

# VASBETON ÚSZÓMŰ MEGVALÓSÍTHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ÉS TERVEZÉSI METODIKÁJA



Dr. Hunyadi Máttyás Árpád – Dr. Laczák Lili Eszter – Dr. Dunai László – Dr. Kollár László Péter

*Megvalósíthatósági tanulmányt készítettünk egy folyóban létesítendő, vasbeton szerkezetű úszóműre és kidolgoztuk a tervezéshez szükséges metodikát. Megállapítottuk, hogy hosszú (~50 m-nél nagyobb) úszómű esetén az igénybevételek rohamosan növekszenek és – a repedéstágassági korlátozások miatt – irreálisan nagy méretek és vasalások adódnak. Ilyen esetekben az úszóművet (részlegesen) meg kell szakítani. Az építési pontatlanságokból és az egyenlőtlen hőmérsékletváltozásból keletkező igénybevételek – jó közelítéssel – az úszómű hosszának negyedik hatványával, a parciális teherből keletkezők pedig az úszómű hosszának négyzetével arányosak, egy folyóra telepített úszómű esetén a hullámszóból keletkező igénybevételek kicsik.*

**Kulcsszavak:** vasbeton úszómű, megvalósíthatóság, vízzáróság, úszóképesség, tervezési metodika

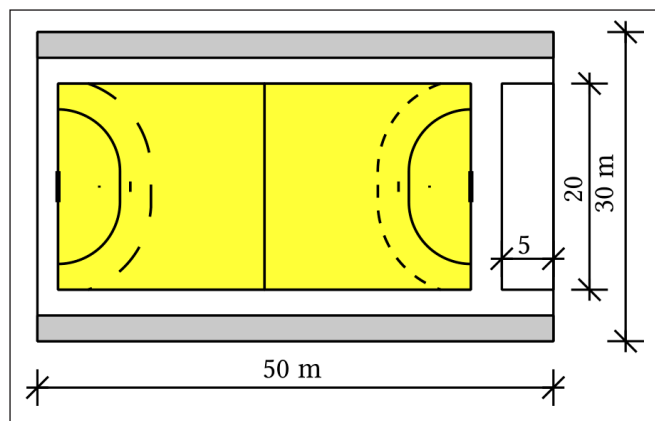
## 1. BEVEZETÉS

A BME-et 2014 tavaszán kérték fel, hogy közreműködjön egy körülbelül 30×50 m-es dunai vasbeton úszómű kialakításában, felül vasbeton síkfelülettel, amelyen elhelyezésre kerülhet egy kézilabdapálya, egy földszintes épület és két oldalon egy-egy lelátó (1. ábra). A megbízó későbbi kérésére a fejlesztés témája bővült: a feladat egy sokféle célra használható úszómű koncepcionális fejlesztése lett, amely kiterjedt egy általános megvalósíthatósági vizsgálat elkészítésére és a tervezési metodológia kidolgozására is (Dunai és társai, 2015).

A szerkezet fejlesztésében kezdetektől részt vett a BME öt tanszéke: Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék, Hidak és Szerkezetek Tanszék, Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, valamint az építészeti kialakításban a Finta Stúdió. Jelen cikkben csak a Hidak és Szerkezetek Tanszéken folytatott kutatások legfontosabb eredményeit ismertetjük, de hangsúlyozzuk, hogy a kialakítás az összes közreműködő és a megrendelő folyamatos együttgondolkodásának eredményeképpen jött létre.

A fejlesztésben adott volt, hogy az úszómű szerkezete előregyártott, feszítetlen vasbeton, és az is, hogy a megbízó

1. ábra: Az úszómű sematikus alaprajza sportpálya befogadására



az úszóműben kialakuló teret is hasznosítani kívánja. Mivel a telepítés helyszíne a pesti Duna szakasz, az úszómű maximális merülése nem haladhatja meg a 2,8-3,0 m-t.

## 2. AZ ÚSZÓMŰ KIALAKÍTÁSA – ALKALMAZOTT ELŐÍRÁSOK

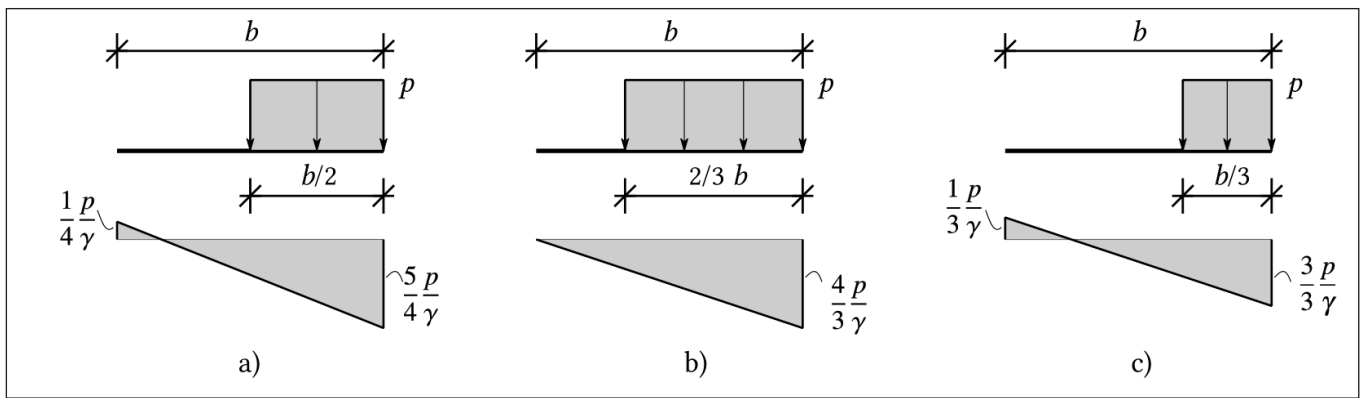
A koncepcionális tervezés első lépéseként tisztázni kellett az objektum úszóképessége szerinti terhelhetőségét, illetve magasságát. Azt is el kellett dönteni, hogy milyen előírások szerint méretezzünk. Egyszerűen fogalmazva, hogy a szerkezetet „hajóként” vagy „épületként” kell-e megtervezni (13/2001. (IV.10.) KöViM rendelet; Timmers, 2013; Tupper, 2004). A válasz a hatóságokkal való egyeztetés alapján dőlt el az előbbi javára, de érdemes körüljárni azt a kérdést, hogy mit jelentene az építőipari terhek szigorú alkalmazása. Előrebocsátjuk, hogy Archimédesz törvénye szerint 1 kN/m<sup>2</sup> teher körülbelül 100 mm merülést okoz.

Egy, a tervezetthez hasonló méretű úszómű falvastagsága kb. 200 mm, induljunk ki durván ebből a vastagságból, azaz 150-250 mm-ből. A teljes úszómű alaprajzra fajlagosított négyzetméter súlya (két födém és falak) így kb. 11-14,5 kN/m<sup>2</sup>. A burkolatok, a könnyű felszerkezet figyelembeveendő súlya megbízói döntés, várhatóan mintegy 3-8 kN/m<sup>2</sup>. Az önsúly biztonsági tényezője 1,35.

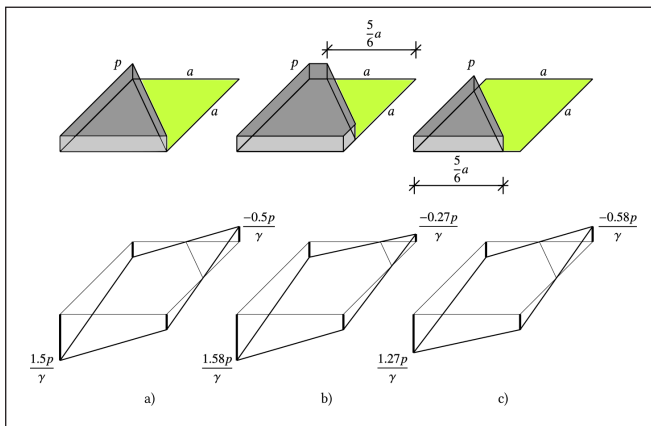
A sportlétesítményekre vonatkozó építőipari hasznos teher 5 kN/m<sup>2</sup>, a biztonsági tényező 1,5. Abban az esetben, ha a hasznos teher féloldalasan helyezkedik el (2. ábra) a maximális benyomódás 1 kN/m<sup>2</sup> teherből 133 mm, sarokteher esetében pedig (3. ábra) 158 mm.

A fentiek figyelembevételével annak biztosításához, hogy az úszómű ne kerüljön víz alá (az önsúly féloldalas elhelyezkedését, a szélteher billentő hatását, a rögzítés külpontosságát és az ún. lékesedést elhanyagolva) a szükséges úszómű magasság

$$1,35 \times (13 - 22,5) \times 100 + 1,5 \times 5 \times 158 = 2940 - 4223 \text{ mm.}$$



2. ábra: Az úszómű alapjának eltolódása parciális tehernevekmény hatására



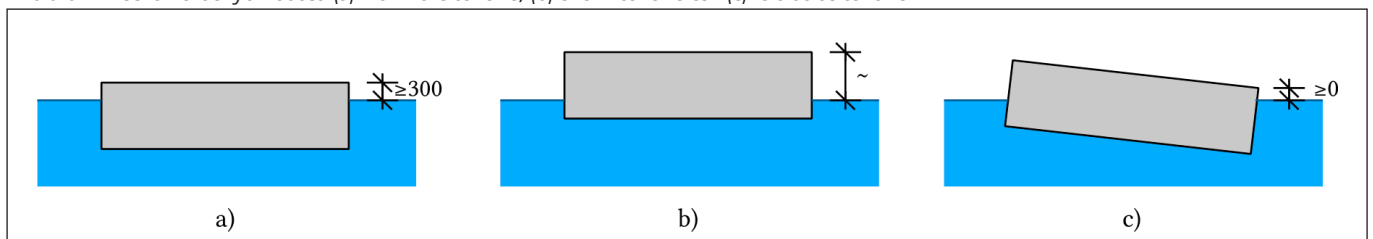
3. ábra: Sarokteher következtében bekövetkező billenés

(Megjegyzés: A lékesedés az úszómű egy cellájának elárasztása, amelynek hatására az úszómű megbillenhet.) Ebből az következik, hogy a minimális felszerkezeti önsúlyt és a fent elhanyagolt billentő hatásokat is figyelembe véve az úszómű a 3 m-es maximális magassággal nem valósítható meg. Meg kell jegyezzük, hogy a fenti terhek egy úszómű esetében véleményünk szerint nem realisztikusak: pl. az önsúly 1,35-ös növelése irreális a tervezett előregyártási technológia mellett és – a merülés mérésével – az önsúly igen egyszerűen ellenőrizhető is.

## 2.1. Előírások

Ahogy írtuk a hatóságokkal való egyeztetés alapján a figyelembe veendő előírás a 13/2001. (IV.10.) KöViM rendelet, amely nem vesz figyelembe a terheknél biztonsági tényezőket. A hajóterhet (az építőmérnök számára a „hasznos terhet”) úgy kell figyelembe venni, hogy totális teher esetén 3,75 fő van négyzetméterenként (azaz a teher 2,81 kN/m<sup>2</sup>), utastömörülés esetén (parciális teher) viszont 6 főt (azaz 4,5 kN/m<sup>2</sup>) kell számításba venni, de az összes teher ekkor sem haladhatja meg a teljes felületen négyzetméterenként a 3,75 ember terhét. Azaz a maximális intenzitású teherrel legfeljebb a felület 3,75/6=62,5%-a lehet leterhelve. A rendelet szerint az úszóműnek eleget kell tennie az alábbi két süllyedési kritériumnak (4. ábra):

4. ábra: Az úszómű benyomódása (a) maximális teherre, (b) üzemi teherre és (c) félololdali teherre



- totális teherre a felső perem legyen a víz felett 300 mm-rel,
- félololdali teherre a felső perem ne kerüljön víz alá,

valamint az

- úszási stabilitási feltételnek.

## 2.2 Magassági méret

Tipikusan a fenti három feltétel közül a második a mértékadó. Így jó közelítéssel az úszómű szükséges magassága:

$$(13 - 22,5) \times 100 + 4,5 \times 158 = 2011 - 2961 \text{ mm,}$$

amihez hozzá kell adni a lékesedésből, szélből stb. keletkező billenés hatását. A fenti egyszerű számítás alapján az úszómű külső magasságát 3 m-re vettük fel, lényegében ez a maximális méret, amely a Dunában gazdaságosan elhelyezhető, a kialakuló belső térben fel lehet állni és a némi tartalékkal így a szerkezet rendelkezik a kellő úszóképességgel.

## 2.3. Alaprajzi méret

Az úszómű kiterjedése a funkció függvényében a néhány tíz métertől akár a több száz méterig is terjedhet, így feltétlenül több elemből kell összerakni. Egy elem maximális alaprajzi mérete a gyártási korlátozásokat figyelembe véve kb. 10-15 m lehet, amelynek önsúlya elérheti az 1500-2000 kN-t.

A fenti magassági méretekből és süllyedésből számítható teher az úszómű alsó fenekére (22-30 kN/m<sup>2</sup>) meghaladja egy magasépítési vb. földem terhét, így első közelítésben legfeljebb hasonló támaszközpontot vehetünk figyelembe (tömör, borda nélküli lemezre): kéttámaszú átvitel esetében mintegy 6 m-t, többtámaszú földem esetén ennél 20-30%-kal nagyobbat. Elvileg a teherbírás szempontjából alkalmazhatnánk vékonyabb lemezt, vagy nagyobb támaszközt, de a repedéstágasság-korlátozás (és így a vízzáróság) miatt nem. Így egy 10-15 m alaprajzi kiterjedésű elemet legalább az egyik irányban fallal vagy bordával meg kell osztani. Mivel a lékesedés negatív hatását a (vízzáró) fal csökkenti, a fal kialakítása mellett döntöttünk.

Az egycellás elem mérete így (200 mm vastagsággal) kb. 6×6 m lehet. Két cella esetében a szélesség kb. 12-14 m, „korlátlan” hosszúsággal.

## 2.4. Úszómű rögzítése

A folyóban elhelyezett úszóművet a parthoz vagy mederhez fixen rögzíteni kell (pl. 5. ábra). Az ilyen rögzítésre adódnak át az úszóművet érő vízszintes erők, terhek, hatások.



**5. ábra:** Az úszómű rögzítése négyszög keresztmetszetű cölöppel (HafenCity, Hamburg)

Az úszómű rögzítésére alapvetően két módszert különböztetünk meg: vagy a meder aljához rögzített cölöpökhöz és oszlopokhoz való csatlakozást, vagy az úszóművet kapcsolhatjuk a partfalhoz ún. támdorongokkal és feszítő kötelekkel. Mindkét megoldásnak van előnye és hátránya, amelyek között a telepítési hely és a geometria függvényében lehet mérlegelni.

A számításokban mindenképpen figyelembe kell venni a kikötés esetleges (függőleges síkú) ferdeségéből keletkező függőleges erőkomponenst és elbillenést is. Célszerű úgy ki-

alakítani a rögzítést, hogy ezt a hatást minimalizáljuk. Azt is figyelembe kell venni, hogy a megtámasztó erő és a sodrásból keletkező erő nyomatékot adhat, amely az úszóművet szintén billenti.

## 2.5. Az elemek egymáshoz rögzítése

A kialakított úszómű olyan méretű, hogy feltétlenül több elem-ből kell kialakítani. Az elemeket külön-külön fogják a helyszínrre úsztatni, és várhatóan a helyszínen fogják összeszerelni. Jelen cikkben a végleges rögzítési lehetőségeket elemezzük.

Két úszó elem közt létrehozhatunk olyan kapcsolatot, amely csak a relatív vízszintes mozgásokat gátolja (6a ábra), de megengedi a függőleges mozgásokat és a szögtörést; vagy olyat, amely a vízszintes és függőleges mozgásokat is gátolja (6b ábra), de megengedi a kialakuló szögtörést. Ha a platformot labdajátékokra kívánjuk használni, mindkét kapcsolat kizárható.

Biztosan alkalmazható a merev kapcsolat (6c ábra). Várhatóan az is megengedhető, hogy a kapcsolatban bizonyos rugalmas deformációk létrejöhetnek, de csak korlátozott mértékben, ezt mutatja a 6. ábra (d) részén a két sematikus „rugó”. Ennek a megoldásnak az az előnye is megvan, hogy a deformációk csökkent(het)ik a fellépő igénybevételeket. Egy közbenső megoldás, hogy a felső szinten nem engedjük meg a vízszintes relatív mozgásokat, alul viszont igen (6e ábra). Egy bizonyos úszómű nagyság felett célszerű deformálódó kapcsolat kialakítása. A konkrét csatlakozási részleteket jelen cikkben nem közöljük.

A tangenciális erők felvételéről szintén gondoskodni kell, ennek néhány lehetőségét a 7. ábrán vázoltuk.

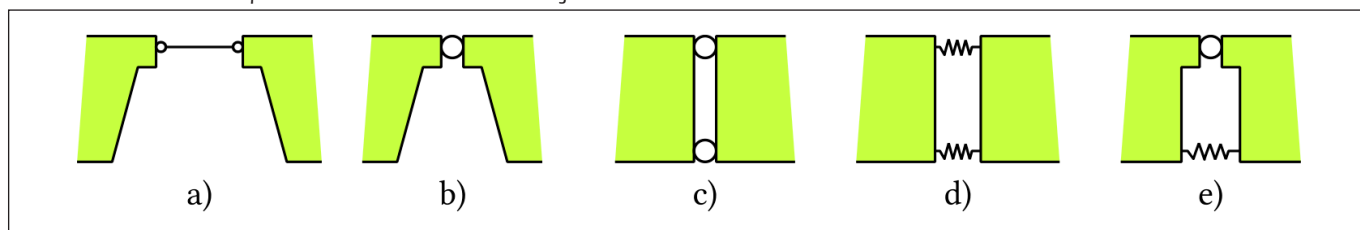
## 3. AZ ÚSZÓMŰ TERHELÉSÉNEK ÉS IGÉNYBEVÉTELEINEK EGYSZERŰSÍTETT ELEMZÉSE

Az úszómű igénybevételei két fő részre bonthatók: a „globális” igénybevételek, amelyekre a teljes mű, mint egy „gerenda” viselkedik, és a „lokális” igénybevételek, amely pl. két (cella) fal közt keletkezik. Az alábbiakban először a globális igénybevételeket elemezzük.

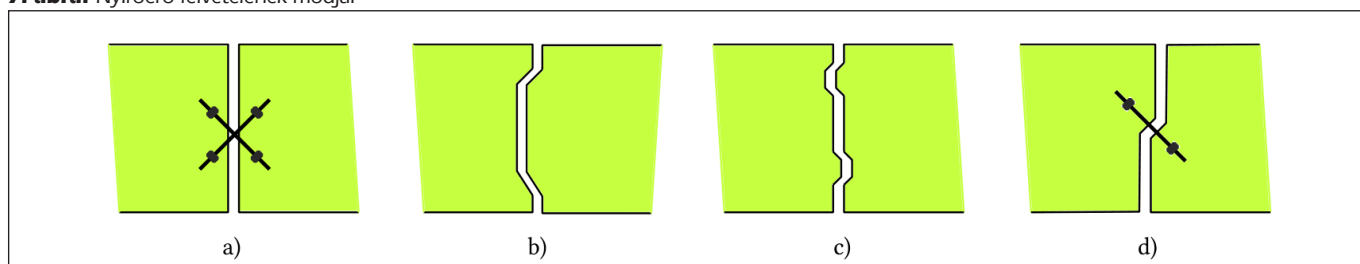
### 3.1. Globális igénybevételek

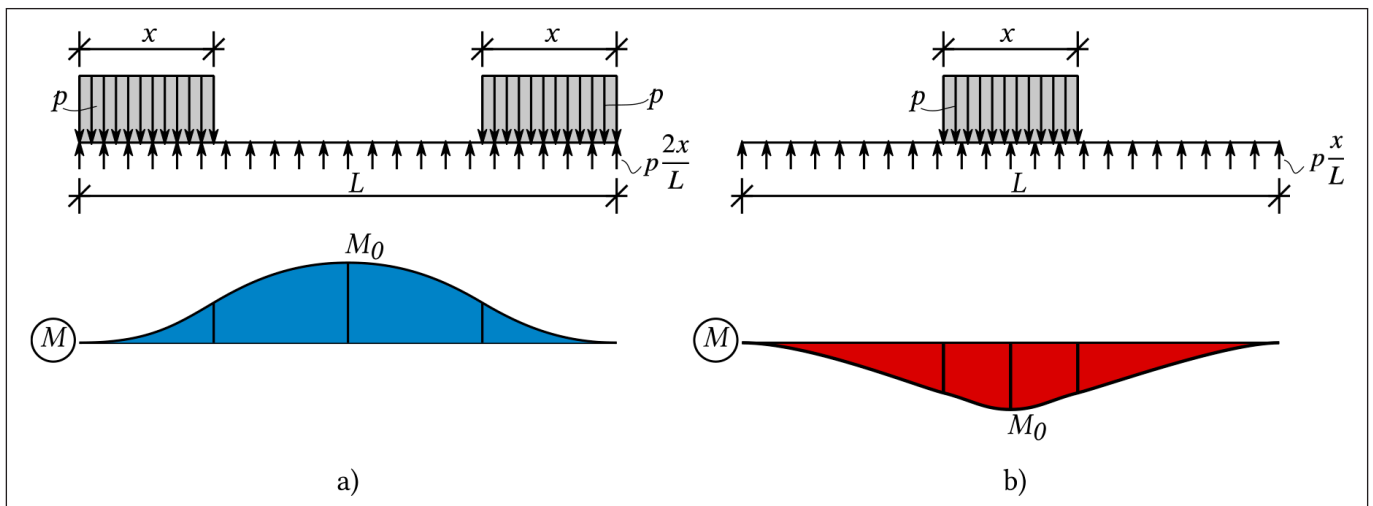
Közel egyenletes tömegeloszlás esetében, nyugvó vízben nem keletkeznek (globális) igénybevételek. Igénybevétel akkor

**6. ábra:** Két elem közti kapcsolat kialakításának sematikus rajza



**7. ábra:** Nyíróerő felvételének módjai





8. ábra. Nyomatékok a parciális teherből

lép fel, ha vagy a vízen hullám alakul ki, vagy pedig a terhek eloszlása nem egyenletes.

#### Nyomaték a hullámzásból

Az úszóműben keletkező nyomaték a hullámhosszal négyzetesen, a hullámmagassággal lineárisan arányos. A Dunán keletkező hullám keltette igénybevételek elhanyagolhatók a többi hatásból keletkező igénybevételek mellett.

#### Nyomaték az egyenlőtlen teherből

Merevnek feltételezett úszómű esetén a maximális nyomaték az úszómű hosszával négyzetesen arányos. A maximális nyomaték akkor keletkezik, ha vagy az úszómű középső fele, vagy a két szélső negyede van megterhelve (8. ábra).

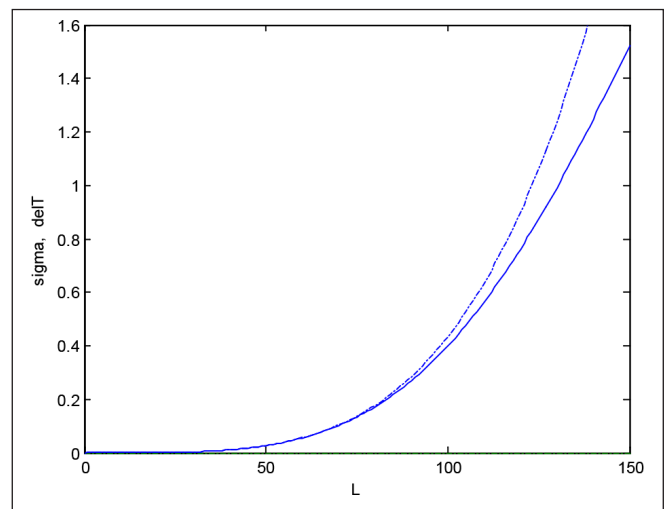
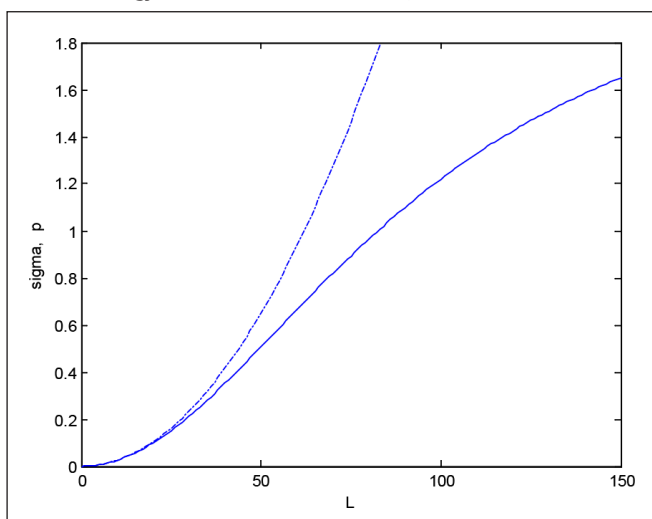
A felépítményi terhelés megoszlása megbízói döntés kérdése, a hasznos terhet mindenképpen a legkedvezőtlenebb elhelyezkedés szerint kell az erőtanai számításban felvenni.

Hosszú úszómű esetén az úszómű deformációja csökkenti az igénybevételeket és a feszültségeket, ezt mutatja a 9. ábra.

#### Hőmérsékleti teher

Az úszómű felső felületét közvetlenül érheti a Nap, alsó része pedig folyamatos hűtést kap a folyóból. Meg lehet mutatni (Dunai és társai, 2015), hogy merev úszómű esetén az igénybevételek az úszómű hosszának negyedik (!) hatványával

9. ábra: Globális feszültségek [N/mm<sup>2</sup>] a parciális teherből (p=5 kN/m<sup>2</sup>) az úszómű hosszának [m] függvényében (a felső vonal a deformációk figyelembevétele nélkül számított feszültségeket mutatja, az alsó deformációk figyelembevételével számítottat)



10. ábra: Feszültségek [N/mm<sup>2</sup>] a hőmérsékleti (DT=30°C) teherből az úszómű hosszának [m] függvényében (a felső vonal a deformációk figyelembevétele nélkül számított feszültségeket mutatja, az alsó vonal pedig a deformációk figyelembevételével számítottat)

arányosak, amelyeket a szerkezet deformációi csökkentenek. DT=30°C-os egyenlőtlen hőmérsékletváltozásra meghatároztuk a feszültségeket (10. ábra). Látható, hogy 50 m-ig a feszültségek minimálisak. ~150 m hosszú úszómű esetében a feszültségek a hasznos teherből származó globális feszültséggel azonos nagyságrendűek.

#### Geometriai pontatlanságból keletkező teher

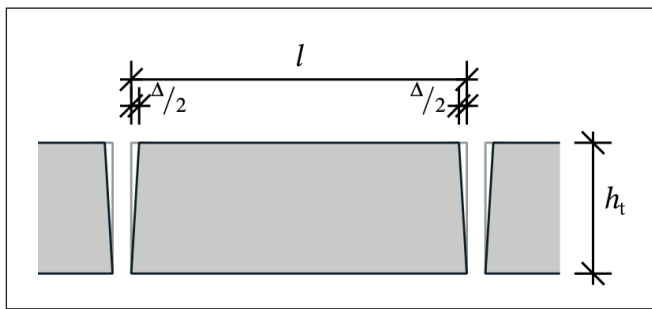
Vegyük fel a 11. ábra szerint Δ=2×15 mm-es pontatlanságot a 3 m magas (l=10 m hosszú) úszómű csatlakozási felületén. A feszültségek számítása hasonlóan történhet, mint a hőmérséklet esetében, de a geometriai pontatlanságból keletkező feszültségek jelentősen, mintegy tízszeresen meghaladják a hőmérsékleti hatásból keletkezőt. (150 m-es hosszúságnál mintegy 11 N/mm<sup>2</sup>, 50 m-es úszóművön ~0,3 N/mm<sup>2</sup>.)

A beton kúszása miatt a geometriai pontatlanságból keletkező feszültség egy része leépül. Ezt mutatja a 12. ábra szaggatott vonala.

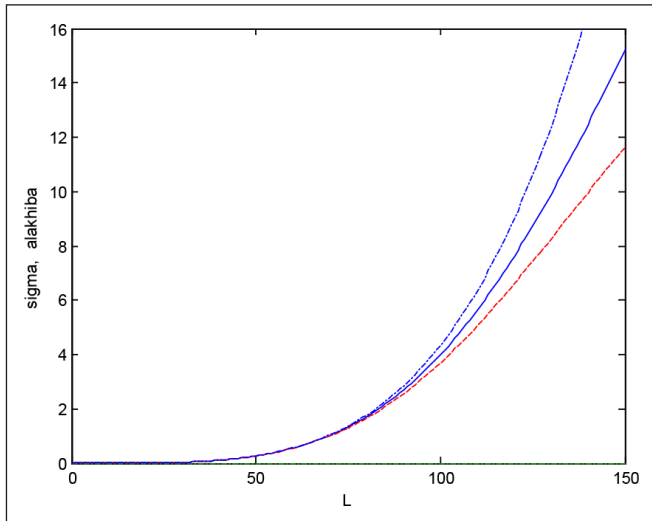
### 3.2. Feszültségek rugalmas állapotban lokális és globális igénybevételekből

Az alábbiakban közelítő értékeket adunk a feszültségekre abból a célból, hogy a feszültségek nagyságrendi összehasonlítása





11. ábra: A geometriai pontatlanság értelmezése



12. ábra: Feszültségek [N/mm<sup>2</sup>] a geometriai pontatlanságból ( $\Delta=2 \times 15$  mm) az úszómű hosszának [m] függvényében (a felső vonal a deformációk figyelembevétele nélkül számított feszültségeket mutatja, a középső vonal a deformációk figyelembevételével számítottat, az alsó vonal esetében a lassú alakváltozás hatását is figyelembe vettük)

alapján következtetéseket vonhassunk le a koncepcionális tervezéshez. A közelítő értékeket VEM számítással is összehasonlítjuk.

#### Lokális feszültségszámítás

Az úszóelemek két fala között működő víznyomásból keletkező nyomaték, egyirányban teherviselő födémet és részleges befogást feltételezve  $M \approx pb^2/24 - pb^2/8$  között alakul, ahol  $b$  a falak távolsága, azaz a támaszköz. 5 m-es támaszközt és  $p=27$  kN/m<sup>2</sup> terhet feltételezve a 250 mm vastagságú fenéklemezben keletkező feszültség így  $\sigma_{pi} \approx 2.7-8.1$  N/mm<sup>2</sup>.

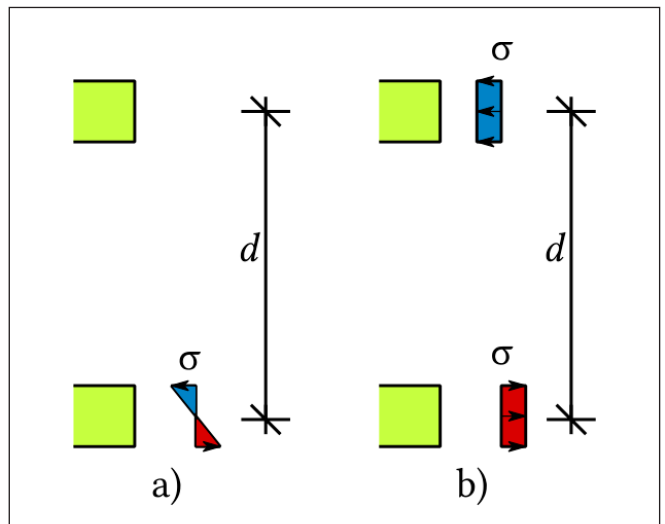
A repedéstágasság szempontjából lényeges, hogy a fent számított feszültség tartósan működik.

#### Globális feszültségszámítás

A globális feszültségek számításánál egy irreálisan nagy hullámot vettünk figyelembe, ennek a számításnak csak a VEM-mel való összehasonlítás volt a célja. A többi terhelés értékkel lett figyelembe véve.

50 m-es úszóművön a hőmérséklet hatása elhanyagolható, a méretpontatlanságból 0,3 N/mm<sup>2</sup> feszültség keletkezik. A kapcsolóelemben keletkező erő elsősorban a parciális teherből és a méretpontatlanságból keletkezik. 1,5 m-es kapcsolóelem távolságot és 2,5 m-es belső erőkart feltételezve egy elemben a húzóerő  $H=1,3 \times 200 \times 1,50 \times 2,8/2,5=440$  kN. (A VEM számítás ~560 kN-t adott.)

Fontos megjegyezni ugyanakkor, hogy a lokális hatásból keletkező feszültség hajlítási, azaz a fenéklemez-keresztmetszet egy részében nyomást okoz, a globális hatásból keletkező feszültség viszont a teljes fenéklemez-keresztmetszetben húzást jelent (13. ábra), amely a repedéstágasság, és az utóbbi a



13. ábra: Feszültség eloszlása (a) az lokális és (b) a globális igénybevételekből

vízáteresztő-képesség szempontjából sokkal kedvezőtlenebb, mint az előbbi.

Végeselemes modellt készítettünk az úszómű vizsgálatára ANSYS program környezetben. Az egyes elemek falait, felső-, illetve fenéklemezeit héjelemekkel, az elemek közti kapcsolatokat pedig rúdelemekkel és kényszerekkel modelleztük. A víz megtámasztó hatását rugalmas megtámasztás segítségével vettük figyelembe, míg a kikötéseket merev támaszokkal modelleztük. A héjelemek átlagos elemmérete 0,5×0,5 m volt. A kapcsolatok alul-felül diszkrét helyeken 1,5-2 m távolságokra találhatóak. A kapcsolatok két végükön egy-egy rúdelemből és az ezeket összekötő kényszerből állnak, melyek csak normál-, illetve nyíróerőket adnak át, nyomatékokat nem. A vizsgált modellekben egy-egy betonelem külmérete: 12,5×10×3 m, a falak és a fenéklemez vastagsága 25 cm, míg a felső lemez vastagsága 18 cm volt.

A modell verifikációját a fentiekben ismertetett terhek okozta hatások analitikus és numerikus számértékeinek összehasonlításával hajtottuk végre 50 m és 100 m hosszú úszóművek esetére. Az összehasonlításra az alábbi eredményeket kaptuk:

Az eredmények elegendően közel vannak ahhoz, hogy a továbbiakban elfogadjuk a VEM számítás eredményeit.

### 3.3. Csuklós kialakítású hosszú úszómű

Merev kapcsolatú, hosszú úszómű esetében a globális igénybevételek nagy mértékben megnövekednek. Amennyiben a hosszú úszóművet kisebb szakaszokra bontva, azok között csuklósoros kialakítást alkalmazunk, úgy a globális igénybevételek lecsökkennek. Ezzel csökkenteni lehet a hőmérséklet, a geometriai pontatlanság, illetve a parciális leterhelések okozta kedvezőtlen hatást.

A végeselemes modellen meghatároztuk egy 150 m hosszú úszóműben keletkező globális igénybevételeket, illetve az abból a fenéklemezre jutó hosszirányú húzó membránérőt két esetre:

- a teljes hosszban merev kapcsolatot feltételeztünk az elemek között,
- az úszóművet a 14. ábra szerint 3×50 m hosszú, egymás között csukló-sorral kapcsolódó blokk alkotja, de a blokkokon belül merev kapcsolatot vettünk fel.

Az eredményeinket a 15. ábra mutatja, amelyben a csuklósoros kialakításban a középső blokkon változó hosszban terhelte eseteket is összehasonlítottunk. Megállapítható, hogy azzal, hogy az úszóművet a harmadaiban megszakítottuk, a

**1. táblázat:** 50 m hosszú úszómű

	elméleti, közelítő érték	végeselemes modell
globális hajlítás (4,5 kN/m <sup>2</sup> parciális teher közepén)	0,51 MPa	0,52 MPa
hullámváz (csak az összehasonlítás miatt 2,5 m hullámmagasság, 50 m hullámhossz esetén)	2,23 MPa	2,20 MPa
lineáris hőmérsékletváltozás (30°C különbség)	0,03 MPa	0,03 MPa
önsúly+totális teher 2,7 m bemerülésig (lokális hajlítás)	2,7 – 8,1 MPa	3,43 MPa
önsúly+globális hajlítást okozó (7 kN/m <sup>2</sup> ) parciális teher közepén	0,79 MPa	0,7 MPa

**2. táblázat:** 100 m hosszú úszómű

	elméleti, közelítő érték	végeselemes modell
önsúly+globális hajlítást okozó (7 kN/m <sup>2</sup> ) parciális teher közepén	3,14 MPa	2,7 MPa

csuklósoros kialakításban az igénybevételek kb. negyedére esnek vissza a merev kapcsolatú megoldáshoz képest. (A középső elemnek ~70%-os hosszában alkalmazott teher adja a mértékadó igénybevételt.)

### 3.4. Jégteher

Téli időben a folyó részleges, illetve teljes befagyása terhet fejt ki az úszóműre. A jégteher olyan nagy nyomást okozhat, amelyet a vasbeton úszómű reális kialakítással nem tud felvenni. A telepítési helyszín ismeretében konkrét üzemeltetési módszert kell kidolgozni a jégnyomás kialakulása ellen.

## 4. TERVEZÉSI METODIKA

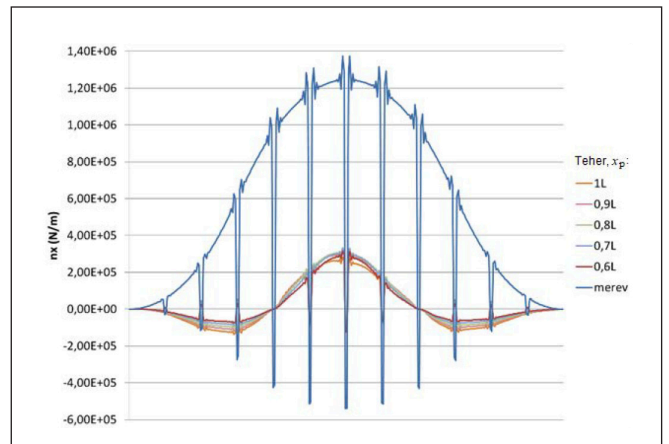
Az úszómű tervezésének két, koncepcionálisan különböző lehetősége az alábbi: (i) A szerkezet felépítménye és terhei pontosan ismertek, ehhez – esetleg több lépésben – meghatározható az úszómű geometriája, vasalása. (ii) Egy általános használhatóságú szerkezetet kívánunk tervezni, amelynek felépítménye és terhei később kerülnek meghatározásra. Az első a hagyományos méretezés, az alábbiakban az utóbbi (ii) lehetőséget tárgyaljuk.

Ahogy már írtuk a dunai adottságok és a szükséges minimális terhelés meghatározza az úszómű magassági méretét, amely mintegy 2,5-3 méter lehet. Korábban elemeztük, hogy az úszóműnek eleget kell tennie két süllyedési kritériumnak. Általános használat esetén a következő metodológiát követve tervezhetünk úszóművet.

Megbecsüljük az úszómű szerkezeti önsúlyát, majd egy adott mérethez fel tudunk venni olyan átlagos totális és parciális teherpárokat, amelyeknél ez a két süllyedési kritérium éppen teljesül. (Azaz ennél nagyobb terhet – bármilyen erőse is tervezzük – nem tud a szerkezet elviselni.)

Az úszómű (végállapotában) eleget kell, hogy tegyen az alábbi kritériumoknak is:

- a felborulással szembeni biztonságnak,



**15. ábra:** Globális membránerő a fenéklemezben parciális elrendezésű úszóműben: kék vonallal a merev kapcsolatú 150 m hosszú, a többivel a 3×50 m csuklós kialakítású úszómű

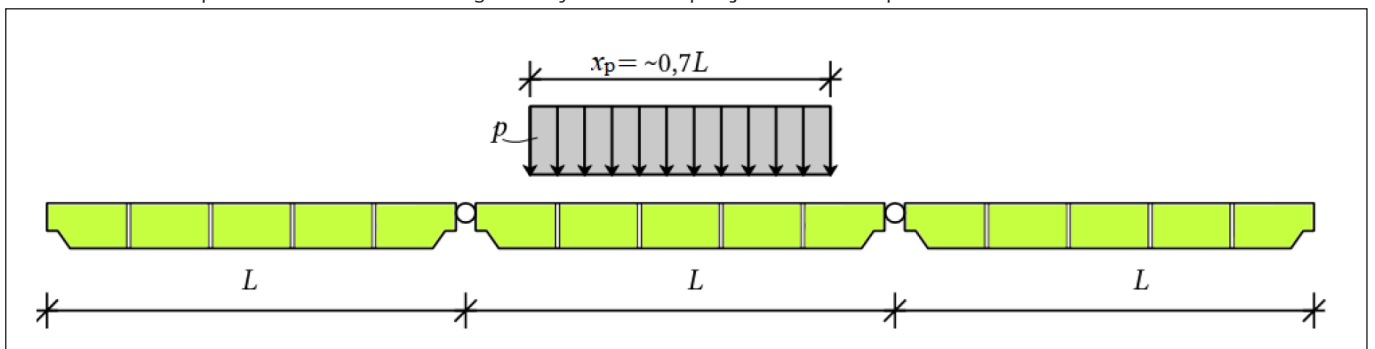
- a maximális teherre a szilárdsági (ULS) követelmény és
- a használhatóság (SLS) követelmény.

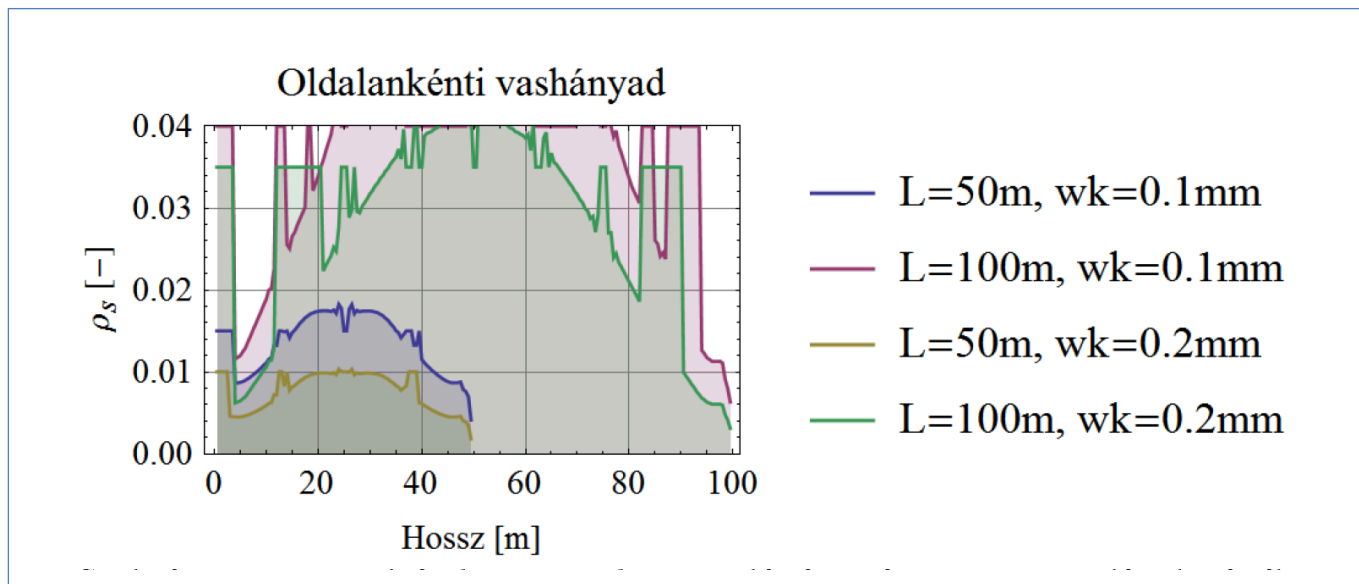
Ez utóbbi kettő (is) függ az úszómű méretétől. Célszerű úgy kialakítani az úszómű keresztmetszeit (beleértve a vasalást), hogy egy ésszerű nagyságig (pl. 30×50 m), esetleg egy korlátozott nagyságú parciális teherre a süllyedéskritérium adja a korlátot (ne az ULS vagy az SLS vizsgálat), ennél nagyobb úszómű (vagy nagyobb parciális teher) esetén viszont az ULS vagy SLS kritérium a mértékadó, és ezért az úszómű terhelését korlátozni kell.

Az így kiszámított teherértékek szabad kezut adhatnak az építésztervezőnek a megadott terhelésen belül a felszerkezet kialakítására.

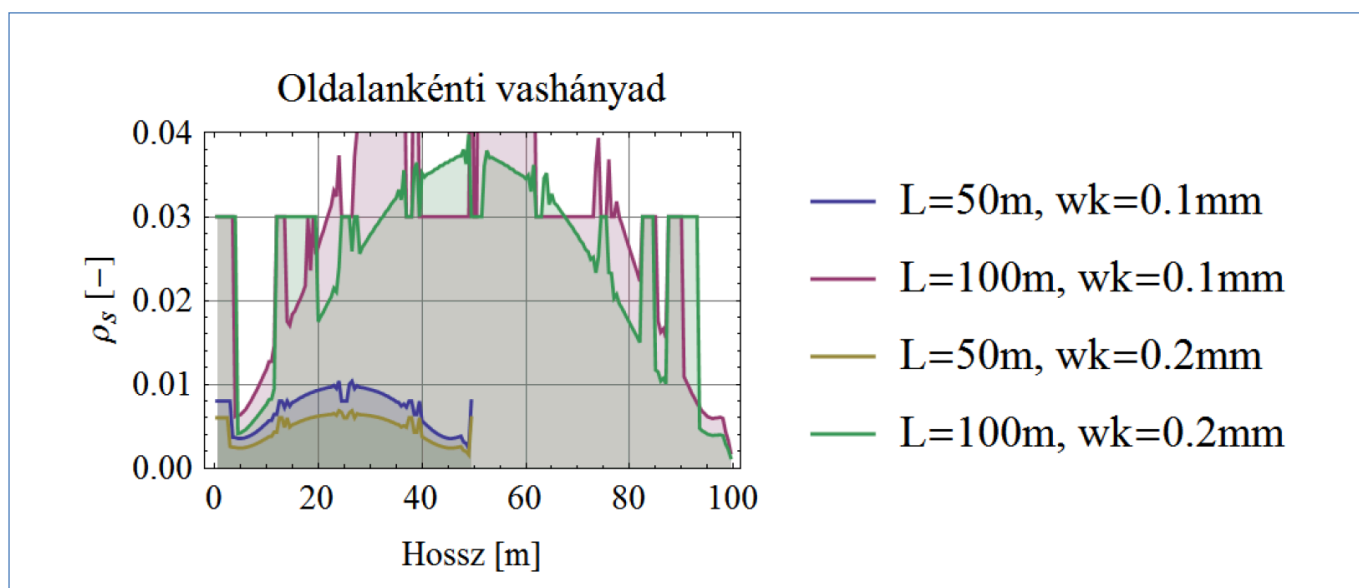
Az elvégzett VEM számítások szerint a fővasalás meghatározásában a kritikus követelmény a legtöbb keresztmetszetben a repedéstágasság vizsgálat, kivéve a kapcsolatok környezete, ahol a teherbírási vizsgálat a mértékadó. Egy példát mutat a 16. és a 17. ábra kétféle úszómű hosszúságra és repedéstágassági határértékre, beton zsurgorodással és annak elhanyagolásával.

**14. ábra:** Csuklós kapcsolatú úszóműblokkok és a globális nyomtérk szempontjából mértékadó parciális teherelrendezés





16. ábra: Szükséges vasmennyiség hosszirányban repedéstágasságra, a zsugorodás alapértéke  $-0,4 \times 10^{-3}$



17. ábra: Szükséges vasmennyiség hosszirányban repedéstágasságra zsugorodás nélkül

## 5. ÉRTÉKELÉS

Megvizsgáltuk egy folyóban létesített, vasbeton szerkezetű, összekapcsolt elemekből álló úszómű létesítésének főbb kérdéseit, ennek részeként a geometriai kialakítás következményeit, az elemek közötti kapcsolatok különböző megoldásait, valamint azok hatását a szerkezet működésére. A vizsgálataink eredményeképpen tett megállapításokat az alábbiakban foglaljuk össze.

Az úszómű megvalósíthatóságának két fő eleme: az úszóképesség és a tartószerkezeti (ULS, SLS) vizsgálat.

Az úszóképesség vizsgálata alátámasztotta, hogy egyszintes kialakítású úszómű a rendelettel előírt utasterhet és azon felüli egyéb hasznos terhet el tud viselni. Több szint esetében azonban már korlátozásokat kell tenni az úszóképesség biztosítása érdekében: pl. kisebb felületű második szintet, hatósággal egyeztetve csökkenteni az utasterher előírt mértékét.

Hosszú úszómű esetében a keresztirányú igénybevételek nem változnak lényegesen, a hosszirányúak viszont a hosszal hatványozottan növekednek. Ez kihat a vízzáróság miatt megkövetelt vashányadra: ~50 m hosszú úszómű vasalása még elfogadható, a 100 m hosszú, merev úszómű vasalása már gyakorlatilag nem valósítható meg. A számított repedéstágasságok nagyon érzékenyek az úszómű hosszára.

Hosszabb úszómű úgy alakítható ki, hogy több, mereven összekapcsolt úszóelemből álló blokkot egymáshoz csuklósan csatlakoztatunk. Ekkor a zárófödém folytonossága megmarad, de az igénybevételek jelentősen lecsökkennek.

Az építési hiba és méretpontatlanság nagyban befolyásolja a hosszirányú igénybevételeket és így az úszómű megvalósíthatóságát. Az elemek közötti kapcsolat megfelelő kialakításával csökkenthető a méretpontatlanság hatása, ekkor azonban a kapcsolat bonyolultabbá válik, vagy több, különböző méretű kapcsolati elemet kell gyártani.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A jelen munka nem jöhetett volna létre a társtanszékek (Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék, Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék és a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék), a Finta Stúdió és a megbízó (DUF Kft.) hathatós közreműködése nélkül, amit ezúton is köszönünk.

## 7. HIVATKOZÁSOK

Dunai L., Kollár L. P., Hunyadi M., Laczák L. E., Seidl Á. (2015), „Úszómű megvalósítási tanulmány, Szerkezetkonstrukciós fejlesztés”, BME, Hidak és Szerkezetek Tanszék

13/2001. (IV.10.) KőViM rendelet

Timmers, J. (2013), „Technical feasibility of a demountable floating body for a demountable stadium”, *TU Delft*

Tupper, E. (2004), „Introduction to naval architecture”, *Elsevier, Amsterdam*

**Dr. Hunyadi Mátyás Á.** (1977), okleveles építőmérnök (2000), programozó matematikus (2002), a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék adjunktusa. Fő érdeklődési területei: szél dinamikus hatásainak vizsgálata építményeken, ferdekábeles hidak belebegés vizsgálata

**Dr. Laczák Lili E.** (1988), okleveles szerkezet-építőmérnök (2013), a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék adjunktusa. Fő érdeklődési területei: szerkezetdinamikai-vizsgálatok ütközési terhek esetén.

**Dr. Dunai László** (1958), okleveles építőmérnök (1983), az MTA levelező tagja (2016), egyetemi tanár, a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék tanszék-vezetője, a BME Építőmérnöki Kar dékánja. Fő érdeklődési területei: acél- és öszvérszerkezetek.

**Dr. Kollár László P.** (1958), okleveles építőmérnök (1982), az MTA tagja (2007), a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék egyetemi tanára, a BME tudományos és innovációs rektorhelyettese. Fő érdeklődési területei: kompozit szerkezetek, mérnöki tartószerkezetek, földrengési méretezés, vasbetonszerkezetek

#### **FEASIBILITY STUDY AND DESIGN METHODOLOGY OF A REINFORCED CONCRETE FLOATING PLATFORM**

**Mátyás Hunyadi – Lili E. Laczák – László Dunai - László P. Kollár**

A feasibility study has been made, and design methodology has been developed for a reinforced concrete floating platform installed in a river. It was found that in case of long (longer than ~50 m) platforms, the internal forces significantly increase with length of the platform and – because of limitation for crack width – required dimensions and amount of reinforcement become unrealistically large. In such cases the platform has to be (partially) separated. Internal forces resulted from construction inaccuracy and uneven thermal loads are – with a good approximation – proportional to the fourth power of the length of the platform, while internal forces resulted from partial loading are proportional to the square of it. Internal forces resulted from waves are small in case of platforms installed in rivers.