

Szerkezetek tervezése parametrikus környezetben

Structural design in a parametric environment

KIS Ádám

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar. Kolozsvár, Románia
Tel: +40741650698. E-mail: Adam.Kis@student.utcluj.ro

Abstract

Nowadays, parametric design and various simulation methods are gaining ground in almost every engineering and creative profession. The paper investigates the practical applicability of the combination of these methods, by analysing a specific freeform structure with Grasshopper 3D and OpenFOAM, highlighting the new perspectives that are opening up in the field of structural design.

Keywords: parametric structural design, grasshopper 3D, wind simulation

Kivonat

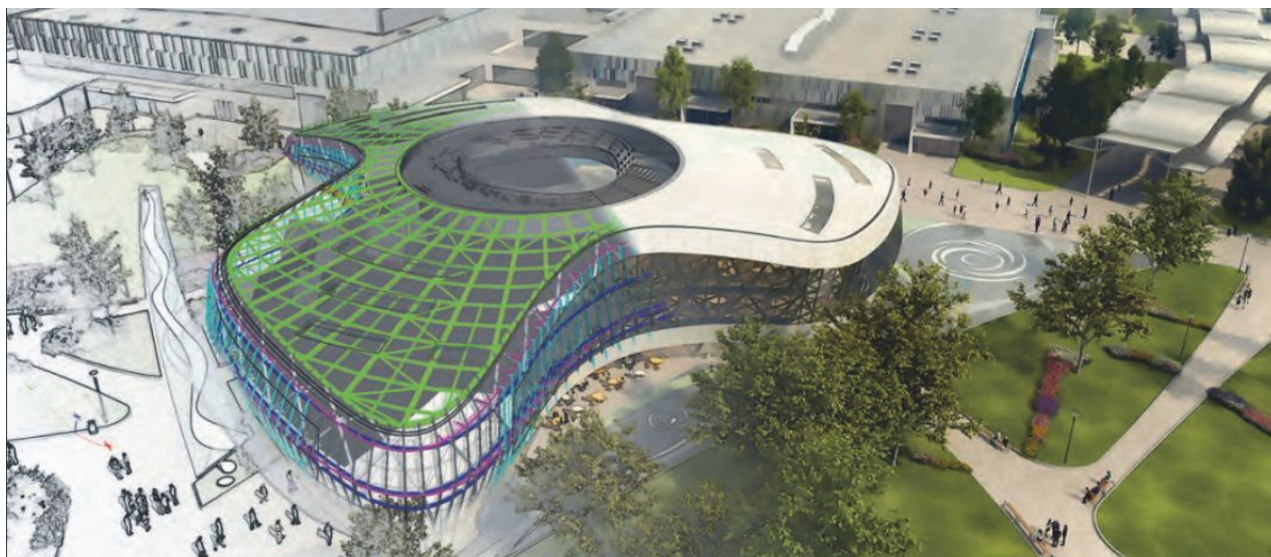
Napjainkban gyakorlatilag minden mérnöki és alkotói szakmában egyre nagyobb teret hódít a parametrikus tervezés és a különböző szimulációs módszerek. A tanulmány ezen módszerek kombinálásának gyakorlati alkalmazhatóságát kutatja egy szabadformájú szerkezet vizsgálata során (Grasshopper 3D és OpenFoam szoftverek használatával), és bemutatja milyen új távlatok nyílnak meg a szerkezettervezés terén.

Kulcsszavak: parametrikus tartószerkezet tervezés, grasshopper 3D, szélszimuláció

1. BEVEZETŐ

A hagyományos tervezés, a különböző szabványok figyelembevétele/alkalmazása esetén rengeteg, empirikus úton bevezetett biztonsági tényezők és statisztikai megközelítések használatán alapul. Ennek következtében gyakran a vizsgálandó épületek geometriai kialakítása, illetve a rá ható terhek olyan szinten változhatnak az egyszerűsítések következtében - kiváltképp, ha a szerkezet geometriája szabadformájú, melyet a szokásos eszköztárral gyakorlatilag lehetetlen pontosan modellezni és ezáltal elemezni - hogy a valóságtól való elrugaszkodás jogos aggodalmat okozhat egy szerkezettervező számára.

Pedig a jelenkor építészetének fő vonásaihoz tartozik a merész, mégis könnyednek ható formavilág, egyre gyakrabban találkozhatunk úgynevezett free-form (szabadformájú) szerkezetekkel mely komoly szakismeret igénylő feladatokkal látja el a szerkezettervezőket. Mérnökileg megfontoltan, de tudni kell reagálni a fent említett igényekre is. Egy parametrikus környezet azonban segítséget nyújt a mérnök számára egy kontrollálható modell megalkotásában. A Rhino 3D nevű CAD szoftverbe beépülő Grasshopper nevű modul talán a legrugalmasabb ilyen típusú modellező eszköz [1]. A saját vizuális programozói nyelve lehetővé teszi az úgynevezett algoritmikus modellezést, mely manapság kulcsfontosságú bizonyos tervezési folyamatok hatékonyságnövelésének szempontjából.

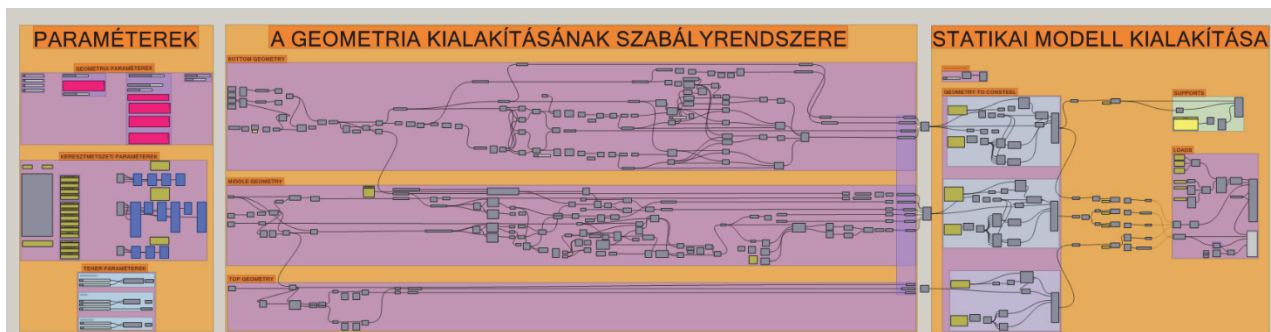


1. ábra. A budapesti Hungexpo Kongresszusi és Kiállítási Központ fogadóépületének statikai rúdvázmodellje (bal oldal) és építészeti látványterve (jobb oldal)

A fenti 1. ábrán is látható acélszerkezet tervezésekor, a statikai rúdvázmodell kialakításától és analizálásától kezdve, a főszerkezet és a másodlagos, burkolati szerkezetet gyártmánytervezésén át, egészen a gyártás- és szereléstámogatásig, gyakorlatilag mindenhol bevezethető volt és nagymértékű hatékonyságot mutatott a parametrikus rendszerszintű gondolkodás [2,3], melyet a tanulmány bővebben taglal a továbbiakban. A szerkezetre ható terhek vizsgálatokor szélszimulációs módszerek használatára is sor került, amely a fő témáját képezi a tanulmánynak. Általánosságban azonban kijelenthetjük, hogy a fenti módszerek/eszközök, elsősorban a szimulációk, a többi iparággal ellentétben, korántsem elterjedtek az építőiparban, főleg nem a szerkezettervezők esetében. Pedig a 2D, majd 3D-s modellezői technikák után ebben rejlik talán a legnagyobb kiaknázatlan potenciál a szerkezettervezés jövőjét tekintve.

2. A VIZSGÁLT SZERKEZET PARAMETRIKUS TERVEZÉSE

Általánosságban a parametrikus tervezés egy megfontoltan felépített szabályrendszerű kódsort igényel (2. ábra). Ehhez pedig mindenekelőtt a bizonyos korlátok és szélsőséges esetek meghatározása és az alapvető koncepcionális elvek tisztázása szükséges, azaz a paraméterek leszögezése. Ezt követi az adatok feldolgozása, mely jelenthet méretezést, modellezést, vagy éppen gyártmánytervezést.



2. ábra. Példa egy Grasshopperben kialakított parametrikus kódsorra a vizsgált szerkezet esetén

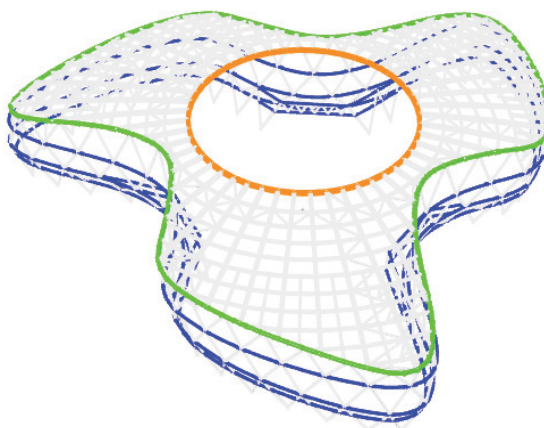
2.1. A szerkezet rövid bemutatása

Az vizsgált épület a funkcionalitását tekintve a Budapesti Kongresszusi és Kiállítási Központ iroda- helyiségekkel és bemutatótermekkel ellátott fogadócsarnoka. A rácsszerkezetű homlokzat egyediségét a

háromszintes, eltérő alapterületű beton tartószerkezethez való igazodása adja, míg a tetőszerkezet különleges alakját a gömbfelületre illeszkedés biztosítja.

Építészeti oldalról a tervezett acélszerkezet geometriája alapvetően a következő rögzített elemekhez igazodik, tehát ezek szerint rendeződik későbbiekben a teljes szerkezet (3. ábra):

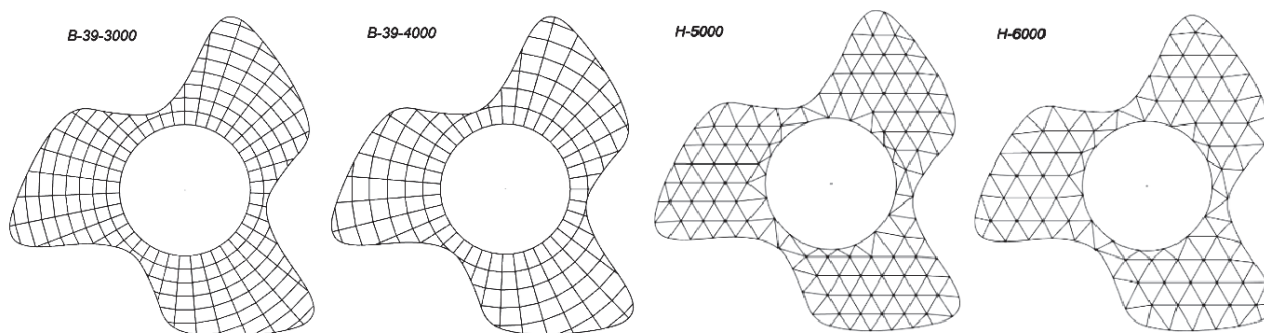
- A forgásszimmetrikus, magasságilag konstans, szintenként eltérő homlokzati peremgyűrű (kék);
- Szintén forgásszimmetrikus, de a gömbfelületre illeszkedés következtében magasságilag eltérő, külső tető peremgyűrű (zöld);
- Vízszintes, kör alakú, belső peremgyűrű (narancssárga).



3. ábra. A végleges statikai rúdvázmodell, színekkel kiemelve az építészeti alape geometria

2.2. A végleges rúdvázmodell kialakítása és használata a munkafolyamatok során

Tartószerkezet-tervezői oldalról tehát a geometriai korlátok mellett kell igazodni a tartószerkezet teherbírási, gyárthatósági és szerelhetőségi korlátaival. A bemutatott tetőszerkezet teherhordási rendszerének kialakítása, azaz a rácsosítása és szegmentálása így a szerkezettervező mérnök elsődleges feladata volt, a teljes acélszerkezet globális statikai ellenőrzései és a csomópontok számításai mellett. Több szerkezeti kialakítás (4. ábra) is felmerült, ezek vizsgálata szintén parametrikus úton történt [4] a következő szempontok szerint: össztömeg, teherbírás, stabilitás, lehajlás és a csomóponti komplexitás (egyedi- és típuscsomópontok száma).



4. ábra. Tetőszerkezet kiosztás koncepciók. Sugárirányú tartókkal és háromszög rácsoszással

A vizsgálatokat követően kialakult a végleges tetőszerkezet, ahol a külső és a belső peremgyűrűket radiális síkban ívesített főtartók kötik össze, melyek hagyományos kéttámaszú tartóként viselkednek. A főtartókat egymás között koncentrikus körök formájában egyenes szegmensű nyomórudak kötik össze. A kialakuló mezők helyenként merevítésekkel és másodlagos radiális tartókkal vannak megerősítve (3. ábra).

Összességében tehát a szerkezet tervezése során a Grasshopperben folytatott munka kiemelt fontossággal bírt, ugyanis általa vált vezérelhetővé a teljes munkafolyamat, ahol a kulcs a tervezést segítő szoftverek összehangolása/összekapcsolhatósága (5. ábra).

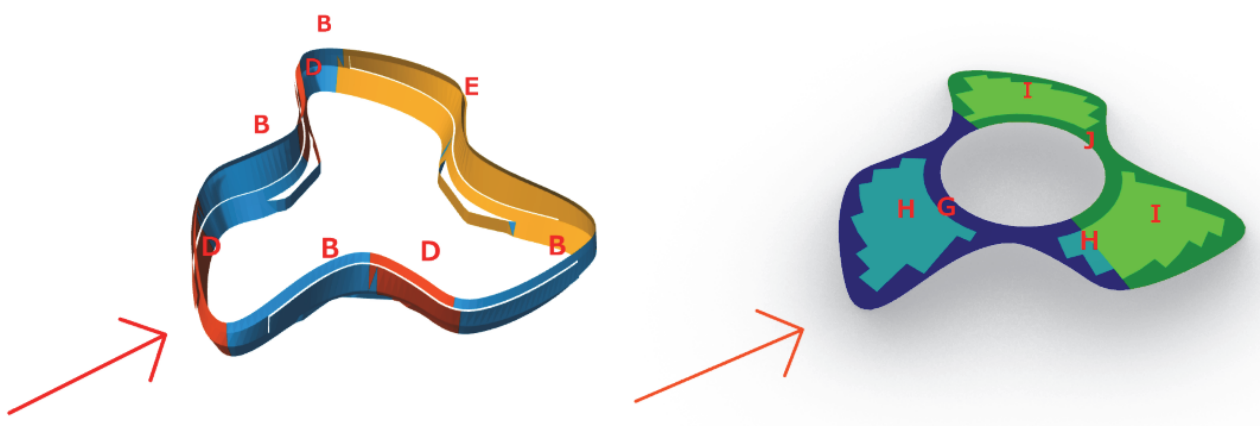
Ebben az adatáramlások alapuló tervezési munkafolyamatban a Grasshopper, mint gócpont, biztosította a bemenő adatokat előmérétezők (Karamba bővítmény), a terhek felvételek és ellenőrzések szél-szimuláció útján (OpenFOAM), a statikai vizsgálatok során (ConSteel), a csomóponti méretezők (IDEA Statica) és a gyártmánytervezők is (Tekla Structures).



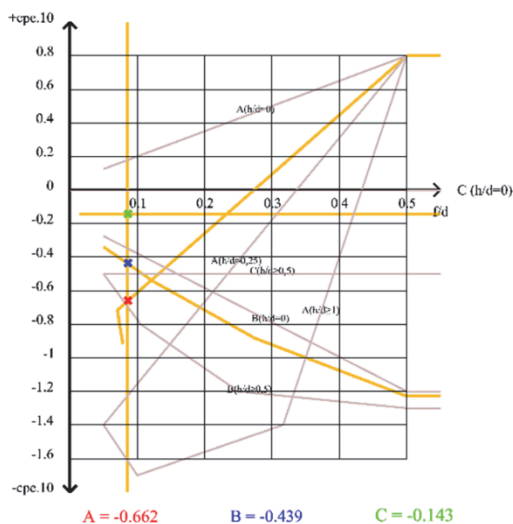
5. ábra. Tervezési folyamatábra

2.2. Szélterhek felvétele parametrikus úton

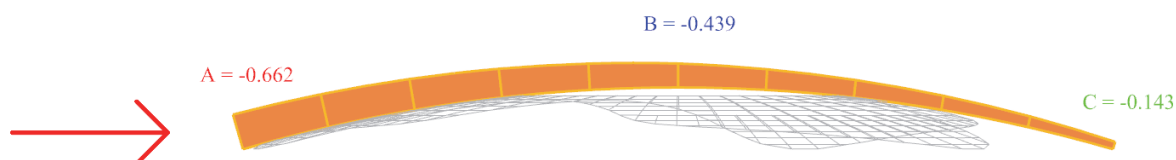
A már bemutatott szerkezet esetén a szabvány [5,6] módszereit figyelembe véve a fő kihívást értelem-szerűen a megfelelő külső nyomási tényezők meghatározása jelenti. A homlokzatra ható szélterhek vizsgálata esetén csak egy intuitív elv mentén különíthetők el a szélzónák, mivel a szabvány csak függőleges és téglalap alapterületű falak esetén nyújt útmutatást. Az nyilvánvaló, hogy minimum 3 típusú zóna elkülönítése indokolt: a szélre merőlegesnek tekinthető szélátamta oldalak, a szélárnyékos oldalak, illetve a szívott oldalsó szakasz. Mivel a burkolat geometriája kiszerkesztésre került parametrikusan, az így képzett paneleket tekinthetjük direkt teherátadó felületeknek is. Minden egyes panelt kettéosztva, háromszögek keletkeznek, melyek már egy olyan síkot definiálnak, aminek a normál vektora alapján eldönthető, hogy adott szélirány esetén milyen szélzónák keletkeznek (6. ábra bal oldal). A tető esetén is a szabvány csak néhány szabályos geometriát taglal: lapos tetők, különböző nyeregtetők, donga alakú tetők, kupolák stb. A szerkezet relatív alacsony tetőmeredek-ségéből adódóan „ráerőltethetőek” egy ívesen lekerekített lapostetőhöz tartozó nyomási tényezők, vagy akár egy nyeregtető nyomási tényezői is. A biztonság javára, az utóbbi esetet vizsgálva és egy 5°-os tetőnek megfelelő nyomási tényezőket figyelembe véve a szerkezeten a 6. ábrán jobb oldalt látható nyomáseloszlás felté-telezhető. Ez természetesen több szempontból is erősen vitatható.



6. ábra. Külső nyomási tényezők a homlokzaton (bal) és a tetőn (jobb). Szabvány szerinti megközelítés

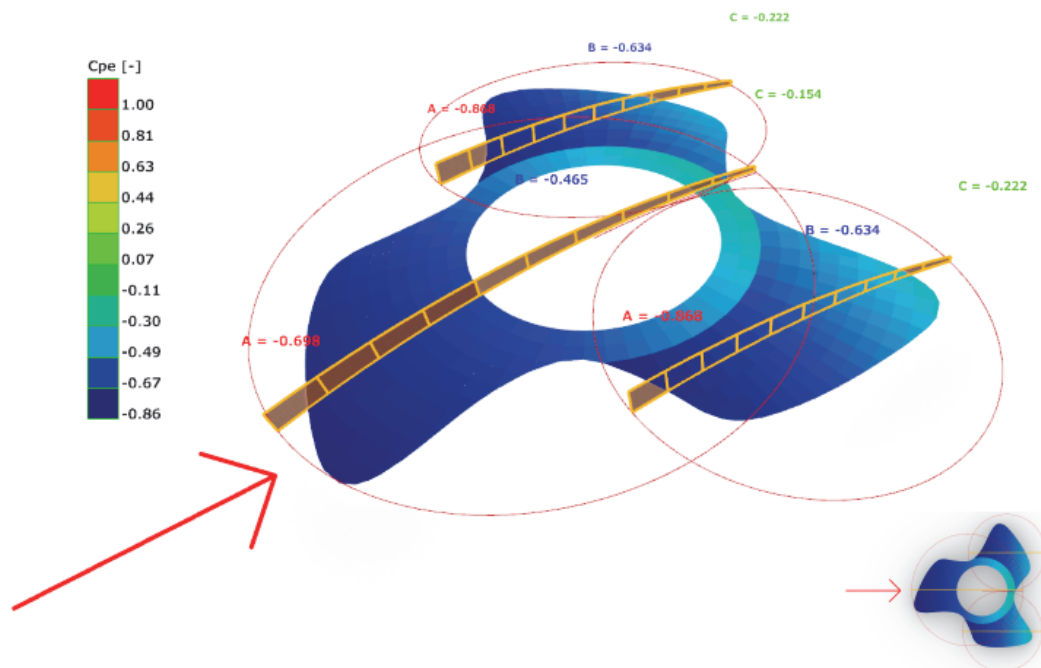


7. ábra. Kupolák nyomási tényezőit meghatározó függvény



8. ábra. A nyomási tényezők alapján kigenerált diagram

Ezt felhasználva indokoltabb több szegmensre bontani a szerkezetet, azaz több részfelület köré írt kör esetére adjuk meg a nyomási tényezőket (9. ábra). Ez esetben értelemszerűen különböző átmérőjű részszerkezeteket kell, hogy feltételezni.

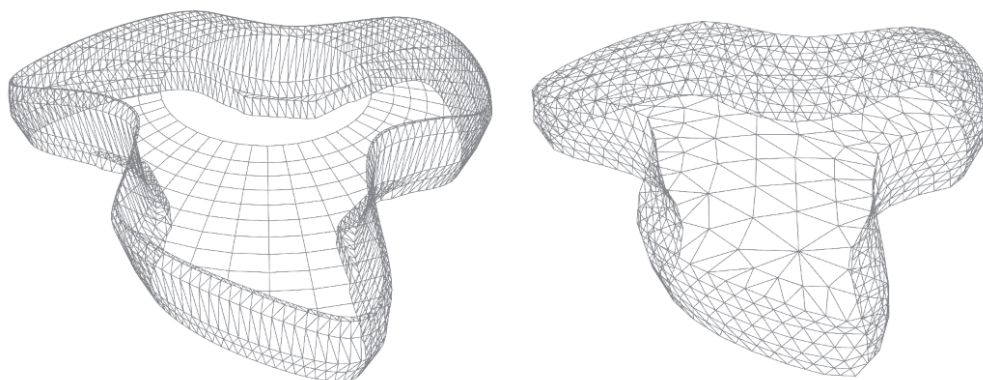


9. ábra. Nyomási tényezők a tetőn

A nyomáseloszlások helyes felvételéhez azonban indokolt szélszimulációs vizsgálatok útján is megvizsgálni a szerkezetet. A Grasshopper modell ilyen irányba is bővíthető, lehetőséget van például az OpenFOAM [7] nevű szimulációs eszköztár beépítésére és használatára. Egy CFD alapú szimuláció előkészítéséhez az alábbi fő lépéseket különíthetjük el:

- Bemeneti paraméterek megadása (a torlónyomás csúcserkének megfelelő szélesség $v_p(z)$, szélirány, érdességi hossz z_0 , az áramlási közeg geometriai peremfeltételei [8] stb.)
- Elő-hálógenerálási folyamatok („előmeshelés”)
- Turbulencia modell kiválasztása
- Solver (megoldóalgoritmus) kiválasztása

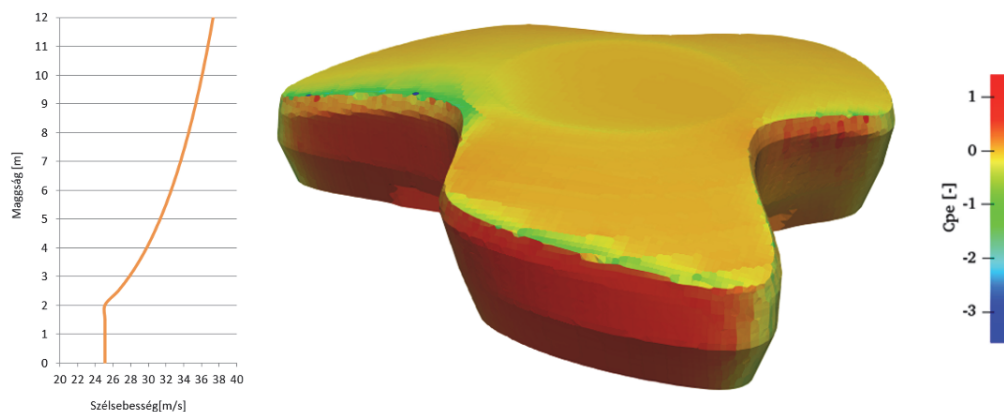
Az effektív szélszimuláció előtti leglényegesebb feladat a vizsgált épület és a körülötte lévő áramlási tartomány megfelelő végeselemre bontása. Ezt hálógenerálásnak, vagy meshelésnek nevezzük és bizonyos kritériumoknak kell megfelelnie az érvényes és következésképpen pontos megoldás, vagy eredmény biztosításához. Az alapvető vagy előzetes hálógenerálást végezhetjük manuálisan, ami jelen tanulmány esetén Grasshopperen belül kialakított elvek alapján történt, annak érdekében, hogy a kinyert felületi nyomásértékek a megfelelő pozíciókba álljanak rendelkezésünkre az igénybevétellel konvertáláskor (10. ábra).



10. ábra. Az előháló generálásának eredményei

A különböző turbulenciamodellek és megoldóalgoritmusok, vagy solverok, mind sajátos elvek mentén feltételezik az áramló közeget és a benne lévő testeket. A leggyakrabban [9] és ez esetben is alkalmazott turbulencia-moddell a „k”, kinetikus energia és az „ε” energiaeoszlási sebesség parciális differenciálegyenleteit oldja meg (k- ε), míg solverként a SimpleFoam nevű (SIMPLE = Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) lett kiválasztva. Ez esetben a szimuláció az alábbi körülményeket feltételezi:

- Összenyomhatatlan, merev testek
- Turbulens áramlás
- Nincs fizikai idő, azaz kvázi-statisztikus nyomást kapunk eredményképpen (11. ábra)



11. ábra. A szerkezetre ható szélprofil (bal) és a szimuláció szerinti nyomástényezők (jobb)

3. KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmányban bemutatottak alapján megfigyelhető a parametrikus tervezésben rejlő igazi potenciál, főként a sokoldalúságra való tekintettel. Gyakorlatilag bármilyen tervezési folyamat során jelenthet előnyt egy parametrikusan kialakított metodológia használata, azonban fontos kiemelni, hogy egy ilyen jellegű rendszer kiépítése időigényes feladat. Ennek tudatában megfelelő tapasztalat szükséges ahhoz, hogy megbecsülhető legyen a bevezethető hatékonyság mértéke.

A szélszimuláció témaköre viszont sokkal bonyolultabb. A tapasztalat alapvetően azt mutatja, hogy a CFD alkalmazható ugyan ipari felhasználású szélteher vizsgálatok elvégzésére, de megbízhatósága, avagy a helyes használata igen kérdéses. Ennek ellenére indokolt esetben kiválthatja egy parametrikus környezetben felépített szimuláció a szabvány által javasolt módszereket, főleg amennyiben a vizsgált szerkezet kialakítására nehezen erőltethetőek rá az egyszerűbb koncepció mentén meghatározott alak- vagy nyomási tényezők. Teljes mértékben azonban nem javasolt ezekre az adatokra hagyatkozni, de egy útmutatót mindenképpen adhat a szerkezettervező mérnök számára a nyomáeloszlás és ezáltal az épületre ható szélterhek meghatározásakor.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Akos G., Parsons R.: *Foundations. The grasshopper primer third edition*, 2006. https://issuu.com/pabloherrera/docs/mode_lab_grasshopper_primer_third_e/3 (Utolsó letöltés: 2021. május 27.).
- [2] Dr. Szalai J., Juhász M. I., Kis Á.: *Eingangshalle Hungexpo – parametrische Entwurfs, Berechnungs- und Nachweis-methoden/Hungexpo előcsarnok – parametrikus tervezési, számítási és ellenőrzési módszerek*. Ernst&Sohn Special, BIM – Building Information Modeling, 2020 november/A61029, 106-112 https://issuu.com/ernst-und-sohn/docs/bim2020_web/1?ff (Utolsó letöltés: 2021. május 27.).
- [3] Kis Á.: *Diplomamunka: Acélszerkezetek tervezése és szélszimulációja parametrikus környezetben*, Kolozsvári Műszaki Egyetem, 2020
- [4] Arendt E.: *Diplomamunka: Szabadformájú rácsos acél felületszerkezet paraméteres vizsgálata*, Budapesti Műszaki Egyetem, 2020
- [5] Prof. Dr. Ing. Văcăreanu R.: *Cod de proiectare. Bazele proiectării și acțiuni asupra construcțiilor. Acțiunea vântului (Revizuire NP 082-04. Comentarii, recomandări de proiectare și exemple de calcul)*, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2012
- [6] MSZ EN 1991-1-3:2005: Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások, 1-4. rész: Általános hatások, Szélhatás
- [7] OpenFOAM – The open source CFD toolbox, <https://www.openfoam.com/> (Utolsó letöltés: 2021. május 27.).
- [8] Holmes, J.D.: *Wind Loading On Structures*, S. Press, Ed., New York, USA: Taylor & Francis e-Library, 2007
- [9] Dr. Nagy-György T., Boros J., Dr. Crișan A.: Egy szélérzékeny tetőszerkezet számítási érdekességei. Computational curiosities of a wind-sensitive roof structure. XXIV. Nemzetközi Építéstudományi Online Konferencia – ÉPKO, 2020. <http://ojs.emt.ro/index.php/EPKO/article/view/246/191> (Utolsó letöltés: 2021. május 27.).