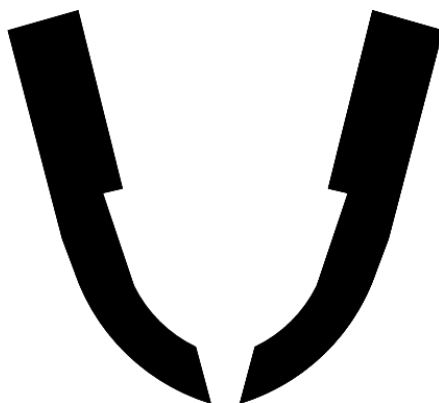




Betonkenu két kézzel



Szerzők:

Csapó Anna Viktória építészmérnök hallgató

Jánossy Dóra Anna építészmérnök hallgató

Salát Zsófia építészmérnök hallgató

Konzulensek:

Dr. Sajtos István egyetemi docens, tanszékvezető, BME Építészmérnöki Kar, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

Gáspár Orsolya PHD hallgató, BME Építészmérnöki Kar, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

Absztrakt

A BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék "Úsztatott aljzat" névre keresztelt csapatával részt vettünk a II. MAPEI Betonkenu Kupán. Dolgozatunkban bemutatjuk a hajótervezés, építés és versenyeztetés folyamatát, tanulságait. A csapat megalakításától a versenyig csupán egy hónap állt rendelkezésünkre, így folyamatos és gyors döntéshozásra volt szükség, és alapvetően a low-tech megoldásokat részesítettük előnyben. A dolgozatban részletesen foglalkozunk a hajó formájával, az alkalmazott beton összetételével és tulajdonságaival, az építési technológiával és a verseny tanulságaival. Mindezeket összevetve a más csapatok által korábban vagy ezen a versenyen készített kenukkal, előkészítjük a következő versenyre való felkészülést.

Tartalom

| | |
|---|----|
| 1. Bevezetés..... | 4 |
| 2. A ferrocement és a betonhajó építés története..... | 4 |
| 3. A verseny szabályai..... | 5 |
| 4. Tervezés | 6 |
| 4.1. Geometria és stabilitás..... | 6 |
| Bemerülési mélység | 6 |
| Anyag | 6 |
| Hossz- és keresztirányú stabilitás..... | 7 |
| Súrlódási és nyomási ellenállás..... | 7 |
| Minimális súly..... | 8 |
| Orr- és farkialakítás | 8 |
| Merevítő bordák kialakítása | 8 |
| 4.2. Betonrecept..... | 9 |
| 5. Technológia és kivitelezés | 12 |
| 5.1. Zsaluzat típusa | 12 |
| 5.2. Zsaluzat anyaga és kialakítása..... | 13 |
| 5.1. A beton zsaluzattól való elválasztása | 14 |
| 5.2. A „vasalás” kiválasztása..... | 15 |
| 5.3. Hossz- és keresztbordák kialakítása | 16 |
| 5.4. Betonozás..... | 16 |
| 5.5. Utókezelés, összekötő bordák betonozása..... | 17 |
| 6. Összegzés | 18 |
| 7. Köszönetnyilvánítás | 18 |
| 8. Források..... | 19 |

1. Bevezetés

2013 tavaszán a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszékének felhívására részt vettünk a hazánkban második alkalommal megrendezésre kelülő II. MAPEI Betonkenu Kupán.

Az „Úsztatott aljzat” névre keresztelt csapat tagjai (1. kép) Ábrahám Tamás, Csapó Anna Viktória, Dobos Dénes, Fehérvári Tekla, Jánossy Dóra, Kalmár Bence, Kiss Benedek, Muzsnai Zsófia, Nagy Tamás Bajnok, Salát Zsófia, Vass Lili, Várszegi Zsolt és Vizi Kata Veronika voltak, tanáraink dr. Sajtos István, Gáspár Orsolya (Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék) és Gyulovics István (Lakóépülettervezési Tanszék). A munka a Tanszék laborjában zajlott.



1. kép: Az „Úsztatott aljzat” csapat a versenyen

Mivel csapatunk csupán bő egy hónappal a verseny napja előtt alakult, a tervezési és kivitelezési munkálatok lényegi részére összesen 2 hét állt rendelkezésre. Ez a rövid idő gyors döntések meghozatalára sarkallta a csapatot, és alapvetően az egyszerűbb, könnyebben megvalósítható megoldásokat preferáltuk.

A dolgozatban egy rövid történeti áttekintőt követően, amellyel, hogy bemutatjuk a kenu tervezésének és kivitelezésének folyamatát, vázoljuk a betonkenu építés problémaköreit, a felmerülő kérdéseket és azokra adható lehetséges válaszokat. A dolgozattal célunk a jövő évi betonkenu versenyre való előkészületek megkezdése.

A verseny után a betonkenu, melynek adatai alább olvashatók, a BME kertjében az Odoo terasznán került kiállításra (2. kép).

- Súly: **77 kg**
- Falvastagság: **~5 mm**
- Hossz: **420 cm**
- Szélesség: **70 cm**
- Versenyzők száma: **2 (3)**
- Sebesség: határ a csillagos ég



2. kép: A kiállított betonkenu

2. A ferrocement és a betonhajó építés története

Ferrocementnek a portland cement kötőanyagú, homok adalékanyagú, acélháló erősítésű vékony (5-30 mm-es) betonszerkezeteket nevezik. Ezt a szerkezetet az 1800-as évek óta használják a hajóépítésben [4]. Az első acélháló erősítésű ferrocement hajót a francia Joseph Louis Lambot készítette 1848-ban, amivel ma a Brignoles Museum tárházában

találkozhatunk. 1887-ben készült el egy holland betonhajó Joseph Monier által, mely 1967-ig az amszterdami állatkertben használatban volt.

Az 1890-es években az olasz Carlo Gabellini beton uszályt és kis beton hajókat épített. 1910 körül az Egyesült Királyságban is több kisméretű betonhajó épült. 1917-ben N.K. Fougner megépítette az első, 25,6 m-es beton óceánjárót Norvégiában. Az I. világháború idején az USA 12, a II. világháborúban pedig már 24 betonhajót építtetett.

Hazánkban 1913-ban Vajda Béla vasbeton hajógyárat létesített a soroksári Duna-ágban, ami később a gazdasági válság miatt tönkrement [9].



3.kép: Az 1971-es betonkenu verseny Kickapoo-ban [2]



4. kép: National Concrete Canoe Competition, 2010, California [2]

Ma kis hajókat, jachtokat készítenek betonból. Hollandiában például rengeteg úszóház, lakóhajó épül beton dobozzal a vízben.

Maga a betonkenu verseny az Amerikai Egyesült Államokból indult el az 1960-as években (3. kép), majd vált egyre népszerűbbé. Az USA-ban 1988-tól, Kanadában pedig 1995-től rendeztek évenként országos versenyeket (4. kép).

A 80-as években Európába is eljutott a betonkenu verseny, Németországban 1986-tól, Svédországban 1981-től évenként országos bajnokságokat tartanak. [3]

Magyarországon tavaly, 2012-ben indult útjára a Magyar Betonkenu Kupa.

Fontos megemlíteni, hogy hajóépítésen kívül a ferrocementet rengeteg más, egyéb területen is felhasználják. Épületek készítésére is igen jól alkalmazható, hisz az időjárás hatásainak, viharoknak, tűznek sokkal jobban ellenáll a megszokott anyagoknál. Nervi használt ferrocementet az épületeihez, mint bennmaradó zsaluzatot, de épített ferrocement raktárt is. Az 1970-es, 80-as években az ENSZ és az UNESCO szervezetek több projektjük keretein belül ebből az anyagból építettek [5]. Afrikában több helyen például ivóvíztartályokat készítettek ferrocementből, ezzel javítva az életminőséget. Ennek hála tisztább, egészségesebb vízhez jutnak a helyi lakosok. A kinti homok és kavics alkotta utakat is ezzel tették egyenletessé, és nagy teherbírásúvá. Manapság pedig a keleti országokban, szigeteken igen elterjedtek a ferrocementből készült halászflokkák használata, mindennapi életük szükségleteként.

3. A verseny szabályai

A Betonkenu verseny célja többek között a műszaki egyetemisták és a már befutott cégek összehozása, hiszen egyetemek, cement- és betongyárak, valamint építőipari cégek csapatai jelentkezhetnek. A csapattagoknak maguknak kell megtervezni és megépíteni a hajót, az ő feladatuk a prezentáció elkészítése és megtartása, valamint a futamon is nekik kell hajtani a kenut. A futam távja 600 m és minimum 2 futam kerül megrendezésre.

A versenyszabályzat [1] jelen dolgozat szempontjából fontos pontjai a következők voltak:

- A betonkenu hossza 400-600 cm, szélessége pedig 60-100 cm közé kell, hogy essen.

- A hajó elkészítéséhez bármilyen adalékanyag felhasználható.
- A betonkenu betonjához felhasznált cementnek meg kell felelnie az EN 197-1:2000 európai szabványnak. A minimális cementtartalom 250 kg/m^3 legyen.
- Bármilyen adalékszer felhasználható.
- A cement kiegészítő anyagok, pl.: granulált kohósalak, pernye, puccolán (trassz), őrölt mészkő, mikroszilika, metakaolin is megengedettek.
- A betonkenu megépítéséhez bármilyen anyagból készült hálót, szövetet, betétet lehet használni, azonban a betonkenu tilos merev vázra építeni.
- A kenu összefüggő vízzáró anyagot/lemez/réteget nem tartalmazhat. Fontos, hogy a betonkenu kívül-belül beton borítsa.
- Ajánlott, hogy a hajó borulás után se süllyedjen el, hanem lebegjen. Ehhez zárt cellás habokat célszerű használni.

A zsűri pontozásának szempontjai az alábbiak voltak:

- A betonkenu tervezése, ötletessége és kivitelezése
- A betonkenu megvalósításáról készült prezentáció
- A csapatnak a versenytávokon elért helyezése

4. Tervezés

4.1. Geometria és stabilitás [8]

A stabilitásnak és a gyorsaságnak alapvetően egymással ellentétes feltételei vannak, melyeket ebben a fejezetben részletezünk. Ezek optimalizálása a cél a kenu tervezése során. A csapatunkban nem volt evezős múlttal rendelkező tag, így a stabilitás kiemelt fontosságú volt, a versenyen a pontok nagy része azonban a futamok eredményéből származott, ezért minél gyorsabb hajót szeretnénk volna építeni.

Időhiány, és a tervezési szempontok összetettsége miatt már meglévő hajóforma használata mellett döntöttünk, azonban a következőkben sorra vesszük a tervezés szempontjait. Mi, a maximális stabilitás érdekében egy indián túrakenu geometriájából indultunk ki.

Bemerülési mélység

Arkhimédész törvénye szerint minden nyugvó folyadékba merülő testre akkora felhajtóerő hat, amekkora az általa kiszorított folyadék súlya. Ennél kell a hajó súlyának kevesebbnek lennie, így az alapfeladat a vízkiszorítási térfogat megtervezése volt. A vízbe merülő és a víz felszíne felett maradó részt az úszásvonal választja el, ezt kell megbecsülni a tervezés során.

A hajó függőleges stabilitása, azaz a merülés növekedése vagy csökkenése főleg a benne ülők súlyától függ, külső erők nem befolyásolják jelentősen. Emiatt előre kigondoltuk, hogy kik fognak evezni a versenyen, de végül három embert is elbír a kenu.

Anyag

A kenukat jellemzően fából vagy üvegszálás műanyag kompozitokból készítik. A választott kenu forma is ilyen anyagokhoz van tervezve.

A beton sűrűsége jellemzően nagyobb a fent említett anyagok sűrűségénél, ami ugyanolyan geometria esetén nagyobb bemerülési mélységet eredményez. Vagyis a túrakenu geometriájának használatakor is közelítő számítással ellenőriznünk kellett az úszásvonal helyzetét.

A betonkeverék bedolgozhatósága, az acél vagy műanyag háló erősítések vastagsága és rétegszáma illetve a készítés technológiája határozzák meg a kenu falvastagságát. Várhatóan a betonkenu falvastagsága nagyobb lesz egy műanyag hajónál, vagyis ez is súlynövekedést okoz. A csapatunk célkitűzése az 5 mm körüli falvastagság volt, amit sikerült is tartani. Összehasonlításképpen korábbi német versenyek falvastagságra vonatkozó statisztikai adatai láthatók az 1. táblázatban.

| vastagság | 1998 | 2000 | 2002 |
|-----------|------|------|------|
| < 3 mm | | | 19 |
| 3-6 mm | 33 | 21 | 30 |
| 6-10 mm | 37 | 43 | 25 |
| >10 mm | 30 | 36 | 26 |

1. táblázat: A jellemző falvastagságú kenuk darabszáma a német versenyen [6]

A hagyományos kenu anyagoktól eltérően a betonnak nincsen húzószilárdsága. Maga az acél- vagy műanyagháló erősítésű beton szerkezet fel tud venni húzást, de ez a beton nagymértékű berepedésével jár, ami a vízzáróság csökkenését jelenti. A hajótest úszása közben az úszásvonal alatti felületre az érintősíkra merőleges hidrosztatikai nyomás hat. Amennyiben a felület konkáv, lesz olyan felületdarab ahol a külső hidrosztatikai nyomás alapvetően húzást okoz a keresztmetszetben. Ennek elkerülése érdekében tehát konvex felületű hajót érdemes tervezni. Olyan felületszakaszokon, ahol valamelyik irányban a görbület nulla, a hidrosztatikai nyomás hatására hajlítás keletkezik a keresztmetszetben. Amennyiben a felület kétszer görbült, a keresztmetszetben jellemzően inkább nyomás keletkezik, a felület héjként viselkedik. Tehát érdemes arra törekedni a betonkenu esetén, hogy a felület konvex és mindenhol kétszer görbült legyen.

A beton porózus anyag, aminek a kompozit anyagokkal ellentétben nagy a vízfelvétele. Tehát törekedni kell olyan betonkeverék készítésére, mely a lehető legnagyobb mértékben vízzáró.

Hossz- és keresztirányú stabilitás

A keresztirányú tengely körüli stabilitás elvesztése nem szokott előfordulni. Az általunk épített kenu kétszeresen szimmetrikus, vagyis a geometriai középpont és a súlypont egybeesik. Amennyiben a két evezős is a tengelyre szimmetrikusan helyezkedik el, a súlypont nem változik, tehát nem következik be elfordulás.

Sokkal inkább veszélyes a hosszirányú stabilitás elvesztése, amikor a hosszirány körül billen el a kenu. A gyakorlatban igazából ezt értjük a hajók stabilitásán. A billenés a belső tömegeloszlás megváltoztatása miatt történik, a súlypont áthelyeződésének következtében. A stabilitást növelhetjük az úszótest szélesítésével (alakstabilitás), amivel nő a kenu súlya is, illetve a rendszer súlypontjának lejjebb helyezésével (súlystabilitás). Ennek egyik módja, hogy térdelés helyett ülve evezünk, azonban ekkor kisebb erőt tudunk kifejteni. Jellemzően a versenykenuk keskenyek és térdelve eveznek benne, míg az általunk is megformált túrakenu széles, és ülve eveznek benne.

Súrlódási és nyomási ellenállás

A súrlódási ellenállás a nedvesített felület nagyságától és minőségétől függ, vagyis minél simább a felület, annál gyorsabb a hajó.

A nyomási ellenállás a haladás miatt kialakuló erők haladás irányú komponenseiből adódik. Ez a kenu karcsúsításával csökkenthető. Mivel a minimális szélesség adott volt, karcsúbb

hajótest a hajó hosszának növelésével érhető el. A hosszabb hajótest miatt nő a tömeg és a nedvesített felület, ami pedig a súrlódási ellenállást növeli.

Minimális súly

Ugyanolyan geometriájú, nagyobb tömegű hajó bemerülési mélysége is nagyobb, vagyis az előző pontban részletezett ellenállások is nagyobbak. Másrészt a hajó tehetetlensége egyenes arányban áll a tömegével. A versenyen az álló helyzetből való rajtolásnál ennek nagyon nagy szerepe volt.

Adott formájú kenu tömegét a szerkezet falvastagságának csökkentésével csökkenthetjük. A 2. táblázatban a korábbi német versenyeken indult kenuk tömegére vonatkozó statisztikák láthatók. Az általunk készített kenu össztömege 77 kg volt, fajlagos tömege pedig 18 kg/m.

| tömeg | 1998 | 2000 | 2002 |
|------------------------|------|------|------|
| Legkisebb tömeg, kg/m | 6 | 7 | 4 |
| Legkisebb tömeg, kg | 27 | 31 | 18 |
| Legnagyobb tömeg, kg/m | 53 | 69 | 95 |
| Legnagyobb tömeg, kg | 239 | 310 | 418 |

2. táblázat: A jellemző kenu testtömegek a német versenyeken [6]

Orr- és farkialakítás

A keresztmetszetek geometriáján kívül az orr és a far formája is befolyásolja a stabilitást és az ellenállást. Jellemző farkialakítások a kanalas illetve a cirkáló (1. ábra). A kanalasnál a vízvonalak ívesek, a cirkálónál pedig élesek. Cirkálófart alkalmaznak a tengeri hajóknál is, mert kedvezőbb a stabilitása. A betonkenunál is ilyenre alakítottuk.



1. ábra: Kanalas és cirkáló farkialakítás [8]

A korábban említett konkáv felület sok esetben az orr- és far résznél alakul ki úgy, hogy vízszintes metszetben a metszetszélnek inflexiója van.

Merevítő bordák kialakítása

Általános, hogy a kenuknál felső, körbefutó peremet alakítanak ki. Ennek egyik célja a perem megerősítése a különféle külső behatásokkal, ütésekkel szemben. Másrészt az oldalfal felületének egy általános pontjához képest más feszültségek alakulhatnak ki, héjszerkezet szerű működést feltételezve úgynevezett peremzavar léphet fel, így megerősítésre van szükség.

Különböző igénybevételek érik a hajót a vízen és a szárazföldön. Szárazföldön szállítás közben a két végén megfogva a kenu kéttámaszú tartóként a saját súlya alatt lehajlik. Ekkor fenn áll a felső, nyomott perem kihajlásának veszélye. A perem mentén kialakított borda

növeli a perem teherbírását, a peremeket összekötő két-két keresztborda (5. kép) pedig csökkenti a kihajlási hosszt. Mivel a peremek kifele ívesek, kihajolni is abban az irányban tudnak, vagyis az őket összekötő keresztborda húzott szerkezet. Ezzel magyarázható a keresztborda kis vastagsága.

A túrakenuk alján több hosszirányú bordát szoktak kialakítani. Ennek oka, hogy ezeknek a széles kenuknak az alja síkfelület, vagy csak keresztirányban görbült. A hosszirányú bordáknak tehát a hajlított felület merevségének növelésében van szerepe. Mi is kialakítottunk egy hosszirányú bordát a kenu szimmetria tengelye mentén.

Továbbá egy-egy hosszirányú bordát alakítottunk ki a kenu magasságának felében a két oldalon, és öt keresztirányú bordát a kenu hossza mentén egyenletesen elosztva. Ezek szerepe a felületen a lokális horpadások megakadályozása volt.



5. kép: Peremerősítés (polifoam csővel védve) és keresztborda

4.2. Betonrecept

A kenu építésénél olyan beton készítésére törekedtünk, mely kis testsűrűségű, nagy szilárdságú, nagymértékben vízzáró, kellően rugalmas és könnyen bedolgozható. A rendelkezésre álló rövid idő alatt egyszerűbb és összetettebb recepteket vizsgálva és összehasonlítva végül négyfélének a kipróbálása mellett döntöttünk. A receptek választásánál is alapvetően a low-tech vonalat igyekeztünk képviselni. A receptek a 3. táblázatban láthatók.

| 1. recept | v/c= 0,4 | | 2. recept | v/c= 0,3 | |
|-------------|----------------|---------------------|-------------|----------------|---------------------|
| | m [kg] | v [m ³] | | m [kg] | v [m ³] |
| cement | 620,00 | 0,27 | cement | 620,00 | 0,27 |
| víz | 248,00 | 0,25 | víz | 186,00 | 0,19 |
| homok | 796,02 | 0,48 | folyósító | 3,72 | 0,00 |
| szum | 1664,02 | 1,00 | homok | 892,91 | 0,54 |
| | | | szum | 1702,63 | 1,00 |

| 3. recept | v/c= 0,4 | | 4. recept | v/c= 0,3 | |
|-------------|----------------|---------------------|-------------|----------------|---------------------|
| | m [kg] | v [m ³] | | m [kg] | v [m ³] |
| cement | 620,00 | 0,27 | cement | 620,00 | 0,27 |
| víz | 248,00 | 0,25 | víz | 186,00 | 0,19 |
| mikro szál | 3,00 | | folyósító | 3,72 | 0,00 |
| homok | 796,02 | 0,48 | mikro szál | 3,00 | |
| szum | 1667,02 | 1,00 | homok | 892,91 | 0,54 |
| | | | szum | 1705,63 | 1,00 |

3. táblázat: A kipróbált négyféle betonrecept

Látható, hogy mind a négy keverék cementtartalma a hagyományos betonokéhoz képest viszonylag magas, a többi csapat által készített beton cementtartalmához képest (800 kg/m³) viszont alacsonynak mondható. A magas cementtartalommal biztosítható a nagyobb

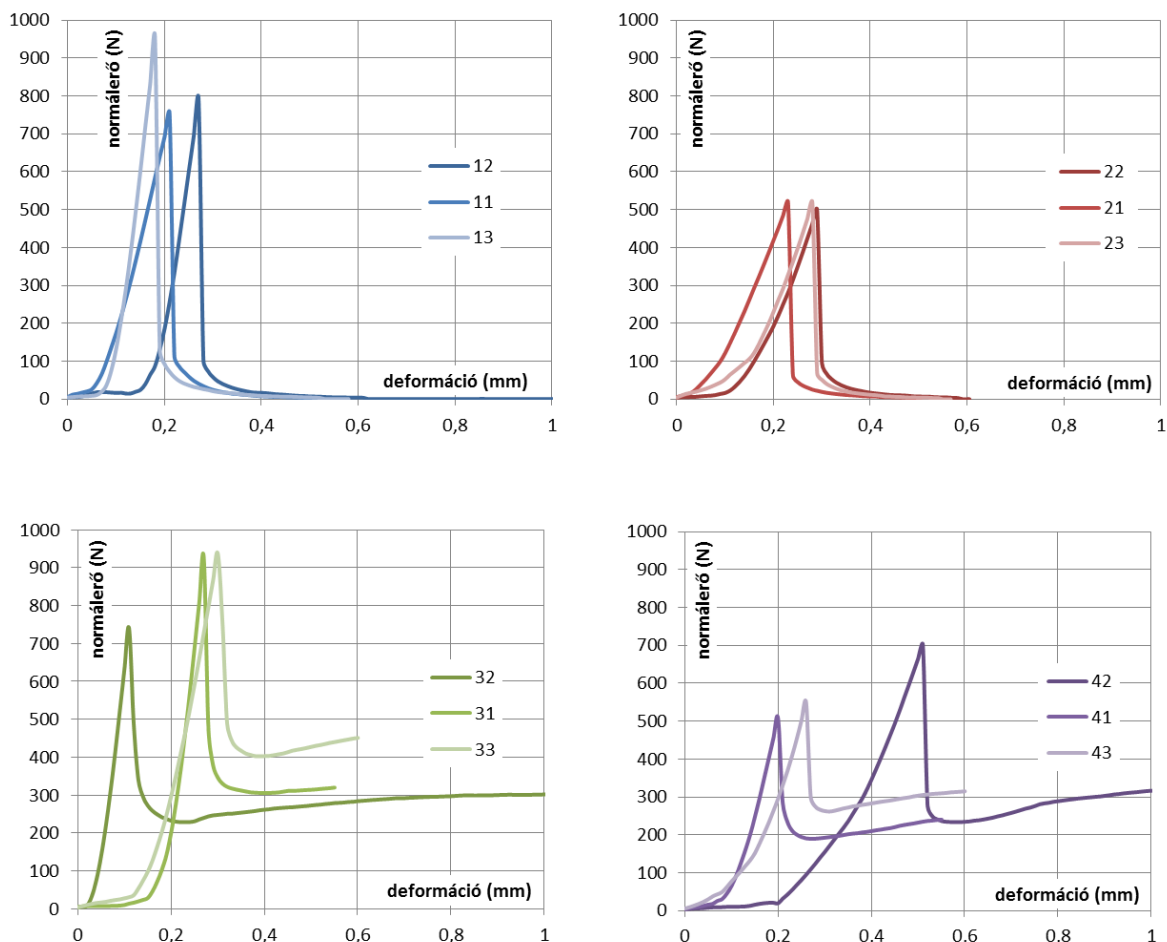
szilárdság és a vízzáróság. Az alkalmazott cement típusa CEMII-350 volt, testsűrűsége 2300 kg/m³.

Az 1. és 3. recept esetében a víz-cement tényező is magas annak érdekében, hogy a beton a bedolgozáshoz elég képlékeny legyen. A 2. és 4. keverék esetében a kisebb víz-cement tényezőt Plastol NAC folyósító hozzáadásával próbáltuk ellensúlyozni. A folyósító mennyiségét a cement tömegének 0,6 %-aként határoztuk meg.

Az 3. és 4. keverékbe a nem osztályozott bányahomok adalékanyag mellett Forta Net fibrillált mikroszál adalékanyag is került 3 kg/m³ adagolással.

Minden keverékből 3-3 szabványos méretű, 4×4×16 cm-es, habarcsvizsgálathoz használatos hasáb próbatest és 3-3 kb. 15×25 cm méretű 5 mm vastag sík lemez készült.

A szabvány méretű próbatesteket egy napos korukban hajlító és nyomó kísérlettel vizsgáltuk. A 2. ábrán láthatóak a három pontos hajlítási vizsgálatból származó erő-lehajlás diagramok.



2. ábra: Hajlítási vizsgálatból származó erő-elmozdulás diagramok

A kapott normálterő értékekből és a próbatest méreteit felhasználva kiszámíthatók az egyes betonok átlagos húzó-hajlító szilárdságai, ahogy az a 4. táblázatban látható.

| | l | W | $N_{max, \hat{a}tl}$ | $M_{max, \hat{a}tl}$ | σ_{max} |
|----------|------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | [mm] | [mm ³] | [N] | [Nmm] | [N/mm ²] |
| 1 | 160 | 10666,67 | 832,27 | 33290,87 | 3,12 |
| 2 | | | 512,24 | 20489,55 | 1,92 |
| 3 | | | 867,39 | 34695,52 | 3,25 |
| 4 | | | 585,94 | 23437,42 | 2,20 |

4. táblázat: A kísérlet eredményeiből számított húzó-hajlító szilárdság értékek

Látható, hogy a magasabb víz-cement tényezőjű, folyósító nélküli keverékek (1. és 3.) esetén a legnagyobb nyomóerő középértéke 850 kN körüli, ami több mint másfélszerese az alacsonyabb víz-cement tényezőjű, folyósítóval ellátott keverékekből (2. és 4.) készült próbatestek legnagyobb nyomóerő középértékének, ami 550 kN körüli volt. Ennek a várakozásainknak ellentmondó eredménynek az lehet az oka, hogy a folyósabb beton jobban bedolgozható és tömöríthető volt, mint a másik.

A szálerősítéses betonokra vonatkozó irányelvek alapján a betonban alkalmazva a mikroszálak statikai szerepe elhanyagolható, céljuk csupán a friss beton szilárdulási folyamatában kialakuló mikrorepedések meggátlása [7]. Ezért meglepő a hajlítási kísérlet eredménye, miszerint a mikroszál adalékanyagú betonok a törés után felkeményedtek. A 3-as keverék esetében a felkeményedő szakaszon a maximális normálerő 44%-a, a 4-es keverék esetén pedig az 51%-a a teherbírás. A 4. táblázatban pedig látható, hogy az azonos összetételű, mikroszál nélküli betonhoz képest a húzó-hajlító szilárdság is kis mértékben növekedett a mikroszálak használatakor.

[7]-ben ugyanezt a mikroszálakat C30-as kavicsbetonban 1 kg/m³ adagolással használták. Abban az esetben a felkeményedés nem volt tapasztalható, sőt, a húzó-hajlító szilárdság is csökkent a mikroszál nélküli betonhoz képest.

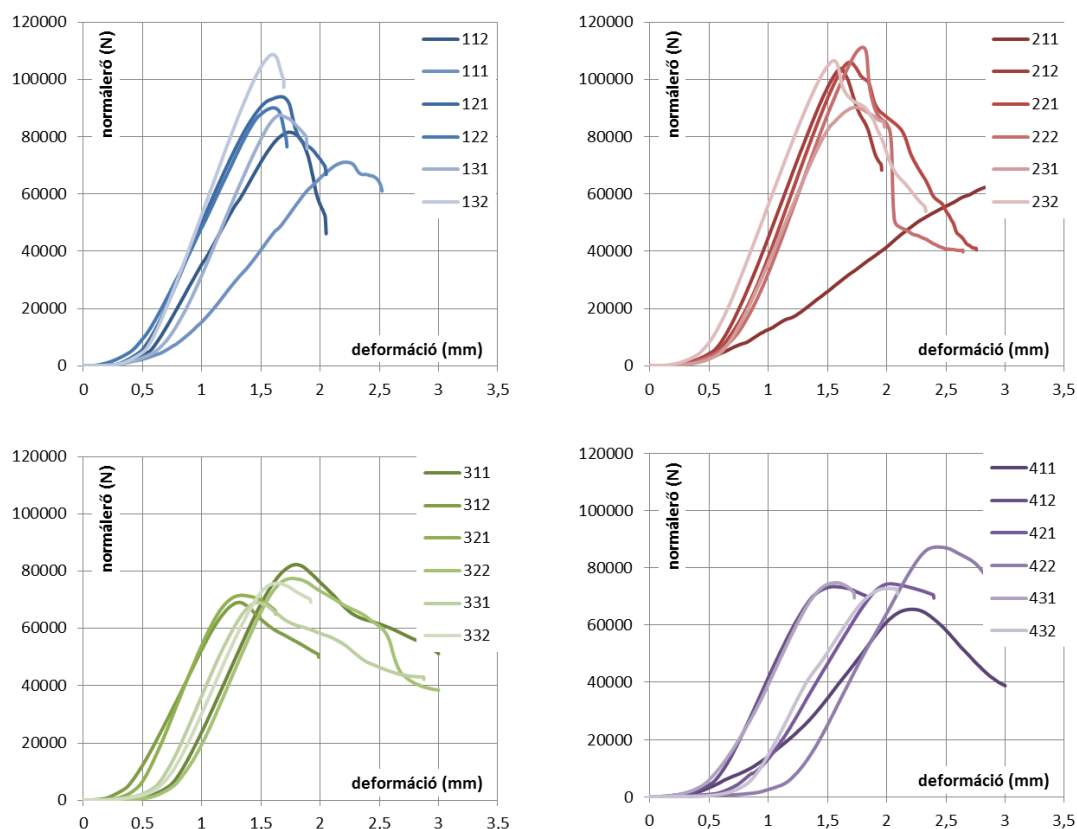
Az általunk használt keverék azonban valójában nem is beton, hanem cement volt, hiszen nem kavics, hanem 4 mm szemcseméretnél kisebb szemű homok az adalékanyaga. Ekkor a törési felületen nincsenek kavicsok, csak cement, így több szál tud dolgozni. Ezen kívül a habarcsához nagyobb mennyiségben is adagolható a mikroszál úgy, hogy annak a konzisztenciája a bedolgozáshoz még megfelelő legyen. A kavicsbetonban kevesebb a cementpép, így az kevesebb mikroszálakat tud felvenni. Vagyis úgy tűnik, hogy a mikroszálak magas adagolás esetén törés utáni felkeményedést és húzó-hajlító szilárdság növekedést is okozhatnak.



6. kép: Mikroszál adalékanyagú próbatest hajlítása a beton berepedése után

A 6. képen jól látható a beton berepedése utáni állapot a hajlítási kísérlet közben.

A 3. ábrán láthatóak a szabvány szerinti nyomókísérlet eredményei.



3. ábra: Nyomási vizsgálatból származó erő-elmozdulás diagramok

Megfigyelhető, hogy az első két, mikroszál nélküli keverék átlagos teherbírásának (~95000 N) csupán 78%-a a mikroszál adalékanyagú számú keverékek átlagos teherbírása (~73600 N). Ennek az lehet az oka, hogy bár a mikroszál nagyon vékony, de a betonban mégis puha anyagként csökkenti a nyomószilárdságot. A kenu esetében a nyomószilárdság nem volt fontos, míg a nagy húzó-hajlító szilárdság és a törés utáni duktilitás igen.

Érdekes megfigyelni, hogy mind a hajlítási, mind a nyomási kísérletek során a mikroszálás keverékek szórása nagyobb, mint a mikroszál nélkülieké. Ennek okát érdemes lenne vizsgálni.

A próbatestekkel végzett törési kísérletek tapasztalatai alapján a 3. és 4. betonrecept keverékét készítettük el, vagyis 0,4-es víz-cement tényezőjű, folyósítóval ellátott mikroszál erősítéses betont állítottunk elő, mely könnyen bedolgozhatóknak bizonyult.

5. Technológia és kivitelezés

5.1. Zsaluzat típusa

| | 1998 | 2000 | 2002 |
|--------------------|------|------|------|
| Belső zsaluzat | 5 | 8 | 5 |
| Külső zsaluzat | 25 | 28 | 30 |
| Kétoldali zsaluzat | 2 | 8 | 3 |

5. táblázat: A jellemző zsaluzat típusok darabszáma az német versenyeken [6]

Korábbi évek német versenyének statisztikái (5. táblázat) alapján a betonkenek készítésénél leggyakrabban külső oldali zsaluzatot készítettek, vagyis a kenu pozitívját formálták meg ehhez megfelelő anyagból. A beton állagától függően előfordulhat, hogy a kenu alja vastagabb lesz, mint az oldalfalak. A súlypont helyzenének szempontjából ez még előnyös is lehet. Nagy előnye ennek a módszernek, hogy a hajó külső felülete ekkor készíthető a lehető legsimábbra, amivel a súrlódási ellenállás csökkenthető. Természetesen esztétikai előnyei is vannak a zsaluzattal kialakított külső felületnek.

Belső oldali zsaluzat esetén elkészítik a kenu negatívját, amire kívülről kerül rá a betonréteg. Mi is emellett döntöttünk, mert ez tűnt a legegyszerűbben, és legolcsóbban kivitelezhető megoldásnak.

A kétoldali zsaluzatot alkalmazzák legritkábban. Ennek egyik oka, hogy a külső és belső zsaluzat elkészítése többletmunkával és többlet anyagfelhasználással is jár. Ilyenkor a betonozás öntéses technológiával készül, melynél különösen oda kell figyelni a beton konzisztenciájára, hiszen ha a beton kevésbé folyós, nehezen ellenőrizhető hogy mindenhol egyenletesen kitölti-e a zsaluzatot, túl folyós beton esetében pedig a szétosztályozódás veszélye áll fenn. A zsaluzatba öntött híg beton a zsaluzatra a hidrosztatikai nyomáshoz hasonló nyomást fejt ki, ami a zsaluzat falának horpadását okozhatja. A kétoldali zsaluzat használatának előnye, hogy a falvastagság pontosan szabályozható, illetve mind a külső, mind a belső oldal felülete sima lesz. Amellett, hogy ennek a legnehezebb a kivitelezése, várhatóan ez lesz a legpontosabb.

Az is egy járható út, ha a csapat először a kenu merevítését, drót vázát hozza létre, és erre zsaluzat nélkül hordja, tapasztja fel az előre gondosan megtervezett összetételű ferrocementet. Ekkor kapjuk a legkevésbé szép felületeket, hisz már maga a váz sem tökéletes, és a betont is kézi technológiával hordjuk fel. Nincs olyan oldal, ahol bármiféle támasztás körbevenné a betont.

5.2. Zsaluzat anyaga és kialakítása

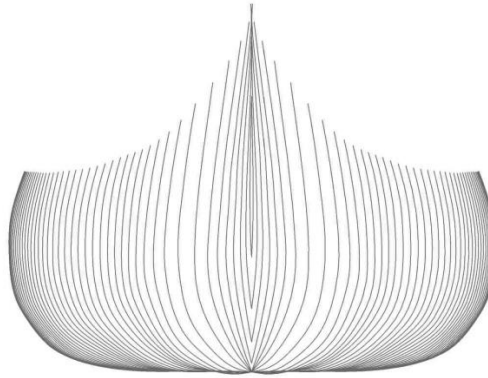
A zsaluzat anyagának kiválasztásánál fontos szempont, hogy abból a kenu kétszer görbült felülete kialakítható legyen, a zsaluzat problémamentesen eltávolítható legyen a betonról, és hogy az anyag könnyen formálható legyen.

Mivel mi már létező kenuforma mellett döntöttünk, felmerült, hogy egy túrakenut használjunk belső oldali zsaluzatként. Ez felvet némi geometriai problémát, hiszen ha a kenu falának felső része „visszagörbülő”, a zsaluzat egy az egyben nem emelhető ki a megkötött betonkenuból. A zsaluzatnak használt kenu hosszanti kettévágásával természetesen ez a probléma megoldható, ez azonban a zsaluzatnak használt kenu tönkremenetelét okozza. Így anyagi és szállítási problémák miatt ezt a megoldást elvetettük.

Készíthető a zsaluzat fából is, ahogy ezt a Kolozsvári Műszaki Egyetem csapatánál láttuk. A hajó negatívjának kifaragása meglehetősen idő- és pénzigényes feladat, de igen esztétikus a végeredmény.

Mi végül a zsaluzat keresztmetszeti szeletekből való összeállítása mellett döntöttünk.

A zsaluzat anyagának nyílt- és zárt cellás polisztirol habot választottunk. Mivel az EPS-nek nagyobb a vízfelvétele, problémát okozhat, hogy kötés közben elszívja a betonban lévő vizet. Az XPS ilyen szempontból jobb lett volna, de lényegesen drágább és kézi eszközökkel (csiszolás) nehezebben formálható, így a fart és az orrt leszámítva EPS-t használtunk.



4. ábra: A 84 kivágott metszet terve

Az EPS táblák vastagságának megfelelően 5 cm-enként készítettünk metszeteket az AutoCAD-ben elkészített modellről. Ezeket rajzoltuk át kézzel a táblákra majd vágtuk ki habvágó segítségével. Összesen 84 metszetet készítettünk. A puhább, könnyebben vágható, formázható EPS-ből készült el az a 74 metszet, melyek a kenu testét alkották, majd ezek összecsiszolásával alakítottuk ki a felületet.

Az orr és far részen, ahol a zsaluzat bennmaradó volt, 5-5 tábla XPS-t használtunk, mely sokkal masszívabb, kevésbé porló anyag, ennek következtében mind a formálása, mind a csiszolása nehezebb volt, mint a kenu testét alkotó EPS-nél.

A 7. képsoron a zsaluzat elkészítésének lépései láthatók.



7. képsor: Képek a zsaluzat elkészítéséről

5.1. A beton zsaluzattól való elválasztása

A zsaluzat anyagának kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy azt a beton megkötése után minél könnyebben, nyom nélkül el tudjuk távolítani. A kenu elkészítése előtt különböző elválasztó rétegekkel és felületkezelésekkel próbaöntéseket végeztünk (8. kép). Kipróbáltuk az EPS-re közvetlenül készített betont, a betonozás előtt az EPS zsaluzat olajjal való bekenését, illetve geotextília elválasztó réteg elhelyezését a beton és a zsaluzat közé. Mindegyik esetben sikeresen eltávolítottuk a zsaluzatot az egy napos betonról. Végül a

geotextília elválasztó réteget használtuk, mert az előre benedvesített szövet segíthet a beton nedvesen tartásában is. A kenu zsaluzatának eltávolításakor a kísérlettel ellentétben a geotextília nehezen, vagy egyáltalán nem volt eltávolítható, ami valószínűleg a beton korának volt köszönhető, hiszen azt nem egy naposan, hanem egy hetesen zsaluztuk ki.



8. kép: Próbaöntések a zsaluzattól való elválaszthatóság tesztelésére

5.2. A „vasalás” kiválasztása

A kenu betonozása előtt készített 15×25 cm-es síklemez próbatestekkel a különböző betonkeverékek bedolgozhatóságát teszteltük különböző „vasalásokkal” párosítva. Alapvetően kétféle erősítéssel próbálkoztunk: az egyik egy 35×35 mm raszterű „csirkeháló” (horganyzott acélháló), a másik pedig egy 5×5 mm raszterű műanyag dryvit háló volt.

Etalonként minden keverékből készítettünk egy-egy 5 mm vastag erősítés nélküli lemezt. Úgy döntöttünk, hogy csirkeháló mindenképp kerül majd a szerkezetbe, így a további két próbatest egyike egy réteg csirkehálóval (9. kép), a másik pedig két réteg műanyag háló közé helyezett csirkehálóval készült (10. kép).

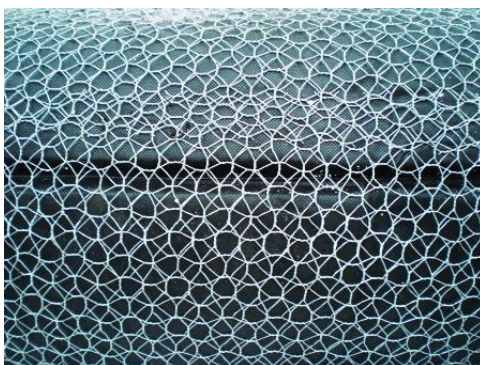


9. kép: A próbatest EPS zsaluzata a geotextília és a csirkeháló réteggel



10. kép: Próbatest készítése egy réteg csirkeháló és két réteg műanyag háló erősítéssel

A műanyag háló alkalmazását elvetettük, mert a beton nehezen volt bedolgozható rajta keresztül. Csirkehálóból egy kisebb, 15×15 mm-es lyukméretű választottunk, melyet a három rétegben borítottunk a zsaluzatra. Az elkészült vasalás látható 11. képen.



11. kép: Az elkészült zsaluzat (mögötte a középső hosszbordával)

5.3. Hossz- és keresztbordák kialakítása

Hosszirányban a kenu oldalába forrasztópákával bordát vágunk (12. kép). Az így keletkezett részbe 2 mm átmérőjű hosszvasalást tettünk.

Keresztirányú merevítés kialakítását polifoam rétegek segítették. A kenu szimmetriatengelyétől indulva minden 11. elem után betettünk egy, a zsaluzati metszet méreténél körben 1 cm-rel kisebb polifoam réteget. Ennek köszönhetően betonozáskor itt a polifoam vastagságával megegyező szélességű bordák alakultak ki. A polifoam rétegek másik fontos szerepe az volt, hogy a beton zsugorodását felvegyék, vagyis a száradáskor ne repedjen meg a kenu.

A bordák kitöltése, benne a beton tömörítése nehézkes volt, utólag azonban az egész szerkezet jól javítható volt, mert a hálózásnak köszönhetően jól hozzáköt a meglévő betonhoz a pótlás.



12. kép: Hosszborda kialakítása forrasztópákával

5.4. Betonozás

A zsaluzat megépítése és a megfelelő betonrecept kikísérletezése után (lásd 4.2 fejezet) következett a kenu betonozása. Ez a folyamat igényelte a legtöbb embert, mert egy ütemben készítettük el az egész hajótestet. A betont a 3 réteg csirkehálón keresztül kellett minél jobban betömöríteni a zsaluzaton. Külön figyelmet fordítottuk arra, hogy minél vékonyabb réteget hozzunk létre, semmiképpen sem hagyva felesleget. Fontos volt, hogy a beton eloszlása egyenletes legyen, illetve hogy a felület minél simább, szebb lehessen. A 13. képsoron látható a betonozás folyamata.



13. képsor: A betonozás részletei

5.5. Utókezelés, összekötő bordák betonozása

A hajótest betonozása után azt egy hétig naponta kétszer locsoltuk és nejlon fólia alatt tartottuk a kiszáradás elkerülése érdekében. Az utókezelés jó sikerült, mert nem keletkeztek repedések a hajó felületén.

A zsaluzat eltávolítása előtt a laborban működő daru segítségével a kenut megfordítottuk, ami az első próbája volt a szerkezet merevségének, az anyag szilárdságának. A kizsaluzásra egy héttel a betonozás után került sor.

Utolsó merevítésként még a kenu két falát is összekötöttük két keresztbordával. A csirkehálóból álló vasalását a meglévő háléhoz rögzítettük, majd alátámasztó zsaluzatra betonoztuk a két bordát.

Ezeket a folyamatokat mutatja be a 14. képsor.



14. képsor: Képek a zsaluzat eltávolításáról, az összekötő bordák betonozásáról és a kenu mozgatásáról

Végül a csapatnevet és a logót felfestettünk a kenu oldalára.

A verseny előtt pár nappal kipróbáltuk a hajót a Kopaszi-gátnál. A próba sikeres volt, nemhogy két, de három főt is elbírt.

6. Összegzés

A II. Mapei Betonkenu Kupa a ráckevei kastélynál került megrendezésre. 8 csapat indult, a futamokon 5.-ek lettünk (egy 3. és egy 4. hely után), összesítettben pedig 7. helyezést értünk el. A kenu „Szépbeton különdíjat” nyert.

Kijelenthetjük, hogy a kenu jól sikerült és úszott a vízen (15. kép), és más csapatokkal ellentétben mi borulás nélkül értünk célba.

Nagyon jó hangulatban telt a verseny napja, és az egész felkészülés is. Jól látható eredménye lett a sok munkának, melyet a vizsgaidőszakban végeztünk.

A kenu készítése során szerzett tapasztalatok és a dolgozatban összeszedett gondolatok határozottan elősegítik, és előkészítik a következő kenu tervezését. Jövőre ismét ott leszünk a versenyen!



15. kép: Vízen a betonkenu

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönjük **dr. Simongáti Győző** Tanár Úrnak a Repülőgépek és Hajók Tanszékéről a kenu formájával és egyensúlyával kapcsolatos összefoglalóját, **Sebestyén Ottónak** a laborban végzett minden munkánkhoz nyújtott segítségét, **Juhász Károlynak** a betonösszetétellel és a mikroszálak alkalmazásával kapcsolatos tanácsait, a **Swietelsky Kft**-nek kenu szállítását, a **Lágymányosi Spari Sport Egyesületnek** az evezőket, az **Építészeti Hallgatói Képviseletnek** és a **Szitakörnek** a pólók támogatását, a bevezetésben felsorolt **konzulenseinknek** a szakmai segítségét és biztatását valamint minden lelkes **csapattagunknak** a részvételét.

8. Források

- [1] <http://www.betonkenu.hu/versenykiiras/> (2013.10.25.)
- [2] http://www.uah.edu/student_life/organizations/ASCE/Articles/YoungHistory/Youngarticletext.htm (2013.10.25.)
- [3] <http://www.asce.org/concretetecanoe/basicsidebar.aspx?id=25769805983> (2013.10.25.)
- [4] <http://www.concreteships.org/history/> (2013.10.23.)
- [5] http://unesco-nigeriatve.org/download/instructional_materials/nd%20civil%20engineeing%20technology/Semesters/Semester%202/CEC%20104%20Science%20and%20properties%20of%20materials-Final-P/cec%20104%20Theory.pdf pp86-89 (2013.10.25.)
- [6] Edwin Bayer: Wettkampfkanus – konstruktiv und technisch anspruchsvoll. beton 2002. pp2-6 52 (2002) H. 10, S. 478/489
- [7] Juhász K. P. – Sajtos I.: A nagy törés – laborbemutató, 2012
- [8] Kovács A. – Benedek Z.: A hajók elmélete. Tankönyvkiadó, Budapest 1988
- [9] Michailich Gy. – Haviár Gy.: A vasbetonépítés kezdete és első létesítményei Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1966