

# Adatlap<sup>1</sup> témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető<sup>2</sup> neve: Sipos András Árpád  
e-mail címe<sup>3</sup>: siposa@eik.bme.hu

Téma címe: Vékony filmek ráncos mintázatai

A téma rövid leírása<sup>4</sup>:

A néhány századmilliméteres vastagságú filmek mechanikai modellezése számtalan publikációt eredményezett az elmúlt 10-15 évben. A ráncosodás vizsgálatára az irodalomban megtalálható modellek zöme lineárisan rugalmas anyagmodellen és kis nyúlások feltételezésén alapszik. Nem egy esetben ezen modelleket a kezdeti feltételezéseknek ellentmondó jelenségek leírására is használták. A kutatás célja ezen gyakorlat következményeinek csökkentése az anyagi nemlinearitást tartalmazó modellek bevezetésével. Az irodalomban széles körben elemzett, egyszerű geometriájú (pl: téglalap), kizárólag a peremekre kényszerített alakváltozásokkal terhelt filmek ráncos mintázatait vizsgáljuk, különböző hiperelasztikus, képlékeny és/vagy károsodásnak kitett, izotróp, ortotróp és anizotróp anyagok esetén. A kutatás a modellek analitikus levezetésén túl azok numerikus implementációját irányozza elő, az így számított megoldásokat (saját és az irodalomban fellelhető) kísérleti eredményekkel verifikálja.

A téma meghatározó irodalma<sup>5</sup>:

- Cerda E., Ravi-Chandar K, Mahadevan L.: Wrinkling of an elastic sheet under tension. *Nature*, **419**. 2002. 579–580.
- Davidovitch B., Schroll R.D., Vella D., Adda-Bedia M., Cerda E.A.: Proto-typical model for tensional wrinkling in thin sheets, *PNAS*, **108**:45. 2011. 18227-18232.
- Healey T.J., Li Q., Cheng R.B.: Wrinkling Behavior of Highly Stretched Rectangular Elastic Films via Parametric Global Bifurcation. *J. Nonlinear Science*, **23**. 2013. 777-805.
- Nayyar V., Ravi-Chandar K., Huang R.: Stretch-induced stress patterns and wrinkles in hyperelastic thin sheets. *Int. J. Solids Struct.* **48**. 2011. 3471–3483.
- Puntel E., Deseri L., Fried E.: Wrinkling of a Stretched Thin Sheet, *J. Elasticity*, **105**. 2011. 137-170.
- Steigmann D.J.: Two-dimensional models for the combined bending and stretching of plates and shells based on three-dimensional linear elasticity, *Int. J. Eng. Sci.* **46**. 2008. 654-676.
- Wong Y.W., Pellegrino S.: Wrinkled membranes II: Analytical models. *J. Mech. Mater. Struct.* **1**. 2006. 3-25.

<sup>1</sup> Az adatlapot egy példányban kinyomtatva és aláírva a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, egy elektronikus változatban pedig a Doktori Iskola titkárának (Marótyz Katalin [mkata@et.bme.hu](mailto:mkata@et.bme.hu)) kell eljuttatni. A témahirdetés elfogadása esetén az adatlap felkerül a Csonka Pál Doktori Iskola ([www.szt.bme.hu/doktori](http://www.szt.bme.hu/doktori)), a témahirdetés rövid leírása pedig az Országos Doktori Tanács honlapjára (<http://www.doktori.hu/>)

<sup>2</sup> A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti a 2010. évi felvételi eljáráshoz.

<sup>3</sup> Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

<sup>4</sup> A téma (szóközökkel) 2000-4000 leütés hosszú – a jelentkező hallgatókat bővebben tájékoztató változatát, (mely a téma fent megadott releváns nemzetközi irodalmára tételesen hivatkozik) – kérjük melléketben megadni.

<sup>5</sup> Minimum 5, maximum 10 cikket vagy monográfiát kérünk felsorolni, melyben feltétlenül szerepelnie kell a legfrissebb, legismertebb eredményeknek.

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai<sup>6</sup>:

- *Int. J. Solids Struct* (Scopus, Sci)
- *Physica D - Nonlinear Phenomena* (Scopus, Sci)
- *J. Elasticity* (Scopus, Sci)
- *Int. J. Non-Linear Mechanics* (Scopus, Sci)
- *J. Nonlin. Sci.* (Scopus, Sci)
- *Proc. Estonian Acad. Sci.* (Scopus, Sci)
- *Építés- Építészettudomány* (Scopus)

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

- Fehér E., Sipos AÁ.: Húzott, vékony filmek ráncosodása: a ráncos mintázat keletkezése és eltűnése, *Építés- Építészettudomány*, **42**. 2014. *közlésre elfogadva*
- T.J. Healey, AÁ. Sipos: Computational stability of phase-tip splitting in the presence of small interfacial energy in a simple two-phase solid, *Physica D - Nonlinear Phenomena*, **261**. 2013. 62-69.
- AÁ. Sipos, G. Domokos: Slightly asymmetric beams: Examples of a new class of structural optima, *Int. J. of Non-Linear Mechanics*, **42**. 2007. 504-514.
- AÁ. Sipos: A robust algorithm to calculate the spatial deformations of rods without tensile strength, *Proc. Estonian Acad. Sci. Phys. Math.*, **55**. (2), 2006. 96-111.
- Sipos AÁ., Juhász KP., Domokos G.: Ferde külponos nyomásra igénybe vett beton és vasbeton keresztmetszetek semleges tengelyének meghatározása rugalmas, berepedt állapotban, *Építés- Építészettudomány* **XXXI**. 2003. 19-41.

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

- G. Domokos, D.J. Jerolmack, AÁ. Sipos, Á. Török: How river rocks round: resolving the shape-size paradox, *PLOS ONE*, 2014. *közlésre elfogadva*
- Sipos AÁ.: Statisztikai próbák sztochasztikus, közel izotróp tenzorral leírható kőzetfizikai mennyiségek vizsgálatára, *Magyar Geofizika*, **54**.(4) 2013. *közlésre elfogadva*
- T.J. Healey, AÁ. Sipos: Computational stability of phase-tip splitting in the presence of small interfacial energy in a simple two-phase solid, *Physica D - Nonlinear Phenomena*, **261**. 2013. 62-69.
- AÁ. Sipos, G. Domokos, A. Wilson, N. Hovius: A Discrete Random Model Describing Bedrock Profile Abrasion, *Mathematical Geosciences*, **43**. 2011. 583-591.
- Sipos AÁ.: A nyomott zónában nemlineáris anyag törvényű, vasbeton keresztmetszet semleges tengelyének számítása, *Építés- Építészettudomány*, **37**. 2009. 107-128.

A **témavezető** eddigi doktoranduszai<sup>7</sup>:

- név (felvétel éve/abszolutórium megszerzésének éve/PhD fokozat éve)
- Nem volt doktoranduszom.

Melléklet: a téma bővebb leírása  
Budapest, 2014. február 5.

Témavezető aláírása

---

<sup>6</sup> 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.

<sup>7</sup> Kérjük, a témavezetési tevékenységre vonatkozó adatokat abban az esetben is adja meg, ha témavezetőként a DI már korábban akkreditálta, vagy törzstagként témavezetői akkreditációja nem szükséges.

## Vékony filmek ráncos mintázatai

- témavázlat -

Az analitikus, numerikus és kísérleti eljárások fejlődésének köszönhetően a néhány századmilliméteres vastagságú *filmek* mechanikai modellezése számtalan publikációt eredményezett az elmúlt 10-15 évben [1-9]. A téma analitikus vizsgálata jelentősen hozzájárult a nemlineáris parciális differenciálegyenletek elméletéhez; továbbá az anyagtudomány és a mérnöki alkalmazások szempontjából is jelentős. A parciális differenciálegyenletek körében a filmek különböző modellek aszimptotikus vizsgálata szempontjából kaptak különös figyelmet [9]. Ebben a körben témánk rokonítható sok, témánktól távolabb eső tudományterületen használt nemlineáris modellel, amelyekben fellép az ún. *mintázat keletkezés* [10]. A klasszikus mechanika rúd-, lemez- és héjelméletei széles körben elemzett modellek, ezért vonzóak ilyen irányú kutatások számára, alkalmazásuk esetén az elméleti előjelzések viszonylag könnyen igazolhatóak kísérleti és/vagy numerikus úton. A filmek esetében a *ráncosodás* nem más, mint egy (a kihajlás miatt) kialakuló mintázat. Az irodalomban megtalálható modellek zöme lineárisan rugalmas, izotróp anyagot és infinitezimális nyúlásokat tételez fel. Nem egy esetben ezen modelleket a kezdeti feltételezéseknek *ellentmondó* jelenségek leírására is használták.

A kutatás célja az imént említett ellentmondás következményeinek csökkentése az *anyagi nemlinearitáson* alapuló modellek bevezetésével. Az irodalomban széles körben elemzett, egyszerű geometriájú (pl: téglalap, körgyűrű,...stb.), kizárólag a peremekre kényszerített alakváltozásokkal terhelt filmek ráncos mintázatait vizsgáljuk, különböző *hiperelasztikus, képlékeny és/vagy károsodásnak* kitett, *izotróp, ortotróp és anizotróp* anyagok esetén.

A megcélzott vizsgálatok *kontinuummechanikailag* egzakt modellek analitikus levezetésén és elemzésén alapulnak. Szükséges továbbá az irodalom rokon problémáinak (pl: *rugalmas ágyazású gerendák* elmélete [11], vagy a növekedés miatt fellépő *inkompatibilis nyúlások* révén fellépő ráncosodás [8]) feldolgozása, a felismert analógiák kiterjeszhetőségének vizsgálata.

Mivel jellemzően a valóságban megfigyelhető ráncos megoldások még egyszerű geometria esetén sem kezelhetőek analitikusan, célunk a parciális differenciálegyenletek *nemtriviális* megoldásainak *numerikus számítása*. Ehhez a klasszikus, útkövető módszerek [12] felhasználásán túl megkíséreljük a megoldáshalmaz *globális letapogatását* [13-14] is. Az egyensúlyi út elágazási pontjain, és a megoldások stabilitásán túl célunk a ráncos mintázatot jellemző mennyiségek (például a ráncok száma), vagy szimmetriájának részletes elemzése (az ezen kérdések körüli viták jól példázzák a túl egyszerű modellek valós jelenségekre történő alkalmazásának ellentmondásosságát).

A kutatási program része a fent említett, egyszerű geometriák esetére *kísérletek* végrehajtása [15-16]. Ez a numerikus eljárás verifikálásán túl a valóságban megfigyelhető (pl: függönyök, levelek,... stb.) ráncos mintázatok laboratóriumi előállítását és vizsgálatát is jelenti.

## Irodalom

- [1] Cerda E., Ravi-Chandar K., Mahadevan L.: Wrinkling of an elastic sheet under tension. *Nature* **419**. 2002. 579–580.
- [2] Diaby A., Le van A., Wielgosz C.: Buckling and wrinkling of prestressed membranes. *Finite Elements in Analysis and Design* **42**. 2006. 992-1001
- [3] Coman C.D.: On the applicability of tension field theory to a wrinkling instability problem. *Acta Mechanica* **190**. 2007. 57-72.
- [4] Davidovitch B., Schroll R.D., Vella D., Adda-Bedia M., Cerda E.A.: Prototypical model for tensional wrinkling in thin sheets. *PNAS* **108**:45. 2011. 18227-18232.
- [5] Nayyar V., Ravi-Chandar K., Huang R.: Stretch-induced stress patterns and wrinkles in hyperelastic thin sheets. *Int. J. Solids Struct.* **48**. 2011. 3471–3483.
- [6] Puntel E., Deseri L., Fried E.: Wrinkling of a stretched thin sheet. *J. Elasticity*, **105**. 2011. 137-170.
- [7] Healey T.J., Li Q., Cheng R.B.: Wrinkling behaviour of highly stretched rectangular elastic films via parametric global bifurcation. *J. Nonlinear Science* **23**. 2013. 777-805.
- [8] Lewicka M., Mahadevan L., Pakzad MR: The Föppl-von Kármán equations for plates with incompatible strains. *Proc. Roy. Soc. A* **467**. 2011. 402-467.
- [9] Steigmann D.J.: Two-dimensional models for the combined bending and stretching of plates and shells based on three-dimensional linear elasticity. *Int. J. Eng. Sci.* **46**. 2008. 654-676.
- [10] Hoyle R.: *Pattern formation, An introduction to methods*. Cambridge University Press, 2006.
- [11] Hetényi M.: *Beams on elastic foundation. Theory with applications in the fields of civil and mechanical engineering*. The University of Michigan Press, 1946
- [12] Allgower E.L., Georg K.: *Numerical Continuation Methods, An Introduction*. Springer-Verlag, 1990.
- [13] Domokos G., Gáspár Zs.: A global, direct algorithm for path-following and active static control of elastic bar structures. *Mechanics of Structures and Machines* **23**(4). 1995. 549-571.
- [14] Domokos G., Szeberényi I.: A hybrid parallel approach to nonlinear boundary value problems. *CAMES-Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences* **11**. 2004. 15-34
- [15] Jenkins C.H., Haugen F., Spicher W.H.: Experimental measurement of wrinkling in membranes undergoing planar deformation. *Experimental Mechanics*. **38**. 1998. 147-152.
- [16] Wong Y.W., Pellegrino S.: Wrinkled membranes I: Experiments. *J. Mech. Mater. Struct.* **1**. 2006. 27-61.