

Előfeszített körüreges födempalló numerikus és laboratóriumi vizsgálata

Numerical and laboratory examination of hollow core slabs

FAZEKAS Barbara¹, RUTTERSCHMIDT Dávid², ROSZEVÁK Zsolt³, Dr. HARIS István³

¹BME, Építőmérnöki Kar, MSc, fazekasbarbara@edu.bme.hu

²BME, Építőmérnöki Kar, MSc, david.rutterschmidt@edu.bme.hu

³BME, Építőmérnöki Kar, Hidak és Szerkezetek Tanszék, PhD hallgató, roszevak.zsolt@emk.bme.hu

⁴BME, Építőmérnöki Kar, Hidak és Szerkezetek Tanszék, adjunktus, haris.istvan@emk.bme.hu

Abstract

The topic of the research is to compile a non-linear finite element procedure in order to simulate the real behavior of a prefabricated, prestressed hollow core slab element with high precision. The aim is to adequately record the material characteristics and parameters applicable to the examination. The accuracy of the results obtained are verified by industrial laboratory results done by Ferrobeton ZRt.

Keywords: hollow core slabs, numerical modelling, nonlinear finite element analysis, ATENA 3D software, laboratory test

Kivonat

A kutatás témája egy olyan nemlineáris végelelemes eljárás összeállítása, mely segítségével nagy pontossággal modellezhető egy előregyártott, előfeszített körüreges vasbeton palló valós viselkedése. Cél a vizsgálatokhoz alkalmazandó anyagi jellemzők és paraméterek megfelelő felvétele. A modellezett eredmények helyessége, megfelelősége ipari (Ferrobeton ZRt.) labor kísérletek eredményeinek segítségével kerül igazolásra, összehasonlítva a valós és számított értékeket.

Kulcsszavak: körüreges födempalló, numerikus modellezés, nemlineáris végelelemes analízis, ATENA 3D szoftver, laboratóriumi vizsgálat

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

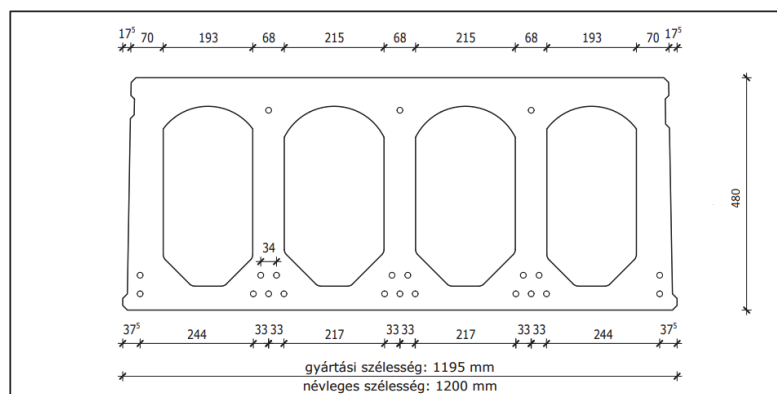
Jelen tanulmányban egy előfeszített vasbeton körüreges födempallót vizsgáltunk meg hajlításra és nyírásra egyaránt. A tanulmány célja, hogy a valós kísérletből származó viselkedést egy általunk kifejlesztett numerikus modellezési eljárással kapott eredményekkel összehasonlítsuk, illetve azzal megfeleltessük.

A modellezéshez az ATENA nemlineáris végelelemes program kettő modulját használtuk fel. A modellt a GID modulban építettük fel, míg a futtatást az ATENA Studioban hajtottuk végre.

A tanulmány során bemutatjuk a kiindulási adatokat, valamint a kapott eredményeket és az ezekből levont tanulságokat, konklúziókat.

2. KÍSÉRLETI ÉS TERHELÉSI ELRENDEZÉS

A Ferrobeton ZRt. által gyártott és a telephelyén próbaterhelt FF500 jelű [7], 17,8 méter hosszú, feszített körüreges födempalló próbaterhelési kísérleti eredményei álltak rendelkezésünkre a gyártó jóvoltából. Az 1. számú ábrán látható az egyedi FF500 jelű elem keresztmetszeti kialakítása.



1. ábra: Egyedi földémpalló keresztmetszeti kialakítása [7]

Az egyedi palló abban tér el a standard FF500 jelű pallótól, hogy a magassága nem 500 mm, hanem 480 mm. Az F jelű vasalás esetén a keresztmetszet alján 19 db Y1860-12,5 jelű pászmát, a tetején pedig 6db Y1860-9,3 jelű pászmát helyeznek el. Egyedi vasalás esetén a keresztmetszet alján elhelyezett pászmák jele és száma megegyezik, de a keresztmetszet tetején alkalmazott pászmák mennyisége különbözik. Az egyedi, általunk is vizsgált palló esetén felül Y1860-12,5 jelű pászmából 3db-ot helyeztek el.

A kísérlet során három terhelési lépcsőt alkalmaztak, melyekben rögzítették a tartó közepén mérhető elmozdulásokat. Az első terhelési lépcsőben egy 10 tonnás terhet tettek a tartó közepére. A második terhelési esetben, ahogy az a 2. ábrán is látható, a 10 tonnás teher kiegészül további kettő darab 5500 kg-os teherrel. A harmadik lépcsőben további 3000 kg teher kerül a tartóra. A valós kísérlet során detektált erő-elmozdulás diagrammal hasonlítottuk össze a numerikus vizsgálatokból származó eredményeket, azaz a kapott virtuális erő-elmozdulás diagramokat. A kísérlet során a pallót nem terhelték tönkremenetelig, így arról adat nem állt rendelkezésünkre.



a)

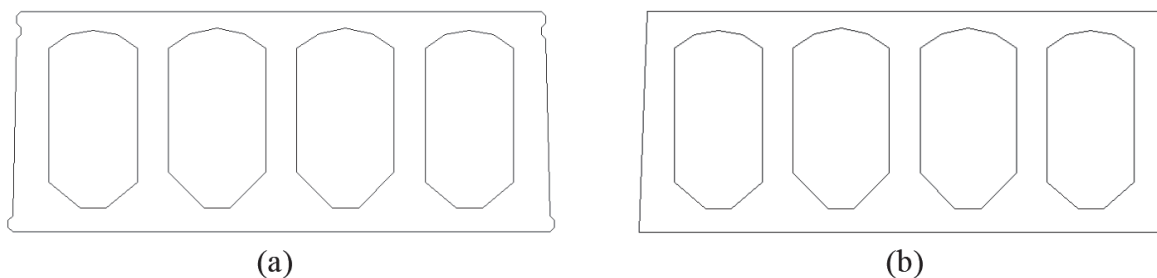
b)

2. ábra. Kísérleti elrendezés
(a) 2. teherlépcső, (b) 3. teherlépcső

3. NUMERIKUS MODELLEZÉS

A numerikus modell geometriája és a statikai váz a kísérleti elrendezéssel megegyező, a gerenda keresztmetszete és a huzalok elhelyezése a gyártói adatok szerint lettek modellezve. Az erőbevezetési helyek környezetében a modellben vékony acéllapokat alkalmaztunk. A gerenda és az alátétlemezek 3D térfogatelemként voltak definiálva [3]. Alapvetően három különböző anyagmodell használtunk: a beton, illetve a feszítőhuzalok és az alátétlapok acél anyagának jellemzőit adtuk meg parametrikusan [1], [2].

Annak érdekében, hogy a futtatási időt némileg csökkentjük a tényleges keresztmetszet egyszerűsítettük, lásd a 3. ábrán. Ennek fő oka az volt, hogy a hálózásból származó végelemek 15 cm-es végelemhálózás esetén az eredeti keresztmetszet alkalmazása mellett mintegy 90000 darab végelemet kaptunk, míg az egyszerűsített keresztmetszettel ez lecsökkent közel 33000 darab végelemre.

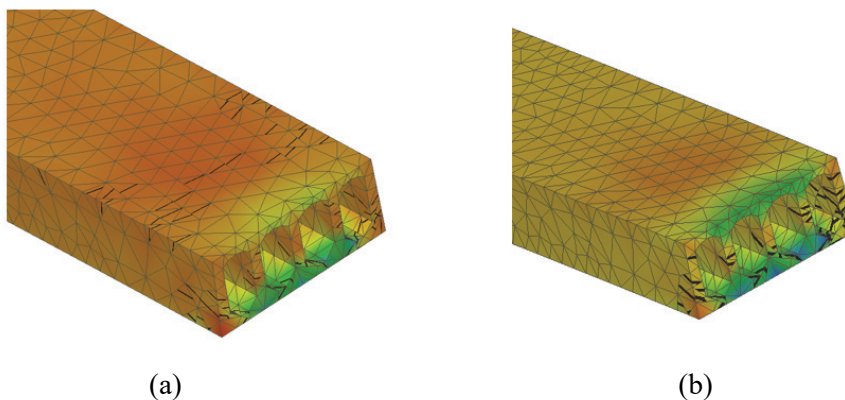


3. ábra. Modellezett keresztmetszetek
(a) eredeti keresztmetszet, (b) módosított keresztmetszet

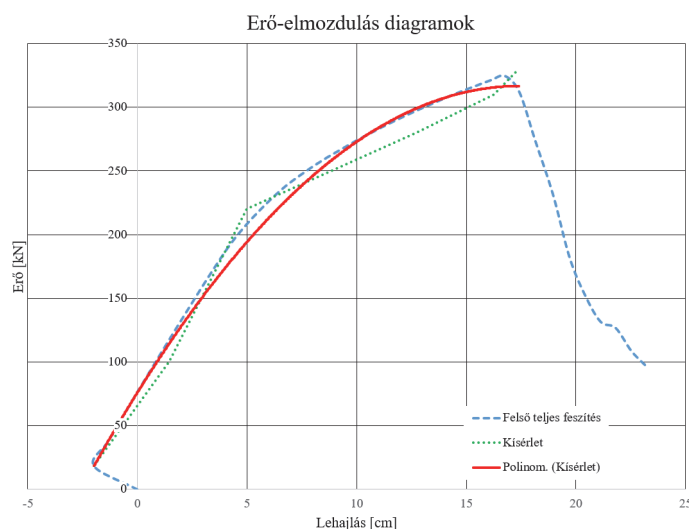
A terhelést két elkülönülő lépcsőben definiáltuk. Az elsőként a gerenda megfeszítése, majd a földempalló kísérlet szerinti függőleges értelmű terhelése történt meg. A próbaterhelési elrendezéshez igazodva a numerikus eredményeket a tartó közepén elhelyezett monitorponton detektáltuk.

4. EREDMÉNYEK

Első körben a feszítés modellezését vizsgáltuk és a feszítő erő ráengedését külön modelleken elemeztük. A feszítést több lépcsőben adtuk rá a szerkezetre. A teljesen megfeszített elem tartó végének feszültség ábráit lásd 4. ábrán. A 4.(a) ábrán csak az alsó, a 4.(b) ábrán az alsó és a felső feszítőpásmák is meg lettek feszítve. Az eredményekből egyértelműen megállapítható, hogy a felső pásmasor feszítése nélkül a tartó felső része bereped.



4. ábra: Feszítés hatása a tartó végén
(a) feszített pásmák alul, (b) feszített pásmák alul és felül

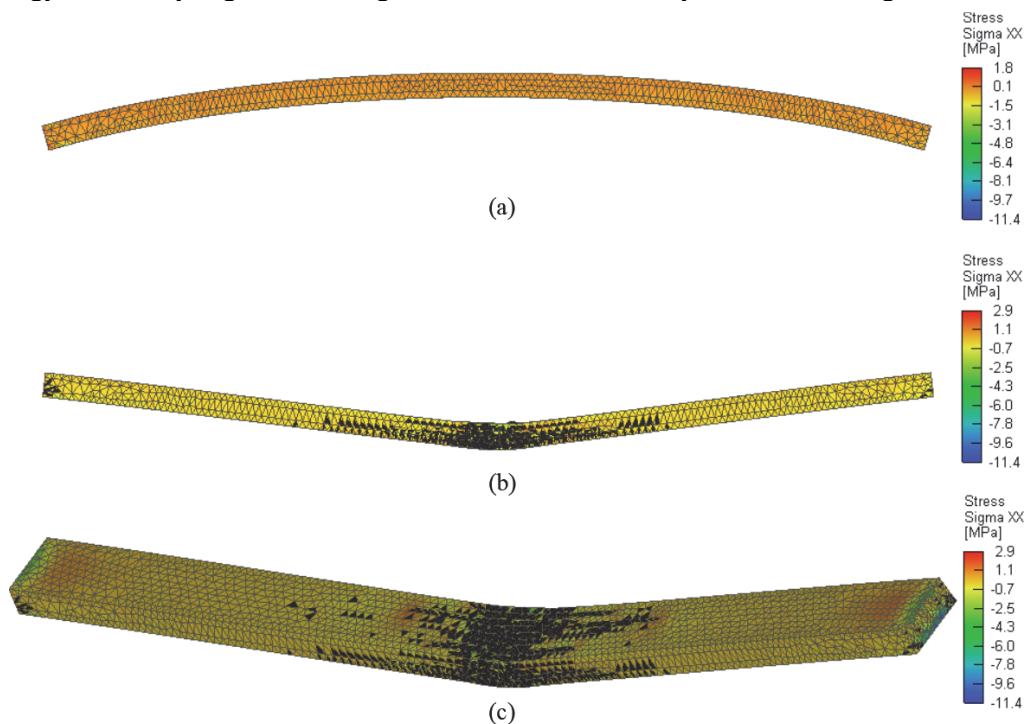


5. ábra: Erő – Elmozdulás diagramok

További futtatások során a pallót tönkremenetelig terheltük. A valós kísérlet során a palló teherbírásának meghatározása volt szem előtt tartva, így abban az esetben a pallót nem tették tönkre. A mérést csak bizonyos teher szinteken végezték el, így a kapott erő-elmozdulás pontpárokból függvény illesztéssel készítettünk görbét. Alapvetően egy kísérletből származó mérési eredmény állt rendelkezésre, mellyel azonban össze tudtuk hasonlítani a numerikusan kapott eredményeket. A kapott eredményeket erő-elmozdulás diagramon szemléltetjük, lásd 5. ábrán. A végesselemez számításokkal kapott erő-elmozdulás diagram kezdeti szakasza eltér a laboratóriumi kísérletekben kapott eredményektől. A diagramon a negatív értelemben vett elmozdulás a tartó feszítéséből származó függőlegesen felfelé irányuló elmozdulást jelent, lásd 6.(a) ábrán. Az eredmények összehasonlíthatósága érdekében így a valós kísérletekből kapott eredményeket a feszítésből kapott elmozdulás értékével el kellett tolnunk. Az így kapott erő-elmozdulás diagramok már összehasonlíthatók lettek. A tartó berepedéséig számottevő eltérés nem tapasztalható, azonban a berepedést követően már számottevő, azonban 5-10 % -on belüli eltérést kaptunk az erő-elmozdulás pontpárokat tekintve. A tönkremeneteli állapotban a valós- és numerikus vizsgálat eredményei jó egyezést mutatnak, azok szintén 10 %-on belül térnek csak el egymástól.

A tönkremeneteli állapotban a numerikus vizsgálatból kapott feszültség ábrát és repedésképet a 6.(b) és (c) ábrán szemléltettük. A tönkremeneteli forma az adott terhelési elrendezésre jellemző hajlítási tönkremenetel. A tartó középső keresztmetszeténél az alsó húzott övön a hajlítási repedésekre jellemző, a tartó tengelyére merőleges repedések jelentek meg, valamint a repedések a felső nyomott zónába is felértek. A vizsgált tartó a felső nyomott zóna összemorzsolódásával ment tönkre, melyet a palló felső felületén megjelent számos repedés is mutat.

A kapott eredmények kizárólag egy valós kísérletből rendelkezésre álló eredménnyel lettek összehasonlítva. A numerikus modell kialakításán, annak bemenő adatain, mint a végesselemez háló mérete, még további módosítások szükségesek az eredmények pontosítása érdekében. Továbbá a numerikus modell verifikálása érdekében nagyobb mennyiségű és minőségű laboratóriumi eredményekre van szükség.



6. ábra: Eredmények – feszültség ábrák
 (a) feszítés ráengedésének pillanata - oldalnézet, (b) tönkremeneteli állapot – oldalnézet,
 (c) tönkremeneteli állapot – 3D nézet

5. TOVÁBBI LEHETŐSÉGEK

A korábban elért [1], [3], [4], [5], [6] és a palló numerikus vizsgálataival elért eredményeket felhasználva további kutatási területek nyílnak meg. Az előregyártott palló vizsgálatai bár még kezdeti fázisban vannak, az elért eredmények jó kiindulási alapot minősülnek a hasonló szerkezeti elemek vizsgálata során.

A további kutatásaink során elvégezzük az előregyártott feszített körüreges palló bemenő adatainak anyagmodell szintjén meghatározott paramétervizsgálatát, mellyel a korábban fejlesztett modellezési technika továbbfejleszhető.

A paraméteres vizsgálat továbbá lehetőséget nyújt a kereskedelmi forgalomban elérhető más típusú és geometriájú körüreges pallók numerikus vizsgálatának elvégzésére is. Lehetőség van továbbá új körüreges pallók fejlesztésére, illetve azok kialakításának, keresztmetszetének optimalizációjára is.

A vizsgált előregyártott szerkezeti elemek alapvetően más szerkezeti elemekre támaszkodnak végleges állapotukban, így azok kapcsolatainak kialakítása szintén numerikus modellekkel vizsgálható. A pallók elhelyezése történhet előregyártott- és monolit vasbeton szerkezeti elemekre, valamint téglafalazatra is. Az egyes csomóponti kialakítások esetén a gyártó által megadott ajánlások más és más elhelyezési technológiát adnak meg, így ezeket szintén külön-külön vizsgálni lehet végeselemes számításokkal.

A pallók számos esetben kerülnek beépítésre kiegészítő monolit (vasalt) felbeton réteggel. A felbeton réteg vastagsága változó lehet, így azokat szintén paraméteres numerikus számításokkal lehet vizsgálni. A felbetonnal ellátott pallók esetében felmerül a felbeton és a beton közötti kapcsolat kialakításának modellezési lehetőségei. Ennek érdekében a numerikus modellezési eljárás további fejlesztésen kell átessen és egy olyan anyagmodellt kell parametrizálni, mely megfelelően képes az eltérő időben betonozott rétegek közötti kapcsolatot modellezni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton köszönjük a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék és a Szerkezet- és Anyagvizsgáló Laboratórium munkatársainak a felhasznált kísérletek lebonyolításában való közreműködésüket, valamint a numerikus modellfejlesztéshez biztosított támogatásukat.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Haris I., Roszevák Zs. (2017), „Előregyártott vasbeton gerendák numerikus és kísérleti vizsgálata” *Vasbetonépítés: A FIB magyar tagozat lapja: Műszaki folyóirat XIX*: (1) pp. 2-11., 2017.
- [2] Cervenka V., Jendele L. és Cervenka J., *ATENA Theory*, Prága: Cervenka Consulting, 2018.
- [3] Roszevák Zs., Haris I. (2019), „Monolit vasbeton keretsarok numerikus vizsgálata - 1. rész Egyirányú monoton növekvő terhelés” *Vasbetonépítés: A FIB magyar tagozat lapja: Műszaki folyóirat XXI*: (3) pp. 78-86., 2019.
- [4] Roszevák Zs., Haris I. (2020), „Monolit vasbeton keretsarok numerikus vizsgálata - 2. rész Ciklikusan változó terhelés” *Vasbetonépítés: A FIB magyar tagozat lapja: Műszaki folyóirat XXII*: (3) pp. 73-82., 2020.
- [5] Roszevák Zs., Haris I. (2019), „Finite element analysis of cast-in-situ RC frame corner joints under quasi static and cyclic loading”, *Revista de la Construcción*, 18: (3) pp. 579-594. (2019)
- [6] Roszevák Zs., Bodó P. B., Haris I., Vasbeton síklemez egyenértékű kerettel történő helyettesítése vízszintes teherre numerikus vizsgálatok alapján, *XIII. Magyar Mechanikai Konferencia*, Miskolc, 2019.
- [7] Ferrobeton körüreges födécek:
<https://ferrobeton.hu/images/upload/content/1526/files/FF%20k%C3%B6r%C3%BCreges%20panelok.pdf>