

AZ IDŐN MÚLIK? EGYÉNI TELJESÍTMÉNYSORTOK HATÉKONYSÁGVIZSGÁLATA MONTE CARLO SZIMULÁCIÓ SEGÍTSÉGÉVEL¹

DOBRÁNSZKY BLANKA – SZIKLAI BALÁZS RÓBERT
BCE – KRTK KTI, BCE

Alapvetően befolyásolja egy sportág népszerűségét, 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 erőrendjét. 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 erőrendtől. Hogy teszteljük azokat a helyzeteket, amikor szoros a mezőny, illetve amikor egyértelmű erőrend 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, a futás formátumának hatékonysága csak minimálisan marad el az úszásétól. Ha ettől eltekintünk, a futás formátuma rosszabbul 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 részlege².

Minden generációnak szüksége van hősökre. A különböző sportágak között nagy vetélkedés folyik, hogy melyik játékost/versenyzőt tudják a figyelem középpontjába állítani. Nem kis összegekről van szó – az európai ligában

¹Dobránszky Blanka: Budapesti Corvinus Egyetem, Közgazdaságtudományi Kar, e-mail: d.blanka97@gmail.com. Sziklai Balázs Róbert: KRTK Közgazdaság-tudományi Intézet, valamint Budapesti Corvinus Egyetem, Közgazdaságtudományi Kar, e-mail: 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” téma-területi programja (NKFIFH – 1163-10/2019) keretében. A szerzők köszönik az NKFIFH támogatását (K 124550). Beérkezett: 2019. augusztus 27.

²https://www.skysports.com/esports/news/34214/1130689_0/why-every-football-club-should-be-paying-attention-to-fc-copenhagen

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 támad egy verseny, vagy mérkőzés végén, hogy valóban a legjobb győzött-e, akkor csalódhatnak és elfordulhatnak az adott sportágtól (lásd profi bokszt vs. mma³). 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/capatnak az érdekében kell, hogy álljon a nyerés. 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.

Nem minden sportág érdeke, hogy az általuk alkalmazott versenyformátum tökéletesen hatékony legyen, hiszen a drámai küzdelmeknek, a Dávid-Góliát párharcoknak is megvan a varázsa. Az egyéni teljesítménysportok azonban különböznek ebből a szempontból, mivel itt a versenyzők nem páros meccseket vívnak. Igazából nem is egymással, hanem az idővel versenyeznek: a cél, hogy ők legyenek minden idők legjobbjai. Ilyen környezetben a formátum hatékonysága elsődlegesen fontos.

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 körülményekkel, 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

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

következő fordulóba és ezen kívül még négyen időeredmény alapján kvalifikálták magukat az elődöntőbe. Így Aleesha Barber 13,33-as időeredménnyel továbbjutott, kiszorítva ezzel egy nála jobban teljesítő társát, Lucie Skobrákovát, ráadásul még további három nem-továbbjutó versenyző is jobb időeredményt ért el, mint ő.

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 erősorrenddel. 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. 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-HASSAN	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		

1. táblázat. A 2013-as atlétikai világbajnokság 100 méteres női gátfutás 1. fordulójának eredményei

2 Elméleti háttér rövid bemutatása

A különböző versenyformátumok hatékonyságvizsgálata egy közkezdvelt 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 közép-pontjában 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 erősortrendet 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 teljesítménykritériummal harcolnak a versenyzők. Ilyen teljesítménykritériumnak tekinthető az idő is, ugyanis a nemzetközi versenyek szabályzatában rögzítésre kerül egy szintidő, amelyet el kell érni 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 esetén⁴. Arlegi és Dimitrov (2018) pedig axiomatikus karakterizáció keretében próbálják megtalálni az igazságos tornaformátumot.

Vannak sportok, ahol az idő helyett más teljesítménykritérium 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.

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

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.

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 középén úszó versenyzők előnyt kovácsolhatnak. Emellett a szélső pályán elhelyezkedők több hullámot kapnak lemaradáskor a többi versenyzőtől, ami nehezítheti az úszást. Ezeket a hatásokat azonban nehéz mérni, és nem is számottevőek, így a modelltől kihagytuk őket. A továbbiakban a különböző fordulókból való továbbjutások menetét ismertetjük.

Az alábbi szabályok akkor állnak fent, ha elektronikus időmérő készülékkel történik az eredmények megállapítása. Döntetlenek előfordulásakor a nevezésnél sorsolással határoznak a futam beosztásáról, (közép)döntőbe való továbbjutás meghatározásánál pedig szétúszással választanak a versenyzők között. A szimuláció során (az egyszerűség kedvéért) a nevezési sorrendet vettük figyelembe. Ez érdemben nem befolyásolta az eredményeket, mert a döntetlen esélye mind a való életben, mind a szimulációban elhanyagolhatóan kicsi.

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, ez alapján történik a továbbjutás, a futamba rendezés és a pályák beosztása.

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.

3.1.2 A futás különböző fordulóiból 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 nyomon követhető az ellenfelek mozgása. Éppen ezért a 4. és 5. pályát szokás a legelőnyösebbnek tartani.

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.

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

2. táblázat. Versenyzők előfutamokba rendezése a cikk-cakk módszerrel

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 3. táblázat összegzi a továbbjutás menetét 60 méteres futás és gátfutás esetén. A 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 másodikak és a futamok bronzérmesei között oszlik meg, míg a maradék 4 helyre a megmaradt versenyzők kerülhetnek időeredményük alapján. Az itt alkalmazott továbbjutási rendszer szerint kialakult 16 középdöntőt cikk-cakk módszerrel kell két futamba rendezni, így a futam első, futam másodikak, és a futamok bronzérmesei külön-külön futamokba kerülnek, ami a két futam közel azonos erősségét eredményezi. Ezután 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 ismertetésre⁵.

Nevezések száma	Futamok száma a selejtezőben	H	I	Futamok száma az elődöntőben	H	I
9-16	2	3	2	-	-	-
17-24	3	2	2	-	-	-
25-32	4	3	4	2	4	-
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. táblázat. A továbbjutás menete fedett pályás 60 méteres futás és gátfutás esetén. (H): helyezés alapján továbbjutók száma futamonként, (I): időeredmény alapján továbbjutók száma

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

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 érhetők el⁶, 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 erő-sorrendnek, 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 szerettük volna a formátumok hatékonyságát, különböző összetételű mezőnyök esetén a szórást egy spektrumon vizsgáltuk. Scarf, Yusof és Bilbao (2009) hasonlóan jártak el a csapatsportok formátumainak összevetésekor. Mi összesen húsz forgatókönyvet vizsgáltunk az alábbi képlet szerint:

$$k \cdot \sigma_i, \quad (k = 0.1, 0.2, \dots, 2).$$

Itt σ_i jelöli az i -ik versenyző szórását, k pedig egy változó, amely 0.1-től 2-ig fut. A $k = 0.1$ esetben minden versenyző teljesítménye csak tizedannyira szóródik, $k = 1$ -nél értelemszerűen az eredeti szórásokat kapjuk, $k = 2$ esetében pedig dupla akkorákat.

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

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

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, jelöljék 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 valós erőssort tartalmazó ranglistán a legerősebb három versenyző rangszámainak az összege (1+2+3=) hattal egyenlő. Az R3 mutató a szimulációban dobogós helyen végzett versenyzők rangszámainak az összegét osztja hattal. Ha valóban a legerősebb három versenyző győz, akkor R3 értéke 1 lesz. Ha azonban az 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 távolságdefiníciót 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

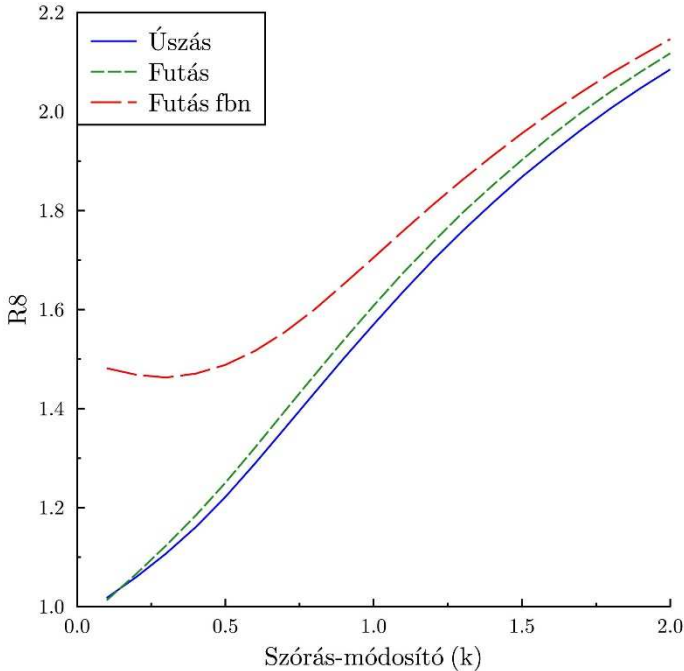
A következőkben bemutatjuk a szimuláció eredményeit. Három formátumot vetettünk össze, az úszás és a futás versenyszabályzatban rögzített formátumát, illetve a futást futambeosztás nélkül (ábrán fbn-nel jelölve).

Az úszás esetében a futambeosztás nem befolyásolja az eredményt, így ezt szükségtelen két esetre bontani. 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 összekötöttük egy folytonos vonallal.

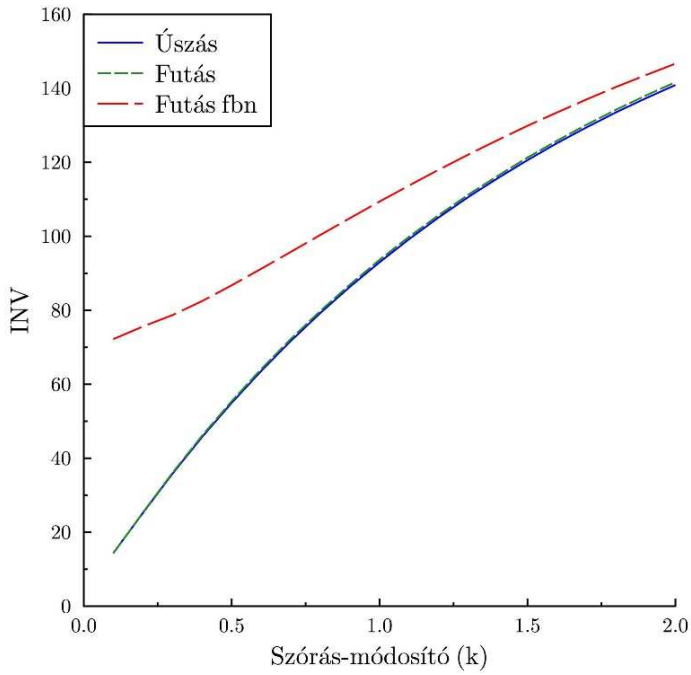
A legmarkánsabb különbség az R8-as mutatónál jelentkezik (1. ábra).

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.

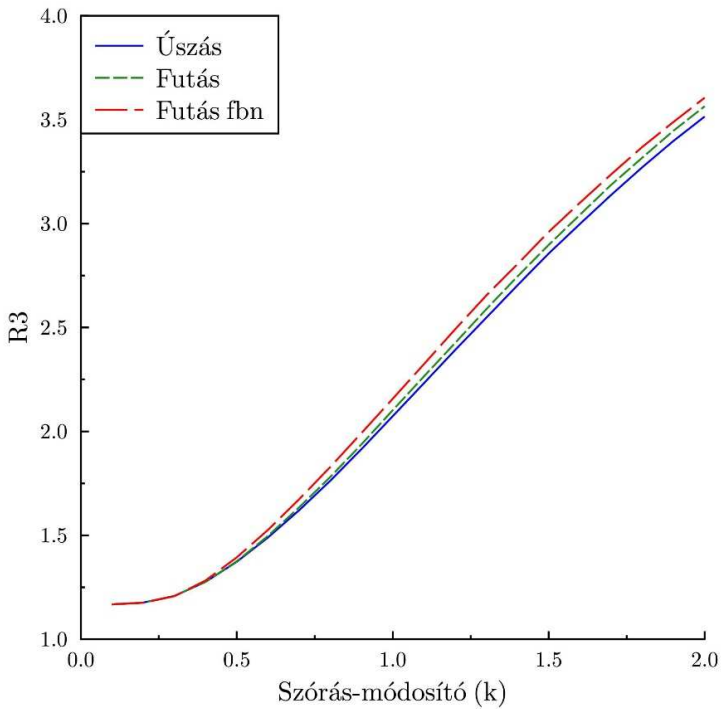
Bár a nézőket érthető okból a pontszerző helyeken bekövetkezett meglepetések érdeklik, érdemes egy formátum hatékonyságát a teljes mezőnyön is megmérni. Egy ilyen mutató a 2. ábrán látható inverziószám, amely azt méri, hogy a valós erőssorrendhez képest a végeredmény hány rangsorcsere-t tartalmaz. Ebben 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.



1. ábra. Az első nyolc helyezett normált rangsorösszege



2. ábra. Inverziószám



3. ábra. Az első három helyezett normált rangsorösszege

A legerősebb versenyző nyeresi esélyei mindhárom formátumban hasonlóan alakulnak. Ahhoz, hogy egy versenyző ne jusson tovább a futás selejtezőkörén, vagy legutolsónak kell lennie a futamában, 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.

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 (3. ábra). Ez azt jelenti, hogy a futás formátumait használva kicsit gyakrabban kapnak érmet alacsonyabban rangsorolt versenyzők, mint az úszás esetén.

5 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.

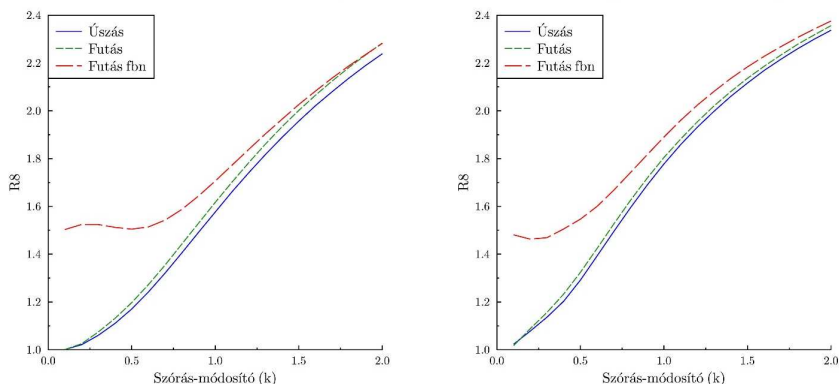
Az első kérdést könnyű megválaszolni. A szimulációt lefuttattuk az U20-as, 400 m-es női versenyzők adataival is és a hatékonyság mérőszámok lényegében ugyanazt a képet mutatták.

A második kérdés keményebb dió, mivel kevés versenyzőről van megfelelő számú adatpont, hogy a feltevést megnyugtatóan tesztelni lehessen, még annak ellenére is, hogy ennek tesztelésekor a versenyzők 2014-2019 periódusban elért összes IAAF oldalán feltüntetett eredményét figyelembe vettük, amely legrosszabb esetben is 14 megfigyelés, de akadnak olyan versenyzők is, akik így közel 80 megfigyeléssel rendelkeznek. 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.

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 több 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.



400 m U20 nők normális eloszlással generálva 60 m U20 nők egyenletes eloszlással generálva

4. ábra. Az első nyolc helyezett normált rangsorösszege

Érdekes az 4. 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.

6 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 helyezések többet nyom a latban és a versenyzőknek csak egy kis része jut tovább tisztán időeredmény alapján. Cikkünkben annak járunk 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 erőrendjét.

A formátumok hatékonyságának mérésére egy olyan Monte Carlo szimulációt alkalmaztunk, amelyben az erőrend 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.

Irodalom

1. Appleton, D. R. (1995): May the best man win?, *The Statistician*, 44, 529–538.
2. Arlegi, R. and Dimitrov, D. (2018): Fair Competition Design REPEC, Technical report no. 1803 <https://ideas.repec.org/p/nav/ecupna/1803.html>
3. 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/COMSOC2016/proceedings/BurkaEtAlCOMSOC2016.pdf>
4. 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>
5. 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>

6. Csató, L. (2019b): The unfairness of the UEFA Euro 2020 qualifying, Technical report arXiv:1905.03325v1 [stat.AP] <https://arxiv.org/abs/1905.03325>
7. Csóka, P. and Kondor, G. (2019): Delegációk igazságos kiválasztása társadalmi választások elméletével, *Közgazdasági Szemle*, 66(7-8), pp. 771–787.
8. Groh, C. and Moldovanu, B. and Sela, A. and Sunde, U. (2012): Optimal seedings in elimination tournaments, *Economic Theory*, 49, 59–80.
9. Kendall, G. and Lenten, L. J. A. (2017): When sport rules go awry, *European Journal of Operational Research*, 257, 377–394.
10. McGarry, T. and Schutz, R. W. (1997): Efficacy of traditional sport tournament structures, *Journal of the Operational Research Society*, 48, 65–74.
11. 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*, 27, 108–123.
12. Scarf, P. and Yusof, M. M. and Bilbao, M. (2009): A numerical study of designs for sporting contests, *European Journal of Operational Research*, 198, 190–198.
13. West, C. (2018): Statistics for Analysts Who Hate Statistics, Part VII: Sum of Ranking Differences (SRD), *LCGC North America*, 36(12), 2–5.

Függelék

Versenyzők	Átlag	Szórás	Megfigyelések száma a normalitás vizsgálatakor (db)
Celera BARNES	7,394	0,060	30
Hannah BRIER	7,445	0,098	41
Alexis BROWN	7,490	0,072	20
Chantal BUTZEK	7,394	0,092	74
Trishawna CRAWFORD	7,598	0,140	23
Gabrielle CUNNINGHAM	7,614	0,080	39
Symone DARIUS	7,663	0,015	22
Thelma DAVIES	7,497	0,132	22
Zaynab DOSSO	7,492	0,115	61
Tristan EVELYN	7,564	0,068	19
Katrin FEHM	7,610	0,109	32
Hope GLENN	7,566	0,116	23
Kaylor HARRIS	7,478	0,055	14
Halle HAZZARD	7,545	0,155	21
Candace HILL	7,393	0,110	14
Amy HUNT	7,754	0,055	34
Lynna IRBY	7,520	0,102	22
Bowien JANSEN	7,768	0,030	34
Jayla KIRKLAND	7,526	0,077	33
Keshia Beverly KWADWO	7,460	0,071	44
Daija LAMPKIN	7,445	0,026	18
Symone MASON	7,504	0,063	14
Celeste MUCCI	7,515	0,177	18
Ciara NEVILLE	7,564	0,054	47
Estelle RAFFAI	7,508	0,045	46
Jasmin REED	7,772	0,053	25
Alisha REES	7,650	0,026	37
Helene RÖNNINGEN	7,567	0,081	55
Molly SCOTT	7,568	0,106	52
Kristina SIVKOVA	7,314	0,093	65
Sydney WASHINGTON	7,728	0,091	34
Trudy-Ann WILLIAMSON	7,540	0,081	18

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

A MATTER OF TIME? MEASURING THE EFFICIENCY OF INDIVIDUAL SPORTS' TOURNAMENT FORMATS VIA A MONTE CARLO SIMULATION

The tournament format has a fundamental impact on the popularity and success of a sport. One of the underlying factors is efficiency. The efficiency of a format describes how well it can reproduce the real but hidden power ranking of the participants. If the spectators doubt that the winner is indeed the best among the competitors, they may turn away from the sport (cf. UFC vs. boxing).

Naturally, there are other factors that play a role in the choice of the format. The most important among these is tradition: spectators hold onto the format they are accustomed to. Consistency allows them to compare the competitors (or teams) of different eras. Another crucial aspect is manipulability – winning should be in the competitors' best interest. Kendall and Lenten (2016) show notorious examples when formats were not designed carefully enough leading to some extreme behaviour

from the competitors' side. In addition, there are other elements concerning the physical and financial implementability of the format. Not every sport seeks a perfectly efficient format as dramatic, David vs. Goliath battles and the element of luck can also be appealing. Individual performance sports are not like that. Participants do not play paired matches, instead they are racing against some external element e.g. time or distance. Their goal is to be the best of all. In such a situation, efficiency is crucial. The two most popular performance sports are running and swimming. In both sports competitors must travel a fixed distance as fast as they can. The similarity is even greater between swimming and indoor running, as neither sport is influenced by external circumstances such as wind.

In this paper, we compare the efficiency of the tournament formats of swimming and indoor running. Based on real data, we perform a Monte Carlo simulation to measure the difference between the simulated and the actual power rankings. For both sports we assume an event with 32 participants. In swimming, the competitors are ranked by their time attained in the heats, and the best 16 proceed to the semi-finals. Similarly, competitors with the best performances in the semis enter into the final. In indoor running, however, the best competitors *in each group* proceed to the semis (see Table 3 for details⁷). In case of 32 participants, the three best competitors in each of the four groups proceed to the next stage. The remaining four places are filled with the best performing competitors of the rest. In the semi-finals, the best two in each group proceeds to the final, and the remaining four are chosen according to their performances. It is clear that, *ceteris paribus*, the format of indoor running is sub-optimal compared to the format of swimming. The likely reason is, that indoor running inherited its format from outdoor running. In outdoor running, group results are better predictors of performance since the wind can substantially change between subsequent group races.

To measure the efficiency of the formats we compare the real power ranking with simulated results. Data was compiled from 2016 performances of U20 Women Indoor runners. The real power ranking was set as the average performances of the athletes. Race times were simulated by a normal distribution whose parameters were also drawn from the data. To obtain a realistic view on the formats' efficiency, we ran a Monte Carlo simulation with 1 000 000 tournaments. 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 TOP1 measure has already been used in a number of papers, see (Appleton, 1995; McGarry and Schutz, 1997; Scarf, Yusof and Bilbao, 2009; Csató, 2019). TOP1 measures the percentage by which the best competitor wins the tournament. Similarly, TOP3 denotes the percentage the best competitor manages podium finishes. The R3 and R8 measures compare the sum of rankings of the top 3 (respectively 8) competitors in the simulation vs. the sum of rankings in the real power ranking (the latter are $1+2+3=6$, and $1+2+3+4+5+6+7+8=36$ respectively). The closer these measures fall to 1, the more efficient the formats are. Similar measures have been applied by Scarf, Yusof and Bilbao (2009) and Csató (2019). Finally, INV measures the number of inversions between the simulated and the real power ranking (this is the same as the Kendall's tau distance or the Kemeny-distance).

Results are depicted in Figure 1-3⁸. The difference between the efficiency of the two formats is small (but measurable) whenever the 'zigzag' type seeding is

⁷Translation: Nevezések száma – Number of competitors; Futamok száma a selejtezőben – Number of groups in the heats; H – Number of competitors who proceed by group positions; I – Number of competitors who proceed by overall performance; Futamok száma az elődöntőben – Number of groups in the semi-finals.

⁸Translation: Úszás – Swimming; Futás – Running; fbn – without seeding; Szórás-módosító – std. deviation multiplier.

applied in running. Without seeding, however, the format of swimming outperforms running even at scoring positions. There are no differences in TOP1 and TOP3 measures. The results suggest, that formats which favour group winners rather than overall performance work well only if they apply a seeding mechanism. That is, if each group is diverse, containing ‘good’ and ‘bad’ competitors alike. We validated our results in two different ways. Firstly, we repeated the simulation on another set of data, 400 m U20 Women Indoor running. Secondly, we ran the simulation on the original data, but with uniformly distributed performance variables. The results proved to be robust to these changes.

Finally, let us mention some of the simplifying assumptions we applied in the paper. We did not include the effect of lanes in the analysis, although the participants’ physical and psychic circumstances may depend on the lane they are competing in. The order of the groups introduces a strategic element in the tournament as competitors will have different sets of information during the rounds, and as a result they may choose to exert a different amount of effort (e.g. save some energy in the heats). We conjecture that incorporating these elements in the model would increase, rather than diminish, the differences between the formats’ efficiency.

Key words: sport, tournament format, Monte Carlo simulation.