

**MT-DP – 2019/19**

**Az időn múlik? Egyéni teljesítménysportok  
hatékonyságvizsgálata Monte Carlo szimuláció  
segítségével**

DOBRÁNSZKY BLANKA

SZIKLAI BALÁZS RÓBERT

Műhelytanulmányok  
MT-DP – 2019/19

Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont  
Közgazdaság-tudományi Intézet

Az akadémiai közgazdasági gondolkodás formálódása a politika „bordásfalán”  
Időutazás az ötvenes és a hosszantartó hatvanas évekbe

Szerzők:

Dobránszky Blanka  
Budapesti Corvinus Egyetem, Közgazdaságtudományi Kar  
e-mail: d.blanka97@gmail.com

Sziklai Balázs Róbert  
tudományos munkatárs  
Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont  
Közgazdaság-tudományi Intézet  
valamint Budapesti Corvinus Egyetem, Közgazdaságtudományi Kar  
e-mail: sziklai.balazs@krtk.mta.hu

2019. október

Kiadó:  
Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont  
Közgazdaság-tudományi Intézet

# **Az időn múlik? Egyéni teljesítménysportok hatékonyságvizsgálata Monte Carlo szimuláció segítségével**

Dobránszky Blanka - Sziklai Balázs Róbert

## Összefoglaló

Alapvetően befolyásolja egy sportág sikerességét, hogy milyen versenyformátumot használ. Egy versenyformátum hatékonysága alatt azt értjük, hogy milyen jól tudja visszaadni a versenyben részt vevő játékosok vagy csapatok valós, ámde rejtett erősorrendjét. Cikkünkben két, lényegét tekintve hasonló egyéni teljesítménysport, az úszás és a fedett pályás futás versenyformátumát hasonlítjuk össze. Egy valós adatokon alapuló Monte Carlo szimuláció segítségével elemezzük, hogy a szimulált versenyeredmények mennyiben térnek el a tényleges erősorrendtől. Hogy teszteljük azokat a helyzeteket, amelyekben szoros a mezőny, illetve egyértelmű erősorrend állapítható meg a versenyzők között, a teljesítmények szórását egy spektrumon vizsgáljuk és ennek függvényében többféle hatékonysági mutatót is kiszámolunk. Amíg az ún. cikk-cakk elvre épülő futambeosztást alkalmazzuk, az úszás és a futás formátuma között minimális hatékonyságbeli különbség tapasztalható az úszás javára. Ha ettől eltekintünk, az úszás formátuma jobban teljesít, már a pontszerző helyeket tekintve is.

**Tárgyszavak:** sport, versenyformátumok, Monte Carlo szimuláció

**JEL kódok:** C63, D71

**A matter of time?**  
**Analyzing the efficiency of individual tournament**  
**formats by Monte Carlo simulation**

Blanka Dobránszky - Balázs Róbert Sziklai

Abstract

The chosen tournament format has a fundamental impact on the popularity and success of a sport. Efficiency of a format describes how well it can reproduce the real but hidden power ranking of the participants. We compare the efficiency of the formats of two individual sports that share similar traits: swimming and indoors running. Based on real data, we perform a Monte Carlo simulation to measure the difference between the simulated and the actual power ranking. To test instances when the field is tight and when there is a clear difference between the abilities of the participants we analyze the std. deviation on a spectrum and compute various efficiency measures. The difference between the efficiency of the two formats is small (but measurable) whenever the 'zigzag' type seeding is applied in running. Without seeding, however, the format of swimming outperforms running even at scoring positions.

**Keywords:** sport, tournament formats, Monte Carlo simulation

**JEL:** C63, D71

# AZ IDŐN MÚLIK? EGYÉNI TELJESÍTMÉNYSPORTOK HATÉKONYSÁGVIZSGÁLATA MONTE CARLO SZIMULÁCIÓ SEGÍTSÉGÉVEL<sup>1</sup>

DOBRÁNSZKY BLANKA, SZIKLAI BALÁZS RÓBERT

BCE – MTA KRTK KTI

Alapvetően befolyásolja egy sportág sikerességét, hogy milyen versenyformátumot használ. Egy versenyformátum hatékonysága alatt azt értjük, hogy milyen jól tudja visszaadni a versenyben részt vevő játékosok vagy csapatok valós ámdé rejtett erősorrendjét. Cikkünkben két, lényegét tekintve hasonló egyéni teljesítménysport, az úszás és a fedett pályás futás versenyformátumát hasonlítjuk össze. Egy valós adatokon alapuló Monte Carlo szimuláció segítségével elemezzük, hogy a szimulált versenyeredmények mennyiben térnek el a tényleges erősorrendtől. Hogy teszteljük azokat a helyzeteket, amikor szoros a mezőny, illetve amikor egyértelmű erősorrend állapítható meg a versenyzők között, a teljesítmények szórását egy spektrumon vizsgáljuk és ennek függvényében többféle hatékonysági mutatót is kiszámolunk. Amíg az ún. cikk-cakk elvre épülő futambeosztást alkalmazzuk, az úszás és a futás formátuma között minimális hatékonyságbeli-különbség tapasztalható az úszás javára. Ha ettől eltekintünk, az úszás formátuma jobban teljesít, már a pontszerző helyeket tekintve is.

*Kulcsszavak:* sport, versenyformátumok, Monte Carlo szimuláció

## 1 Bevezetés

A sportműsor-fogyasztási szokások az elmúlt évtizedben átalakultak. A fiatalabb, 20 év alatti korosztály sokkal szívesebben fordul az E-sportok felé, mint a hagyományos csapatsportok (pl. futball, kosárlabda) irányába (Pizzo *et al.*, 2018). A nézőkért így nagyobb a verseny, mint valaha. Nem csoda, hogy a nagy csapatok (lásd Manchester City, West Ham United, AS Roma) előre tekintenek és sokuknak van már e-sport részlege<sup>2</sup>.

Minden generációnak szüksége van hősökre. A különböző sportágak között nagy vetélkedés folyik, hogy melyik játékost/versenyzőt tudják a figyelem központjába állítani. Nem kis összegekről van szó - az európai ligában játszó top futballisták értéke egy kisebbfajta ország GDP-jével vetekszik. A mérkőzésekből, szponzorációs- és reklámdíjakból származó bevételek állnak-e hatalmas összegek mögött.

Ha a nézőkben kétely marad egy verseny, vagy mérkőzés végén, hogy valóban a legjobb győzött-e, akkor csalódhatnak és elfordulhatnak az adott sportágtól (lásd profi bokszt vs. mma<sup>3</sup>).

---

<sup>1</sup> Dobránszky Blanka: Budapesti Corvinus Egyetem, Közgazdaságtudományi Kar, e-mail: [d.blanka97@gmail.com](mailto:d.blanka97@gmail.com). Sziklai Balázs Róbert: MTA KRTK Közgazdaság-tudományi Intézet, valamint Budapesti Corvinus Egyetem, Közgazdaságtudományi Kar, e-mail: [sziklai.balazs@krtk.mta.hu](mailto:sziklai.balazs@krtk.mta.hu). A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a Budapesti Corvinus Egyetem 'Pénzügyi és Lakossági Szolgáltatások' tématerületi programja (20764-3/2018/FEKUTSTRAT) keretében. A szerzők köszönik az NKFIH támogatását (K 124550).

<sup>2</sup> <https://www.skysports.com/esports/news/34214/11306890/why-every-football-club-should-be-paying-attention-to-fc-copenhagen>

<sup>3</sup> <https://sports.bwin.com/en/news/infographics/ufc-vs-boxing-graphic>

Egy sportág fennmaradása ill. virágzása szempontjából tehát életbevágó, hogy olyan versenyformátumot működtessen, ami hatékonyan rangsorolja a különböző versenyzőket/csapatokat.

Természetesen a versenyformátum választása sok más tényezőtől is függ. Az egyik legfontosabb a tradíció: a szurkolók megszokják és ragaszkodnak egy formátumhoz, az állandóság pedig lehetővé teszi, hogy a különböző korszakok játékosait/csapatait összehasonlítsák egymással. Hasonlóan fontos szempont a manipulálhatóság kérdése – minden játékosnak/csapatnak az érdekében kell, hogy álljon a nyereség. Kendall és Lenten (2016) mutat be elrettentő példákat arra, mi történik, ha ez nem áll fenn. Végezetül fontosak még a gazdasági és megvalósítási szempontok (mérkőzések lebonyolítása, közvetíthetőség, stb.). Tanulmányunkban mi kizárólag a versenyformátumok hatékonyságára fókuszálunk.

A két legnépszerűbb egyéni teljesítménysport a futás és az úszás. Mindkét sportág lényege, hogy minél rövidebb idő alatt tegyenek meg a versenyzők egy fix távot. A hasonlóság még nagyobb az úszás és a fedett pályás futás között, hiszen egyik esetében sem kell számolni olyan külső körülménnyel, mint pl. a szél, amelyek befolyásolhatják az egyes futamok eredményét.

A két sportág versenyformátuma között egy apró ámde fontos eltérés van. Az úszás továbbjutási rendszere csak az elért időeredményre épül, míg a futásnál a futambeli helyezések számítanak elsősorban és csak néhány versenyző jut tovább időeredmény alapján. A különbség oka a szabadtéri versenyekre vezethető vissza. A külső körülmények miatt az egyes futamok eredményeit nehéz összehasonlítani, így a futamhelyezések adott esetben jobban jelzik a versenyző teljesítményét, mint az elért időeredmény. A fedett pályás futás esetében ilyen külső körülmények nem játszanak szerepet, csupán arról lehet szó, hogy a versenyformátum átöröklődött a történetileg korábban kialakult szabadtéri futástól.

Könnyen látható, hogy a futás versenyformátuma anomáliákhoz vezethet. Ennek egy gyakorlati példája a 2013-as Moszkvában megrendezett atlétikai világbajnokság 100 méteres fedett pályás női gátfutása.

Az 1. Táblázatból látható, hogy minden futam első négy legjobb helyezettje jutott tovább a következő fordulóba és ezen kívül még négyen időeredmény alapján kvalifikálták magukat az elődöntőbe. Így Aleesha Barber 13,33-as időeredménnyel továbbjutott, kiszorítva ezzel négy, nála jobban teljesítő társát is, Lucie Skobráková-t, Shujiao Wu-t, Marina Tomic-ot és Hanna Plotitsyna-t.

Cikkünkben a futás és az úszás versenyformátumát hasonlítjuk össze hatékonyság szempontjából. Valós versenyzői adatokból kiindulva, egy Monte Carlo szimuláció keretében újra és újra lefuttatunk egy futó-, ill. egy úszóversenyt és a szimulált eredményeket összevetjük az ismert erőssorrenddel. A versenyzők teljesítményének szórását egy spektrumon vizsgáljuk. Az úszás esetén a futambeosztás (seeding) nem befolyásolja az eredményt. A futás esetén viszont a futamok beosztása is fontos szempont, mivel a továbbjutók többsége a futamokon belül elért helyezéseik alapján jut tovább.

A dolgozat felépítése a következő. A második fejezetben bemutatjuk a kapcsolódó irodalmat. A harmadik fejezetben ismertetjük a szimuláció módszertanát és a felhasznált adatokat. A negyedik fejezetben mutatjuk be cikkünk fő megállapításait. Az ötödikben validáljuk a választott módszertant. Az utolsó fejezetben pedig összegezzük az eredményeket.

### 1. Táblázat

2013. Atlétikai világbajnokság 100 méteres női gátfutás 1. fordulójának eredményei

1. futam		2. futam	
Angela WHYTE	12.93	Sally PEARSON	12.62
Marzia CARAVELLI	13.07	Cindy BILLAUD	12.71
Nadine HILDEBRAND	13.16	Anne ZAGRE	12.94
Nia ALI	13.19	Tatyana DEKTYAREVA	13.04
Lucie SKROBÁKOVÁ	13.24	Brigitte MERLANO	13.20
Shujiao WU	13.29	Andrea BLISS	13.20
Hitomi SHIMURA	13.72	Nooralotta NEZIRI	13.23
		Gnima FAYE	13.66
3. futam		4. futam	
Queen HARRISON	12.95	Tiffany PORTER	12.72
Alina TALAY	12.99	Yuliya KONDAKOVA	12.76
Danielle WILLIAMS	13.11	Dawn HARPER-NELSON	12.84
Jessica ZELINKA	13.15	Reina-Flor OKORI	13.01
Marina TOMIC	13.26	Lina FLÓREZ	13.16
Hanna PLOTITSYNA	13.30	Kierre BECKLES	13.47
NOEMI ZBAREN	13.59	Anastasiy SOPRUNOVA	13.85
		Salma Emam Abou EL-	14.38
5. futam			
Brianna MCNEAL	12.55		
Lavonne IDLETTE	13.06		
Shermaine WILLIAMS	13.09		
Aleesha BARBER	13.33		
Veronica BORSI	13.35		
Isabelle PEDERSEN	13.43		
Sara AERTS	DNS		

## 2 Elméleti háttér rövid bemutatása

A különböző versenyformátumok hatékonyságvizsgálata egy közkedvelt kutatási terület, azonban a jelen cikkkel ellentétben a meglévő kutatások jellemzően a csapatsportok különböző formátumait vizsgálják. Appleton (1995) cikkében találkozhatunk az egyenesági (single-elimination), vigaszágas (double-elimination), körmérkőzéses (round-robin) és a svájci kieséses rendszerrel (Swiss format). A szimulációja során 10 000 futtatást végzett és a vizsgálat középpontjában az állt, hogy hány százalékban nyert a legjobb csapat/versenyző, amely mutatószámot jelen kutatásban is alkalmazunk. Appleton nem valós versenyzők adataiból indult ki, hanem az erősorteret egy sztenderd normális eloszlásból generálta és a nyerési valószínűségeket is normális eloszlásból számolta.

Scarf, Yusof és Bilbao (2009) tanulmányában megjelennek a fent említett formátumok hibrid vagy kevert változatai is, ahol már a sorsolás is teret kap a mérkőzések beosztásakor. Cikkükben valós adatokból indulnak ki. A csapatok erejét, Maher (1982) nyomán maximum likelihood módszerrel becsülték, a pontszerzést pedig Poisson eloszlással szimulálták.

McGarry és Schutz (1997) szintén Monte Carlo szimulációt használt 10 000 futtatással. A nyerési valószínűségek előre rögzítettek voltak és a versenyzők rangjától függtek. Egy

rangsorbeli különbség 5%-os előnyt jelentett az erősebb versenyző számára, de a nyeresé esélye nem lehetett több mint 95%. Cikkük végén kitekintettek az egyéni sportokra is, ahol nem egymással, hanem egy teljesítmény kritériummal harcolnak a versenyzők. Ilyen teljesítmény kritériumnak tekinthető az idő is, ugyanis a nemzetközi versenyek szabályzatában rögzítésre kerül egy szintidő, amelyet el kell érnie a versenyzőknek ahhoz, hogy indulhassanak a különböző nemzetközi versenyeken.

Csató (2016, 2019a) tanulmányaiban a férfi kézilabda bajnokok ligája ill. világbajnokság különböző elmúlt években használatos hibrid versenyformátumait hasonlítja össze hatékonysági szempontból Monte-Carlo szimuláció segítségével. A végső következtetésekben kitér arra, hogy nem létezik egyedüli legjobb versenyformátum.

Tornaformátumok hatékonyságát nem csak szimulációs eszközökkel tanulmányozták. Groh. *et al.* (2012) azt vizsgálta, hogyan kell a versenyzőket optimálisan összepárosítani kieséses tornák esetén<sup>4</sup>. Arlegi és Dimitrov (2018) pedig axiomatikus karakterizáció keretében próbálják megtalálni az igazságos tornaformátumot.

Vannak sportok, ahol az idő helyett más teljesítmény kritérium alapján dől el a rangsorolás, ilyenek például azok a sportágak, ahol a nyertes pontokat kap, mint például a golf vagy triatlon. Az atlétika olyan versenyszámait, ahol több szám eredményéből alakul ki a végső rangsor West (2018) vizsgálta. Ettől kis részben eltérő eset a műkorcsolya és gimnasztika, mivel ott bírák által adott pontok határozzák meg a végső rangsort. Az ilyen fajta sportokat bonyolult lenne vizsgálni, mivel a rengeteg szabály ellenére némiképp még mindig része a sportnak a szubjektivitás.

A magyar vonatkozású irodalomból még érdemes megemlíteni néhány kapcsolódó tanulmányt. Csató (2019b) a 2020-as labdarúgó Európa Bajnokság kvalifikációs rendszerét vizsgálja manipulálhatóság szempontjából. Burka *et al* (2016) rangsorolási szabályokat hasonlít össze egy neurális háló segítségével. A rangsorok és általában a társadalmi választások hazai irodalmáról pedig Csóka és Kondor (2019) ad kiváló összefoglalást.

### 3 Módszertan

A versenyzők adatainak gyűjtése az internetnek köszönhetően egyszerű feladat volt. Mivel ahhoz nem állt rendelkezésre elég versenyeredmény, hogy abból a formátumok hatékonyságáról következtetéseket vonjunk le, a Monte Carlo szimuláció mellett döntöttünk. Minden formátumot 1 000 000 futtatással teszteltünk. A valós és a szimulált eredmények közötti különbséget többféle mutatóval mértük. Nagyszámú futtatás mellett ezeknek a különbségeknek az átlaga egy karakterisztikus értékhez tart, amely jól jellemzi a formátum hatékonyságát. A következőkben részletesen bemutatjuk a választott módszertant. Először a versenyformátumok sajátosságait ismertetjük, majd részletesen leírjuk a modellt és a felhasznált adatokat, végül pedig áttekintjük az alkalmazott hatékonyság-mérőszámokat.

---

<sup>4</sup> A versenyzők párosítását és a futambeosztást egyaránt *seeding*-nek nevezik az irodalomban.



### 3.1 A két sport szabályrendszerének ismertetése

#### 3.1.1 Az úszás különböző fordulóiból történő továbbjutás és a futambeosztások menete

Mivel az úszás esetén csak az elért időeredmény számít, eltekintettünk attól, hogy egy versenyző melyik futamban, ill. milyen pályán versenyzett. A való életben lehet hatása annak, hogy egy versenyző erős, vagy gyenge mezőnyben úszik és a középső pályáknak is van némi taktikai előnye. A középső pályákról ugyanis lehetőség nyílik figyelni a többi versenyzőt a versenyszám közben, amelyből a középben úszó versenyzők előnyt kovácsolhatnak. Emellett a szélső pályán elhelyezkedők több hullámot kapnak lemaradásakor a többi versenyzőtől, amely nehezítheti az úszást. Ezeket a hatásokat azonban nehéz mérni és nem is számottevőek, így a modellből kihagytuk őket. A továbbiakban különböző a fordulókból való továbbjutások menetét ismertetjük.

#### 2. Táblázat:

Versenyzők előfutamokba rendezése a cikk-cakk módszerrel

		<b>Pályák</b>							
		<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Futamok</b>	<b>I.</b>	1	8	9	16	17	24	25	32
	<b>II.</b>	2	7	10	15	18	23	26	31
	<b>III.</b>	3	6	11	14	19	22	27	30
	<b>IV.</b>	4	5	12	13	20	21	28	29

Az alábbi szabályok akkor állnak fent, ha elektronikus időmérő készülékkel történik az eredmények megállapítása. Döntetlenek előfordulásakor sorsolással határoznak a futam beosztásáról, illetve a továbbjutásról is, a szimuláció során viszont (az egyszerűség kedvéért) a nevezési sorrend döntött. A döntetlen esélye mind a való életben, mind a szimulációban elhanyagolhatóan kicsi.

#### 3.1.1.1 Előfutamok beosztása

Az előfutamok beosztása nevezési idők szerint történik, amelyeket egy bejelentett nevezési határidőn belül lehet teljesíteni és függ attól, hogy hány versenyző vesz részt a versenyben. Jelen modellben 32 versenyzőt feltételeztünk. Az első forduló után már az adott fordulóban elért eredmény számít, ezek alapján történik a továbbjutás, illetve a futamba rendezés és a pályák beosztása is.

#### 3.1.1.2 Továbbjutás menete

32 versenyzőből 16-an jutnak tovább a középdöntőbe, majd 8-an a döntőbe. A továbbjutás során csak az elért időeredmény számít, ez alapján történik a rangsor felállítása és a továbbjutottak megállapítása. Ezáltal a modellezéskor nem szükséges figyelembe venni azt, hogy ki melyik futamban helyezkedik el, illetve, hogy azon belül melyik pályán.

Az ismertetés során a 2018-as évben kiadott úszás nemzetközi versenyszabályait ismertető nyomtatványt használtuk fel. (Magyar Úszó Szövetség (2018)). Ezen szabályrendszer használatos az olimpiai játékok, világbajnokságok, regionális játékok és egyéb FINA események valamennyi úszószámában.

### 3. Táblázat

A továbbjutás menete fedett pályás 60 méteres futás és gátfutás esetén. (H): helyezés alapján továbbjutók száma futamonként, (I): időeredmény alapján továbbjutók száma.

Nevezések száma	Futamok száma a selejtezőben	H	I	Futamok száma az elődöntőben	H	I
9-16	2	3	2	-	-	-
17-24	3	2	2	-	-	-
<b>25-32</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	-
33-40	5	4	4	3	2	2
41-48	6	3	6	3	2	2
49-56	7	3	3	3	2	2
57-64	8	2	8	3	2	2
65-72	9	2	6	3	2	2
73-80	10	2	4	3	2	2

#### 3.1.2 A futás különböző fordulóból történő továbbjutás és a futambeosztások menete

A futás versenyszabályzatában különböző táblázatok léteznek, melyek jelzik, hogy mekkora létszám mellett hány fordulót, és azon belül hány futamot érdemes indítani, illetve a szabályoknál fel van tüntetve, hogy milyen távra szólnak. Hasonlóan az úszáshoz, itt is a 32 versenyzőre vonatkozó szabályokat vettük alapul. A futás esetében már szükség van a futambeosztások rendszerének ismeretére is, mivel nagyrészt a futamban elért helyezések szerint jutnak tovább a versenyzők a következő fordulóba. A futamok sorrendjétől és a pályabeosztástól azonban a szimulációban eltekintettünk. A való életben a pályabeosztásnak is lehet szerepe. A belső pályákon futókra nagyobb centrifugális erő hat, aminek az ellentartása több erőfeszítést igényel, cserébe viszont jobban nyomonkövethető az ellenfelek mozgása. Éppen ezért a 4. és 5. pályát szokás a legelőnyösebbnek tartani.

##### 3.1.2.1 Előfutamok beosztása

Az előfutamok beosztásához előre meghatározott időszakon belül érvényes eredményekről készített rangsorokat használnak, és a futamok beosztása cikk-cakk módszerrel történik (lásd a 2. táblázatot). Ennek előnye, hogy a rangsorszámok összege minden futamban azonos, azaz kiegyenlített a mezőny. Az előfutamok beosztásánál csak az időeredmény kerül figyelembevételre, a többi forduló során azonban már érvényes a helyezésen alapuló rangsorolás. A futamok sorrendje sorsolás alapján történik.

##### 3.1.2.2 Továbbjutás menete

A következő fordulóba való továbbjutásnak két lehetséges módja is van, futamban elért helyezés (H) és időeredmény (I) alapján is ki lehet harcolni az újbóli részvételt.

Ehhez egy olyan rangsort kell felállítani, amely mind a helyezéstől, mind az időeredménytől is függ. Első helyre kerül a leggyorsabb futamgyőztes, utána következik a második, harmadik és a negyedik leggyorsabb futamgyőztes. Ezután a futam másodikak és futam harmadikok sorba rendezése következik, majd a kimaradt versenyzők időrendi sorrendben követik a futam

helyezetteket. Az adott versenyszámtól és az indulók számától függ, hogy hány ember jut tovább automatikusan a következő fordulóba. A fedett pályás futás és gátfutás versenyszámokra az alábbi táblázat vonatkozik a versenyszabályzat szerint 60 méteren.

A 3. Táblázat alapján látható, hogy a modellnek, amely 32 versenyzőből álló mezőny fedett pályás 60 méteres futására vonatkozik, 4 futamból álló selejtezőkörrel kell rendelkeznie, amelyből futamonként hárman jutnak tovább automatikusan helyezés alapján és további négyen időeredmény szerint az elődöntőbe. Ez alapján az előforduló után kialakult rangsor első 12 helye a futam első, futam második és a futamok bronz érmesei között oszlik meg, míg a maradék 4 helyre a megmaradt versenyzők kerülhetnek időeredményük alapján. A 16 középdöntőt két futamba kell rendezni és futamonként a legjobb 4 helyezést elért versenyzők jutnak tovább a döntőbe, ahol végül időeredmény alapján dől el az első 8 versenyző rangsora.

Ezen szabályok a Magyar Atlétikai Szövetség 2018-ban kiadott Atlétikai szabálykönyve alapján kerültek ismertetésre<sup>5</sup>.

### 3.2 Adatok és modellezés

A szimulációhoz 32 U20-as kategóriában versenyző női futó 2016-ban elért 60 méteres fedett pályás eredményét használtuk fel. A versenyzők a 2016-os világranglista alapján kerültek kiválasztásra. A 60 méteres távra azért esett választás, mert így nem kell számolni a pálya kanyarulatával, illetve a fedett pályás versenyszámokat nem befolyásolja a szél jelenléte sem. A cél az volt, hogy minden versenyző legalább három valós eredménnyel rendelkezzen azért, hogy ezek az eredmények releváns alapot tudjanak nyújtani a szimuláció során. Így annak, aki mégsem rendelkezett megfelelő számú versenyeredménnyel, 2017-es vagy 2015-ös szezonbeli adatokkal dúsítottuk az elért eredményeit. A felhasznált adatok az International Associations of Athletics Federations (IAAF) oldalán érhetőek el<sup>6</sup>, ahol a világranglisták mellett a különböző versenyek eredményei is fellelhetők, illetve minden versenyző rendelkezik egy saját profillal, ahol megtalálhatóak az addigi eredményei versenyszámonként, illetve versenyenként időrendi sorrendben.

Az adatokat két módon használtuk fel. Egyrészt a versenyzők eredményeinek átlagai alapján meghatároztunk egy rangsort. Ezt tekintettük a valós erőssorrendnek, amihez a szimulált verseny eredményét hasonlítottuk. Másrészt a versenyzők eredményeinek átlagából és szórásából becsültük a versenyzők futamokban nyújtott teljesítményét, egy hasonló paraméterekkel rendelkező normális eloszlást alapul véve.

Mivel tesztelni szeretnénk volna a formátumok hatékonyságát különböző összetételű mezőnyök esetén a szórást egy spektrumon vizsgáltuk. Összesen húsz forgatókönyvet vizsgáltunk az alábbi képlet szerint:

$$\frac{k \cdot \sigma_i}{10}, [k = 1, 2, \dots, 20]$$

Itt  $\sigma_i$  jelöli az  $i$ . versenyző szórását,  $k$  pedig egy változó, amely 1-től 20-ig fut. A  $k = 1$  esetben, minden versenyző teljesítménye csak tizedannyira szóródik,  $k = 10$ -nél az eredeti szórásokat kapjuk,  $k = 20$  esetében pedig dupla akkorákat.

<sup>5</sup> Forrás: <https://atletika.hu/sites/default/files/masz/csatolt-dokumentumok/2018/20180508iaafszabalykonyvv10.pdf> (letöltve: 2019.08.13)

<sup>6</sup> Forrás: <https://www.iaaf.org/home>, (letöltve: 2018.11.25.)

Az úszás és a futás versenyszabályzatban rögzített formátumai mellett megvizsgáltuk mi történik, ha a futambeosztást elhagyjuk. Ez lényegében azt jelentette, hogy a versenyzők nevezési sorrendben lettek futamokba beosztva, a mezőny kiegyenlítése, a cikk-cakkos keverés elmaradt. A nyolc legjobb nevező került az első futamba, a második nyolc a következőbe, és így tovább. A nevezési időket, hasonlóan a versenyzők többi eredményéhez, normális eloszlásból generáltuk. A 32 versenyző eredményeinek átlaga és szórása a függelékben megtalálható.

### 3.3 Mutatószámok

Többféle mutató alapján is mértük a versenyformátumok hatékonyságát. Ezek egy részét, már használták az irodalomban, de bevezettünk egy új, a rangsorok távolságán alapuló mértéket is.

A korábban Appleton (1995), McGarry és Schutz (1997), Scarf, Yusof és Bilbao (2009) valamint Csató (2019) által is használt TOP1 mutató azt méri, hogy az esetek hány százalékában nyer a legmagasabban rangsorolt játékos. Ehhez hasonlóan a TOP3 azt méri, hogy az esetek hány százalékában kerül dobogós helyre a legerősebb versenyző.

Az R3 és R8 mutatók az első három illetve első nyolc helyen végzetek normált rangsorösszegének a várható értékét mutatják. Formálisan, jelöljük az  $i = \{1, 2, 3 \dots\}$  játékosok szimulációban elért helyezéseit az  $s_1, s_2, s_3, \dots$  számok, ekkor az adott szimulációban

$$R3 = \frac{\sum_{i=1}^3 s_i}{6}, \quad R8 = \frac{\sum_{i=1}^8 s_i}{36}.$$

A legerősebb három versenyző rangsorainak összege hat. Ha valóban a legerősebb három versenyző győz, akkor R3 értéke 1 lesz. Ha azonban a 5., 6. és 7. helyen rangsorolt versenyzők kerülnek az első háromba, úgy R3 értéke  $(5 + 6 + 7)/6 = 3$ -ra nő. Látható, hogy minél közelebb van R3 várható értéke egyhez, annál hatékonyabb a verseny. Magas R3 értékek viszont arról tanúskodnak, hogy rendszeresen kerülnek dobogós helyre alacsonyabban rangsorolt versenyzők. R8 értékét hasonlóan számoljuk ki, itt viszont 36-tal kell osztani (normálni), hiszen az első 8 versenyző rangsorösszege 36. R3-hoz és R8-hoz hasonló mutatókat már Scarf, Yusof és Bilbao (2009) és Csató (2019) is használt.

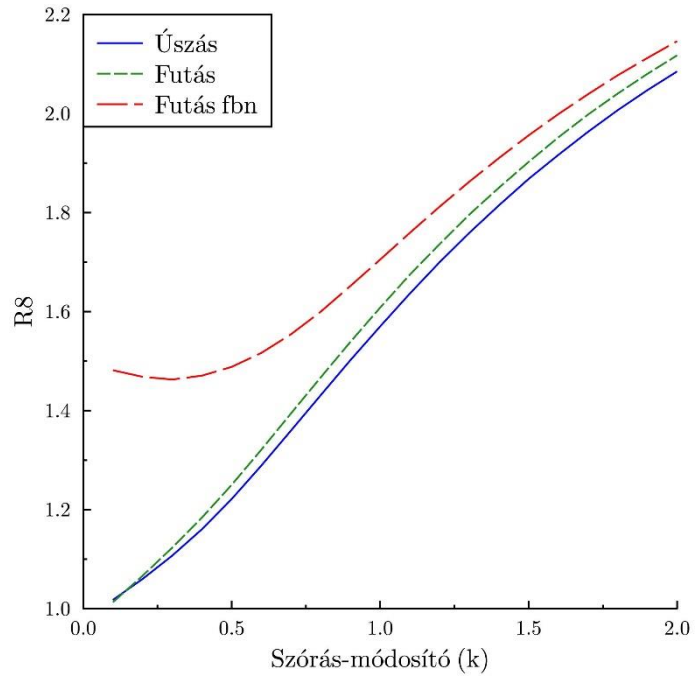
Végezetül bevezetünk egy természetes távolság definíciót is, amely nem csak a pontszerző helyezéseken, hanem a teljes rangsorban méri az eltérést. Az INV mutató jelöli a valós és a szimulált rangsorok közötti várható inverziószámot. Két rangsor között az inverziók száma, azt mutatja meg, hogy hány szomszédos elemet kell minimálisan felcserélni az egyik rangsorban ahhoz, hogy eljussunk a másik rangsorig. Az inverziószám a Statisztikában és a Társadalmi Választások elméletében (Social Choice) is egy bevett távolságfogalom, az előbbiben Kendall-Tau távolságként az utóbbiban pedig Kemeny-távolságként szoktak rá hivatkozni.

## 4 Szimuláció eredményei

A következőkben bemutatjuk a szimuláció eredményeit. Három formátumot vetettünk össze, az úszás és a futás versenyszabályzatban rögzített formátumát, illetve a futást futambeosztás nélkül (ábrán fbn-nel jelölve). Az úszás esetében a futambeosztás nem befolyásolja az eredményt, így ezt szükségtelen két esetre bontani.

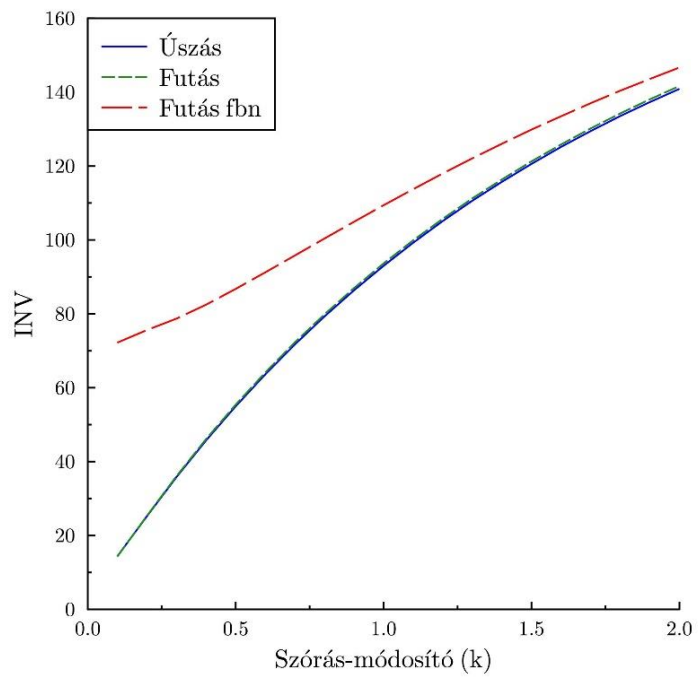
1. ábra

Az első nyolc helyezett normált rangsorösszege



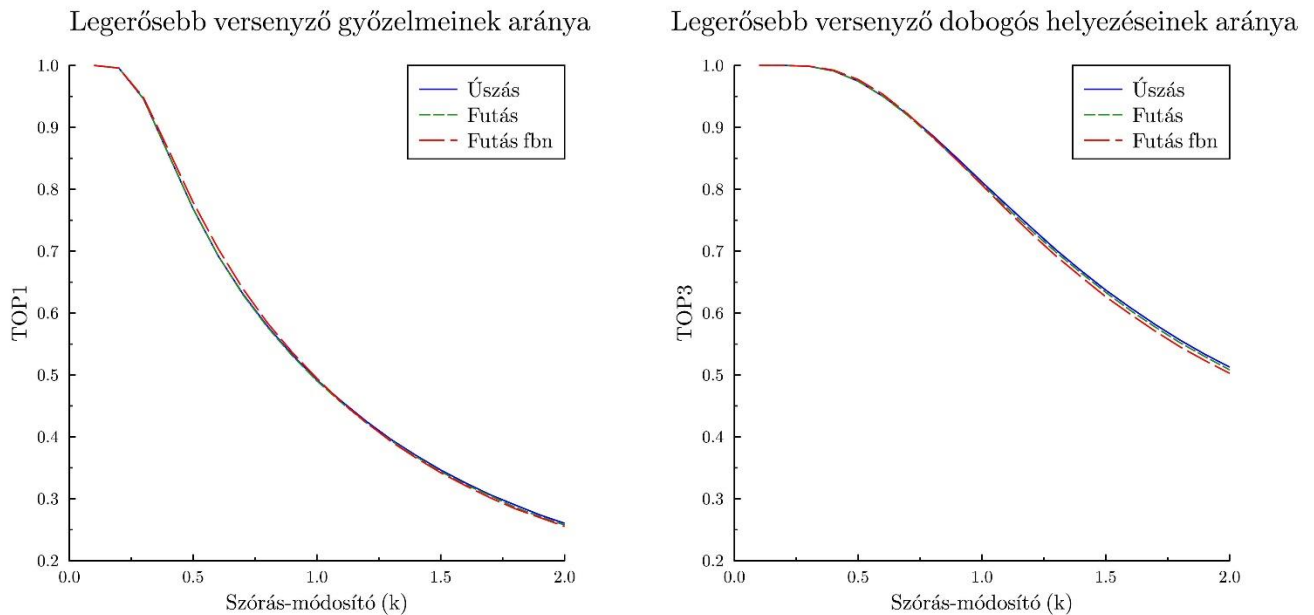
2. ábra

Inverziószám



### 3. ábra

#### Legerősebb versenyző helyezései



Az ábrák vízszintes tengelyén a szórás-módosító szerepel. Az 1.0-ás érték tehát a minta valós szórása melletti eredményeket mutatja. A szemléltetés kedvéért az ábrákon a 20 adatpontot összeköttöttük egy folytonos vonallal.

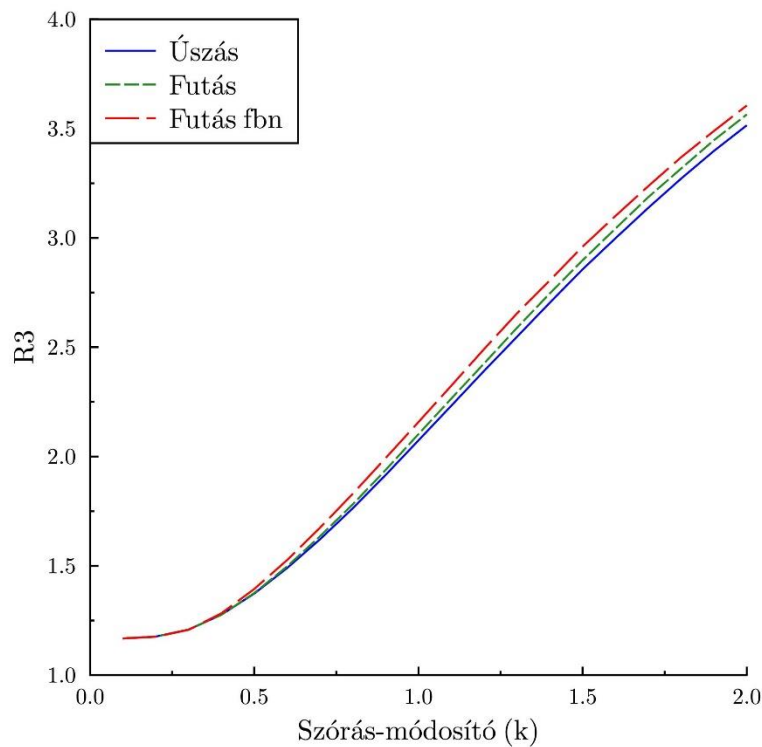
A legmarkánsabb különbség az R8-as mutatónál jelentkezik (1. ábra). Ez a mérőszám az első nyolc helyezett normált rangsorösszegének várható értékét mutatja. Minél közelebb van ez az érték 1-hez, annál inkább igaz az, hogy az első nyolc helyen a legerősebb nyolc versenyző végzett. Az úszás és a futás formátuma között kicsi, de szignifikáns különbség van, amely a szórás növelésével lassan szétnyílik.

Bár a nézőket érthető okból a pontszerző helyeken bekövetkezett meglepetések érdeklik, érdemes egy formátum hatékonyságát a teljes mezőnyön is megmérni. Egy ilyen mutató a 2. ábrán látható inverziószám, amely azt méri, hogy a valós erőssorrendhez képest a végeredmény hány rangsorcsere-t tartalmaz. Ebben az esetben is a kisebb érték jelenti a hatékonyabb formátumot. A futás és az úszás között lényegében nincs különbség, ha azonban a futambeosztást elhagyjuk, az inverziószám jelentősen megugrik, különösen alacsony szórás esetén. Ennek oka, hogy alacsony szórásnál minden versenyző az átlagához közel eső eredménnyel versenyez, így a futamokon belül a sorrend a valós erőssorrendet tükrözi. Szélsőséges esetben, futambeosztás nélkül, a második futamban a 9-től 16-ig rangsorolt atléták versenyeznek, de csak a 9. 10. és 11. jut tovább. A 12-től 16-ig rangsorolt versenyzőket megelőzik a 17-től 19-ig és a 25-től 27-ig rangsorolt versenyzők (a III. és IV. futam továbbjutói), és ez inverziókat generál a rangsorok között.

A legerősebb versenyző nyelési esélyei mindhárom formátumban hasonlóan alakulnak (3. ábra). Ahhoz, hogy egy versenyző ne jusson tovább a futás selejtezőkörén, vagy legutolsónak kell lennie a futamban, vagy legalább 10 versenyzőnek jobb időt kell nála elérnie a teljes mezőnyben. A legerősebb versenyző esetén ez nagyjából ugyanolyan ritkán fordul elő, mint az, hogy 16 másik versenyző megelőzi, ami az úszás formátumában vonná maga után a kiesést. A TOP1 és TOP3 mutatók így együtt mozognak mindhárom formátum esetén.

#### 4. ábra

Az első három helyezett normált rangsorösszege



Végezetül az R3 mérőszám értéke mutatja, hogy ha az eredmények szóródnak valamelyest a dobogós helyek esetében kicsi, de szignifikáns különbség van a három formátum között (4. ábra). Ez azt jelenti, hogy a futás formátumait használva kicsit gyakrabban kapnak érmet alacsonyabban rangsorolt versenyzők, mint az úszás esetén.

## 6 Validáció

Az eredmények validitását illetően két kérdés merül fel. Az egyik, hogy mennyire függenek az eredmények a szimulációban felhasznált adatoktól. A másik, hogy mennyire helytálló a feltevésünk a versenyzők teljesítményének a normalitására nézve.

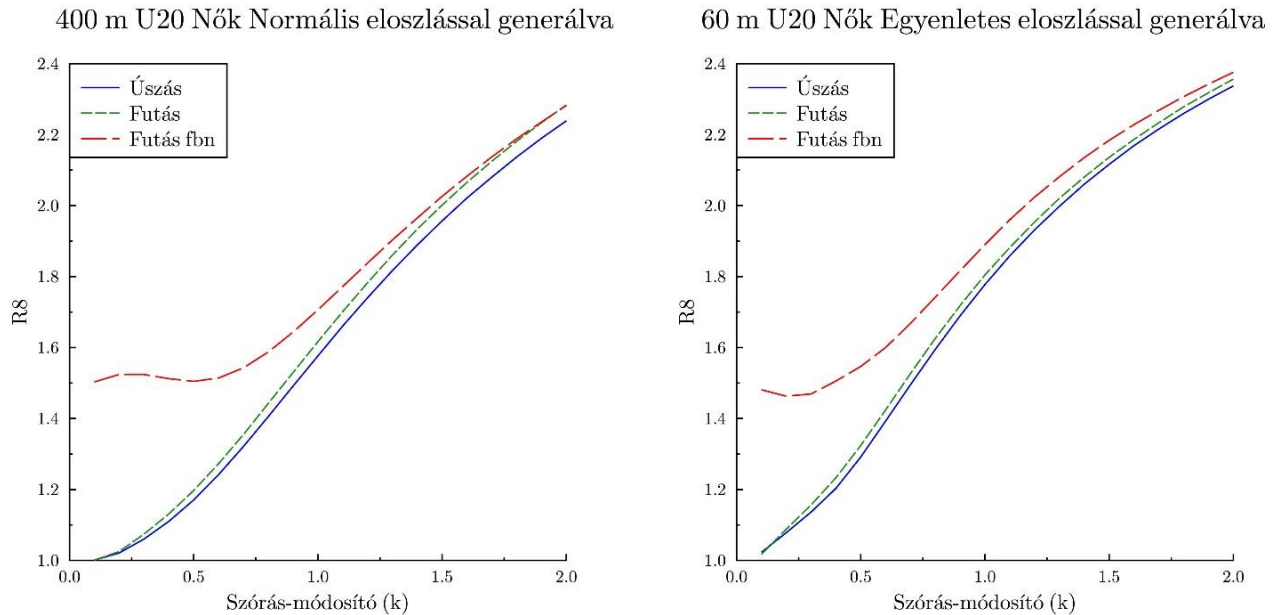
Az első kérdést könnyű megválaszolni. A szimulációt lefuttattuk az U20-as, 400 m-es női versenyzők adataival is és a hatékonyság mérőszámok lényegében ugyanazt a képet mutatták.

A második kérdés nehezebb dió, mivel kevés versenyzőről van megfelelő számú adatpont, hogy a feltevést megnyugtatóan tesztelni lehessen. A Kolmogorov-Szmirnov próba 5%-os szignifikanciaszint mellett 32 versenyzőből 31 esetén elfogadja a normalitást. Az ennél valamennyivel szigorúbb Shapiro-Wilks próba viszont csak a versenyzők felénél látja ezt megalapozottnak. A normalitás ellen szól, hogy az atléták a fizikai teljesítőképességük határán versenyeznek, egy bizonyos szintnél nem tudnak jobb időt futni/úszni, rontani viszont bármilyen nagyot lehet. Ha ez igaz, valamilyen aszimmetrikus, vagy csonkolt eloszlással

jobban leírható a teljesítményük. Ennek némileg ellentmond, hogy ha azoknak a versenyzőknek a teljesítményét ábrázoljuk egy hisztogrammal, akiknél volt elegendő számú megfigyelés, akkor egy többmódusú ábrát kapunk.

### 5. ábra

#### Az első nyolc helyezett normált rangsorösszege



A többmódusú eloszlásnak több oka lehet. A versenyzők teljesítménye természetes módon hullámzik. Van, akinek jól sikerül a formaidőzítése, van, akinek kevésbé. Sok versenyző több versenyszámban is indul, így ha érzik, hogy a futam nem úgy alakul, ahogy eltervezték, akkor nem adnak bele mindent. Végül, és ez a magyarázat nem mond ellent a normalitásnak, a fiatal versenyzők sokszor ugrásszerűen fejlődnek. Mivel a versenyeredmények egy-két év adatait ölelik fel, lehet, hogy két különböző fejlődési szakaszból valóak. Ha olyan eredményeket ábrázolunk egy hisztogramon, amelyek két hasonló szórású, de különböző várható értékű normális eloszlásból származnak, ugyanilyen többmódusú ábrát kaphatunk.

Bár kérdéses, hogy a teljesítmények eloszlása valóban normális-e, az is világos, hogy ha nem is az, nem áll túl messze tőle. Megvizsgáltuk a hatékonyságot egyenletes eloszlás mellett is és hasonló képet kaptunk.

Érdeemes az 5. ábrán látható R8 mutató értékeit összevetni az 1. ábrán látottakkal. Külön-külön két paramétert változtattunk. A bal oldali grafikont úgy kaptuk, hogy a versenyzők teljesítményét más adatokból generáltuk, a 60 m, U20, nők kategória helyett a 400 m, U20, nők adatait vettük alapul. A jobb oldali grafikonon pedig a normális eloszlás helyett, egy olyan egyenletes eloszlású teljesítményt vettünk, ahol a versenyzők eredményei az átlaguktól jobbra-balra két szórásnyira térhetnek el.

Mivel az eredmények robusztusak mind a kiinduló adatbázisra, mind a választott eloszlásra nézve, ezért megállapíthatjuk, hogy a hatékonyságbeli eltérések a formátumok különbözőségeire vezethetők vissza.



## 7 Diszkusszió

Tanulmányunkban elsőként vizsgáltuk egyéni teljesítménysportok versenyformátumait Monte Carlo szimuláció segítségével. A futás és az úszás esetén is az a versenyzők célja, hogy minél rövidebb idő alatt teljesítsenek egy fix távolságot, emiatt a két sportág versenyformátuma is hasonló. Az úszás esetén a továbbjutás csupán az elért időeredményen múlik, a futásnál a futamokban elért helyezés többet nyom a latban és a versenyzőknek csak egy kis része jut tovább tisztán időeredmény alapján. Cikkünkben annak jártunk utána, hogy az eltérő formátumoknak a hatékonysága is különböző-e; hatékonyság alatt azt értve, hogy egy formátum milyen jól tudja visszaadni a versenyben részt vevő játékosok vagy csapatok valós, ámde a külső szemlélő által nem látható erőssorrendjét.

A formátumok hatékonyságának mérésére egy olyan Monte Carlo szimulációt alkalmaztunk, amelyben az erőssorrend ismert, a versenyzők teljesítményét pedig valós adatok alapján egy normális eloszlásból becsüljük. A hatékonyságot olyan mérőszámokkal vizsgáltuk, mint a legerősebb versenyző győzelmeinek (dobogós helyezéseinek) aránya, az első három (nyolc) helyezett normált rangsorösszege, vagy a szimulált és a valós rangsor közötti inverziószám.

A kapott eredmények alapján az úszás és a futás formátuma között kicsi, de mérhető eltérés van az úszás javára. Ugyan a legerősebb versenyzőnek mindkét formátumban ugyanakkora esélye van a győzelemre, az úszásban az első három, illetve az első nyolc helyen gyakrabban végeznek a legerősebb versenyzők, mint a futás esetén. Ha a cikk-cakk elvre épülő futambeosztást elhagyjuk ez a különbség még szembetűnőbb lesz és a futás formátuma egyértelműen rosszabbul teljesít, mint az úszás. Ez lényegében azt jelenti, hogy a futamhelyezésekre épülő továbbjutási rendszer csak akkor működik jól, ha a mezőny jól meg van 'keverve' és minden futamba egyaránt jut gyengébb és erősebb képességű sportoló.

A modellünkben számos egyszerűsítő feltevést alkalmaztunk. Nem vizsgáltuk a pályabeosztást, holott a különböző pályákon versenyzők más pszichés és fizikai körülményekkel néznek szembe. A futamok sorrendje pedig taktikázásra ad lehetőséget. A sportolók ugyanis megválaszthatják, hogy milyen erőfeszítést tesznek az adott futamban. Az utolsó futamban több információ áll a versenyzők rendelkezésére, mivel pontosan tudják, hogy milyen futamhelyezéssel/idővel juthatnak tovább. Sejtésünk szerint ezeknek a taktikai elemeknek a modellbe való illesztése inkább mélyíteni, mintsem csillapítani fogja az eltérést az úszás és a futás formátumának hatékonysága között.

## Irodalomjegyzék

- Appleton D. R.(1995): „May the best man win?”, *The Statistician* vol. 44 pp. 529-538.
- Arlegi, R. and Dimitrov, D. (2018): „Fair Competition Design” REPEC Technical report no. 1803 <https://ideas.repec.org/p/nav/ecupna/1803.html>
- Burka, D., and Puppe, C and Szepesváry, L. and Tasnádi, A. (2016): „And the winner is ... Chevalier de Borda: Neural networks vote according to Borda’s Rule”, *Proceedings of the Sixth International Workshop on Computational Social Choice*, Toulouse, France, 22–24 June 2016 <https://www.irit.fr/COMSOC-2016/proceedings/BurkaEtAlCOMSOC2016.pdf>
- Csató, L. (2016): „How to design a tournament: lessons from the men's handball Champions League” Technical report arXiv:1811.11850v4 [stat.AP] <https://arxiv.org/abs/1811.11850>
- Csató, L. (2019a): „A simulation comparison of tournament designs for the World Men's Handball Championships” *International Transactions in Operational Research*, Online first <https://doi.org/10.1111/itor.12691>
- Csató, L. (2019b): „The unfairness of the UEFA Euro 2020 qualifying” Technical report arXiv:1905.03325v1 [stat.AP] <https://arxiv.org/abs/1905.03325>
- Csóka, P., and Kondor, G. (2019): „Delegációk igazságos kiválasztása társadalmi választások elméletével” *Közgazdasági Szemle*, vol. 66(7-8), pp. 771-787.
- Groh, C. and Moldovanu, B. and Sela, A. and Sunde, U. (2012): „Optimal seedings in elimination tournaments” *Economic Theory*, vol. 49 pp. 59-80.
- Kendall, G. and Lenten, L. J. A. (2017): „When sport rules go awry”, *European Journal of Operational Research*, vol. 257 pp. 377-394.
- McGarry, T. and Schutz, R. W. (1997): „Efficacy of traditional sport tournament structures”, *Journal of the Operational Research Society* vol. 48 pp. 65-74.
- Pizzo, A. D., Baker, B. J., Na, S., Lee, M. A., Kim, D. and Funk, D. C. (2018): „eSport vs. Sport: A Comparison of Spectator Motives” *Sport Marketing Quarterly*, vol. 27, pp. 108-123.
- Scarf, P. and Yusof, M. M. and Bilbao, M. (2009): „A numerical study of designs for sporting contests”, *European Journal of Operational Research* vol. 198 pp. 190-198.

## Függelék

### 4. táblázat:

A 60m-es fedett pályás futás, U20, női kategória 32 versenyzőjének  
2016-os eredményinek átlaga és szórása.

Versenyzők	Átlag	Szórás
Jayla KIRKLAND	7,526	0,077
Candace HILL	7,393	0,110
Ciara NEVILLE	7,564	0,054
Hannah BRIER	7,445	0,098
Chantal BUTZEK	7,394	0,092
Celera BARNES	7,394	0,060
Keshia Beverly KWADWO	7,460	0,071
Sydney WASHINGTON	7,728	0,091
Halle HAZZARD	7,545	0,155
Kristina SIVKOVA	7,314	0,093
Thelma DAVIES	7,497	0,132
Kaylor HARRIS	7,478	0,055
Celeste MUCCI	7,515	0,177
Jasmin REED	7,772	0,053
Gabrielle CUNNINGHAM	7,614	0,080
Lynna IRBY	7,520	0,102
Symone MASON	7,504	0,063
Estelle RAFFAI	7,508	0,045
Bowien JANSEN	7,768	0,030
Alexis BROWN	7,490	0,072
Helene RØNNINGEN	7,567	0,081
Trudy-Ann WILLIAMSON	7,540	0,081
Molly SCOTT	7,568	0,106
Tristan EVELYN	7,564	0,068
Hope GLENN	7,566	0,116
Daija LAMPKIN	7,445	0,026
Zaynab DOSSO	7,492	0,115
Symone DARIUS	7,663	0,015
Amy HUNT	7,754	0,055
Alisha REES	7,650	0,026
Trishawna CRAWFORD	7,598	0,140
Katrin FEHM	7,610	0,109