

Adatlap¹ témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető² neve: Várkonyi Péter László
e-mail címe³: varkonyi@szt.bme.hu

Téma címe (magyar és angol nyelven):
Számítógépes szerkezeti formakeresés
Computational form finding of structures

A **téma** rövid leírása⁴ (magyar és angol nyelven):

A hajlításmentes héj- sátor, kötél- és ívszerkezetek rendkívül anyagtakarékos és ugyanakkor attraktív megjelenésűek lehetnek. Ugyanakkor a kedvező szerkezeti viselkedés gondos formaválasztást követel meg. Az építészeti tervezéshez jelenleg elérhető formakeresési algoritmusok csak bizonyos szerkezet típusoknál alkalmazhatóak (pl. a dinamikus relaxáció módszere tisztán húzott membránhéj alakkeresésére alkalmas). A kutatás fő célja a hajlításmentes szerkezetek osztályozása és az építészeti koncepciótervezést segítő új formakeresési algoritmusok kifejlesztése és vizsgálata, melyek kiszélesítik az építésztervező szabadságát.

Shells, tents, cable structures and funicular arches offer economical structural solutions due to being free from significant bending moments. At the same time, they are attractive architectural elements. However, their shapes have to be designed carefully to ensure proper behavior. Form finding algorithms currently used in architectural design cannot generate but certain special types of these structures. For example, dynamic relaxation can only be used to find shapes of membrane shells under pure tension. The aim of this project is to classify moment-free structures, and to develop and analyze new computer algorithms, which support the conceptual design of these structures, and give a powerful tool in the hands of the architectural designer.

¹ Az adatlapot egy példányban *kinyomtatva és aláírva* a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, *elektronikus változatban* pedig a Doktori Iskola titkárának (Fehér Krisztina, feher.krisztina@eik.bme.hu) kell eljuttatni. A témahirdetés elfogadása esetén az adatlap felkerül a Csonka Pál Doktori Iskola ([http://www.szt.bme.hu/index.php/oktatas/csonka-pál-doktori-iskola](http://www.szt.bme.hu/index.php/oktatas/csonka-pal-doktori-iskola)), a témahirdetés rövid leírása pedig az Országos Doktori Tanács (<http://www.doktori.hu/>) honlapjára.

² A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti az azévi felvételi eljáráshoz.

³ Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

⁴ A téma rövid leírása (szóközökkel) 1000-3000 leütés hosszú. A jelentkező hallgatókat bővebben tájékoztató változatot, (mely a téma fent megadott releváns nemzetközi irodalmára tételesen hivatkozik) kérjük a mellékletben megadni.

A **téma** meghatározó irodalma⁵:

- Macdonald, A. J. (2007). *Structure and architecture*. Routledge.
- Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (Eds.). (2014). *Shell structures for architecture: form finding and optimization*. Routledge.
- Bletzinger, K. U., Wüchner, R., Daoud, F., & Camprubí, N. (2005). Computational methods for form finding and optimization of shells and membranes. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 194(30-33), 3438-3452.
- Kilian, A., & Ochsendorf, J. (2005). Particle-spring systems for structural form finding. *Journal of the international association for shell and spatial structures*, 46(2), 77-84.
- Tran, H. C., & Lee, J. (2010). Advanced form-finding of tensegrity structures. *Computers & structures*, 88(3-4), 237-246.

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai⁶:

- Computers & structures
- J. Solids and Structures
- Proc. Roy. Soc. London A
- IMA J. Applied Mathematics
- Építés- és Építészettudomány

Valamennyi folyóirat Scopus-os.

A **témavezető** fenti folyóiratokban megjelent 5 közleménye:

- Marcell, G Horváth ; András, A Sipos ; Péter, L Várkonyi Shape of an elastica under growth restricted by friction INTERNATIONAL JOURNAL OF SOLIDS AND STRUCTURES 156-157 pp. 137-147 (2019)
- Varkonyi, PL ; Domokos, G Imperfect symmetry: A new approach to structural optima via group representation theory INTERNATIONAL JOURNAL OF SOLIDS AND STRUCTURES 44 : 14-15 pp. 4723-4741. (2007)
- Várkonyi, P ; Sipos, A ; Domokos, G Szerkezet-tervezés az interneten: egy gépi algoritmus gyorsítási lehetőségei ÉPÍTÉS-ÉPÍTÉSZETTUDOMÁNY 34 : 3-4 pp. 271-291 (2006)
- Champneys, A R ; Varkonyi, P L The Painleve paradox in contact mechanics IMA JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS 81 : 3 pp. 538-588 (2016)
- Varkonyi, PL ; Domokos, G A general model for collision-based abrasion processes IMA JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS 76 : 1 pp. 47-56 (2011)

A **témavezető** utóbbi tíz évben megjelent 5 legfontosabb publikációja:

⁵ Minimum 5, maximum 10 cikket vagy monográfiát kérünk felsorolni, amik között feltétlenül szerepelnie kell a legfrissebb, legismertebb eredményeknek.

⁶ Minimum 5, maximum 10 folyóirat megadását kérjük, melyek között feltétlenül szerepelnie kell a PhD fokozatszerzés szempontjából elengedhetetlen (Scopus és/vagy Sci illetve Iconda) minősítésű idegen nyelvű folyóiratoknak is. Kérjük, ezeket a periodikákat a felsorolásban jelöljék meg.

- Marcell, G Horváth ; András, A Sipos ; Péter, L Várkonyi Shape of an elastica under growth restricted by friction INTERNATIONAL JOURNAL OF SOLIDS AND STRUCTURES 156-157 pp. 137-147. , 11 p. (2019)
- Baranyai, Tamás ; Várkonyi, Péter László Zeno chattering of rigid bodies with multiple point contacts NONLINEAR DYNAMICS 92 : 4 pp. 1857-1879. , 23 p. (2018)
- P L, Várkonyi ; Y, Or Lyapunov stability of a rigid body with two frictional contacts NONLINEAR DYNAMICS 88 : 1 pp. 363-393. , 31 p. (2017)
- Champneys, A R ; Varkonyi, P L The Painleve paradox in contact mechanics IMA JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS 81 : 3 pp. 538-588. , 51 p. (2016)
- Domokos, G ; Sipos, A ; Szabo, T ; Varkonyi, Pebbles, Shapes, and Equilibria MATHEMATICAL GEOSCIENCES 42 : 1 pp. 29-47. , 19 p. (2010)

A **témavezető** eddigi doktoranduszai⁷:

(név/felvétel éve/abszolutórium megszerzésének éve/PhD fokozat éve)

- Baranyai Tamás / 2015 / 2018 / - (folyamatindítás: 2019)

-
-
-
-

Melléklet: a téma bővebb leírása (magyar és angol⁸ nyelven)

Budapest,

Témavezető aláírása

⁷ Kérjük, a témavezetési tevékenységre vonatkozó adatokat abban az esetben is adja meg, ha témavezetőként a DI már korábban akkreditálta.

⁸ A téma bővebb leírása angol nyelven csak akkor szükséges, ha a témavezető vállalja külföldi hallgató fogadását.

Számítógépes szerkezeti formakeresés

Az építészetben a hajlításmentes szerkezetek számos típusát használják. A vonalszerű szerkezetek közül a kábelek, láncok, nyomásvonal alakú ívek, és ezek kombinációi is népszerűek. A felület jellegű szerkezetek közül a héjak, boltozatok, rácshéjak, kötélhálók, sátrak a leggyakoribbak. A kétféle szerkezet jól kombinálható is egymással, pl. egy nyomott ív használható egy feszített sáterszerkezet megtámasztásaként [1].

Valamennyi hajlításmentes szerkezet közös jellemzője, hogy nagy fesztávok áthidalására, illetve nagy terhek viselésére alkalmasak kis anyagfelhasználás mellett. Hátrányai közül a működésükhöz szükséges speciális forma, és az ebből fakadó kivitelezési nehézségek a legfontosabbak. Az egyre szélesebb körben alkalmazott számítógéppel vezérelt tervezési, gyártási és kivitelezési eljárások alkalmasak a kivitelezési munkaigény drasztikus csökkentésére, így ismét növekszik a hajlításmentes szerkezetek népszerűsége az építőiparban.

Ezen szerkezetek esetén a tervezési folyamat legnagyobb kihívása a működésükhöz megfelelő szerkezeti formák előállítása. Hagyományosan a formakereséshez fizikai modelleket és ritkábban kézi számítási eljárásokat használtak, de ezt ma számítógépes algoritmusokkal helyettesítik [2]. Az kommerciális építészeti CAD rendszereknek is egyre elterjedtebb kiegészítői a formakereső modulok [3].

Az elterjedt formakeresési eljárások fő korlátja, hogy nem minden szerkezet típus formakeresésére alkalmasak. A dinamikus relaxációs eljárások nem alkalmasak részben húzott, részben nyomott héjak automatizált alakkeresésére, és emiatt pl. konzolos héjak egyáltalán nem állíthatók elő velük. További korlátot jelent, hogy nincs elterjedt eljárás több egymáshoz kapcsolódó hajlításmentes szerkezet, mint pl. kábelekkel kiegészített hajlításmentes gerendatartók automatizált alakkeresésére. Éppen ezért a legtöbb ilyen jellegű szerkezet egyszerű geometriai sémát követ (pl. Calatrava Sevilla-i hídja [4], Gateshead Millenium Bridge [5]).

A doktorandusz feladata hajlításmentes szerkezeteket osztályozása szerkezeti működési séma szerint, megvizsgálni az egyes szerkezeti sémákhoz tartozó geometriák szabadágát, és számítógépes formakeresési eljárások kidolgozása.

[1] Macdonald, A. J. (2007). *Structure and architecture*. Routledge.

[2] Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (Eds.). (2014). *Shell structures for architecture: form finding and optimization*. Routledge.

[3] <https://www.grasshopper3d.com/>

[4] <https://calatrava.com/projects/alamillo-bridge-cartuja-viaduct-seville.html>

[5] <http://www.lusas.com/case/bridge/gateshead.html>

Computational structural form finding

Structures under pure compression or tension are popular in architecture. These structures include cables, chains, funicular arches as well as shells, vaults, tents, cable nets, and grid shells. Different types of these structures can also be combined. For example, a funicular arch can support a pre-stressed tent surface [1].

A common property of all types of moment-free structures is their ability to cover large spans or to carry high loads with moderate amount of structural material. Their most important disadvantage is the special shapes required by their mechanical behavior, and the induced production costs. Computer-aided design, manufacturing, and construction methods may largely eliminate these disadvantages, and thus the popularity of moment-free structures in building industry is increasing.

Most important design challenge of moment-free structures is to find geometric shapes, which enable their special structural behavior. Traditionally, form finding was based on physical models, whereas today, such methods are replaced by computational algorithms [2]. More and more of commercial CAD systems of architectural design include structural form finding modules [3].

An important limitation of popular form-finding algorithms is that they cannot produce shapes but for a limited range of structural types. For examples, dynamic relaxation can only create shapes for tensile membrane shells. As a consequence, the shapes of cantilevered shells cannot be generated this way. It is another remarkable limitation that there are no off-the-shelf solutions for the automated geometric design of several moment-free structures combined together. As a consequence, most of these structures follow simple geometric schemes (e.g. Bridge in Seville by S. Calatrava [4]; Gateshead Millenium bridge [5]).

The task of a PhD student will be to classify moment-free structures according to their functional scheme, to explore the freedom in the geometric design of structures following various schemes, as well as to develop from finding algorithms for various schemes.

[1] Macdonald, A. J. (2007). *Structure and architecture*. Routledge.

[2] Adriaenssens, S., Block, P., Veenendaal, D., & Williams, C. (Eds.). (2014). *Shell structures for architecture: form finding and optimization*. Routledge.

[3] <https://www.grasshopper3d.com/>

[4] <https://calatrava.com/projects/alamillo-bridge-cartuja-viaduct-seville.html>

[5] <http://www.lusas.com/case/bridge/gateshead.html>