

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	3
1.1.	A Tésztahidak története	3
1.2.	Világ bajnokságok története	3
1.3.	A dolgozatunk célkitűzése	4
2.	A tészta szilárdságtani tulajdonságai.....	5
2.1.	Száraztészta a múltban	5
2.2.	Száraztészta a jelenben	5
2.3.	Vizsgált tésztafélék.....	5
2.4.	Tészta minősége, hibák kiszűrése	6
2.5.	Központos nyomás	8
2.6.	Nyomás az alappal párhuzamos irányban	10
2.7.	Nyomás az alapra merőleges irányban	12
2.8.	Központos húzás.....	15
2.9.	Kihajlásnak kitett szerkezeti elemek	17
3.	Ragasztó.....	19
3.1.	Ragasztástechnikai alapok bemutatása	19
3.2.	A folyamat	20
3.3.	Vizsgált ragasztók	21
3.3.1.	Ciánakrilátok (pillanatragasztók)	21
3.3.2.	Epoxigyanták.....	25
3.4.	Ragasztók kombinációi.....	28
4.	A tészta szerkezet erőjátéka.....	29
4.1.	Kialakítás	29
4.2.	Építési folyamatok.....	30
4.3.	Típusok	32
4.3.1.	Rácsos tartó	32
4.3.2.	Sokszög alakú félkörív.....	33
4.3.3.	Lapos félkörív.....	34

4.3.4.	Félkörív, a küllők az erő hatásvonalában találkoznak	35
4.3.5.	Szimpla ív, dupla szálú küllőzés	36
4.3.6.	Dupla ív, szimpla szálú küllőzés	37
4.3.7.	Középen metsző ívű híd.....	38
4.3.8.	Kifelé döntött ívű híd	39
5.	Összefoglalás.....	42
6.	Mellékletek	43
7.	Hivatkozások.....	49
8.	Köszönet nyilvánítás	50

1. Bevezetés

1.1. A Tésztahidak története

Az ember évszázadok óta ismeri a száraztésztát, de hidakat csak az 1970-es évek végétől épített belőle.

A Tésztahíd két végén alátámasztott szerkezet, melyet kereskedelmi forgalomban kapható, vagy otthon gyártott- kizárólag liszt, víz és tojás felhasználásával- száraztésztából építenek, majd középen terhelve eltörnek. A híd szerkezeti elemeinek rögzítéséhez ragasztó használható.

Az építés során a versenyzők komoly mechanikai és szilárdságtani ismeretekről tesznek tanúbizonyságot, hiszen a szerkezeteket úgy kell kialakítani, hogy adott tömeg mellett a lehető legnagyobb teherbírással rendelkezzen. Az ilyen versenyeken a „Nehézsúly” kategóriában legtöbbször 1 m-es fesztávot kell áthidalni, és a szerkezet össztömege nem haladhatja meg az 1 kg-ot.

1.2. Világbajnokságok története

A legkorábbi feljegyzések szerint Tésztahíd Építő versennyel Dr. Zalka Károly találkozott a 70-es években, Angliában. Az akkori versenyeknek nem volt konkrét szabályzata, versenyenként változó lehetett. A szerkezetek formai követelménye is igen változatos volt, egyszer hidat, máskor tornyot kellett építeni a versenyzőknek.[1]

Az első hivatalos világbajnokságot a Kanadai Okanaga Egyetem rendezte 1988-ban, melyre 27 csapat nevezett. Az akkori hidak súlya még maximum 750 grammra volt megszabva. 2004-ben született meg az első magyar győzelem a versenyen, mely egyben világrekord is volt. Az 1 kg súlyú híd 256,13kg terhelés hatására ment tönkre és ezzel az eredménnyel elkezdődött a hazai csapatok sikersorozata a Tésztahíd Építő Világbajnokságokon. [2]

2011-től a VB rendezését az Óbudai Egyetem bonyolítja, melyen 2012-ben első alkalommal vettünk részt a Debreceni Egyetem Műszaki Kara képviselésében. „Barilla 3.0” névre hallgató hidunk a 3. helyen végzett 180,7 kg-mal. Csapatunk a DE- Műszaki Kar által megrendezett Mini Tésztahíd Építő versenyeken veretlen. Idén már harmadik alkalommal szereztük meg az első helyet.

A Tésztahidak történelmében valaha felállított legjobb eredményt Márkos Szilárd, az Óbudai Egyetem többszörös bajnoka érte el. A „Tudományok Hídja” névre keresztelt szerkezet 611,8 kg-os terhelés hatására ment tönkre, Ezzel a rekorddal valószínűleg hosszú időre bebiztosította helyét a Tésztahídépítés abszolút bajnokaként.

1.3. A dolgozatunk célkitűzése

Tanulmányunk célja az volt, hogy segítse a felkészülésünket a 2013-ban megrendezésre kerülő, RECCS Tésztahíd Építő Világbajnokságra. Különböző mechanikai és szilárdságtani kísérletek sorozatai alapján a kapott eredmények szórásának segítségével megkerestük azt a konstrukciót, mely a lehető legjobban megközelíti az elméleti számításokon alapuló értékeket (ami nem egyszer meghaladhatja az 1 tonnát is).

Kutatásunkban megkerestük a legjobb alapanyag, kötőanyag és szerkezeti kialakítás kombinációját. Megvizsgáltuk az anyag és ragasztó kapcsolatát, megkerestük egyes konstrukciók előnyeit, illetve hátrányait.

A világbajnokságon és a házi versenyeken szerzett tapasztalatok azt bizonyították, hogy a mechanikai számításokon és véges elem modellezőprogramokon alapuló eredményekhez képest a gyakorlati adatok akár 40-80%-kal rosszabbak, így nekünk sem állt módunkban ezeket az elméleti értékeket mérvadónak venni. Ezt a differenciát az a tény adta, hogy az elméleti számítások alkalmával minden tényezőt optimálisnak tekintettünk. Az építéshez használt darabok hibátlanok és egyformák, az illesztések pontosak, a csomópontok tökéletesen illeszkedtek egymáshoz, a ragasztó anyag is ideális arányban volt jelen. Ezt lehetetlen lett volna megvalósítani, hiszen a szerkezet építésből nem lehetett kizárni az emberi tényezőt, és az anyaghibát sem. Továbbá az alapanyagok is mutattak némi eltérést egymáshoz képest. Természetesen a számítások alkalmával mindig bele kellett kalkulálni egyfajta biztonsági tényezőt, csakúgy, mint a tervezési gyakorlatban, de ez is csak közelítőleg adott értéket a valódi teherbírásról.

Dolgozatunkban elvégzett több mint 1700 vizsgálat viszonylag pontos jellemzést adott az egyes elemek tulajdonságairól, szilárdságtani jellemzőiről (úgy mint nyomó-, húzószilárdság). Ezeket a kutatási eredményeket a bajnokságokon szerzett tapasztalatokat felhasználva sikeresebben szerepelhetünk későbbi versenyekben.

2. A tészta szilárdságtani tulajdonságai

2.1. Száraztészta a múltban

A legenda szerint a tésztát Marco Polo hozta magával Kínából 1295-ben. Marco-nak annyiban volt igaza, hogy a Kínaiak akkor már fogyasztottak tésztát, csak éppen nem búzából, hanem rizsből készítették. Valójában már a rómaiak is ettek tésztaféléket, melyet az etruszk hódítások alatt fedeztek fel. Ez volt a Lasagne. 1154-ben egy térképész beszámolt egy szicíliai faluról, ahol vízimalmokban őrlték a durum lisztet, és ebből készítették tésztát, mely a „macarone”(nehezen gyúrható) névre hallgatott. Bár ez a fajta tészta még közel sem hasonlított a mostani tésztákra.[3]

2.2. Száraztészta a jelenben

Mint köztudott, a világ tészta nagyhatalma Olaszország. Több mint 350 féle ízű, színű, formájú, és összetevőjű tésztát lehet kapni az olasz boltokban. Az Itáliai törvények kimondják, hogy tésztát kizárólag durumlisztből lehet készíteni. Hazánkban kapható tészták készülhetnek 100%-ban durum búzából, hagyományos és durumliszt keverékéből, tojással vagy anélkül. Ezen összetevők aránya befolyásolhatja kedvezően, vagy épp kedvezőtlenül a tészta mechanikai tulajdonságait. Feltételezések szerint például a tojás tartalmú tészták rugalmasabban viselkednek a teljes kiőrlésű tojás nélküliekhez képest. Vizsgálatainkhoz Olaszországból is rendeltünk tészta fajtákat, amiket méréseink során felhasználtunk. Méréseink kimutatták, hogy a tojás nélküli tészták jobb szilárdsági tulajdonságokkal rendelkeznek.

2.3. Vizsgált tésztafélék

Kutatásunkban nyolc tésztagyártó és forgalmazó harmincegy féle tésztáját vizsgáltuk. A fajták között megtalálható volt tojásos és tojás nélküli, teljes kiőrlésű, 100% durumlisztből készült és hagyományos tészta is.

A tésztamárkák: Barilla, Panzani, Colavita, Spar/DeSpar, Gyermei, Tesco, Parioli valamint a CuoreMediterraneo. A márkákon belül vizsgált tészta fajtákról a következő fejezettől kezdődően számolunk be részletesen.

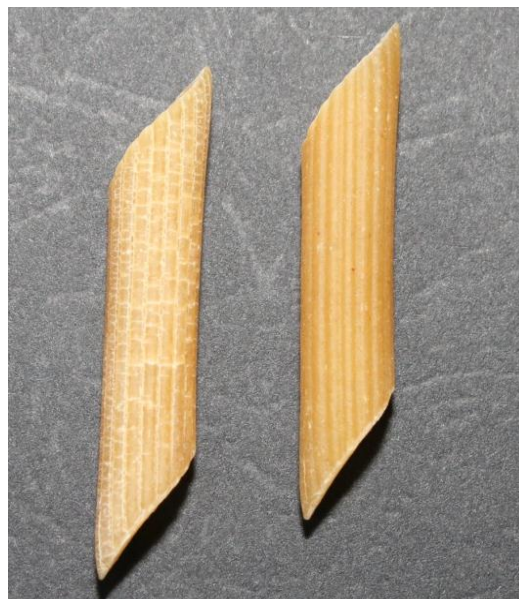
A tanulmányban szereplő tésztákat három nagy csoportra osztottuk aszerint, hogy a végleges híd szerkezetben milyen igénybevételeknek vannak kitéve, és ezen

igénybevételek felvételére melyek a legalkalmasabbak. A mérések elvégzéséhez szabványos próbatesteket készítettünk, melyeket egy analitikai mérleg (tízezred gramm pontosságú) segítségével mértünk le. Ezáltal is valós képet kapva a tészta gyártásánál bekövetkezett pontatlanságokról. Ilyen volt például a nem abszolút 100%-os keverési arálynak köszönhetően, hogy ugyanazon méretű próbatestek ugyanabból a fajta tésztaból századgrammnyi eltéréseket mutattak tömegben. Ez egyetlen darab tészta tekintetében elhanyagolható - gondolhatnánk -, csak hogy egy tésztahíd kialakítástól függően 1000-3000 darabból áll, így pedig ezek a jelentéktelennek tűnő különbségek nagymértékben befolyásolják a végleges szerkezet teherbírását.

2.4. Tészta minősége, hibák kiszűrése

A száraztészta, mint építőanyag rendkívül érzékeny a környezeti hatásokra, ezért a legkisebb fizikai, kémiai változásokra is drasztikusan csökken a teherbírása.

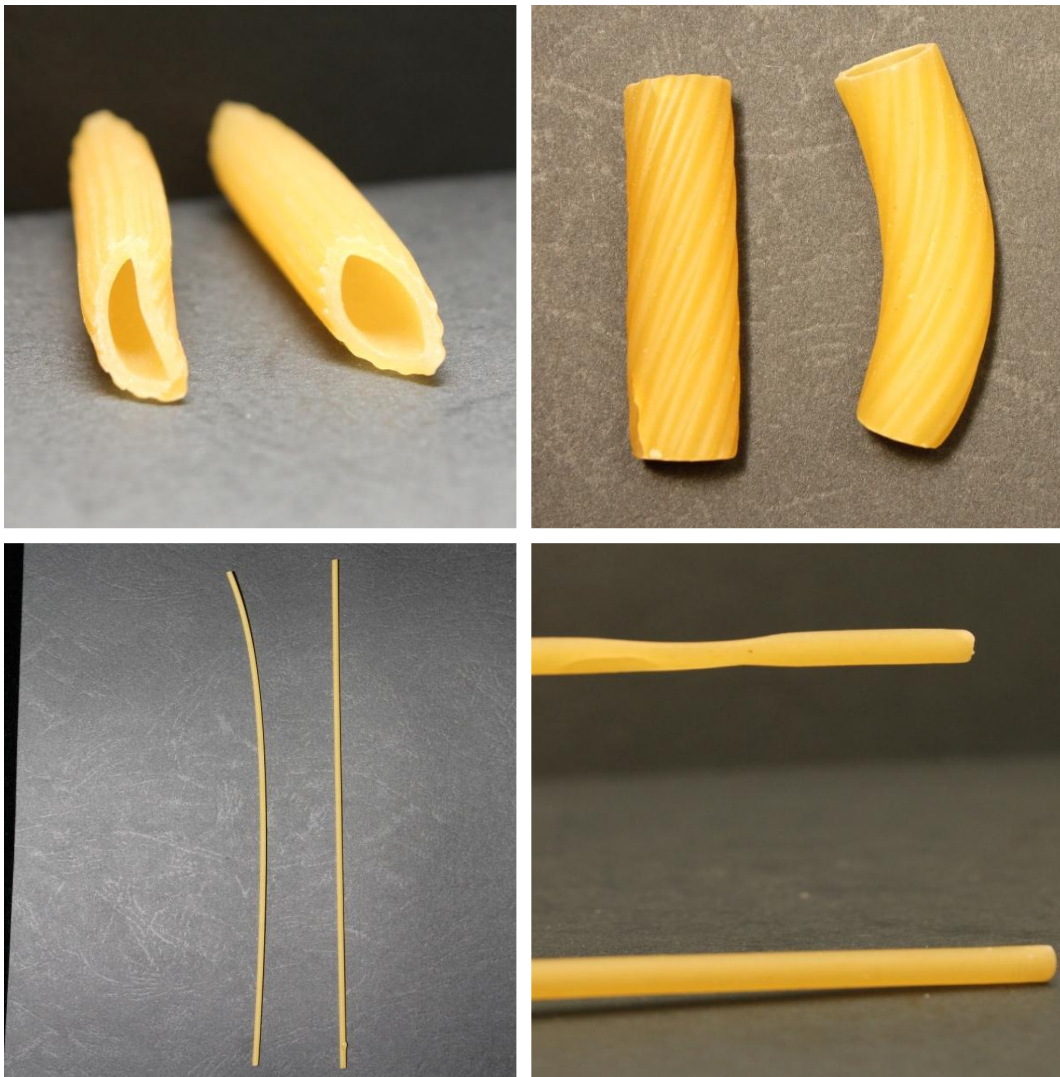
Ilyen teherbírást befolyásoló tényezők lehetnek például a páratartalom változás. Szobahőmérsékleten (23 °C) a tészta úgy mond „alkalmazkodik” a környezethez, így káros hatások nem lépnek fel az anyagban. Megfigyelhető viszont, hogy a hirtelen páratartalom változás hatására (például egy száraz levegőjű szobában tárolt hídra kinyitjuk az ablakot közvetlenül eső után) a víz lecsapódik a szerkezeten és megkezdődik az anyagban a lágyulás folyamata. Ugyanígy, ha közvetlen napfény, vagy erős hő éri a modellt, veszít víztartalmából, a tészta kiszárad, belső feszültség ébred benne és megjelennek a szemmel alig látható mikro repedések, melyek terhelés hatására tovább tágnak. Ezáltal a szerkezet tönkremenetele sokkal hamarabb bekövetkezik.



1. ábra Páratartalom változás hatására bekövetkezett tönkremenetel (balra) (saját kép)

További problémákat okozhat az a tény, miszerint a száraztészta anyaga is csak elméletben tekinthető tökéletesen homogén anyagnak. A gyártási folyamatok során fellelhetnek olyan előre nem látható körülmények, melyek a tészta anyagában zárványokat, légzárványokat képeznek. (zárvány: az anyagban előforduló oda nem illő más anyagdarab, mely szennyeződésnek tekinthető, légzárvány: a nem megfelelő tömörítésből származó szabálytalan alakú üreg[4]). Ilyen lehet például a nem 100%-os keverésnek köszönhetően egy-egy lisztcsomósodás, légbuborék, esetleg egy szitán átcsúszott nagyobb búzadarab, véletlenül a tésztába került szennyeződés.

Egyéb hibákat okozhat még a gyártási, illetve szállítási folyamatok során bekövetkező deformáció, illetve sérülés, (például a gép elkopott pengével dolgozik, miközben a darabokat méretre vágja, így minden szál végét összenyomja) mely nem teszi rosszabb minőségűvé a tésztát, csupán az építés szempontjából geometriailag lesz használhatatlan.



2. ábra A gyártási folyamatok során bekövetkező geometriai deformációk (saját kép)

A tészta vélhető minőségére következtetni tudtunk a zacskó/doboz tartalmából felhasználható darabok számából. Egy zacskónyi tésztának általában 10-30%-a felel meg a követelményeknek (hasonló keresztmetszet, zárvány mentes anyag, egyenes darabok). Jellemzően az olcsóbb fajta, gyengébb minőségű tésztának kisebb hányadát lehetett felhasználni építkezés céljára. Vizsgálatunk során ez a feltételezés beigazolódott.

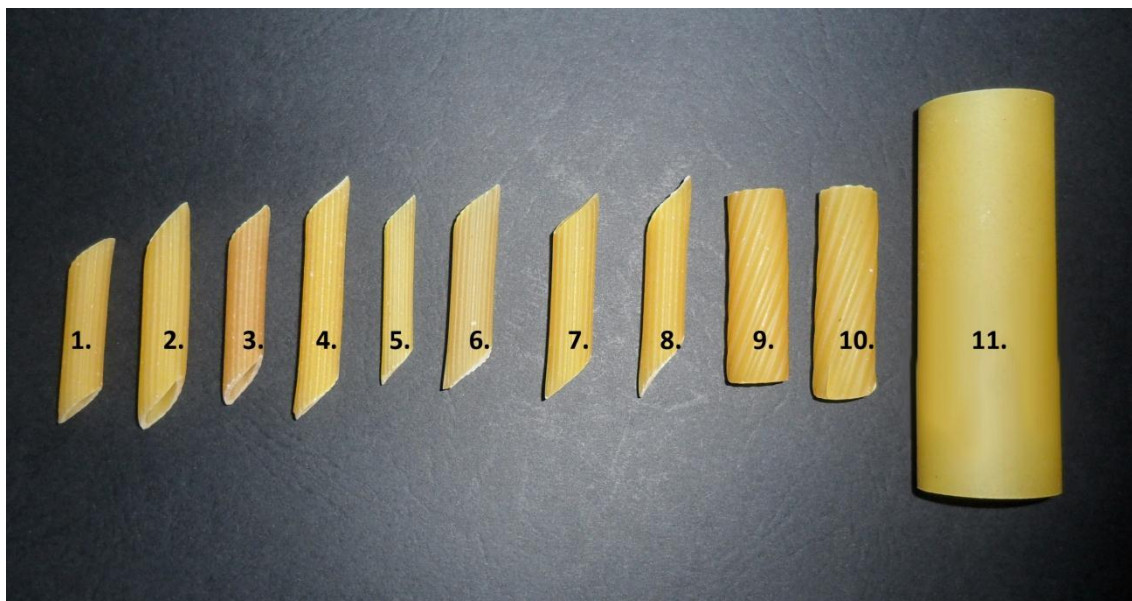
Ezen minőségbeli hibák kiszűrése után legyártottuk a próbatesteket, majd elvégeztük a kísérleteket.

2.5. Központos nyomás

Központos nyomás és húzás: Ha egy rúdelemre a határoló keresztmetszetek síkjára merőleges, azok súlypontjában támadó erők működnek, akkor a rúdelem központos húzásra, illetve nyomásra van igénybe véve. [5]

A szerkezetben ébredő nyomófeszültség felvételére a legalkalmasabb tésztafélék a hengeres test kialakításúak. Keresztmetszetük, és méretük miatt a kihajlási hossz elhanyagolható, valamint a palástnyomásközel egyenletesen oszlik el a felületen.

Kutatásunkban vizsgált tészták:



3. ábra 1. BarillaPenneRigate n.72; 2. BarillaPenneRigate n.73; 3. BarillaPenneIntegrale 100% Durum; 4. PanzaniPenneRigate; 5. Panzani Express PenneRigate; 6. Tesco Penne; 7. DeSparPenneRigate; 8. ColavitaPenneRigate, 9. BarillaTortiglioni; 10. CuoreMediterraneoTortiglioni; 11. BarillaCannelloni

A fent említett tésták mindegyikéből 20 mm palástmagasságú próbatesteket készítettünk, típusonként 30 darabot. Egyes tésták esetében 30 mm-es illetve 50 mm-es próbatestek is készültek. Ennek célja az volt, hogy megfigyeljük, miként befolyásolja a próbatestek hossza a teherbírást. A próbatestek elkészítéséhez egy erre a célra kifejlesztett precíziós vágóműszert, valamint egy csiszológépet használtunk. A csiszológépre finom szemcséjű (320-as) csiszolótányért szereltünk, mely lehetővé tette a próbatestek feszültségmentes alakítását, így az a mérési eredményeket nem befolyásolta.



4. ábra A próbatestek megmunkálásához használt csiszoló berendezés

Az elkészült próbatesteket központos nyomásvizsgálat alá vetettük. Az eredmények szórását figyelembe véve megkaptuk azok fajlagos teherbírási értékeit. A vizsgálatokat két részletben végeztük két műszerrel, az alappal párhuzamos, illetve az alpra merőleges irányú erőkkel.

2.6. Nyomás az alappal párhuzamos irányban

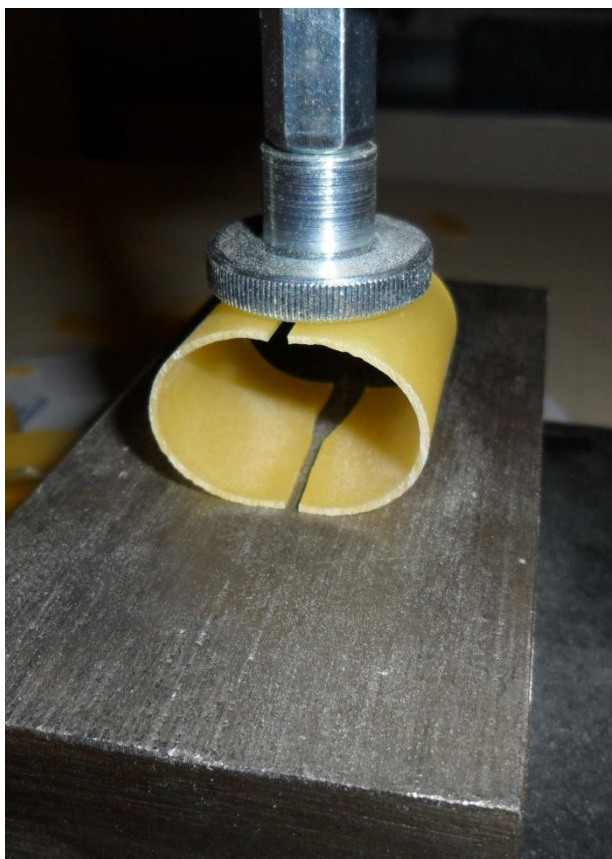
A vizsgálatot egy HandHeld 054 S/N 0902273 típusú mechanikus Dinamométer segítségével végeztük, mellyel 50N/s terhelési sebesség mellett tönkremenetelig vizsgáltuk a próbatesteket.

A berendezés két fő része:

- Az állvány, mely egy sűrű menetes szálból, a hozzá tartozó mechanikus tekerőkerékből, egy a szárhoz erősített műszertartó konzolból és egy rögzíthető talpból áll.
- A műszer, melyben egy erőmérő segítségével a digitális kijelzőn leolvasható a terhelőerő nagysága és iránya (-/+). A műszer kg, N, illetve MPa értékeket képes kimutatni.



5. ábra HandHeld 054 S/N 0902273 típusú mechanikus Dinamométer



6. ábra Nyomás az alappal párhuzamos irányban

Az összesített vizsgálati eredményeket az (1.) összegző táblázat tartalmazza. A mért eredmények kimutatták, hogy a 20 mm-nél nagyobb palástmagasságú próbatestek teherbírása 60%-kal gyengébb eredményeket produkált, mint a 20 mm-es. Levonható tehát a konklúzió, miszerint érdemes minél kisebb darabokat használni a szerkezet építése során. Az eddigi mérések alapján a 20 mm-es elemek nyomásra a legideálisabbak. Az ennél kisebb méretű testek megmunkálása már körülményes lenne, felléphetnek olyan kivitelezési pontatlanságok, melyek kedvezőtlenül hatnak a szerkezetre.

(1.) összegző táblázat: Nyomás a próbatest alapjával párhuzamos irányban

Összegző táblázat							
Típus	Méret [mm]	Tömeg [g]	Szórás	Erő [N]	Szórás	Fajlagos teherbírás [N/g]	Szórás
PanzaniPenneRigate	20	0,71	0,02	121,43	19,67	17009	2870
PanzaniPenneRigate	30	1,07	0,02	140,75	22,25	13139	2079
Panzani Express PenneRigate	20	0,33	0,01	58,90	8,10	17906	2079
ColavitaPenneRigate	20	0,87	0,01	58,90	8,10	22127	2566
Tesco ValuePenne	20	0,77	0,02	129,64	15,98	16940	2149
DeSparPenneRigate	20	0,88	0,02	182,67	27,89	20875	3185
BarillaPenneRigate n.72	20	0,66	0,02	140,26	21,90	21377	3157
BarillaPenneRigate n.73	20	0,82	0,01	162,56	29,24	19814	3503
BarillaTortiglioni n.83	20	1,18	0,03	122,33	16,22	10368	1323
BarillaTortiglioni n.83	30	1,76	0,02	161,27	17,07	9146	987
BarillaCannelloni	20	2,96	0,09	37,69	4,20	1275	140
BarillaCannelloni	20	4,99	0,13	54,85	7,31	1098	131
BarillaIntegrale 100% Durum	30	0,68	0,01	132,30	17,07	19515	2460
CuoreMediterraneoTortiglioni	20	1,24	0,03	113,4	16,4	9186	1354
CuoreMediterraneoTortiglioni	30	1,81	0,08	118,64	18,24	6549	1034

Táblázatunkból egyértelműen megállapítható, hogy a legjobb teherbírási értékekkel rendelkező tészta a ColavitaPenneRigate volt.

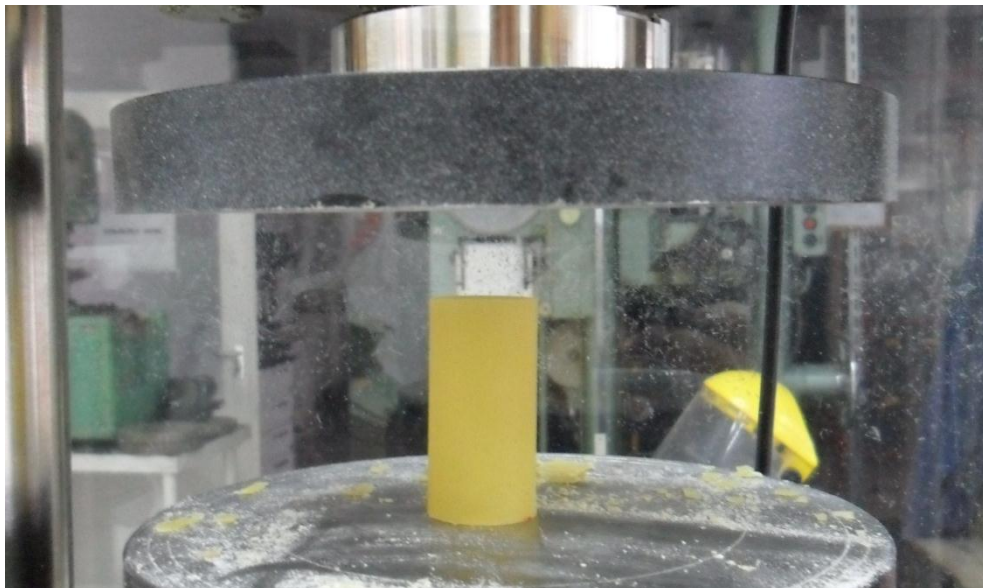
2.7. Nyomás az alpra merőleges irányban

Ennek a vizsgálatnak az elvégzésére az ÉMI (Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit kft.) Észak-alföldi Területi Laboratóriumában került sor. A méréseket egy Advantest9 szervohidraulikus vezérlő konzolra csatlakoztatott 65-L1300/P típusú törőgéppel végeztük.



7. ábra 65-L1300/P típusú törőgép (saját kép)

A műszert eredetileg beton és habarcs próbatestek törésére használják, ám számunkra is ideálisnak bizonyult. A maximális terhelés határértéke 10kN-ra volt kalibrálva. A terhelő erőt egy gömbcsuklós fejjel ellátott szervohidraulikus sajtó korong adta, mely állandó 500N/s terhelési sebesség mellett végezte a vizsgálatot. A kapott eredmény tized kN pontossággal leolvasható volt.



8. ábra Nyomáspróba az alpra merőleges irányban (saját kép)

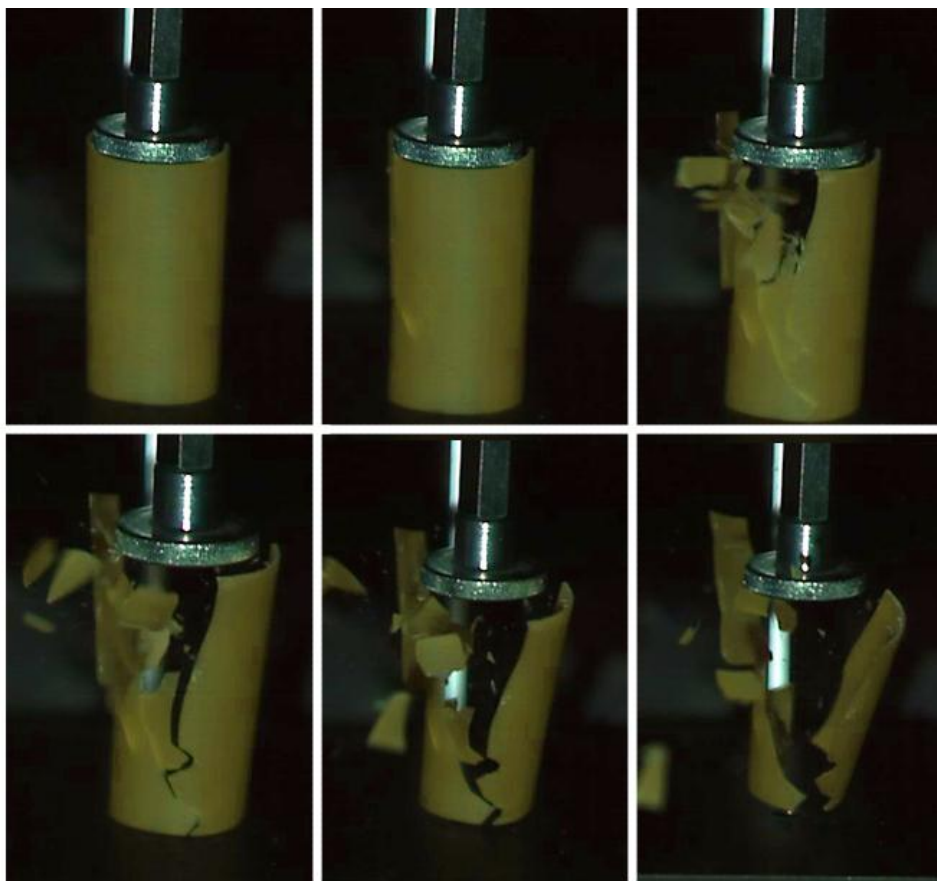
(2.)összegző táblázatunkból kiderül, hogy a vizsgált próbatestek csakúgy, mint az alappal párhuzamos nyomáspróba esetén itt is a palástmagasság hosszának függvényében változó értékeket mutatnak. A teherbírás a hossz növelésével ebben az esetben is kedvezőtlenül változik.

(2.) összegző táblázat:Nyomás a próbatest alapjára merőleges irányban

Összegző táblázat							
Típus	Méret [mm]	Tömeg [g]	Szórás	Erő [kN]	Szórás	Fajlagos teherbírás [N/g]	Szórás
PanzaniPenneRigate	20	0,71	0,02	2,05	0,37	287011	52160
PanzaniPenneRigate	30	1,07	0,02	1,90	0,41	177480	39167
Panzani Express PenneRigate	20	0,33	0,01	0,76	0,13	233791	40108
ColavitaPenneRigate	20	0,33	0,01	2,56	0,46	295743	52690
Tesco ValuePenne	20	0,75	0,02	2,09	0,12	280080	21578
DeSparPenneRigate	20	0,88	0,02	2,73	0,33	311918	36260
BarillaPenneRigate n.72	20	0,67	0,02	1,96	0,44	295688	67133
BarillaPenneRigate n.73	20	0,82	0,01	2,87	0,08	351695	12642
BarillaTortiglioni n.83	20	1,16	0,03	3,82	0,28	330167	25308
BarillaTortiglioni n.83	30	1,75	0,04	3,74	0,21	214509	14257
BarillaCannelloni	30	3,01	0,12	5,19	0,83	172760	29712
BarillaCannelloni	50	5,12	0,15	5,49	0,48	107419	10016
BarillaIntegrale 100% Durum	20	0,67	0,01	2,05	0,21	304329	30799
CuoreMediterraneoTortiglioni	20	1,25	0,15	3,72	0,06	301362	27465
CuoreMediterraneoTortiglioni	30	1,79	0,06	3,57	0,18	200445	13409

Érdekes lehet a megfigyelés, miszerint egyes próbatestek akár a 6 kN-os nyomásnak is ellenálltak.

Képeinken részletesen megfigyelhető a tönkremenetel folyamata.



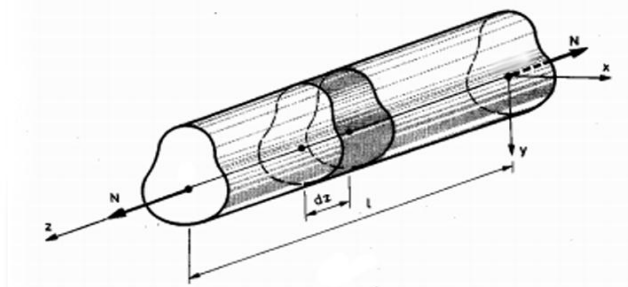
9. ábra A tönkremenetel folyamata (saját kép)



10. ábra Cannelloni próbatest a roncsolás után (saját kép)

2.8. Központos húzás

Egy helyesen megépített tésztahíd esetében a húzott szálak eddigi tapasztalataink alapján (félköríves szerkezet esetén az úgynevezett küllők) legtöbbször spagettiből, vagy hasonlóan karcsú tésztaféléből készülnek, mert ezeknek a fajtáknak az erő/tömeg hányadosa központos húzás hatására a legideálisabb.



11. ábra Központos húzás

A spagetti szálakban ébredő mechanikai feszültséget az erő és a rá merőleges keresztmetszet hányadosaként számíthatjuk.

$$\sigma_N = \frac{F}{A}$$

A húzóerő mértéke függ a keresztmetszet nagyságától és az anyag minőségétől, viszont nem függ a keresztmetszet alakjától és a rúd hosszától. [6]

Tapasztalatok szerint a központos húzás könnyebben biztosítható a téstaszálban, ha annak keresztmetszete kicsi. A küllőket az íven minden esetben egyenlő osztóközönként kell elhelyezni, ezzel biztosítva az egyenletes teherelosztást.

A húzó igénybevétel méréséhez használt tesztlék:



12. ábra 1.Colavita;2.DeSpar;3.Tesco Value; 4.Barilla n.5;5.Tesco 100% Durum;6.Barilla n.1;7. Gyermelyi Vita Pasta; 8.Panzani; 9.Barilla n.3; 10.PanzaniLinguini; 11.Barilla 100% Durum; 12. Spar 4 Tojásos; 13.Barilla n.7; 14. Gyermelyi 4 Tojásos; 15.BarillaBavette; 16.ParioliLinguine; 17. Gyermelyi Tojás Nélküli

A próbatesteket 250 mm hosszú száakra vágtuk. Egyes spagettik esetén ez a hossz 240 mm-re redukálódott, mivel a kereskedelmi forgalomban kapható fajták nem érték el a 250 mm-t. A mérések elvégzéséhez ismét a HandHeld 054 S/N 0902273 típusú mechanikus Dinamométert használtuk. Az előkészített próbatestek két végére hurkot erősítve biztosítottuk a központos húzást. A (3.) összegző táblázatban található mérési adatokból kivehető az egyes tésták szakítószilárdsági értékei.

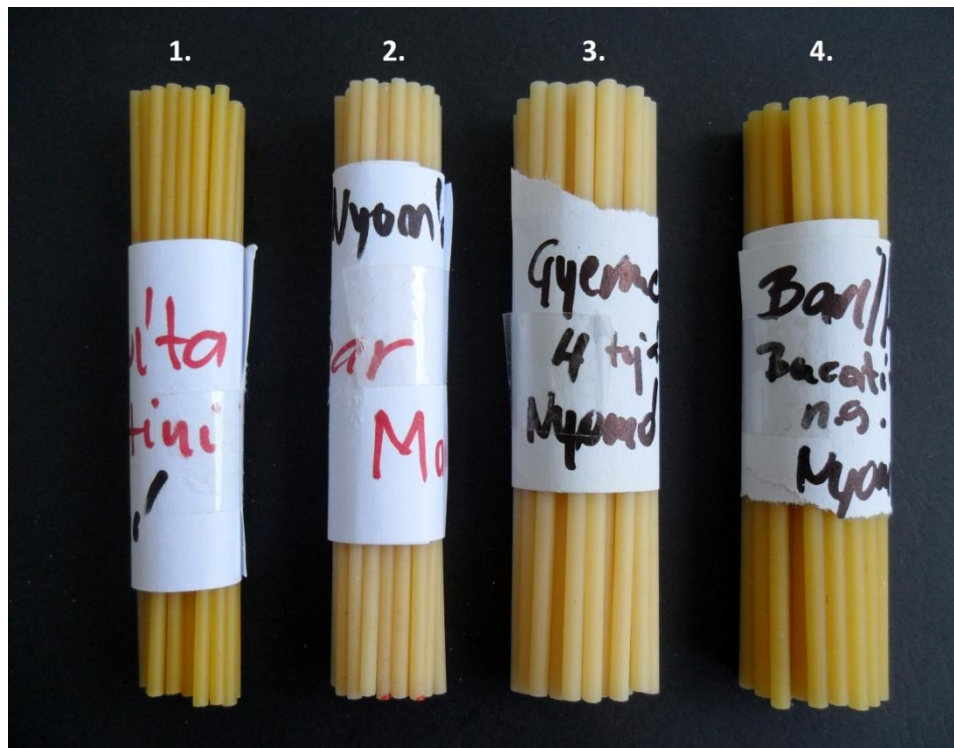
(3.) összegző táblázat: Spagettik központos húzás értékeinek összegző táblázata

Összegző táblázat							
Típus	Méret [mm]	Tömeg [g]	Szórás	Erő [N]	Szórás	Fajlagos teherbírás [N/g]	Szórás
Tesco 100% Durum	250	0,83	0,01	42,09	12,72	5070	1538
PanzaniSpaggetti n.5	240	0,67	0,01	40,75	8,43	6055	1286
BarillaSpaggettini n.3	250	0,59	0,01	32,91	10,09	5558	1710
BarillaSpaghettoni n.7	250	1,05	0,03	76,51	7,95	7286	839
Gyermelyi 4 Tojásos Spaggetti	250	0,89	0,02	37,89	9,03	4238	1022
Gyermelyi Vita PastaSpaggetti	250	0,89	0,02	44,04	15,01	4967	1704
Gyermelyi Tojás Nélküli Spaggetti	250	0,87	0,03	31,18	12,11	3576	1395
ColavitaSpaggetti n.3	250	0,88	0,01	65,98	10,67	7497	1210
BarillaSpaggetti n.5 100% Durum	250	0,77	0,01	48,48	8,52	6329	1103
BarillaBavette	250	1,21	0,06	80,83	12,20	6706	1074
PanzaniLinguini 100% Durum	240	0,94	0,04	59,29	9,98	6333	1061
Tesco ValueSpaggetti	250	0,80	0,02	49,50	13,23	6184	1665
Spar 4 tojásos Spaggetti	250	0,89	0,04	28,13	5,52	3178	644
BarillaCapellini n.1	250	0,37	0,01	24,34	6,27	6597	1700
BarillaSpaggetti n.5	250	0,82	0,03	57,29	10,86	7003	1354
DeSparSpaggetti n.5	250	0,89	0,02	51,42	11,17	5760	1229
ParioliLinguine	250	1,25	0,08	60,02	22,23	4820	1791

2.9. Kihajlásnak kitett szerkezeti elemek

Azokat az elemeket, melyek mind húzó, mind nyomó igénybevételnek ki vannak téve a szerkezetben, úgy kell megválasztani, hogy mindkét-típusú erővel szemben szilárdságtanilag ellenállóak legyenek. A tésztafajták közül erre a célra a legalkalmasabb a makaróni, és bucattinifélék.

Kutatásunkban felhasznált makaróni fajták:



13. ábra 1. Colavita; 2. Spar 4 tojasos; 3. Gyermelyi 4 tojasos; 4. BarillaBucattini n.9

A makarónikat keresztmerezítésként alkalmaztuk. Mivel egyaránt kaptak húzó, illetve nyomó igénybevételt is, így a próbatesteken mindkét vizsgálatot elvégeztük. Ezeket az elemeket geometriai paramétereik alapján (jelentősen hosszabb, mint széles) karcsú szerkezetnek tekintettük, ezért nyomás hatására a makaróni szálak kihajoltak, majd eltörtek. A kihajlás elleni védelemnek két módját alkalmaztuk. Az egyik a kihajlási hossz csökkentése, melyet minél rövidebb makaróni szálak beépítésével értünk el. A másik módja, hogy a makarónikat bordás kialakításban illesztettük egymáshoz, és a kihajlás irányához képest $+45^\circ$ -ban elforgatva építettük a szerkezetbe.

A makarónit 100 mm-es darabokra vágtuk, mivel a versenyeken is ez a legjellemzőbb használati méret. Szakító vizsgálatnál, úgy mint a spagettik esetében, a szálak végeire erősített hurokkal értük el a központosságot.

Az összegző táblázatból egyértelműen kiderül, hogy a BarillaBucatini n.9 felelt meg legjobban a húzó- és nyomó igénybevételeknek is. Szerkezeti kialakítás szempontjából ez azért előnyös, mert így nem kell különböző minőségű makarónikat a modellbe építeni, melyeknél felmerülhet a probléma, hogy nem tudnak együtt dolgozni.

4. táblázat: Makarónik összegző táblázata központos húzásra

Összegző táblázat (központos húzás)							
Típus	Méret [mm]	Tömeg [g]	Szórás	Erő [N]	Szórás	Fajlagos teherbírás [N/g]	Szórás
ColavitaBucatini n.7	100	0,52	0,01	54,08	21,05	10337	4032
Spar 4 tojásos Makaróni	100	0,57	0,02	31,60	8,08	5537	1373
Gyermelyi Makaróni 4 tojásos	100	0,85	0,02	52,01	17,47	6090	2053
BarillaBucatini n.9	100	0,79	0,05	131,18	192,35	16594	24659

5. táblázat: Makarónik összegző táblázata nyomásra

Összegző táblázat (nyomás)							
Típus	Méret [mm]	Tömeg [g]	Szórás	Erő [N]	Szórás	Fajlagos teherbírás [N/g]	Szórás
ColavitaBucatini n.7	100	0,53	0,01	13,46	2,96	2560	576
Spar 4 tojásos Makaróni	100	0,57	0,02	16,65	2,74	2932	485
Gyermelyi Makaróni 4 tojásos	100	0,87	0,02	35,09	7,57	4056	869
BarillaBucatini n.9	100	0,83	0,04	41,92	10,04	5058	1206

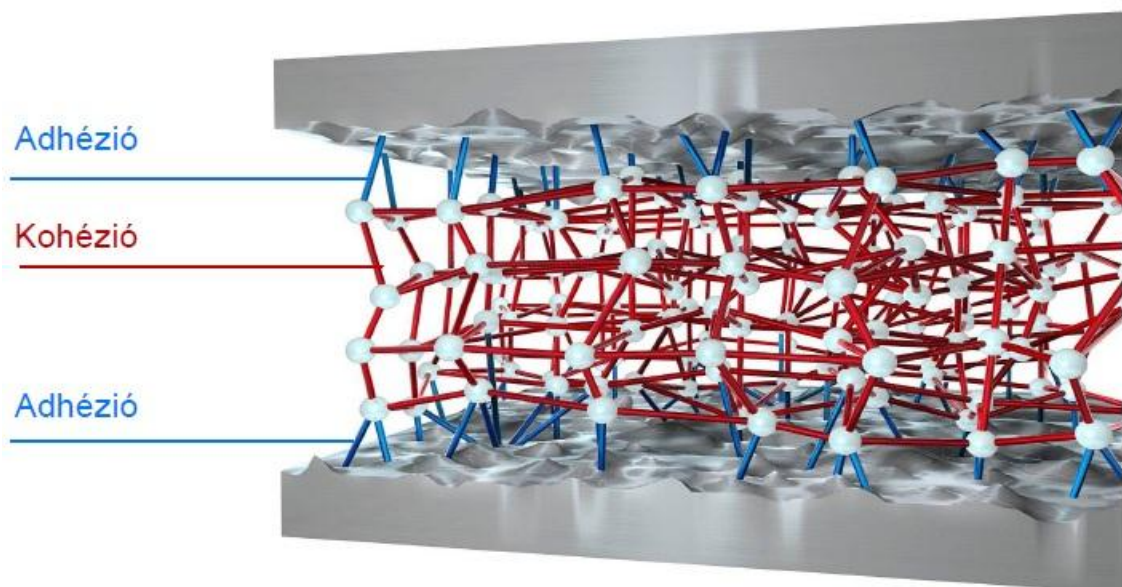
3. Ragasztó

A szerkezeti elemek kapcsolatához elengedhetetlen a kötőanyag, mely jellemzően a ragasztó. A ragasztónak több kritériumnak is meg kell felelnie:

- Nagy szakító szilárdságot kell biztosítani az egyes szerkezeti elemek között
- Kellően rugalmas kapcsolatot kell létesítenie a csomópontokban, hogy azok minél inkább csukló-szerűen tudjanak viselkedni
- A kikevert ragasztónak minél tovább felhasználhatónak kell lennie
- Az anyag sűrűségének igazodnia kell a felhasználás céljához (csomóponti rögzítéshez a sűrűbb, hézagkitöltéshez a folyékonyabb ragasztó az ideális)

3.1. Ragasztástechnikai alapok bemutatása

A ragasztás két szilárd test összeerősítését jelenti ragasztó anyag segítségével. Az összeerősített részek anyaga nem szükséges, hogy azonos legyen. A ragasztott kötések szilárdságát döntően két erő-típus adja: a ragasztandó anyagok, valamint a ragasztó belső összetartó ereje, szilárdsága (kohézió), valamint a ragasztandó anyag és a ragasztó határfelületén fellépő erőhatások (adhézió).[7]



14. ábra Adhézió és kohézió jelensége a ragasztandó felületek között [8]

A ragasztókat kémiai szerkezetük szerint a következő csoportokra bontjuk:

- Epoxigyanták
- Poliészterek
- Poliuretánok
- Fenoplasztok, aminoplasztok
- Akril- és metakrilsavészterek
- Ciánakrilátok
- Vinilszármazékok
- Poliamid alapú
- Szilikongyanták

A ragasztás technológiája szerint három csoportot különböztetünk meg:

- Homogén kötés
- Inhomogén kötés
- Kombinált kötés

Vizsgálatunk során az epoxigyantákkal valamint ciánakrilátokkal (hétköznapi nevén pillanatragasztó) foglalkoztunk. Emellett kizárólag a homogén kötését vizsgáltuk, mely annyit jelent, hogy a ragasztandó anyagok között csak a ragasztó réteg található.

3.2. A folyamat

A ragasztandó felületek előkészítése:

Minden ragasztás előtt meg kell bizonyosodni arról, hogy az összeilleszteni kívánt felületek tiszták-e. A ragasztott kötés szilárdságát ugyanis jelentős mértékben rontják a felületi szennyeződések (például: por, zsír). Nagy szerepet játszik továbbá a kötés erősségében a felületi érdesség. Esetünkben a tésztadarabok felülete a csiszolást követően kellően érdes és szennyeződés mentes felületet biztosít a megfelelő ragasztáshoz.

A ragasztó előkészítése:

Mint azt a korábbiakban említettük, epoxigyantákat használtunk a ragasztáshoz, melyek legtöbb esetben két komponensből álltak. Ezen ragasztók különleges tulajdonsága, hogy meghatározott keverési arány mellett érhető el a legnagyobb szilárdság. A folyamat megkezdése előtt tehát biztosítani kell a megfelelő arány előállítását. Ez általában 1:1, de előfordul 2:1, illetve 3:1-es keverési arány is.

A munkadarabok illesztése:

A ragasztó felvitele után biztosítani kell a darabok mozdulatlanságát egészen a kikeményedésig. Ezáltal érhető el a maximális szilárdság.

A Ragasztó kikeményedése:

Oldószeres, vagy diszperziós ragasztók esetében a kikeményedés az oldószer illetve a víz elpárolgását jelenti. Ezekben az esetekben időt kell hagyni az anyagok távozására. Érdemes megjegyezni, hogy egyes ragasztók esetén (például az epoxik) a kötési idő a környezeti hőmérsékletváltozás hatására exponenciálisan növekszik (+10°C-onként a kétszeresére).

3.3. Vizsgált ragasztók

Kutatásunkban a Henkel Magyarország Kft. által forgalmazott LOCTITE epoxi-, és pillanatragasztókat vizsgáltuk különböző szempontok alapján, úgymint:

- Fazékidő (az előkészített ragasztóanyag felhasználhatósága)
- Kikeményedési idő (az idő, melynek elteltével a ragasztó öntartóvá válik, ebben az állapotban az anyag mozdítható, szállítható, de nem terhelhető)
- Kötési idő (az idő, amely után a ragasztó eléri a maximális szilárdságát)
- Viskozitás (a ragasztó sűrűsége)
- Száraztészttával szembeni reakció (megfigyelhető-e bármiféle káros hatás)

3.3.1. Ciánakrilátok (pillanatragasztók)



15. ábra LOCTITE pillanatragasztók (saját kép)

Működésük

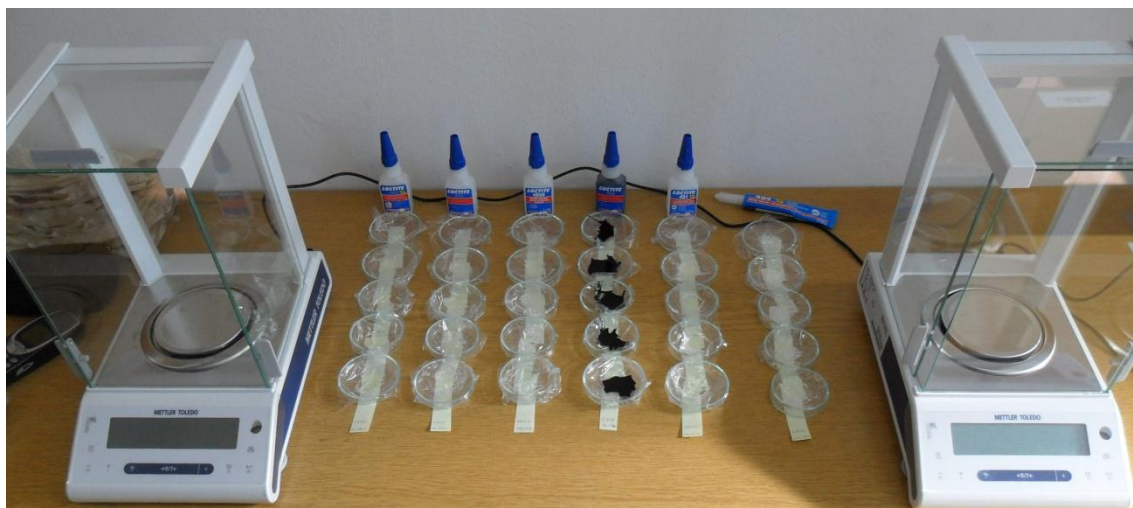
A pillanatragasztó egy akrilgyanta, mely szilárd felületeken használva szinte azonnal polimerizálódik. A polimerizációt a vízben lévő hidroxidionok idézik elő. A ciánakrilátos monomerek a víz hatására összekötődnek, így alkotva tartós műanyaghálót. [9]

6.táblázat: A vizsgált pillanatragasztók és tulajdonságaik [10]

Termék		Loctite 401	Loctite 435	Loctite 454	Loctite 460
Kémiai bázis		etil	etil	etil	alkoxi etil
Viszkozitás [mPa-s]		100	200	gél	40
Szín		színtelen, átlátszó	színtelen, átlátszó	színtelen, átlátszó	színtelen, átlátszó
Rögzítési idő		3-10 mp	10-20 mp	5-10 mp	5-20 mp
Ragasztandó anyagok	Műanyagok/ Poliolefinek	•/•	••/•	•/•	•/•
	Gumik	•	••	•	•
	Fémek	•	••	•	•
	Porózus és/vagy savas felületek	••	••	••	••
	Száraztészta	•	••	••	••
Ütésállóság		–	••	•	–
Rugalmasság		•	–	–	••

Termék		Loctite 480	Loctite 4850	Loctite 3090
Kémiai bázis		etil	etil	etil
Viszkozitás [mPa-s]		200	400	gél
Szín		fekete	színtelen, átlátszó	színtelen, átlátszó
Rögzítési idő		20-50 mp	3-10 mp	90-150 mp
Ragasztandó anyagok	Műanyagok/ Poliolefinek	•/•	••/•	•/•
	Gumik	••	••	••
	Fémek	••	•	•
	Porózus és/vagy savas felületek	–	••	••
	Száraztészta	•	•	••
Ütésállóság		••	–	•
Rugalmasság		•	••	–

Mivel a ragasztás kötési folyamata párolgással jár, ezért ez tömegvesztést okozhat, mely az elkészült szerkezet szempontjából nem elhanyagolható. A vizsgálatok során minden ragasztóból egy 1 gramm mintát vettünk, majd 72 óra után a mintákat újra lemértük. A vizsgálatot egy tízezred gramm pontosságú analitikai mérleggel végeztük.



16. ábra Vizsgálat előkészítése analitikai mérlegek segítségével (saját kép)

7.táblázat: LOCTITE pillanatragasztók tömegváltozásainak összegzése

LOCTITE 401

	Csésze	Ragasztó	Σ	Csésze + ragasztó	Ragasztó	Elpárolgott %
1	20,3151	0,9952	21,3103	21,2099	0,8948	10,09
2	20,4214	1,0049	21,4263	21,3177	0,8963	10,81
3	20,4614	0,9997	21,4611	21,3416	0,8802	11,95
4	20,9420	1,0005	21,9425	21,8413	0,8993	10,11
5	20,3590	1,0006	21,3596	21,2399	0,8809	11,96

LOCTITE 435

	Csésze	Ragasztó	Σ	Csésze + ragasztó	Ragasztó	Elpárolgott %
1	19,7520	1,008	20,7600	20,7161	0,9641	4,36
2	21,3779	0,9932	22,3711	22,3324	0,9545	3,90
3	21,9558	0,9956	22,9514	22,9138	0,9580	3,78
4	20,3229	1,0013	21,3242	21,2890	0,9661	3,52
5	17,1920	0,9995	18,1915	18,1599	0,9679	3,16

LOCTITE 454

	Csésze	Ragasztó	Σ	Csésze + ragasztó	Ragasztó	Elpárolgott %
1	20,4714	1,0014	21,4728	21,1836	0,7122	28,88
2	20,0909	1,0026	21,0935	20,8031	0,7122	28,96
3	23,2459	1,0019	24,2478	23,9612	0,7153	28,61
4	19,3416	1,0012	20,3428	20,0561	0,7145	28,64
5	21,2931	1,002	22,2951	21,9968	0,7037	29,77

LOCTITE 460

	Csésze	Ragasztó	Σ	Csésze + ragasztó	Ragasztó	Elpárolgott %
1	19,2911	0,9992	20,2903	20,3329	1,0418	-4,26
2	20,8224	0,9994	21,8218	21,8713	1,0489	-4,95
3	20,4222	0,9971	21,4193	21,463	1,0408	-4,38
4	21,3890	0,9956	22,3846	22,4318	1,0428	-4,74
5	21,4650	0,9995	22,4645	22,5104	1,0454	-4,59

LOCTITE 480

	Csésze	Ragasztó	Σ	Csésze + ragasztó	Ragasztó	Elpárolgott %
1	19,9121	1,0011	20,9132	20,6762	0,7641	23,67
2	20,5410	0,9960	21,5370	21,3078	0,7668	23,01
3	20,5224	0,9984	21,5208	21,2819	0,7595	23,93
4	20,5948	0,9969	21,5917	21,3475	0,7527	24,50
5	20,8545	1,0006	21,8551	21,6127	0,7582	24,23

LOCTITE 4850

	Csésze	Ragasztó	Σ	Csésze + ragasztó	Ragasztó	Elpárolgott %
1	19,6270	0,9920	20,6190	20,5435	0,9165	7,61
2	20,1253	1,0001	21,1254	21,0470	0,9217	7,84
3	21,9969	0,9993	22,9962	22,9172	0,9203	7,91
4	19,4994	0,9977	20,4971	20,4182	0,9188	7,91
5	20,4698	1,0015	21,4713	21,3776	0,9078	9,36

Az így kapott értékek alapján megfigyelhető, hogy a LOCTITE 480-as és LOCTITE 454-es minták veszítettek kötési idejük után legtöbbet tömegükből. Így a szerkezet bruttó súlyának alakulásában kedvezően játszanak majd szerepet.

(Bruttó súly: maximum 1000g, melyben szerepel a tészta, ragasztó, terhelőelem, M8-as csavaranya, szemes csavar és alátét.)

3.3.2. Epoxigyanták

Vizsgált ragasztók:



17. ábra LOCTITE szerkezeti kétkomponensű epoxi ragasztók (saját kép)

Ezeknek a ragasztóknak az esetében a tömegvesztés olyan kicsi volt, hogy nem befolyásolta a vizsgálatok eredményeit.

A választás szempontjai a következők voltak:

Szakítószilárdság: a gyakran 400-500 kg-os terhelésnek kitett szerkezeteknél a ragasztónak ki kell bírnia ezt, továbbá egyenletesen kell átadnia a feszültséget az egyes elemek között.

Rugalmasság: Egy ilyen szerkezet szempontjából az lenne a legideálisabb, ha a csomópontokban az elemek csuklóként viselkednének. Ennek feltétele, hogy a kötőanyag tökéletesen rugalmas legyen. Így az erő vektor ideális irányba mutatna, az elemek csak tiszta húzást, illetve nyomást kapnának, nem alakulna ki összetett igénybevétel, mely hatására nagyobb teher viselésére is alkalmas lenne a szerkezet.

Idő: Fontos tényező, hogy a ragasztáshoz előkészített ragasztóanyag felhasználhatósága (fazékidő), valamit kikeményedési ideje (az az idő, ami alatt a ragasztó öntartóvá válik) optimális legyen. A kikeményedési idő nem egyezik meg a kötési idővel, a kikeményedési idő után az anyag mozgítható, szállítható, de nem terhelhető. A kötési idő letelte után a ragasztás eléri maximális kötési szilárdságát.

Viszkozitás: Különböző szerkezeti elemek rögzítése eltérő viszkozitású ragasztókat igényel.

8. táblázat: Epoxi ragasztók tulajdonságai [11]

Termék	LoctiteHysol 3421	LoctiteHysol 3430
Technológia	2K-Epoxi	2K-Epoxi
Viszkozitás [mPa-s]	37	23
Szín keverés után	átlátszó sárga	teljesen átlátszó
Keverési arány	1:1	1:1
Fazékidő	30-150 perc	5-10 perc
Rögzítési idő	240 perc	15 perc
Szakítószilárdság [N/mm ²]	28	36
Lefejtőszilárdság [N/mm]	2-3	3
Ütésállóság	•	••
Rugalmasság	•	–

Termék	LoctiteHysol 9450	LoctiteHysol 9466
Technológia	2K-Epoxi	2K-Epoxi
Viszkozitás [mPa-s]	200	35
Szín keverés után	áttetsző fehér	sárgás
Keverési arány	1:1	2:1
Fazékidő	2-7 perc	60 perc
Rögzítési idő	13 perc	180 perc
Szakítószilárdság [N/mm ²]	17	32
Lefejtőszilárdság [N/mm]	0,6	8
Ütésállóság	••	••
Rugalmasság	–	•

Termék	LoctiteHysol 9483	LoctiteHysol 9489
Technológia	2K-Epoxi	2K-Epoxi
Viszkozitás [mPa-s]	7	45
Szín keverés után	teljesen átlátszó	szürke
Keverési arány	2:1	1:1
Fazékidő	25-60 perc	60-120 perc
Rögzítési idő	210 perc	300 perc
Szakítószilárdság [N/mm ²]	47	14
Lefejtőszilárdság [N/mm]	1,5	2,2
Ütésállóság	••	•
Rugalmasság	–	••

Termék	LoctiteHysol 9497	LoctiteHysol 5055
Technológia	2K-Epoxi	2K-Epoxi
Viszkozitás [mPa-s]	12	30
Szín keverés után	szürke	szürke
Keverési arány	2:1	1:1
Fazékidő	165-255 perc	75 perc
Rögzítési idő	480 perc	270 perc
Szakítószilárdság [N/mm ²]	52,6	23
Lefejtőszilárdság [N/mm]	–	4
Ütésállóság	••	••
Rugalmasság	–	•

Termék	LoctiteHysol 3422	LoctiteHysol 3450
Technológia	2K-Epoxi	2K-Epoxi
Viszkozitás [mPa-s]	35	35
Szín keverés után	sárgás	szürke
Keverési arány	1:1	1:1
Fazékidő	3-5 perc	4-6 perc
Rögzítési idő	15 perc	15 perc
Szakítószilárdság [N/mm ²]	–	–
Lefejtőszilárdság [N/mm]	–	–
Ütésállóság	••	••
Rugalmasság	–	–

jelmagyarázat: •• kiváló

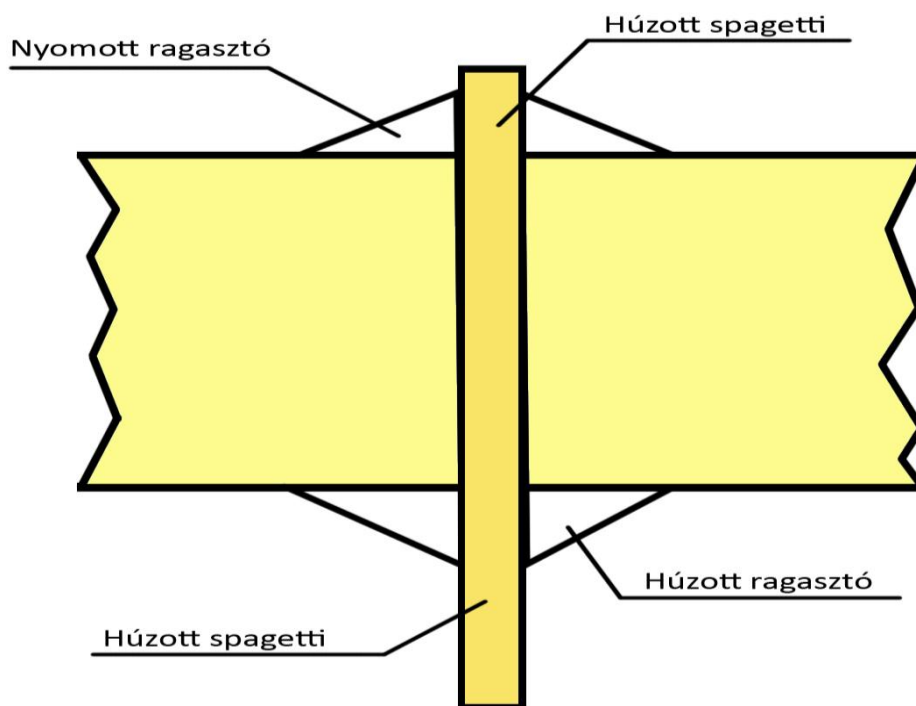
• jó

– rossz

3.4. Ragasztók kombinációi

Tapasztalataink szerint a Tésztahíd változatos erőjátékainak köszönhetően egy szerkezeten belül többféle ragasztót kell alkalmazni a maximális teljesítmény elérése érdekében.

Ilyen lehet például az a jelenség, mely a húzott szálak és az ív befogásánál jelentkezik



18. ábra Ragasztók igénybevételeinek alakulása elhelyezkedésük szerint (saját ábra)

Mint látható, a felső szálon lévő ragasztó nyomást, míg az alsó szálon lévő húzást kap, így célszerű lehet két különböző tulajdonsággal rendelkező anyagot használni. Vizsgálatainkból kimutatható, hogy a felső szál nyomó feszültségének felvételére ideális ragasztó lehet a LOCTITE Hysol 9450, 9466, valamint a 9497-es típusú ragasztó. Ez utóbbi sötétszürke színe miatt pusztán esztétikai szempontból nem felel meg a szerkezeti ragasztáshoz. Az alsó szálon lévő húzásnak kitett ragasztónak viszont rugalmasnak kell lennie, erre a legmegfelelőbb a LOCTITE Hysol 9489-es típusú ragasztó.

Felmerül továbbá olyan probléma is, mely szerint (csakúgy, mint csavarozott kapcsolatok esetében megfigyelhető, az alsó menetek nagyobb terhelésnek vannak kitéve, mint a feljebb lévők, a menetek felső egynegyede egy bizonyos hossz után már nem játszik szerepet az erőátadásban) a teherelosztás a kapcsolt elemeknél nem egyenletes, több erő adódik át a csomópont alján, mint tetején. Ennek elkerülésére megoldás lehet az „Összehangolt alakváltozások elve” mely szerint kerülni kell a hirtelen erőfolyam irány-, keresztmetszet változásokat.[12]

Pillanatragasztó használata szintén elengedhetetlen, mivel az elemek rögzítésénél a 10-15 percnyi kikeményedési idő alatt a darabok elmozdulhatnak, ezáltal jelentősen romolhat a szilárdsága. Pillanatragasztót csak ideiglenes rögzítéshez ideális használni, mivel egyes fajták (például a Loctite 401-es, és Loctite 4850-es) száríthatják, oldhatják, esetenként roncsolhatják a tésztát.

4. A tészta szerkezet erőjátéka

4.1. Kialakítás

Tanulmányunkban az egyes elemek paramétereit a versenyeken épített modellek méretei szerint vizsgáltuk. A próbatestek mérete megegyezik az ott előállított szerkezet elemeinek méretével, kialakítás és teherviselés szempontjából szintén megegyeznek a versenyekre készített hidakéval.

Mint az már számtalanszor bebizonyosodott, a legnagyobb teherbírást mindig a „klasszikus” félkörív bicikliküllőzéssel érte el, így mi is ennél a szerkezetnél maradtunk.

Összesen nyolc híd készült el a kutatás során, ebből egy kivételével mind félkörív szerkezet, kisebb eltérésekkel. A kivétel egy rácsos tartó vasúti híd szerkezetű modell, bizonyításképpen, hogy valóban a félkörív kialakítás a legalkalmasabb.

A félkörív az egyenletes nyomófeszültség eloszlásáért felelős, míg az azonos közönként vezetett küllők biztosítják, hogy a húzóerő egy pontban koncentrálódjon a terhelő elemnél. A keresztmerevítések, a kihajlási hosszt és csavarodást hivatottak csökkenteni a konstrukcióban.

A hidak paraméterei:

Mivel fő célunk ezekkel a szerkezetekkel az erőjátékok szemléltetése, valamint a tönkremenetek bekövetkezésének bemutatása volt, így nem a világbajnokságokon megadott méretek szerint építettük meg próbahídjainkat, hanem a háziverseny feltételeihez igazítva.

50 cm támaszközt kellett áthidalni. A híd bruttó tömege nem haladhatta meg a 300 grammot.

Befoglaló méretei: maximum 60 cm hosszú, 6 cm széles, és 25 cm magas.

A terhelő elem egy 40x60x10 mm méretű fahasáb, mely közepén egy 8-as furat található. A terhelő elemet a szerkezet aljára erősítettük, középen. A terhelőelemhez tartozott egy szemes csavar, melyet egy anyával és egy alátéttel kapcsoltunk a szerkezethez. A szemes csavar végén karabiner található, melyet lánc segítségével kapcsoltunk össze a terhelő műszerrel. A terhelés egy dinamométer segítségével zajlott, egyenletes 50N/s terhelési sebesség mellett. A vizsgálat tönkremenetelig tartott. A leolvasott értéket hagyomány szerint kg-ban és nem N-ban adtuk meg.

4.2. Építési folyamatok

Tanulmányunk során több mint 30 zacskó pennét, 10 zacskó spagettit és 8 zacskó makarónit használtunk fel, miután megtaláltuk az ideális szilárdsági tulajdonságokkal rendelkező márkákat. A megépült nyolc szerkezet mindegyike egyenként körülbelül 400 darabból állt. Összesen 1600 darab 20 mm-es pennét, 1200 darab 250 mm-es spagettit és 400 darab 100 mm-es makarónit kellett legyártanunk.

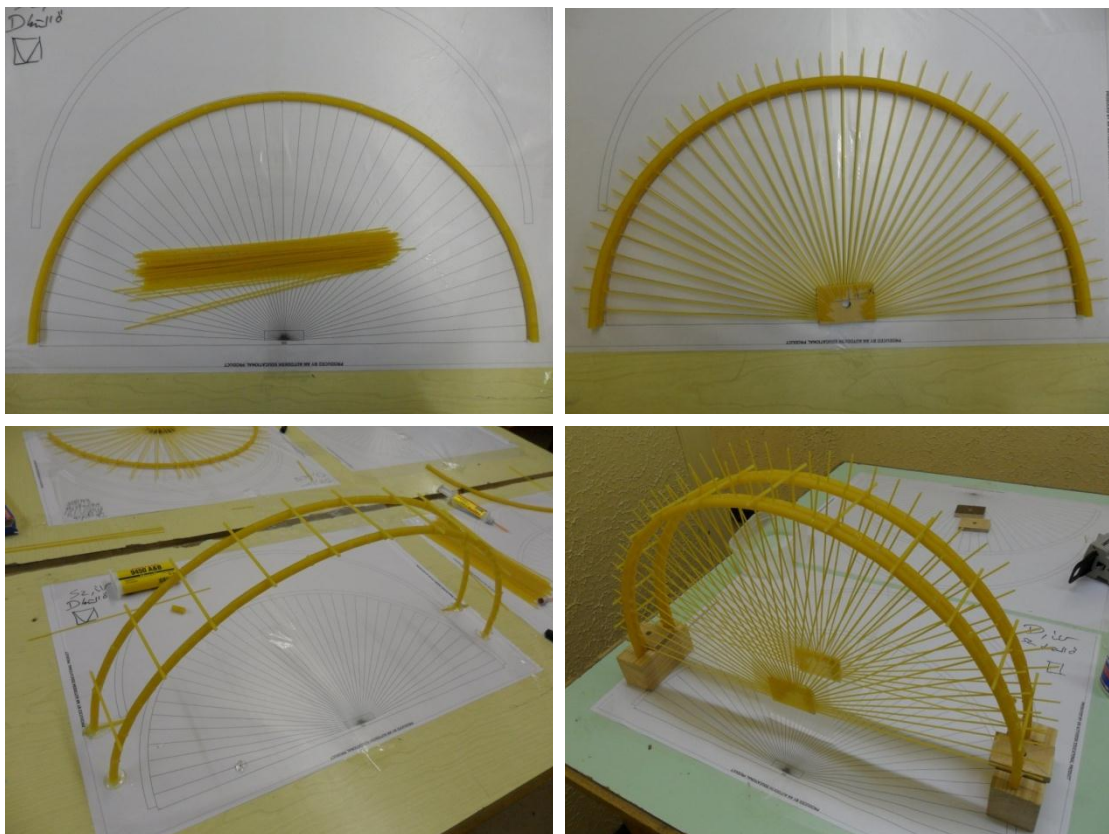
Az építés során 7 tubus epoxi ragasztót használtunk fel (két tubus LoctiteHysol 3430-as, két tubus LoctiteHysol 3422-es, két tubus LoctiteHysol9450-es és egy tubus LoctiteHysol 9483-as). Mindegyik 50 ml, összesen 350 ml. Ideiglenes szerkezeti kötések kialakításához használtunk továbbá 2x20 ml Loctite 454-es gél állagú pillanatragasztót.

A modellek elkészítése a tervezéstől a végső kialakításig 80 munkaórát vett igénybe. Ebbe nem számoltuk bele az elemek ragasztása után eltelt időt, mely a ragasztó felhordásától a kötés ideig tartott. Ez a 9483-as típusnál 210 perc volt. Ez idő alatt a modellt nem lehetett mozgatni, vagy további munkákat végezni rajta.

Az építés első lépéseként legyártottuk az ívhez szükséges elemeket. Ezután a megszerkesztett sablonon összeillesztettük a darabokat, majd a kiválasztott ragasztók segítségével rögzítettük. Az ívek megszilárdulása után a küllők beépítésére került sor.

Miután a csomópontokban is megkötött a ragasztó, a szerkezet legkritikusabb része következett, a két fél ívet összeillesztettük. Ezt 2-3 makarónival kezdtük, melyek szerepe a távtartás és a rögzítés volt, amíg a végleges keresztmerezítések a helyükre nem kerültek. A félkörívek összeillesztésének lényege, hogy az ívek a vízszintes síkra merőlegesen, egymáshoz képest párhuzamosan helyezkedjenek el.

A modell megerősítése után beillesztettük a terhelőelemet. Ennek rögzítése különösen fontos, mivel a terhelés hatására az elem a ragasztó nyíródása következtében könnyen kiszakadhat a szerkezetből.



19. ábra A szerkezetépítés munkafolyamatai (saját kép)

4.3. Típusok

4.3.1. Rácsos tartó

A rácsos tartók egymáshoz két végükön csuklókkal kapcsolt, általában egyenes tengelyű rudakból állnak. Esetünkben a csomóponti ragasztások tekinthetők csuklónak.

A szerkezet húzott, illetve nyomott rudakból áll.

Kísérletünkben egy klasszikus vasúti híd szerkezetét modelleztük (a Gyomaendrődi vasúti híd).

A híd méretei: 52 cm hosszú, 6 cm széles, 14,3 cm magas a két végén 45°-os szöget bezáró nyomott rudak találhatók.

A híd bruttó tömege: 254 gramm

Számításaink alapján a teherbírás:

$$\sigma_h = 18 \text{ N/mm}^2$$

Penne teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hpenne} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 23,56}{1000} = 0,424 \text{ kN}$$

Makaróni Teherbírása

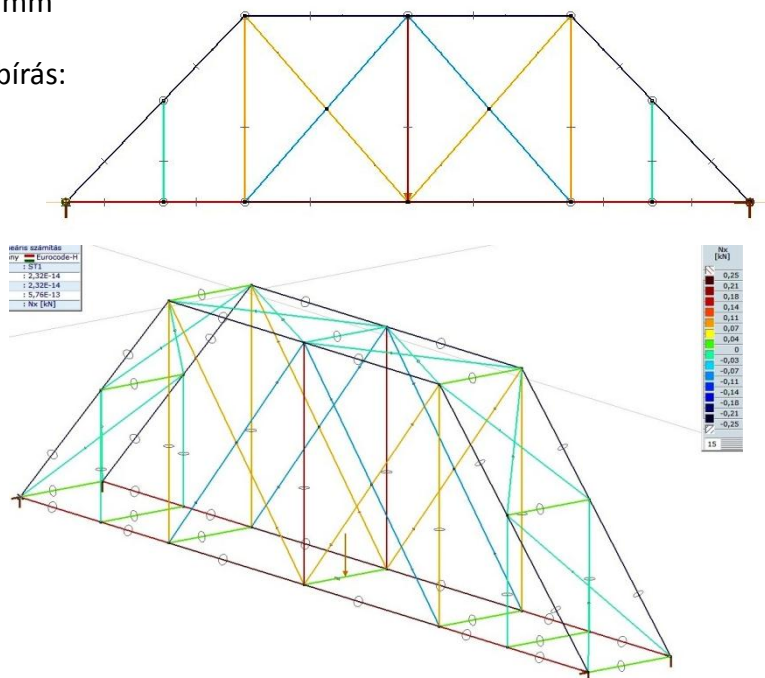
$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hmakaróni} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 6,283}{1000} = 0,113 \text{ kN}$$

A terhelés a következőképpen zajlott:

A két végpontján feltámaszkodó szerkezet közepére elhelyezett terhelőelemet lánc és karabiner segítségével hozzáerősítettük a terhelő műszer kampójához, mely a HandHeld 054 S/N 0090227 típusú Dinamométer volt. A modellt az előzőekben meghatározott egyenletes 50N/s terhelési sebesség mellett teszteltük.

A szerkezet végül 72,1 kg-nál ment tönkre, mely önsúlyának 283,9-szerese.



4.3.2. Sokszög alakú félkörív

A következő híd bár félkörív mintát követett, mégis 19 szögből állt. Ezzel a szerkezettel célunk az volt, hogy bebizonyítsuk, egy konstrukció minél jobban közelít a szabályos félkörívhez, annál jobb a teherbírása. A sokszög elemeit 6 cm hosszú darabokból állítottuk elő.

A híd paraméterei: 52 cm hosszú, 6 cm széles, 25 cm magas, bruttó tömege 211 gramm

Számításaink alapján a teherbírás:

$$\sigma_h = 18 \text{ N/mm}^2$$

Penne teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hpenn} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 23,56}{1000} = 0,424 \text{ kN}$$

Spagetti teherbírása

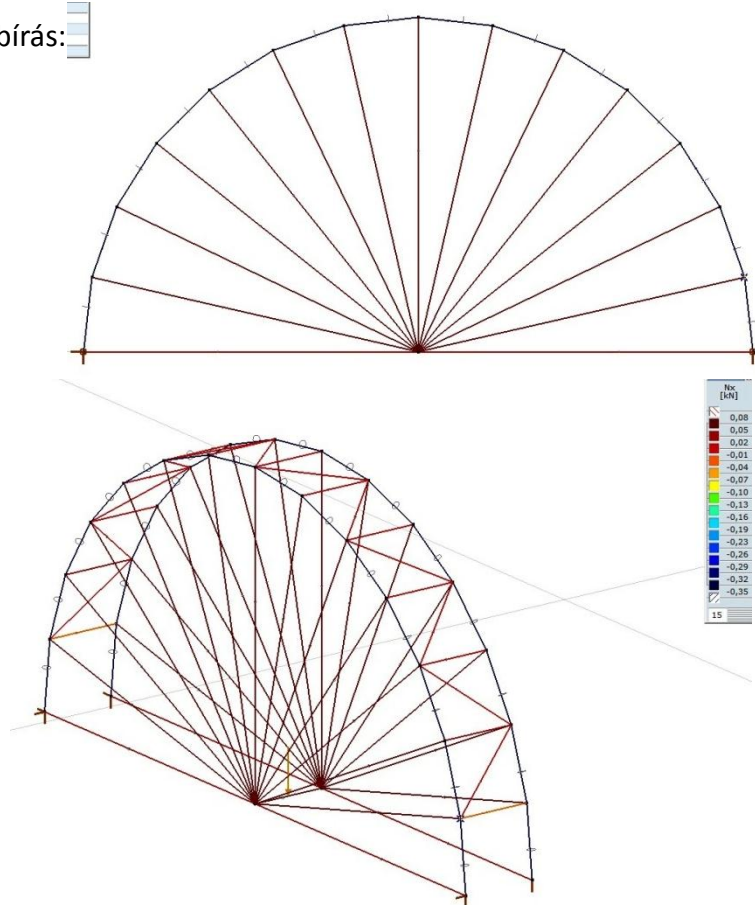
$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hspaghetti} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 5,09}{1000} = 0,092 \text{ kN}$$

Makaróni Teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hmakaróni} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 6,283}{1000} = 0,113 \text{ kN}$$



A szerkezetben keletkező feszültségek hatására, a tönkremenetel robbanásszerűen ment végbe, mely az ív felső harmadából indult.

A híd 137,75 kg-ot bírt, mely saját súlyának 652,8-szorosa.

4.3.3. Lapos félkörív

Ezzel a szerkezettel szeretnénk volna bebizonyítani, hogy a félkörív valóban a legideálisabb forma, de kicsit másképp, mint az előbbi kísérletben. Amint az megfigyelhető, a kört egy húr mentén elmetettük, és mindössze 20 cm magas szerkezetet építettünk (a sugár eredetileg 25 cm).

A híd paraméterei: 52 cm hosszú, 6 cm széles, 20 cm magas, bruttó tömege 197 gramm

Számításaink alapján a teherbírás:

$$\sigma_h = 18 \text{ N/mm}^2$$

Penne teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hpenn} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 23,56}{1000} = 0,424 \text{ kN}$$

Spagetti teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hspaghetti} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 5,09}{1000} = 0,092 \text{ kN}$$

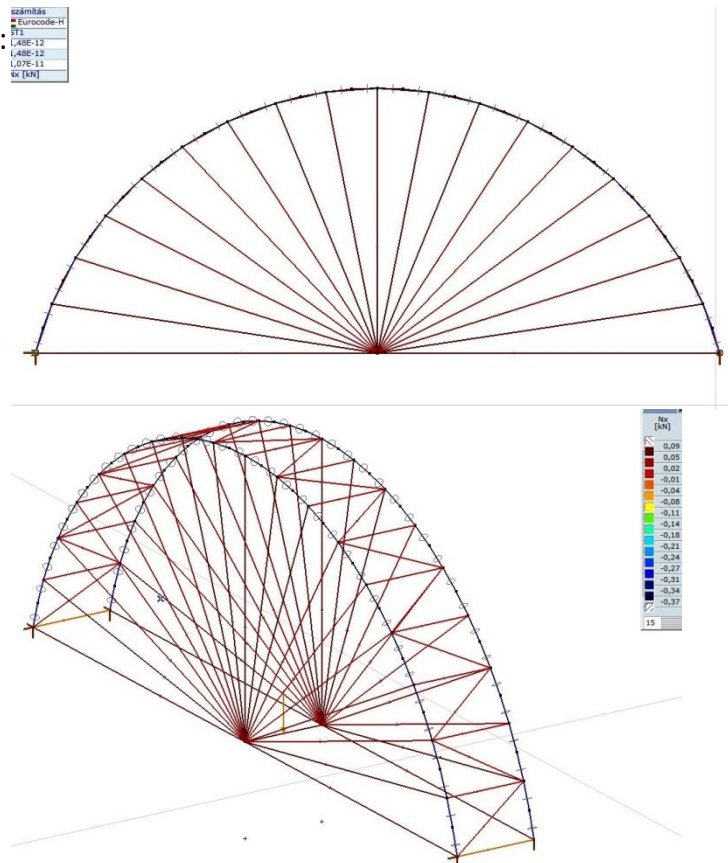
Makaróni Teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hmakaróni} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 6,283}{1000} = 0,113 \text{ kN}$$

A szerkezet 115,5 kg-nál ment tönkre, mely önsúlyának 586,3-szerese.

Ezzel bebizonyítottuk, hogy a tökéletes félkörívforma valóban jobban képes elosztani a terheket, mint azok csonka változatai.



4.3.4. Félkörív, a küllők az erő hatásvonalában találkoznak

Az elmélet szerint ez a megoldás semlegesíti az erőkar által fellépő nyomatékot, mivel a küllőkben fellépő húzóerő irányvektorai pontosan a terhelőerő eredőjénél metszik a szerkezetet.

A híd paraméterei: 52 cm hosszú, 6 cm széles, 25 cm magas, bruttó tömege 198 gramm

Számításaink alapján a teherbírás:

$$\sigma_h = 18 \text{ N/mm}^2$$

Penne teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hpenne} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 23,56}{1000} = 0,424 \text{ kN}$$

Spagetti teherbírása

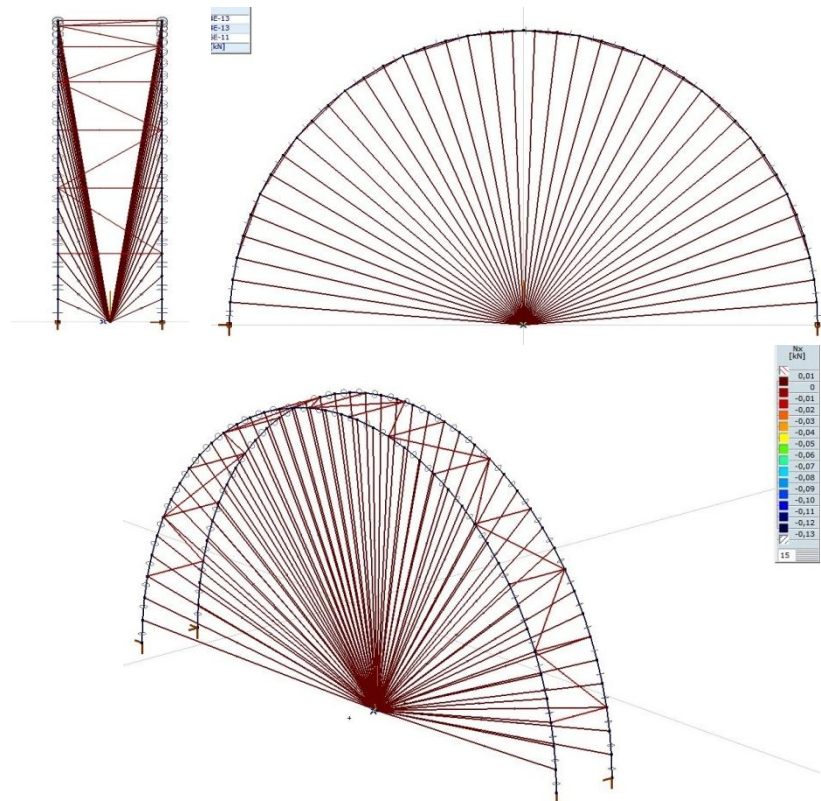
$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hspaghetti} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 2,545}{1000} = 0,046 \text{ kN}$$

Makaróni Teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hmakaróni} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 6,283}{1000} = 0,113 \text{ kN}$$



A szerkezet a várakozások ellenére már 51,3 kg-nál tönkrement, melynek oka a küllők csomópontjából sugárirányban elinduló nyírás volt. A spagetti szálak -mint az előbbi fejezetekből kiderült- tiszta húzás esetén igen jól viselkednek, ám a legkisebb fellépő nyírás hatására is elpattannak. Mivel a csomópontokban a rugalmas kapcsolat a ragasztó ridegsége miatt nem volt biztosítható (nem viselkedett csuklóként) és az elméleti vektor is csak megközelítőleg találkozott a középpontban, így ez a spagettik nyíródásához vezetett, mely a terhelőelem kiszakadását okozta.

A szerkezet saját önsúlyának 259,1-szeresét bírta el.

4.3.5. Szimpla ív, dupla szálú küllőzés

Mint az már előbbi vizsgálatainkból kiderült, a félkörív jelensége a legjobb kialakítási forma térszöghidak esetében. Ennél a feltevésnél maradva a továbbiakban csupán azt vizsgáltuk, hogy az azonos geometriájú szerkezetek különböző módon történő kivitelezése milyen formában befolyásolja a teherbírást.

A következő hidat úgy alakítottuk ki, hogy ívenként egy sor pennét használtunk, a küllőket pedig 4 centinként, de megkettőzve építettük be.

A híd paraméterei: 52 cm hosszú, 6 cm széles, 25 cm magas, bruttó tömege 218 gramm

Számításaink alapján a teherbírás:

11E-12
11E-11
11E-10

$$\sigma_h = 18 \text{ N/mm}^2$$

Penne teherbírása

$$\frac{\sigma_h \cdot A}{1000} = F_{\text{hpenné}} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 \cdot 23,56}{1000} = 0,424 \text{ kN}$$

Spagetti teherbírása

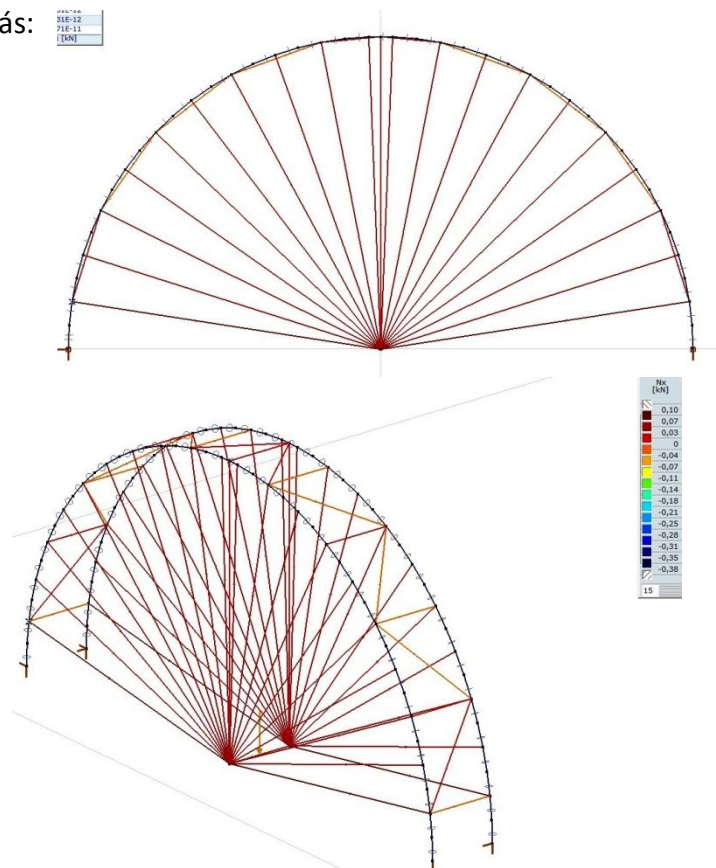
$$\frac{\sigma_h \cdot A}{1000} = F_{\text{hspaghetti}} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 \cdot 5,09}{1000} = 0,092 \text{ kN}$$

Makaróni Teherbírása

$$\frac{\sigma_h \cdot A}{1000} = F_{\text{hmakaróni}} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 \cdot 6,283}{1000} = 0,113 \text{ kN}$$



A szerkezet 133,0 kg terhelés hatására ment tönkre, mely saját önsúlyának 610-szerese

Amint az megfigyelhető, ez a szerkezeti kialakítás szinte pontosan megegyezik a szögletes félkörívhidnál mért értékkel, melynél szintén szimpla ívet és dupla küllőzést használtunk. A 12%-os eltérés valószínűsíthetően annak köszönhető, hogy a hidakat nem pontosan egyformán építettük, apróbb kivitelezés közben fellépő hibák eredményeként lépett fel az eltérés.

Észrevehető továbbá, hogy a 19 szögből álló sokszöghíd az elmélettel ellentétben (miszerint minél jobban közelít a félkörívhez, annál nagyobb a teherbírása, ennek ellenére mégis a közelítő sokszög bírt többet) nagyobb terhet volt képes elviselni, mint

a tökéletes félkörívvel épített modell. Ez valószínűleg annak köszönhető, hogy a szögek darabszáma jól lekövette a félkörív alakot, így ez a konstrukció nem volt elég reprezentatív. A szögek számának csökkentésével valószínűleg észrevehető különbségek keletkeztek volna.

4.3.6. Dupla ív, szimpla szálú küllőzés

Az előbbi konstrukcióhoz képest annyi volt a változás, hogy megdupláztuk az ívekben használt pennéket, így ívenként két-két egymáshoz kapcsolt sor futott.

A küllők darabszáma az előző szerkezethez képest nem változott. A módosítás annyiból állt, hogy a 4 cm-enkénti beosztás helyett 2 cm-es osztóközzel építettük be a szálakat, így minden csomópontból egy szál indult ki.

A híd paraméterei: 52 cm hosszú, 6 cm széles, 25 cm magas, bruttó tömege 282 gramm

Számításaink alapján a teherbírás:

$$\sigma_h = 18 \text{ N/mm}^2$$

Penne teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hpenne} [kN]$$

$$\frac{18 * 47,12}{1000} = 0,848 \text{ kN}$$

Spagetti teherbírása

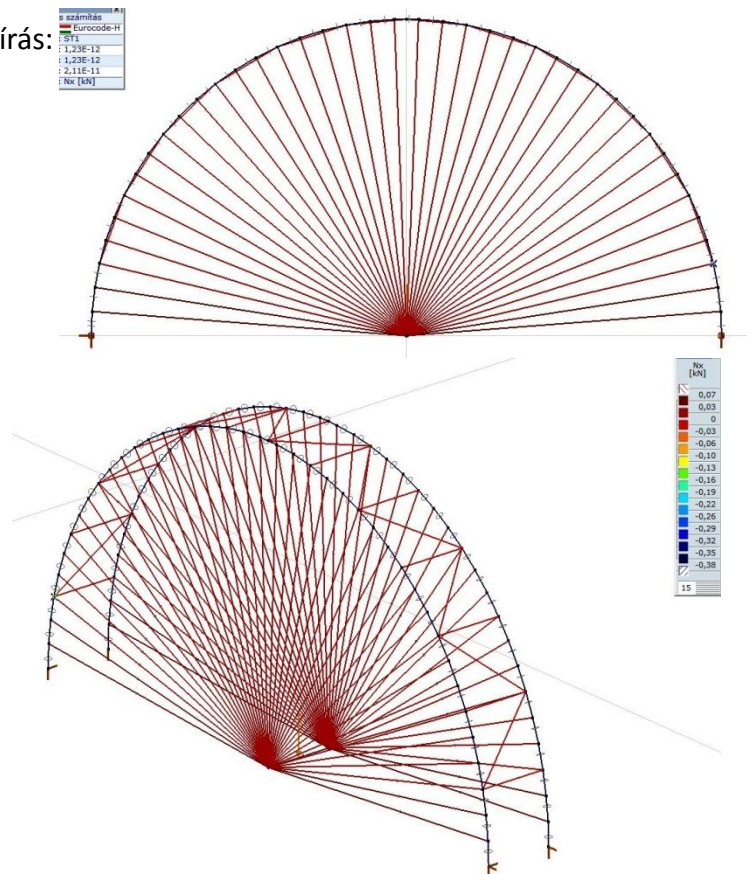
$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hspaghetti} [kN]$$

$$\frac{18 * 2,545}{1000} = 0,046 \text{ kN}$$

Makaróni Teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hmakaróni} [kN]$$

$$\frac{18 * 6,283}{1000} = 0,113 \text{ kN}$$



A híd 153,3 kg terhelés hatására ment tönkre, ami saját önsúlyának 543,6-szerese. Bár a fajlagos teherbírásban kevéssel alul maradt a szimpla íves-dupla küllős kialakítással szemben, a versenyeken rendszerint a maximális terhelést díjazzák, így esetünkben ez a konstrukció tűnt a legalkalmasabbnak további vizsgálatok elvégzésére.

4.3.7. Középen metsző ívű híd

A hidat ez alkalommal a dupla ív-szimpla küllő kialakítással készítettük, hiszen az előbbi vizsgálat során kiderült, hogy ez a legteherbíróbb szerkezet. A modell érdekessége, hogy a két ív 75°-os szögben egymásnak van döntve, a hossz menti tengelynél felül érintőlegesen találkoznak. A szerkezet így történő kialakítása a kihajlással szembeni ellenállást hivatott növelni.

A híd paraméterei: 52 cm hosszú, alul 6 cm, felül 3,5 cm széles, 23,7 cm magas, bruttó tömege 277 gramm

Számításaink alapján a teherbírás:

$$\sigma_h = 18 \text{ N/mm}^2$$

Penne teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hpenne} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 47,12}{1000} = 0,848 \text{ kN}$$

Spagetti teherbírása

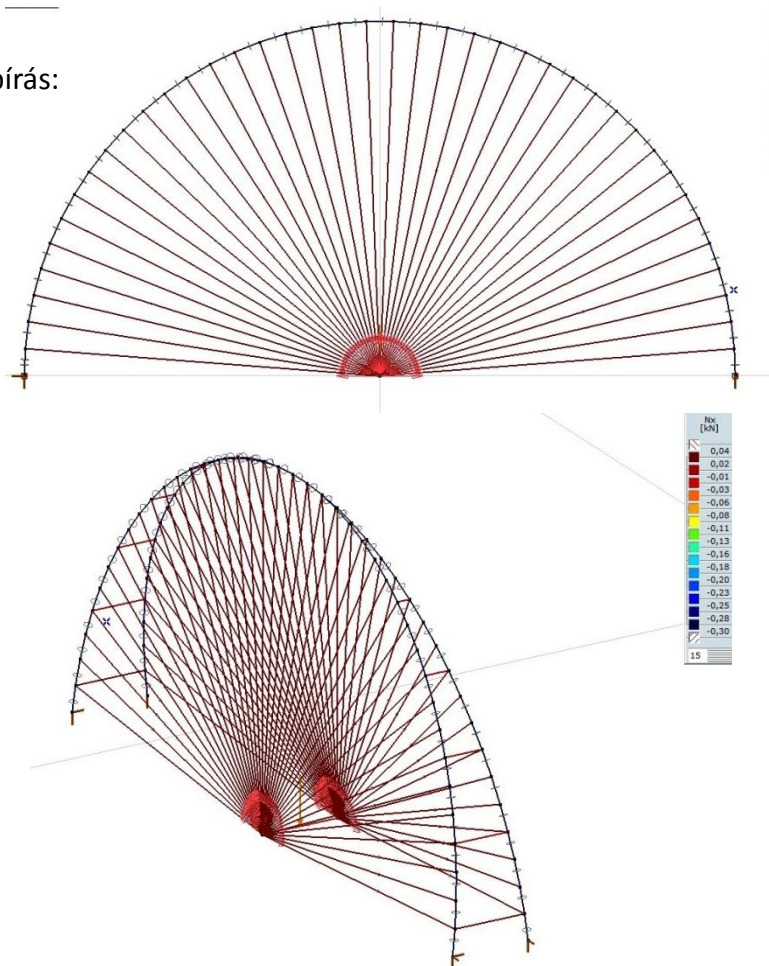
$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hspaghetti} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 2,545}{1000} = 0,046 \text{ kN}$$

Makaróni Teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hmakaróni} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 6,283}{1000} = 0,113 \text{ kN}$$



A szerkezet meglepő módon 120,3 kg terhelésnél tönkre ment. Ez saját önsúlyának 434,3-szerese

4.3.8. Kifelé döntött ívű híd

Ezen konstrukción szerettük volna szemléltetni azokat a mechanikai változásokat, melyek a szerkezet kialakítása miatt változnak meg. Az ív 30°-ban kifelé döntött elemekből áll.

A híd paraméterei: 52 cm hosszú, alul 6 cm, felül 23 cm széles, 23,9 cm magas, bruttó tömege 296 gramm

2,50E-10
1,29E-5
Nx [kN]

Számításaink alapján a teherbírás:

$$\sigma_h = 18 \text{ N/mm}^2$$

Penne teherbírása

$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hpenna} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 47,12}{1000} = 0,848 \text{ kN}$$

Spagetti teherbírása

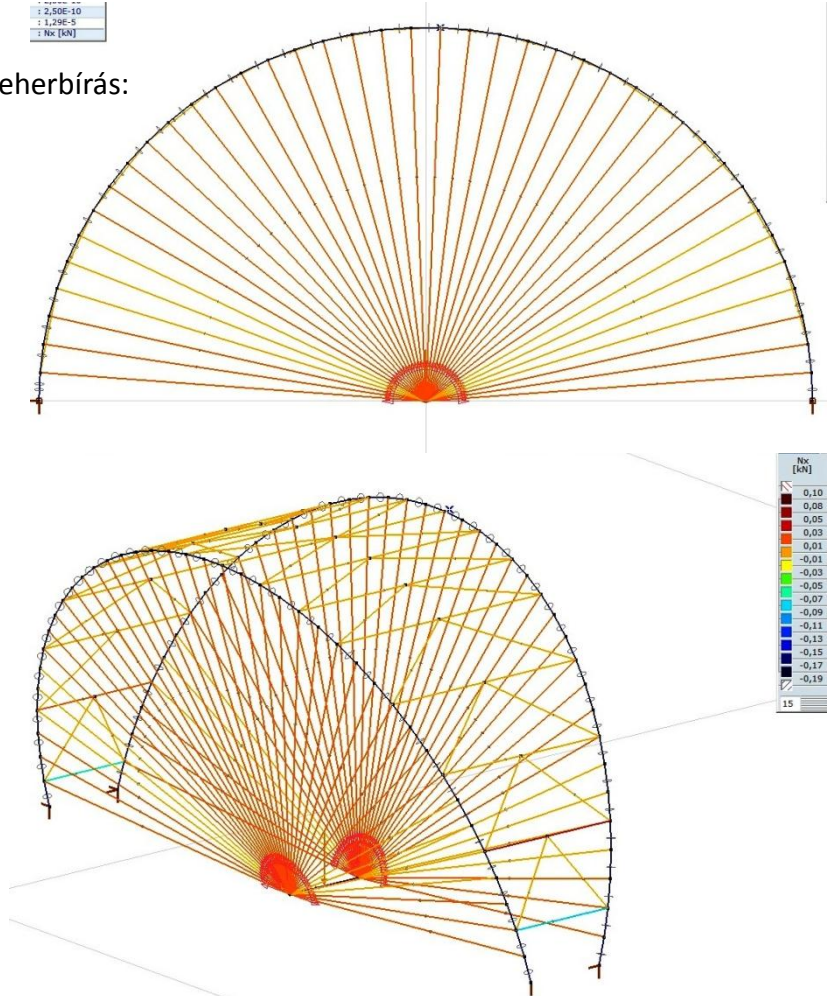
$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hspaghetti} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 2,545}{1000} = 0,046 \text{ kN}$$

Makaróni Teherbírása

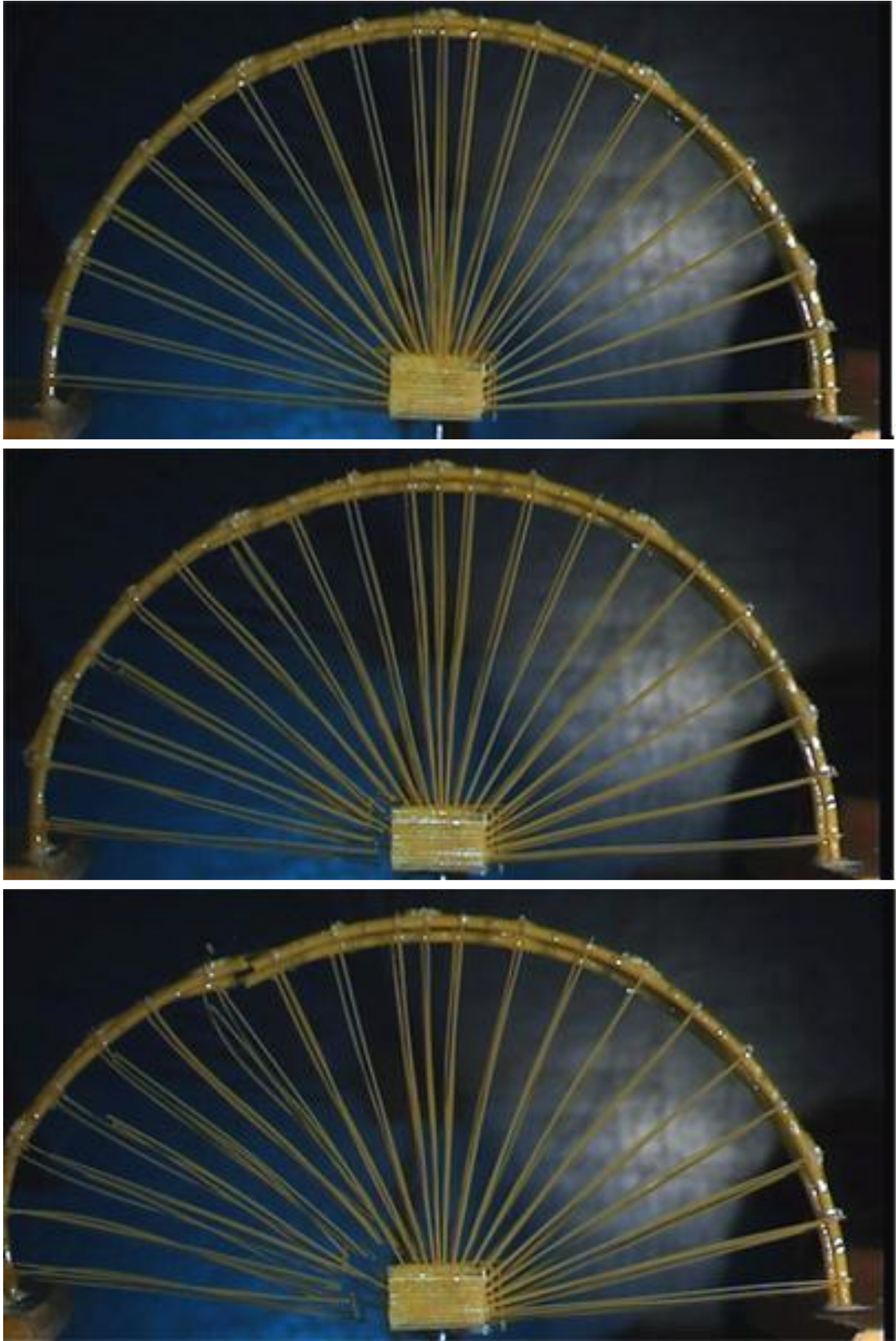
$$\frac{\sigma_h * A}{1000} = F_{hmakaróni} [\text{kN}]$$

$$\frac{18 * 6,283}{1000} = 0,113 \text{ kN}$$

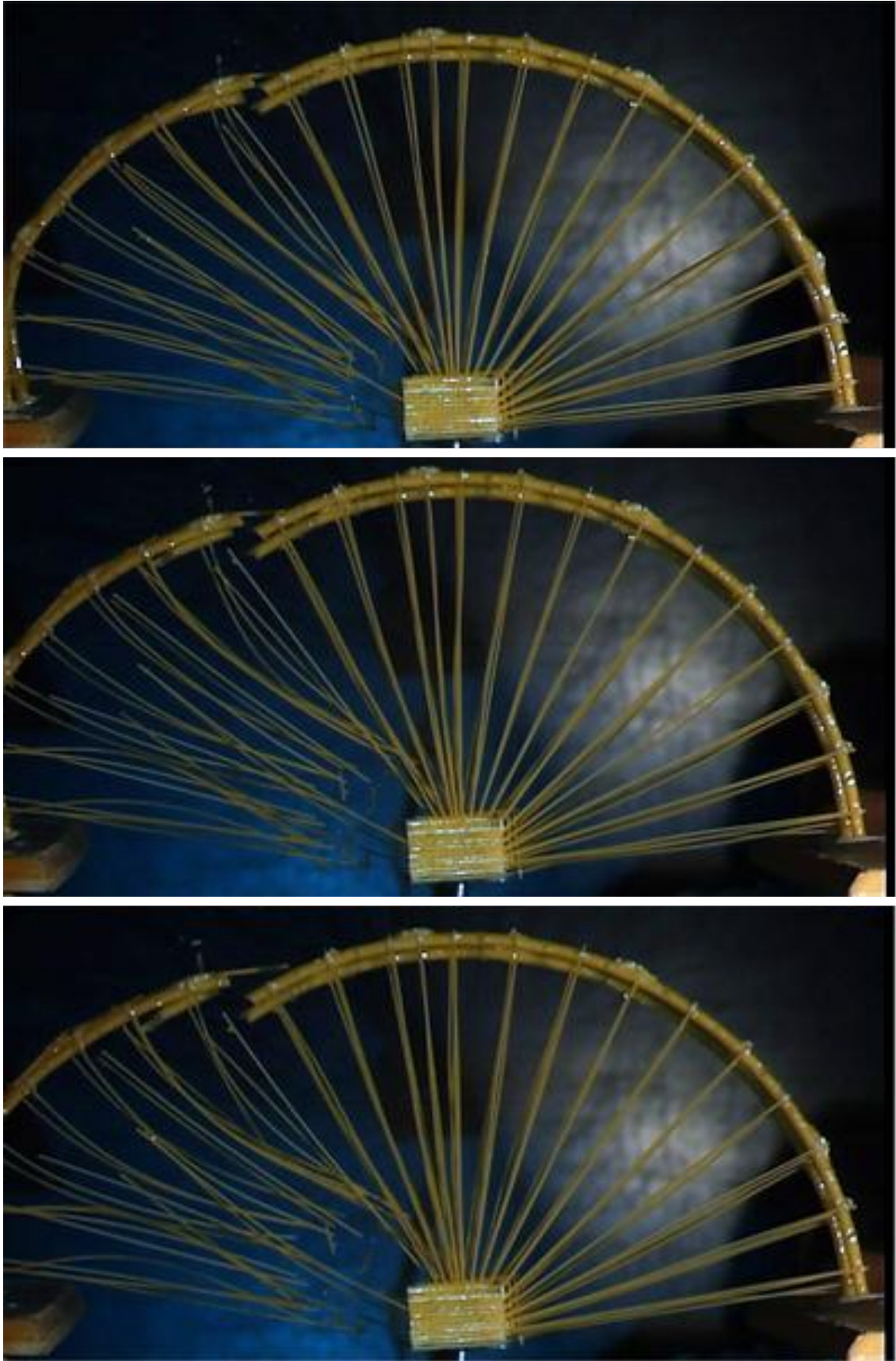


A szerkezet 70,5 kg terhelés hatására ment tönkre, mely saját önsúlyának 238,2-szerese.

Az ívek kihajtása miatt az erőjátékok nagyon nehezen modellezhető szinten jelentkeztek a szerkezetben, az előző esetekhez képest rendkívül nagy nyomaték ébredt, melynek köszönhetően hamar bekövetkezett a törés.



20. ábra Tésztahíd szerkezet tönkremenetele 2/1 (saját kép)



21. ábra Tésztahíd szerkezet tönkremenetele 2/2 (saját kép)

5. Összefoglalás

Vizsgálatunk során megállapítottuk, hogy az alappal párhuzamos irányban ható nyomóerő felvételére legalkalmasabb hengeres test a ColavitaPenneRigate.

Az alapra merőleges irányban ható nyomóerő felvételére a BarillaPenneRigate n.73 felelt meg a legjobban.

Központos húzásra a kimutatások alapján a Colavita Spagetti n.3, vagy a BarillaSpaghettoni n.7 használható. A Barilla 16%-kal nehezebb, így a szerkezetépítés során számolni kellett a többlet súllyal is.

A húzásnak, és nyomásnak egyaránt kitett szerkezeti elemek vizsgálatából kiderült, hogy mindkét igénybevételnek a BarillaBucatini n.9 térsza állt ellen a legjobban.

A vizsgált pillanatragasztók közül a Loctite 454 gélt választottuk, mivel a párolgás során ez a fajta veszített legtöbbet tömegéből, mégis erős kapcsolatot biztosított. Viskozitása miatt praktikusabban használható, mint a többi kipróbált pillanatragasztó.

Kétkomponensű epoxi ragasztók tanulmányozása során több variáció is lehetséges.

A LoctiteHysol 9483 és 9489 típusok rendkívül jó rugalmasságuk, a Loctite 3450 és 3430 gyors kötési idejük, a 3422 és 9466-os pedig nagy szakítószilárdságuk miatt alkalmaztuk a szerkezetben.

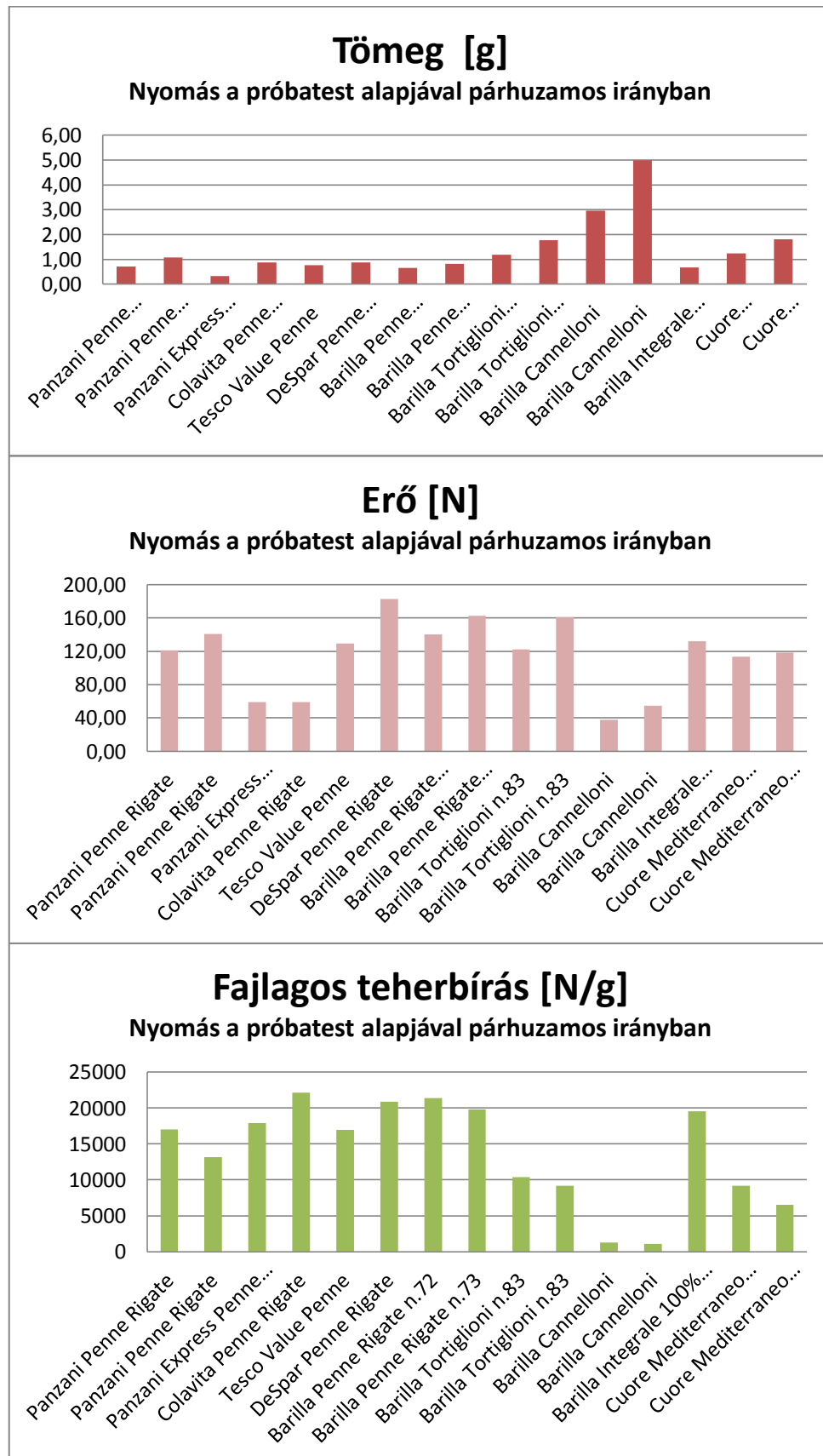
Megépített modelljeink teherbírásai az elméleti számításoktól kis mértékben tértek el. Ez bizonyította feltételezéseink helyességét a konstrukciók szerkezetét illetően.

A legideálisabb kialakítás a kísérletek alapján a szimmetrikus félkörív, két-két szál ív-, és 2 cm-enkénti küllőkiosztással.

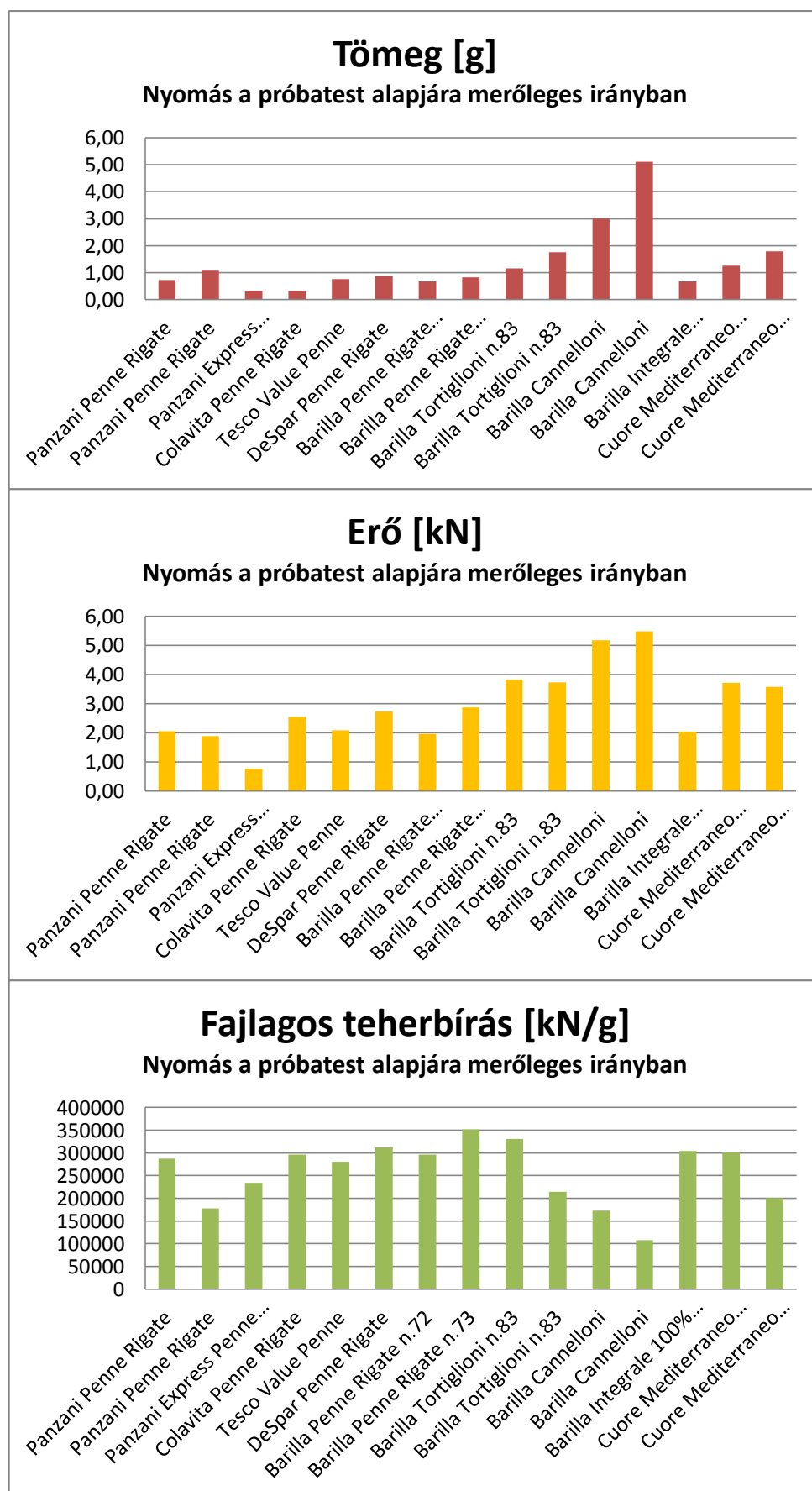
A levont konklúziók alapján megállapítottuk, hogy kutatásunk elérte a célját. Sikertől megtalálni az anyag, a ragasztó és a szerkezeti kialakítások legideálisabb kombinációját, mely a lehető legnagyobb terhelést képes elviselni.

6. Mellékletek

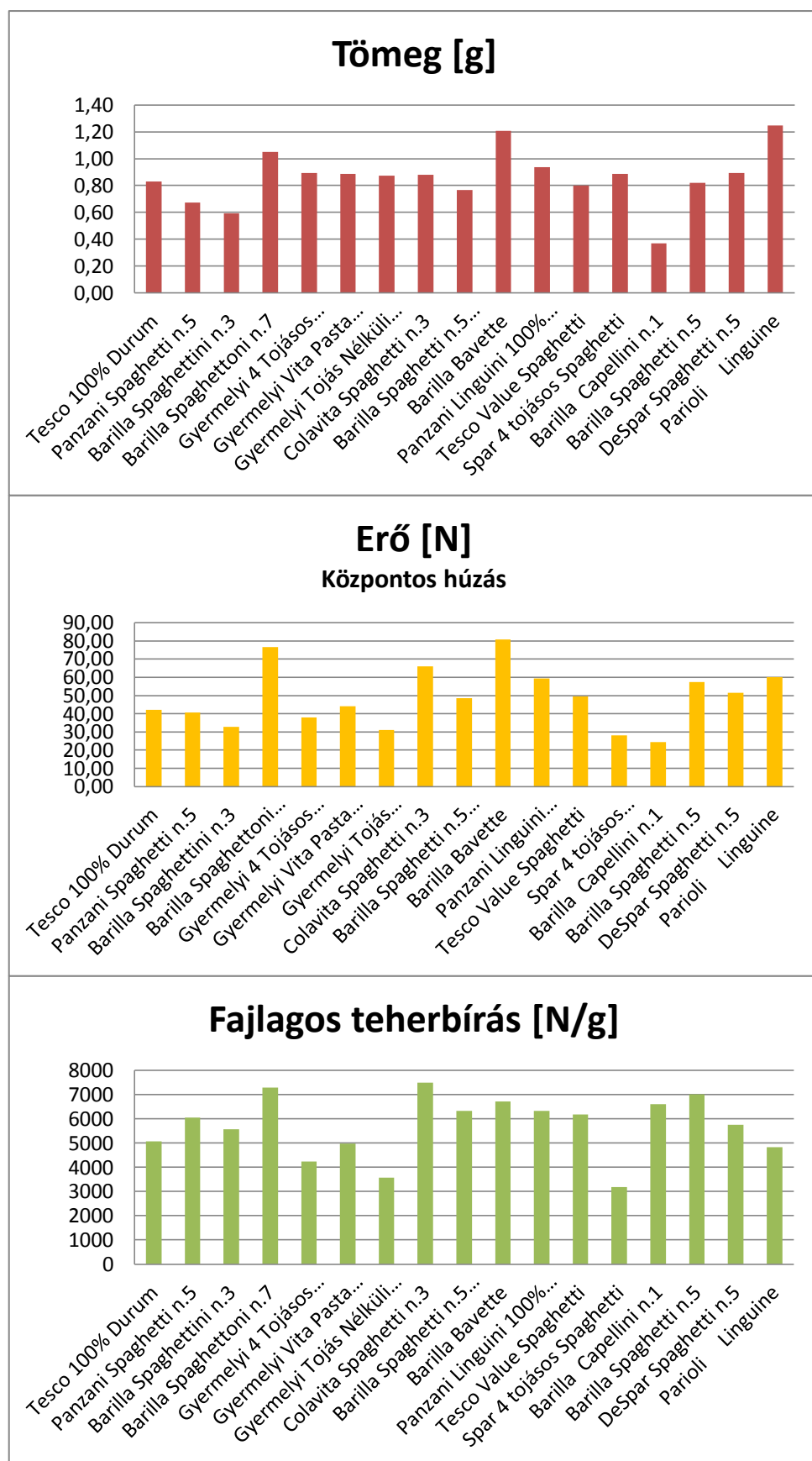
22. ábra A 1. Összegző táblázat alapján készült Tömeg/Erő/Fajlagos teherbírás diagramok



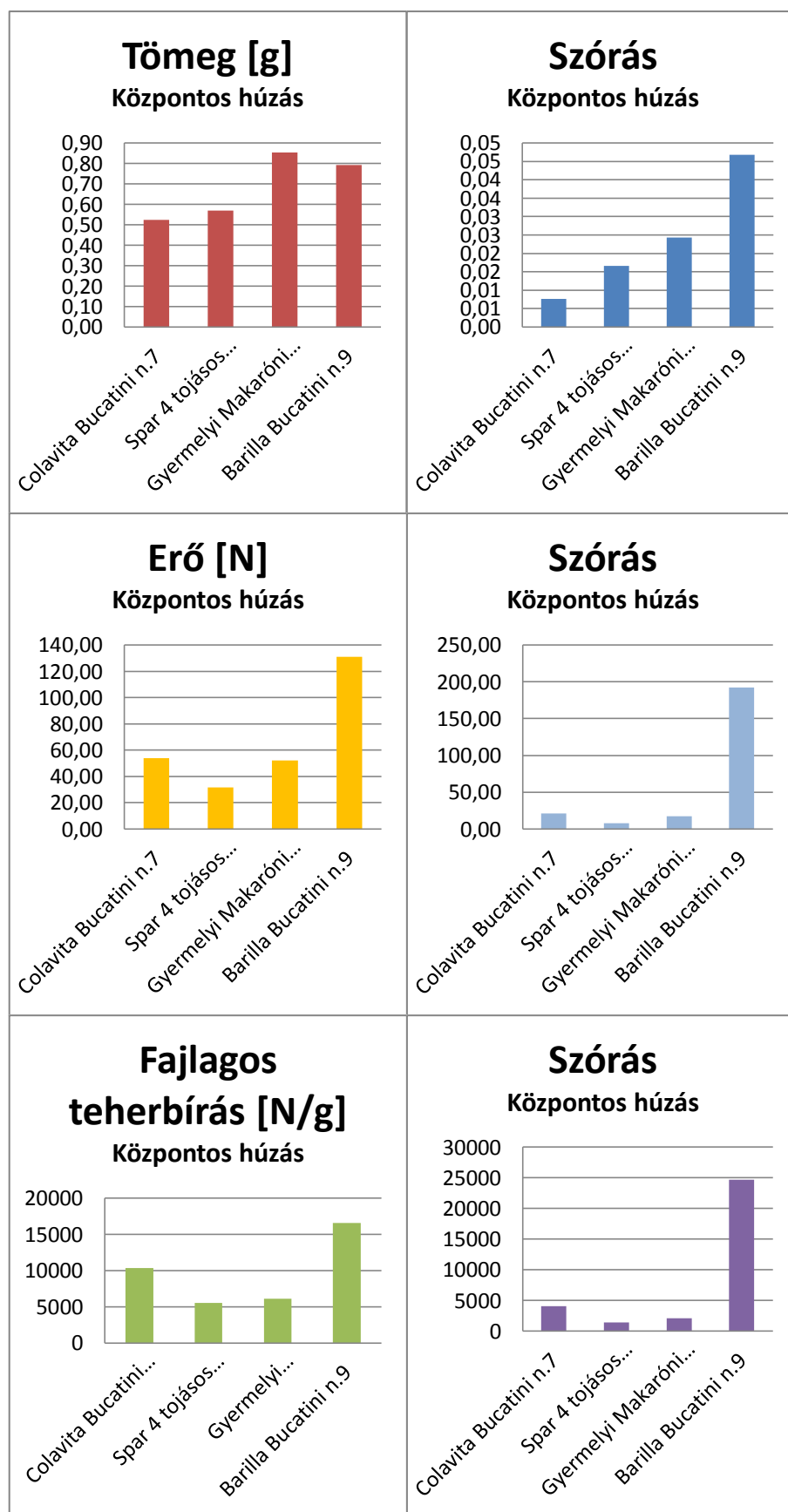
23. ábra A 2. összegző táblázat alapján készült Tömeg/Erő/fajlagos teherbírás diagramok



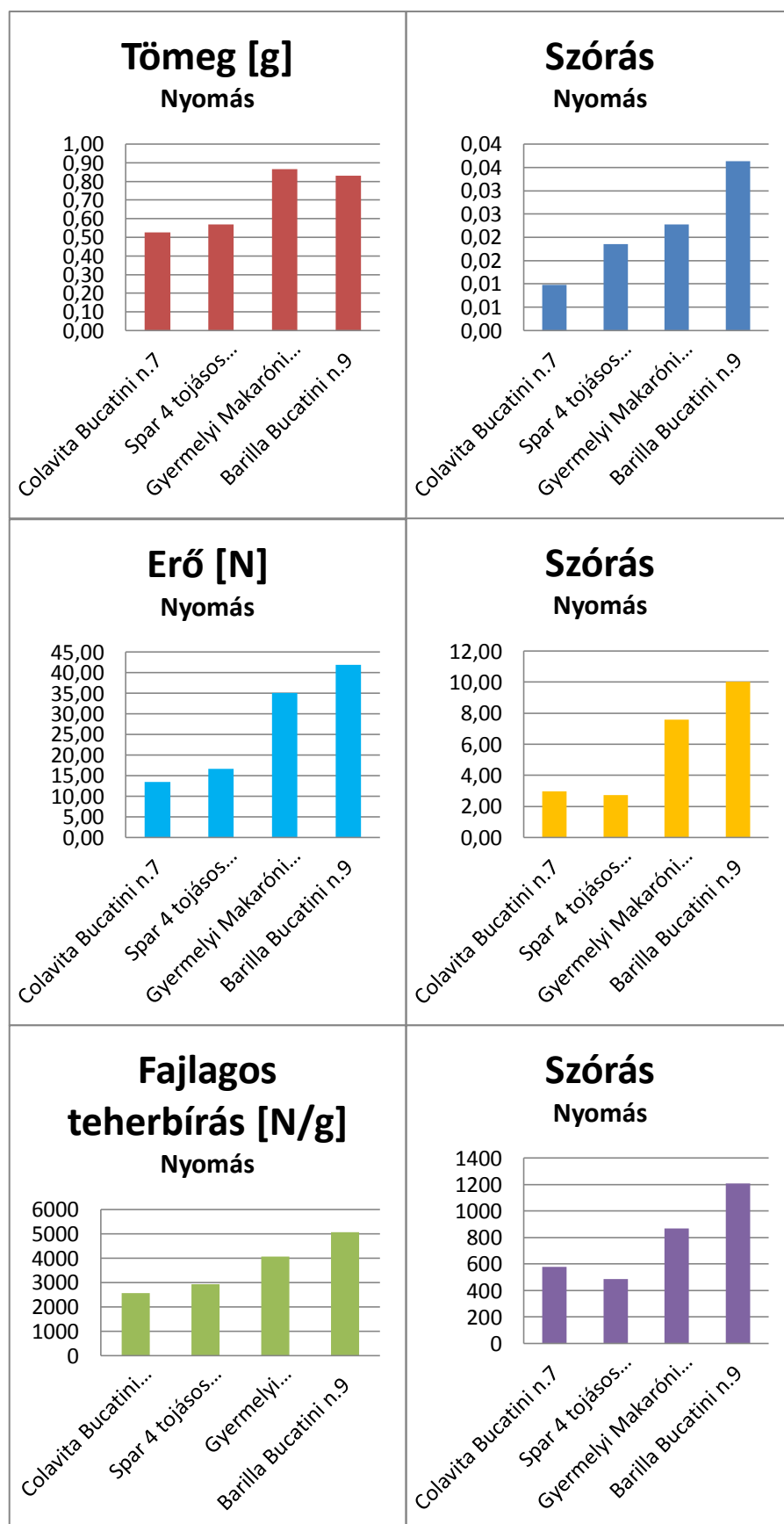
24. ábra A 3. Összegző táblázat alapján készült Tömeg/Erő/Fajlagos teherbírás diagramok



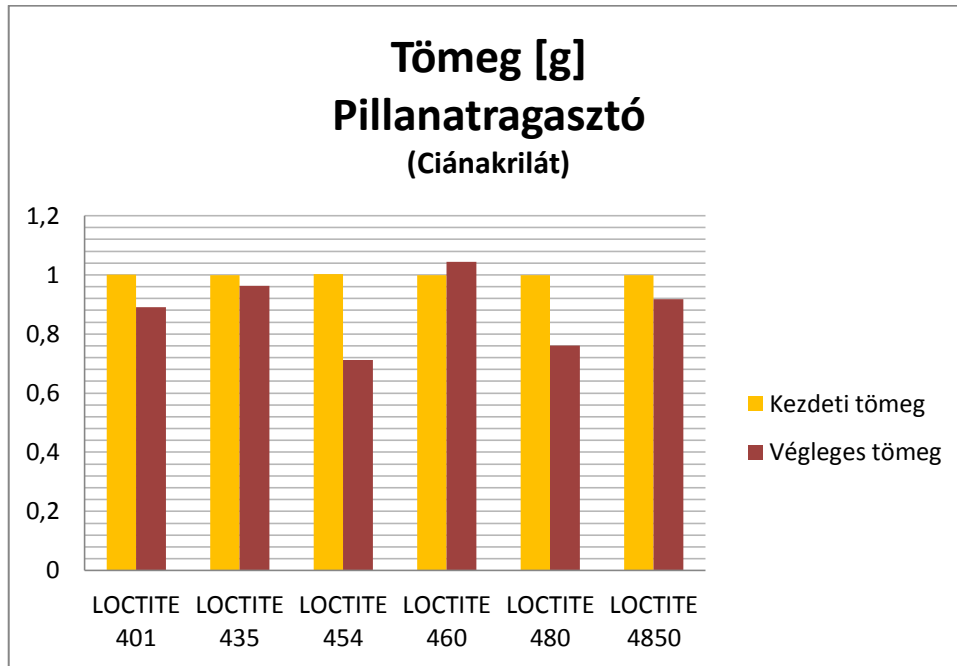
25. ábra A Makaróni központos húzás vizsgálatából kapott eredménydiagramja



26. ábra A makarónik nyomás vizsgálatából kapott eredménydiagramja



27. ábra Pillanatragasztók tömegvesztése



7.Hivatkozások

- [1] <http://mechateszt.ymmf.hu/node/19>
- [2]<http://www.okanagan.bc.ca/departments/engineeringtechnologie/spaghettibridge/history/heavyweight.html>
- [3] http://masteszta.blog.hu/2010/06/02/a_teszta_tortenete_i
<http://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dvh%C3%ADd>
- [4] [Balázs Gy. – Erdélyi a. – Kovács K.: Építőanyag XLII. évf. 1990. 2. szám](#)
- [5] [Kőrössi Tibor, Laki Tamás, Dr. Rusznák György: Szilárdságtani példatár 1. Központos húzás, nyomás és tiszta nyírás](#)
- [6] [Hörömpöly Imre: Mechanika 1. \(Statika\)](#)
- [7] [Czvykovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A Polimertechnika Alapjai \(2007\)](#)
- [8] [Henkel Magyarország Kft. ,Loctite – Ragasztástechnikai alapok – Adhézió és kohézióelőadás 2012.](#)
- [9] [Czvykovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A Polimertechnika Alapjai \(2007\)](#)
- [10] [Henkel: Termékválasztó – Ipari ragasztó- és tömítő anyagok, felületkezelési megoldások 2. kiadás](#)
- [11] [Henkel: Termékválasztó – Ipari ragasztó- és tömítő anyagok, felületkezelési megoldások 2. kiadás](#)
- [12] http://gt3.bme.hu/oktatas/BsC/Manager_BSC/GEAXGG_Gepeszeti_rendszerek/eloadas/Ea_7.pdf

8.Köszönetnyilvánítás

Tanulmányunk elvégzéséhez nyújtott segítségért szeretnénk köszönetet mondani:

Spisák István műszaki oktatónak

Fazekas Sarolta tanszéki óraadónak

A Henkel Magyarország kft. Loctite forgalmazóinak, Tar Péter műszaki vezetőnek, és Jármű Borbálának

Az Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit kft. Észak-alföldi Területi Laboratóriumának és dolgozóinak, Egey Tamás állomásvezetőnek, és Veres Tibor dolgozónak

A Matriál-tesztKft.-nek

A LatinumZrt. olasz tésták forgalmaizójának és BabineczAdriennnek

A Gyermelyi Zrt Marketing vezetőjének, Bokros Gábornak