



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építészmérnöki Kar
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

Tudományos Diákköri Konferencia 2015.

Hadik Petra, Sípos Éva
A betonkenu újszerű konstruálási módjai

Konzulensek: Dr. Hegyi Dezső, Dr. Sajtos István
Közreműködött: Gáspár Orsolya

Tartalomjegyzék

Előszó	3
Bevezetés	3
Történeti kitekintés	4
Néhány alapfogalom a verseny szabályzatából	5
Anyagkutató	6
Rövid kitekintés a betonkenu versenyek történetére	6
A betonkeverék előállítása	7
A betonkeverék tulajdonságai	8
Szilárdság	9
Duktilitás	9
Vízfelvétel	10
Zsaluzat	11
Formakeresés a ponyvazsaluzat függvényében	12
A felhasznált forma	12
Kísérleti módszertan	13
Matematikai háttér	14
Számítógépes szimuláció	15
Kísérleti eredmények	16
Keresztmetszeti modell	16
Modellkenuk	18
Összefoglalás	23
Köszönetnyilvánítás	24
Felhasznált források	25
Felhasznált irodalom	25
Felhasznált hivatkozások	26
Felhasznált képek és ábrák	26

Előszó

A tanszék által hirdetett betonkenu verseny részvételi lehetőségével már mindketten kacérkodtunk az előző években, ám csak az idei, 2015-ös versenyre nevezünk. Úgy gondoltuk, kitűnő alkalom ez a verseny, hogy egy hétköznapi anyag szokatlan felhasználási módját minél mélyebben megismerjük. Ez a határterület a betontechnológia, a ponyvák és a kivitelezés gyakorlati aspektusaiba kalauzolt bennünket. A verseny során nem csak a csapatmunka nagyszerűségét, hanem a magunk által fejlesztett anyagok és technikák jó együttműködését tapasztalhattuk meg. A kenu készítése közben felmerült innovatív ötletek egyikén alapul a mostani dolgozatunk.

Bevezetés

Dolgozatunkban két témával foglalkozunk bővebben: ismertetjük a 2015-ös kenunál alkalmazott anyagösszetétel fejlesztésének lépéseit, valamint vizsgáljuk az eddigi hagyományos zsaluzatot a jövőben esetlegesen kiváltó ponyvazsalu alkalmazhatóságát, hatását az anyagösszetételre, illetve a formára. Eredményeink szorosan építenek az idei versennyel kapcsolatos tapasztalatokra, ezért az alábbiakban röviden bemutatjuk a Betonkenu Kupát.

A Kopaszi-gáton került megrendezésre a IV. MAPEI Magyar Betonkenu Kupa (2015.06.19), amin a Nyuszifül nevű csapat tagjaiként mi is képviseltük a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszékét. A csapat saját tervezésű és készítésű betonkenuval indult a megmérettetésen. A versenyen egyetemi csapatok és cement-, illetve betongyárok, valamint építőipari cégek vehetnek részt. Idén tizenegy kenu indult, összesített eredményünkkel az előkelő második helyet szereztük meg.

A betonkenu versenyre csapatunk először 2013-ban nevezett. A kenu mindösszesen két hét alatt tervezte és kivitelezte a csapat, így az időhiány miatt a kenu formája egy már létező kenu formája lett. Anyaga cementből, vízből, homokból tevődött össze, és mikroszál erősítést kapott. A betonba 3 réteg csirkeháló került, az építéshez belső oldali zsaluzatot használt a csapat. A verseny végén a „Szépbeton különdíjat” nyerték el¹.

A következő évben már több idő állt rendelkezésre a betonkenu megtervezésére és megépítésére. A formát egyedileg tervezték: a kenu fenekét a minél nagyobb stabilitás miatt, a katamaránoktól kölcsönzött ötlettel homorúra alakították. A betonösszetételben szerepelt cement, víz, homok, szilikapor és képlékenyítő, a kenu pedig 3 réteg üvegszövetháló

¹ TDK 2013 4-6.o.

erősítette. A betonkenu külső oldali zsaluzattal épült meg. A csapat első helyen végzett, megnyerte az „Aranybeton-díjat”².

Idei célunk egy olyan betonösszetétel megalkotása volt, ami könnyű, viszonylag nagy szilárdságú, vízzáró, hosszú bedolgozási idővel rendelkezik és vékony rétegben (3-5 mm) felvihető. A falvastagság befolyásolja a felhasznált beton mennyiségét, és mivel célunk volt a lehető legkönnyebb kenu létrehozása, ez sokat számított. Ezeket szem előtt tartva kutattunk a könnyűbetonok adalékanyagai, illetve erősítő szövetek között. Ügyeltünk a verseny szabályzatában foglalt kikötések betartására, amik mind a kenu definíciójára, mind az anyagösszetétel bizonyos komponenseire, annak mértékére kiterjedtek [lásd: *Néhány alapfogalom a verseny szabályzatából* alcímet].

A kenu kivitelezése közben tapasztaltuk meg, hogy a külső oldali zsalu készítése polisztirol hab elemekből mennyire hosszadalmas és erőforrás igényes munka. Hat-nyolc fő egy heti munkájába telt a tavaszi versenyre készített kenu zsalujának előállítás. A problémafelvetés tehát adódott jelen kutatásunkhoz, elkezdtük keresni a választ, hogyan tudnánk jövőre ezt a hosszú időt minimalizálni.

Történeti kitekintés

Az ókori rómaiak is keverték már betont, ezeknek többféle felhasználása is megjelent az építészetükben: egyrészt boltozatok megerősítésére alkalmazták, ahol gyakorlatilag nád volt a hordozó felülete (pl. Villa Medici közelében), másrészt kupolák (pl. Pantheon) lefedésére³. Az elfeledett technológia az ipari forradalom után tört be ismét a köztudatba, 1899-ben Gustav Lilienthal szabadalmaztatott egy textilbetonból készített födémkialakítást. Nem sokkal később, 1911-ben Cristopher Condie falburkolatokat formált betonból.

Az 1930-as évek magával hozta James Waller és Howard Neff fejlesztései nyomán a beton héjszerkezeteket, amik hamar beépültek a tervezők gondolatvilágába⁴, így nemzetközi és hazai példák⁵ sora bizonyítja az új szerkezet életképességét. A folyamatos fejlődést jól mutatja⁶, hogy 2002-ben Mark West megalapította a CEST központot⁷, ahol kifejezetten a

² TDK 2014 3-8.o.

³ VWB 1-3.o.

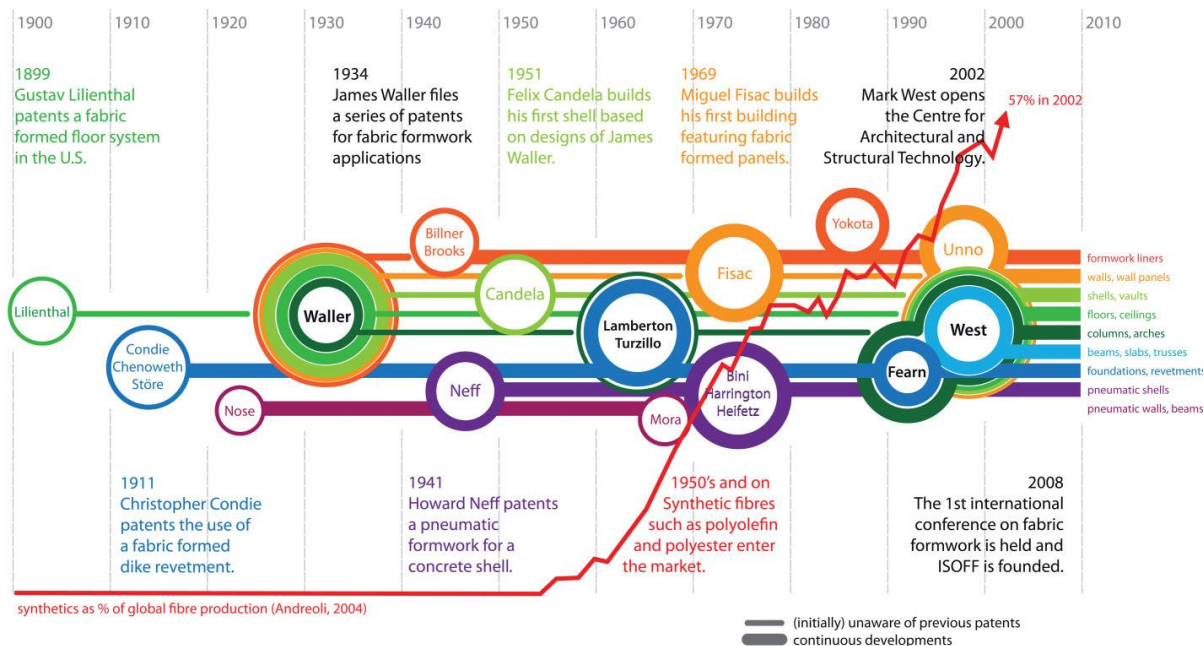
⁴ RPS 1-8.o.

⁵ Hazai példák: Menyhárd István: Kelenföldi úti buszgarázs (1941); Füzy Jenő: Villamosautó csarnok (1971), nemzetközi építészek: Heinz Isler, Felix Candela, Pierre Luigi Nervi

⁶ BAL 58-67.o.

⁷ CEST: Centre for Architectural Structures and Technology, kísérleti labor és egyben oktatást is biztosítanak a manitobai egyetem építészei részére. Pl.: Casa Dent tervezését és kivitelezését irányítva <http://umanitoba.ca/faculties/architecture/facilities/cast.html>

beton építészeti-művészeti és szerkezeti felhasználásán dolgoznak⁸, szabadon formált tartószerkezeti elemeket⁹ készítve vegyes zsaluzattal.



1. ábra: Történeti összefoglaló a textilbetonokról¹⁰

E kutatásokat használva vezérfonalnak kezdtünk bele kísérleteinkbe, ahol a kenu formáját minél jobban megőrizve a hagyományos zsalu kiváltásán dolgoztunk. Két fő irányt határoztunk meg, egyfelől ponyvazsaluként műanyag fóliát használva zsaluztunk ki 1:5-ös kicsinyítésű kenukat, másfelől a kenu hálórősítését, mint önhordó zsalu alkalmaztuk.

Néhány alapfogalom a verseny szabályzatából¹¹

A **kenu** nyitott, mindkét végén csúcsosan végződő, kisméretű hajó. Menetiránnyal megegyező irányban ülő vagy térdelő utasai evezővel hajtják. A **betonkenu építéséhez használt beton** olyan mesterséges kő, amelyet legalább három kiinduló anyagból, cementből, vízből, valamint adalékanyagból állítanak elő. A betonok tulajdonságait kiegészítő anyagokkal és adalékszerekkel teszik kedvezőbbé.

A **betonkenu** egy olyan kenu, amely betonból készül, cementje megfelel az EN 197-1:2000 európai szabványnak és minimálisan 250 kg/m³-t tartalmaz a végső keverék. A kiírás ezen kívül a formára is kikötéseket tesz, a kenu hosszának 400-600 cm, szélességének pedig 60-100 cm közötti értékkel kell rendelkeznie.

⁸ MW 2004 60-62. és JJO 20-26.o.

⁹ MW 2003. 55-60.o.

¹⁰ VWB 12.o.

¹¹ A pontos szabályzati definíciók a verseny honlapjáról származnak: <http://www.betonkenu.hu/versenykiiras/>

A fenti alapfogalmak mentén és a korábbi évek tapasztalataira alapozva indult el a kutatásunk a beépítendő beton összetételének és anyagminőségének meghatározására.

Anyagkutatás

Rövid kitekintés a betonkenu versenyek történetére

Az Egyesült Államokban már az 1970-es évek óta tartanak betonkenu versenyeket¹², Európában először Németországban volt ilyen verseny 1986-ban¹³, Magyarországon négy éve kerül megrendezésre. A tavaszi versenyre készült kenunkkal a nemzetközi versenyek viszonylatába is jól illeszkedő eredményt értünk el.

	<i>verseny éve</i>	<i>legkisebb tömeg [kg/m]</i>	<i>legkisebb tömeg [kg]</i>	<i>legnagyobb tömeg [kg/m]</i>	<i>legnagyobb tömeg [kg]</i>
<i>német versenyek</i>	1998	6	27	53	239
	2000	7	31	69	310
	2002	4	18	95	418
<i>idei magyar verseny</i>	2015	6,67	40	40	200

1. táblázat: Nemzetközi versenyeredmények¹⁴

Idén a versenyt hosszas kísérletezés előzte meg. Célunk egy olyan kenu megépítése volt, amely a szabályzat kiírásában meghatározott maximális hosszal, minimális szélességgel rendelkezzen, hiszen ennek a legkedvezőbbek az úszási paraméterei, mert ez közelíti legjobban a versenykenuk geometriáját. Törekedtünk a lehető legkönnyebb kenu megépíteni, ehhez az adalékanyagokat is igyekeztünk megfelelően megválasztani, aminek a lehető legvékonyabb fala van. A végső betonösszetételben szerepelt homok, cement, víz, szilikapor, metakaolin, perlit és képlékenyítő is. A beton erősítésére 2 réteg üvegszövethálót használtunk. Idén a mezőny legkönnyebb és szakértők¹⁵ szerint legjobb úszású hajójával a második helyet szereztük meg versenyen, azaz az “Ezüstbeton-díjat”.

Betonkenu készítésének éve	súly (kg)	hossz (m)	szélesség (cm)	falvastagság (mm)	átlagos súly (kg/m)
2013	77	4,2	70	~5	19,25
2014	93	5	64	4-12	18,6
2015	40	6	66	~3	6,67

2. táblázat: Az eddigi versenyekre készített kenuk főbb adatai

¹² http://www.uah.edu/student_life/organizations/ASCE/Articles/YoungHistory/Youngarticletext.htm

¹³ <http://www.betonkanu-regatta.de/historie-sieger/archiv/limburg-lahn-1986/>

¹⁴ TDK 2013 8.o. 2. táblázat

¹⁵ Többek közt a versenyen részt vevő olimpikon Horváth Csaba szerint, aki az összes kenu kipróbálta.

A betonkeverék előállítás

A beton anyagösszetételével sokat kísérleteztünk, mire kiválasztottuk a minták közül a legalkalmasabbat. Az előző évi, 2014-es kenu receptúrájából indultunk ki, amihez a könnyebb keverék elérése érdekében a homok egy részét könnyű adalékanyaggal, perlittel váltottuk ki, a vízzáróság növelése miatt pedig cement kiegészítő anyagokat, szilikaport és metakaolint adtunk hozzá.

	2013	2014	2015
víz	186 g	265 g	380 g
homok	892,9 g	1085 g	240 g
cement	620 g	750,25 g	664,6 g
mikro szál	3 g	-	-
szilikapor	-	94 g	62,8 g
metakaolin	-	-	98,8 g
perlit	-	-	68 g
képlékenyítő	3,72 g	22 g	20 g

3. táblázat: Az eddigi versenyekre készített betonreceptúrák

A 3 mm-es falvastagság elérésének érdekében csak megfelelően kis szemcsenagysággal rendelkező adalékanyagokat alkalmazhattunk. Az adalékanyagnak szánt duzzasztott perlitnek szemmagysága a kívánt falvastagságot nem tudta volna teljesíteni, így porrá őrölve került a keverékbe¹⁶. A porított perlit nagyjából 25-30%-kal könnyebb a homoknál.

Összetevők	Anyagjellemzők	
	sűrűség [kg/m ³]	szemmagyság [mm]
cement III/A (a)	2300	5-30*10 ⁻³
szilikapor (a)	2200-2400	0,1-0,3*10 ⁻³
metakaolin (a)	2600	1,3*10 ⁻³
homok (h)	1700	0,1-0,6
szűrő/porított perlit F-250 (h)	1200-1400	17-150*10 ⁻³

4. táblázat: Anyagjellemzők – a=anyagsűrűség, h=halmazsűrűség

¹⁶ Az MSZ EN 206:2014szabvány szerint a legalább 800 kg/m³ testsűrűségű, folyamatos szemeloszlású beton könnyű adalékanyaga ásványi eredetű, szemének testsűrűsége kiszáritott állapotban kisebb, mint 2000 kg/m³, halmazsűrűsége kiszáritott és laza állapotban kisebb, mint 1200 kg/m³.

Az alábbi receptúrák a 2014-es verseny eredeti receptúrájából empirikus kísérletezéssel készültek.

	Tavalyi receptúra [%]	Idei minták						
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
cement III/A	33,85	30,64	32,60	32,05	39,40	44,69	40,77	44,01
szilikapor	4,24	-	4,08	1,92	2,36	2,68	2,44	2,57
metakaolin	-	9,19	-	4,81	5,92	6,71	6,12	6,54
homok	48,96	44,31	47,14	46,36	28,49	16,14	29,48	15,89
víz	11,96	15,86	15,94	14,37	19,68	23,94	16,38	26,16
folyósító	0,99	-	0,24	0,48	1,54	1,34	1,17	1,32
porított perlit	-	-	-	-	2,61	4,50	3,64	4,50
teljes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

5. táblázat: A receptúrák a felhasznált anyagok tömegszázalékában

A betonkeverék tulajdonságai

A keverék határozottan az eddigi legkönnyebb betonunk lett, amivel meglepően könnyedén is tudtunk dolgozni, mert jó volt a konzisztenciája és a bedolgozási ideje is, emellett pedig a vízfelvétele és a szilárdsága is megfelelő volt. A kenu építése közben olyan jól megmaradt a beton az üvegszövethálóban, hogy azt könnyen fel lehetett a betonnal együtt emelni.



1. kép: Betonminták hajlékonysága

Először 4x4x16 cm-es, szabványos próbatesteket készítettünk a betonkeverékeinkből. Mivel a receptúra az új keverékek következtében nem mindig azonos térfogatú mintákat eredményezett, ezért az adott daraboknál a méreteiket is dokumentáltuk a tömegük mellett.

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Tömeg (g)	A	514	504	518	470	410	498	378
	B	530	496	518	464	224	336	374
Méretei (cm)	A	4x4x16	4x4x16	4x4x16	4x4x16	4x4x16	4x4x16	4x4x16
	B	4x4x16	4x4x16	4x4x16	4x4x16	2,4x4x16	2,6x4x16	4x4x16

6. táblázat: A próbatestek méretei és tömegei

Szilárdság

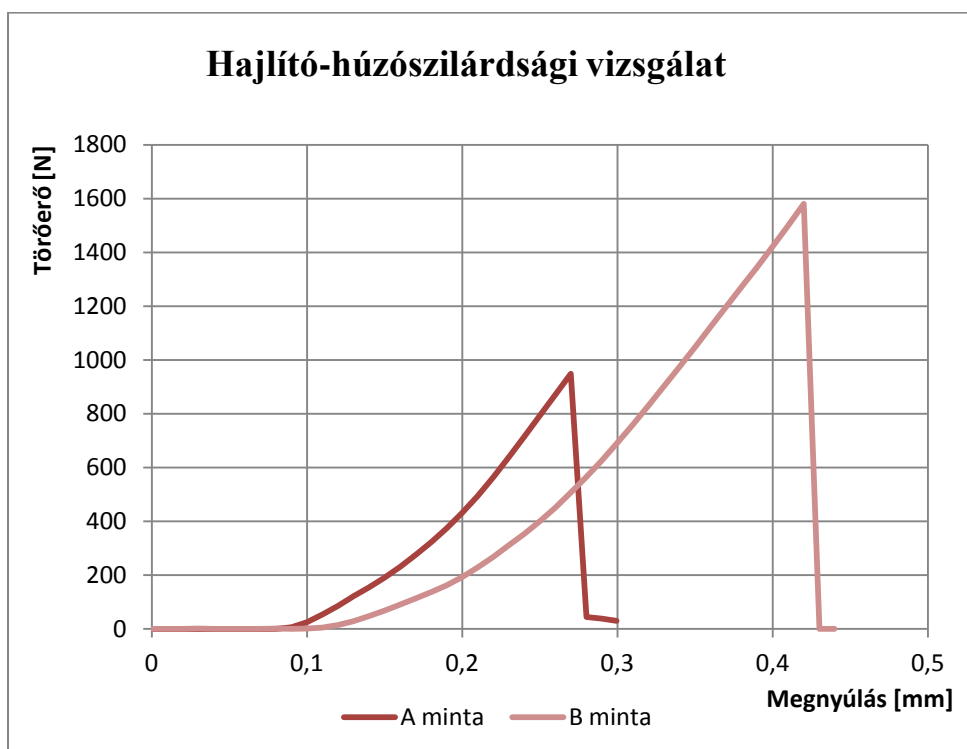
Megszilárdulás után kiszalasztuk, majd 28 napos korukban hárompontos hajlító-húzószilárdsági vizsgálatot végeztünk rajtuk¹⁷. A mérések a következő szilárdsági értékeket adták az egyes mintáknál:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Törőerő [N]	1 929	1 989	2 103	2 055	<u>1 386</u>	<u>1 614</u>	<u>1 581</u>
Megnyúlás [mm]	0,858	0,277	0,330	0,436	<u>0,576</u>	<u>0,455</u>	<u>0,495</u>
Hajlító-húzószilárdság [N/mm²]	4,52	4,66	4,92	4,82	<u>3,24</u>	<u>3,78</u>	<u>3,46</u>

7. táblázat: A próbatesteken mért eredmények (aláhúzással kiemelve a perlitet tartalmazó minták eredményei)

Duktilitás

A betonkeverék duktilitása más a próbatesteken mérve, mint magán a végső anyagon, hiszen a falvastagság nagyon kicsi, ezért a szerkezet működését alapvetően befolyásolja. Ha nem lett volna elég duktilis a keverékünk, akár ki is töredezhett volna az erősítő hálóból. Szabványos duktilitási vizsgálatot nem végeztünk az anyaggal, a megkötött mintákat kézzel hajlítottuk meg, nézve, hogy mennyire töredezik ki a beton a háló közül. A próbatestek törésénél viszont megbizonyosodhattunk a beton duktilitásának mértékéről.



2. ábra: Hajlító-húzószilárdsági vizsgálat eredménye

¹⁷ A méréseket a Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Czakó Adolf Laboratóriumában egy ZWICK Z-150-es típusú univerzális törőgéppel végeztük.

Vízfelvétel

A mérés után az eltört darabokat vízbe állítottuk 26 órára, megmértük a kapilláris vízfelszívódás mértékét, illetve a nedves tömegüket, hogy pontos képet kapjunk arról, milyen vízfelvételi lesz majd a kenunk a verseny napján. A verseny előtt már vízre tettük és kipróbáltuk a kenu stabilitását, ekkor néhány órára került vízbe, a verseny



2. kép: Próbatetek vízfelvételének vizsgálata

napján pedig majdnem 12 órán át vízben volt, de a vízfelvétele nem volt szemmel látható, sem súlyra nem éreztünk többletet. A nem szabványos vízfelvétel vizsgálatot a kenu időszakos vízterhelése indokolta.

Az őrlés fajlagosan nagyobb felületet, ezáltal nagyobb vízfelvevő képességet eredményezhet, a perlites minták vízfelvételre mégis jobban teljesítettek a tavalyi receptúránál, ami feltételezhetően a metakaolin hozzákeverésének eredménye¹⁸. A korábbi versenyek receptúrái kevesebb adalékanyagot tartalmaztak, a folyamatos fejlődés nem csak a falvastagságot tudta csökkenteni, hanem a betonkeverék súlyát is.

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
próbatetest A	száraz	514	504	518	470	410	498	378
	nedves	532	524	530	478	418	504	384
	vízfelvétel	18	20	12	8	8	6	6
próbatetest B	száraz	530	496	518	464	224	336	374
	nedves	550	516	530	470	230	342	381
	vízfelvétel	20	20	12	6	6	6	7

8. táblázat: A próbatetek száraz és nedves tömegei [g]. A választott receptúra (7.) eredményei dőlttel szedve.

¹⁸ A porított perlit vízfelvétele a duzzasztott perlithez képest azon is múlhatott, hogy por alakban nincsenek benne légbuborékok, amik a vizet felvennék.

Zsaluzat

A kenunál az előző évhez hasonlóan külső, polisztirolhabból kivágott zsalut alkalmaztunk. A megfelelő minőségű felület érdekében a polisztirolhabot összecsiszoltuk, majd kigipszeltük, és a gipszet a száradás után szintén megcsiszoltuk. A külső felület ezáltal teljesen sima lett, ami áramlástanilag kedvező. A lecsiszolt gipszfelületet bekentük zsaluleválasztó olajjal. A formához igazítva üveghálót vágunk ki, amit két rétegben helyeztünk el úgy, hogy a toldások sehol sem eredményeztek háromnál több réteget. A háló jellegét tekintve négyzethálós rács volt, 5x5 mm-es lyukmérettel.



3. kép: A kenu zsaluzata polisztirol habból



4. kép: A kenu zsaluzata gipszel bevonva

A kenu készítése úgy zajlott, hogy egy asztalon rákentük a betont a hálóra, majd felemeltük és a zsaluzatba tettük. Olyan jól beletapadt a hálóba a beton, hogy könnyen tudtuk alakítani, formálni, elhelyezni. Amikor a helyére került az első réteg betonos háló, belesimogattuk a második réteg üvegszövet hálót, aminek a száliránya 45°-kal el volt forgatva.



5. kép: A beton bedolgozása az üvegszövet hálóba



6. kép: A betonnal bevont üvegszövet háló beemelése a formába

Ahova az evezősök ültek, oda a többletterhelés felvételének érdekében további két réteg hálót raktunk be erősítés gyanánt egy-egy 30 cm-es szakaszon. A vékony szerkezet duktilitása miatt a kenuba két alaktartást és erősítést biztosító bordát tettünk, a korábban

kivágott polisztirol darabokat a megfelelő keresztmetszetbe illesztettük, és az üvegszövetháló anyagával erősítettük a kenuhoz betonozva.

Sajnos, először a gipsz rátapadt a kenunk oldalára, mert a zsaluleválasztó olajat magába szívta, de végül egyszerűen le tudtuk kaparni. A tisztítás után a kenu külső oldala egyenletes és sima lett.



7. kép: A frissen elkészült betonkenu

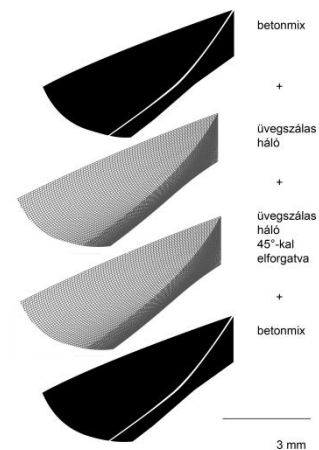


8. kép: A kenura tapadt gipszréteg

Formakeresés a ponyvazsaluzat függvényében

A felhasznált forma

Az első versenyen belső oldali zsaluzattal dolgozott a korábbi csapat, a következő évben külső zsalut készítettek, ahogy az idei versenyre is. A belső oldali zsaluzat fő hátránya az anyagválasztásból következett, mert a szálerősítéses beton kézzel simítva korántsem ad áramlástanilag kedvező, sima felületet. A külső oldali zsaluzatnál ez a probléma nem áll fenn, hiszen a külső zsalut olyan módon készíti elő a csapat, amivel tükörsima felület érhető el. Az előre kivágott



polisztirol hőszigetelő táblákban a gipszet sima, egybefüggő felületté csiszoltuk, így gyakorlatilag csak a formán múlnak a kenu áramlástanai tulajdonságai, mert a külseje jól kontrollált felületi minőségű.

A 2016 évi versenyre készülve dolgozatunkban azt szeretnénk tudni, hogy a zsaluzattal járó idő- és erőforrás igényes munkát hogyan spórolhatnánk meg. Mivel a betonkeverékünk nagyon jól tapadt az üvegszövethálóba, ez arra inspirált minket, hogy radikális újításként megvizsgáljuk a ponyvazsaluban rejlő lehetőségeket.

Ehhez felhasználtuk az idei versenyre kifejlesztett formát (amit Kulik Benedek csapattársunk tervezett) és anyagot, mivel ezek a verseny során jól beváltak. Korábbi

3. ábra: A kenu rétegei

kísérletek kimutatták¹⁹, hogy ideális forma esetén a kenu orrának nyílásszöge 7-9° közötti, és a kenu a hátsó harmadánál a legszélesebb. A verseny szabályait betartva 9°-os nyílásszöget és 66 cm-es szélességet alkalmaztunk, a kenu felülnézete pedig két, másodrendűen illeszkedő körívből²⁰ van kiserkesztve a hajó hossz tengelyére tengelyesen tükrözve.



4. ábra: A kenu végső formája

Kísérleti módszertan

Idei formánk keresztmetszetei ellipszisekből készültek a teljes hossz mentén, főképp azért, mert ezt a formát egyszerű volt CAD programban modellezni az 1:1-es zsazalat készítéséhez. A ponyvaszalu témakörében két módszer mentén kezdtünk el kísérletezni, mindkettőnél fontos szerepet játszott, hogy megfelelő szabásmintával rendelkezzen az üvegszövethálónk, illetve, hogy a betonunk bedolgozható és hibajavításra alkalmas legyen. A kísérleti modellek 1:1, illetve 1:5 léptékben készültek. A modellek készítésekor a legalapvetőbb probléma az volt, hogy a kiinduló formánk keresztmetszete ellipszis, míg a szabadon lógatott forma várhatóan cosinus hiperbolikus alakú lesz.

Az egyik kísérleti módszer azt vizsgálta, hogy ponyvaszaluval segítve a betonkeverékes erősítő háló alaktartását, milyen pontossággal adható vissza az eredeti forma.

A másik kísérleti módszer arra kereste a választ, hogy az üvegszövetháló, mint önhordó zsazalat, képes-e a szimulációval talált szabásmintán alapuló modellt követve megtartani a betont, illetve a beton mennyire szilárdul jól ilyen száradásnak kitett helyzetben. Az ötletet a versenyre fejlesztett anyag bedolgozhatósága adta, ahol az üvegszövetháló megközelítőleg 85-90%-ban fel tudta magával emelni a betont, és így mozgatható, hajlítható maradt úgy, hogy a beton nem hullott ki belőle [lásd: 5. kép és 6. kép]

A belógatott modell – a matematikai számításokkal igazolható – cosinus hiperbolicus alakját vette fel, ez azonban egy kissé csúcsosabb²¹ ívvel rendelkezik, mint a tervezett ellipsziseken alapuló formánk. Ez a stabilitás rovására menne, ha a kenu magassági és szélességi arányai ezt nem ellensúlyoznák. A kenu stabilitása számunkra fontos, mert egyikünk sem profi versenyző.

¹⁹ OSU 2000

²⁰ A kenu legszélesebb pontján találkozik a két körív, ebben a pontban az érintőik megegyeznek. A köríveket az egyszerű szerkeszthetőség miatt választottuk.

²¹ Ezt keskenyebb szabásminta készítésével lehet kompenzálni.

Matematikai háttér

A ponyvaszalúval és az önhordó módon készített modellnél elsősorban a megfelelő forma létrehozása volt a célunk, amit a szabásminta és a zsaluzat készítésével érthetünk el. A szabásmintát számítógéppel modelleztük²², hogy a lehető legjobban visszakaphassuk a kiinduló formánkat. A kenu formáját peremekkel határoztuk meg a programban, két fix perem közé felületet feszítettünk. A felület alapállapotban a legkisebb felületet adja a meghatározott peremfeltételek és terhelés mellett.

Az alakmeghatározási feladatokról általánosságban megállapítható, hogy a meghatározott peremek közé feszített minimálfelület alakja az eredmény, amit a felület síkjában előírt hidrosztatikus feszültségeloszlással lehet elérni. Az így kapott felületek hiperbolikusak, azonban a kenu az ideai versenyre elliptikus felülettel készült. A hiperbolikus felületre külső teher rárakásával értük el az elliptikus felületet: az önsúlyt és hidrosztatikai nyomást helyeztünk a szimulációban a modell felületére.

Az alakmeghatározás folyamatát a Pucher-féle differenciálegyenlet alkalmazásán keresztül érthetjük meg legkönnyebben.

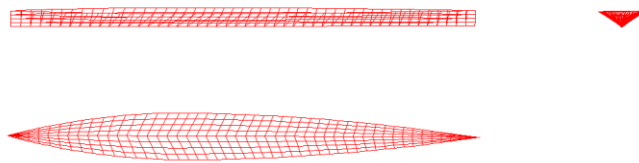
$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - P = 0$$

A Pucher-féle differenciálegyenletben a felület geometriáját leíró függvény (z) és a felületben működő metszeterőket meghatározó feszültségfüggvény (F) deriváltjai és a teher függvény (P) szerepelnek. Alapvetően kétféleképpen rendezhetjük az egyenletet, z -re vagy F -re. Ha az F feszültségfüggvény ismert, akkor az egyensúlyi helyzet geometriáját tudjuk számítani, ezt szokás alakmeghatározásnak (*form finding*) nevezni. Ha a geometriát és a külső terheket ismerjük, akkor F feszültségfüggvény számolható, a programban ez a valós alak modellezése (*real deformation*).

²² HD 2006/2: a doktori kutatás során fejlesztett program a ponyvaszerkezetekre optimalizálta a szabásminta keresését, de megfelelő peremfeltételek megadásával a kenu alakmeghatározásához és a valós alakváltozások megjelenítésére is alkalmas.

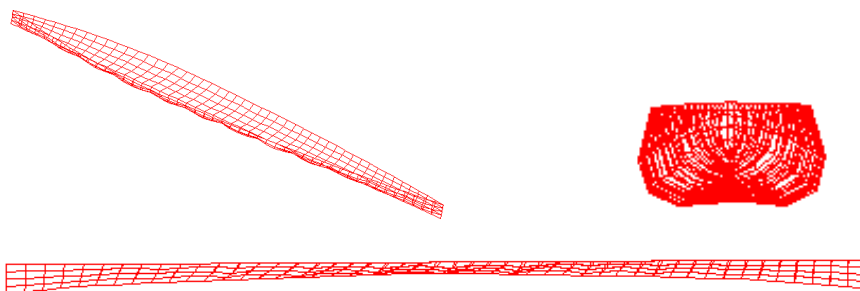
Számítógépes szimuláció

Az általunk használt végeleemes program az előbb ismertetett elv alapján működik²³,



és alkalmas alakmeghatározásra és 5. ábra: A szimuláció kiinduló formája állapotváltozás számítására is. A felületet végelelem hálóval írja le, az egyenleteket pedig dinamikus relaxáció²⁴ segítségével oldja meg. A programban meghatározhatunk rögzített (*fix*), szabad (*free*), esetleg szimmetria peremeket, a felületre előírhatunk különböző feszültségeloszlásokat (hidrosztatikus, Pelikán-féle vagy bármilyen egyedi eloszlás) és előírhatunk különböző külső terheket (önsúly, hőteher, szélteher, légnyomás, víznyomás)²⁵. A felületelemekre előírt feszültségek az elem szélén kerülnek egyensúlyozásra egy kötéllel, a szabad peremeket pedig az alakmeghatározás során rögzítettük. A kötél peremre előírhatunk belső erőt vagy vizsgálhatjuk az alakmeghatározás során a valódi állapotváltozást is.

Először alakmeghatározást számolt az általunk összeállított számítási modell. A kenu felső peremei és a két végén lévő függőleges él rögzítettek voltak, a szimmetriatengelyt pedig egy megfeszített kötéllel modelleztük. A felületre előírt feszültségeloszlás hidrosztatikus (minden irányban azonosan ható) volt, a szerkezetre ható külső terhek az önsúlyból és a folyadéknyomásból tevődtek össze. Az alak keresése kísérletezéssel történt, a mellékelt ábrák mutatják a lépéseket, illetve a táblázatban követhető az érdemi paraméterek módosításai.



6. ábra: A kísérletezés során kapott hibás formák (bal felső és alsó: kötelek túlfeszítése, jobb felső: túlterhelés)

²³ HD 2006/1 és HD 2006/2

²⁴ HD 2006/2 16.o.: „A dinamikus relaxáció alkalmazása során a statikus feladat egy fiktív dinamikai feladat segítségével oldható meg. A szerkezetre ható kiegyensúlyozatlan erők gyorsuló mozgásra készítetik a diszkrétizáló hálózathoz kapcsolt fiktív (vagy akár valós) tömegeket. Lineárisan rugalmas anyagtörvény esetén harmonikus rezgőmozgás alakul ki, melyet különböző csillapítások segítségével lehet az egyensúlyi állapot felé terelni.”

²⁵ HD 2006/2: A program specifikusan ponyvaszerkezetek modellezésére íródott, így meg kellett adnunk a kötelek megnyúlásának (*enlargement*) mértékét, a keresett forma miatt szintén fixáltuk (nem engedtünk meg sem zsugorodást, sem nyúlást).

A kiszámított alakra a program pontos szabásmintát készített mind a kísérleti modellkenekhez, mind a zsaluzathoz.

A valódi terhekre való viselkedés (*real deformation*) fő paraméterei a súly, a rugalmassági modulus és a teher jellege voltak. A súlyt és a rugalmassági modulust saját készítésű mintadarabokból állapítottuk meg, a teher jellegét tekintve hidrosztatikai nyomás. A szabásmintát visszahelyettesítve a modellbe állapotváltozást számoltunk, amellyel ellenőriztük az alakmeghatározás helyességét.

Kísérleti eredmények

Keresztmetszeti modell

A tavaszi versenyre készített kenu nagyon jól viselte a hidrosztatikai nyomás terhét, illetve az emberek súlyából adódó pontszerű terheket. A kenu merevségét az üvegszövet háló adta, amit két rétegben alkalmaztunk a kenu teljes hosszán úgy, hogy a toldások sehol sem eredményeztek háromnál több réteget. Az evező emberek helyét előre meghatároztuk és a megfelelő helyen négy rétegben alkalmaztuk a hálóerősítést. A háló jellegét tekintve négyzethálós rács volt, 5x5 mm-es lyukmérettel, a két réteg egymással 45°-os szöget zárt be.

Az 1:1-es modell nem a teljes kenut reprodukálta, hanem egy 30 cm széles keresztmetszeti darabot, amit fel tudtunk lógatni olyan módon, hogy a két végén két, összecsavazott lécz közé beszorítottuk a zsalut és az üvegszövethálót is. A keresztmetszeti modellben jól tudtuk vizsgálni az anyag bedolgozhatóságát, illetve láthattuk, milyen merevsége és alakja lett. Egyik keresztmetszeti mintánál sem számítottunk arra, hogy alaktartóak lesznek perem nélkül, illetve anélkül, hogy a forma nem merevíti a mintadarabot.

A modell betonreceptúráját a korábbi bekezdésekben ismertettük. Ezzel az anyaggal [7. számú receptúra] próbáltunk ki különböző lyukméretű és merevségű hálókat, hogy megvizsgáljuk az egyes hálók együttdolgozását a betonkeverékünkkel, illetve mennyire egyszerűen tudunk vele dolgozni. Előkészítésképpen több kisebb kenut is készítettünk 1:20-as léptékben, de szabásminta nélkül, hiszen itt csak a beton és a háló együttdolgozását vizsgáltuk. Háromféle hálóval kísérleteztünk: jutaszövettel, szúnyoghálóval és a versenyen is alkalmazott üvegszövethálóval, illetve kipróbáltuk, hogy jól feszíthető anyaggal²⁶ hogyan dolgozik együtt a beton.

²⁶ Érdekesképpen nejlonharisnyára vittünk fel betont, a kifeszítés után a beton merevítette a harisnyát.

A jutaszövetet eleinte próbáltuk szárazon bebetonozni, de túl sok nedvességet szívott fel, és nem bizonyult megfelelőnek, mivel a beton nem került át a szövet túloldalára. Beáztatva és utána a betont kézzel felhordva azt tapasztaltuk, hogy a beton nehezen tapad bele a szövetbe, viszont a szövet rugalmas alakváltozása jól követi a kenu formáját, így könnyen be tudtuk lógatni külön zsaluzat nélkül. Száradás után a minta jelentős rugalmas alakváltozásokra maradt képes, de ez előnytelen a végleges versenyen. A pontszerű terheket pedig vélhetően akkora alakváltozással venné fel, ami akár tönkremenetelhez is vezethet. Emellett probléma volt a beton felülete is, mivel nem lett a már korábban megszokott tükörsima, ez áramlástanilag pedig kedvezőtlenebb²⁷. A betont viszonylag vastag rétegben kellett felhordani, hogy elfedje a szövetet, de a mi célunk egy ennél vékonyabb szerkezet elérése volt.

A szúnyoghálóba szintén nehéz volt bedolgozni a betont, és 1:20-as léptékben néhány kisebb gyűrődéstől eltekintve, amit a szabásminta hiánya okozott, jól formázható volt. A végleges minta kellően merev volt, ezért úgy döntöttünk, hogy ebből az anyagból készítünk keresztmetszeti modellt.

A harmadik anyag az idei verseny üvegszövethálója volt, ami túl merev volt ilyen kis léptékű modellhez, erősen gyűrődött és a kenu orránál, faránál nem is tapadt bele jól a beton. Mindezek ellenére, főképp a versenyen való jó teljesítése miatt, úgy döntöttünk, hogy ebből is készítünk keresztmetszeti modellt.

	jutaszövet		szúnyogháló	üvegszövetháló
zsaluzat nélkül	szárazon	nehéz bedolgozhatóság, jó formakövetés	nehéz bedolgozhatóság, jól formálható, sima felület	(lásd <i>Modellkenuk</i> alfejezetet)
	nedvesen	könnyű bedolgozhatóság, jó formakövetés, nem sima felület		
ponyvazsalu	(a jutaszövet előnytelen tulajdonságai miatt ezt a kísérletet nem végeztük el)		nehéz bedolgozhatóság, jól formálható, sima felület	könnyű bedolgozhatóság, nehezen formálható, sima felület

9. táblázat: Kísérleti tapasztalatok az 1:20 léptékű modellekkel

A kis kenuk tapasztalataink elindulva készítettük el az 1:1-es modelljeinket szúnyogháló, illetve üvegszövetháló segítségével. Az egymáshoz képest elforgatott rétegek technikáját a

²⁷ A 2013-as betonkenu versenyre, a belső oldali zsaluzattal készülő kenu felülete sem a legkedvezőbb volt a szálerősítés miatt, ugyanakkor a kenu nem teljesített rosszul. A jobb eredmény elérése miatt inkább a megfelelően sima felület elérésére törekedtünk.

keresztmetszeti modelleken is megtartottuk, mert ezáltal kellő merevséget kap majd a szerkezetünk. A szúnyogháló a rétegelt szerkezeti megoldás ellenére nagyon kis merevséggel rendelkezett, kétséges, hogy egyáltalán az emberek súlyát erősítéssel tudná-e hordani. Minél többet dolgoztunk a szúnyoghálóval, annál jobban kiderült számunkra, hogy nem egyszerű a beton bedolgozása a túl kicsi lyukmérete miatt. Az üvegszövethálóval készített keresztmetszeti modell kellően merev volt, de nyitott peremei miatt nem alaktartó, mint ahogy azt vártuk is. Kipróbáltuk csak a saját hálójánál fogva fellógatni a keresztmetszeti modellt, de ez nem sikerült, mert a beton nem tudott teljes mértékben elválni az asztaltól, és kiesett a háló rácsaiból, ezért az összes mintánk alatt zsaluzatként egy műanyag fólia volt.

Modellkenek

A számított szabásminta terveit **1:5-ös léptékű kenek** készítéséhez használtuk fel, illetve a ponyvazsalu kivágásához. A kenu formáját rétegelt lemezből kivágtuk, majd a szabásminta zsaluját a tervek alapján vágva és varrva beleillesztettük. Az üvegszövethálót damillal öltöttük össze a kirajzolt szabásminta alapján. A kenu erősítésének itt már csak a jól bevált üvegszövethálót használtuk, ezt pedig kétféle hálófektetéssel próbáltuk ki.

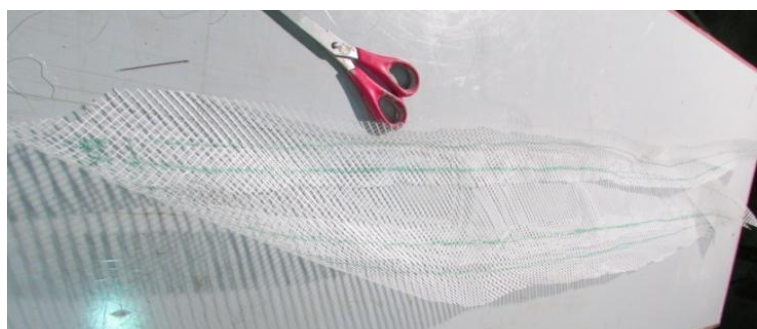


9. kép: Az 1:5-ös modell zsaluzata (alulnézet)



10. kép Az 1:5-ös modell zsaluzata (oldalnézet)

Először a hossz tengely mentén osztottuk két részre a hálót, amire az elforgatott réteg eltolt illesztésekkel három



11. kép: Az üvegszövet hálók toldása

darabból került rá. A lemezhez történő rögzítést úgy oldottuk meg, hogy a háló szélét a lemezbe ütött szögekre akasztottuk fel, így a háló önhordó zsaluzatként tartotta meg a betont. Az üvegszövethálóba a beton bedolgozásakor egy olyan hibát vettünk észre, ami korábban nem lépett fel: a háló szétszúszott. Az oka az, hogy a modell léptékéből kifolyólag túl keskeny szakaszokon betonoztunk, ez korábban sosem fordult elő. Az 1:20-as modellnél szélesebb anyagcsíkot használtunk, mint az 1:5-ösnél, mert ott egy darabból készült a minta, míg itt az illesztések miatt nem alkalmazhattunk túl széles csíkokat az anyagvastagság növekedésének veszélye nélkül. A szétszúszás eredményeképpen „megnőtt” a szabásmintánk, így nehezebben tudtuk a rétegelt lemezformába beemelni.

A mintán látható hibák abból származnak, hogy túl ritkán voltak a szögek beütve, ezért nem tartotta meg az alakját a



kenu, hanem keresztmetszeti

12. kép: Zsaluzat nélküli 1:5-ös modell

szakaszonként szétszúszott. Korrigáláskor már nem emeltük ki a bebetonozott hálót, hanem finoman utólag néhány szöget még beütöttünk, azonban a kifejtett erő és az általa keletkező rezgések anyagvesztést okoztak a mintán: kipotyogott a beton a háló közül.

A ponyvaszalut a megadott szabásminta alapján vágtuk ki közepesen erős műanyag fóliából²⁸, a kenu orránál és tatjánál függőlegesen összevarrtuk damillal. A rétegeket az előző bekezdésekben ismertetett módszerrel vágtuk, varrtuk és illesztettük egymáshoz (hosszanti tengely mentén, kettő és három darabból). Az előző darab hibáiból tanulva kellő sűrűségben rögzítettük a műanyag fóliát, és a könnyebb beemelhetőség kedvéért a rétegelt falemez alá erősítettük. A műanyag fólia biztosította az alaktartást, elbírta a beton súlyát, és a minta, ahol érintkezett a fóliával tükörsima felületet eredményezett.

Az üvegszövethálóba való bedolgozás során a beton természetesen nem tapad meg teljes mértékben, így a javításokat utólag kellett elvégezni. A zsalu nélküli mintán ez nagyon nehezen és kis határfokkal sikerült, a műanyag fóliával megtámasztott mintán könnyebb volt, de ott sem teljes mértékben működött. Az anyagot a zsalu nélküli mintán a két kezünk között kellett hibajavításkor bedolgozni a hálóba, de a beton inkább a kezünkre, semmint az üvegszövethálóba tapadt bele. A műanyag fóliával megtámasztott mintánál a kezünkhöz nem tapadt a beton, így egyszerűbben megtapadt a hálóban.

²⁸ Egyéb rendelkezésre álló fólia hiányában műanyag zsákok anyagát használtuk fel.

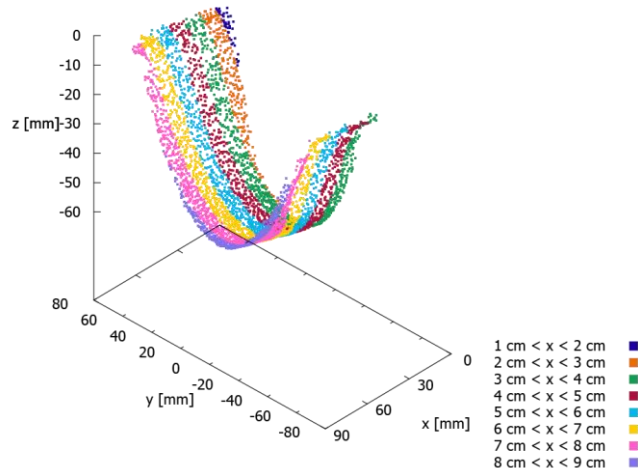
A következő két 1:5-ös léptékű modellen az üvegszövethálót a kenu hossz tengelyére merőleges darabokból varrtuk össze. Az alsó réteg két darabból állt, az elforgatott három darabból, ez utóbbiakat már csak szabadon belefektettük a mintába a műanyag fólia alakbiztosító szerepét próbára téve. A besűrített rögzítést meghagytuk, és ragasztóval megerősítettük mindkét réteget lemezen. Ezt a két modellt már csak a műanyag fólia zsaluval készítettük el.

A két modell közül az egyik betonból készült, a másik gipszből. A betonból készült modellnél a haránt irányú hálótoldások vizsgálata egyértelműen bizonyította, hogy szebb alakot ad a szélesebb üvegszövetháló darab a kevésbé elcsúszó szálak miatt. Az így készült kenu daraboltuk fel, hogy lézerszkennel²⁹ bemérjük a keresztmetszeti alakját, ellenőrizve a számított szabásminta pontosságát.

Az ellenőrzési módszer lényege, hogy a beszkenelt ponthálót ábrázoltuk, keresztmetszeti szeletekre daraboltuk [7. ábra], és a peremeket levágtuk, hogy szimuláció segítségével függvényeket illeszthessünk a kapott ívre. Az elkészített kenu flexszel vágtuk több darabra, a kapott és beszkenelt minta egy 12x6x9 cm-es keresztmetszeti darab.

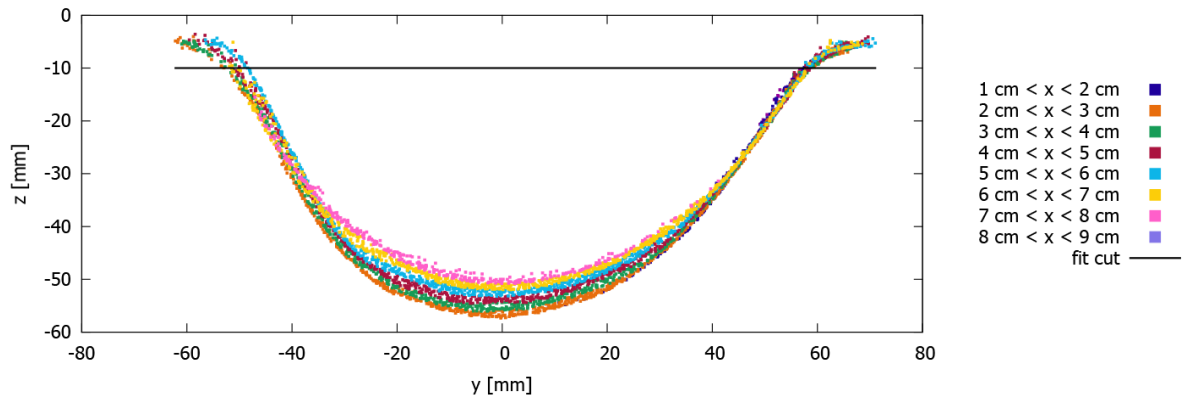


13. kép: Az 1:5-ös gipsz és betonkenu



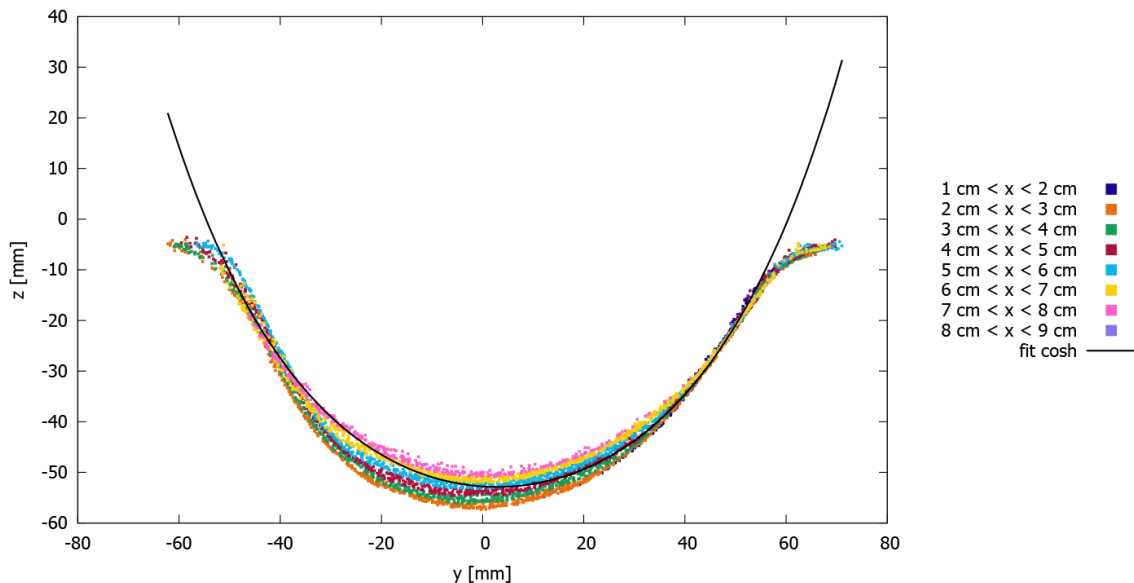
7. ábra: Lézerszkennelt betonkenu keresztmetszeti darab (a színezés minden ábrán azonos, 10 mm széles szeletek szerint)

²⁹ A Czako Adolf Laboratóriumban használt gép típusa: Scantech St400 3D Scanner.



8. ábra: A peremeket levágva a vonal alatti görbére illesztettük a függvényeket

A pontfelhő által kiadott ívre cosinus hiperkolikust, illetve ellipszist illesztettünk, hogy ellenőrizzük a forma helyességét. Az illesztést cosinus függvényre is elvégeztük, mert a két függvény a kezdeti szakaszán, tehát kis y értékekre, hasonló alakot vesz fel. Az ábrákon látható az ebből adódó hasonlóság.

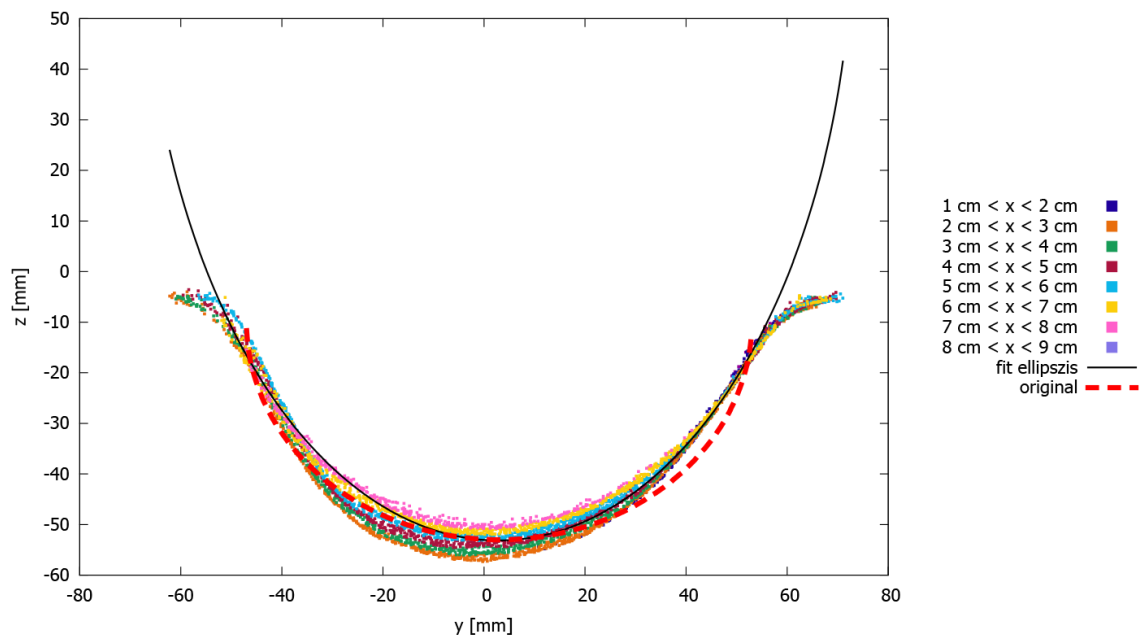


9. ábra: Az 5 és 6 cm közötti keresztmetszetre (világoskékkel) illesztett³⁰ cosinus hiperbolikus

Az ellipszis illesztése igazolta kezdeti elképzelésünket, miszerint az ellipszis és a cosinus hiperbolikus íve a perem közelében fog a legjobban eltérni³¹. A modellfelület görbületére már csak olyan ellipszis illeszthető, aminek a kistengelye párhuzamos a kenu peremeinek síkjával, míg az eredeti formánknál az ellipszis nagytengelye töltötte be ezt a szerepet.

³⁰ A legkisebb négyzetek módszerével illesztett függvények

³¹ Ez, ahogy már korábban említettük a kenuk stabilitását befolyásolja.



10. ábra: Az 5 és 6 cm közötti keresztmetszetre (világoskékkel) illesztett ellipszis és a kiinduló ellipszis

cosinus hiperbolicus	$f(y) = b + c \left(\cosh \frac{y-d}{a} - 1 \right) = (b-c) + c \cosh \frac{y-d}{a}$ $a = 28.6 \pm 1.2, b = -52.87 \pm 0.13, c = 18.9 \pm 2.0, d = 2.87 \pm 0.07$
ellipszis	$f(y) = b + c \sqrt{1 - \frac{(y-d)^2}{a^2}}$ <p>féltengelyek: $a = 70.2 \pm 2.4, c = -124 \pm 10,$ középpont: $d = 2.82 \pm 0.07, b = 71 \pm 10$</p>

10. táblázat: Az illesztett függvények és paramétereik

A gipszes³² modellnél a képlékeny állapotú anyag felhordását és viselkedését vizsgáltuk. A tavaszi versenyre való készüléskor is szembesültünk azzal, hogy minél magasabb a konzisztenciája egy keveréknek, annál kevésbé fog beletapadni az üvegszövet hálóra, ezért a hálót közvetlenül a műanyag fóliába fektettük. A gipszet kikevertük, majd kézzel felhordtuk a hálóra. A minta jól demonstrálta, hogy képlékenyebb anyaggal akár a zsaluba magába is bedolgozhatjuk a betont, mert a zsalu alaktartást biztosított és a képlékeny keverék átjutott az üvegszövet háló lyukméretén. Igaz, ennél a módszernél nehezebb lesz kontrollálni a beton vastagságát.

Számítógéppel segített szimulációkat tekintve a Rhino-Kangaroo, illetve a kenu alakját a Rhino-Vault kiegészítőjével tudnánk könnyen modellezni. Későbbi formakereséssel összekapcsolva Grasshopperrel tudjuk jól alakíthatóvá tenni (parametrikus forma

³² Gyorskötő modellgipszet használtunk.

programozása). A Rhino modellt pedig CNC pályakészítő segítségével valósíthatjuk meg kézzel fogható zsaluzati mintává.

Összefoglalás

A kísérleti eredmények összegzéseképpen elmondhatjuk, hogy a választott anyag a tavaszi verseny zsaluzatához alkalmazkodott, míg a kísérleti lógatott ponyvazsaluzatunkhoz nem egészen tökéletes a bedolgozhatóság minőségét és az utólagos javításokat tekintve. Az anyag súlyát és vastagságát vizsgálva a modelleken, megállapítottuk, hogy a várt minőségben teljesített: könnyű, vékony falvastagságú és kellő ideig bedolgozható maradt. A számított szabásminta felhasználása pontos formát eredményezett, amit a zsalu biztosított a modellkeneknek, ugyanakkor a kiszabott erősítő üvegszövetháló is jól lekövette. Az anyag problémáinak egy részét³³ okozhatta a gépi keverés hiánya. A végleges, versenyre készülő kenuk anyagát mindig géppel keverjük be, így azoknál ez nem okoz problémát.

A zsaluzási módszer az 1:5-ös léptékben könnyű kivitelezésű és jó formájú kenuhoz vezetett, időigénye csak néhány százaléka az eddig alkalmazott technikának. A felületi minősége megfelelő konzisztenciájú keverék esetén pedig ugyanolyan jó minőségű lesz, mint a tavaszi versenyre készült kenué. Szilárdulási sebessége ugyanakkora az azonos falvastagság miatt, falvastagságát azonban nehezebb lesz kontroll alatt tartani a mozgékony zsalu miatt. A korábbi anyagköltséget szintén csökkenteni tudjuk, hiszen csak az 1:1-es felülnézeti forma körvonalait kell fixálni, illetve a belógatott műanyag fóliát kell biztosítani. Problémát okozhat majd a fólia csatlakoztatása, illetve az orr és a tat részén kialakuló függőleges él varrása. A műanyag fólia teherbírását is vizsgálni kell majd, hogy a teljes kenu súlyát nedvesen elbírja.

További kísérleti lehetőségnek tekintjük, hogy a szúnyoghálót zsaluként a legkülső rétegnek alkalmazva a nagyobb lyukméretű hálót és a betont védi, illetve nagyobb szakítószilárdsággal rendelkezik, mint a műanyag fólia, de ekkor számítani kell a falvastagság megnövekedésével járó többletsúlyra. A tavaszi versenyre szeretnénk még eddig nem használt hálókat, szöveteket kipróbálni, illetve a betonkeveréket fejleszteni, hogy minél jobban alkalmazkodjon a ponyvazsaluhoz.

³³ Az üvegszövethálóba való betapadásnál, és a bedolgozásnál okozhat ez gondot. Illetve kézzel kevertük be az összes mintánkat, ezért nem olyan egyenletesen oszlottak el az alkotói.

Köszönetnyilvánítás

A versenyen való részvételért és a konzulensek áldozatos munkájáért hálás köszönet a Szilárdságtani és Tartószerkezeti tanszék munkatársainak, Dr. Hegyi Dezsőnek, Dr. Sajtos Istvánnak és Gáspár Orsolyának, akik mindvégig figyelemmel kísérték és irányították a munkánkat.

A Czakó Adolf Laboratóriumban rendelkezésünkre bocsátott segítségükért hálásak vagyunk Juhász Károly Péternek és Vető Dánielnek, akik a próbatestek törését irányították, illetve Halmos Krisztiánnak, aki a lézerszkenneres felvételt készítette számunkra. A laborban állandó rendelkezésünkre állt, és gyakorlatias ötleteivel rengeteget segített Sebestyén Ottó, akitől sokat tanulhattunk.

Ezen kívül a kenu elkészítésében, illetve az anyagok rendelkezésre bocsátásáért köszönettel tartozunk a gyáraknak. A cementet a LAFARGE Cement Magyarország Kft. szolgáltatta, az adalékanyagokat pedig a York bánya. A keverőgépet a Fiberguru Kft. biztosította. A kísérletekhez használt ZWICK/ROELL Z150 típusú univerzális anyagvizsgáló gépet a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 pályázat biztosította a laborban számunkra.

Forrás- és irodalomjegyzék

Felhasznált források

MSZ EN 206:2014 szabvány

Felhasznált irodalom

- BAL: B. A. LAMBERTON: Fabric forms for concrete, In: *Concrete International*, December 1989, p. 58-67.
- HD 2006/1: D. HEGYI, I. SAJTOS, GY. GEISZTER, K. HINCZ: Eight-node quadrilateral double-curved surface element for membrane analysis, In: *Computers and structures*, Elsevier, December 2006, vol. 84., no. 31-32., p. 2151-2158.
- HD 2006/2: HEGYI DEZSŐ: Ponyvaszerkezetek és ponyvaanyag nemlineáris vizsgálata numerikus és kísérleti módszerekkel, doktori értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építésmérnöki kar, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, 2006
- JJO: J. J. ORR, A. P. DARBY, T. J. IBELL, M. C. EVERNDEN, M. OTLET: Concrete structures using fabric formwork, In: *The Structural Engineer*, 19 April 2011, vol. 89., no. 8., p. 20-26.
- MW 2003: MARK WEST: Fabric-formed concrete members, In: *Concrete international*, October 2003, p. 55-60.
- MW 2004: MARK WEST: Prestressed fabric formwork for precast concrete panels, In: *Concrete international*, April 2004, vol. 26., no. 4., p. 60-62.
- OSU 200: Oklahoma State University: 2000 Concrete Canoe Team, 2000
<http://canoe.slc.engr.wisc.edu/designpapers.html> [2015.04.22.]
- RPS: ROBERT P. SCHMITZ, P.E.: Fabric forms for architectural concrete, In: *Concrete plant international*, June/July 2010, no. 3., p. 1-8.
- TDK 2013: CSAPÓ ANNA VIKTÓRIA, JÁNOSSY DÓRA ANNA, SALÁT ZSÓFIA: Betonkenu két kézzel, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, 2013
- TDK 2014: KULIK BENEDEK: Kenu porból és vízből, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, 2014
- VWB: D. VEENENDAAL, M. WEST, P. BLOCK: History and overview of fabric formwork using fabrics for concrete casting In: *Structural Concrete*, Berlin: Ernst & Sohn, 2011, vol. 12., no. 3., p. 164-177.

Felhasznált hivatkozások

<http://www.sasovits.hu/cnc/irodalom/4594fc87222fa-BETON-.pdf> [2015.08.15.]

<http://www.betonkenu.hu/> [2015.04.10.]

<http://www.betonkanu-regatta.de/historie-sieger/archiv/limburg-lahn-1986/> [2015.09.15.]

www.betonoupus.hu [2015.05.25.]

http://www.uah.edu/student_life/organizations/ASCE/Articles/YoungHistory/Youngarticletext.htm [2015.09.15.]

<http://umanitoba.ca/faculties/architecture/facilities/cast.html> [2015.09.05.]

Felhasznált képek és ábrák

A dolgozat során felhasznált fényképek és ábrák saját készítésűek, kivéve:

1. ábra: D. VEENENDAAL, M. WEST, P. BLOCK: History and overview of fabric formwork using fabrics for concrete casting In: *Structural Concrete*, Berlin: Ernst & Sohn, 2011, vol. 12., no. 3., p. 175.