

Diplomaterv

**TARTÓSZERKEZETI
SPECIALIZÁCIÓS MUNKARÉSZ**

Ackermann Ádám

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építészmérnöki Kar

Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

2024. május 30.

konzulensek

Hegyi Dezső – tartószerkezetek

Alföldi György – építészet

Dobszay Gergely – épületszerkezetek

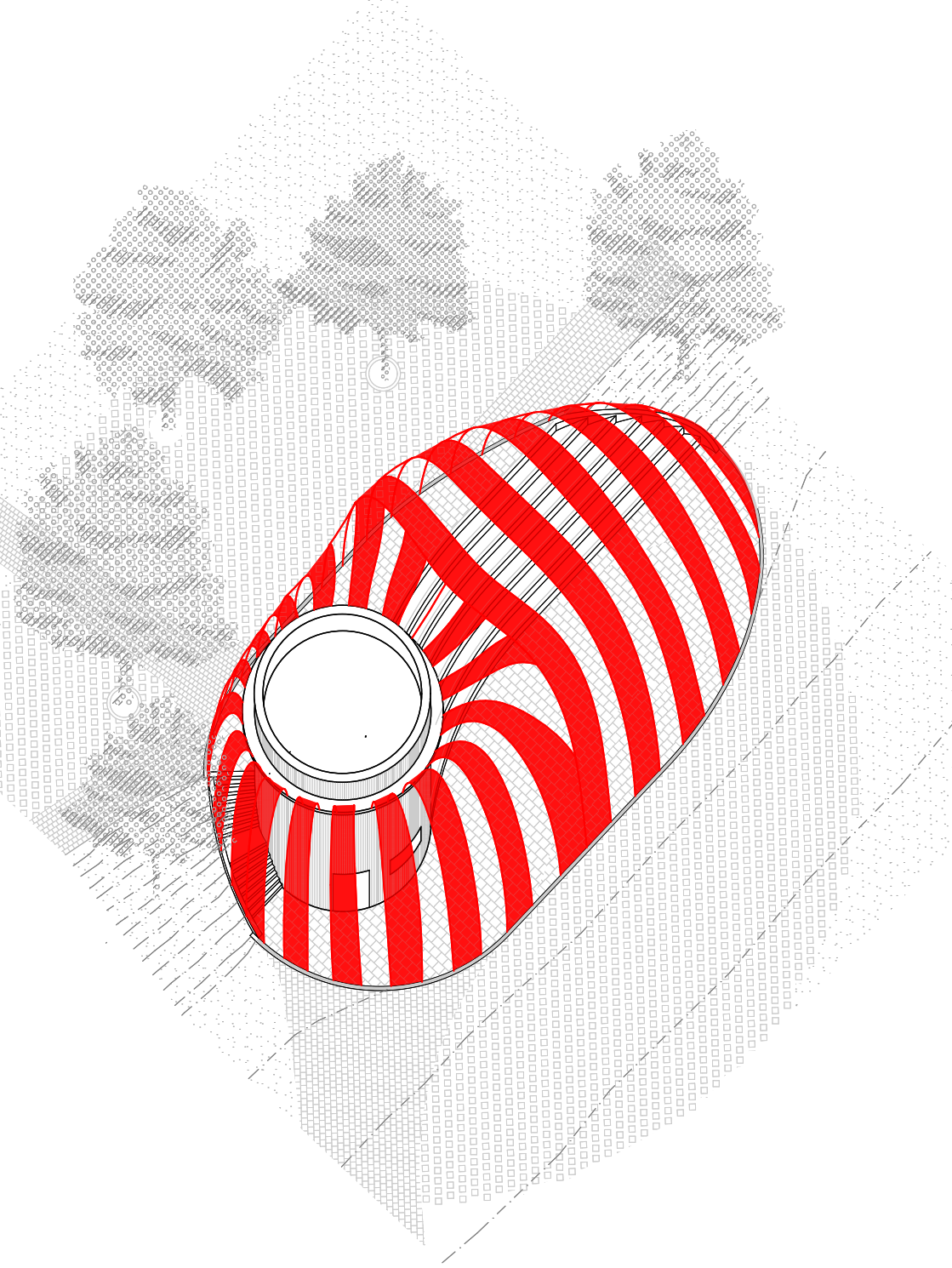
Klujber Róbert – építésmenedzsment

Koncz György – épületgépészet

•• *Miért a felfújható szerkezetek?*

*Mert elvezetnek minket egy másik világba,
gondolkodásra készítetnek minket, és
elfeledtetik velünk, amit az iskolában tanultunk.
Hogy újra önmagunkká válhassunk*••

Hans-Walter Müller



ÉPÍTÉSZETI KONCEPCIÓ

4

PNEUMATIKUS SZERKEZETEK

6

FORMAKERESÉS

14

TARTÓSZERKEZETEK

21

SZÁMÍTÁSOK

22

SZABÁSMINTA

26

● AZ ÉPÍTÉSZETI KONCEPCIÓ BEMUTATÁSA

Diplomamunkám célja egy olyan köztérfejlesztési koncepció megfogalmazása, amely rámutat a folyóparti területhasználat változására, lehetővé teszi a városiaknak ennek felismerését és odavonzza a Duna-partra az embereket. Olyan eszköztárral tervezek, amelyek segítségével széleskörű szabadidős, rekreációs és kulturális lehetőségek jöhetnek létre a használók számára. A beavatkozás helyszínének a XIII. kerületi Kijev sétány (korábban Moszkva sétány) folyóparti területét választottam. A célom, hogy a vízpart hagyományos, jellemzően nyári, szezonális használatát időben kiterjesszem (kora tavasztól késő őszig), ezért a hely teremtéshez a környezetrendezés és a szükséges állandó használatú építmények mellett olyan időszakosan üzemeltethető, pneumatikus építményt létesítek, amely lehetővé teszi a rugalmas, változó használatot és reagál a köztérhasználat ciklikusságára, a folyamatosan változó igényekre.

A helyszín

Az építési terület Budapest XIII. kerület Népfőrdő utca 2–4. alatt található önkormányzati tulajdonú beépítetlen telek. A telek a Duna hullámterében található, az elsődleges árvízvédelmi vonalon belül, ezért az építmény tervezésénél kiemelt figyelmet kell fordítani a telek helyzetéből adódó árvízveszélynek. A telket zöldterület veszi körül, nyugatról a Népfőrdő utca, keletről a vízparti gyalogos sétány határolja. A telek jól benapozott, közmű hálózati csatlakozása nem kialakított. Emellett kiemelt figyelemmel kell kezelni a tűzvédelmi és vagyonvédelmi követelményeket az alkalmazott szerkezeti rendszerből adódóan.

Funkció

A fejlesztés célja, hogy a belvárosi Dunaparton olyan infrastruktúra kiépítése, amely minimális üzemeltetési igényekkel képes kibővíteni a vízpart szabadidős, rekreációs és kulturális használati lehetőségeit a városi lakosok és turisták számára. A fővárosan jelenleg is folynak a törekvések, hogy a belvárosban szabadvízi fürdési lehetőséget teremthessenek, a projektem ehhez a koncepcióhoz is kapcsolódik olyan módon, hogy egy városi strandokra jellemző alapszintű vízparti infrastruktúrát (öltöző, ruhatár, zuhanyzó) építek ki, amelyek komfortosabbá teszik a strandolók számára az ott töltött időt. A cél, hogy a nemzetközi példákhoz hasonlóan olyan városi vízparti köztér jöjjön létre, amely fogyasztási kényszer nélküli időtöltésre ad lehetőséget. A strandfunkció mellett a strandszezonon kívüli használat céljából, az állandó építményt egy időszakos térlefedéssel és térelhatárolással, egy pneumatikus ponyvaszerkezettel bővítem ki, ami így a nyáron külső közterületből egy zárt, védett helyet hoz létre, ahol a hideg évszakokban kisebb magán- vagy nyilvános rendezvények, koncertek, mini fesztiválok kaphatnak helyet, ezzel a téli időszakban is a vízpartra csábítva a városiakat.

A projekt tehát egy állandó és egy időszakosan használt építményből áll, amelyek egymással kapcsolatban egymást kiegészítve egy egységet alkotnak.

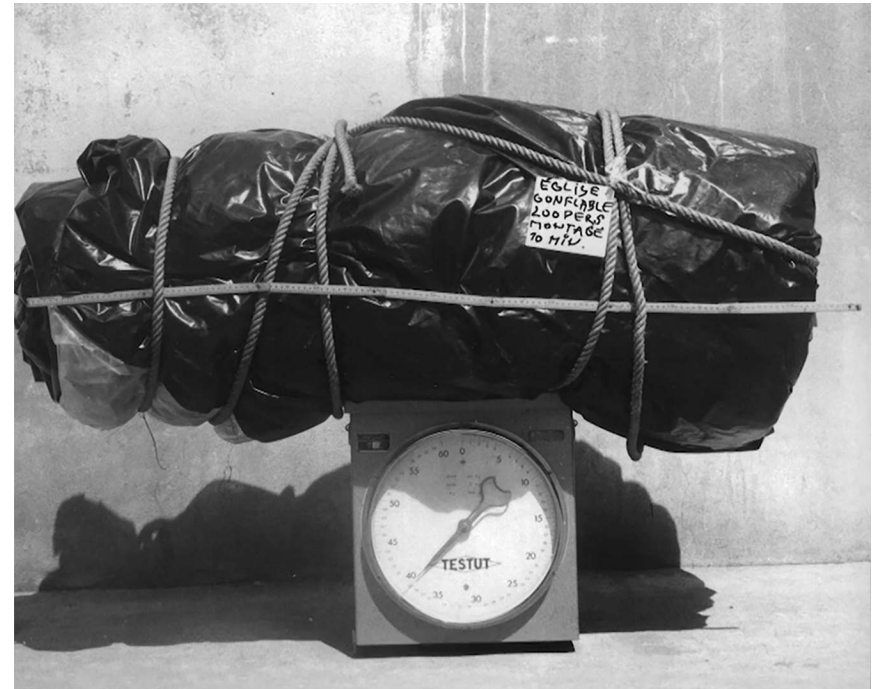
Tömeg és terep kapcsolata

Az építmény a Dunaparti telek parthoz kapcsolódó oldalán található folyóparti rézsűre illeszkedik. Az épület tömege a folyóval párhuzamosan elnyújtva alkalmazkodik a vízparti sétány vonalszerű jellegéhez és simul a vízpart természetes formakincséhez. Az állandó építmény egy tengelyek nélküli, kör alaprajzú zömök építmény, amelyet a légtartásos ponyvasátor egyedi, organikus vonalai ellensúlyoznak. A sátorlefedés technikájából adódóan a ponyvaszerkezet által lefedett tér egy összefüggő teret képez. Azzal, hogy az állandó épületet a sátor teljesen körbeveszi, az építmény tömege tagolja a belső teret. Az épült alaprajzi kontúrja alapvetően íves formákat követ, mert a légnyomással terhelt membránok számára a törések nélküli íves formák a legideálisabbak.

● PNEUMATIKUS SZERKEZETEK

A légtartásos szerkezetekre először egy fotó hívta fel a figyelmemet. A fekete-fehér képen egy mérleg látható egy ráhelyezett, összekötözött csomaggal. A mérleg 38 kilót mutat, a csomagon pedig egy kis cetlin a következő felirat olvasható: „église gonflable 200 pers montage 10 min.” (felfújható templom, 200 személy, felállítás 10 perc).

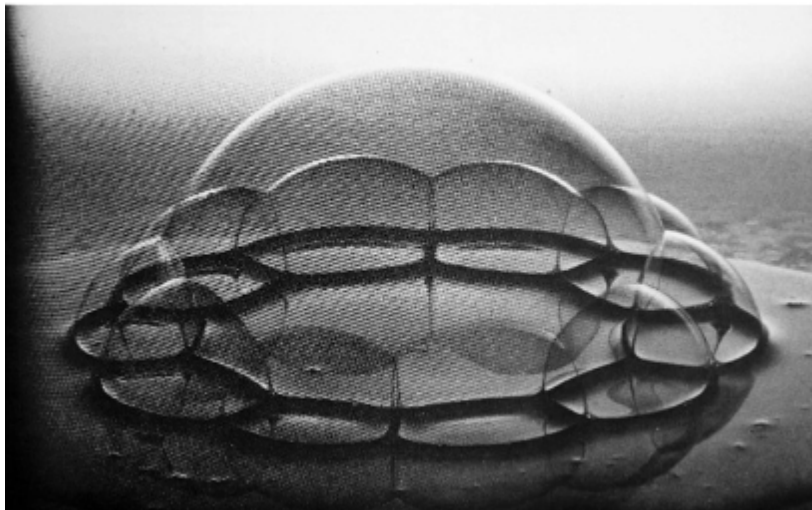
Megfogott a dolog egyszerűsége és merészsége, ahogyan a kép közölte: egy csomag ponyva olykor pillanatok alatt templommá alakulhat, majd, ha nincs többé szükség rá, bármilyen nyom nélkül összecsomagolhatjuk, és felrakhatjuk a polcra. Ezúton ismertem meg a kép és a templom készítőjének, Hans-Walter Müller építésznek a munkásságát, aki mindenekelőtt pneumatikus sátrak kutatásának és építésének szentelte praxisát. Müller építészete nagyon inspiráló volt számomra, nem csak azt mutatta meg, hogy mekkora potenciál van a felfújható építészetben, hanem azt is, hogy az építészet sokkal tágabb, színesebb lehetőségeket rejt az egyetemről ismert fal-födém-tető képletnél. A gondolat, hogy a térképzéshez elegendő egy levegővolumen körbeölelő vékony hártya, alapvetően formálta át az építészet lehetőségeiről és korlátairól alkotott korábbi elképzeléseimet.





◀ The Aerostatic Dome, London Science Museum, 1783

▼ Szappanbuborék-kísérletek



„Pneumatikusnak nevezük azokat az szerkezeteket, amelyeknél a forma kialakulását és a szerkezet stabilitását nyomáskülönbségek okozzák vagy ahhoz lényegesen hozzájárulnak.” [Frei: 1962] A légtartásos sátrak esetében a nyomáskülönbség a szerkezeten belüli levegő környezetéhez képest való megnövelésével jön létre. A nyomáskülönbség a ponyvaszerkezetben előfeszítést hoz létre, a membrán így felveszi „felfújt” formáját és képes lesz további külső hatások (pl. hőteher, szélteher) viselésére is. Légtartásos sátrak belső légnyomásának fenntartásához légtechnikai rendszerek folyamatos üzemeltetése szükséges. A sátorszerkezet membránhéjként viselkedik, ugyanis a geometriájából adódó nagy karcsúsága miatt a ponyva csak húzószilárdsággal rendelkezik, és nem alkalmas nyomaték, vagy nyíróerő felvételére. A ponyvaszerkezetek a terhek hatására nagy elmozdulással reagálnak, ami kedvezőtlen lehet funkcionális vagy a kapcsolódó szerkezetek szempontjából, ezért biztosítani kell a szerkezet alaktartását, hogy a deformációk elfogadható mértékűek maradjanak, ezt az előfeszítésből származó geometriai merevség segítségével tudjuk elérni. [Hegyí, Gáspár, Fehér: 2022] A pneumatikus szerkesztés a természetben megtalálható formáknak is az egyik alapelve. Az összefüggés nem véletlen: a pneumatikus szerkezetekkel „maximális hatékonyságra törekszünk minimális anyagfelhasználás mellett, ami a természetes tárgyakra is jellemző.” [Migayrou, Moimas: 2021] A pneumatikus szerkezeti viselkedés egyik közismert példája a szappanbuborékok, amelyek úgynevezett minimálfelületek, tehát adott esetben mindig a legkisebb felülettel rendelkező formát veszik fel. A pneumatikus szerkezetek tulajdonságait és viselkedését is többek között a szappanbuborékok megfigyelésével vizsgálják. [Frei: 1962]

A pneumatikus szerkezetek alkalmazásának története összefonódik a repülés történetével, az első hidrogén töltésű légbalonoktól kezdve napjaink kommunikációs ballonjaiig együtt fejlődött vele. Építészeti alkalmazásra először az első világháború alatt szabadalmaztattak egy légtartásos harctéri kórház típustervet, amelyen már megfigyelhetőek a légtartásos szerkezetek legfontosabb alapelemei, azonban egészen az 1960as évekig kellett várni, hogy a gyakorlatban is megjelenjenek a pneumatikus építmények. [Herzog: 1976] A gazdasági fellendülés és az anyaginnováció segítette a

technológia továbbfejlődését, és a szakma is felismerte a technológiában rejlő lehetőségeket. A pneumatikus szerkezetek építészeti alkalmazása szempontjából az 1970-es Osakai Világkiállítás megkerülhetetlen esemény volt, számos pavilon épült, amelyek a légtartásos szerkezetek legkülönfélébb alkalmazási módszereivel készültek. „A 70-es Expo-n a pneumatikus szerkezetek többé nem csupán egy egyszerű technológiai fejlődésnek tűntek, hanem az építészet átalakulását és egy új életter megjelenését hirdették” [Migayrou, Moimas: 2021]

A 70-es évek elején a pneumatikus szerkezetek egyszerre jelentették az új építőanyaggal, a műanyaggal való kísérletezés során kialakuló új építészeti programok fejlődését és a háború utáni későmodern funkcionalizmus kritikáját. Az új, szokatlan szerkezeti logika és formakincs a kor gondolkodó építészeit és radikális építész kollektíváit is megihlette, akik több kilométer fesztávú lefedéseket és lebegő városokat vizionáltak a pneumatikus szerkezetek bűvöletében.

Az Ant Farm csoport, akiknek fontos célkitűzésük volt, hogy a légtartásos sátrak kis léptékű alkalmazását széles körben elterjesszék a laikusok körében, a következőképpen írja le a légtartásos szerkezetekben való tartózkodás élményét: „hogyméért kell felfújható szerkezeteket építeni, az rögtön egyértelművé válik, amint beengeded az embereket egy ilyen térbe. A környezet szabadsága és instabilitása, amelyben a falak fokozatosan átfordulnak a mennyezetre, a mennyezet a padlóvá válik és az ajtó valahol éppen a fejünk felett úszik át a térben felszabadít egy olyan energiát, amelynek a feltörését általában a klasszikus doboz-szoba xyz-tengelyei korlátozzák. Az új-dimenziós tér többé-kevésbé azzá válik, amivé az emberek szeretnék: egy templommá, szórakozóhellyé, fullasztó kínzóeszközzé, örömkupolává. Látni egymást egy fekete-fehér-vörös-lila lufiban segíthet lebontani az egymással és saját képességeinkkel szemben felállított elképzeléseinket, és elvetheti a gondolatot, hogy bárki képes lehet rá és kell, hogy a kezébe vegye és megtapasztalja a téralkotás élményét.” [Antfarm: 1971]

Az új médium megjelenése a kor képzőművészetére, performatív művészetére is nagy hatással volt. A '70-es évek végén az olajválság és a lecsengő innovációs hullám következtében a légtartós szerkezetek alkalmazása némileg visszaszorult és elpiacosodott, széles társadalmi körben nem sikerült hosszú távú bizalmat megalapozni



▲ Evenstructure Research Group: Aqua-Airground, Amsterdam, 1972

◀ Yutaka Murata: Fuji pavilon, Expo '70, Osaka, 1970

▼ Richard Buckminster Fuller: Dome Over Manhattan, koncepció, 1960



a technológia iránt, ezért építészeti alkalmazásuk továbbra is ritkaságként, különlegességként ismert. Napjainkban az anyaginnováció és az újfajta társadalmi és környezeti kihívások okán újból növekedni látszik a pneumatikus építészet iránti szakmai és akadémiai érdeklődés, ami új perspektívákat nyithat a technológia számára. [McLean: 2014]

A kortárs közegben a pneumatikus építészet egyik legfontosabb jellemzője az ideiglenesség. A kisebb léptékű felfújható terek függetlenek a környezetüktől, könnyen installálhatóak és nem hagynak nyomot maguk után, kevés anyagot és erőforrást igényelnek, ezzel a taktikai urbanizmus hatékony eszközévé válhatnak. A Raumlabor Berlin Spacebuster projektje egy kisbusz hátuljából kinövő felfújott tér, amely segítségével a város bármely pontján, egy parkban, egy ház belső udvarán vagy egy híd alá beszorítva egy izgalmas, adaptív eseménytér hozható létre pillanatok alatt.



◀ Raumlabor: Spacebuster, New York, 2009

▶ Hans-Walter Müller: Volumen auf dem Tour de Sel, Calvi, 1995



● LÉGTARTÁSOS SZERKEZETEK FORMAKERESÉSE

Pneumatikus szerkezetek tervezése komplex feladat, amely egyaránt egyedi, a szokványos szerkezetektől eltérő formatervezési és szerkezettervezési hozzáállást követel meg az építészétől. A felfújható szerkezetek íves, kétszer görbült felületeikkel elhagyják az építészet szokványos xyz-tengelyek által meghatározott raszterhálóját. A pneumatikus szerkezet a hagyományos, térbeli építőelemekből építkező szerkezetekkel ellentétben alapvetően síkbeli elemekből épül, amelyek először az építmény felállításakor nyernek térbeli formát. A papíralapú tervezés korában ezért tervezés bevett része volt az empirikusabb, térbeli kísérletezés, vagy akár a kvázi in situ formakeresés, hiszen végérvényesen mindig a felállítás pillanatában dőlt el a szerkezet formája, azt előtte a papírokon csak közelítőleg lehetett megbecsülni. A tervezésnél két, egymással ellentétes folyamatú megközelítés lehetséges: egyrészt szolgálhat kiindulási alapul egy kívánt forma, amelyet felszabdalva, síkba kiterítve próbálunk meghatározni egy szabásmintát, amellyel a kívánt forma legtökéletesebben elkészíthető. Gondoljunk ez esetben a focilabda szabására vagy Makovecz-féle narancshámozó kísérletekre, amelyeknek célja egyaránt a gömbfelület síkbeli kiterítése. A másik, sokkal inkább kísérleti megközelítés, ha először a síkbeli elemeket határozzuk meg, a végső forma meghatározását pedig az anyagra hagyjuk.

A digitális korban kibővül a tervezőt segítő eszköztár. A digitális formakeresési eljárások segítségével lehetőség van a szerkezetek természetes viselkedésének továbbra is közelítő szimulációjára, így a digitális modellező közegben létrejön a formák térbeli kísérletezésének lehetősége. A parametrikus modellező szoftverek és vizuális programozó nyelvek gyors, egyszerű formakeresésre adnak lehetőséget, a parametrikus programnyelv lehetőséget ad a variációk hatékony gyártására, a

kísérletezésre. Habár a tervezési folyamat felgyorsul és az automatizált munkafolyamatok révén a gépi számítás megnövekedett kapacitásával és a precíz, adatvezérelt kivitelezési eljárásokkal kitágul a kivitelezhető formakincs, azonban a tervező továbbra sem teljes ura a formaalkotásnak, a tervezési folyamat továbbra is a kísérletezésre és a pneumatikus folyamatok természetes hatásait figyelembe vevő és magát azok alá rendelő attitűdön alapszik.

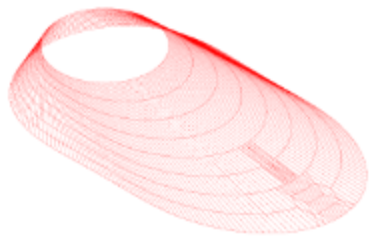
A formakereséshez a Rhinoceros modellező szoftver Grasshopper (továbbiakban GH) parametrikus modellező környezetét használtam. A GH egy vizuális programozó felület, amely elsősorban vizuális tervezők (többek között az építészek) számára jelent nagy segítséget a programozás előnyeinek kihasználásában a modellező szoftverekkel szemben. Az alkalmazásban a felhasználó node-okat helyez le a tervezői felületre, amelyek mindegyike egy meghatározott modellezési vagy egyéb parancs lehet. A node-ok input és output kapcsolási pontjait összekötve a felhasználó meghatározza az algoritmus futási sorrendjét. Egyes parancsokhoz parametrikus értékek vagy adatfák bevitelét is engedélyezik, így az algoritmus eredménye könnyen variálhatóvá válik. A GH környezet előnye, hogy az algoritmus eredménye azonnal megjelenik a modellterben, a kódolás egyes lépéseinek következményeit a felhasználó egyidőben vizuálisan is követheti. A parametrikus adatbevitel egyszerű, gyors formai kísérletezést tesz lehetővé a korai dizájn fázisban, az interfész erős vizualitása könnyíti a használatot.



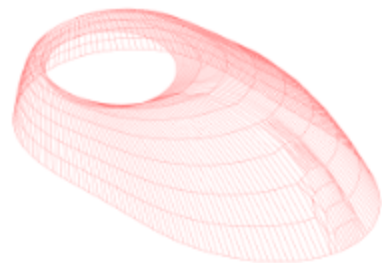
1. Peremek meghatározása



2. Felület geometriájának létrehozása



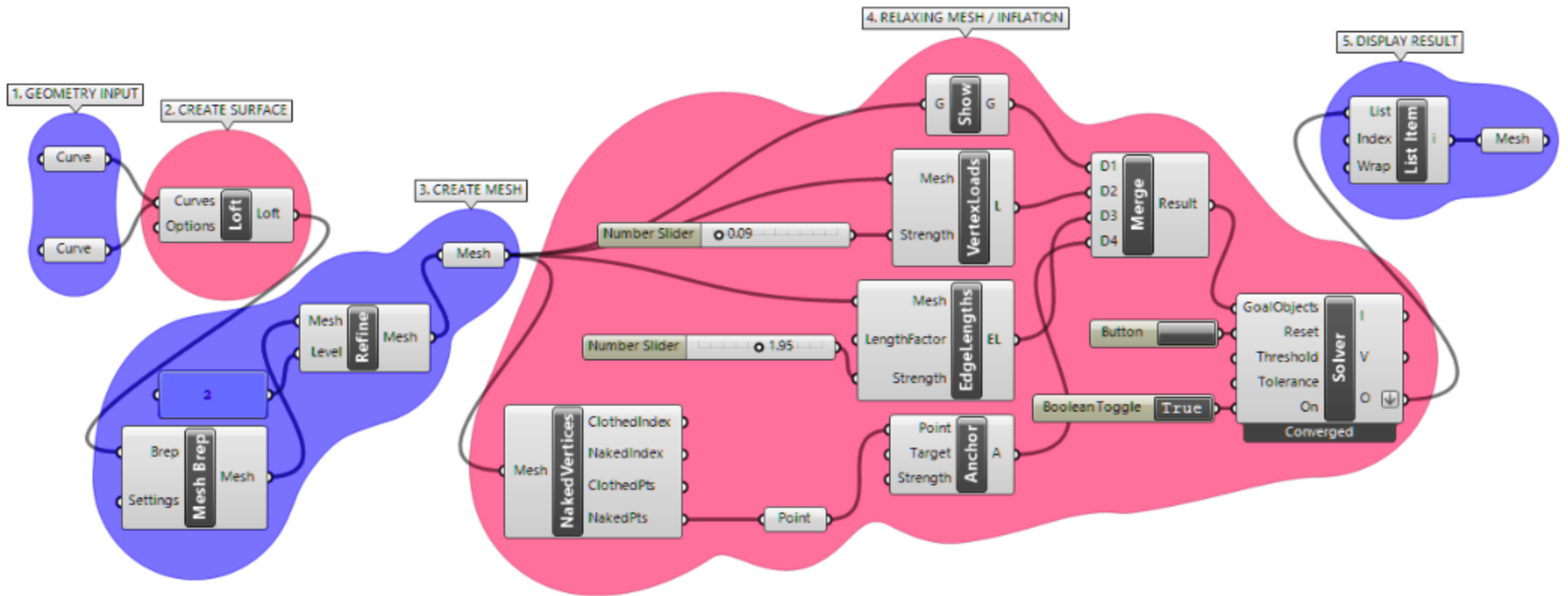
3. Felületháló generálása



4. Szimuláció

● AZ ALGORITMUS BEMUTATÁSA

A GH algoritmusom célja az volt, hogy közelítőleg meghatározhassem előre kiválasztott geometriai keretek között a légtartós sátram alakját. Az algoritmus két ív között definiált felületet manipulál úgy, hogy az egy állandó légnyomás alá helyezett ponyvaszerkezet alakját közelítse meg. Először a két ívet kell megadni, amelyek egyben a szerkezet fix, helyben maradó peremei, vonalszerű támaszai is lesznek. Ezután az algoritmus elkészíti a felületelemet, majd a felületelemet hálósan felosztja, ezzel lehetővé téve a geometria végeleemes módszerekkel való variálását, befolyásolását. Végül a Kangaroo nevű fizikai szimulációs bővítmény segítségével tetszőleges légnyomás alá helyezhetjük a hálós elemet, amely így a tehernek megfelelően elernyed és megváltoztatja az alakját. A generált végső geometriából végül kinyerhetőek a felület görbületi értékei, a felületérintők vektorai, és elkészíthető egy szabásterv is a ponyvaszerkezethez.

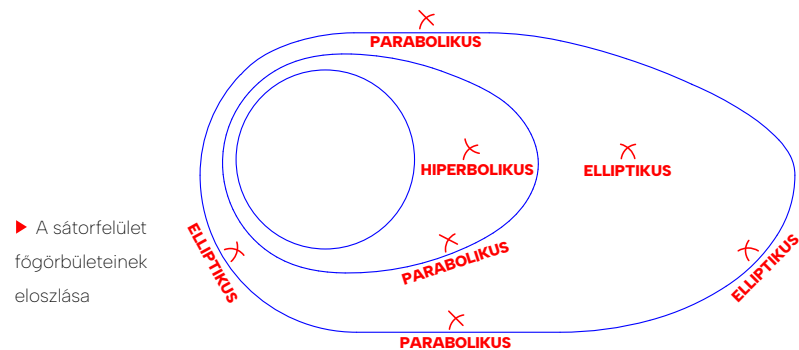


● AZ ALKALMAZOTT TARTÓSZERKEZETEK BEMUTATÁSA

Az állandó épület monolit öntöttfalas és -födémes szerkezetű. Az épület körre szerkesztett alaprajzú, a födémek a külső falra és a központosan elhelyezett gyűrű pillérre támasztanak kéttámaszú modell szerint, így a fesztáv nem haladja meg a 4 métert. A gépészeti alapvezetékek áttöréseit a talajjal érintkező falban kell kialakítani, ügyelve a vízszigetelés folytonosságára. Az öntöttfalas szerkezet merevnek tekinthető, kiegészítő merevítés nem készül.

A sátor szerkezet pneumatikus kialakítású, tehát tartószerkezeti eleme a levegő. A belső térben 1500–3000 Pascal túlnyomást kell folyamatosan fenntartani, a ponyva kis súlyának köszönhetően a túlnyomásra a ponyva kifeszül, és felfújódik. A beső légnyomást a külső mechanikus hatások (szél, hó) alapján kell szabályozni, e célból a szerkezeten a környezeti hatásokat figyelő szenzorokat kell elhelyezni. A belső levegő nyomását az állandó épület tetején elhelyezett légkezelő hozza létre és szabályozza. A légtechnika visszakötő ágába beépített automata légáram-szabályozó a kiszökő levegő mennyiségének szabályozásával állítja be a kívánt belső légnyomást.

A ponyvaszerkezet két perem mentén van rögzítve: egyrészt a terepszinten a burkolati sík alatt elhelyezett vasbeton alaptestekhez kapcsolódik, másrészt a felső peremén az állandó épület vasbeton konzolos előtetőjéhez kapcsolódik. A rögzítést folytonos módon, légtömören kell kialakítani. A ponyvában a terhek hatására membrán normálerők lépnek fel, amelyek a rögzítéseken húzóerőként lépnek fel. Az alapozás elsődleges célja a túlnyomásból származó húzóerők felvétele és a szerkezet lehorgonyozása a talajra.



● TEHERBÍRÁSI SZÁMÍTÁSOK

A légtartásos sátrat 3 esetben ellenőrizzük. Először a hőteher és a szélnyomás összegzésével meghatározzuk a szükséges belső légnyomás értékét. A mértékadó terhelést a rendkívüli hőteher- és a kiemelt hőteherkombináció vizsgálata alapján határozzuk meg. Másodsorban a ponyvaanyagot ellenőrizzük egy az atmoszféra 3%-kal megnövelt értékével megegyező belső légnyomással terhelt esetben. Harmadszor a szélszívás és a belső légnyomás terheinek összegzésével ellenőrizzük a ponyvaanyagot. A ponyvaanyagban a terhek hatására létrejövő membránerők nagysága a felületpont szorzatgörbületétől is függ, ezért, mivel az ellenőrzött sátor szerkezet felületének szorzatgörbülete az egyes pontjaiban különböző értékű, a ponyvaszerkezetet több pontjában ellenőrizzük.

Teherelemzés

- Önsúly $1 \text{ kg/m}^2 \rightarrow$ elhanyagoljuk
- hőteher $s=1,25 \cdot 0,8=1 \text{ kN/m}^2$
- szélteher $q_p=0,484 \text{ kN/m}^2$ (3. Beépítési kategória, $z=6\text{m}$)
 $q_k=0,484 \cdot 0,3=0,145 \text{ kN/m}^2$ (szélnyomás, $c_{pe}=0,3$)
 $q_{k+}=0,484 \cdot 0,7=0,338 \text{ kN/m}^2$ (szélszívás, $c_{pe}=0,7$)

$$P_1 = \gamma \cdot s + \gamma \cdot \psi_2 \cdot q_k = 1,5 \cdot 1 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,145 = 1,63 \text{ kN/m}^2$$

(kiemelt hőteher+ egyidejű szélnyomás, $\psi_2 \dots$ egyidejűségi tényező)

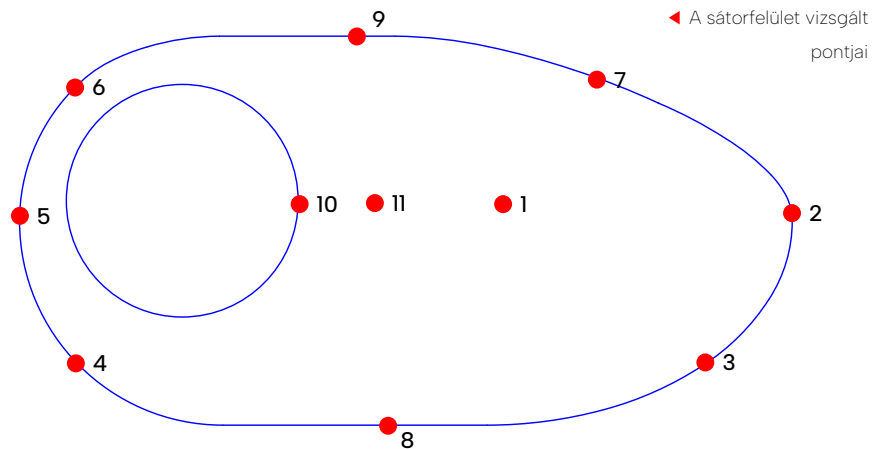
$$P_2 = \gamma_r \cdot s + \psi_1 \cdot q_k = 2 \cdot 1 + 0,2 \cdot 0,145 = 2,03 \text{ kN/m}^2$$

(rendkívüli hőteher+gyakori szélnyomás, $\psi_1 \dots$ gyakori teherszint tényező)

$$P_3 = 0,03 \cdot \text{Atm} = 3000 \text{ Pa} = 3 \text{ kN/m}^2 \quad (3\% \text{ Atm belső túlnyomás})$$

$$P_4 = 0,015 \cdot \text{Atm} + \gamma \cdot q_{k+} = 1500 \text{ Pa} + 1,5 \cdot 0,338 = 2,01 \text{ kN/m}^2$$

(1,5% Atm túlnyomás+kiemelt szélszívás)



- Belső légnyomás meghatározása kiemelt hőteher kombináció esetében

$$P_{min} = P_2 = 2,03 \text{ kN/m}^2 \quad (P_1 \text{ és } P_2 \text{ összehasonlításával a mértékadó teher } P_2)$$

A belső légnyomás legalább a P_{min} értékével megegyező kell legyen, hogy a külső terhelés ellensúlyozni tudja.

- Ponyvaszerkezet ellenőrzése 3%-os túlnyomás esetén

$$1 \text{ A} = 10^2 \text{ kN/m}^2 \quad P_{max} = P_3 = 0,03 \text{ A} = 3 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{belső légnyomás tervezési értéke})$$

A hidrosztatikus nyomás hatására a felületben ébredő membránerőket a kazánképlet segítségével számíthatjuk:

$$P = \frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} \quad (N_n \dots \text{membránerő } n \text{ irányban, } R_n \dots \text{főgörbületi sugár } n \text{ irányban})$$

A ponyvaanyag merevségét a görbületével arányosan határozzuk meg, ami a görbületi sugárral fordítottan arányos, és a merevség arányában osztjuk szét a terhet a két főirány között.

$$\frac{N_1}{R_1} = \frac{N_2}{R_2}$$

N_1 és N_2 számítható a két ismeretlenes egyenletrendszer eredményeként.

Mivel a ponyvaanyag csak húzóerőket képes felvenni, az erőket csak a pozitív görbületű irányokban lehet szétosztani, ezért a hiperbolikus és parabolikus felületpontokban a nempozitív görbületű irány nem dolgozik. A görbületek értékét a parametrikus modellből nyertem ki.

●	K1	K2	R1 [m]	R2 [m]		N1 [N/5cm]	N2 [N/5cm]
1	0,0488	0,0596	20,49	16,77	ELLIPTIKUS	1536	1257
2	0,04	0,104	25	9,61	ELLIPTIKUS	1875	720
3	0,031	0,065	32,2	15,38	ELLIPTIKUS	2410	1153
4	0,033	0,102	30,3	9,8	ELLIPTIKUS	2272	735
5	0,04	0,11	25	9,1	ELLIPTIKUS	1875	682
6	0,032	0,121	31,25	8,26	ELLIPTIKUS	2340	619
7	0,033	0,126	30,39	7,94	ELLIPTIKUS	2279	595
8	0	0,054	-	18,5	PARABOLIKUS	-	2275
9	0	0,049	-	20,4	PARABOLIKUS	-	3060
10	0,058	-0,016	17,24	-	HIPERBOLIKUS	2586	-
11	0,05	-0,016	20	-	HIPERBOLIKUS	3000	-

A ponyva szakítószilárdsága 4200 N/5 cm , MEGFELELT

- Belső légnyomás és szélszívás kombinációjának ellenőrzése

A belső légnyomás és a szélszívás terhei azonos irányuk miatt összeadódnak, egy ilyen esetet vizsgálunk. A belső légnyomást 1,5%-os túlnyomásként határozzuk meg.

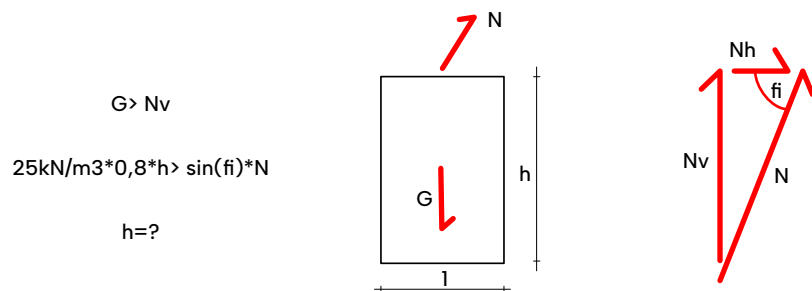
$$P_{max} = P_4 = 1,5 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 0,338 = 2,01 \text{ kN/m}^2$$

●	K1	K2	R1 [m]	R2 [m]		N1 [N/5cm]	N2 [N/5cm]
1	0,0488	0,0596	20,49	16,77	ELLIPTIKUS	1029	842
2	0,04	0,104	25	9,61	ELLIPTIKUS	1256	483
3	0,031	0,065	32,2	15,38	ELLIPTIKUS	1618	773
4	0,033	0,102	30,3	9,8	ELLIPTIKUS	1522	492
5	0,04	0,11	25	9,1	ELLIPTIKUS	1256	457
6	0,032	0,121	31,25	8,26	ELLIPTIKUS	1570	415
7	0,033	0,126	30,39	7,94	ELLIPTIKUS	1527	399
8	0	0,054	-	18,5	PARABOLIKUS	-	1859
9	0	0,049	-	20,4	PARABOLIKUS	-	2050
10	0,058	-0,016	17,24	-	HIPERBOLIKUS	1732	-
11	0,05	-0,016	20	-	HIPERBOLIKUS	2010	-

A ponyva szakítószilárdsága 4200 N/5 cm , MEGFELELT

● Alaptest méretének meghatározása

A ponyva belső erői az alaptestre húzóerővel hatnak. A húzóerő függőleges komponensét az alaptest önsúlyával terheljük le. Ez alapján határozzuk meg a perem mentén az alaptest szükséges magasságát.



●	N [N/5cm]	fi[°]	Nv[kN/m]	h,szüks [m]	h,alk [m]
2	1875	44,2	26,14	1,04	1,20
3	2410	49,3	36,54	1,46	1,60
8	2275	60	39,4	1,57	1,60
4	2272	71,8	43,16	1,72	1,80
5	1875	80,5	36,98	1,48	1,60
6	2340	81,7	46,31	1,85	2,00
9	3060	66,6	56,16	2,24	2,40
7	2279	42,6	30,82	1,23	1,40

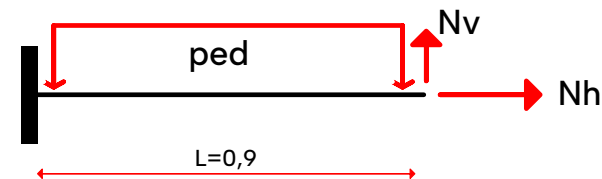
● Lemezkonzol vasalásának tervezése

Ponyva terhei

$N = 2586 \text{ N/5cm}$ $\alpha = 10,1^\circ$ $N_v = 9,07 \text{ kN/m}$ $N_h = 50,91 \text{ kN/m}$

Lemez terhei

$ped = 1,35 \cdot (25 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,05) + 1,5 \cdot 0,4 + 2 = 8,2 \text{ kN/m}^2$



$M_a = 8,2 \cdot 0,9^2 / 2 - 9,07 \cdot 0,9 = -4,84 \text{ kNm/m}$ befogási nyomaték sátorral

$M_a = 8,2 \cdot 0,9^2 / 2 = 3,32 \text{ kNm/m}$ sátor nélkül

Vasalás tervezése húzásra

$N_{ed} = 50,91 \text{ kN/m}$

$N_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot 435 \rightarrow A_{s,szüks} = 117 \text{ mm}^2/\text{m}$

Legnagyobb megengedett vastávolság $\rightarrow s_{max} = \min(2 \cdot h, 300) = 300 \text{ mm}$

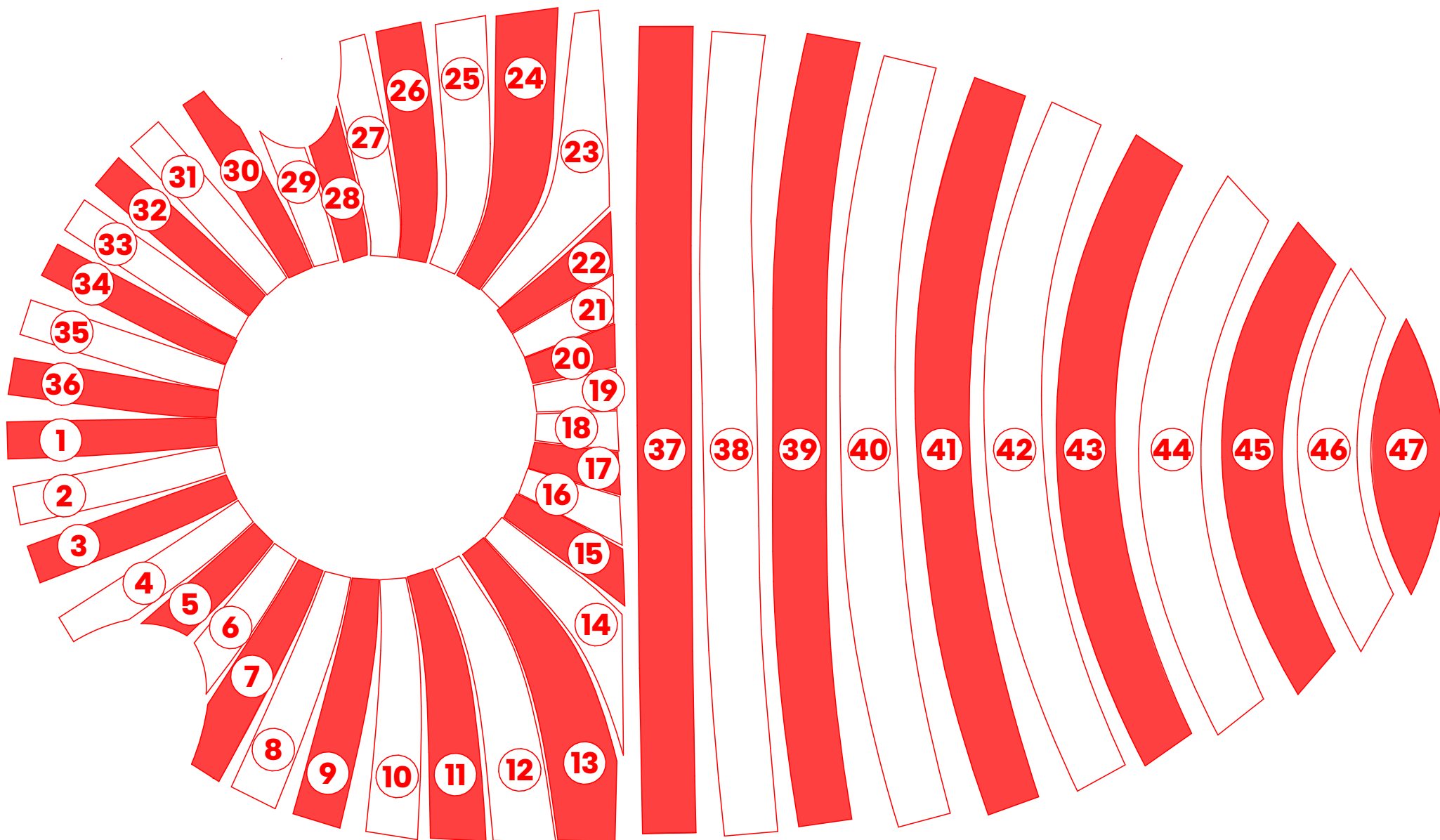
Alkalmazott vasalás $\rightarrow f_8/300 \quad A_{s,alk} = 168 \text{ mm}^2/\text{m}$

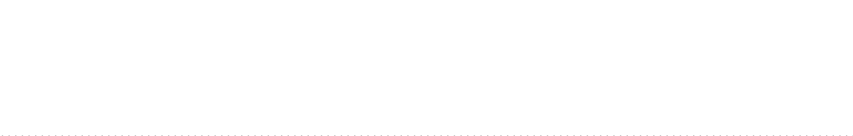
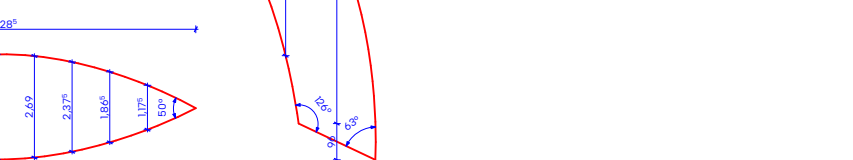
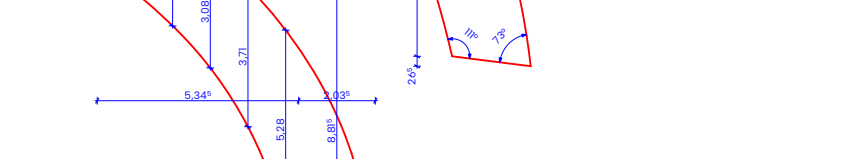
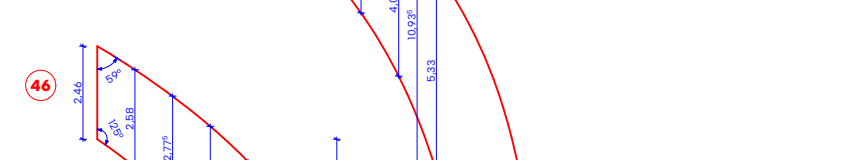
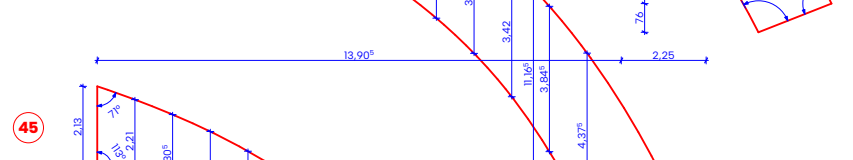
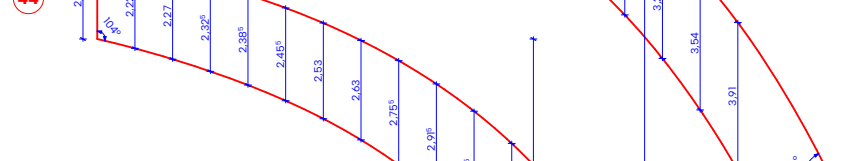
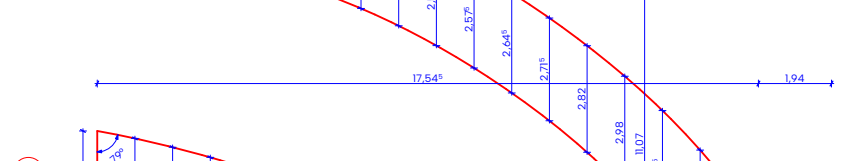
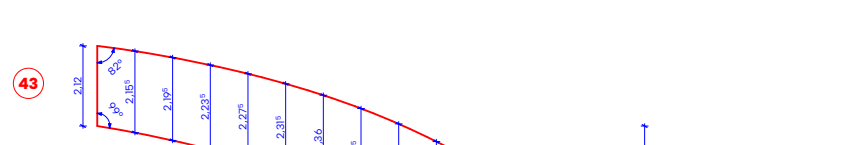
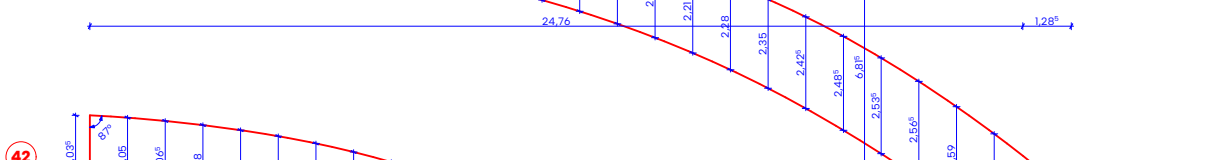
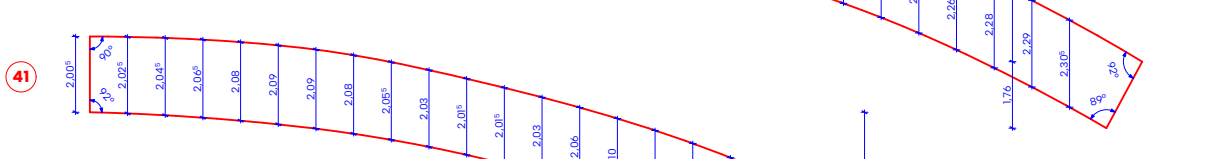
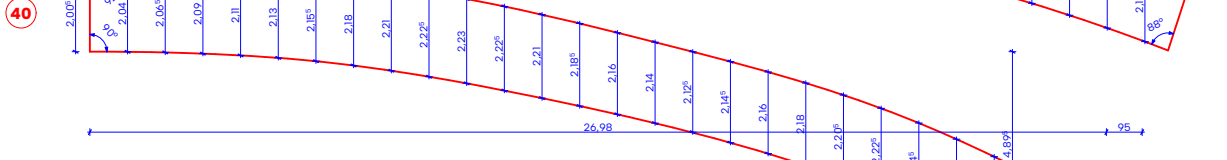
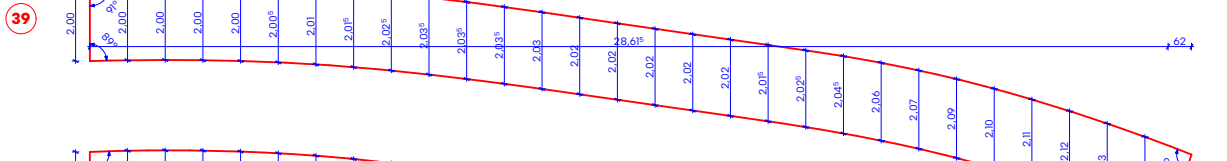
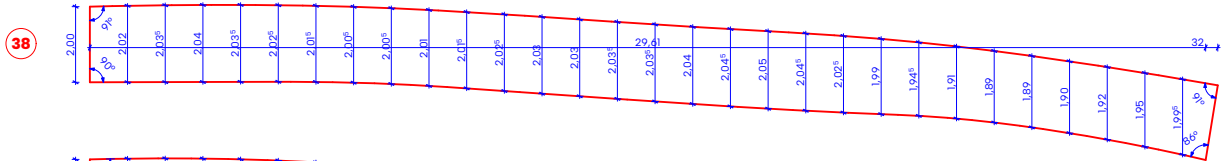
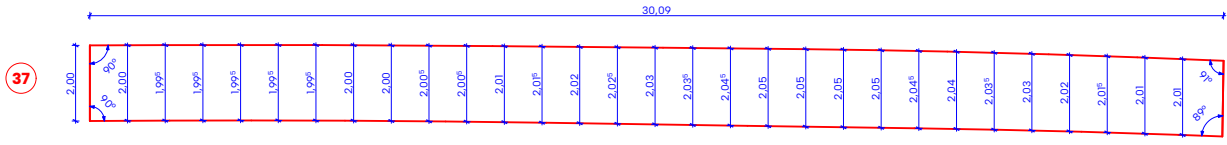
Ellenőrzés hajlításra

$A_s = 168 \text{ mm}^2/\text{m}$

$f_{cd} \cdot x_c \cdot b - A_s \cdot f_{yd} = 0 \rightarrow x_c = 5,5 \text{ mm}$

$M_{rd} = f_{cd} \cdot x_c \cdot b \cdot (d - x_c / 2) = 9,01 \text{ kNm/m} > 4,84 \text{ kNm/m}$ MEGFELELT





● FORRÁSJEGYZÉK

- HEGYI, Dezső, GÁSPÁR, Orsolya, FEHÉR, Eszter (2022): Különleges Tartószerkezetek, Terc kiadó, Budapest.
- MIGAYROU, Frédéric, MOIMAS, Valentina (2021): AERODREAM – Architecture, art et design gonflable, Éditions HYX, Orléans.
- MCLEAN, Will (2014): Air Apparent: Pneumatic Structures, The Architectural Review
- HERZOG, Thomas (1976): Pneumatic Structures– A Handbook for the Architect and Engineer, Verlag Gerd Hatje, Stuttgart.
- FREI, Otto (1962): Zugbeanspruchte Konstruktionen, Band 1, Ullstein Fachverlag, Berlin.
- STÜRZL, Robert (2022): Hans-Walter Müller und das lebendige Haus, Spector Books, Leipzig.
- ANTFARM (1971): Inflatocookbook, San Francisco.



urb/bme



Építész
Szakkollégium
EASA
Magyarország



AÁ