

Adatlap¹ témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető² neve: Hegyi Dezső

e-mail címe³: hegyi.dezso@epk.bme.hu

Téma címe (magyar és angol nyelven):

Fedélszékek képlékeny tartalékának vizsgálata

The plastic limit analysis of timber roofs

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

A szerkezetek teherbírását általában a szerkezeti elemek, a globális stabilitás és a csomópontok teherbírása határozza meg. A faszervezetek esetén a vizsgálatokat rugalmas alapon végezzük, mert húzásra és nyírásra az anyag csaknem ridegen viselkedik. Azonban a tapasztalat az, hogy a csomópontok környezetében lokális roncsolódások árán képlékenyedni tudnak a szerkezetek. Statikailag határozatlan szerkezetek esetén a csomópontok képlékenyedése csökkentheti a határozatlanság mértékét addig, amíg a szerkezet határozottá nem válik.

Mindez a folyamat akkor növelheti a szerkezet teherbírását, ha a csomópontok a tartószerkezeti elemek tönkremenetele előtt már elkezdenek képlékenyedni, illetve, ha a szerkezet alakváltozásai még elfogadhatóan kicsik maradnak.

Korábbi vizsgálataink alapján számos fedélszék esetén teljesülnek a fenti feltételek. Így reális lehetőség van arra, hogy a képlékenyedés figyelembevételével megnövelhetjük a fedélszékek számításba vehető teherbírását. Azonban ehhez hiányzik az, hogy a különböző csomópontok képlékenyedésének módját és a megengedhető deformációkat pontosan ismerjük.

A tipikus csomóponti elrendezések esetére laborkísérleteket és/vagy numerikus szimulációkat szeretnénk végezni. Ezek alapján ki lehetne egészíteni a szabványos teherbírás vizsgálatokat a képlékenyedést leíró értékekkel.

Acél és vasbeton szerkezetek esetén lassan évszázados hagyományai vannak a képlékeny analízisnek. Faszervezetek esetén azonban ez a témakör kidolgozatlan jelenleg. A tervezett kutatás célja az, hogy ehhez a szerkezeti

¹ Az adatlapot egy példányban *kinyomtatva és aláírva* a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, *elektronikus változatban* pedig a Doktori Iskola titkárának (Fehér Krisztina, feher.krisztina@eptort.bme.hu) kell eljuttatni. A témahirdetés elfogadása esetén az adatlap felkerül a Csonka Pál Doktori Iskola (<http://cspdi.bme.hu/felveteli/temahirdetesek>), 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.

anyaghoz is meg tudjuk határozni a képlékenyedés alkalmazásának feltételeit, és figyelembevételének módját.

The load-bearing limit of the structures are determined by the limits of the elements, the limits of the details and the global stability limits. For timber elements the load-bearing capacitances are determined by elastic analysis, as the timber is almost brittle for tension and shear. But according to the experiences the local effects can damage the material in a plastic like way.

If a structure is indeterminant, the plasticity of the connection reduce the level of the indeterminacy until the structure become determinant.

All of this can increase the load-bearing capacitance of a structure, if the plasticity of the connections come about before the failure of the elements and there are no extreme deformations.

According to our previous studies the timber roofs can satisfy the requirements above. So, it worth the effort to develop methods for the plastic analysis of timber roofs. But the plastic properties of the timber connections are not represented for this yet. Laboratory and numerical simulations are planned to find practical values for these.

The steel and RC structures can be analyzed by plastic limit analysis since number of decades. But the method is not developed for timber structures. The target of the research is to determine the conditions and the limits for the usage of the method.

A **téma** meghatározó irodalma⁵:

- Crews K., Ritter M. Development of limit states design procedures for timber bridges. National conference on wood transportation structures Madison, 1996.
- D. Hegyi, M Armuth, B Halmos, K Marotzy, The effect of wind on historical timber towers analyzed by plastic limit analysis in the focus of a collapse, Engineering Failure Analysis 134 Paper: 105852, 19 p. (2022)
- Kazinczy G, Végeiken befalazott hengerelt vasfödém gerendák méretezése a maradó alakváltozások figyelembevételével. Doktori értekezés, BME (1931)
- Lokaj A., Dobes P., Sucharda O. 2020. Effects of loaded and distance and moisture content on the behavior of bolted connections in squared and round timber subjected to tension parallel to the grain. *Materials* 13 (23): 1-21.
- Palma P., Garcia H., Ferreira J., Appleton J., Cruz H. 2012. Behaviour and repair of carpentry connections – Rotational behaviour of the rafter and tie beam connection in timber roof structures. *Journal of Cultural Heritage*, 13 (3): 64-73.

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

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai⁶:

- Computers and Structures (WOS)
- Structures (WOS)
- Engineering Structures (WOS)
- Journal of Architectural Heritage (WOS)
- Journal of Cultural Heritage (WOS)
- Journal of Fluids and Structures (WOS)
- Engineering Failure Analysis (WOS)
- Építés- Építészettudomány (Scopus)

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

- Hegyi D., Armuth M., Halmos B., Marotzy K.: *The effect of wind on historical timber towers analyzed by plastic limit analysis in the focus of a collapse*. Engineering Failure Analysis, 134 Paper: 105852, 19 p. 2022.
- Szabó S., Kövesdi A., Vasáros Zs., Csicsely Á., Hegyi D.: *The cause of damage and failure of the mud-brick of the Khan in New-Gourna*. Engineering Failure Analysis, 128 paper 105567 pp 21, 2021.
- Hegyi D.: *Numerical stability analysis of arch-supported membrane roofs*. Structures, (28) pp. 785-795., 2021.
- Hegyi, D. - Sajtos, I.-Geiszter, Gy. - Hincz, K.: *8-node Quadrilateral Double-Curved Surface Element for Membrane Analysis*. Computers and Structures 84. pp 2151-2158. 2006.
- Hegyi D. - Sajtos I.: *Új rugalmas anyagtvörvény műszaki textíliákhoz*. Építés- Építészettudomány XXXVII-2009/1-2. pp. 95-106.

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

- Hegyi D., Armuth M., Halmos B., Marotzy K.: *The effect of wind on historical timber towers analyzed by plastic limit analysis in the focus of a collapse*. ENGINEERING FAILURE ANALYSIS 134 Paper: 105852, 19 p. 2022.
- Szabó S., Kövesdi A., Vasáros Zs., Csicsely Á., Hegyi D.: *The cause of damage and failure of the mud-brick of the Khan in New-Gourna*. Engineering Failure Analysis, 128 paper 105567 pp 21, 2021.
- Hegyi D.: *Numerical stability analysis of arch-supported membrane roofs*. Structures, (28) pp. 785-795., 2021.
- Karadi D., Sipos AÁ., Halász M., Hliva V., Hegyi D.: *An elastic phenomenological material law of technical textile with a nonlinear shear behaviour*. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 40:19-20 pp. 759-769., 2021.
- Hegyi, D. - Pellegrino, S.: *Viscoplastic tearing of polyethilen thin film*. Mechanics of Time-Dependent Materials, 19. 187-208. 2015

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

A **témavezető** eddigi doktoranduszai⁷:
(név/felvétel éve/abszolutórium megszerzésének éve/PhD fokozat éve)
- Karádi Dániel Tamás, felvétel: 2019, abszolutórium: 2021

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

Budapest, 2025. január 29.


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.

Részletes kutatási terv

Fadélszékek képlékeny tartalékának vizsgálata

A tartószerkezetek teherbírását az egyes elemek teherbírása, a csomópontok teherbírása és a szerkezet globális stabilitásvesztéssel szembeni ellenállása határozza meg. Faszervezetek esetén rugalmas vizsgálatot szokás végezni tekintettel arra, hogy az anyag húzással és nyírással szembeni ellenállása csaknem ridegnek tekinthető. Azonban nyomásra és különösen lokális nyomásra képlékeny jellegűt mutat a tönkremeneteli folyamat.

Kazinczy Gábor a XX. század első felében dolgozott ki eljárást a képlékenyedés figyelembevételére a szerkezet analízisben. Ma már általánosan alkalmazzák ezeket az elveket acél és vasbeton szerkezetek tervezése esetén, azonban a faszervezetek esetén nem terjedt még el az eljárás. Ennek oka valószínűleg az, hogy a fentiek szerint alapvetően olyan anyagként gondolunk a fára, amely képlékenyedésre kevésbé hajlandó. Azonban a kutatási eredmények azt mutatják, hogy a csomópontok tönkremenetele a képlékenyedés jellegzetességeit mutatja általában, hiszen az erőátadás a csatlakozó elemek között rendszerint kis felületeken kialakuló nyomással történik.

Csavarozott és ács jellegű csapolt kapcsolatokra is találhatóak olyan publikációk, melyekben a leközölt erő-elmozdulás diagrammok megmutatják, hogy a csomópontok alkalmasak lehetnek képlékenyedésre. Azonban szükség lenne arra, hogy ezt a témakört laborkísérletek és numerikus szimulációk segítségével alaposabban megkutassuk ahhoz, hogy megbízható módszert lehessen adni a szerkezetek képlékeny vizsgálatára.

Egy torony tönkremenetelénél jutottunk korábban arra a következtetésre, hogy csak a csomópontok képlékenyedése ad reális magyarázatot arra, hogy a szerkezet miért volt képes több mint száz évig viselni a terheit annak ellenére, hogy a számítások szerint rugalmas alapon már egészen kicsi terhekre is tönkre kellett volna mennie. Ezek az eredmények adtak inspirációt arra, hogy megnézzük, hogy jellegzetes fedélszékek esetén is érdemes-e alkalmazni a képlékeny igénybevétel átrendeződést. A vizsgálatok azt mutatják, hogy számos esetben nagy mértékben megnöveli a szerkezet teherbírását a képlékenyedés figyelembevétele. A vizsgálatok így megerősítik a fenti szándékot, miszerint a csomópontok képlékenyedésének vizsgálata helyes, előre mutató célkitűzés.

Statikailag határozatlan szerkezetek esetén a csomópontok képlékenyedése csökkentheti a határozatlanság mértékét addig, amíg a szerkezet határozottá nem válik. Mindez akkor növelheti meg a szerkezetünk teherbírását, ha a csomópontok képlékenyedése megelőzi a szerkezeti elemek tönkremenetelét. A vizsgálataink szerint ez a feltétel számos esetben teljesül.

Az eddigi vizsgálatokat szabványos teherbírás számítással végeztük. Ezek a számítások nem adnak támpontot arra, hogy mekkora alakváltozásokat lehet megengedni az egyes csomópontokhoz, és magára a képlékenyedésre is csak durva közelítést adnak. Mindez szükségessé teszi azt, hogy kísérletekre alapozva a mérnöki gyakorlat számára felhasználható módon adjunk számítási módszereket a csomópontok képlékeny viselkedésének leírására.

A kutatás célja az, hogy a fent bemutatott csomóponti vizsgálatok alapján módszert adjunk fedélszékek vizsgálatára a csomópontok képlékenyedésének figyelembevételével. Ehhez meghatározzuk az alkalmazás feltételeit és határait.

A kutatásnak különös jelentőséget és aktualitást ad, hogy a klímaváltozás miatt megnövekedett meteorológiai terhek új kihívásokat jelentenek a fedélszékek szempontjából. Egy-egy szerkezet ellenőrzése során felmerülhet az, hogy megerősítésre van szükség a megnövekedett terheléshez. Azonban a képlékeny tartalék figyelembevételével esély van arra, hogy elkerülhető legyen a megerősítés. Ennek pénzügyi és műemléki jelentősége is van. Utóbbi azért lehet fontos, mert elkerülhetővé válnak olyan beavatkozások, melyek megváltoztatják az eredeti szerkezeti elrendezést, megjelenést.

Budapest, 2025. január 29.


Dr. Hegyi Dezső

egyetemi docens

Irodalom

Crews, K., M. Ritter. 1996. Development of limit states design procedures for timber bridges. *National conference on wood transportation structures Madison*, 292-301.

Hegyi, D., M. Armuth, B. Halmos, K. Marotzy. 2022. The effect of wind on historical timber towers analyzed by plastic limit analysis in the focus of a collapse, *Engineering Failure Analysis*, 134 Paper: 105852, 19 p.

Hegyi, D., P Marton, B. Halmos, M. Armuth. The application of the plastic limit analysis to extend the loadbearing capacitance of historical timber roofs, *International Journal of Architectural Heritage*, Bírálatra leadva, 2025.

Kazinczy G. 1931. Végeiken befalazott hengerelt vasfödém gerendák méretezése a maradó alakváltozások figyelembevételével. [Design of clamped end steel beams with regard to the residual deformations.], PhD diss, Royal Joseph University; Budapest, Hungary.

Lokaj A., Dobes P., Sucharda O. 2020. Effects of loaded and distance and moisture content on the behavior of bolted connections in squared and round timber subjected to tension parallel to the grain. *Materials* 13 (23): 1-21.

Palma P., Garcia H., Ferreira J., Appleton J., Cruz H. 2012. Behaviour and repair of carpentry connections – Rotational behaviour of the rafter and tie beam connection in timber roof structures. *Journal of Cultural Heritage*, 13 (3): 64-73.