

2018/2019 őszi félév

Hidak és Szerkezetek Tanszék



TDK Dolgozat

Anizotrop falazóelem numerikus és kísérleti vizsgálata

Konzulens:
Dr. Haris István

Hortobágyi Tamás
IR7SMS

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
2.	Az anyagra vonatkozó információk.....	4
a)	Kerámia.....	4
b)	Mechanikai anyagmodellek	6
c)	Rideg és rugalmas-képlékeny-fellazuló anyagok komplex modelljei	6
3.	Laboratóriumi kísérlet	7
a)	A vizsgált falazóelem.....	7
b)	A kísérlet bemutatása	8
c)	A kísérleti eredmények	11
4.	Numerikus vizsgálat	15
a)	A modell.....	15
b)	Az eredmények	20
5.	Kísérleti és numerikus eredmények összehasonlítása	22
6.	Jövőbeli célok kitűzése	23
7.	Köszönetnyilvánítás.....	24

1. Bevezetés

A mai építőmérnöki gyakorlatban óriási szerepe van a numerikus modellezésnek. Arra kell törekedni, hogy a numerikus modell minél inkább tükrözze a szerkezet valóságos viselkedését. Tehát a szerkezeti elemeink számítógéppel való modellezése során nem mindegy, hogy milyen anyagmodellt választunk, milyen egyszerűsítésekkel élünk a geometria megadásakor (pl lekerekítések megadása). Dolgozatomban egy anizotrop falazóelem modellezési lehetőségeivel foglalkozom, melyre numerikus és kísérleti vizsgálatokat hívok segítségül.

A dolgozatom első részében bemutatom a falazóelem modellezéséhez felhasználható mechanikai anyagmodelleket, illetve a kerámiára vonatkozó anyagi tulajdonságokat.

A továbbiakban bemutatom a laboratóriumi kísérlet minden egyes mozzanatát, illetve a mérésekből kapott eredményeket. A tönkremeneteli vizsgálathoz egy hat elemből álló kísérletsorozat készült a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szerkezet- és Anyagvizsgáló Laboratóriumában.

Ezt követően a numerikus modellezés lehetőségeit mutatom be. A numerikus modellek megalkotására az ATENA 3D nemlineáris végeleemes programot használtam.

Végül miután a kísérlet, illetve a számítógépes modellezés is részletezésre kerül, a kapott eredményeket összevetem, és levonom a modellezési lehetőségre való következtetéseket.

Zárásként a következtetések segítségével megmutatom hogyan lehetne a kísérleteket, illetve a végeleemes modellezést folytatni, milyen egyéb kutatási lehetőségekkel lehet tovább vinni e témakört.

2. Az anyagra vonatkozó információk

a) Kerámia

Az anyagkutatók meghatározása szerint kerámia minden olyan anyag, amely nem fém és nem polimer (még akkor is, ha tartalmaz fémes és/vagy polimerikus összetevőket). Az agyag mellett számos más (például mesterséges) anyagból is készíthető kerámia és ezek tulajdonságai nagyon változatosak lehetnek, bár a legtöbb területen a kerámiák hő- és vegyszerállósága jelenti a legfőbb értéket.

Ezek az előnyös tulajdonságok a kerámiákon belüli atomok közötti erős (ionos, kovalens) kötésekből származnak, de sajnos ezek az erős kötéseknek a tulajdonságai okozzák a kerámiák legnagyobb hátrányát, törékenységüket is (szívósságuk csupán néhány százaléka a fémekének).

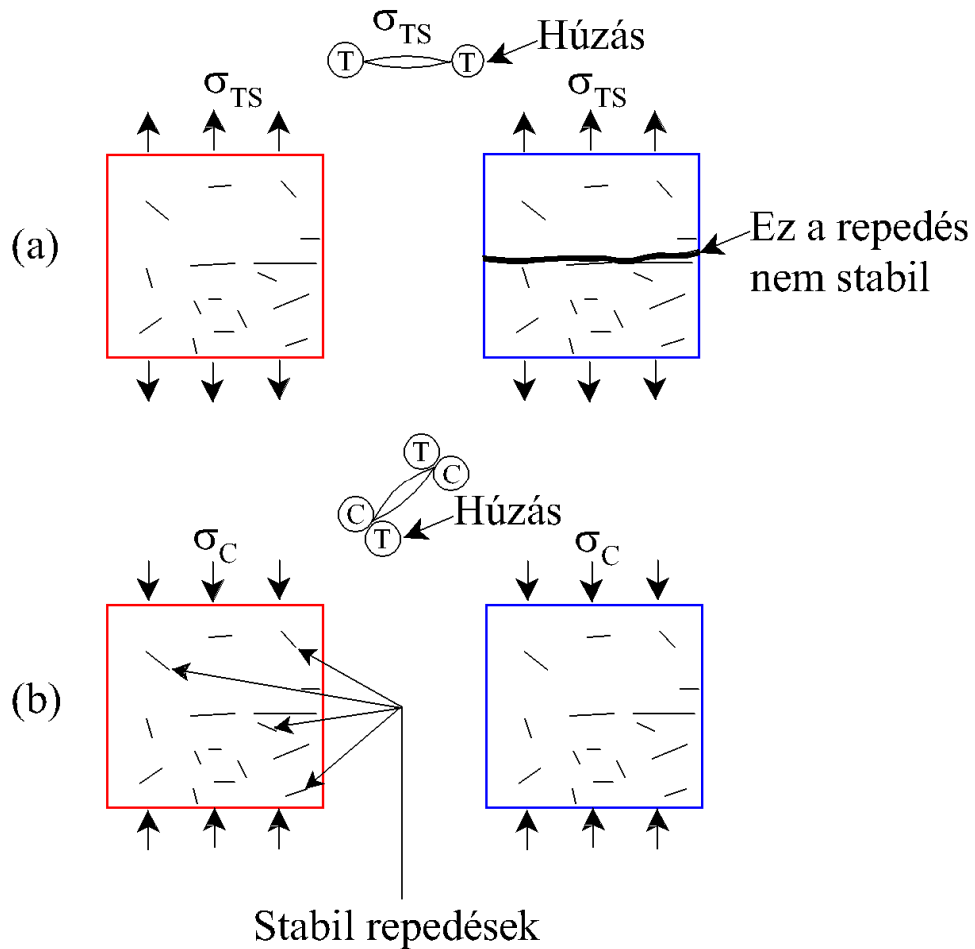
A kerámiák különösen érzékenyek belső szerkezetük legparányibb megváltoztatására is. Az egyik legintenzívebben kutatott terület a kerámiák szívósságának növelése. E kutatási területbe a saját kísérleti és numerikus megoldásaim is segítséget nyújthatnak.

Nagyon fontos különbség a fémekhez képest, hogy a kerámiáknál a diszlokációk szerepe jóval kisebb a hibák között, szerepüket a pont- és 3D hibák (pórusok, üregek, zárványok) veszik át. Az erős és merev belső kötés miatt a mikroszerkezet jóval kevésbé hajlamos átrendeződésre, már egészen kicsi (a fémekéhez képest jó két nagyságrenddel kisebb) hiba esetén megindulhat az egész kötésrendszer robbanászerű tönkremenetele (ejtsünk betonpadlóra egy fém és egy porceláncsészét: az eredmény jól érzékelteti a különböző típusú hibák terjedésének veszélyessége közötti különbséget). Makroszinten ez a hatás vezet a kerámiák „rideg” anyagi viselkedéséhez.

A kerámiák többsége, valamint a ridegebb fémek (pl. öntöttvas) és a ridegebb polimerek teljesen másféleképpen törnek a fémes anyagokhoz képest. Ilyenkor közvetlenül az atomi kötések hasadnak, az első szakadás után megállíthatatlanul terjed tovább a teherbíró képesség elvesztése, nincs semmilyen helyi képlékeny zóna. Elegendő a legkisebb hiba (például egy lokális mikrorepedés az atomi lánc néhány tagjában), és a merev rendszer nem képes ennek olyan jellegű „szétosztására”, a belső struktúra összeomlik. Ezt a fajta törési módot rideg (angol szóval „brittle”) törésnek hívják, és gyors terjedése miatt különösen veszélyes. A törési felületek ilyenkor élesek, hasadó metszetekből állnak

A mikroszerkezet sajátosságainak köszönhetően a kerámiák egy részénél az elméleti és valóságos határszilárdságban lévő több nagyságrendű eltérésért mutathat. Minél több belső hiba gyengíti a polikristályos szerkezetet, annál nagyobb az eltérés a határszilárdság elméletileg lehetséges értékétől.

Megjegyzésként felhívnom a figyelmet a kerámiák mindenkorai tönkremenetelét okozó repedés terhelési mód szerinti különbözőségére, lásd az 1. ábrát:



1. ábra: Különböző típusú repedésterjedések kerámiákban

Húzás esetén a mikrorepedések csúcsainál levő feszültségkoncentrációk a szívóssági határ elérésekor dinamikus makro-repedésterjedést indítanak, a szívóssági határhoz közeledve az anyagi stabilitást veszítjük el. Nyomott elemeknél a repedésterjedés valamivel stabilabb, a mikrorepedések (amelyekből ilyenkor rendszerint jóval több van) összefűződése kvázistatikus terhek esetén az anyag blokkokra történő szétesésével, morzsolódásával jár együtt. A kísérleteim során a falazóelemeket csak egytengelyű nyomásnak vetettük alá. [1]

b) Mechanikai anyagmodellek

Az anyag viselkedésének modellezése a természettudományok legösszetettebb feladatai közé tartozik. A rendkívül változatos belső összetétel a különböző fizikai tulajdonságok olyan széles skálájával ruházta fel az anyagokat, hogy viselkedésük átfogó megértése és modellezése a tudósok és mérnökök minden erőfeszítése ellenére még sokáig nem mondható teljesnek és befejezettnek. Ma már a százezret közelíti a mérnöki gyakorlatban használt különféle anyagfajták száma.

Maga az anyagmodell általános kifejezésként választ jelent, az anyag választ az őt ért külső hatásokra. Mivel a külső hatások mérnöki értelmezés szerint is nagyon sokfélék lehetnek, éppen ezért anyagmodell is többféle lehet. Az anyagmodell fogalma mást jelent a különböző iparágak, a különböző mérnökök számára.

Nagyon fontos állításként kell tehát rögzíteni, hogy ebben a dolgozatban csak olyan feladatokat tárgyalok, amikor az anyagnak a külső hatásokra (erők, hőmérsékletváltozások, idő) adott mechanikai választ (belső deformációk és feszültségek) keresem, és éppen azért a saját modelljeimet mechanikai anyagmodelleknek fogom hívni. Ezek a mechanikai anyagmodellek soha nem öncélú elemei a mechanika tudományának, hanem fontos gyakorlati célokat szolgálnak. Segítségükkel képes a mérnök szerkezeteket tervezni vagy ellenőrizni. Nélkülük a szó szoros értelmében lehetlenné válna a kicsit is komolyabb mérnöki munka. Mivel a továbbiakban kizárólag mechanikai anyagmodellekkel foglalkozom, ezért az egyszerűség kedvéért elhagyom a „mechanikai” jelzőt, csupán az „anyagmodell” fogalmat használom, azonban mindig a fenti meghatározás adta korlátok közé szorítva annak értelmezését. [1][2]

c) Rideg és rugalmas-képlékeny-fellazuló anyagok komplex modelljei

Szerkezeteinkben használt anyagjaink viselkedése igen eltérő lehet attól függően, hogy milyen anyagszerkezeti tulajdonságokkal rendelkeznek. A betonok, rideg fémek és talajok nemlineáris viselkedése a képlékeny tulajdonságok mellett az anyagban keletkező mikro- és makroszintű repedések kialakulásától és szilárdságcsökkenő hatásától is függ. Ez a hatás akkor jelent számottevő problémát, ha az anyag mikrostruktúrájában a kristályos belső szerkezetet csak lokálisan van jelen vagy a kristályrács alapvetően hibás. A mechanikában a repedések hatása két szempont alapján vizsgálható:

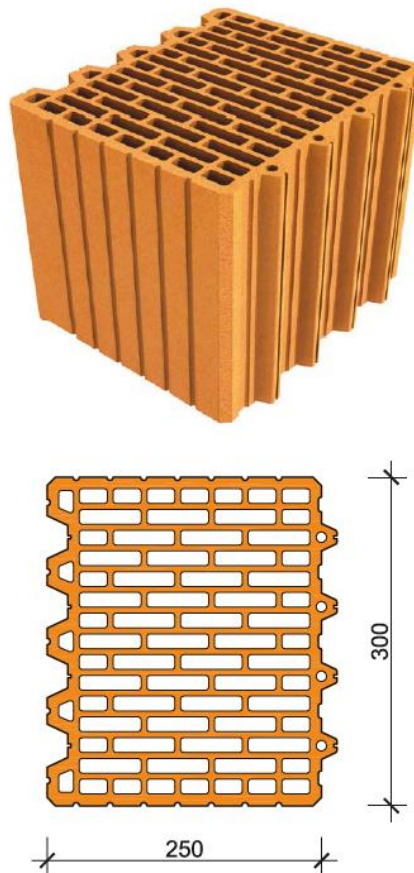
- Előállítható olyan anyagmodell, mely a mikropedésrendszer globális hatását vizsgálja, amelyben a modell a terhelt kontinuum viselkedését modellezi.

- Továbbá léteznek olyan modellek, melyek a makrorepedések hatását vizsgálják az anyagban keletkező feszültség-alakváltozás koncentrációk által, valamint ezzel együtt az anyag stabilitását is képesek leírni. Az ilyen modellekkel a törésmechanika tudománya foglalkozik. [1][2]

3. Laboratóriumi kísérlet

a) A vizsgált falazóelem

A kísérletben vizsgált anizotrop falazóelemek Leiertherm 30 N+F nevű termékek voltak, számszerűen hat darab volt belőlük. Egy ilyen elem hosszúsága 250 mm, szélessége 300 mm, magassága pedig 238 mm. Deklarált nyomószilárdsága 11 N/mm^2 . A falazóelem gyártási helye Mátraderecske. A téglaelemek rajzát a 2. ábra mutatja. [3]



2. ábra: Leiertherm 30 N+F falazóelem

b) A kísérlet bemutatása

A kísérlet a bevezetőben említettek alapján a BME Szerkezet és Anyagvizsgáló Laboratóriumában zajlott. A terhelést a Z600 típusú telepített terhelő berendezéssel végeztük. A gép hidraulikával ellátott, manuálisan működtetett és maximálisan 600 kN terhet tud közvetíteni. Előzetesen egy elem teherbírását kb. 350 kN köré becsültük. A terhelendő testet fa rostlemezek közé tettük, így terhelte meg az elemet egytengelyű nyomással a berendezés. A fa rostlemezek az esetleges egyenetlenségeket kívánták kiküszöbölni, hogy a nyomás a keresztmetszet minden egyes pontjában azonos legyen. Mindemellett a terhelő felső lapja gömbcsuklós kialakítású, mely a téglatest felső és alsó lapja közti párhuzamoság eltérése esetén is függőleges terhet tud átadni. (3. ábra)



3. ábra: A kísérleti elrendezés

Minden egyes próbatestnek az elülső, illetve a hátulsó oldalára egy-egy Hottinger Baldwin WA/20 típusú összenyomódásmérő lett felszerelve, melyek a terhelés irányában mérte az összenyomódást az elem két, szemben lévő oldalán átlagosan 12,5 cm hosszon.

Célszerű lett volna az összenyomódási értékeket a téglatest teljes magasságában mérni, ehhez a mérőegységeket a gépre kellett volna szerelni, ugyanakkor a farostlemezek elhelyezése miatt az összenyomódási értékek hibásak lettek volna. (4. ábra)

Az imént részletezett mérőberendezések mellett az egyes elemeken nyúlásmérő bélyegek is elhelyezésre kerültek. Két próbatestre nem került ellenállás, két falazóelem mindkét oldalára függőlegesen és két elem mindkét oldalára vízszintesen kerültek elhelyezésre nyúlásmérő bélyegek. A kísérlethez KMT-LIAS-06-84/350-5 típusú, 84 mm hosszú nyúlásmérő ellenállások lettek felhasználva. (5. ábra) A mérőegységekből kapott adatokat a Catman Easy nevű szoftver dolgozta fel.



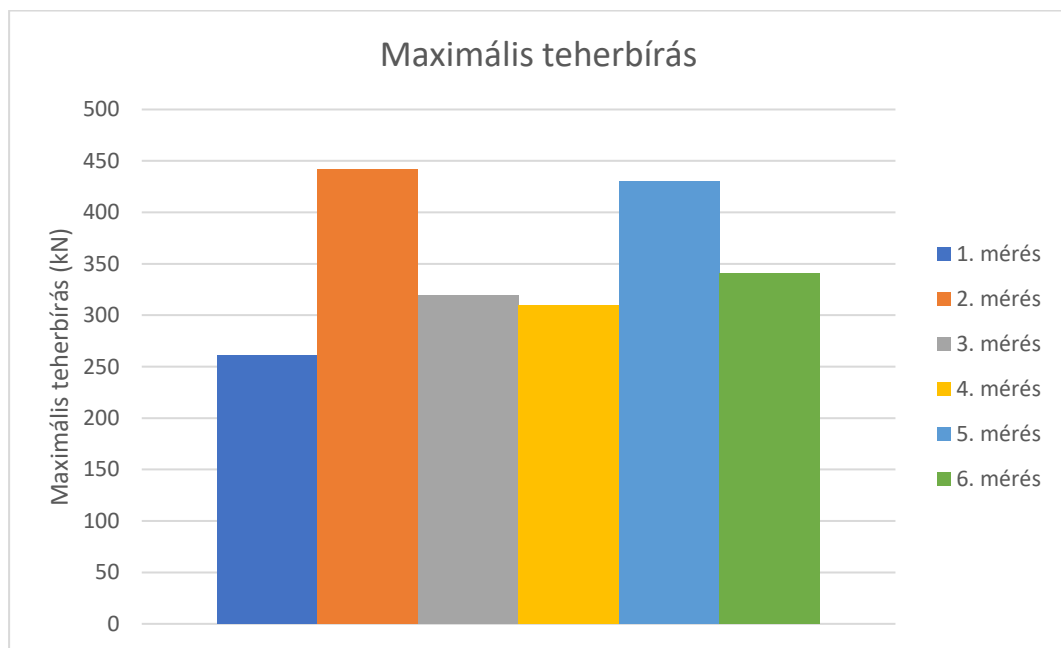
4. ábra: Elmozdulásmérő



5. ábra: Függőlegesen elhelyezett nyúlásmérő bélyeg

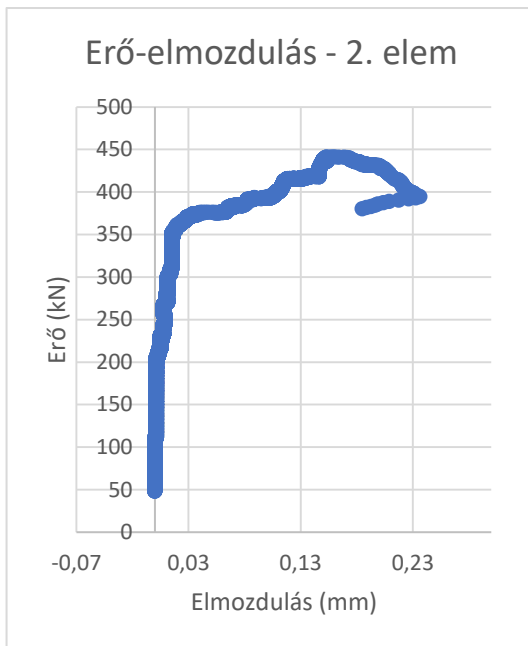
c) A kísérleti eredmények

A 6 mérés során maximális teherbírás szempontjából igen eltérő eredmények születtek. A becsült 350 kN körüli teherbíráshoz képest három próbatest igencsak alulteljesített, egy mérésnél 350-hez közeli érték született, míg két mérés esetében jóval nagyobb teherbírást kaptunk. Itt jegyezném meg, hogy a hat téglatest ugyanazon raklapról származott, így különösen furcsa az ekkora eltérés a mérési eredmények között. A különböző eredményeket az alábbi 6. ábra mutatja:

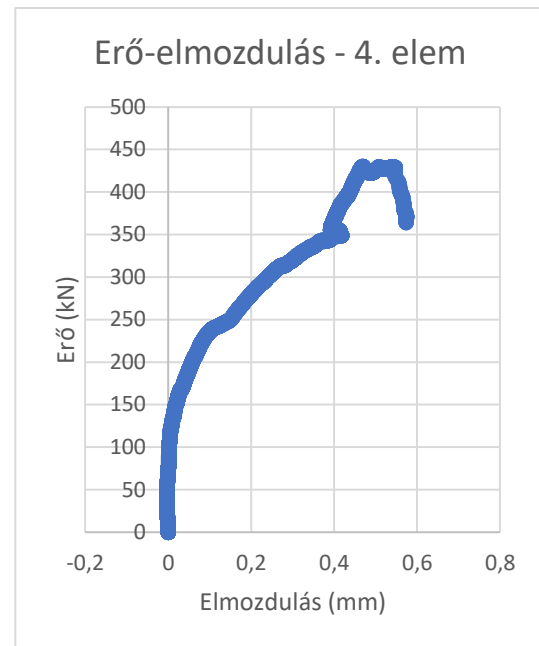


6. ábra: Maximális teherbírás

Az elmozdulásmérők is mutattak érdekes dolgokat, ha megnézzük a második, negyedik és ötödik téglaelem függőleges irányú erő-elmozdulás grafikonját (7. és 8. ábra):

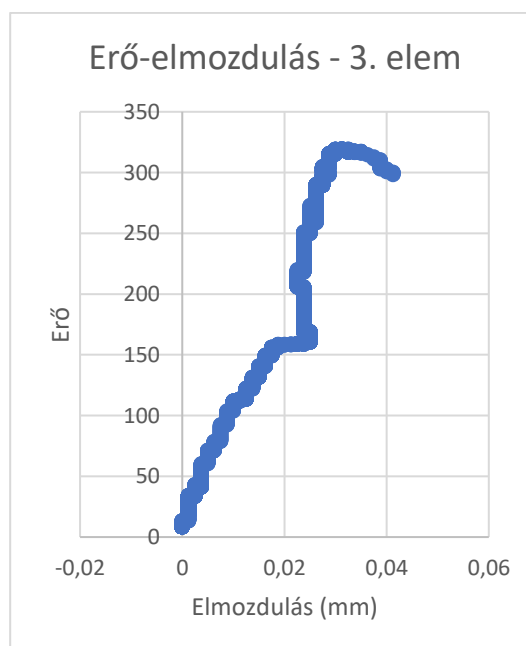


7. ábra: 2. elem erő-elmozdulás diagramja



8. ábra: 4. elem erő-elmozdulás diagramja

A kisebb teherbírású többi elemnél nem tudott ilyesfajta nagy képlékenyedés kialakulni, ennek köszönheti a „kis” teherbírását az előzőkhöz képest. Példaként a harmadik elem erő-elmozdulás diagramja a 9. ábrán található.

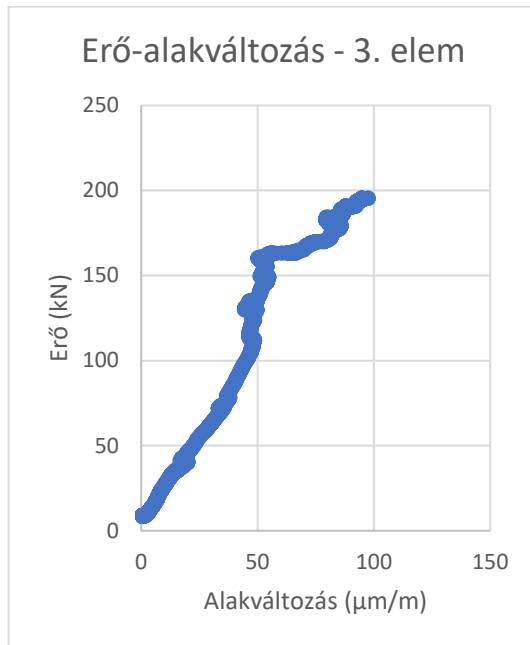


9. ábra: 3. elem erő-elmozdulás diagramja

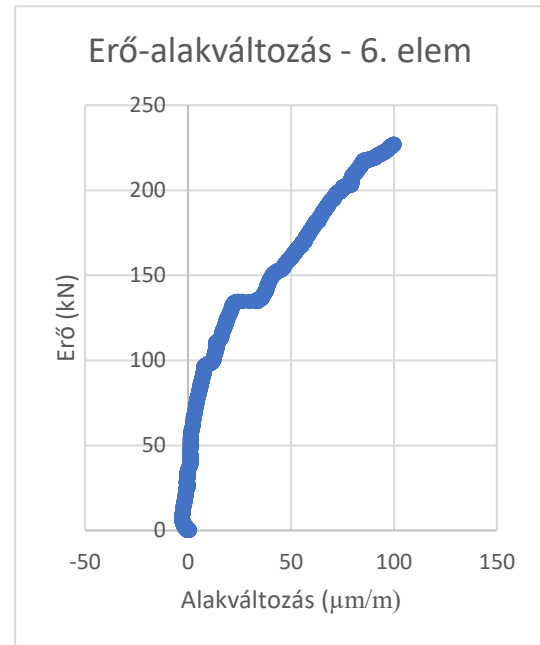
Kijelenthető, hogy ha a falazóelem képlékeny állapotba kerül, akkor a teherbírása ugrásszerűen megnő. Ugyan a korábbiakban az anyagot rideg jellemzőkkel illettem, a téglatest kialakítása a lyukacsosságával megengedi egyes esetekben a képlékenyedést is. Jól

látszik, hogy hat esetből csupán kétszer alakult ki a többletteherbírás. Messzemenő következtetéseket csak nagyobb számú kísérlet esetén lehetne kijelenteni.

Keresztirányú nyúlásra az alábbi eredmények születtek a harmadik és hatodik elem esetén (hiszen csak ezeken volt vízszintes nyúlásmérő bélyeg) (10. és 11. ábra):



10. ábra: 3. elem erő-alakváltozás diagramja



11. ábra: 6. elem erő-alakváltozás diagramja

Fontos megjegyezni, hogy míg a hosszirányú nyúlásoknál a pozitív értékek összenyomódást, a nyúlásmérő bélyegek esetén a nyúlást értjük.

Jól látni, hogy a harántirányú elmozdulások közelíthetők lineáris módon és mindkét esetben hasonló erőnél hasonló elmozdulásokat mértünk. Ugyanakkor észrevehető, hogy a korábban bemutatott maximális teherbírástól távol vannak a grafikonok. Ez annak köszönhető, hogy a tönkremenetel kezdetén függőleges irányú repedések jelentek meg minden egyes esetben a falazóelemeken, így a vízszintes ellenállásmérőkön is áthaladtak, melyek így ezek után hamis értéket mutattak. (12. ábra)



12. ábra: Függőleges repedés

A tönkremenetel hangos pattogással kezdődött, melynek következtében darabok is repültek le a falazóelemekről. Tönkremenetelkor a terhelőgépből kiszedve a téglatest belseje darabokban volt, ahogyan az a korábbi fejezetben meg lett jósolva. (13. ábra)

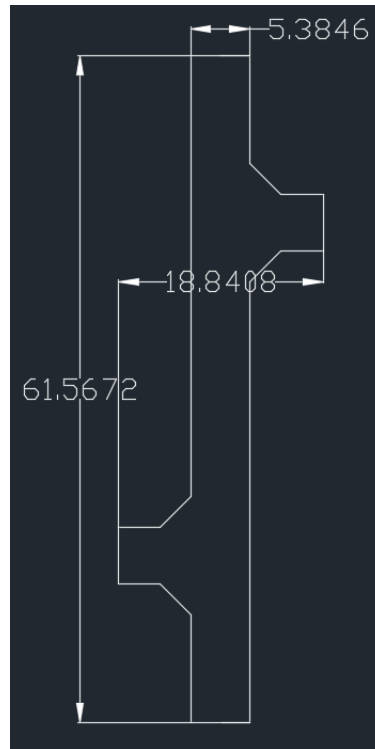


13. ábra: A tönkrement falazóelem

4. Numerikus vizsgálat

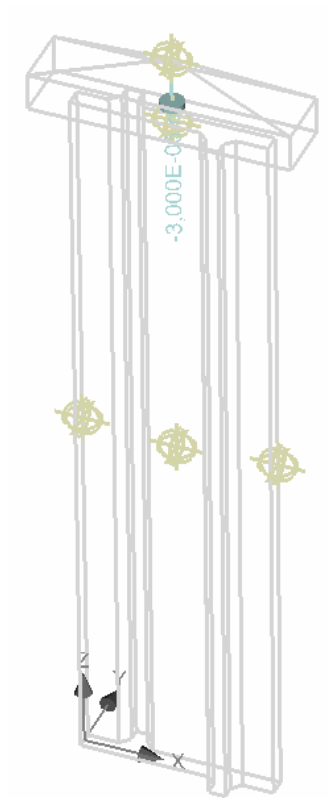
a) A modell

Jelen TDK dolgozatban csupán a téglaelem egy belső részletét vizsgálom, hogy kezelhető méretű egyenletrendszer adódjon a végeleemes programban. (14. ábra) Egy belső „csomópont” lett modellezve ATENA 3D nemlináris végeleemes programmal.



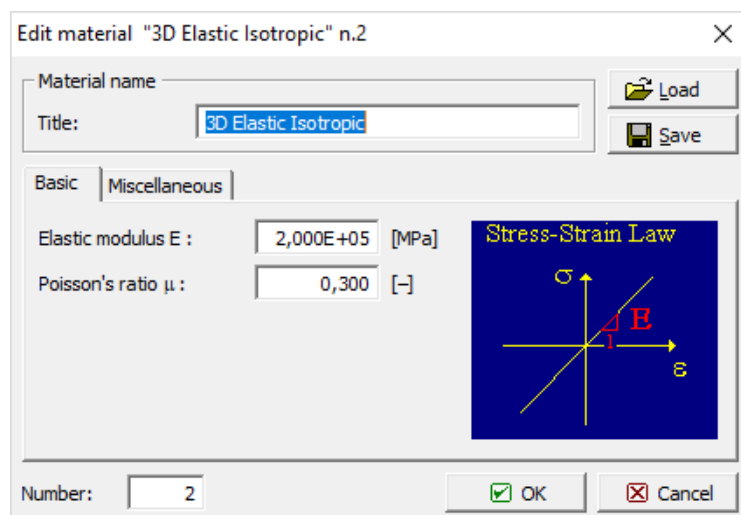
14. ábra: A modellezett részlet

Az elem hossza 61,56 mm, maximális szélessége 18,84 mm, illetve magassága 125 mm, hiszen az elmozdulásmérők is ilyen hosszon mérték az értékeket. A modellezéshez szükséges volt egy téglatestre, rajta egy téglalap alakú acél gúla elhelyezésére a vizsgált elem tetejére, melynek csúcsába lett definiálva az elmozdulás értéke. (15. ábra) Így a teljes keresztmetszetre el lehet osztani az eltolódást, amíg a definiált elmozdulás csupán pontszerű. Nemcsak az előbb említett előnye van az acél elemnek, hanem a program a testben keletkező erőket és feszültségeket is jobban tudja mérni az előbb részletezett módon.



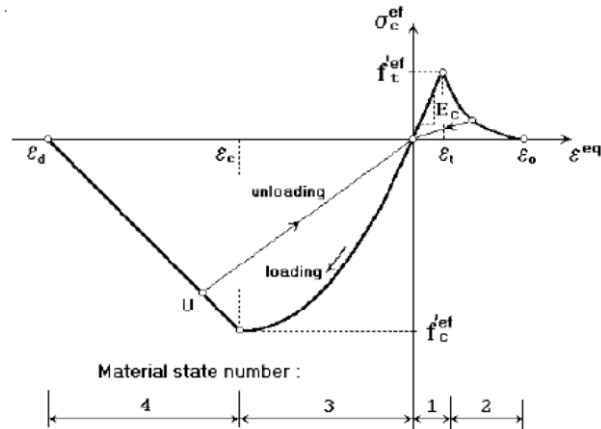
15. ábra: ATENA 3D modell

A modellhez szükséges volt anyagmodelleket definiálni a testhez. Mivel rákerült egy acél elem a téglaelemre, így azt az anyagfajta is definiálni kellett. Az acéllemezre egy egészen egyszerű lineárisan rugalmas izotrop anyagmodell került. Megadtam az acél rugalmassági modulusát és Poisson-tényezőjét, ahogyan az alábbi 16. ábrán látható:



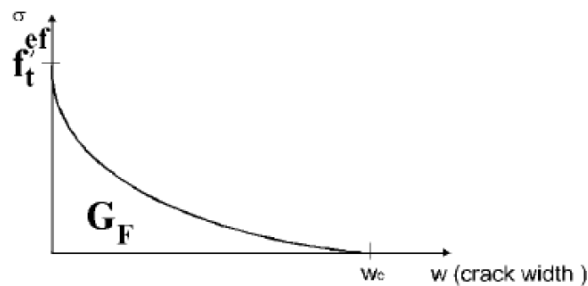
16. ábra: Acél anyagmodellje

A téglatest elemére már bonyolultabb az anyagmodell meghatározása, az ATENA kézikönyve az ún. „3D Nonlinear Cementitious 2” modellt ajánlja. A programban megadhatók egy teljesen egyenértékű egyirányú feszültség-alakváltozás görbe pontjai, pl.: a nyomó- és húzószilárdság értéke. (17. ábra)



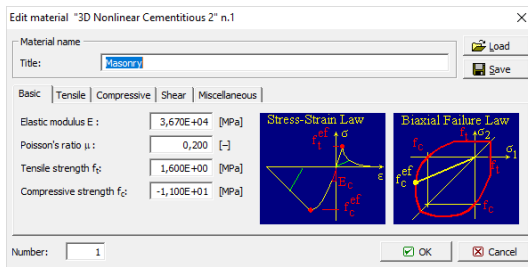
17. ábra: Egyirányú feszültség-alakváltozás rideg anyagokra

A görbe többi pontját a program automatikusan felveszi, így azokat változtatni nem lehet. A 17. ábrán az 1-es szakasz a húzófeszültség kimerüléséig tart, itt a rugalmassági modulus lineárisnak tekintett. A második szakaszon a repedésmegnyílás modellezését egy exponenciális függvénnyel írják le, mely a speciális törési energia és a húzószilárdság függvényéből számítható. (18. ábra)

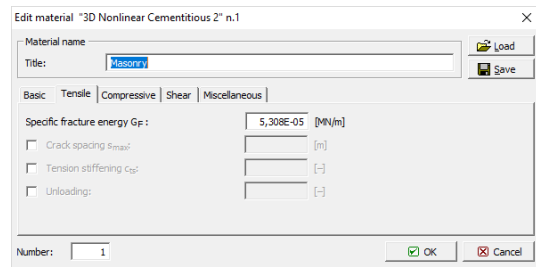


18. ábra: Exponenciális repedésmegnyílás függvénye

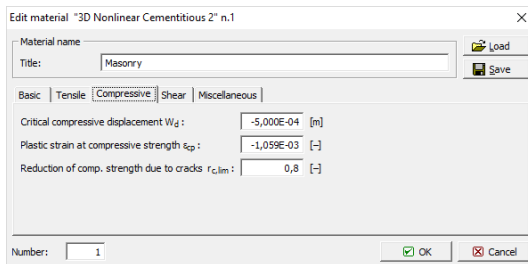
A 3. szakasz a nyomófeszültség maximális értékének eléréséig tart. Ez a függvény az anyag kezdeti és a maximális nyomófeszültséget metsző rugalmassági modulusok arányától, valamint a nyomószilárdság értékétől függ. A bemutatott görbe ezen a szakaszon parabolikus görbének tekinthető. Az említett 3D Nonlinear Cementitious 2 modellben tehát a következő adatok adhatók meg:



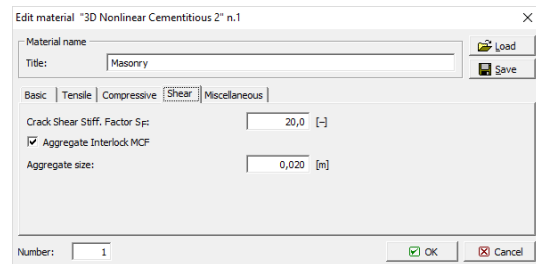
a)



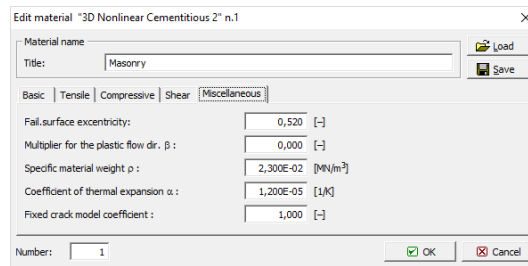
b)



c)



d)



e)

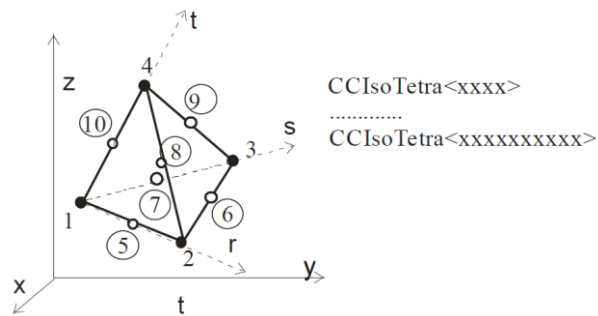
19. ábra: Az anyagmodell definiálása a programban

A 19./a) ábrán az általános tulajdonságok állíthatók be, mint a rugalmassági modulus, Poisson-tényező, húzó- és nyomószilárdság. A b) ábrán a húzáshoz tartozó, a c) ábrán a nyomáshoz tartozó, a d) ábrán a nyírási és az e) ábrán a vegyes tulajdonságok adhatók meg. A programnak csupán a nyomószilárdság értéket adtam meg, majd az összes többit automatikusan felvette. A modell tulajdonságain természetesen lehet változtatni, azonban a folyási függvény, a degradáció, a repedésmegnyílás, a nyírási faktor függvényeinek csak egy vagy két pontját változtathatjuk, mivel a függvények előre definiáltak.

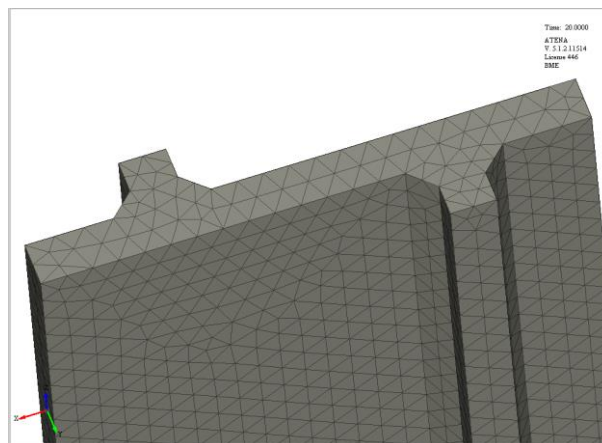
A most beállított értékek közelítő értékek, melyeket további kísérlet sorozattal lehetne pontosítani.

A modell alsó síkja függőleges értelemben megtámasztott. Ahogyan korábban említettem, a terhet egy elmozdulás segítségével helyeztem el az acél gúla csúcspontjában. A maximális elmozdulás -z irányba mutat és összesen 0,6 mm nagyságú volt, mely elmozdulás 20 lépcsőben került rá.

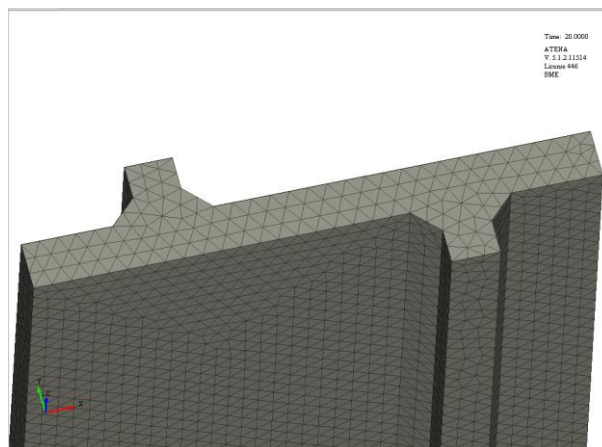
Az elhelyezett végeelemes háló kétféle volt, melyet vizsgálat alá vettem. Az egyik esetben az elem szélességében három, míg a másikban két darab végeelem helyezkedett el. Ez azt jelenti, hogy az előbbi esetben kb. 2, míg a másikban kb. 3 mm volt egy végeelem szélessége. Az azonban mindkét esetben közös, hogy a végeelemes háló típusa tetraéder. Célszerű lett volna az ilyen kialakítású elemnél a téglaelemek kialakítása, de a sarok felépítése miatt a program ezt javasolta. (20-22. ábráig)



20. ábra: Tetraédes elem geometriája



21. ábra: Ritkább háló

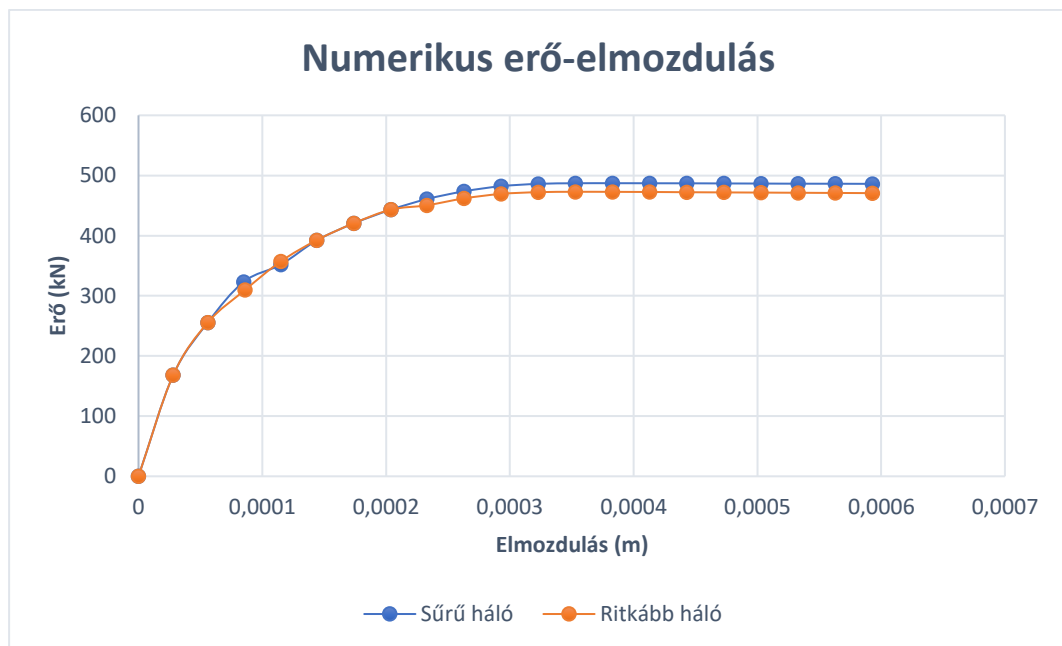


22. ábra: Sűrűbb háló

Az eredményekhez monitorpontokat vettem fel a modell tetején, közepén, illetve a két végén a modell hossza mentén. Az először említett két ponttal a test függőleges összenyomódásait lehet vizsgálni, míg az utána említett szélső pontokkal a harántirányú megnyúlást lehet figyelemmel követni. A monitorpontok elhelyezkedését a 15. ábra mutatja. [2][4]

b) Az eredmények

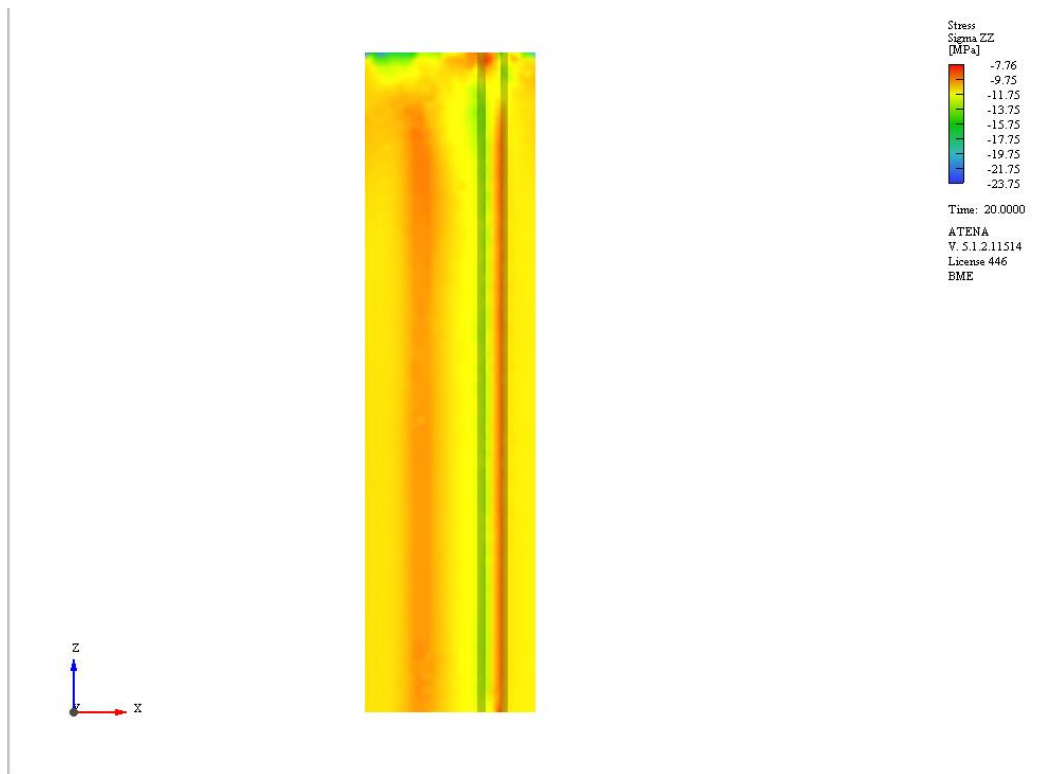
Elsőként a két hálóval kapott erő-elmozdulás diagramot mutatnám be. (23. ábra)



23. ábra: Numerikus számítás erő-elmozdulás diagramja

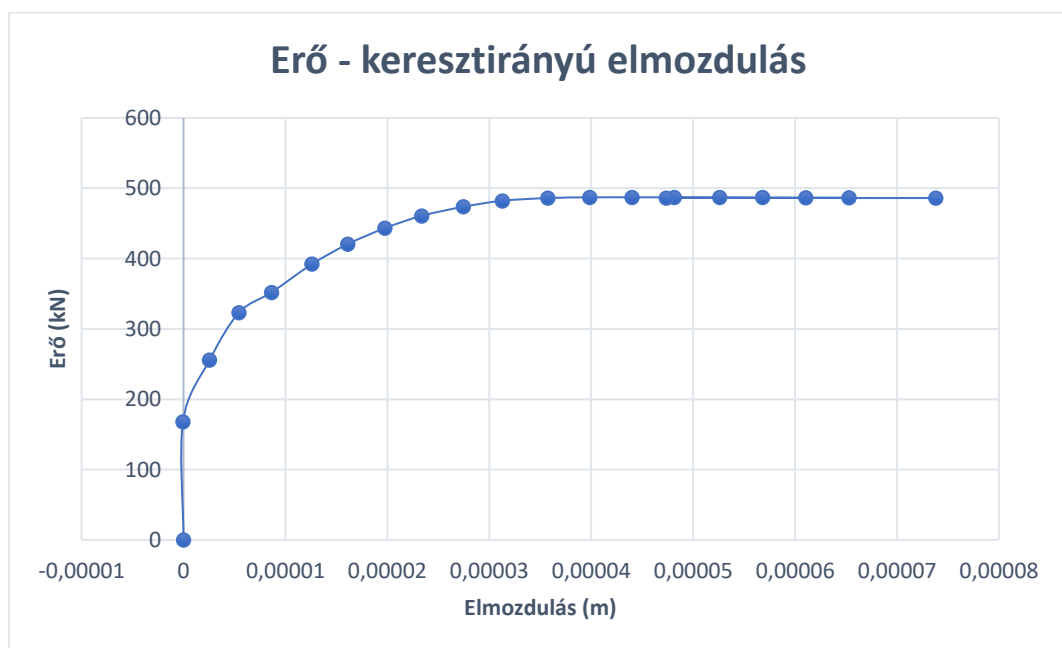
Jól látszik, hogy érdemi különbség nincsen a kétféle végeleemes háló között. Mindkettő ugyanazzal a meredekséggel indul és ugyanazt a lefutást követi, hosszú képlékeny zónával. A maximális teherbírás is közel azonos, a sűrű hálóval vett számítás csupán 3%-kal mutat nagyobb eredményt, mint a ritkásabb hálóval számolt verzió. Így nem vétek nagy hibát, sőt a biztonság javára tévedek, ha a kisebb hálózással folytatom a számítást. Fontos még hozzátenni, hogy a sűrű hálóval vett modell 30, míg a ritkásabb csupán 5 percig futott.

A kialakult függőleges feszültségek is szinte azonos képet mutatnak, jól látszik, hogy ahol a borda található, feszültség csúcspontok alakulnak ki. (24. ábra)



24. ábra: Függőleges feszültségábra

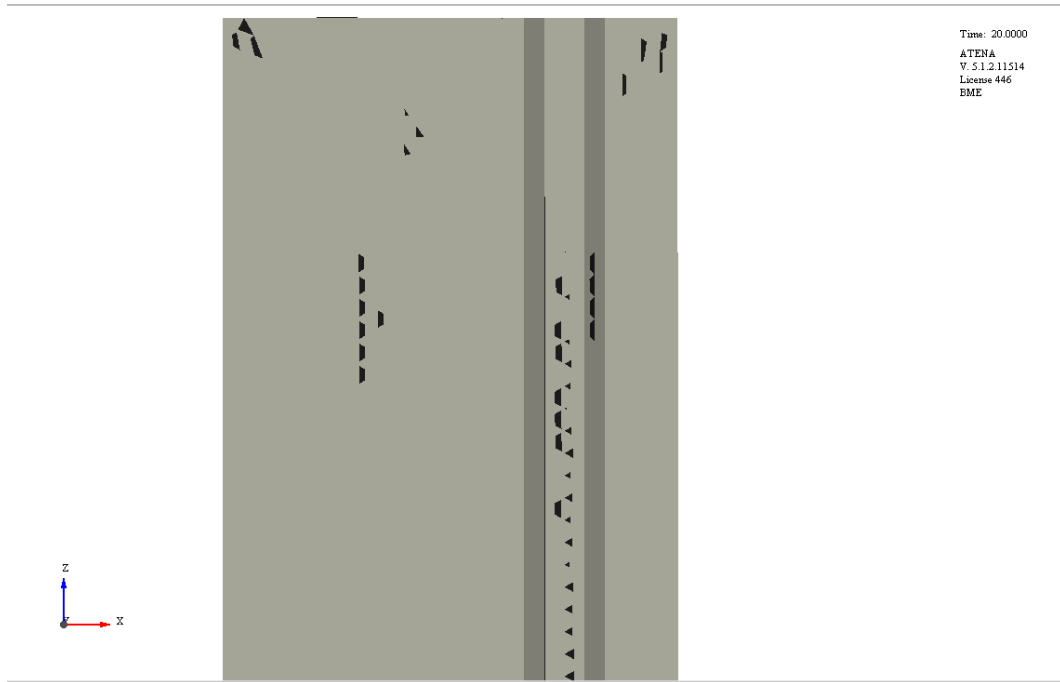
Tekintsük meg a harántirányú elmozdulásokat az erő függvényében (25. ábra):



25. ábra: Erő - keresztirányú elmozdulás

Jól látszik, hogy a grafikon ugyanolyan lefutást mutat, mint a függőleges elmozdulás, csak egy nagyságrenddel kisebbek az elmozdulások.

Végül a repedések helyzetét mutatnám be a 26. ábrán:



26. ábra: Repedések az elemben

5. A kísérleti és a numerikus eredmények összehasonlítása

Az erő – hosszirányú összenyomódás grafikonok karakterisztikája megegyezik mindkét esetben. A laboratóriumi kísérletek során nem alakult ki minden egyes falazóelemnél a képlékeny állapot, de látszódott, hogy ki tud alakulni, ha az anyag jó állapotú (nem repedezett, nincs túlélgetve). A 27. ábrán jól látszódik, hogy a téglatest belseje gyakran töredezett, szabálytalan alakú, így nem lehet a képlékeny teherbírásával kalkulálni.



27. ábra: Hibák, szabálytalanságok a falazóelemen

Az erő – vízszintes elmozdulás diagramok is nagyon hasonlóak addig a pontig, amíg a nyúlásmérő bélyegek el nem szakadtak, vagy alattuk az anyag el nem tört. Laboratóriumban a harántirányú elmozdulások tovább nagyon nehezen mérhetők, hiszen ahogyan a kísérletben és a numerikus számításban is láthatjuk, a repedések függőleges irányúak lesznek (az elem húzószilárdsága kb. tizede a nyomószilárdságának, így a harántkontrakció miatt megy tönkre), melyek jó eséllyel áthaladnak majd a nyúlásmérő ellenállásokon.

A tönkremenetel és a repedések helye, iránya is egyezett a programban, illetve a valóságban. Mindkét esetben az erőbevezetésnél, illetve a bordák mentén jelentek meg a repedések, vagy épp a lepattogzódások. A jellemző tönkremenetel pedig a függőleges repedések miatt történt meg.

6. Jövőbeli célok kitűzése

A kísérleteket lehet tovább folytatni ugyanilyen falazóelemekkel, ugyanilyen terhelés mellett. Az eredmények pontosabbak lehetnek, ha a testek nem sérültek, a felső, illetve alsó síkjuk (egymáshoz képest párhuzamosan) lecsiszoltak. Pontosabb szerkezeti adatokat nagyobb mérésszám esetén lehet számítani, melyek pontosabb modellezési lehetőséget jelentenének.

Érdekes lehet a téglatestek vizsgálata oldalirányú nyomás esetén. E kísérlet elvégzéséhez az oldallapok kihabarcsozása szükséges, hiszen, ha anélkül nyomnánk meg a bordázott felületű elemet, összemorzsolódna a nyomás hatására, illetve az erő se lenne elosztva egyenletesen, a koncentrált erőbehatást pedig nem lehet összehasonlítani az egyenletes erőbevezetéssel. Numerikus modellezés esetén természetesen a modellbe a habarcsot is szükséges modellezni.

Végeselemes vizsgálat esetén meg kell vizsgálni, hogy a lekerekített sarkok milyen eredmény eltéréseket okoznak a lecsapott sarkokhoz képest, illetve milyen végeselemes hálót igényelne az effajta kialakítás. A két módszert összehasonlítva, majd a legjobbat kiválasztva lehetne modellezni az egész keresztmetszetet. Fontos figyelembe venni, mennyi erőforrást vennének igénybe az egyes modellek, illetve milyen időigényesek lennének az eredmények pontosságával összehasonlítva. Ahogyan korábban említettem, több kísérlet esetén lehetne finomítani az anyagmodellen és azok paraméterein.

Érdeemes lenne vizsgálni, hogy a téglaegetés során a téglaelem belsejében mennyire egységes anyagtulajdonságok alakulnak ki.

Egy falazóelem tulajdonságaiból hogyan lehet következtetni a teljes falazat viselkedésére vonatkozóan.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom dr. Haris Istvánnak a rendelkezésre állásért, témavezetésért és tanácsokért a dolgozat elkészítési ideje alatt.

Roszevák Zsoltnak szintén az ötletekért, tanácsokért, illetve segédanyagok miatt.

Végül dr. Mansour Kachichiannak a kísérlet előkészítéséért és lebonyolításáért.

[1] Bojtár I., 2015, Mechanikai anyagmodellek, Előadásvázlat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest

[2] Roszevák Zs., 2015, Előregyártott vasbeton gerendák numerikus és kísérleti vizsgálata, TDK dolgozat, Budapest

[3] Leiertherm 30 N+F Katalógus, <https://www.leier.hu/downloadmanager/download/nohtml/1/id/1202/>, Letöltés dátuma: 2018.10.26.

[4] Vladimír Červenka, Libor Jendele és Jan Červenka, 2018, ATENA Program Documentation Part 1 Theory, https://www.cervenka.cz/assets/files/atena-pdf/ATENA_Theory.pdf, Letöltés dátuma: 2018.10.26.