

Lyukacsos (anizotrop) téglaelem laboratóriumi és numerikus vizsgálata

Laboratory and numerical analysis of perforated (anisotropic) brick element

HORTOBÁGYI Tamás¹, ROSZEVÁK Zsolt², Dr. HARIS István³, Dr. SAJTOS István⁴

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, MSc, hortobagyi.tamas@gmail.com

²BME, Építőmérnöki Kar, Hidak és Szerkezetek Tanszék, PhD hallgató, roszevak.zsolt@emk.bme.hu

³BME, Építőmérnöki Kar, Hidak és Szerkezetek Tanszék, adjunktus, haris.istvan@emk.bme.hu

⁴BME, Építészmérnöki Kar, Szilárdságtani és Tartószerkezetek Tanszék, egyetemi docens, sajtos.istvan@epk.bme.hu

Abstract

The examination of masonry has recently been an intensively researched topic, but there are very few publications on the elemental examination of so-called anisotropic ceramic masonry elements, which are confined to isotropic brick masonry elements. The examination of modern orthotropic masonry elements, which are the most widely used in terms of design, is extremely important because geometric, manufacturing and/or stress-based optimization is one of the most important factors in today's world. Within the frame of this article, laboratory and numerical testing of an orthotropic burnt ceramic masonry element is presented. The measurements were carried out with Porotherm 30 N+F type bricks, for which uniaxial compressive stress was operated from three different directions. For numerical modeling of measurement results, we have developed a finite element modeling process that approximates the results of the lab experiment.

Keywords: masonry element, numerical experiment, nonlinear finite element, orthotropic ceramic masonry element, ATENA software

Kivonat

Falazatok vizsgálata a közelmúltban intenzíven kutatott téma, ugyanakkor ún. anizotrop kerámia falazóelemek elemszintű vizsgálatával nagyon kevés publikáció foglalkozik, azok is csupán az izotrop, másnéven tömör téglafalazóelemekre szorítkoznak. A korszerű, a kialakítását tekintve legelterjedtebben ortotrop falazóelemek vizsgálata rendkívül fontos, mert a kialakítás geometriai, gyártási és/vagy feszültség alapú optimalizációja az egyik leglényegesebb tényezője a mai világunknak. Jelen cikk keretein belül egy ortotrop égetett kerámia falazóelem laboratóriumi és numerikus vizsgálata kerül bemutatásra. A méréseket Porotherm 30 N+F típusú téglával végeztük el, melyre három különböző irányból egytengelyű nyomófeszültséget működtettünk. A mérési eredmények numerikus modellezésére végeselemes modellezési eljárást fejlesztettünk, mely jól közelíti a laborkísérlet eredményeit.

Kulcsszavak: falazóelem, numerikus kísérlet, nemlineáris végeselem, ortotrop kerámia falazóelem, ATENA szoftver

1. BEVEZETÉS

A mai világban minden iparág törekszik a minél hatékonyabb anyagfelhasználásra, a lehető legjobb költség-hatékonyság megteremtésére. Ennek eléréséhez az optimalizálás és a numerikus modellépítés igen nagy fontossággal bír, hiszen utóbbival a viszonylag drága laborkísérletek akár kiválthatók. Nincs ez máshogy az építőmérnöki gyakorlatban sem, ahol ezek a szempontok kritikus fontosságúak. A modern számítástechnikai módszerek segítségével az előbb említett kritériumok könnyebben vizsgálhatók. Egy numerikus modellkel pontos felépítése után van lehetőség az adott elem méretbeli, formai, illetve anyaghasználati, gyártási optimalizációjára.

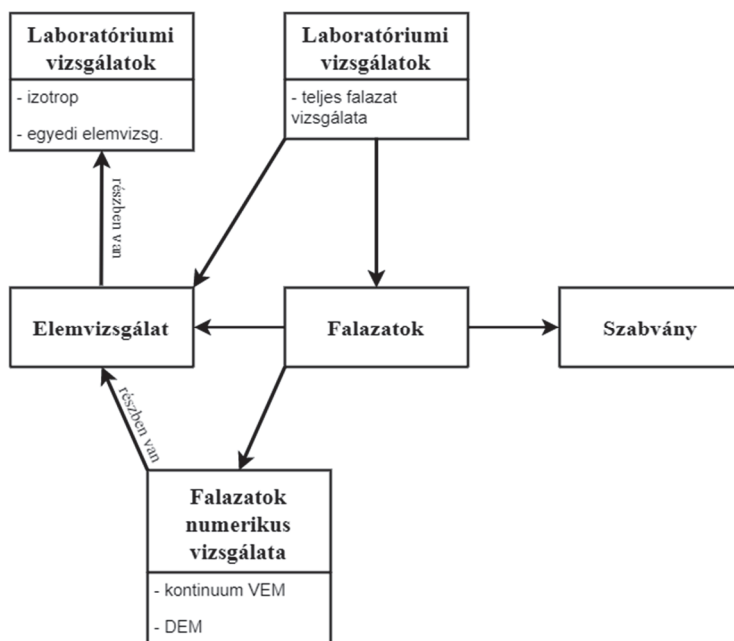
Jelen munka keretein belül szakirodalomban ún. anizotrop (ortotrop, lyukacsos) kerámia falazóelemek laboratóriumi vizsgálatával és numerikus modellezési lehetőségeivel foglalkozunk. A laboratóriumi kísérletek

során hat próbatestből álló kísérlet sorozatot terveztünk és hajtottunk végre, melyeket az ún. bordákkal párhuzamos, monoton növekvő erővel tönkremenetelig terhelünk. Ez felel meg alapvetően a gyakorlati felhasználás terhelési irányának. Ezt a folyamatot részben publikáltuk egy Tudományos Diákköri Konferencia (TDK) [1], illetve a XIII. Magyar Mechanikai Konferenciára (MaMeK) [2] keretében. A korábbiakban bemutatott vizsgálatokon túl rendelkezésünkre álltak az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) pályázatában futó NKFI-K124859 projekt kísérleti eredményei is. Ebben a kísérletben három-három darab próbatest mérési eredményei álltak rendelkezésünkre, melyeket ún. normál irányban, bordák hosszirányában, illetve bordák hosszirányára merőlegesen monoton növekvő erővel tönkremenetelig terheltek. A vizsgálatoknál a terhelőfej elmozdulását mérték, mérésenként négy helyen.

2. A JELENLEGI KÖRNYEZET ÉS A CIKK CÉLJA

Alapvetően a jelenlegi szabványok a falazatokat nem annak építő elemeinek önálló vizsgálatán alapuló törésmechanikai leírásával vizsgálják [7]. A falazatok tönkremenetelét leírni alkalmas egyetlen ismert ún. Tsai-Wu törési feltétel (alapvetően kompozitokra vonatkozó [8]) nagyon bonyolult. Egyúttal közel 13 paraméternek tényleges kimérésére nincs ismert laboratóriumi eljárás. Így alkalmazhatósága csekély, legalábbis gyakorlati szempontból. Éppen ezért a vonatkozó szabványok egységesen előírt kisméretű minta próbatestek (falazatok) laboratóriumi vizsgálatát írják elő, melyből „visszafelé” kerülnek kvázi-empirikus úton levezetésre a falazóelemre és habarcsra (vasalásra) vonatkozó követelmények.

Ettől az algoritmustól alapjaiban eltérve cikkünkben bemutatjuk, hogy egy önálló falazóelem viselkedése, így törési feltételei is leírhatók, numerikusan meghatározhatók a laboratóriumban már mérhető alapanyag jellemzők, azaz a nyomó- és húzószilárdság, valamint a rugalmassági modulus és/vagy valódi σ - ε diagramok ismeretében. Ezzel akár lehetőség nyílik a falazatok elemekből történő felépítésére és vizsgálatára, természetesen numerikusan.

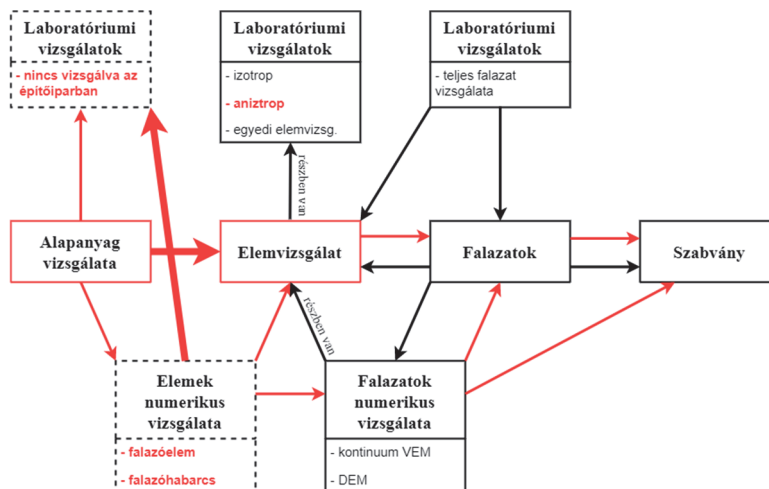


1. ábra. Jelenleg alkalmazott eljárás

Ugyanez vonatkozik a falazatra, a laborkísérletekkel nem lehet minden jellemzőjét meghatározni a falazatnak. Erre a problémára találtak megoldást a szakemberek, hiszen már készült numerikus modell falazatra diszkrét elemes módszerrel [9], illetve kontinuummá „elkent” kialakítással is [10]. Hangsúlyozzuk, ez a kevés számú publikáció is kizárólag a falazatra és nem az önálló falazóelemekre vonatkozik.

A kutatásunk jövőbeli célja, hogy ezt a falakra vonatkozó algoritmust más irányból építsük fel: elem-szintű modellezéssel felépítve legyünk képesek vizsgálni a falazatok viselkedését. Ennek a módszernek köszönhetően sokkal széleskörűbben lehet vizsgálni elemszinten a falazóelemeket, majd ezt követően akár a falazatokat is. Olyan paramétereket lehet meghatározni, melyeket laborkísérletek során az anyagok sajátosságai és a bonyolult mérés technikai igény miatt eddig nem voltunk képesek kimérni.

Ezzel a módszerrel elemszinten lehetséges a falazóelemet optimalizálni a keresztmetszet, a szilárdság, az anyaghasználat, illetve akár hőtechnikai (gyártási) szempontból is. Egységesen lehet vizsgálni a mindkét harántirányú viselkedést, a gyártáskor keletkező anyagi hibák hatását a falazóelemre stb.



2. ábra. Újfajta eljárás

3. A LABORÍTÓRIUMI KÍSÉRLETSOROZAT

3.1. A kísérletsorozat bemutatása

A kísérletsorozat az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) pályázata segítségével jöhetett létre. Az NKFI-K124859 sorszámon futó projekten dolgozó szakemberek a falazott, húzószilárdság nélküli szerkezetek mechanikáját vizsgálják. A kutatás igen sokrétű, többek közt boltozatok és egyedi téglaelemek viselkedését is vizsgálják. A kísérletsorozat jelenleg a kezdeti fázisban van, az adatok kiértékelése, publikálása még nem történt meg.

A laborkísérletsorozat részeként három-három darab Porotherm 30 N+F típusú terméket terheltek három egymásra merőleges irányban, egyirányú nyomással tönkremenetelig. A próbatestek alá és fölé mintegy 0.8-1 cm vastag habarcsréteg került. A terhelőberendezés vége egy közel 60 cm x 60 cm oldalhosszúságú, négyzet alakú acélelem volt, melynek négy sarkába helyezték el az elmozdulásmérőket.



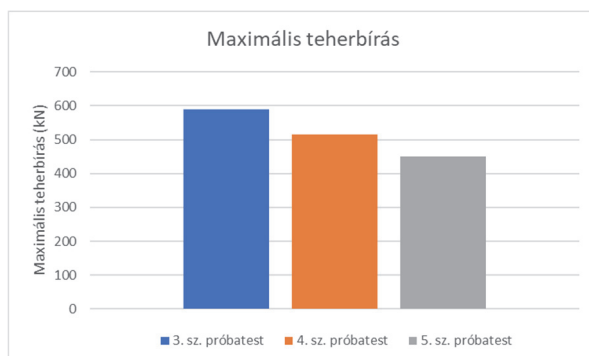
3. ábra. Kísérleti elrendezés

3.2. A kísérleti eredmények

A három rendelkezésre álló mérési eredmény kis szórást mutatott. A 3-as jelű próbatestnél közel 600 kN-os maximális teherbírás adódott, az 5-ös esetében 450 kN nagyságú erőt mért a berendezés, míg a 4-es esetében a két előbbi érték közötti 515 kN nagyságú erő hatására ment tönkre a téglaelem. Az eltérő eredmények a próbatestek különféle tönkremeneteli módjából adódtak, ugyanis volt olyan eset, ahol a

terhelőberendezés felső nyomólapja elferdült, így kisebb lett az adott téгла teherbírása. Ez később az elmozdulási értékekből alátámasztást is nyert.

A rendelkezésünkre bocsátott nyers eredmények nagy eltéréseket mutattak, korrigálásra szorultak. A részletes folyamatot, mely során a kapott eredményeket elemezzük és részben kiértékeljük, egy korábbi 2. Tudományos Diákköri Konferencián (TDK) publikáltuk. [11]



4. ábra. Maximális teherbírás értékei

A másik két irányú (bordák hosszirányára párhuzamos, bordák hosszirányával merőleges) kísérletnél is a kiértékelést követően le tudjuk vonni a tanulságokat.

A bordák hosszirányával párhuzamos terhelés esetében nagymértékű teherbírás-, illetve merevségcsökkenés tapasztalható a „normál” terheléshez viszonyítva. Emellett az alakváltozóképeség kismértékű növekedése is látható.

A harmadik irányú, bordák hosszirányával merőleges terhelés esetén a teherbírás a „normál” teherbírás 6%-át sem éri el. A tönkremenetel már alacsony teher szinten volt tapasztalható a falazóelem szerkezeti kialakítása miatt.

A falazatok teherbírásának szabványos számításakor a téгла teherbírását alapvetően nem csak erő jellegű mértékegységgel, hanem a keresztmetszetre viszonyított feszültséggel/szilárdsággal vesszük figyelembe.

A laboratóriumi kísérletek eredményeiben is megfigyelhető, ami a numerikus számításnál, hogy a „normál” irányban terhelt esetben tapasztalható a legnagyobb erő tönkremenetelkor, több mint 500 kN, ami a befoglaló keresztmetszetre viszonyítva valamivel több, mint 7 N/mm²-nek megfelelő. A tényleges keresztmetszetre viszonyított feszültség több, mint 15 N/mm²-re adódott. A bordák hosszirányában terhelt esetben a kapott tényleges keresztmetszetre vonatkozó feszültség a normál érték kb. 3/5-e, míg a bordák hosszirányára merőlegesen terhelt esetben csupán a legnagyobb feszültségi érték egyötödét tapasztaljuk.

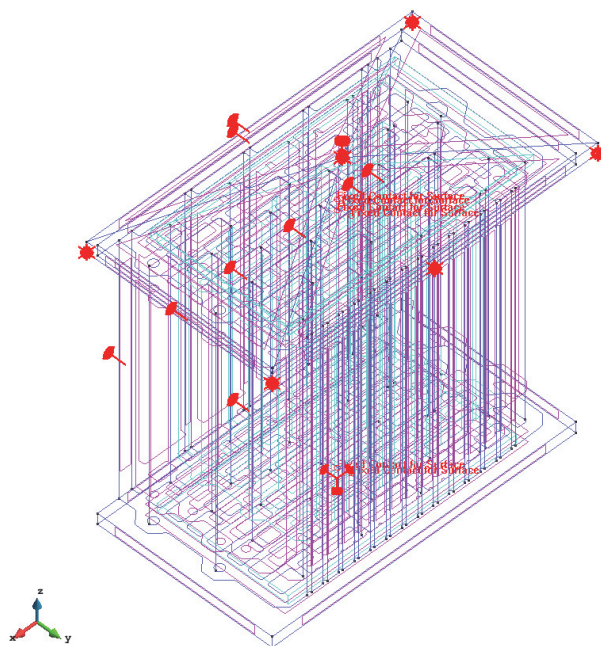
Tönkremenetelhez tartozó értékek a laboratóriumi vizsgálatok alapján

1. táblázat

Tönkremenetelhez tartozó értékek a laboratóriumi számítások alapján				
Erő (kN)	Befoglaló (N/mm ²)	Tényleges km (N/mm ²)	Normálhoz viszonyított érték	
Normál irányban terhelt	528	7,16	15,43	-
Bordák hosszirányában terhelt	201	2,81	8,99	58,3%
Bordák hosszirányára merőlegesen terhelt	30	0,52	2,80	18,1%

4. A NUMERIKUS MODELL

A numerikus vizsgálatokat a GID nevű szoftver 12-es verziójával, majd azt követően az Atena Studio V5, 3D-s, nemlineáris végeleemes programmal végeztük.



5. ábra. A numerikus modell kialakítása

A numerikus modellben egy „féltéglat” modelleztünk, kihasználtuk az eredeti falazóelem szimmetriai adottságait. A modell felépítése a laborkísérletet mintázza: a próbatest alá és fölé egy-egy 1 cm vastag habarcsréteg került definiálásra. A felső rétegre egy acél elem került, melynek alsó része téglatest alakú, a felső pedig egy téglalap alakú gúla. Ez az acélelem azért került elhelyezésre, hogy a terhelés elmozdulás-vezérelt lehessen. Így tehát a modellre függőlegesen lefelé (azaz -z irányban) összesen 2,5 mm elmozdulást helyeztünk 25 lépésben, tehát lépésenként 0,1 mm került működtetésre.

A modell adott oldalán a szimmetria feltételek definiálva lettek, az alsó habarcs alsó síkjára pedig felületi, minden irányban (x, y, z) megtámasztott támasz került. A végelemekháló a korábbiakhoz hasonlóan tetraéderekből épült fel, melyek 4 mm nagyságú oldalélekkel rendelkeznek. A csomópontok száma mintegy 389 ezer darab volt. A végelemekháló definiálása során szándékosan törekedtünk a nem szabályos, aszimmetrikus kialakításra, ezzel modellezve a falazóelem készítése során bekövetkező anyaghibákat, szabálytalanságokat. Elmozdulást figyelő monitorpontokat is elhelyeztünk, a laborkísérletnek megfelelően az acél elem sarkaiban. További kísérletekhez egyéb mérési pontok is elhelyezhetők bármely tetszőleges pontban.

A téglatesthez az anyagmodellt a kerámiákra, illetve rideg anyagokra, így alapvetően a betonokra parametrizálható modell segítségével vettük fel [3], [4], [5], [6]. A programban megadhatók egy teljesen egyenértékű egyirányú feszültség-alakváltozás görbe pontjai (pl.: a nyomó- és húzószilárdság értéke).

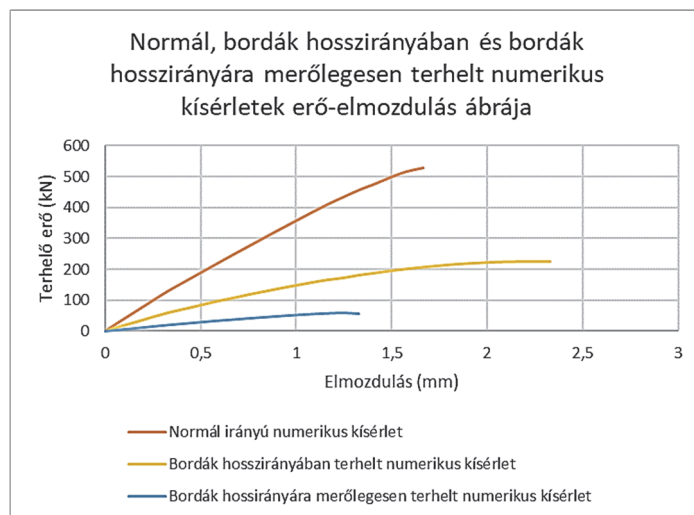
A modellben olyan tulajdonságok állíthatók be, mint a rugalmassági modulus, Poisson-tényező, húzó- és nyomószilárdság. Ezen kívül a húzáshoz tartozó, a nyomáshoz tartozó, a nyírási és a vegyes tulajdonságok adhatók meg. A modell tulajdonságain természetesen lehet változtatni, a folyási függvény, a degradáció, a repedésmegnyílás, a nyírási faktor függvényeinek egy, vagy két pontjának módosításával.

A korábbi kutatásaink alapján [11], a habarcs anyagjellemzői nem befolyásolták jelentős mértékben a teljes rendszer viselkedését.

4.1 A számítások eredményei

A numerikus modell eredményeként többek közt erő-elmozdulás ábrákat, deformációs ábrákat és repedéseképeket kaphatunk, melyeket össze lehet hasonlítani a laborkísérletben tapasztaltakkal. A numerikus modell előnye, hogy bármely pontban tudunk akármilyen szükséges eredményt (három irányú abszolút elmozdulást, feszültségeket stb.) vizsgálni, nem vagyunk rászorulva a kísérleti elrendezés és a geometriai kötöttségek által leszűkített mérési pontokra. Mivel a pályázati kísérletben csak a terhelőberendezés sarkaira raktak elmozdulásmérőket, így mi is így jártunk el. A numerikus számítás során kapott erő-elmozdulás diagramok közül csak a szimmetriatengelyre párhuzamos oldal középpontjában kapott eredményeket szemléltetjük, hiszen a továbbiakban majd ezt tudjuk összevetni legjobban a laborkísérletben meghatározott átlagértékekkel.

A kapott bordák hosszirányában terhelt modell erő-elmozdulás eredményeiből jól látszik, hogy a teljes téglaelemnek nemcsak a teherbírása csökkent nagy mértékben, hanem a merevsége is a „normál” irányból terhelt esethez képest. A kapott maximális teherbírás értéke csupán 224 kN, míg a „normál” irányból terhelt esetben 528 kN. Ugyanakkor megfigyelhető, hogy a kisebb teherbíráshoz nagyobb alakváltozás párosult a korábbi, „normál” irányúnál kapott értékhez képest. Utóbbi tulajdonság az újfajta kísérleti elrendezésnek köszönhető, hiszen miután a habarcsra feltámaszkodott részek tönkrementek, nagyobb mértékben tudott a téglá elmozdulni az eredeti elrendezéshez képest. Kismértékű képlékenyedés látható az ábrán, mely a tönkremenetel sajátossága miatt következett be.



6. ábra. Normál, bordák hosszirányában és bordák hosszirányára merőlegesen terhelt numerikus kísérletek erő-elmozdulás ábrája

A bordák hosszirányára merőlegesen terhelt elem teherbírása közel a tizedére esett vissza a „normál” irányban terhelt modellhez képest (kb. 58 kN), illetve a merevség tovább csökkent már a bordák hosszirányában terhelt modellhez képest is. Ennél a modellenél tapasztalható a legkisebb alakváltozási képesség is. A modellenre működtetett elmozdulás közel felénél már tönkremenetel volt tapasztalható.

A numerikus számítás esetében is szükséges a keresztmetszetre vetített feszültségi/szilárdsági értékek kiszámítása és összehasonlítása.

A numerikus kísérletek eredményei alapján látható, ahogyan a laboratóriumi kísérlet eredményein is, hogy a normál irányban terhelt esetben tapasztalható a legnagyobb a tönkremenetelhez tartozó erő, az erre merőleges irányokban jóval kevesebb a tönkremenetelhez tartozó erő. A bordák hosszirányában, vagyis a fal síkjában a normálhoz viszonyított tényleges keresztmetszetre vonatkozó feszültség kb. 2/3-át tapasztalhatjuk. A harmadik irányban, a bordákra merőlegesen még kisebb feszültség, a normál irányban terhelt eset kb. 1/3-a mérhető.

5. A NUMERIKUS ÉS LABORATÓRIUMI EREDMÉNYEK ÖSSZEHA-SONLÍTÁSA

Ahhoz, hogy össze lehessen hasonlítani a numerikus és laboratóriumi eredményeket nem a tönkremenetelkor tapasztalható erőket célszerű összevetni, hanem ugyanakkora mértékű alakváltozáskor kell megnézni az erők/feszültségek közti különbségeket a tönkremenetel környékén.

A numerikus vizsgálat a laboratóriumi vizsgálat tönkremenetelkor a teherbírás értékeket nagyon jól becsüli. A feszültségi értékek eltérése csupán -0,7 % és +6,8 % között van, ami különösen jó eredménynek mondható. Nemcsak a maximális teherbírás környéki pontban érdemes összehasonlítani az eredményeket, hanem a közbenső pontok tekintetében is

Az összehasonlítás során megkaptuk, hogy az egyes grafikonok között 1 N/mm² nagyságú eltérésnél nagyobb különbség nem tapasztalható. Megállapítható, hogy a numerikus számítás és a laborkísérletek eredményei között nemcsak a tönkremenetelnél, hanem a közbenső pontoknál is jó egyezés tapasztalható. A numerikus modellek jellegzetessége ugyanakkor, hogy nem tudják figyelembe venni az esetlegesen jelenlévő anyagi hibákat, ami miatt a tökéletes szerkezet viselkedését fogják mutatni. A valóságban viszont anyagi hibák előfordulnak, ezért az adott irányban vizsgált falazóelemeknél nagyobb erőnél megy tönkre a numerikus

számításban a modell, mint a laboratóriumi vizsgálatkor a próbatest. Ahhoz, hogy maradéktalanul össze tudjuk hasonlítani a kapott értékeket nemcsak az abszolút különbségeket, hanem a százalékos eltéréseket is figyelembe kell venni.

A százalékos értékek kicsit nagyobb eltérést mutatnak, köszönhetően a kezdeti szakaszon tapasztalható eltéréseknek. A bordák hosszirányára merőlegesen terhelt vizsgálat különösen pontosra sikerült, hiszen az eltérések nincsenek 3% felett. A bordák hosszirányában terhelt esetben a négyből három mérési pontban 5% környékén alakulnak az eltérések, csupán a legelső, 0,25 mm-es elmozdulásnál éri el a különbség a 10%-ot. A normál irányú terhelésnél kezdetben kissé nagyobb, 20% feletti eltérések tapasztalhatók, ezt követően már csak 4% alatti különbségeket lehet kimutatni.

A kapott eredményekből egyértelműen megállapítható, hogy a bemutatott esetben és kialakítású egyedi téglaelemre az általánosan betonokra parametrizálható, illetve alkalmazható anyagmodellek/törésfeltételek alkalmazásával a laboratóriumi kísérleti eredményeket nagyon jól (1-21%) közelítő numerikus eredmények érhetők el.

A nagyon bonyolult viselkedés még pontosabb és megbízhatóbb leírásához nagyobb számú laborkísérletre és pontosabb verifikációra van még szükség. A modell további fejlesztése során – a jóval több és pontosabb, mérési hibáktól mentes laborkísérletek mellett – a törési feltétel vizsgálatára és pontosítására nagy hangsúlyt kell fektetni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS TOVÁBLÉPÉSI LEHETŐSÉGEK

A jelenlegi szabványok a falazatokat nem annak építő elemeinek önálló vizsgálatán alapuló törésmechanikai leírásával vizsgálják [3]. Így a szabványoknak nem kell kvázi-empirikus úton levezetni az elemekre vonatkozó követelményeket, hanem egyenesen elemi szintről kezdve meg lehet határozni őket.

A cikkünkben bemutattuk, hogy numerikusan meghatározható egy falazóelem viselkedése, így törési feltételei is leírhatók, numerikusan meghatározhatók a laboratóriumban már mérhető alapanyag jellemzők, azaz a nyomó és húzó szilárdság, valamint rugalmassági modulus és/vagy valódi σ - ε diagramok ismeretében. Ezzel lehetőség nyílik a falazatok elemekből történő felépítésére és vizsgálatára, természetesen numerikusan.

A kapott eredményekből egyértelműen megállapítható, hogy a bemutatott esetben és kialakítású egyedi téglaelemre az általánosan betonokra parametrizálható, illetve alkalmazható anyagmodellek/törésfeltételek alkalmazásával a laboratóriumi kísérleti eredményeket nagyon jól (1-21%) közelítő numerikus eredmények érhetők el.

Egy egyedi, Porotherm 30 N+F jelű falazóelem esetén megmutattuk, hogy egy az általános betonokra alkalmazható anyagmodell a kerámia alapanyagra történő alkalmazásával a falazatokra jellemző mindhárom főirányban (függőleges és mindkét nyírási irányú), azonos anyagjellemzők és törési feltételek esetén a lyukacsos, avagy anizotrop falazóelem szerkezeti viselkedése meglehetősen nagy pontossággal leírható.

A numerikus és a laboratóriumi eredmények összehasonlítása alapján kijelenthető, hogy a törési feltételt megfelelően beállítottuk, ugyanakkor nagyobb számú és pontosabb mérési eredmények segítségével már a törőterhet is pontosan lehet meghatározni. Ezt követően a falazóelemeken igen sokrétű vizsgálatok végezhetők el, melyeket az eddigi laborkísérletekkel nem tudtunk megtenni. Lehet vizsgálni például a téglaelemek harántirányú viselkedését, valamint azt, hogy a gyártás közben bekövetkező anyaghibák milyen eltérést okozhatnak a falazóelem viselkedésében.

Igen fontos, hogy az egyes gyártók palettájából ki lehessen választani a leghatékonyabb keresztmetszeti kialakítást. Egy adott gyártó számára elvégezhető a téгла keresztmetszetének optimalizációja, melyet nemcsak a teherbírás szempontjából érdemes vizsgálni, hanem akár a hőszigetelés hatékonyságával kapcsolatban is. Mindkét eset megoldható, ha az adott falazóelemet numerikusan vizsgáljuk. Nem szükséges a szóba jöhető alternatívákat legyártani, és azokon végezni az elemkísérleteket. Jelentős költségmegtakarítás érhető el a bemutatott numerikus vizsgálatok alkalmazásával.

Lehetőség nyílik akár a téglák nem megfelelő irányú beépítése során bekövetkező jellemzők vizsgálatára, ugyanis az alkalmazott anyagmodellek esetében bármilyen irányban meg lehet terhelni a kiválasztott falazóelemet, ahogyan azt én is bemutattam. Teljes falazatok, falrészletek kialakításánál is numerikus kísérleteket lehet végezni, akár a heterogén (anyag, vagy szerkezeti) kialakításteljes falazat viselkedésére gyakorolt hatásának leírása céljából.

Nem utolsó sorban a falazóelemek tulajdonságainak az ismeretében vizsgálni lehet teljes falazatok viselkedését is.

Meg lehet vizsgálni a habarcs téгла lyukaiba való behatolásának hatását is. Megállapíthatóvá válik, hogy növeli-e a merevséget, a teherbírást, hogyan változtatja meg a falazóelem viselkedését terheléssel szemben.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Hortobágyi Tamás „Anizotrop falazóelem numerikus és kísérleti vizsgálata”, Tudományos Diákköri Konferencia, Építőmérnöki Kar, Szerkezetépítőmérnöki szekció, Budapest, 2018
- [2] Hortobágyi T., Roszevák Zs., Dr. Haris I. „Anizotrop falazóelem numerikus és kísérleti vizsgálata”, Miskolc, XII. Magyar Mechanikai Konferencia, 2019
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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)
- [7] S. Frumento, G. Magenes, P. Morandi, G.M. Calvi “Interpretation of experimental shear tests on clay brick masonry walls and evaluation of q-factors for seismic design”, Pavia, Olaszország, 2019
- [8] Stephen W. Tsai, Edward M. Wu “A General Theory of Strength for Anisotropic Materials”, *J. COMPOSITE MATERIALS*, Vol. 5 (January 1971), p. 58
- [9] T.T. Bui, A. Limam, V. Sarhosis, M. Hjjaj “Discrete element modelling of the in-plane and out-of-plane behaviour of dry-joint masonry wall constructions”, *Engineering Structures*, 2017
- [10] Paulo B. Lourenco, Jan G. Rots, Johan Blaauwendraad “CONTINUUM MODEL FOR MASONRY: PARAMETER ESTIMATION AND VALIDATION”, *JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING*, 1998
- [11] Hortobágyi Tamás „Anizotrop falazóelem numerikus és kísérleti vizsgálata”, Tudományos Diákköri Konferencia, Építőmérnöki Kar, Szerkezetépítőmérnöki szekció, Budapest, 2019