

Adatlap¹ témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető² neve: Hegyi Dezső
e-mail címe³: hegyi.dezso@szt.bme.hu

Téma címe (magyar és angol nyelven):
Műszaki textíliák tönkremenetelének vizsgálata
Analysis of the failure of technical textiles

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

A kutatás célja egy olyan mechanikai modell leírása, ami tudományos vizsgálatokhoz jól leírja a ponyvaszerkezetekhez használt műszaki textíliák tönkremeneteli feltételét. Egy kielégítően pontos elméleti modell birtokában olyan feltétel vagy feltétel-rendszer kerülhet meghatározásra, ami jól 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, melyet egyirányú húzással végeznek egy 50 mm széles próbatesten. 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 kerültek felszínre, amelyek a korábbi modellekkel nem kerültek felszínre. Így kritikus kérdéssé vált, hogy egy-egy lokális probléma valóban tönkremenetelhez vezethet-e? A gyakorlati tapasztalat ennek ellent mond, a vasbeton vagy acél szerkezetekhez hasonlóan 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 ítéldhetjük meg egy szerkezet biztonságát.

A tönkremenetel vizsgálatára egy törésmechanikai modell felvétele látszik praktikusnak korábbi kutatásaink alapján. Ennek felvételéhez időtől függő anyagmodellre és törésmechanikai kísérletekre lesz szükség. Az ehhez

¹ Az adatlapot egy példányban *kinyomtatva és aláírva* a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, *elektronikus változatban* pedig a Doktori Iskola titkárának (B.Kóródy Anna, korody@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.

szükséges fizikai eszközök a laborunkban rendelkezésre állnak vagy beszerzés alatt vannak, a matematikai modellek más anyaghoz fel lettek véve. A szerkezet tönkremenetelét numerikus módszerekkel vizsgálhatjuk, és a numerikus vizsgálatokon keresztül juthatunk el praktikus új, gyakorlati méretezési módszerhez. A vizsgálathoz szükséges numerikus eljárás is rendelkezésre áll.

The goal of this research is to introduce a new method to determine the failure of technical textiles. By a proper theoretical method, we will have a chance to derive prerequisites applicable in practical models daily used by engineers. This final solution must be based on the poor information provided by textile manufactures and basic structural analysis.

The manufactures publish breaking strength and breaking strain perhaps, both determined by one-directional tests on a 50 mm width specimen. For the analysis different nonlinear methods are used by the engineering community. These analytical methods have been intensively developed in the last 20 years, so their results are increasingly detailed. Today they indicate some singularities that were not visible before. The question is that these local problems are really dangerous for the structure? Or can they be neglected because of the plastic or visco-plastic deformations of the material. To get a proper answer we must obtain deep knowledge about the failure of the material and the behaviour in realistic structural situations.

A fracture model seems to be practical to investigate a theoretical model for the failure. It must contain visco and/or visco-plastic parameters. Our laboratory can carry out these tests. Some constitutive models have been investigated for other types of material. A structure must be analysed by numerical method that includes the failure model to get a proper method applicable in the practice. Such a numerical method is available in the department.

A **téma** meghatározó irodalma⁵:

- 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).
- 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).

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

- D. Hegyi, M. Halász, K. Molnár, G. Szebenyi, A.Á. Sipos, "An elastic phenomenological material law for textile composites and its fitting to experimental data", J Reinforced Plastics and Composites, Vol. 36(18) pp: 1343-1354, (2017).

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai⁶:

- Építés- és Építészettudomány
- Anyagvizsgálók Lapja
- Computers and Structures (*)
- Journal of Applied Mechanics (*)
- Composit Structures (*)
- Int. J. Polymer Materials (*)
- Journal of Computational and Applied Mechanics (*)
- Material Science Forum (*)
- Mechanics of Time-Dependent Materials (*)
- J Reinforced Plastics and Composites (*)

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)
- D. Hegyi, K. Hincz, "Long-term analysis of prestressed membrane structures", Journal of Computational and Applied Mechanics 6. pp 189-205. (2005)
- D. Hegyi and S. Pellegrino, "Viscoplastic tearing of polyethilen thin film" Mechanics of Time-Dependent Materials, 19. 187-208. (2015).
- D. Hegyi, M. Halász, K. Molnár, G. Szebenyi, A.Á. Sipos, "An elastic phenomenological material law for textile composites and its fitting to experimental data", J Reinforced Plastics and Composites, Vol. 36(18) pp: 1343-1354, (2017).

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

- 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 "A new double curved element for technical textile analysis with bending resistance", Textil Composites and Inflatable Structures V. Barcelona, pp. 572-580. (2011).
- D. Hegyi and S. Pellegrino, "Viscoplastic tearing of polyethilen thin film" Mechanics of Time-Dependent Materials, 19. 187-208. (2015) (if: 1,58, cite: 3/3)
- I. Kristóf, Zs. Novák, D. Hegyi, "A simplified method for the Design of Steel Beam-to-column Connections" Periodica Politechnica, online first (2017)
- D. Hegyi, M. Halász, K. Molnár, G. Szebenyi, A.Á. Sipos, "An elastic phenomenological material law for textile composites and its fitting to experimental data", J Reinforced Plastics and Composites, Vol. 36(18) pp: 1343-1354, (2017) (if: 1,08)

A **témavezető** eddigi doktoranduszai⁷:

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

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.

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

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

Budapest, 2018. február

Témavezető aláírása

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

Részletes kutatási terv

Műszaki textíliák tönkremenetelének feltételeinek vizsgálata

A ponyvaszerkezetekhez felhasznált műszaki textíliák tönkremenetele 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 viszko-elasztikus [Kollár 1987, Knauss 1989, Hegyi 2005, Brinson 2008, Kwon 2012], ezért ennél az anyagnál is indokolt megvizsgálni, hogy az időtől függő alakváltozások miként befolyásolják az anyag tönkremenetelét.

Riner & Weissenberg elmélete szerint [Riner 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 törvényszerűsége építve számos elmélet születet, melyek feltételeket próbáltak állítani viszko-elasztikus, elasztó-plasztikus vagy viszko-elasztó-plasztikus anyagok töréséhez. Vannak elméletek, amik a feszültségek oldaláról közelítik meg a kérdést [Nagdi 1963, Crochet 1966], és vannak, amik a deformációs energia oldaláról [Brown-Lu 1995]. Ez utóbbi elméletek hasonlóak a törésmechanikában lefektetett energia alapú megközelítéshez. Nevezetesen a töréshez az szükséges, hogy a szerkezetben felhalmozódjon annyi alakváltozási energia, mely felszabadulva törési felületet hoz létre. Tilkien, Chan és Hegyi dolgozott ki eljárást fóliák törésmechanikai vizsgálatára [Tilkien 1993, Chan 1994, Hegyi 2015]. Tilkien a J-integrál közvetett mérésével dolgozott, míg Chan az Essential-work módszert dolgozta ki. Hegyi a J-integrál közvetlen kimérésére dolgozott ki eljárást.

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

A felületszerkezeteknek fontos sajátossága, hogy a terhelésük síkbeli, azaz membrán feszültségi állapotban vannak. A tapasztalatok szerint a törés máshogy alakul ki ilyen terhelés esetén, mintha csak egy irányban terhelnék. Ez 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 pályázat műszaki textíliák tönkremenetelének meghatározását tűzi ki célul. Elsősorban PVC bevonatú poliészter szálás szövetek esetére.

A kutatási munkához szükséges eszközök egy része rendelkezésre áll a tanszéken: szakítógép és kúszási vizsgálatához szükséges berendezések. A mérésekhez beszerzés alatt van egy DIC rendszer, melyet az egyetemünk által elnyert AÁL-VEKOP pályázat finanszíroz. A mérési eredmények elemzéséhez és feldolgozásához Matlab és C++ rutinok felhasználására és továbbfejlesztésére lesz szükség.

A szerkezet elemzéséhez és az anyagvizsgálatokhoz felhasználhatóak a pályázó által korábban fejlesztett eljárások [Hegyi 2005, Hegyi 2006, Hegyi 2006, Hegyi 2009, Hegyi 2015, Hegyi 2017].

A kutatás célja megismerni a műszaki textíliák törési folyamatát, meghatározni a törés feltételét. A törési feltétel felállítása alapján a teljes szerkezet szinguláris pontjainak tönkremenetelét vizsgálhatjuk.

A kutatás eredményeként módszert lehet adni szerkezetek méretezésére. Az általánosan elterjedt, határfeszültségeken alapuló méretezési módszer bizonytalanságait ezzel ki lehet küszöbölni.

In English

The failure of the technical textiles differs from the most typical structural materials. Usually we use the ultimate stress, the yield stress or the ultimate strain as limitation of the loadbearing capacitance. For the plastics the time dependent behaviour has significant effect not only for the deformations but for the failure too. The widely used PVC coated polyesters has visco-elastoc behaviour too [Kollár 1987, Knauss 1989, Hegyi 2005, Brinson 2008, Kwon 2012], so it should be interesting to study the effect of the time dependent deformations on the failure.

The theorem of Riner & Weissenberg [Riner 1939] state, the failure of the material is based on the accumulated elastic deformation energy in the material. The theorem of Von Misses declares, only the dilatation of the material cause failure, not the volume change. Based on these two theorems several new theorems define failure for elastic, elasto-plastic or elasto-visco-plastic materials. Some of them are based on the stress inside the materials [Nagdi 1963, Crochet 1966], some of them are based on the deformation energy [Brown-Lu 1995]. The deformation-based theorems are similar to the fracture theorems: the accumulated deformation energy cause crack propagation [Tilkien 1993, Chan 1994, Hegyi 2015].

The fracture mechanic approach is especially suitable for membranes, because there are different type of singularities on the surface of the structures. The up to date numerical approaches highlight all these spots [Hegyi 2006, Hegyi 2006] during the analysis. The traditional methods based on the ultimate stress cannot handle it during the design.

The goal of the research proposal is to find a proper method for the failure of the technical textiles. The PVC coated polyester textiles are on the focus.

Some of the necessary tools for the laboratory work are ready to use in our department: braking machine, clamps. For the measure process the most practical tool is the DIC, it is just in acquisition (financed by the AÁL-VEKOP). The analysis of the measurements will be processed by MATLAB and C++.

For the analysis of structures, the highly nonlinear FEM software of Hegyi can be used [Hegyi 2005, Hegyi 2006, Hegyi 2006, Hegyi 2009, Hegyi 2015, Hegyi 2017].

The main goal of the research is to find a proper method for the failure of the technical textiles. Based on this method the singularities of the structures must be analysed. After all a method should be given for the structural designer to estimate the failure of the structures.

- 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.
- Chan-Williams 1994. *Determination of the fracture toughness of polymeric films by the essential work method*, Polymer, 35/8 pp 1666-1672
- 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 textiliákhoz*. 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
- Hegyi-Pellegrino 2015. *Viscoplastic tearing of polyethilen thin film*. Mechanics of Time-Dependent Materials, 19. 187-208.
- Hegyi-Halász-Molnár-Szebenyi-Sipos, *An elastic phenomenological material law for textile composites and it's fitting to experimental data*, J Reinforced Plastics and Composites, Vol. 36(18) pp: 1343-1354, (2017)
- 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.