hiperboloid érintősíkja

Torzfelületekről általában

Ábrázoló geometria tanulmányaim során felfigyeltem egy érdekes állításra: „A ki nem fejthető egyenes vonalú felületeket torzfelületeknek nevezzük. A „torz" név a torzió= elcsavarodás szóból ered, nem a felület alakjának esztétikai bírálata."[1] Úgy vélem rendkívül elgondolkodtató ez az állítás. A szerzők fontosnak tartották a határozott leszögezést, hogy a leendő építészek ne tartsák esztétikailag kedvezőtlennek a torzfelületek alkalmazását. Ez a tévhit, hogy ezek a típusú felületek tényleg nem szemet gyönyörködtetőek most is fellelhető a közgondolkodásban, eleinte én is furcsállottam építészeti alkalmazásukat, megkérdőjeleztem a formaképzésben betöltött esztétikai szerepüket. Azonban rá kellett döbbennem, hogy a szépség nem a geometriai tulajdonságoktól függ, hanem az értelmes és kreatív megformálástól, attól, amit az ember ad hozzá. Sokkal érzékenyebben kell ezeket a bonyolult, a tér több irányába görbült felületeket kezelni, mint a síkokat, esetleg kúpokat, hengereket, nagyobb szakértelmet, geometriai tudást igényelnek a tervezés során. Az, hogy esztétikailag hogyan hatnak, az már nagyban függ attól, hogy a készítő milyen szintű tudatossággal formálta azt meg. Nagyon kedvező, ha ezt az irányú tudást egy építész jól kézben tudja tartani, hiszen az építészeti gazdagság egy magasabb fokára tud lépni. A számítógépes CAD programok jó néhánya ismeri az általánosabb görbült felületeket, így a torzfelületek kreatív megformálásának lehetősége adott a számítógépes tervezésben is. A torzfelületek számos fajtáját ismerhetjük: konoid, nyeregfelület, forgási hiperboloid, melyek speciális esetek. Most az általános esetekkel folytatom az elemzést.

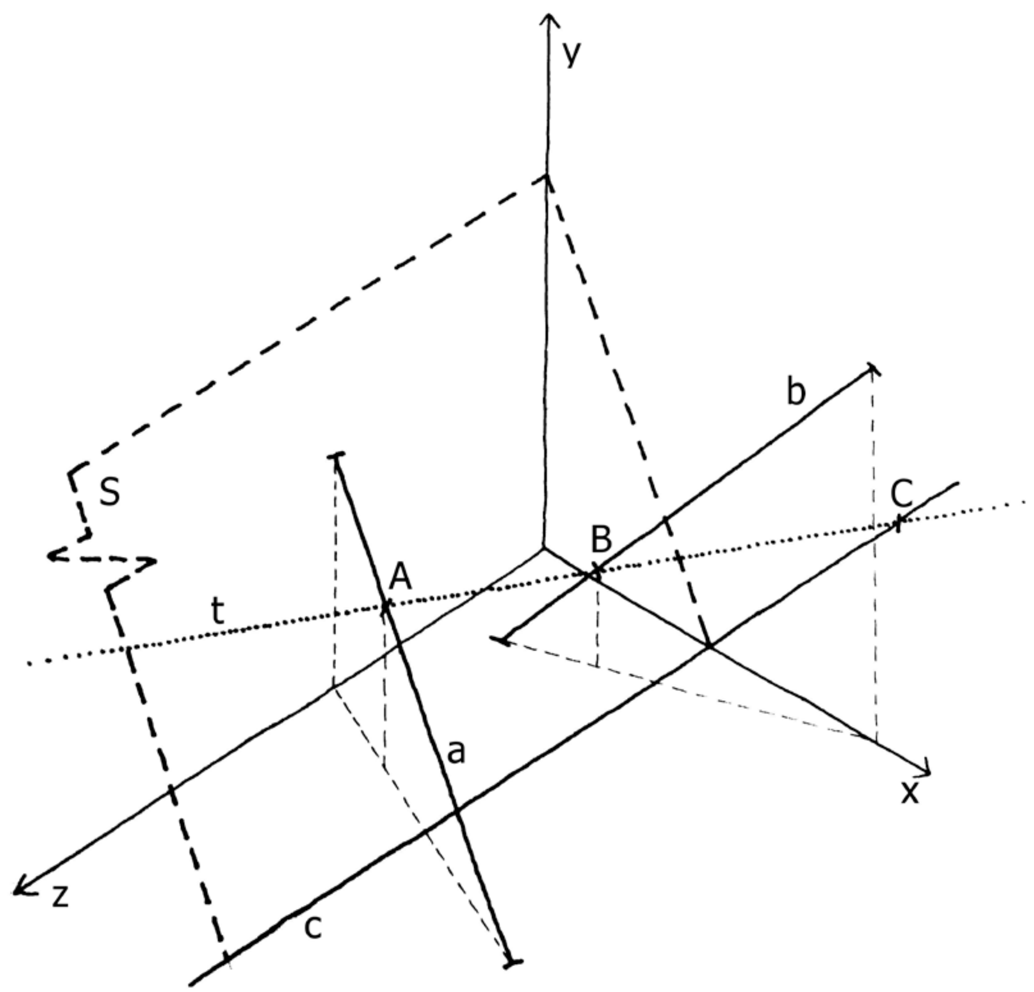
Általános torzfelület

A legáltalánosabb torzfelületet három algebrai vezérgörbe transzverzálisai alkotják. A transzverzális olyan egyenes, ami kettő vagy több görbét összeköt. Egy egyenes adott *P* pontjából egy másik tőle kitérő helyzetű (nem párhuzamos és nem metsző) egyeneshez végtelen számú transzverzális húzható, így az egyenes összes végtelen pontjából a másik egyenes végtelen számú pontjához húzott egyenesek száma végtelenszer végtelen. Ezek az egyenesek tulajdonképpen nem alkotnak felületet, hanem a teret feszítik ki (felületek összessége, ami tömör testet eredményez). Három görbe összes transzverzálisainak száma már csak végtelen lehet, hiszen az egyik görbe minden egyes pontjához csak egyetlen transzverzális rendelhető. Minden felület, mely alkotókból áll, egyértelműen megadható három vezérgörbe transzverzálisaként, függetlenül attól, hogy torz vagy nem, azaz síkba teríthető- e vagy nem. A síkba teríthetőség egy speciális tulajdonság és a gyakorlatban ez nagy előnyt jelent. Modellezés és kivitelezés szempontjából sík papírlapból vagy fémlemezből mindegyik ilyen felület kihajtogatható. A torzfelületekkel ugyanezt nem tehetjük meg, a szemléltetést az őket alkotó egyenesekkel, vagy akár egyes hiperbola parabola ellipszis metszeteivel érhetjük el. Sőt az is teljesen elképzelhető, hogy a szemléltetéshez térgörbéket használunk (például egy másik felülettel alkotott áthatási térgörbéket). Műszaki szempontból is eltérő tulajdonságúak a kifejthető és a nem kifejthető egyenes alkotókból álló torzfelületek. Számos erőhatásnak jobban ellenállnak a nem kifejthető felületek. Például egy hengeralkotókból álló építményt az elcsavaródás miatt külön meg kell erősíteni, hiszen a henger tengelyével az összes felületet alkotó egyenes párhuzamos, így e tengely körül az építmény könnyen elfordulhat. Egy nyeregfelület esetében ugyanez nem áll fenn, így ez stabilabbnak tekinthető.

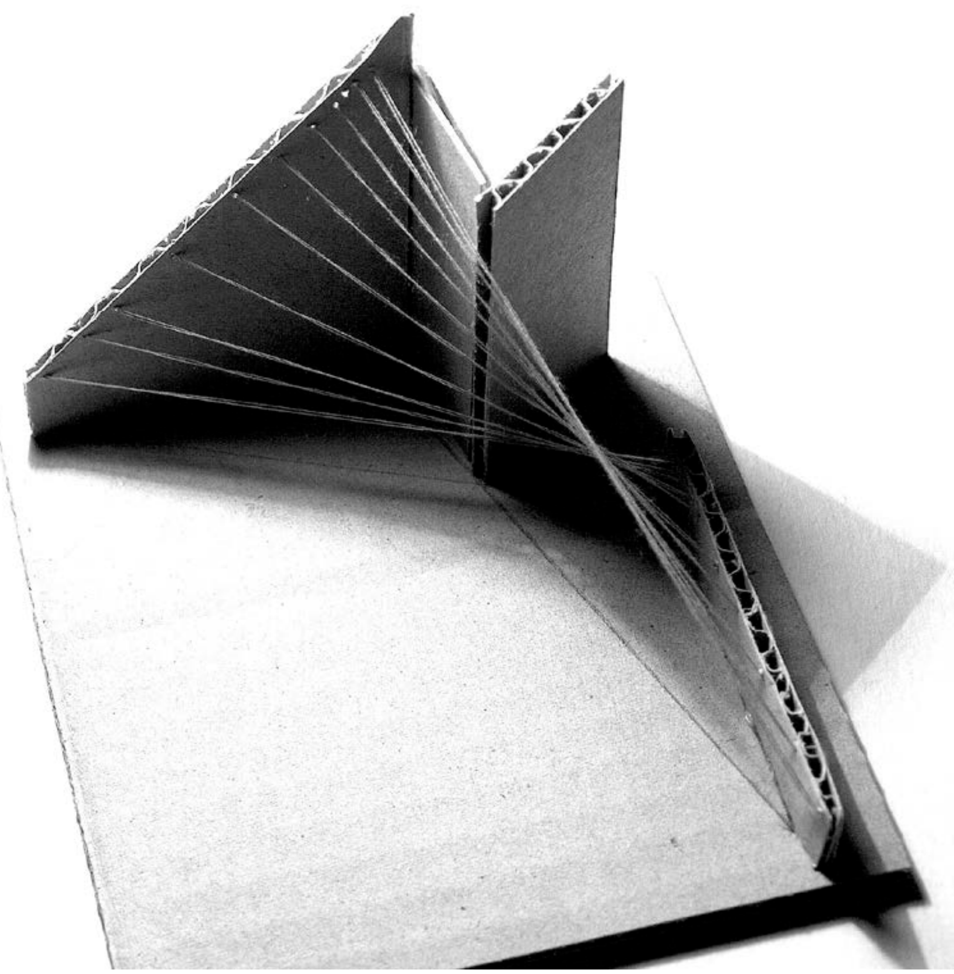
A felületek ez irányú megközelítésével, vezérgörbékből való származtatásával újabb általánosabb felülettípusok alakíthatóak ki, melyek persze nem biztos, hogy alkalmazásukat tekintve olyan előnyös tulajdonságúak lesznek, azonban gazdagíthatják látókörünket az építészeti szerkezetek vagy akár az építészeti részletképzés geometriája terén is. Az is előfordulhat, hogy pont egy másfajta származtatási módszer vezet rá egy újabb fajta megformálásra, holott új felületet nem is fedeztünk fel. A felület milyensége a vezérgörbék bonyolultságától és egymáshoz viszonyított helyzetétől függ. Például két egymással párhuzamos síkban lévő kör és egy a középpontjaikon átmenő egyenes kúpot eredményez. Ha csak a vezérgörbék helyzetét variáljuk, a térben létrehozhatunk konoidot vagy akár hiperboloidot is.

Három egyenes transzverzálisai

Egy nyeregfelület esetében a felület vezérgörbéje három egyenes. A felületet azok az elemek alkotják, amelyek mindhárom meghatározó paraméternek, vezéregyenesnek részei. Pontosabban, a hiperbolikus paraboloid esetében a három görbe három páronként kitérő egyenes, amelyikből az egyik végtelen távoli, egy tetszőleges felületalkotó pedig csak olyan egyenes lehet, amely a két végesben lévő egyenes transzverzálisa, és a végtelen távoli egyenes egyik síkjában benne van. A tetszőlegesen kiválasztott alkotó a három egyenes egy transzverzálisa. Ha mindhárom egyenes a végesben található, akkor ezek összes transzverzálisa hiperbolikus hiperboloidot alkot. (Ennek bizonyításával most nem foglalkozom.) A *3. ábrán* három egyenes transzverzálisának szerkesztési elvét mutatom be. Az *a b c* egyenesek páronként kitérőek. Felvettem egy, a *c* egyenesen átmenő tetszőleges *S* síkot, ennek a síknak az *a* és a *b* egyenesekkel alkotott döféspontjai rendre *A* és *B* döféspontok. Ezen pontok összekötésével a *c* egyenesen lévő *C* pontot kaphatjuk meg, így az *A B C* pontokra illeszkedő egyenes a három kitérő egyenes egy transzverzálisa lesz. A metszősík *c* egyenes körüli elforgatásával még több transzverzális szerkeszthető, melyek összessége torzfelületet alkot. A *4. ábrán* egy saját készítésű modellen keresztül szemléltetem az egyköpenyű hiperboloid ilyen irányú származtatását.



3. ábra - három egyenes transzverzálisának szerkesztése, vázlatosan



4. ábra - három egyenes transzverzálisai: egyköpenyű hiperboloidot alkotnak

A torzfelületek alkalmazásának lehetőségei

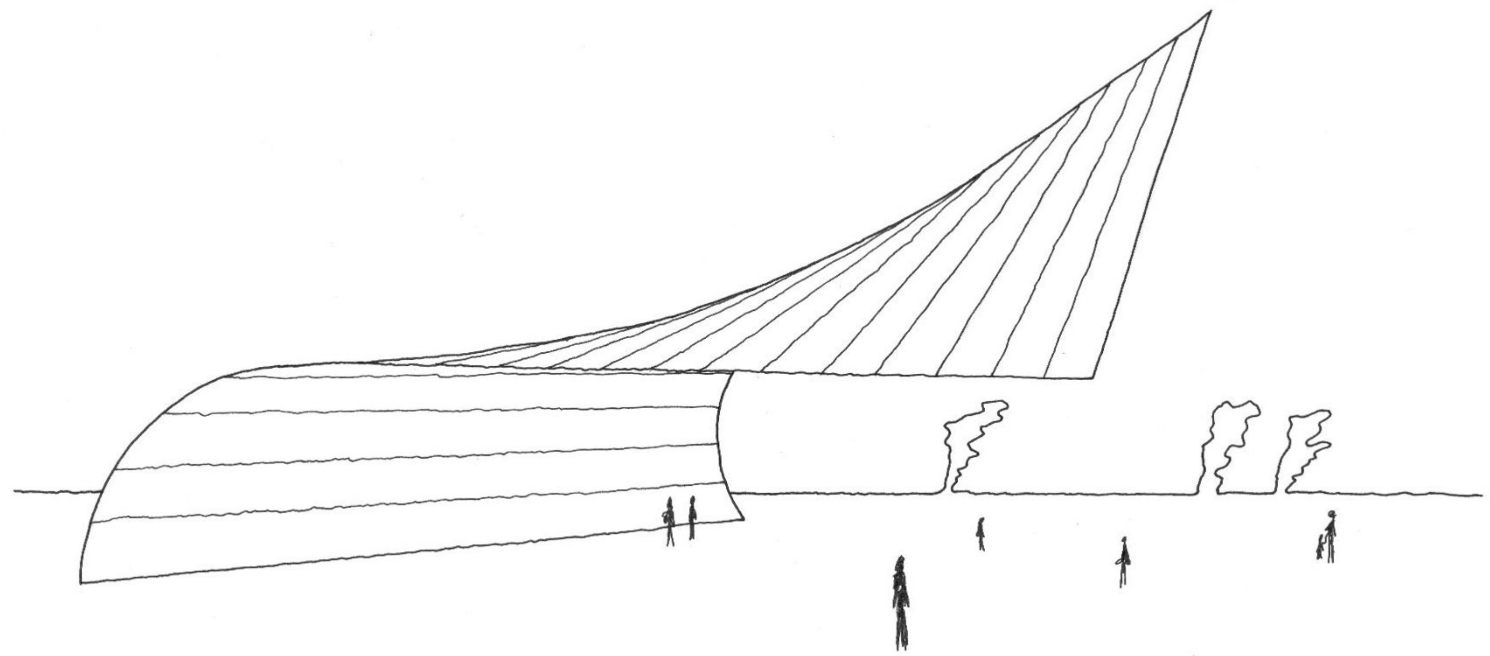
Az eddigiekben ismertettem a problémakört, aminek egy kis részét szeretném körbejárni. Sok mindenkihez hasonlóan én is megismerhettem a felületek geometriájának sokszínűségét, melynek alapos vizsgálata nem célom, csupán a számomra fontos és érdekesnek tartott momentumokat szeretném a dolgozatban ismertetni.

Olyan példákat fogok felhozni a torzfelületek alkalmazására, melyek minden reményem szerint bebizonyítják, hogy az építészek számára abszolút nem elvetendő az ilyen típusú felületek alkalmazása. Igyekszem minél szemléletesebben bemutatni ezeket a példákat, melyeket nagy részben én találtam ki, vagy továbbgondoltam valamely alkalmazási módszert.

A felületek ábrázolása során törekszem a geometriai tulajdonságok minél szemléletesebb visszaadására, ezért választottam sok helyen a szabadkézi rajzos technikát, enyhe tónussal hogy a felületek görbeségét térben lehessen érzékelni. Az általam bemutatott felületeket elsősorban építészeti megformálásra terveztem, de a rajzok célja nem a szerkezeti vastagságok hiteles ábrázolása vagy konkrét épületekben való megjelenítése, mert nem szeretném elvonni a figyelmet a geometriáról.

A legáltalánosabb torzfelületekről, ezeknek térbeli megjelenítéséről fogok mutatni példákat. Készítettem rajzokat transzverzálisokból álló felületekről, a vezérgörbék helyzetének variálásával.

A felületek változatos megjelenésének nagy mozgatórugója lehet, ha az általunk alkalmazandó felületeket egymás mellé tudjuk illeszteni, hiszen így egy komplett, többé-kevésbé bonyolult formavilágot tudunk létrehozni. Az egymás mellé illesztés akkor igazán esztétikus, ha ezek a felületek érintőlegesen csatlakoznak. Ez a témakör igen megragadott, úgyhogy be fogom mutatni és be is fogom geometriai módszerekkel bizonyítani, hogy hogyan lehetséges torzfelület torzfelülettel és nem torzfelülettel történő egybesimuló csatlakozása. A képi illusztráció erre mutat előre.

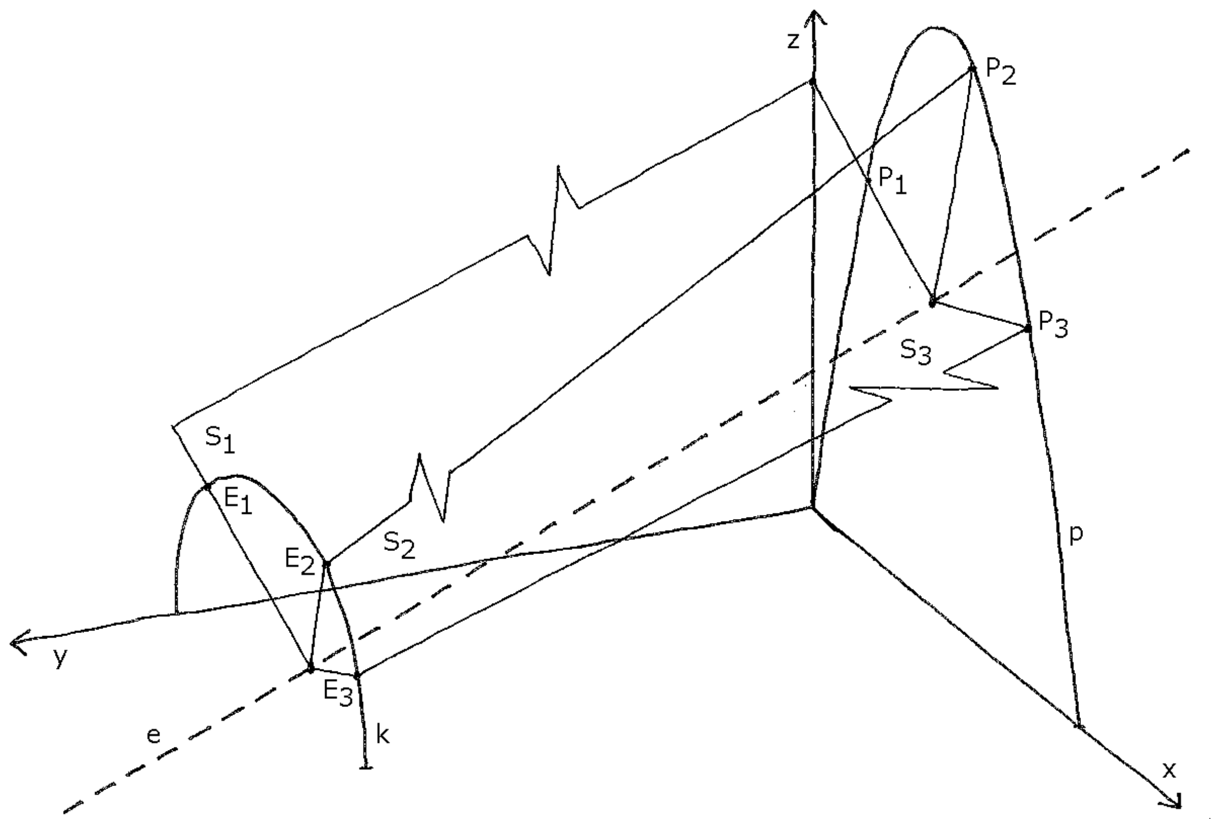


Három vezérgörbe transzverzálisaival alkotott felületek

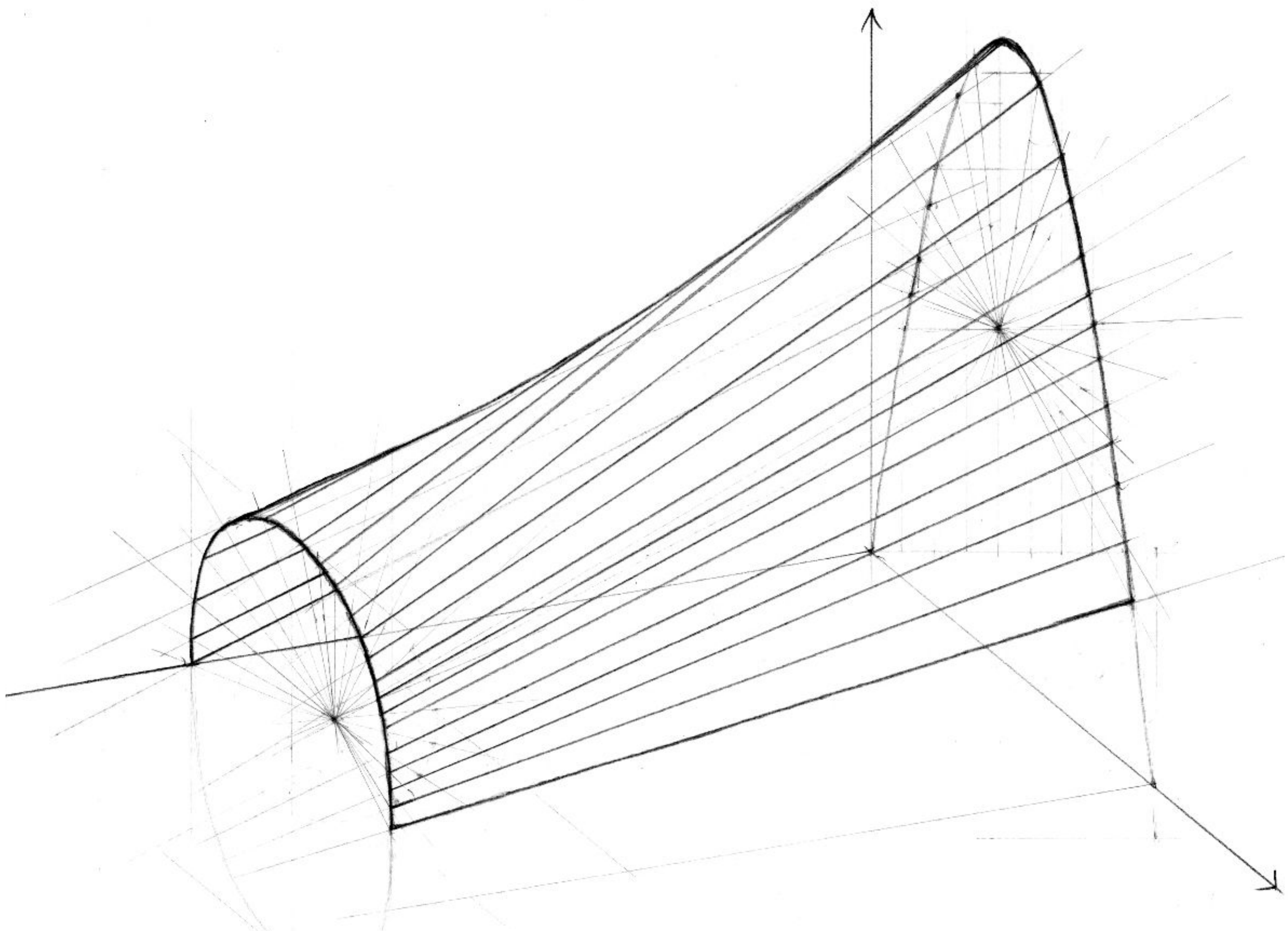
Ebben a fejezetben bemutatom, hogyan lehet egyszerűen általános torzfelületet szerkeszteni, példákkal szemléltetem e formák geometriáját.

Ha az egyik vezérgörbét egyenesnek választjuk, akkor tudjuk, hogy csak olyan egyenes lehet a görbe transzverzálisa, ami benne van a vezéregyenes egy síkjában. A vezéregyenesre végtelen számú úgynevezett sorozósík illeszthető, melyeknek a további vezérgörbékkel alkotott metszéspontjai határozzák meg a transzverzálisunkat. A sorozósíkok közös egyenesét síksornak hívjuk, ezt a fogalmat még fogom használni.

Az *5. ábrán* szabad axonometriában szemléltetem szaggatott egyenessel az *e* síksort. Az *e* egyenesre illesztett S_1 S_2 S_3 szeletelő síkok a parabola- és körívből (*p* és *k* függőleges síkú ívek) rendre a P_1 P_2 P_3 és E_1 E_2 E_3 pontokat metszik ki. Az *E* és *P* pontokat összekötő transzverzális adja a felületalkotót. A *6. ábrán* szerkesztéssel ábrázoltam az így keletkezett általános torzfelületet.



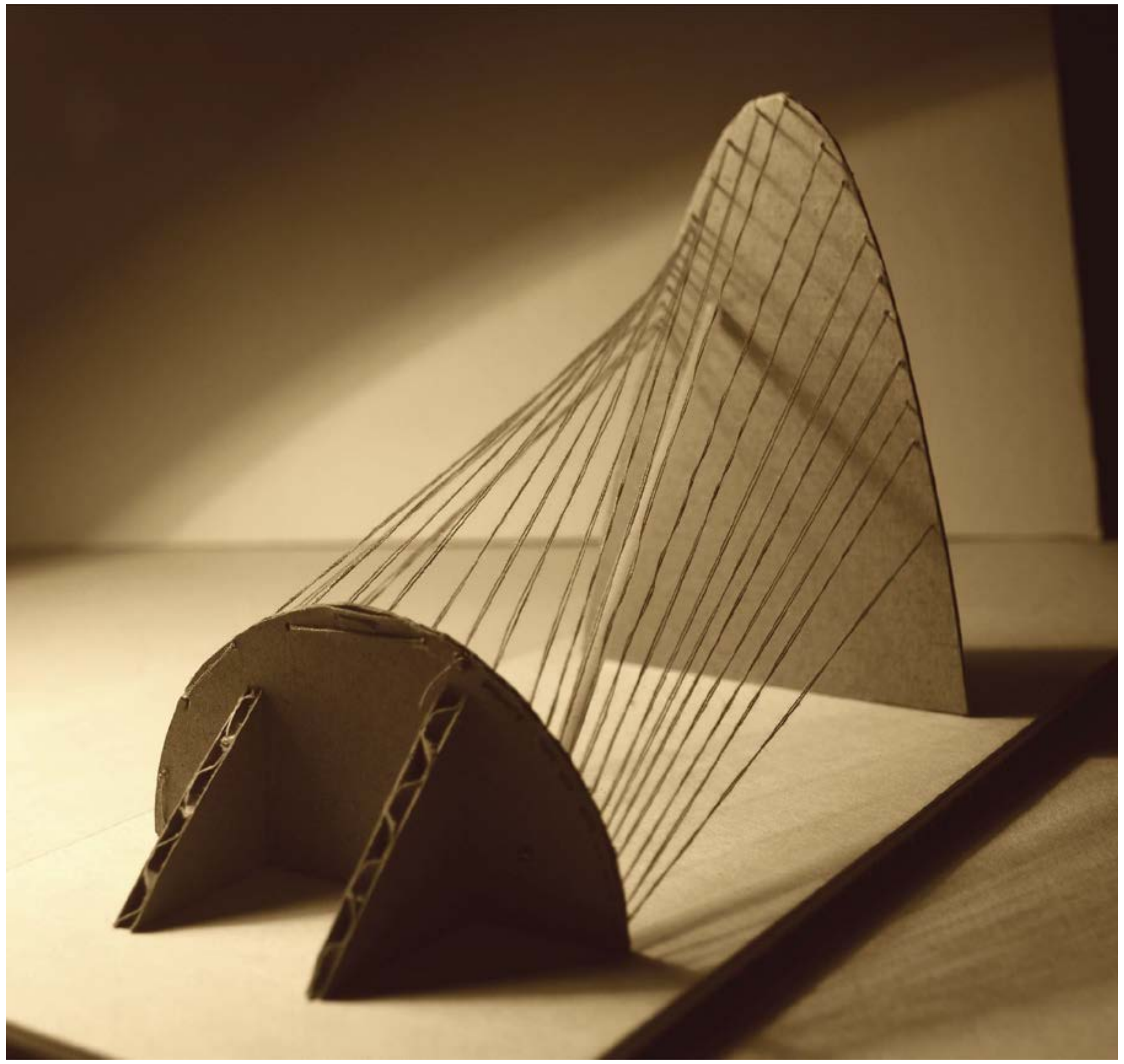
5. ábra – egyenesre illesztett szeletelő síkok



6. ábra - kör és parabola vezérgörbéjű torzfelület

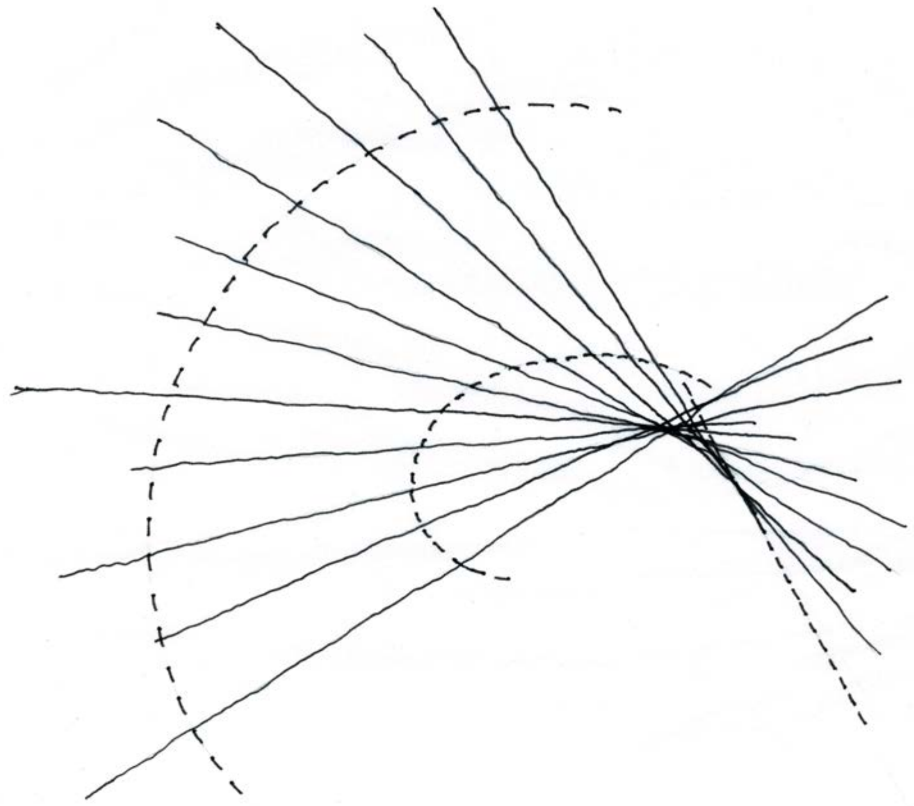
Az előbbiek illusztrálására készítettem egy modellt. Az *7. ábrán* egy parabola és egy kör vezérgörbéjű felületet építettem meg. Egy általános egyenest használtam síksorként, amire illesztett sorozósíkok vezérgörbékből az alkotókat kimetszik. Látszik a felületen, hogy több irányba görbül, mint egy szabályosabb konoid.

A torzfelületek közé sorolható a konoid. Három adattal jellemezhetjük ezt a felülettípust: a vezéregyenesükkel, a vezérgörbéjükkel, és az iránysíkúkkal. Ismertebb fajtája a speciális egyenes körkonoid. A körkonoid vezéregyenese, vezérköre is merőleges a párhuzamos síkokból álló iránysíkokra, ráadásul teljesen szimmetrikus. Mario Botta ilyen körkonoidot használt az 5. oldalon említett épületében. Azonban nem csak ilyen merev szabályokhoz kötött konoidok léteznek, a felület származtatási elemei lehetnek általánosabbak és talán ízlés szerint jobban variálhatóak. Így számtalan féle felület készíthető, sőt ha lazábban kezeljük a konoidok fogalmát, akkor azt is mondhatjuk, hogy tulajdonképpen a vezéregyenesnek nem is feltétlenül muszáj egyenesnek lennie, lehet kúpszelet is, vagy az iránysík végtelen távoli egyenese lehet a végesben is. Sőt a görbéket kicserélhetjük felületre is, például kör helyett gömbre, pontosabban olyan térgörbére, mely illeszkedik egy gömbre.

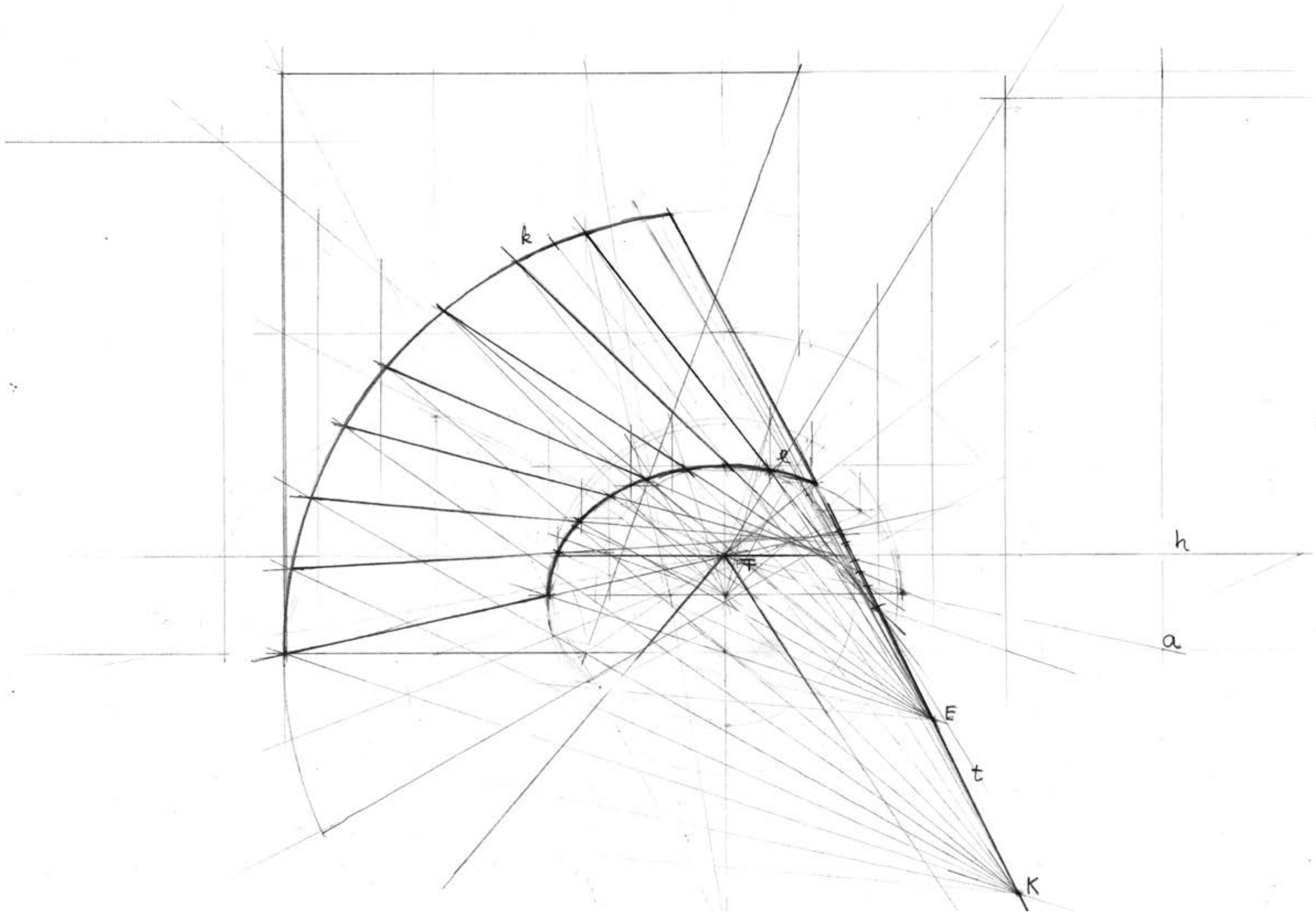


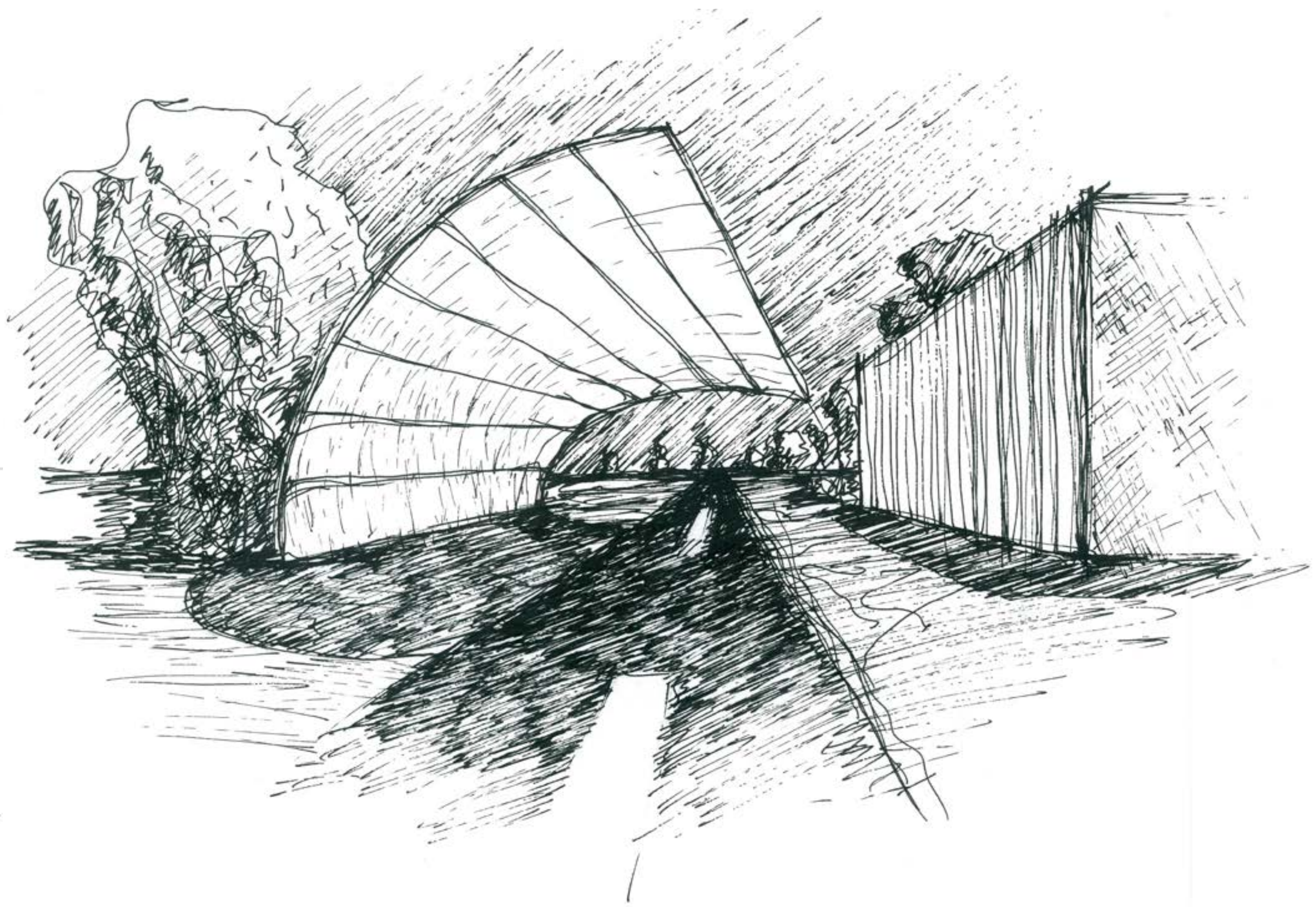
7. ábra - kör és parabola vezérgörbe, továbbá a szeletelő síkok közös egyenese.

Még egy ilyen konoid szerű felületet szeretnék bemutatni. A jobb felső sarokban szaggatott vonallal jelöltem a három vezérgörbét. Az egyik egy körív, melynek síkja a képsíkkal párhuzamos, a másik egy ugyanilyen helyzetű ellipszisív. A harmadik paraméter pedig egy térben általános helyzetű vezéregyenes. A lenti perspektivikus szerkesztésen mindez szemléletesebben kirajzolódik, itt már kiemeltem a felület ívek közé eső részét, ezt tekintettem alkalmasnak ebben az esetben a felületformálásra. A jobb alsó tusrajzon próbáltam építészetileg igényes módon ábrázolni és környezetbe illeszteni a kreált formát.



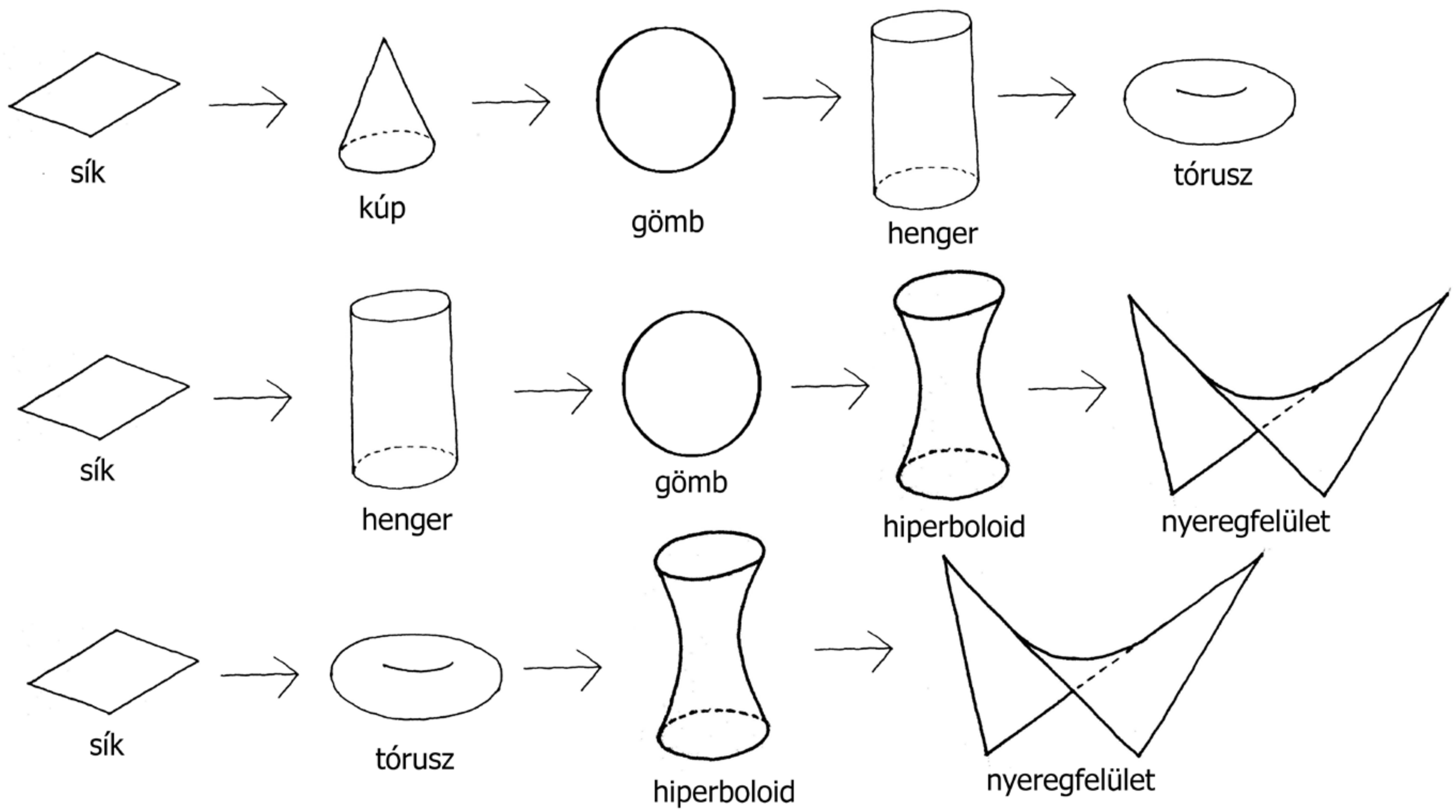
Egy vidéki buszmegállónak képzelem el ezt az építményt. Megszületett egy építészeti koncepció. A forma volt az alapvető meghatározó tényező, de korántsem egyeduralkodó szerepet töltött be a tervezésben: a funkcionális és az esztétikai igényeket is figyelembe vettem a rajzolás során.





Az érintőleges csatlakozás felületalkotó mentén

Azzal a módszerrel próbálkozom, hogy egy adott felület alkotóját kiválasztom, és ehhez kapcsolok érintőlegesen egy másik felületet, melynek szintén egy felületalkotója lesz a csatlakozási görbe. Az így keletkezett felület teljesen folytonos lesz, ha az érintősík az alkotó mentén ugyanaz. Ez könnyű és gyakran alkalmazandó módszer az egyszerűbb felületek csatlakozásánál (például egy sík és egy henger csatlakozása), bonyolultabb felületek esetében viszont már nem teljesen egyértelmű, hogy lehetséges ez a fajta össze-érintés. A felületátmenetek készítése az építészeti megformálás szerves részét képezhetik. Az *8. ábrán* a legegyszerűbb felületből, a síkból kiindulva mutatom be, hogy két felület hogyan tud alkotó mentén (ebben az értelemben az alkotó lehet görbe is) érintkezni. Ezen felületeket, ha megfelelő sorrendben (mint ahogy az ábra is felvázol három lehetséges variációt) összeérintjük a teljes keletkezett felület lesz folytonos. Ha adott egy sík és folytonos átmenetet akarunk képezni egy bonyolultabb másodrendű torzfelülethez, akkor ezt az ábra szerint meg is tehetjük. Erre később példát is fogok felhozni. A forgásfelületek paralelkörök mentén történő csatlakozása viszonylag egyszerűen belátható, a bonyolultabb esetekre pedig a következőkben fogok kitérni.



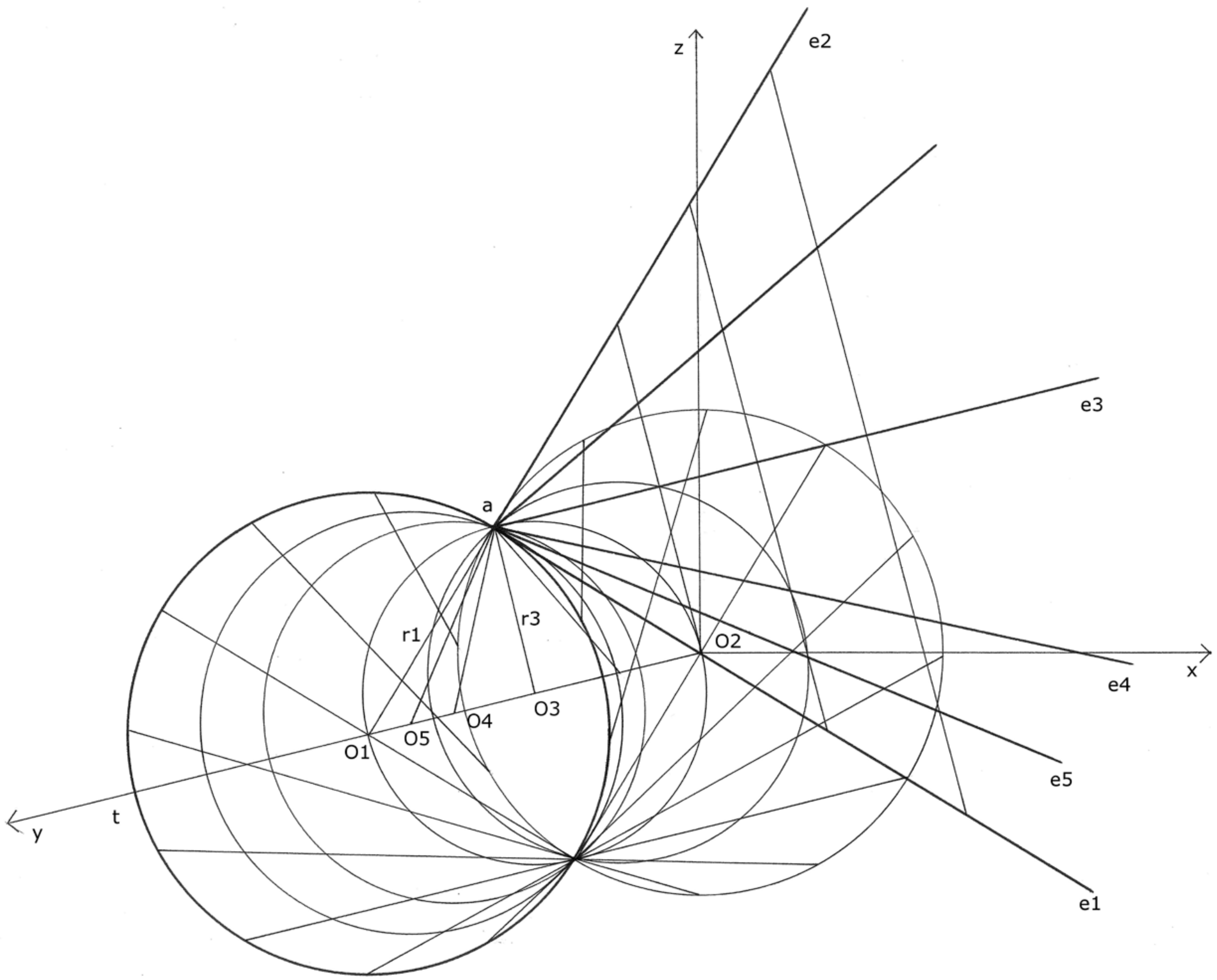
8. ábra – felületek folytonos csatlakozása

A hiperbolikus hiperboloid és a hiperbolikus paraboloid érintőleges csatlakozása

A fent említett két típus kétszeresen görbült, másodrendű felület. Azért különlegesek, mert alkotókból, pontosabban egyenesekből állnak, ám mégis csupa hiperbolikus pontokat tartalmaznak, azaz a befogadó görbének érzi. Hiperbolikusak a pontjaik, mert minden végesben lévő felületi pontban az érintősík belemetsz a felületbe, valamilyen felületi görbe mentén, jelen esetben alkotókban metszi a felületet, hiszen ezekből is származtattuk őket. Továbbra is hangsúlyoznám, hogy az egyenes alkotókból állásnak köszönhetően, statikai és kivitelezhetőségi szempontból igen előnyösek, gyakran látunk alkalmazásukra külön-külön példákat is. Azt azonban nem könnyű belátni, hogy ez a két felület eggyé tud válni, tud csatlakozni úgy, hogy közben a felület teljesen folytonos maradjon, ne legyen benne törés. Sőt az sem hátrány, ha közben nagy előnyüket a csupa alkotóból állást sem veszítik el. Ez úgy lehetséges, ha alkotók mentén igyekszünk őket csatlakoztatni, azaz mindkét felületből kiválasztunk egy-egy alkotót és ezeket egyesítjük. Ezt nagyjából úgy kell elképzelni, mintha egy hatalmas torony és egy óriásnyereg alakú épület próbálna eggyé simulni. A lenti képeken egy-egy megépült példát láthatunk a hiperboloid alakú toronyra és a hiperbolikus paraboloid lefedésű épületre. A két felületet először elméleti úton összekapcsoltam, majd megépítettem modellben, amit a jobb oldali képen illusztráltam. Egyértelmű, hogy számos feltételnek kell teljesülnie ahhoz, hogy ez a csatlakozás létrejöjjön. A továbbiakban ezt fogom vizsgálni.

Az első nehézség az, hogy mindkét felületen az egyes alkotókon az érintősík pontról pontra változik. Ez azért lényeges, mert a közös alkotón az érintősíknak mindkét oldalról, minden pontban ugyanannak a síknak kell lennie. Az érintősík (melynek egyik egyenes maga a közös alkotó) változásának vizsgálatára a legegyszerűbb módszer, ha felveszek egy alkotóirányú nézetet, ugyanis ekkor a közös alkotó pontnak, az érintősíkok pedig egyeneseknek fognak látszani.

Frontális axonometriában ábrázolok egy forgási hiperboloidot O_1 középpontú alap és O_2 középpontú fedőkörével a *9. ábrán*, méghozzá úgy, hogy a közös *az* alkotó axonometrikus vetítősugár helyzetű, így pontnak látszik (az alapkör és a fedőkör megegyező sugarú). Az alkotó felében az O_3 pontból húzott r_3 sugár végpontjában, vagyis a torokkörnél vizsgálom az érintősíkot. A hiperboloid tengelyre merőleges metszetei egymással párhuzamos síkú körök lesznek, az ezekhez húzott e_1 e_2 e_3… érintők a vetítő helyzetű síkok képeivel egyeznek meg. A torokköri sugár a tengelyt két egyenlő részre osztja, ha ezt 90 fokkal elforgatjuk az alkotó pontnak látszó képe körül, akkor az érintő képét kapjuk, mivel a kör adott pontjához húzott érintő merőleges az adott ponthoz húzott sugárra. Az érintő képe egyben megegyezik az érintősík képével is. Ezt megtettem az O_4 negyedelő és az O_5 nyolcadoló pontban is. Most az a kérdés, hogy létezik-e olyan hiperbolikus paraboloid, melynek alkotói a hiperboloid körmetszetekhez húzott érintőkkel egyeznek meg és ezek az alkotók ugyanúgy felezik, negyedelik, nyolcadolják, azaz ugyanolyan irányban osztják a másik seregbeli alkotókat. Az a pont körül, ha elforgatjuk a sugár egyeneseit kilencven fokkal, akkor rendre az érintők egyeneseit kapjuk. Ezek lesznek a paraboloid egy seregbeli alkotói. Meg kell keresni a másik seregbeli alkotókat is, egy ilyen másik seregbeli alkotó akkor lesz nyeregalkotó, ha a körmetszetekhez húzott érintők ugyanolyan arányban osztják, mint a hozzájuk tartozó sugarak a hiperboloid tengelyt, mivel csak ebben az esetben lesznek benne az alkotók a körmetszetek egyes síkjaiban. Ez az alkotósereg irány a hiperboloid tengely kilencven fokos elforgatásával jön létre, ezzel az iránnyal párhuzamos egyenesek adják az *a*-val megegyező seregbeli alkotókat, hiszen a forgatásban a hasonlóság megmarad és így az osztásarány sem változik.



9. ábra - A hiperbolikus hiperboloid és a hiperbolikus paraboloid folytonos csatlakozásának bizonyítása

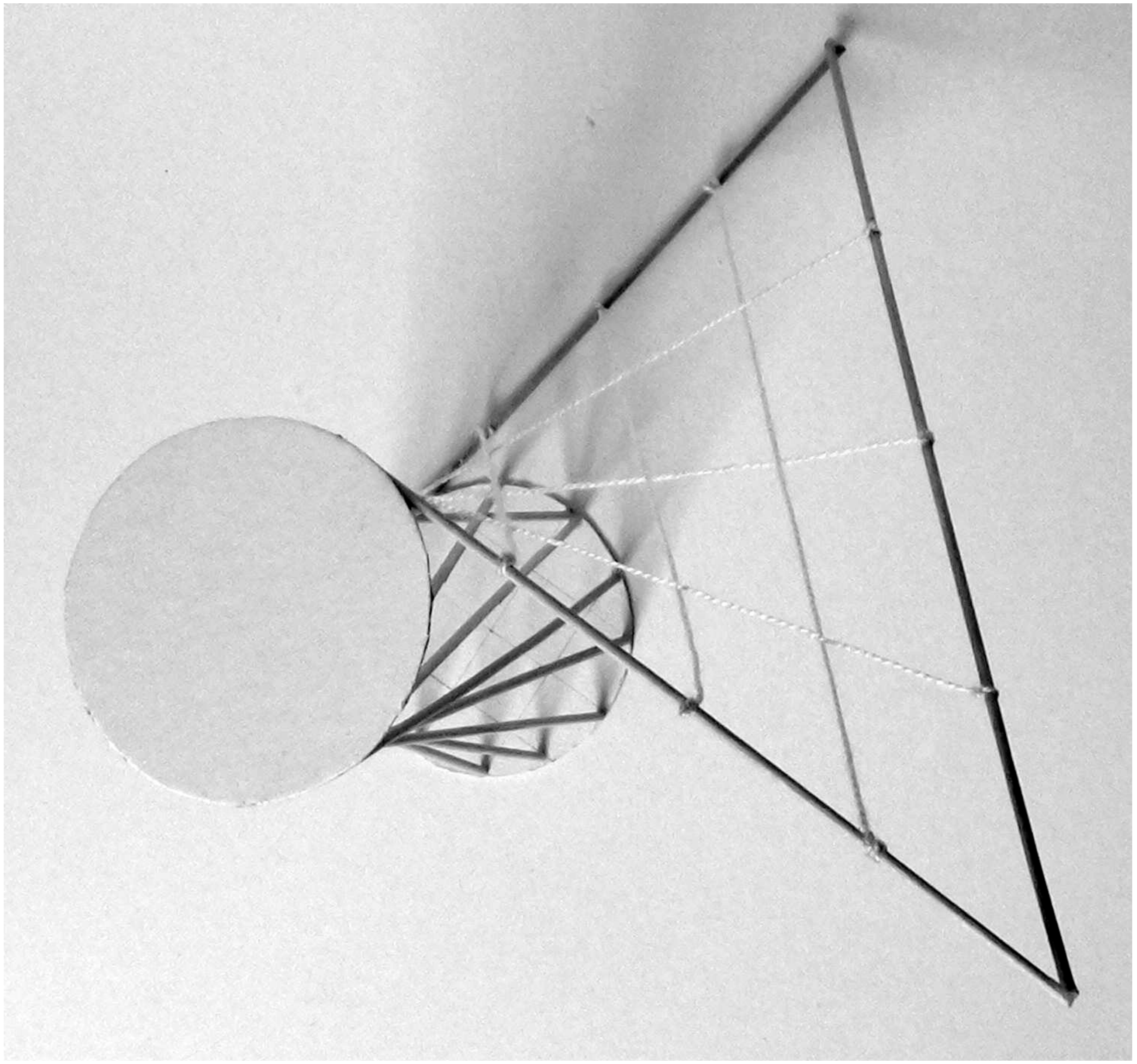
Ezzel beláttam, hogy minden forgási hiperboloidhoz tartozik egy olyan nyeregfelület, melyeket, ha egyesítünk, folytonos felületet kapunk. Szeretnék egy pár megjegyzést fűzni előző gondolatmenetemhez.

Először is a gyakorlatban a nyeregfelület iránysíkjának megtalálása, a különböző ábrázolási módszerekben is egyszerű, ha biztosan ismerünk három egy seregbe tartozó alkotót, akkor ezek egy transzverzálisát szerkesztjük meg, ami kiadja a másik alkotósereg irányát.

Másodszor, a bizonyításomban a *z* tengelyt tetszőlegesen is felvehettem volna, hiszen ez nem változtatna az eredményen. Egy ilyen felvétel esetén *z* tengely nem lesz párhuzamos a hiperboloid tengellyel, ami egyben azt is jelenti, hogy a meridián körszeletek síkja sem lesz merőleges a tengelyre (a *z* tengely merőleges a meridiánkörökre). Ekkor nem forgási hiperboloidot kapunk, hanem általános háromtengelyű hiperboloidot. Ennek főtengelyére merőleges metszetei olyan ellipszisek, melyek kis és nagy tengelyei párhuzamosak a hiperboloid másik tengelyeivel. Belátható, hogy van egy olyan irányú paralel síksor, ami azonos tengelyhosszúságú ellipsziseket, azaz köröket metsz ki a felületből. Az állításból adódik, hogy az általános hiperboloid is képes csatlakozni érintőlegesen egy meghatározott nyeregfelülethez az előbb említett egymással párhuzamos síkú körök mentén. Felmerülhet azonban a kérdés, hogy ez lehetséges-e ellipszis metszetek felhasználásával is.

Ennek a kérdésnek eldöntéséhez meg fogom vizsgálni a hiperboloidok csatlakozási tulajdonságait.

Önmagam igazolására és a szemléletes bemutatásra készítettem egy modellt is a nyeregfelület és a hiperboloid csatlakozásáról *(10. ábra).* A modellt igyekeztem a *9. ábrán* lévő bizonyítás felvételéhez hasonlóan lefotózni, hogy az előbbi problémát térben lehessen érzékelni.

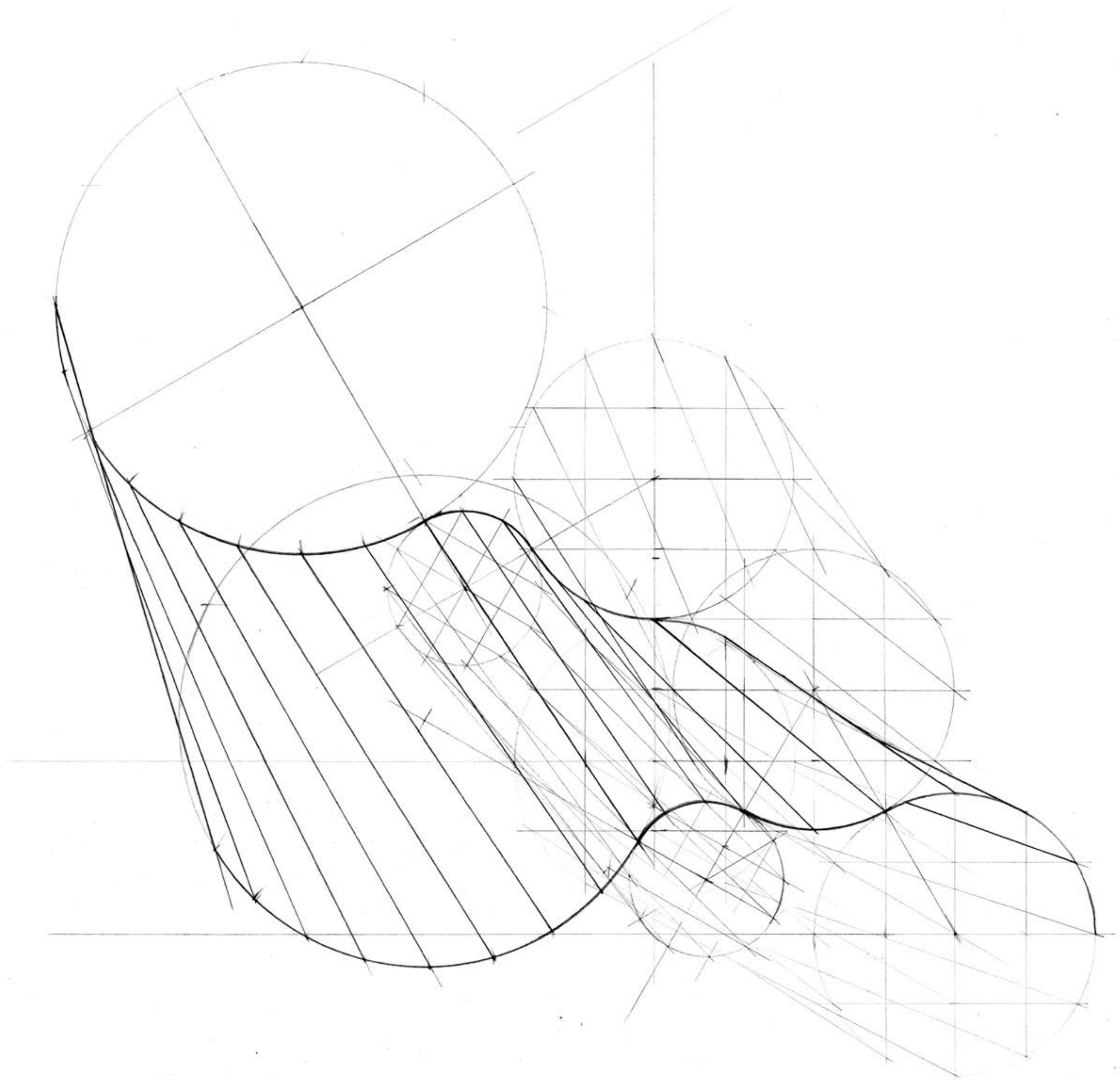


10. ábra - A hiperbolikus paraboloid és a hiperbolikus hiperboloid összesimulásának modellje.

Hiperbolikus hiperboloidok érintőlegessége

Önmagával is csatlakoztatható a hiperboloid folytonosan egy alkotó mentén, ennek a feltétele csupán az, hogy a legkisebb körmetszeteik (forgási változatnál a torokkör) érintse egymást és az alkotók elcsavarási mértéke egyezzen meg. Ezt a kedvező tulajdonságot a műszaki gyakorlatban ki is használják, ugyan nem felületek esetében, hanem fogaskerekeknél, ott, ahol a két forgástengely kitérő helyzetben van, az erő áttétel a hiperboloid alkotók mentén valósul meg. Pontosabban a két kerék két olyan forgási hiperboloid, melyek egymást a közös alkotó mentén érintik. E felületek építészeti megjelenítésével remek formát lehet kreálni.

A *11. ábrán* négy különböző méretű háromtengelyű hiperboloidot csatlakoztattam egymáshoz: folytonos hullámzást idéznek elő. A szerkesztések helyességét a következő részben bizonyítom.

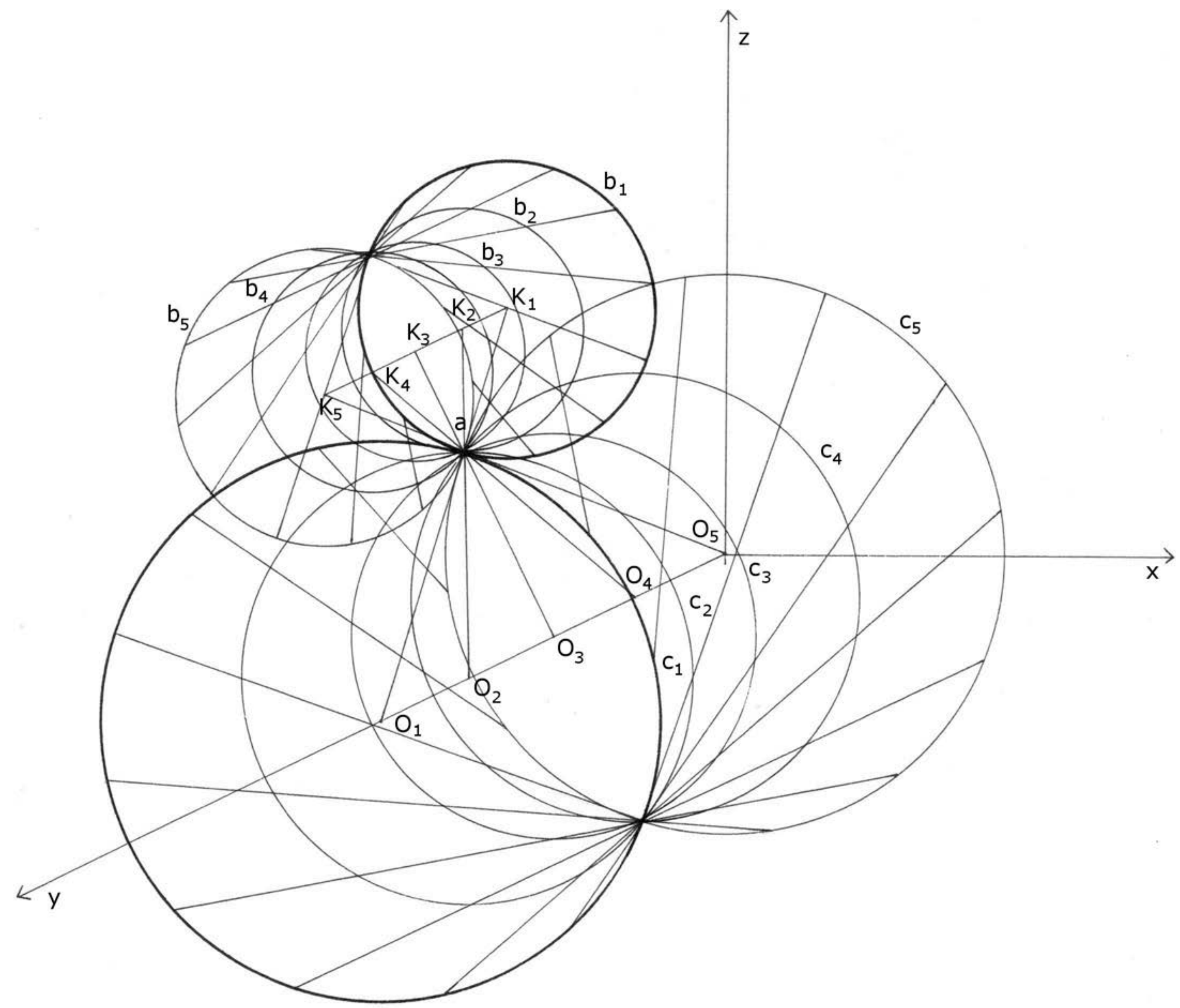


11. ábra – több hiperboloid összekapcsolása

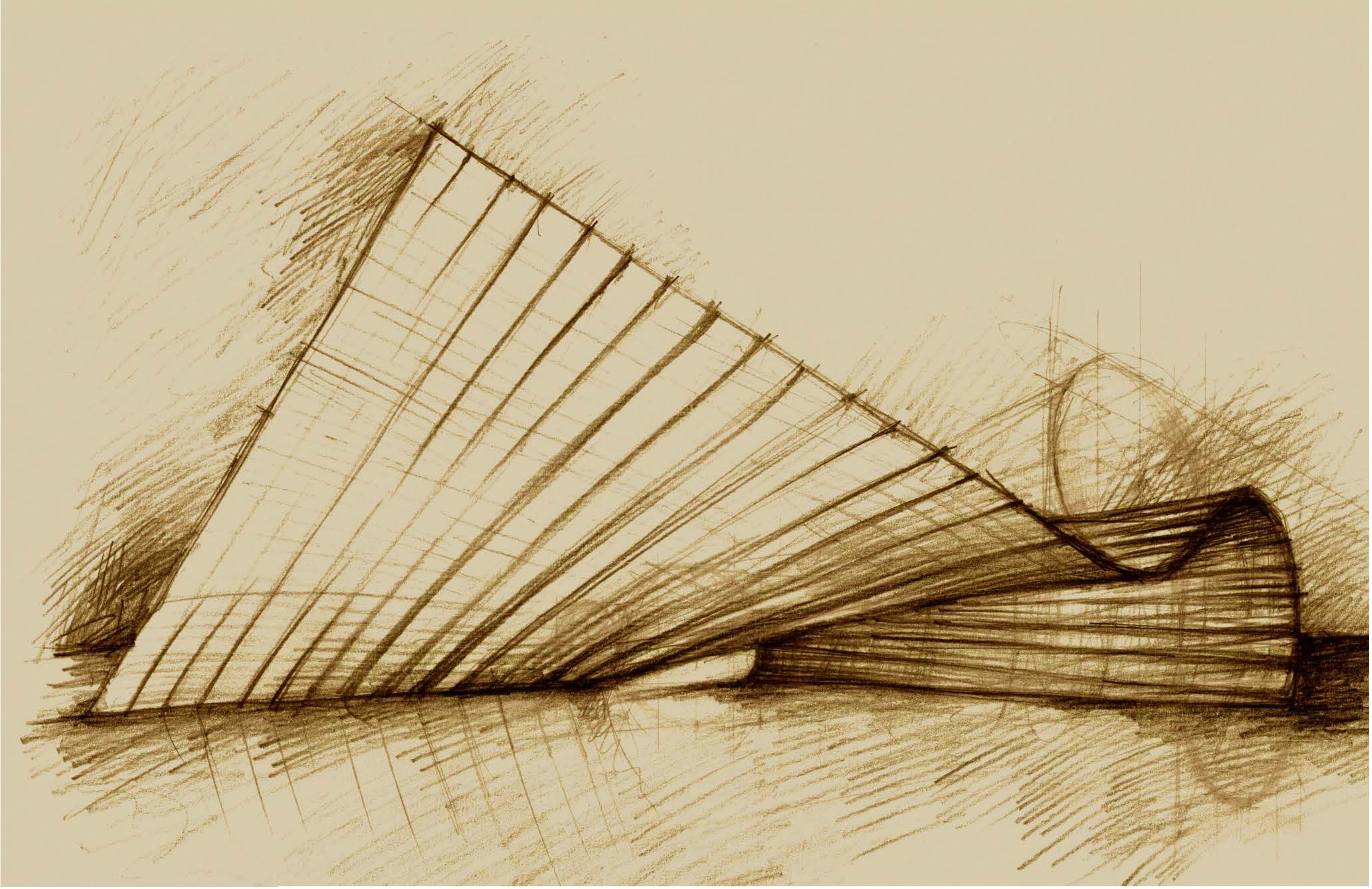
A *12. ábrán* látható bizonyításhoz a *9. ábrán* felvett rendszert használom, a frontális axonometriát. A *z* tengellyel párhuzamos tengelyű hiperboloid O_1 középpontú fedőköréhez egy másik kört kell érintőlegesen illeszteni úgy, hogy az érintési pont a pontnak látszó alkotó legyen. Ugyanezt meg kell tennünk az O_5 középpontú függőleges síkban lévő alapkörnél. Ha a két újonnan felvett kör sugara megegyezik, akkor az így létrejövő két hiperboloid tengely képe párhuzamos lesz (O_1O_5 szakasz párhuzamos K_1K_5 szakasszal mivel $K_1\,O_1 = K_5\,O_5$). Az érintősíkok normálisai, vagyis az egyes metszetkörök sugarai egyenlő arányban osztják a tengelyeket az O_1O_5a és a K_1K_5a háromszögek hasonlóságai miatt, így az *a* alkotó mindegyik pontjában az érintősík közös lesz. A torokkör az alapkör és a fedőkör között lesz félúton, ahogy az eredeti hiperboloidnál is volt. Ha a két újonnan felvett kör sugara nem egyenlő hosszúságú, akkor a hasonlóság nem áll fenn, nem lesz folytonos az átmenet.

Az egyik hiperboloid ebben az esetben szükségszerűen általános háromtengelyű hiperboloid, a másik tetszőleges lehet, a módszer lényege, hogy akármilyen is a hiperboloid, körök mentén érintkeznek a felületek. Egy adott általános hiperboloidnál meg kell találni azt az irányt, amivel ha elmetsszük a felületet, akkor köröket kapunk.

(Megjegyzem, hogy ebből a bizonyításból a 9. ábrán lévő is igazolható, hiszen a hiperbolikus paraboloid tulajdonképpen egy elfajult esete a hiperbolikus hiperboloidnak. Ez esetben a bizonyításhoz végtelen sugarú, de azonos hosszúságú köröket használunk. A paraboloid alkotók végtelen sugarú körök íveinek felelnek meg és egyben körívek érintőik is.)



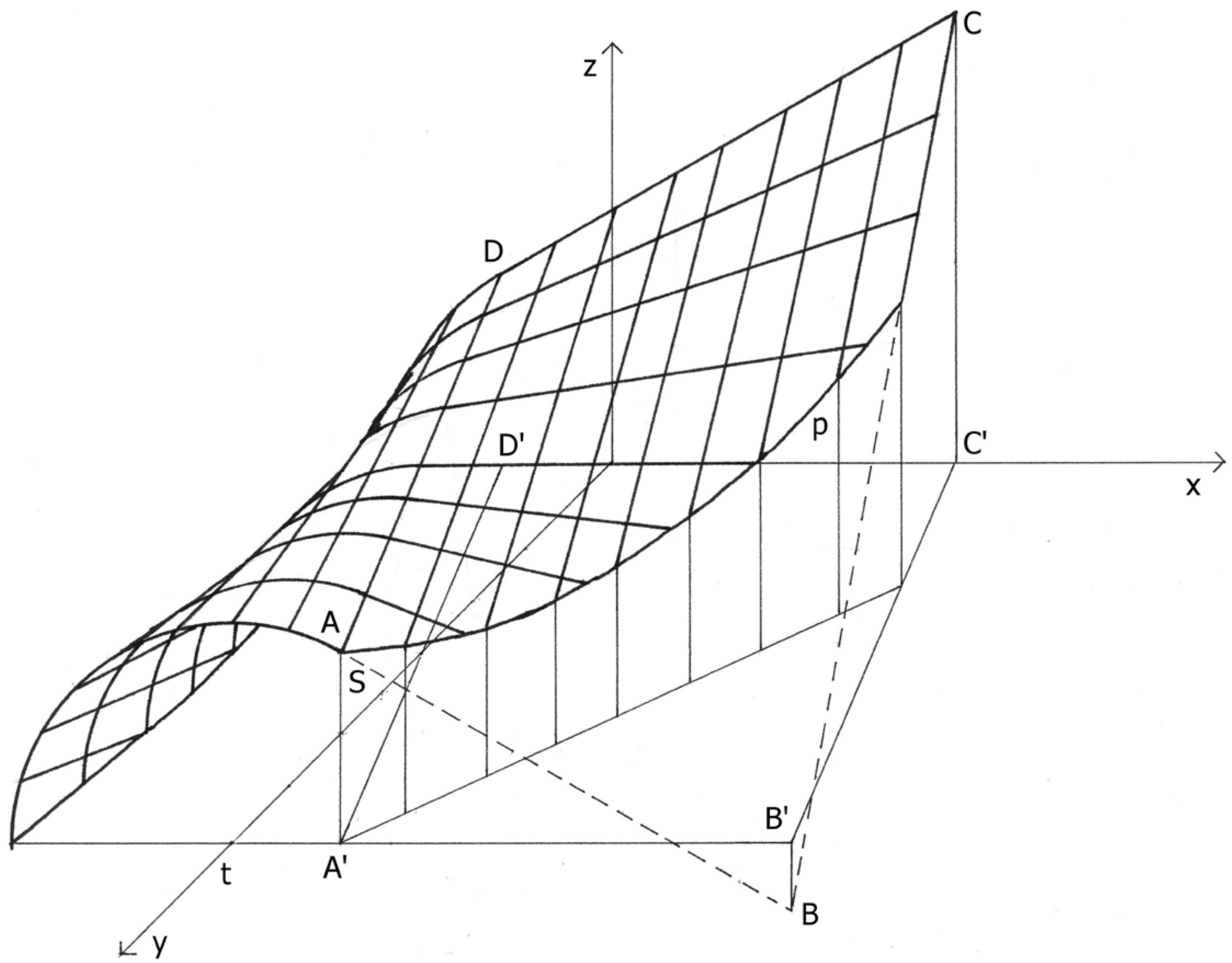
12. ábra - hiperboloidok érintőleges csatlakozásának bizonyítása



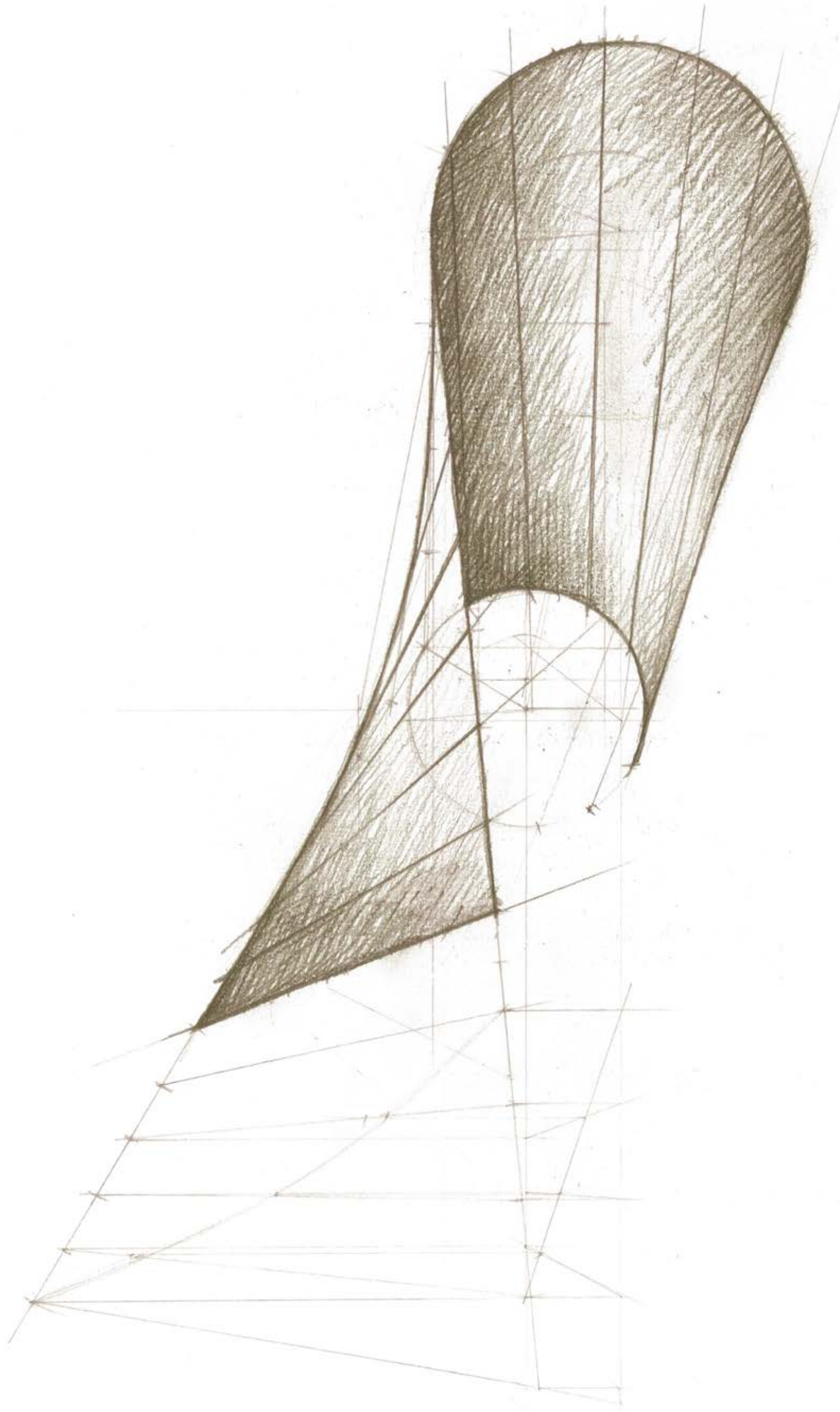
13. ábra – az előzőek szemléltetése egy kezdetleges építész rajzon: két hiperbolikus hiperboloid csatlakozik egy nyeregfelülethez

A megformálás további eszközei

A kész felületet még módosíthatjuk igényeinknek megfelelően. Ahhoz, hogy a környezetben lévő előforduló merőleges térelemekhez, építészeti megközelítéssel például egy háztömbhöz feszesen illeszkedni tudjon, alkalmas síkokkal darabolgathatjuk a felületet. Az *14. ábrán* függőleges *S* síkkal metszettem el az imént bemutatott hiperboloidból és paraboloidból álló teljesen egyenesek által alkotott torzfelületet. A nyeregfelület tengelyre merőleges metszetei parabolák. A tengely ebben a felvételben függőleges lesz, mivel hiperbolikus paraboloid torznégyszögének képe paralelogrammát alkot az xy síkon és ismert, hogy a paralelogramma vetületre merőleges irány lesz a nyeregfelület tengelyiránya. A másik ábrán pedig egy organikusan továbbgördülő papírtekercs szerű jelleget adtam ugyanennek a felületnek.



14. ábra – torzfelület függőleges síkmetszete

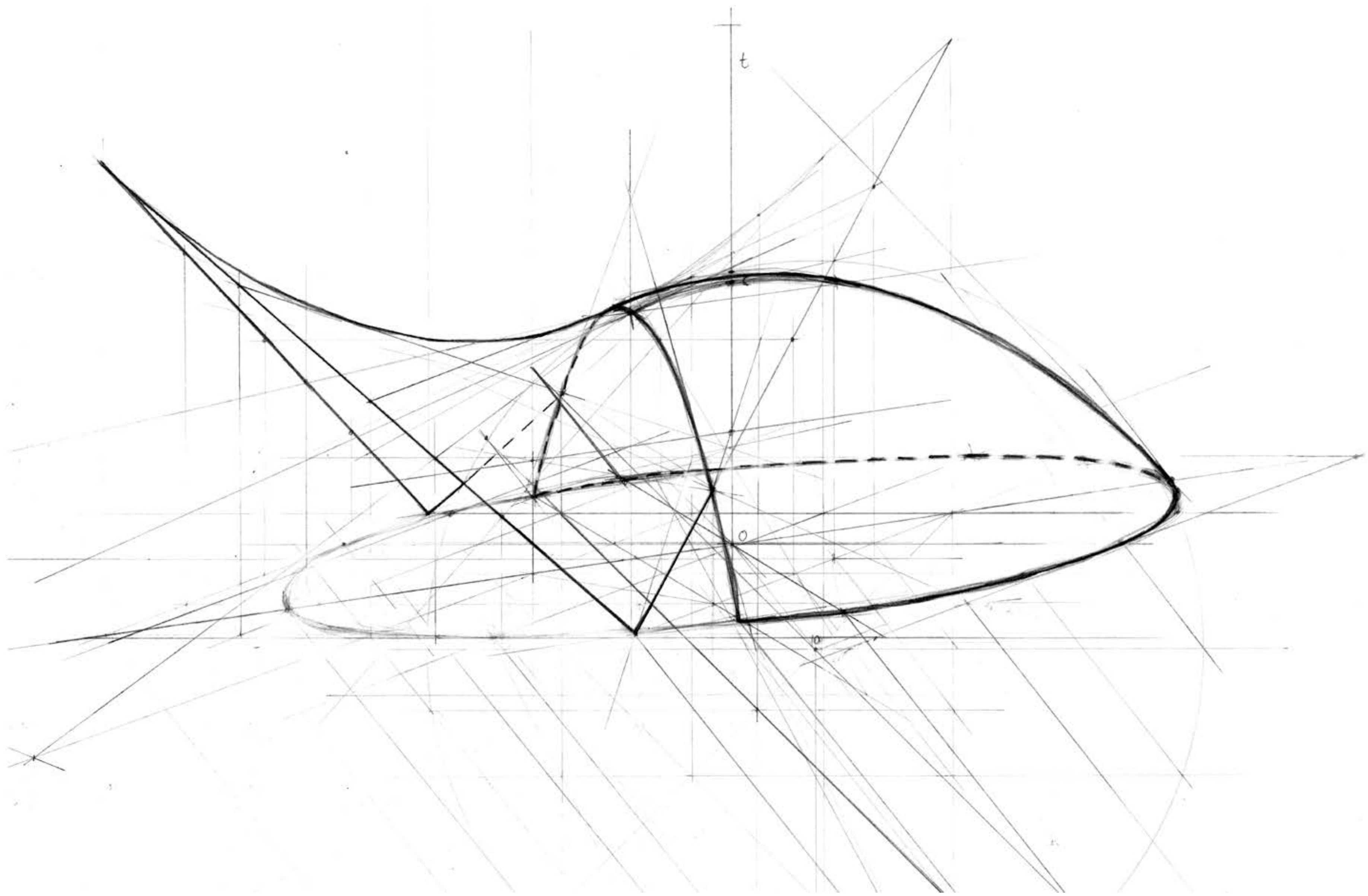


A hiperbolikus paraboloid és a parabolikus paraboloid csatlakoztatása

Az egyik felület csupa hiperbolikus, a másik pedig csupa elliptikus pontokat tartalmaz, közös vonásuk az, hogy tengelyükkel párhuzamos metszeteik mind parabolák. Joggal gyanakodhatunk, hogy e két felület is képes érintőlegesen csatlakozni, hiszen egy-egy megfelelő síkkal elmetsszük őket és a parabolaív mentén pedig összeillesztjük őket.

A parabolikus paraboloid minden tengellyel párhuzamos metszete, a tengellyel párhuzamos szimmetriatengelyű szimmetrikus parabola és az érintősík is szimmetrikus ezen ív mentén. A másik felületen is egy szimmetrikus parabolát keresünk, aminek az egy-egy szemközti pontjában vett érintősík egymásra tükrös. A nyeregfelület főmetszetei a tengelyre illeszkedő szimmetriasíkok, itt az egész felület szimmetrikus. Transzlációs felületként kezelve a hiperbolikus paraboloidot, belátható, hogy a főmetszetekkel párhuzamos metszetek is olyan parabolákat metszenek ki, melyekhez húzott érintősíkok szimmetrikusak, a parabolák csúcspontja pedig a másik főmetszetre illeszkedik. Mivel a nyeregfelületnek csakis e két szimmetriasíkja van, ezért más irányú metszetek nem jöhetnek szóba az összeillesztéskor.

A *15. ábrán* vázlatosan szerkesztettem meg egy nyeregfelületet és egy fent említett típusú parabolametszetét. Meghatározzuk a metszetparabola egy tetszőleges pontjában az érintősík normálisát, ami kimetszi a parabolametszetre merőleges főmetszetből a parabolikus paraboloid tengelyének egy pontját, mivel a forgási paraboloid érintősíkjának normálisa mindig a tengely irányába mutat. A tengelyek párhuzamossága miatt a paraboloid tengely meghatározható. A tengelyével és egy metszetével adott paraboloid minden pontja szerkeszthető lesz.



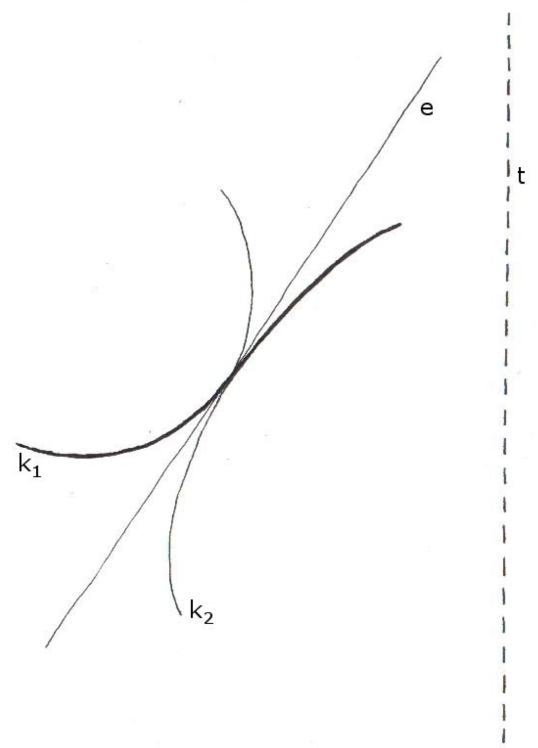
15. ábra – a kétféle típusú paraboloid összeérintése

Forgásfelületek érintőleges csatlakozása

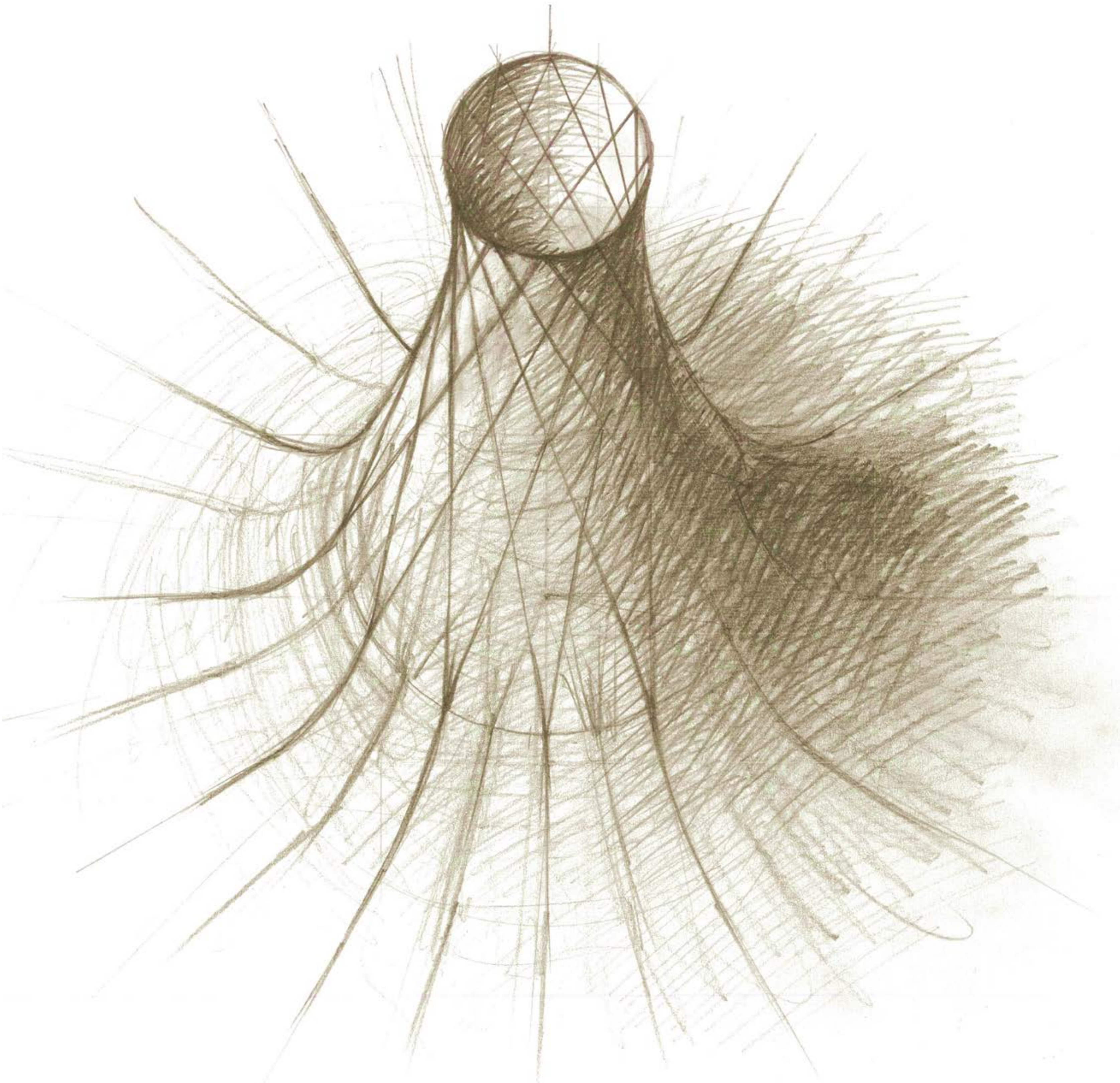
Az érintőleges csatlakoztatás szempontjából kifejezetten könnyen használható elemek a forgásfelületek. Ha egy tengelyen átmenő metszetet vizsgálunk és ott a görbék egymással síkban érintőlegesen csatlakoznak, akkor a forgatás miatt a teljes felület folytonos lesz.

A *16. ábrán* a k_1 és k_2 ívdarabot érintettem egy pontban úgy össze, hogy mindkét görbe érintője a közös *e* érintő legyen. Vastag vonallal jelöltem a két ívből létrejövő új görbét. ha ezt a *t* tengely körül megforgatjuk, új forgásfelület keletkezik, így gömböt, forgási paraboloidot sőt még torzfelületet, mint például a hiperboloidot is lehet érintőlegesen csatlakoztatni.

A jobb oldali madárvetületi rajzon egy forgási hiperboloidot, azaz egy torzfelületet kapcsoltam egy tóruszhoz, úgy hogy a tórusz érintse az alapsíkot, így gyakorlatilag a torzfelület síkba való simulását értem el.



16. ábra - két görbe közös érintője és a forgatási tengely



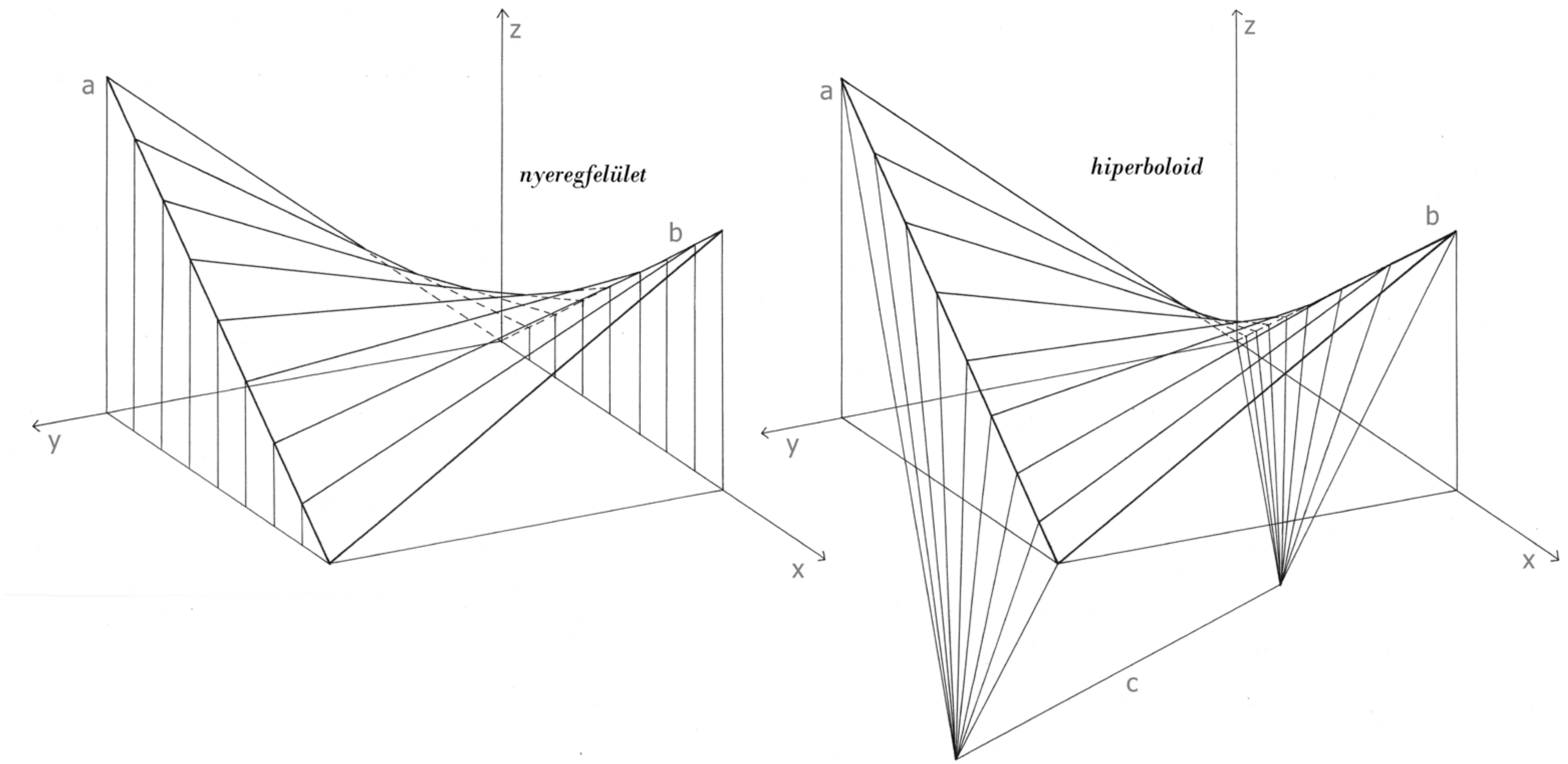
Hiperbolikus hiperboloid torznégyszöggel

A hiperbolikus paraboloid megadható torznégyszögével, ekkor a torznégyszög szemközti oldalai két-két azonos seregbeli alkotó. Ha a végtelen távoli vezéregyenest enyhén a végesbe visszük, akkor az egyenesek nagy távolság arány különbsége esetén (vagyis az egyik egyenes csak nagyon messze van, de nem a végtelenben) a torznégyszög még érezhetően nem változik, de ez esetben már hiperboloidról beszélünk, hiszen három végesben lévő egyenes transzverzálisai alkotják a felületet. Így bármely hiperboloid is meghatározható egy torznégyszöggel, de még nem egyértelműen, meg kell adnunk a harmadik vezérgörbét, azt az egyenest (síksort) amire a szeletelő síkjaink (nye-regfelületnél iránysíkoknak hívjuk) illeszkedni fognak.

A lenti ábrán egy-egy ilyen torznégyszögével megadott nyeregfelületet és hiperboloidot ábrázoltam. Az *a* és *b* szakasz mindkét rajzon meghatároz egy torznégyszöget. Ezek transzverzálisait, azaz a felületalkotókat a nyeregfelület esetében párhuzamos síkokkal, míg a hiperboloid esetében egymást a *c* egyenesben (ami a harmadik vezérgörbe) metsző síkokkal nyertem. Látható hogy a származtatási különbségekből adódóan a két forma különböző ívet jár le.

A hiperbolikus paraboloid és a hiperbolikus hiperboloid egyazon típusú felület csak az egyiknek a tér minden irányában van végtelen távoli pontja, azaz nincsen zárt görbe síkmetszete, a másiknak pedig van kör vagy ellipszis metszete is, ezért is lehet talán szemléletesebben ábrázolni.

Az építészetben azonban nem feltétlenül e teljes formát akarjuk használni. Sokkal inkább a felület kedvezőbb tulajdonságait, így ha csak egy részét vesszük, az is kielégítheti igényeinket. Az előző részben megmutattam, hogy ezek bizonyos típusai egymással csatlakozni képesek alkotók mentén, így fenn áll a lehetőség hogy ezek a különböző torznégyszögek egymáshoz illeszthetőek oldalaik mentén, úgy hogy, mégis folytonos felületet kapunk.



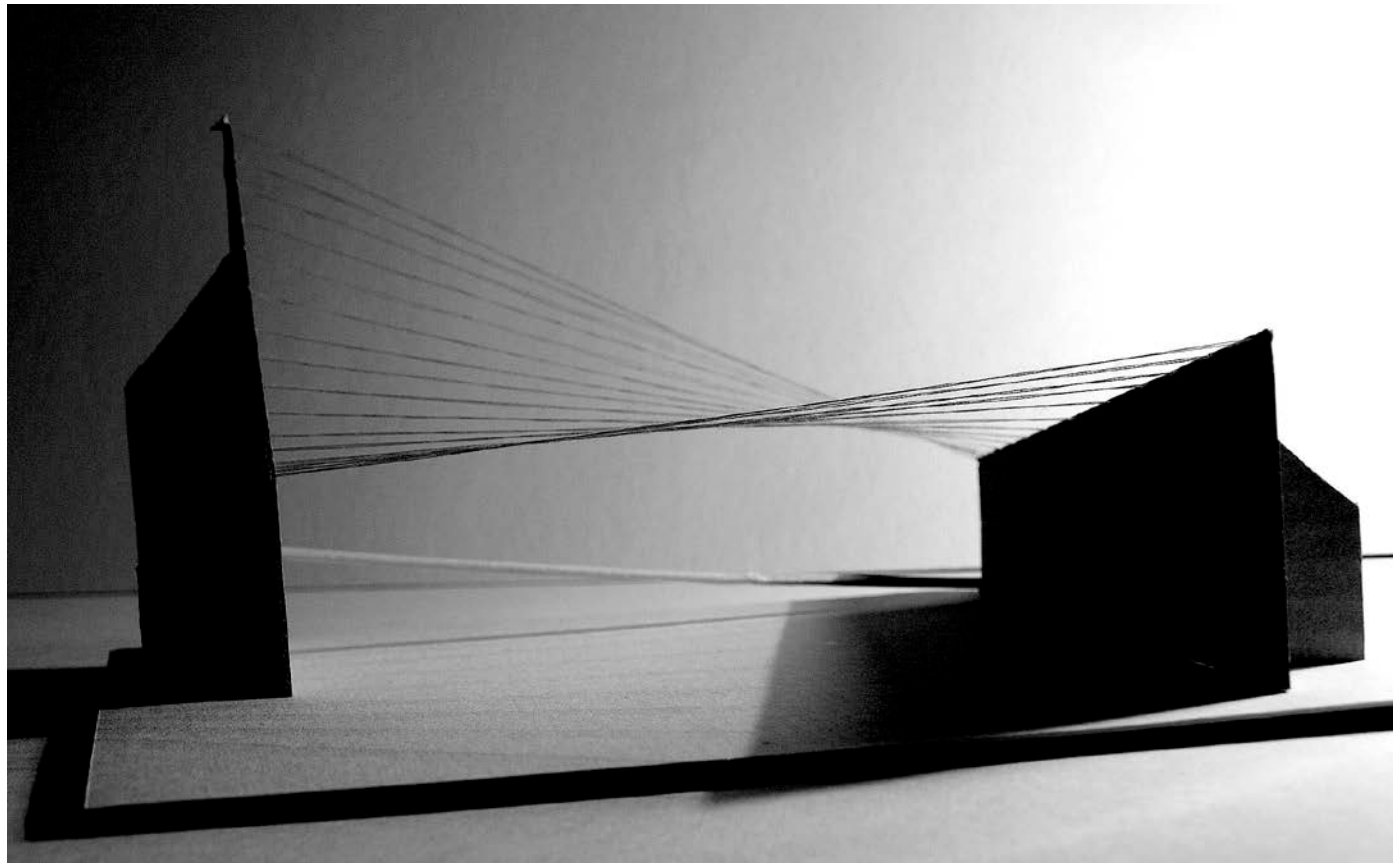
A torznégyszögével megadott hiperboloid forma továbbra is a nyereghez hasonló, de nem pontosan ugyanaz, laposabb vagy meredekebb ívű lesz. A hiperboloid másik alkotóserege is meghatározható, de erre a dolgozatban nem térnék ki. Az érintősík is nyilván különböző szögelfordulást fog végezni egy alkotó mentén, ez már csak a harmadik vezérgörbe (síksor) helyzetétől függ adott torznégyszög esetén. Ha körmetszeteket vizsgálunk, az előbb már beláttuk, hogy a kör érintői egyenletes szögelfordulásban változnak az érintő-sugár merőlegesség miatt.

Kérdés, hogy például egy nyeregfelülettel összekapcsolható-e az ilyen felület. Ahogy az elején bizonyítottam a körmetszetnél a helyességet, most bebizonyítom, hogy ez nem lehetséges általános esetben, ha ellipszis metszetnél érintem össze őket. Tetszőleges ellipszisnél vizsgálva az érintősík nem egyezik meg a paraboloid érintősíkjával. Míg a körnek egy pontjában az érintő, ha a pontot elforgatjuk α szöggel, α szöggel változik meg, az ellipszisnél nem, mivel az érintő nem minden esetben merőleges a középpontból húzott sugárra, szöge folyamatosan változik.

A hiperboloidok egymás mellé tétele jelen körülmények miatt nem olyan egyszerű, más szerkesztési módszert kell választanunk, hogy hatékonyan tudjuk kezelni őket. A feladat az, hogy egy torznégyszög számunkra szükséges tulajdonságait feltárjuk. Egy torznégyszög még nem határozza meg egyértelműen a felületet, lehet paraboloid, forgási vagy általános hiperboloid is. Viszont ha ismerjük a torznégyszöget, akkor ismerünk két-két azonos seregbeli alkotót, ezen adatok ismeretével pedig megtalálhatjuk a nekünk kellő felület további paramétereit.

Vizsgálódásaim során arra jöttem rá, hogy ha a körmetszetek síkját egyszerűen meg lehetne találni, akkor az összeillesztések a körök mentén határtalan kombinációkat tárnának fel a torznégyszögek alkalmazására. Azonban még nem sikerült egyszerű módszert kifejlesztenem e probléma orvosolására, kutatásomat e téren még nem tekintem lezártnak.

A *17. ábrán* saját kezűleg készítettem egy cérnafonalakból álló hiperboloid torzfelületet az előbbiek térbeli igazolására, a felület görbülete továbbra is erősen dinamikus és a síksortól függően egyszerűen variálható.



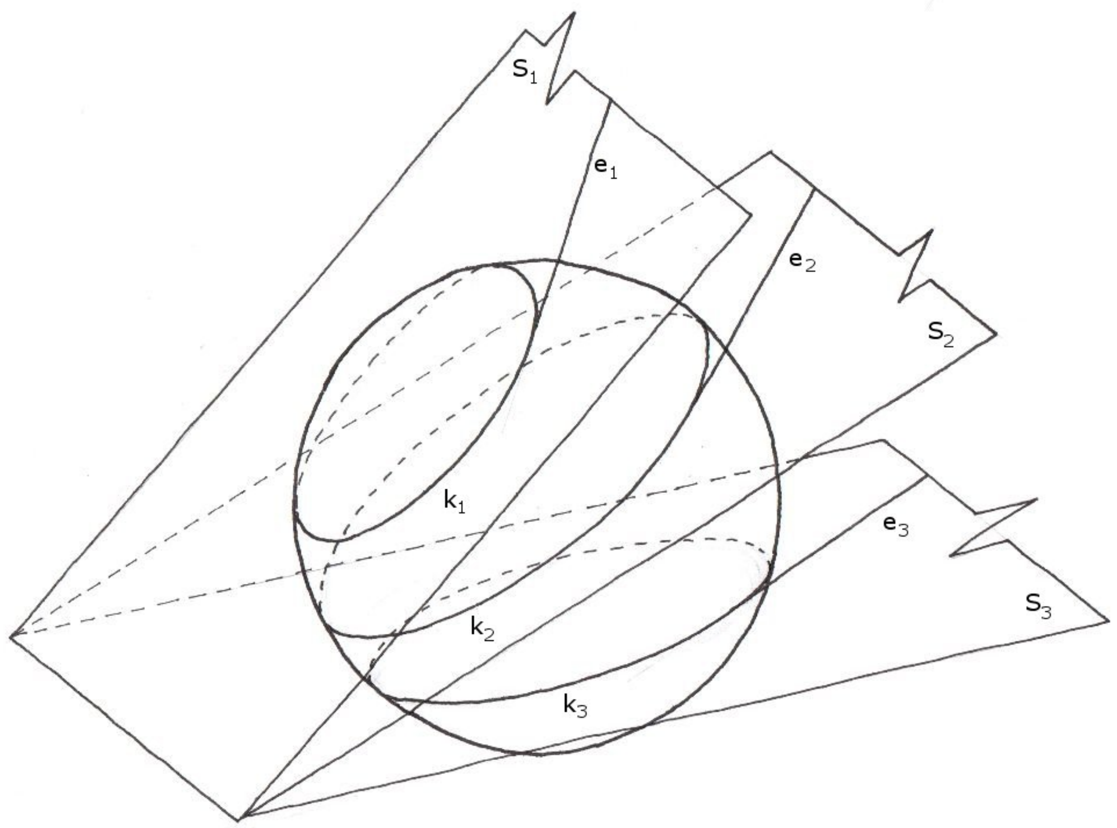
17. ábra - általános hiperbolikus hiperboloid torznégyszöggel

Felületekre illesztett transzverzálisok

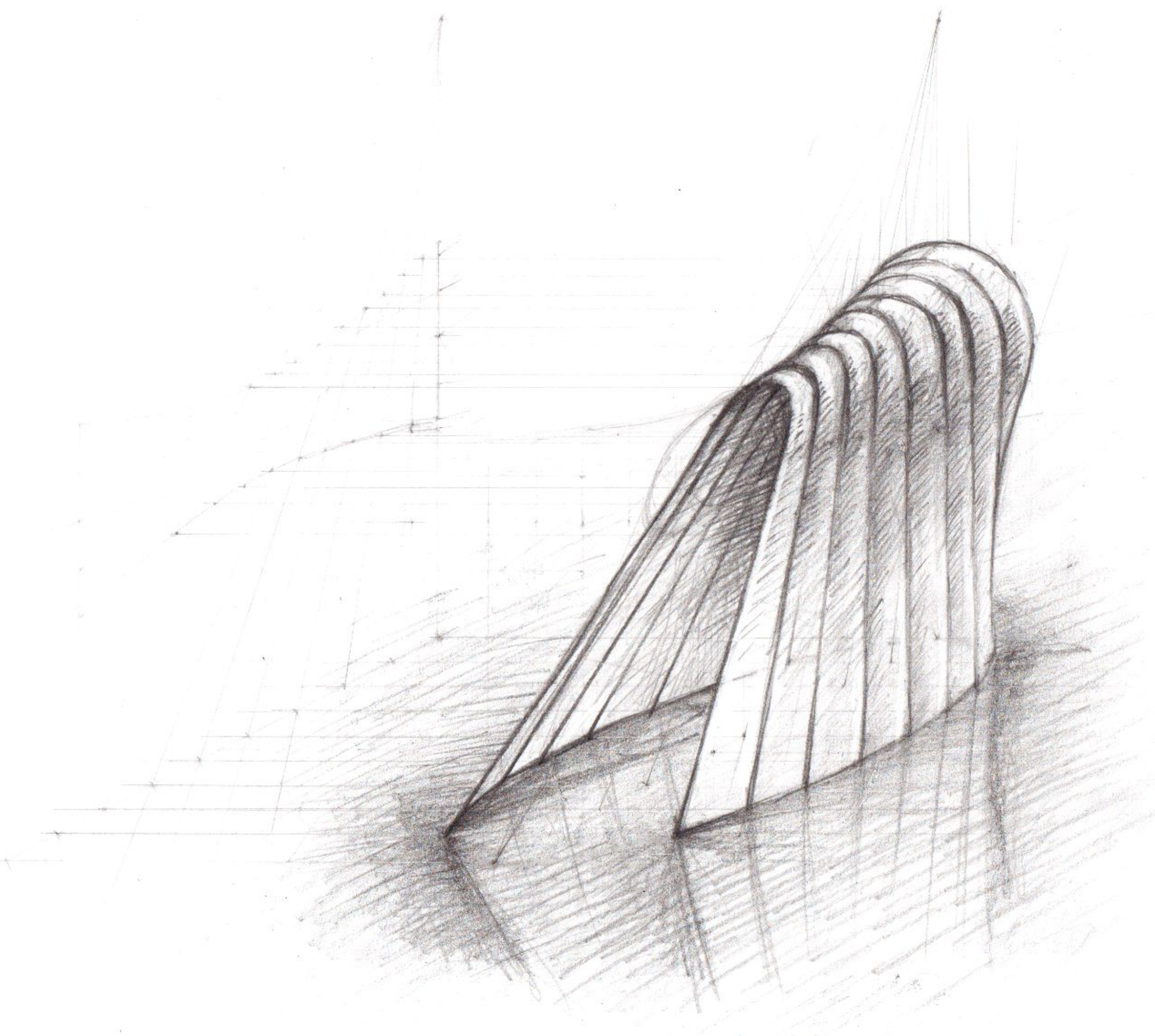
Ha már adott egy ismert felülettípus, akkor azt számtalanképpen továbbgondolhatjuk, úgy, hogy a végén egy szép, jól kivitelezhető és ugyanakkor érdekes, izgalmas, újszerű forma jöjjön létre. Ahhoz hogy ebből a kísérletezésből ne egy megfoghatatlanul szép rajz, hanem egy épület legyen, nem árt, ha ismerjük, mik a lehetőségeink és hogyan viselkednek az általunk használt geometriai elemek.

Az eddigiekben bemutattam, hogyan lehet vezérgörbékből való származtatási módszer segítségével, illetve ismert speciális torzfelületek összeérintésével új felületeket létrehozni. A továbbiakban ezt a két módszert fogom kombinálni, ismert felülettípusokat fogok vezérgörbékből való származtatott torzfelületekkel összekapcsolni.

Vegyünk egy tetszőleges felületet, továbbá bizonyos irányú szeletelő síkokat. Ha mindegyik szeletelő síkban olyan görbét tudunk generálni, ami folytonos, akkor az egész felület folytonossá válik, nem lesz törés benne. A *18. ábrán* egy gömböt metszettem el egy egyenesre illeszkedő S_1 S_2 S_3 szeletelő síkokkal, mindegyik síkban behúztam olyan *e* érintőt, melyek egy további vezérgörbére illeszkednek (a harmadik vezérgörbét nem tüntettem fel). A felület görbéi a gömb köreinek és érintőinek érintőleges csatlakozásából alakult görbék lesznek. Az új érintők által meghatározott felület vezérgörbéi: a síkok metszésvonala a gömb egy térgörbéje és egy általunk szabadon választott további görbe, így lesz egyértelműen meghatározott a felület. A gömb térgörbéjén az érintősík a felület érintősíkja lesz, azaz folytonos lesz az átmenet. A lenti rajzon egy hiperboloidot metszettem el szeletelő síkokkal, a vezérgörbe egy alapsíkon fekvő ellipszis.

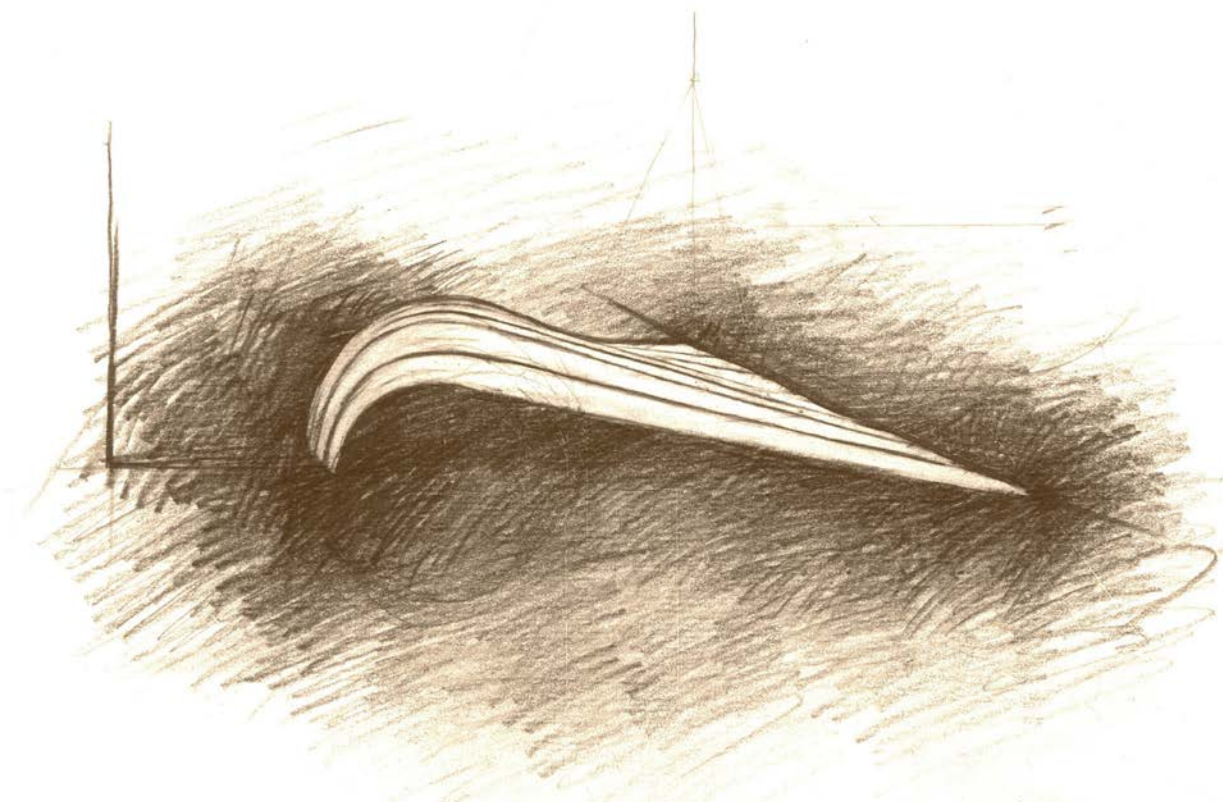


18. ábra – felület síkmetszetei és az azokhoz húzott érintők

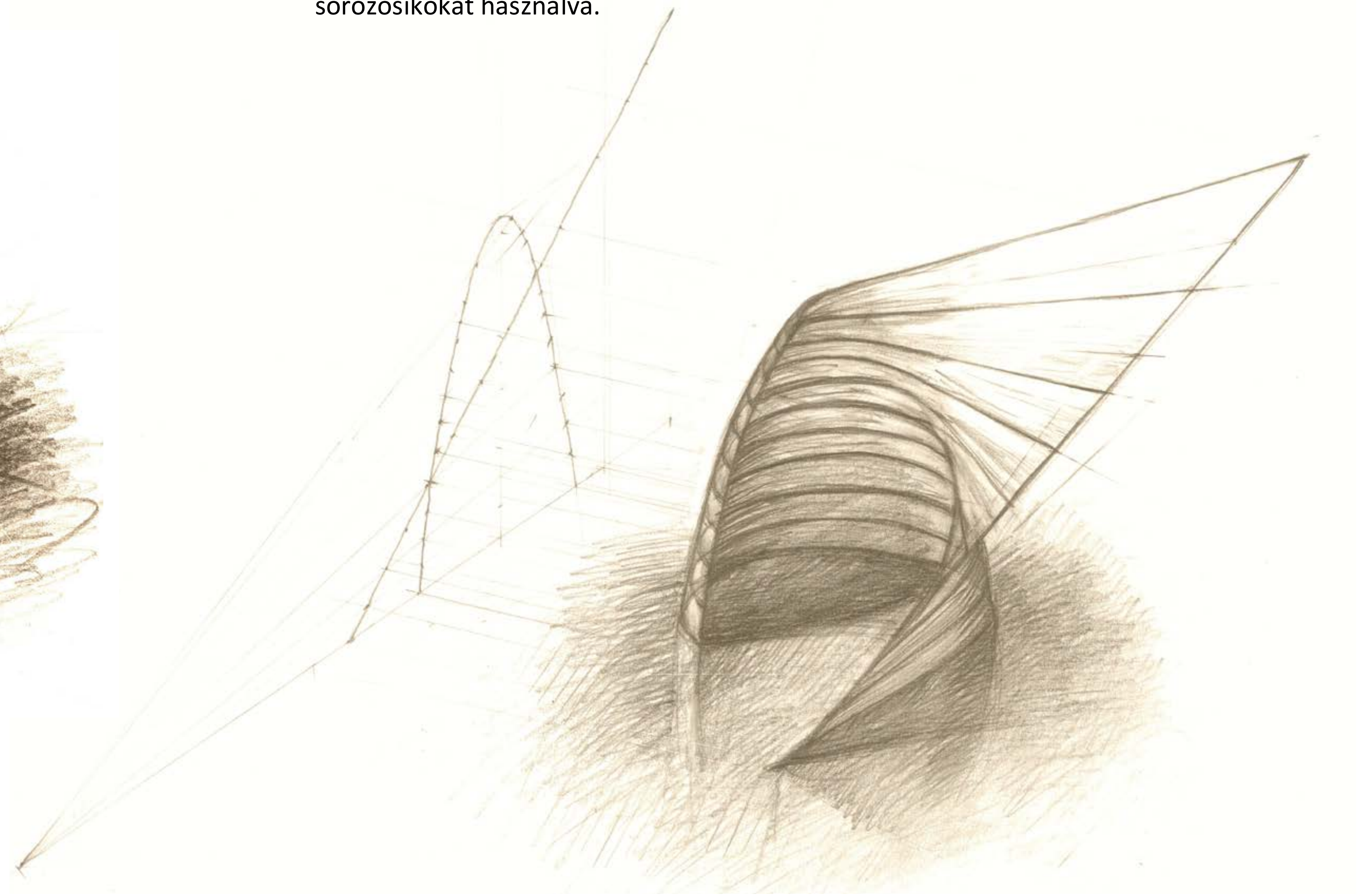


A korábban említett hiperboloid és nyeregfelület csatlakozásánál is tulajdonképpen hasonló módszert alkalmaztam: a hiperboloidot a paraboloid alkotók egymással párhuzamos síkjaival metszettem el, a hiperboloidon lévő egyes metszetkörök érintői az egy seregbe tartozó nyeregalkotók, így jött létre az egyesített folytonos felület. Ennek az áthatásnak a különlegessége az, hogy alkotó mentén történik az összeillesztés. Ez fontos lehet egy esztétikai koncepció megvalósításában pédául az alkotókkal való szemléltetés esetén, azonban nem feltétlenül szükséges, az áthatási görbe lehet valamilyen másodrendű görbe is, azaz nem egyenes, hanem harmad és negyedrendű, azaz térgörbe is.

A *19. ábrán* a másodrendű felület egy félgömb, mely az alapsíkon fekszik, függőleges síkokkal metszettem el. Nyilvánvalóan a gömb metszésgörbéi körök lesznek, ezeknek érintői már az új felület részét képzik, innentől kezdve már csak a görbe határát kell meghatározni, ez a felvételben egy vízszintes egyenes. Ha a gömböt valamilyen térben álló ívvel vagy egyenessel szeretnénk összekötni, akkor az ív metszete az egyes síkokkal pont vagy pontok lesznek, az adott síkbeli érintőt ezekből a pontokból kell húzni a körhöz. Ebben az esetben a felület alkotókból (egyenesekből) és a gömb köríveiből fog áll. A szeletelő síkok közös egyenesének helyzete más és más formákat eredményez. Gyakorlati szempontból is igen lényeges a megválasztás, hiszen a megépítéskor ezek a geometriai tulajdonságok elengedhetetlenül fontosak, s nem utolsó sorban esztétikai szempontból is, hiszen gyakran csak alkotóival szemléltetjük a felületeket, gondoljunk csak Santiago Calatrava építészetére. Kedvező, ha a szeletelő síkok között valamilyen kapcsolat van. A legegyszerűbb kapcsolat, ha mindegyik egy egyenesre illeszkedik, azaz síksort alkotnak, így a felület alkotói továbbra is transzverzálisok lesznek. A szeletelő síkok lehetnek párhuzamosak is, ami végtelen távoli közös egyenest jelent. Ezzel a dolgozatban kevésbé foglalkoztam inkább az általános esetekre szorítkoztam, melyek talán többek számára ismeretlen, mint a speciális esetek. Az alábbi szabadkézi technikás rajzon egy méhkasra hasonlító forgási paraboloidot kötöttem össze egy térben álló egyenessel, megfelelő sorozósíkokat használva.

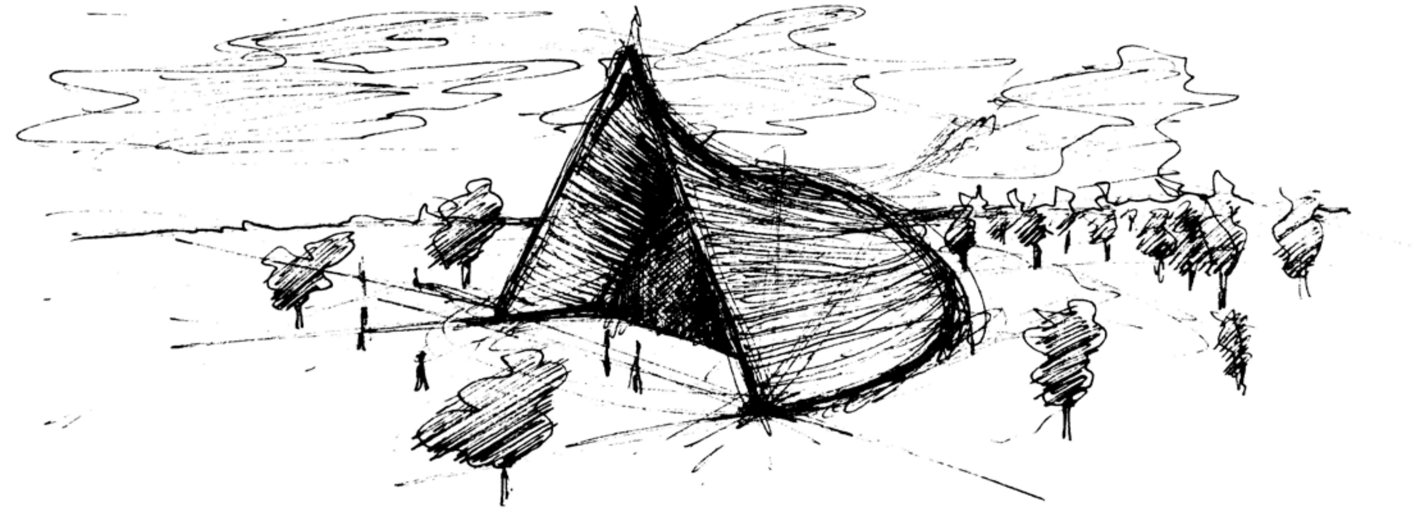


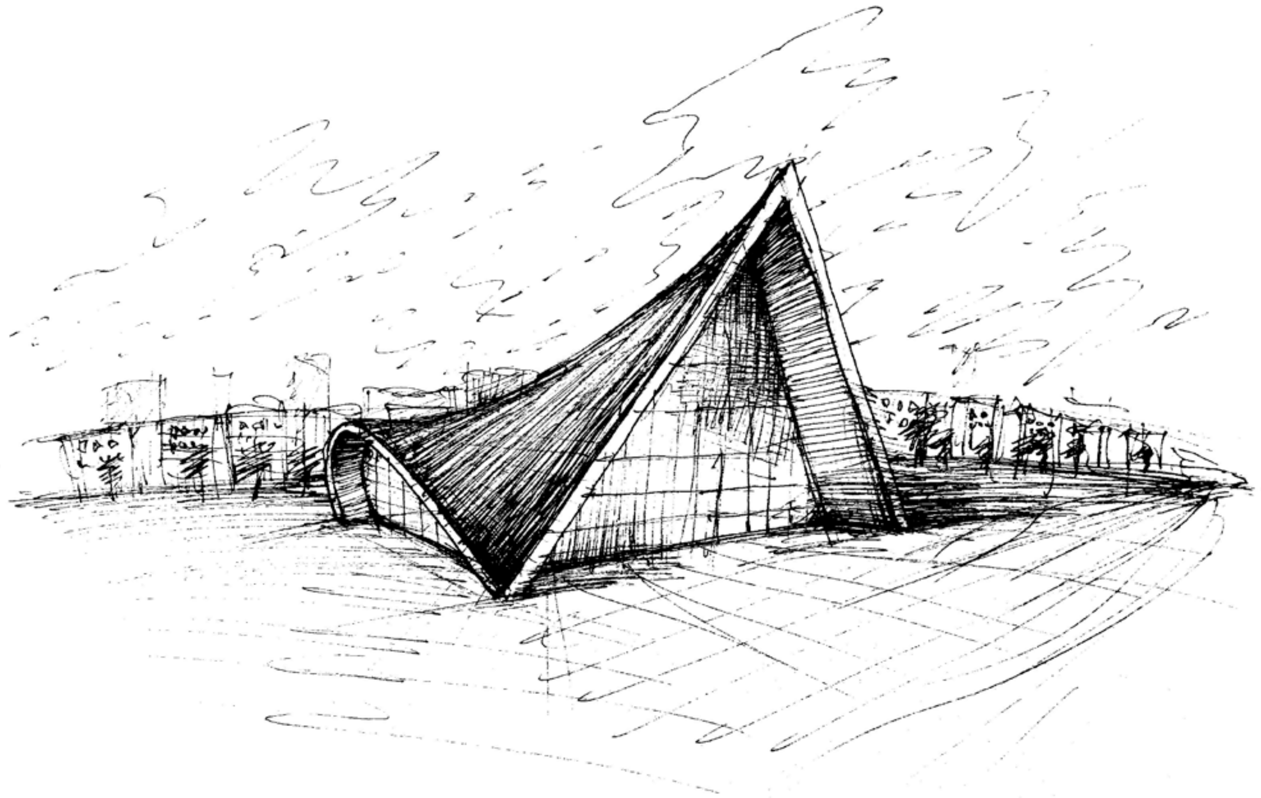
19. ábra - egy alapsíkon álló félgömb és egy egyenes összekapcsolása alapsíkon függőleges síksorral

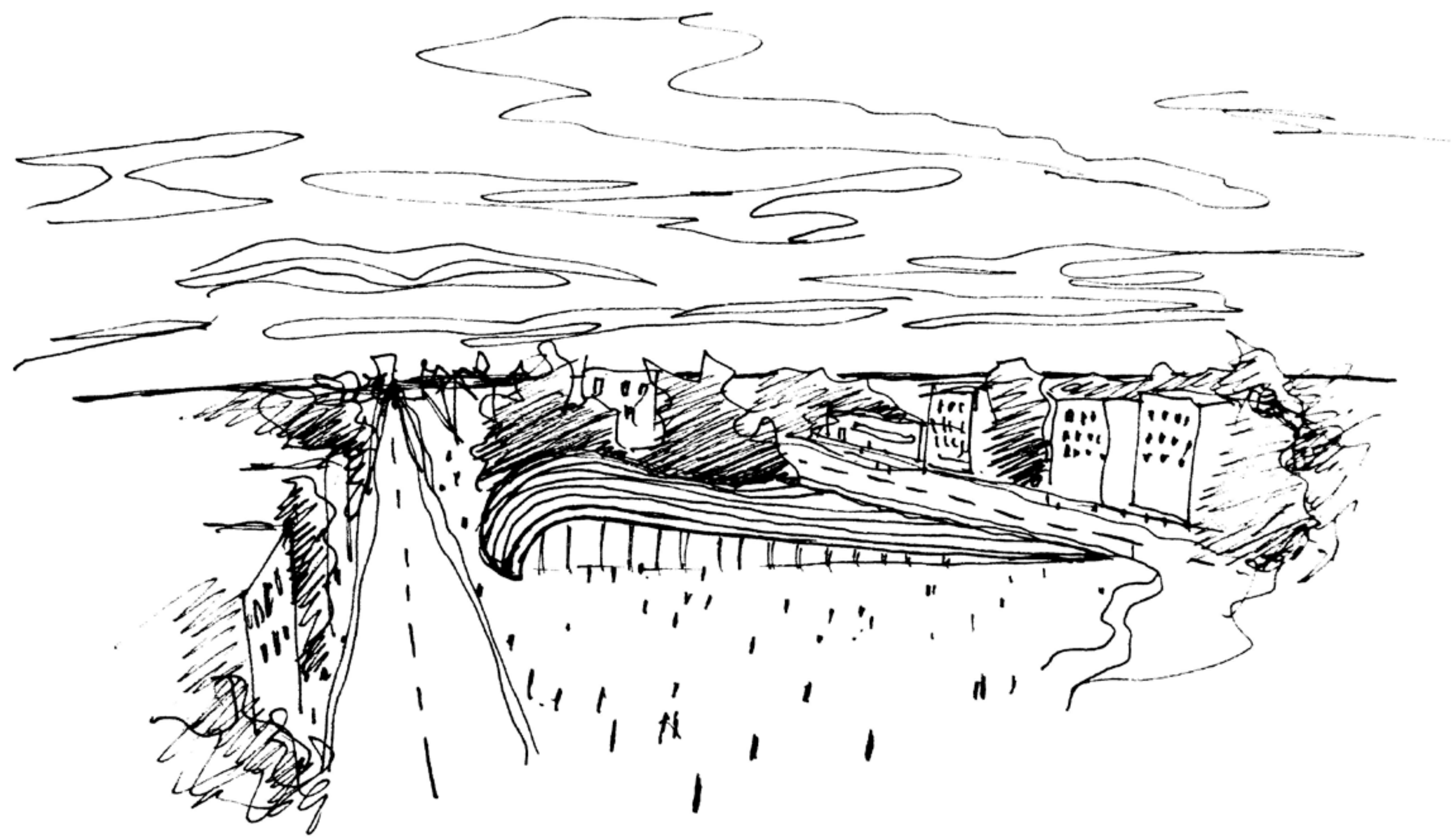


Skiccek az eddigi eredmények gyakorlati alkalmazására

Az eddigi tanulmányban sok ábrát készítettem torzfelületekről, melyek többsége, ha nem is gondosan, de lényegre törően szerkesztett, nem volt célom ugyanis, hogy minden görbét a lehető legpontosabban leírjak, a felületek geometriai tulajdonságait szerettem volna velük hitelesen érzékeltetni. A dolgozat megírása közben, a témában való elmélyüléseimben megszereztem egy olyan tudást, amit, mint leendő építész alkalmazhatok. Ezt saját építész jellegű skicceimmel szeretném bizonyítani. A rajzokat a dolgozatban megjelenő formapéldák alapján készítettem, de törekedtem az intuitív ábrázolásra, egy-egy vizuális formakeresésnél mindig igyekeztem a látványba belehelyezni a geometriát és fordítva. Azt hiszem ezek a rajzok azért is jók, mert könnyebben rávezetnek egy-egy újabb alkalmazásra, hiszen nemcsak a geometriáját látjuk a felületnek, hanem így kompletten építészeti elemként tudunk róluk elmélkedni.







Összefoglalás

A dolgozatban egy rendkívül tág fogalomkört mutattam be. A rengeteg féle formák, formaképzési eljárások közül csak egy kis részre tudtam kitérni. Ez a gazdagság, ami ebben az elméleti úton megadott formaképzésben rejlik határtalan és nyugodtan lehet mondani: csodálatos.

A torzfelületeken belül is csak azokkal a típusokkal foglalkoztam, ami számomra és talán az építészet számára érdekes lehet. A dolgozat természetes módon nem tárgyalja teljes részletességgel a torzfelületekkel való elméleti problémaköröket, sőt inkább úgy mondanám, hogy igencsak szűk problémakört vet fel, hiszen a végtelen lehetőségek egy darabját vizsgáltam csak. Ezen gondolatmenetből pedig az is sejthető, hogy a végtelen egy darabja is végtelen. Ez jó hír egy építész számára, hiszen a lehetőségei ez által abszolút nyitottak a torzfelületekkel való megformálásra. Én is ilyen lelkesedő építészhallgatóként kezdtem el formálni a világot, ami egyelőre még csak a rajzasztalomon létezik.

Azt vizsgáltam, miként lehet értelmes módon alkalmazni a torzfelületeket az építészet keretein belül. Példákat mutattam térlefedésekre, felületformálásokra. Foglalkoztam a transzverzálisokból álló torzfelületek származtatási módszereivel, de nem törekedtem a teljességre, erre főként azért volt szükség, hogy a később felületre illesztett transzverzálisokat értelmezni lehessen. Bemutattam a kreatív megformálás egyik fő eszközét a torzfelületek egymáshoz vagy más felületekhez való csatlakozását. Majd a szabadabb megformálással foglalkoztam, a torzfelületek segédelemként való alkalmazásával, amikor is már meglévő felületre illesztek rá további transzverzálisokat.

A folytonos felületátmeneteket részletesebben mutattam be, többek között a gyakran alkalmazott hiperboloidot és hiperbolikus paraboloidot csatlakoztattam felületalkotó mentén össze, ebben látok ugyanis igazán fantáziát, hiszen itt kizárólagosan egyenesekből modellezhető, megépíthető felületeket hoztam létre.

Mindegyik példa, amit bemutattam euklideszi értelemben (körzővel és vonalzóval) megszerkeszthető, ebből kifolyólag az összes megemlített, megrajzolt felületet meg lehet építeni körívekből, ellipszisívekből és egyenesekből.

Kutatásom eredményén az újabb eddig nem használt, vagy akár nem is nagyon ismert felületkombinációk alkalmazásának lehetőségét értem. Ezek mindegyike építészeti tartalommal bír amennyiben valamilyen tényleges szerkezethez rendeljük a felületeket. A modellek készítésével is a térbeli, építészeti problémára való fókuszálásra helyeztem a hangsúlyt. Igyekeztem a dolgozatot úgy felépíteni, hogy a bemutatott eredmények, vagyis a keletkezett felületek és maga a felületképzési módszerek is egy magamfajta naiv építészhallgatónak is érdekesek, megfoghatóak, de leginkább hasznosak legyenek.

Az építészeti formavilág még egyáltalán nem merült ki. Bemutatott példáim számos módszerrel továbbgondolhatóak, a torzfelületeket egyébként sem feltétlenül szükséges érintőlegesen csatlakoztatni, izgalmas lehet egy- egy jól megkomponált törés is bennük, ezek további érdekes problémákat vetnek fel, melynek megemlítésével a téma sokszínűségét igyekszem igazolni.

A geometriából fakadó források egyáltalán nincsenek teljes mértékben kiaknázva. A tudományág mélységeinek feltárása nagyban a kreatív, formaalkotó építészektől függ, ezért kell egy építésznek megismernie, megértenie és alkalmaznia azt a geometriát, amit már nagyon régen elkezdtek felfedezni elődeink.

Irodalomjegyzék

Lőrincz Pál, Dr. Petrich Géza - *Ábrázoló Geometria*.
Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1998

Pottmann, H., Asperl, A., Hofer, M., Kilian, A. - *Architectural Geometry*.
Exton, PA, USA, Bentley Institute Press, 2007

Dr. Petrich Géza - ***Ábrázoló Geometria.***
Budapest, Tankönyvkiadó, 1969

Gaudicentre
http://www.gaudicentre.cat/sites/default/files/public_files/u24/02Higher_education.pdf, (utolsó módosítás: 2013.10.19)

Curt Siegel - ***A modern építészet szerkezetformái.***
Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1998

Dr. Gilyén László - ***Szerkezet és forma az építészetben***.
Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1998

Dr. Zigány Ferenc - ***Ábrázoló Geometria*.**
Budapest, Tankönyvkiadó, 1962

Lionel March, *Philip Steadman* - ***Geometria az építészetben***.
Budapest, Műszaki Könyvkiadó,1998

Guide to the teaching resources on geometry for collaborators of the Gabinet Gaudí
http://www.lapedrera.com/lapedreraeducacio/eng/geometria_manual.pdf,(utolsó módosítás: 2013.10.19)

Képek, illusztrációk forrásai

3. oldal ***Zaha Hadid - Cultural Center Azerbaijan****: http://www.designboom.com/architecture/zaha-hadid-heydar-aliyev-cultural-center-shapes-azerbaijan/*

4. oldal ***Kameruni paraboloid ház****:*
http://www.designboom.com/architecture/musgum-earth-architecture/

Szent Péter Bazilika*: http://roma.utazni.info/*

5. oldal ***Antoni Gaudí - Sagrada Familia mennyezete****: http://www.constructionphotography.com/Details.aspx?ID=27486&TypeID=1*

Mario Botta - Cymbalista Synagogue*: http://desmena.com/?p=1037*

Perpetuum Mobile*: http://www.evolo.us/architecture/perpetuum-mobile-is-a-mobile-smoking-point-to-unite-smokers-and-non-smokers/*

Sir Robert Matthew, Johnson-Marshall and Partners, - The Parabola: *http://uk.phaidon.com/agenda/architecture/picture-galleries/2010/september/06/the-parabola/?idx=5*

Antoni Gaudí - Sagrada Familia (Konoid épület)*: http://www.american-buddha.com/provision.school.1.htm*

Santiago Calatrava - Milwaukee Art Museum: *http://arte.elpais.com.uy/santiago-calatrava-in-milwaukee*

Felix Candela – Oceanografik: *http://casabellaweb.eu/2013/03/04/felix-candela/*

14. oldal ***Guangzhou TV Tower:*** *http://forum.skyscraperpage.com/showthread.php?t=120345&page=16*

St. Aloysius Church: *http://www.metalarchitecture.com/articles/projects/religious/best-metal-roofing-divine-dwelling-soaring-roof-lines-anchored-by-devotions-create-a-church*

27. oldal ***Felix Candela - Chapel Lomas de Cuernavaca:*** *http://arki-actividad.blogspot.hu/2011/11/sobre-felix-candela.html*

8, 9, 11, 12, 14, 16, 19, 20, 22, 24, 25, 26, 27. oldalak ***Saját készítésű rajzok, modellek***