

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

**Témavezető<sup>2</sup>** neve: Hegyi Dezső  
e-mail címe<sup>3</sup>: [dizso@szt.bme.hu](mailto:dizso@szt.bme.hu)

**Téma** címe: Műszaki textíliák tönkremeneteli feltételének vizsgálata

A **téma** rövid leírása<sup>4</sup>:

A kutatás célja megfogalmazni egy olyan mechanikai modellt, ami tudományos szempontból jól leírja a ponyvaszerkezetekhez használt műszaki textíliák tönkremeneteli feltételét. Ha megvan egy megfelelően pontos elméleti modell, akkor ennek segítségével egy olyan feltétel vagy feltétel rendszer kerül meghatározásra, ami könnyen használható a tervezés során rendelkezésre álló adatok és számítási módszerek alkalmazása során. Jelenleg a méretezéshez az ellenállás oldalán a gyártó által közölt szakítószilárdság áll rendelkezésre, míg a hatás oldalán változatos nemlineáris számítási eljárásokat használnak a tervezők. A számítási eljárások az utóbbi két évtizedben sokkal pontosabbak és részletesebbek lettek a korábbi durva modelleknél. Olyan szingularitási problémák merülnek fel, amiket a korábbi durvább modellek nem is tudtak volna előhozni. Így kritikus kérdéssé válhat, hogy egy-egy lokális probléma valóban tönkremenetelhez vezethet-e? A gyakorlati tapasztalat ennek ellent mond, a vasbeton vagy acél szerkezetekhez hasonlóan itt is leépülnek a feszültség csúcsok. Ha megismerjük a tönkremenetel folyamatát és modellezni tudjuk a tönkremenetelt valós beépítési helyzetekben, akkor módszert adhatunk arra, hogy a ma is rendelkezésre álló adatok alapján hogyan ítéldjük meg egy szerkezet tönkremenetelét.

A tönkremenetel vizsgálatára törésmechanikai modell felvétele látszik praktikusnak. Ennek felvételéhez időtől függő anyagmodellre és törésmechanikai kísérletekre lesz szükség. A szerkezet tönkremenetelét numerikus módszerekkel vizsgálhatjuk, és a numerikus vizsgálatokon keresztül juthatunk el praktikus új, gyakorlati méretezési módszerhez.

---

<sup>1</sup> Az adatlapot egy példányban kinyomtatva és aláírva a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, egy elektronikus változatban pedig a Doktori Iskola titkárának (Kóródy Anna, korody@eik.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 mellékletben megadni.

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

- K. Kwok. *Mechanics of Viscoelastic Thin-Walled Structures*. Caltech, thesis, 2012.
- H. F. Brinson and L. C. Brinson, *Polymer Engineering Science and Viscoelasticity*, Springer, 2008.
- D. Hegyi, I. Sajtos, Gy. Geiszter, K. Hincz, "*8-node Quadrilateral Double-Curved Surface Element for Membrane Analysis*", *Computers and Structures* 84. pp 2151-2158. (2006)
- D. Hegyi, K. Hincz, "*Long-term analysis of prestressed membrane structures*", *Journal of Computational and Applied Mechanics* 6. pp 189-205. (2005)
- N. Brown and X. Lu, "*A Fundamental Theory for Slow Crack Growth in Polyethylene*", *Polymer* Vol. 36/3, pp. 543-548, (1995).
- W. Knauss, "*Time Dependent Fracture of Polymers*", *Int. Series on the Strength and Fractures*, pp. 2683-2711, (1989).
- J. T. Tilkien. "*A fracture toughness test for polymer film*", *Polymer testing* Vol. 12. pp. 207-220, (1993).
- P. M. Nagdi and S. A. Murch, "*On the Mechanical Behavior of Viscoelastic/Plastic Solids*", *J Applied Mechanics*, pp. 321-328, (1963).
- M. J. Crochet, "*Symmetric Deformations of Viscoelastic-Plastic Cylinders*", *J Applied Mechanics* pp. 327-334, (1966).
- D. Hegy and S. Pellegrino, "*Viscoplastic tearing of polyethilen thin film*" *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 19. 187-208. (2015).

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai<sup>6</sup>: (\* Scopus/Sci)

- Építés- és Építészettudomány (\*)
- Anyagvizsgálók Lapja
- Computers and Structures (\*)
- Journal of Applied Mechanics (\*)
- Composit Structures (\*)
- Int. J. Polimer Materials (\*)
- Journal of Computational and Applied Mechanics (\*)
- Material Science Forum (\*)
- Meschanics of Time-Dependent Materials (\*)

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

- D. Hegyi, I. Sajtos, Gy. Sándor, "*Long-term Strain Measurement of Technical Textiles by Photographic Method*" *Materials Science Forum* 537-538. pp. 381-387. (2006)
- D. Hegyi, I. Sajtos, Gy. Geiszter, K. Hincz, "*8-node Quadrilateral Double-Curved Surface Element for Membrane Analysis*", *Computers and Structures* 84. pp 2151-2158. (2006)

---

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

<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.

- D. Hegyi, K. Hincz, "Long-term analysis of prestressed membrane structures", Journal of Computational and Applied Mechanics 6. pp 189-205. (2005)
- Hegyi D., Sajtos I., "Új rugalmas anyagtvörvény műszaki textíliákhoz" Építés-és Építészettudomány 37/1-2. pp. 95-106. (2009)
- D. Hegy and S. Pellegrino, "Viscoplastic tearing of polyethilen thin film" Mechanics of Time-Dependent Materials, 19. 187-208. (2015).

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

- D. Hegyi, I. Sajtos, Gy. Geiszter, K. Hincz, "8-node Quadrilateral Double-Curved Surface Element for Membrane Analysis", Computers and Structures 84. pp 2151-2158. (2006) (if.: 0,846 cite: 21/18)
- Hegyi D., Sajtos I., "Új rugalmas anyagtvörvény műszaki textíliákhoz" Építés-és Építészettudomány 37/1-2. pp. 95-106. (2009)
- D. Hegyi, I. Sajtos, "New elastic phenomenological material law for technical textiles", Textil Composites and Inflatable Structures IV . Stuttgart, pp. 1-4. (2009).
- D. Hegyi, I. Sajtos, Gy. Sándor, "Long-term Strain Measurement of Technical Textiles by Photographic Method" Materials Science Forum 537-538. pp. 381-387. (2006)
- D. Hegyi and S. Pellegrino, "Viscoplastic tearing of polyethilen thin film" Mechanics of Time-Dependent Materials, 19. 187-208. (2015) (if: 1,58, cite: 2/2)

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

Melléklet: a téma bővebb leírása

Budapest, 2016. február 26.

módosítva a bírálókat alapján: 2016. május 11.

Dr. Hegyi Dezső

---

<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.

## Részletes kutatási terv

### Műszaki textíliák tönkremeneteli feltételeinek vizsgálata

A ponyvaszerkezetekhez felhasznált műszaki textíliák tönkremenetele jelentősen eltér a hagyományos építőanyagok törésétől. A legtöbb építőanyagnál elegendő meghatározni egy törőfeszültséget, folyási határt vagy határnyúlást, és ezen adatok alapján biztonságosan tervezhető egy szerkezet teherbírása. Azonban a műanyagok nagy részénél dominánsak az időtől függő alakváltozások, amik nem csak a deformációkat, de a tönkremenetelt is befolyásolják. A ponyvaszerkezeteknél elterjedt PVC bevonatú poliészter szálás textíliák viselkedése ugyancsak viszko-elasztikus [Kollár 1987, Knauss 1989, Hegyi-Hincz 2005, Brinson-Brinson 2008, Kwon 2012].

Riner & Weissenberg elmélete szerint [Riner-Weissenberg 1939] a törést az anyagban felhalmozott, visszanyerhető alakváltozási energia határozza meg, azaz a rugalmas alakváltozások. Von Misses elmélete szerint pedig csak azok a feszültségek vezetnek töréshez, amik megváltoztatják az anyag alakját (dilatációs alakváltozások), a térfogatváltozással járó deformációk nem. A két törvényszerűségre építve számos elmélet született, melyek feltételeket próbálnak állítani viszko-elasztikus, elasztó-plasztikus vagy viszko-elasztó-plasztikus anyagok töréséhez. Vannak elméletek, amik a feszültségek oldaláról közelítik meg a kérdést [Nagdi-Murch 1963, Crochet 1966], és vannak, amik a deformációs energia oldaláról [Brown-Lu 1995]. Ez utóbbi elméletek általánosabb megfogalmazást adnak, és közel állnak a törésmechanikában lefektetett energia alapú megközelítéshez, azaz, hogy a töréshez az szükséges, hogy a szerkezetben felhalmozódjon bizonyos mennyiségű alakváltozási energia, mely felszabadulva törési felületet hoz létre. Az egyes műanyagok viselkedése nagyban különbözik egymástól a belső molekuláris szerkezet és a makroszkopikus felépítés miatt, valamint a különböző rideggé válási hőmérséklet miatt. Ezért tulajdonképpen minden anyaghoz más módszer, más feltétel felállítása lehet célravezető.

A felületszerkezeteknek fontos sajátossága, hogy a terhelésük síkbeli, azaz membrán feszültségi állapotban vannak. A tapasztalatok szerint a törés máshogy alakul ki ilyenkor, mint egyirányú terhelés esetén, ami összhangban van a von Misses törési feltétellel. Ez azért lényeges, mert a tapasztalat szerint a műanyag fóliák egy irányú terhelés mellett sokkal nagyobb alakváltozásokat szenvednek a törés bekövetkezése előtt, mint kétirányú terhelés esetén. A nagy plasztikus alakváltozások miatt nehezen szétválaszthatóak a rugalmas és a nem rugalmas alakváltozások. A probléma megkerülése érdekében kétirányú méréseket érdemes végezni, és felmerül a törésmechanikai módszerek alkalmazása. Tilkien dolgozott ki eljárást fóliák törésmechanikai vizsgálatára [Tilkien 1993].

A törésmechanikai megközelítés azért is különösen jó, mert a ponyvaszerkezetek felületében gyakran alakulnak ki szingularitások geometriai okokból, vagy kisebb sérülések miatt. A korszerű számítási eljárások kimutatják ezeket a feszültségfokozódásokat [Hegyi-Sajtos-Geiszter-Hincz 2006, Hegyi 2006]. A hagyományos határfeszültségre épülő méretezés alkalmazhatósága nehézségekben ütközik ilyenkor.

A kiírásra kerülő PhD téma a címben szereplő műszaki textíliák tönkremenetelének meghatározását tűzi ki célul. Elsősorban PVC bevonatú poliészter szálás szövetek esetére, de esetleg a külföldön rohamosan terjedő PTFE bevonatú szövetek vagy ETFE fóliák esetére is.

A feladat elvégzésének érdekében mindenképpen szükség van a vizsgált anyag anyagtörvényének ismeretére. A fentiek alapján nemlineáris rugalmas és időtől függő anyagtörvényt kell meghatározni. Ezzel kapcsolatban már vannak megkezdett kutatások, melyek továbbfejleszthetőek [Hegyi 2006]. Az anyagtörvény ismeretében törésmechanikai méréseket lehet végezni, és törésmechanikai modellt lehet készíteni, mely jól leírja az anyagban a szakadások kialakulását, terjedését [Hegyi-Pellegrino

2015]. A törésmechanikai tönkremeneteli feltétel meghatározása után a szerkezet vizsgálatára lehet áttérni. A szerkezet analízisébe bele kell építeni egy olyan algoritmust, ami megkeresi a lehetséges törési pontokat, és megvizsgálja, hogy kialakulhat-e a repedésterjedés a törésmechanikai feltételek alapján.

A kutatási munkához szükséges eszközök egy része rendelkezésre áll a tanszéken: szakítógép és kúszási vizsgálatához szükséges berendezések. A mérési eredmények elemzéséhez és feldolgozásához Matlab és C++ rutinok felhasználására és elkészítésére lesz szükség. A szerkezet elemzéséhez felhasználhatóak a témavezető által korábban fejlesztett eljárások [Hegyi-Hincz 2005, Hegyi-Sajtos-Sándor 2006, Hegyi-Sajtos-Geiszter-Hincz 2006, Hegyi-Sajtos 2009].

A kutatás célja megismerni a műszaki textíliák törési folyamatát, meghatározni a törés feltételét. Sátor szerkezetek szinguláris pontjainak (peremek törése és szabási elemek csatlakozási pontjai) beazonosítása a cél a szerkezet analízise során. Ezeknek a szingularitásoknak a törési feltétellel való összevetése alapján lehet következtetéseket levonni a tönkremeneteli folyamatokra. Mivel a számított feszültségek nagysága a szingularitások környezetében erősen függ a hálózat felvételétől és az alkalmazott mechanikai modelltől, meg kell határozni az ellenőrzés praktikus feltételeit.

A fentiekben felvázolt tönkremeneteli feltételek alkalmazása a hétköznapi életben nehézségekbe ütközne. Elsősorban két körülmény nehezíti egy bonyolultabb elmélet bevezetését a szakma számára: i) a gyártók általában csak a szakítóerő értékét adják meg, esetleg szakadó-nyúlással együtt; ii) a kereskedelmi programok csak a szokásos feszültség analízisre alkalmasok, rendszerint lineáris rugalmas anyagtörvény alkalmazásával. Tehát szakító erő és lineárisan számított feszültség alapján kell egy olyan ellenőrzési feltételt felvennünk, ami biztonságos, de nem pazarló tervezést tesz lehetővé.

Brinson-Brinson 2008. *Polymer Engineering Science and Viscoelasticity*. Springer.

Brown-Lu 1995. *A Fundamental Theory for Slow Crack Growth in Polyethylene*. Polymer 36/3 pp 543-548.

Crochet 1966. *Symmetric Deformations of Viscoelastic-Plastic Cylinders*. J Applied Mechanics pp 327-334.

Hegyi-Hincz 2005. *Long-term analysis of prestressed membrane structures*. Journal of Computational and Applied Mechanics 6. pp 189-205.

Hegyi-Sajtos-Sándor 2006. *Long-term Strain Measurement of Technical Textiles by Photographic Method*. Materials Science Forum 537-538. pp 381-387.

Hegyi-Sajtos-Geiszter-Hincz 2006. *8-node Quadrilateral Double-Curved Surface Element for Membrane Analysis*. Computers and Structures 84. pp 2151-2158.

Hegyi 2006. *Ponyvaszerkezetek vizsgálata numerikus és kísérleti módszerekkel*. BME thesis

Hegyi-Sajtos 2009. *Új rugalmas anyagtörvény műszaki textíliákhoz*. Építés- és Építészettudomány 37/1-2. pp. 95-106.

Hegyi-Sajtos 2009. *New elastic phenomenological material law for technical textiles*, Textil Composites and Inflatable Structures IV . Stuttgart, pp. 1-4

Kwon 2012. *Mechanics of Viscoelastic Thin-Walled Structures*. Caltech thesis

Knauss 1989. *Time Dependent Fracture of Polymers*. Int. Series on the Strength and Fractures.

Kollár 1987. *Ponyvaszerkezetek*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Nagdi-Murch 1963. *On the Mechanical Behavior of Viscoelastic/Plastic Solids*. J Applied Mechanics pp 321-328.

Riner-Weissenberg 1939. *A Thermodynamic Theory of the Strength of Materials*. Rheological Leaf

Tilkien 1993. *A fracture toughness test for polymer film*. Polymer testing 12. pp 207-220.

Hegyi-Pellegrino 2015. *Viscoplastic tearing of polyethilen thin film*. Mechanics of Time-Dependent Materials, 19. 187-208.