

MIZERA FERENC–HORVÁTH GÁBOR

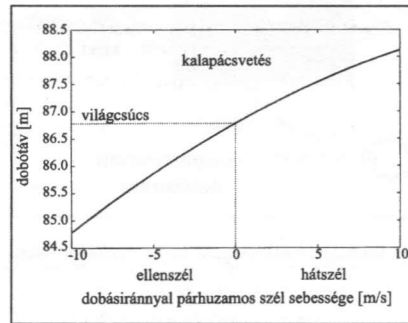
# Dobósportok a forgó Földön

## 2. rész. A centrifugális és a Coriolis-erő hatása

### A centrifugális és a Coriolis-erő dobótávra kifejtett hatásának számítógépes vizsgálata

Azért, hogy a problémát elemi matematikával is kezelni tudjuk, a cikkünk 1. részében közölt számítások során azzal az egyszerűsítő feltevéssel élünk, hogy eltekintünk a levegő és az eldobott sporteszköz kölcsönhatásától. Úgy vettük, mint ha a súlygolyó és a kalapács légüres térben röplő tömegpont lenne, vagyis elhanyagoltuk a levegő közegellenállását. Ezen egyszerűsítés ellenére az 1. részben adott becslések jól érzékeltetik a Coriolis- és a centrifugális erő főbb hatásait a dobótávokra: hogy miként függenek ezek a földrajzi szélességtől, és miként változnak az eltérő égtájak irányában történő dobások során.

Annak érdekében, hogy a centrifugális és Coriolis-erő dobótávot módosító hatását pontosan meghatározzuk, számítógépes programot írtunk, amellyel a szakirodalomban eddig végzett hasonló vizsgálatoknál is pontosabban tudtuk a problémát tanulmányozni. A dobósportok közül csak a kalapácsvetéssel és a súlylökéssel foglalkoztunk, mert ezeknél egyszerűbben végezhető el a röppályaszámítások. A gerelyhajításnál és a diszkoszvetésnél a röplő sporteszközre ható aerodinamikai erőknek nagy a hatása, és azt csak igen bonyolult számításokkal lehet követni.



1. ábra. Dobásiránnyal párhuzamos szél hatása a dobótávra kalapácsvetésnél

A hajításoknál valójában oly sok minden befolyásolja a dobóhosszat, hogy ha minden lényeges tényezőt figyelembe akarunk venni, olyan bonyolult mozgásegyenletek adódnak, amiket analitikusan nem lehet megoldani, csak számítógép segítségével, numerikusan. Az alábbiakban sorra vesszük azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a dobóhosszat, s számítógépes vizsgálataink alapján megadjuk, mekkora eltérést okoznak a férfi súlylökés és kalapácsvetés világcsúcsnak számító dobótávjában.

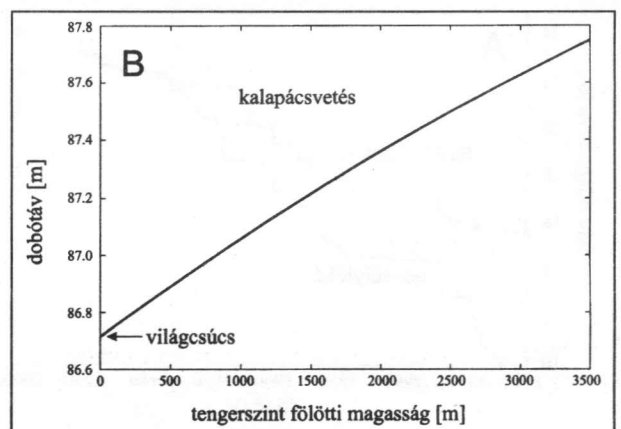
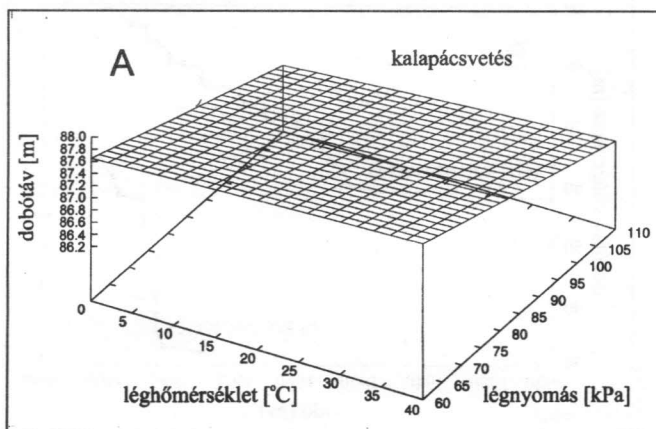
(1) **A szél sebessége és iránya.** Ez egyértelműen az egyik legnagyobb jelentőségű tényező; a közegellenálláson túl a legnagyobb hatása a szélnek van (1. ábra).

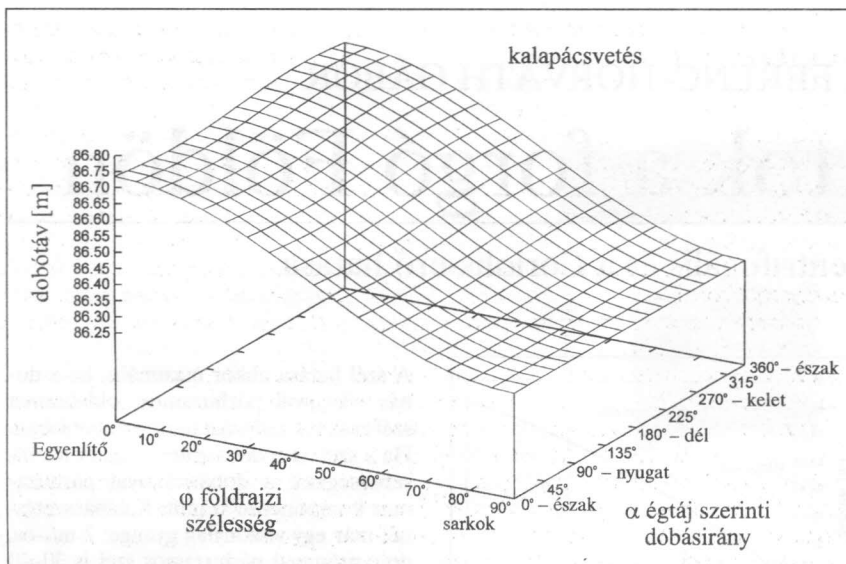
A szél hatása akkor maximális, ha a dobás irányával párhuzamos; oldalirányú szél csak kis változást okoz a dobótávban. Ha a szél nem dobásirányú, akkor a szélsebességnek a dobásiránnyal párhuzamos komponense számít. Kalapácsvetésnél már egy viszonylag gyenge, 2 m/s-os, dobásiránnyal párhuzamos szél is 30–40 cm-nyi eltérést okoz a dobótávban, súlylökésnél pedig 4–5 cm-nyit a szélcsendhez képest. Az 1. ábrán látható, hogy a szél sebessége nemlineárisan befolyásolja a dobótávot. Ha a sportszert hátszélben dobjuk el, nem repül annyival messzebbre, mint amennyivel az ugyanolyan sebességű szembeszél rövidítené a dobótávot. Minden bizonnyal nem egy esetben köszönhették a nyertes sportolók győzelmüket a szerencsés szélnek. Diszkoszvetésnél és gerelyhajításnál a szélnek még nagyobb a hatása; még a stadionon belüli szélirányváltozások is befolyásolják a dobótávot. A szerencsés és ügyes sportolók ezt jól ki is tudják használni.

(2) **Légellenállás.** Ha nem lenne légellenállás, akkor a férfi kalapácsvetés 1986-os  $L=86,74$  m-es világrekordjánál a kalapács légüres térben 89,15 m-t röplött volna (2,8%-nyi eltérés). Férfi súlylökésnél az 1990-es  $L=23,12$  m-es világcúcs légüres térben 23,27 m-es lenne (0,6%-nyi eltérés).

(3) **Légnyomás.** A légnyomás közvetve, a levegő sűrűségén keresztül hat a dobó-

2. ábra. A kalapácsvetés dobótávjának függése a légnyomástól és a léghőmérséklettől (A), valamint a tengerszint fölötti magasságtól (B)





3. ábra. A kalapácsvetés dobótávjának függése a  $\varphi$  földrajzi szélességtől és az északról mért  $\alpha$  hajítási iránytól

távra (2.a ábra). Kisebb légnyomás esetén a dobótáv jelentősen megnőhet. Adott helyen a légnyomás ingadozása az időjárási viszonyok miatt általában csak viszonylag szűk határok között mozog, mindössze kb. 2%-nyit ingadozik, így igazán jelentős eltéréseket csak a tengerszint fölötti magasság miatti légnyomás-változás okoz.

(4) **Léghőmérséklet.** A levegő hőmérséklete szintén a légsűrűségeen keresztül befolyásolja a dobótávot, nincs azonban akkora jelentősége, mint a légnyomásnak (2. a ábra). Például a kalapácsvetés  $L=86,74$  m-es világrekordja 86,89 m-es lenne, ha 20 °C helyett 40 °C-on dobnák.

(5) **Tengerszint fölötti magasság.** A tengerszint fölötti magasság több úton is közvetve befolyásolja a dobótávot (2.b ábra).

(5a) **A tengerszint fölötti magassággal csökken a nehézségi gyorsulás értéke.** Ennek két következménye is van. (i) Kisebbsz lesz az eldobandó sporteszköz súlya, s így a sportoló nagyobb kezdeti sebességgel lesz képes azt elvetni. (ii) A kisebb gravitációs térben röpködő sportszer messzebbre száll. Ezek az effektusok a kalapácsvetés világrekordját 3500 m-es magasságon mintegy 8 cm-rel növelnék, a súlylökését pedig 2 cm-rel.

(5b) **A tengerszint fölötti magassággal csökken a légnyomás.** A tengerszint fölötti magasságnak ez a legjelentősebb tényezője. Emiatt a kalapácsvetés dobótávja 3500 m-es magasságon majdnem 1 m-rel is több lehet, a súlylökése pedig mintegy 6 cm-rel is hosszabbodhat.

(5c) **A tengerszint fölötti magassággal a léghőmérséklet csökken.** A léghőmér-

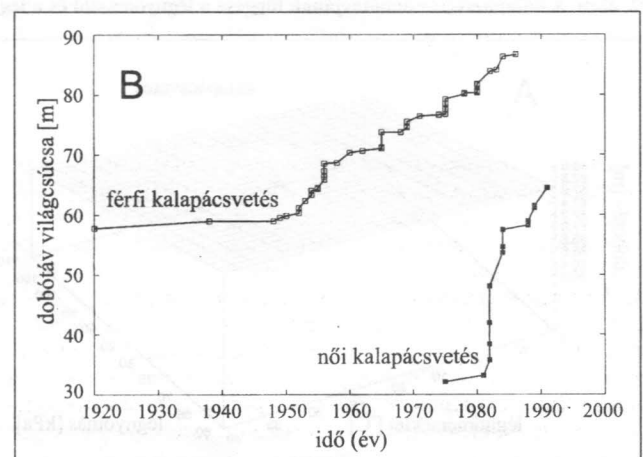
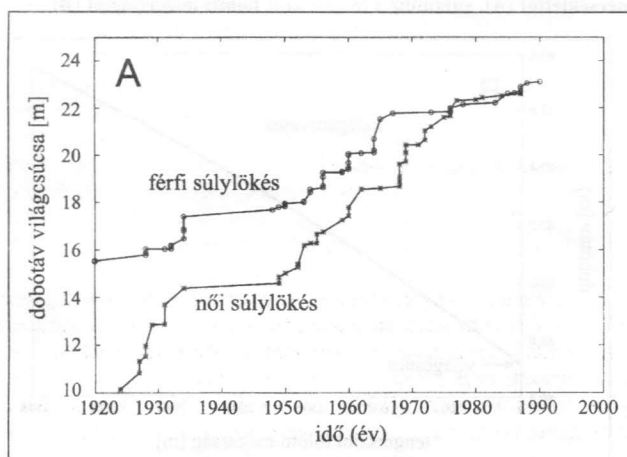
séklet magasság miatti (átlagosan közel 6 °C-os kilométerenkénti) csökkenésének hatása a dobótávra elhanyagolhatóan csekély más, lényegesebb hatásokhoz képest.

(6) **Földrajzi szélesség.** A földrajzi szélesség változásának a Föld forgása keltette centrifugális erő változása miatt viszonylag jelentős a befolyása a dobótávra (3. ábra): például a  $g$  nehézségi gyorsulás centrifugális erő miatti 0,5%-nyi eltérése a kalapácsvetésben mintegy 40 cm-rel, a súlylökésben pedig közel 10 cm-rel változtatja a dobótávot.

(7) **Dobásirány.** Az égtáj szerinti dobásirány a dobás távolságát a Coriolis-erő miatt befolyásolja (3., 5-7. ábra). A férfi kalapácsvetés, illetve súlylökés 1986-os, illetve 1990-es világrekordjára számítva a Coriolis-erő miatti maximális dobótáv-eltérés kalapácsvetésnél 4 cm, súlylökésnél pedig 8 mm. Az 5. ábra szerint az sem mindegy, hogy ugyanazon a versenyen a kalapácsvetés a 40°-os nyílásszögű dobószektor jobb vagy bal szélé irányában vettik-e, illetve hogy milyen égtáj felé néz a szektor középvonala. Ha a dobószektor északra vagy délre néz, akkor a bal és jobb szélei irányában történő kalapácsvetések hosszának különbsége maximális, s majdnem eléri az 1,5 cm-t.

(8) **A pálya lejtése.** Minden gondosság ellenére előfordulhat, hogy a sportpálya nem eléggé vízszintes. A pálya maximális megengedhető lejtését szigorú szabályok korlátozzák. Valóban szükség van a pálya korrekt ellenőrzésére, hiszen a súlygolyó és a kalapács közel 45°-os szögben ér talajt, így ha a pályának például 5 cm lejtése van a dobótáv irányában, akkor a súly vagy a kalapács 5 cm-rel tovább röpködhet vízszintesen is. A Nemzetközi Amatőr Atlétikai Szövetség (*International Amateur Athletic Federation*) szabályzata szerint súlylökésnél és kalapácsvetésnél a dobószektor lejtése nem lehet nagyobb a dobótáv egy ezrelékénél. Egy 20 m-es

4. ábra. A világcúcs alakulása az idő függvényében a női és férfi súlylökésben (A), illetve a kalapácsvetésben (B)



Fizikai, meteorológiai változó	Változás	Dobótávot befolyásoló fizikai tényező(k)	Kalapácsvetés $L=86,74$ m $ \Delta L _{max}$	Súlylökés $L=23,12$ m $ \Delta L _{max}$
$\varphi$ földrajzi szélesség	$\Delta\varphi=90^\circ$ , sarkok $\rightarrow$ Egyenlítő, keletre dobás ( $\alpha=270^\circ$ )	centrifugális erő	45 cm	11 cm
$\alpha$ dobásirány	$\Delta\alpha=180^\circ$ , keleti $\rightarrow$ nyugati dobás az Egyenlítőn ( $\varphi=0^\circ$ )	Coriolis-erő	4 cm	0,8 cm
$\alpha$ dobásirány	$\Delta\alpha=40^\circ$ , a dobószektor bal $\rightarrow$ jobb szélé, északra vagy délre néző dobópálya	Coriolis-erő	1,5 cm	0,2 cm
tengerszinttől mért magasság $H=0$ m	$\Delta H=3500$ m	gravitáció, légsűrűség (légellenállás)	100 cm	8 cm
pályadőlés $d=0$	$\Delta d^{megengedett} = \pm 1:1000$	gravitáció	$2 \times 8,7 =$ $=17,4$ cm	$2 \times 2,3 =$ $=4,6$ cm
légnomás $p=100$ kPa	$\Delta p = \pm 2$ kPa	légsűrűség (légellenállás)	$2 \times 4,7 =$ $=9,4$ cm	$2 \times 0,3 =$ $=0,6$ cm
lég hőmérséklet $T=20$ °C	$\Delta T = \pm 20$ °C	légsűrűség (légellenállás)	$2 \times 17,5 =$ $=35$ cm	$2 \times 1,2 =$ $=2,4$ cm
szélsebesség $v_{szél}=0$ m/s	$\Delta v_{szél} = \pm 2$ m/s, dobásiránnyal párhuzamosan	légellenállás	$40_e + 30_h =$ $=70$ cm e: ellenszél h: hátszél	$5_e + 4_h =$ $=9$ cm e: ellenszél h: hátszél

1. táblázat

súlylökésnél, illetve 80 m-es kalapácsvetésnél tehát a pályának mindössze 2 cm-es, illetve 8 cm-es lejtése engedhető meg.

Az 1. táblázat az  $L$  dobótávnak a különböző fizikai és meteorológiai paraméterek változása miatti legnagyobb  $|\Delta L|_{max}$  megváltozását foglalja össze a kalapácsvetés 1986-os  $L=86,74$  m-es és a súlylökés 1990-es  $L=23,12$  m-es férfi világcúscsai esetére számítva.

### A súlylökés és a kalapácsvetés világcúscsainak időbeli alakulása

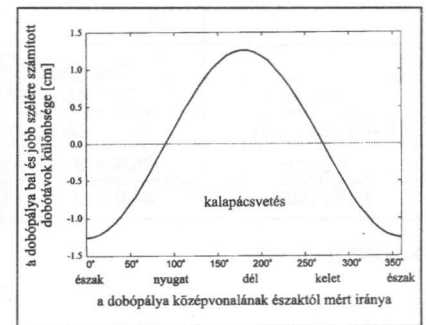
A 2. ábra a női és a férfi súlylökés és kalapácsvetés világcúscsainak alakulását szemlélteti az idő függvényében, míg a 2. táblázat ugyanezen sportágak egymást követő tíz legjobb világcúscsának  $\Delta L$  különbségét mutatja. Megállapítható, hogy az egymást követő világcúscsok különbségei tendenciózus csökkenést mutatnak, és manapság  $\Delta L$  már csak néhány cm a női és férfi súlylökésben, és csupán néhány dm a férfi kalapácsvetésben. Mindez, valamint az a tény is, hogy e világcúscsokat csaknem egy évtizede nem döntötték meg, mutatja, hogy e két dobósportágban az atléták már megközelítették az emberi teljesítőképesség határát.

Elméleti megfontolásaink, fizikai becsléseink és pontos számítógépes vizs-

gálataink alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a Föld forgása keltette centrifugális és Coriolis-erő miatt a földrajzi szélesség és az égtáj szerinti dobásirány változásai következtében a súlylökés és a kalapácsvetés dobótávjainak változásai közel akkorák, sőt olykor nagyobbak is, mint az egymást követő világcúscsok különbségei. Véleményünk szerint a Föld forgásának a dobótávra kifejtett ekkora mértékű hatását nem szabadna elhanyagolni, különösen nem a világrekordok hitelesítésénél, hiszen a világranglista élményében a küzdelem

2. táblázat

Női kalapácsvetés			Férfi kalapácsvetés			Női súlylökés			Férfi súlylökés		
$L$ (cm)	$\Delta L$ (cm)	év	$L$ (cm)	$\Delta L$ (cm)	év	$L$ (cm)	$\Delta L$ (cm)	év	$L$ (cm)	$\Delta L$ (cm)	év
5365	552	1984	8038	6	1980	2167	7	1976	2200	15	1976
5468	103	1984	8046	8	1980	2187	20	1976	2215	15	1978
5751	283	1984	8064	18	1980	2189	2	1976	2222	7	1983
5826	75	1988	8166	102	1980	2199	10	1976	2262	40	1985
5852	26	1988	8180	14	1980	2232	33	1977	2264	2	1986
5894	42	1988	8389	209	1982	2236	4	1980	2272	8	1987
5898	4	1988	8414	25	1983	2245	9	1981	2284	12	1987
6120	222	1989	8634	220	1984	2253	8	1984	2291	7	1987
6150	30	1989	8666	32	1986	2260	7	1987	2306	15	1988
6444	294	1991	8674	8	1986	2263	3	1987	2312	6	1990



5. ábra. A  $40^\circ$ -os nyílásszögű dobószektor bal és jobb szélére számított dobótávok különbsége a szektor felező egyenesének északról mért iránya függvényében kalapácsvetésnél

mára már igen szorossá vált (4. ábra, 2. táblázat). Az is elképzelhető, hogy a jelenség figyelembevételével módosulna a ranglista.

### Hogyan lehetne a jövőben tekintettel lenni a Föld forgására a dobósportokban?

Láttuk, hogy ha egy súlylökő vagy kalapácsvető szélsőséges időben eltérő  $\varphi$  földrajzi szélességeken lévő stadionokban különböző  $\alpha$  irányokba, de azonos kezdősebességgel, azonos magasságból és a vízszinteshez képest ugyanakkora szögben dobja el sporteszközét, akkor az általa kifejtett azonos sportteljesítmény ellenére a  $\varphi$ -tól és  $\alpha$ -tól függően kisebb-nagyobb mértékben el fog térni a mm-es pontossággal mért és kerekítéssel cm-es pontossággal megadott dobótávja, s így a regisztrált sportteljesítménye is a Föld forgásából származó Coriolis- és centrifugális erők miatt. Mindez mutatja, hogy ha a dobósportok versenyei során nincsenek tekintettel a Coriolis- és centrifugális erő dobótávot módosító hatására, akkor a világranglisták megkérdőjelezhetők,



	Kalapácsvetés		Súlylökés	
	$\varphi_{\text{Sodankylä}} = 67,5^\circ$	$\varphi_{\text{Papeete}} = -17,5^\circ$	$\varphi_{\text{Sodankylä}} = 67,5^\circ$	$\varphi_{\text{Papeete}} = -17,5^\circ$
női (szélcsend)	$-17,8 \leq \Delta L \leq -16,0$ cm	$-8,4 \leq \Delta L \leq -6,6$ cm	$+5,3 \leq \Delta L \leq +5,8$ cm	$-2,58 \leq \Delta L \leq -2,12$ cm
férfi (szélcsend)	$-24,1 \leq \Delta L \leq -21,3$ cm	$-10,8 \leq \Delta L \leq -8,0$ cm	$+5,6 \leq \Delta L \leq +6,1$ cm	$-2,65 \leq \Delta L \leq -2,16$ cm
női (szél)	$-24,0 \leq \Delta L \leq +57,0$ cm	$-50 \leq \Delta L \leq +33$ cm	$+1,5 \leq \Delta L \leq +8,8$ cm	$-6,2 \leq \Delta L \leq +1,0$ cm
férfi (szél)	$-44,0 \leq \Delta L \leq +85,0$ cm	$-76 \leq \Delta L \leq +54$ cm	$+1,8 \leq \Delta L \leq +9,3$ cm	$-6,5 \leq \Delta L \leq +1,0$ cm

3. táblázat

mert nem a valós sportteljesítményeket mérik. Ekkor a különböző földrajzi szélességeken lévő stadionokban eltérő irányokban történt dobások eredményeit egyszerűen nem lehet összehasonlítani. A stadionok földrajzi fekvésének és a dobópályák irányulásának ismeretében utólag legfőképpen csak azt lehetne kideríteni, hogy a világranglista sportolójának segített-e a Coriolis- és centrifugális erő, vagy éppen hátráltatta őket.

Számításaink eredményeképpen javasolható, hogy a jövőben érdemes lenne figyelembe venni a dobótávonknál a tehetetlenségi erők miatt fellépő módosulásokat. A Coriolis- és centrifugális erő dobótávot módosító hatásait a jövőben csak akkor lehetne elkerülni, ha a dobósporthoz az északi vagy a déli féltekén mindig ugyanazon a földrajzi szélességen fekvő sportpályákon bonyolítanák le úgy, hogy a dobások iránya is mindig ugyanaz lenne. Ez az eljárás azonban sportdiplómiai és gazdasági okok miatt a gyakorlatban kivitelezhetetlen, és nem oldja meg például a légköri viszonyok változásai miatti eltérések kiküszöbölését sem. Az alább ismertetésre kerülő hajítási korrekciós térképek használata egy lehetőség a tehetetlenségi erők és más környezeti tényezők (pl. szél, légnyomás, léghőmérséklet, tengerszint fölötti magasság) dobótávra kifejtett hatásainak figyelembevételére.

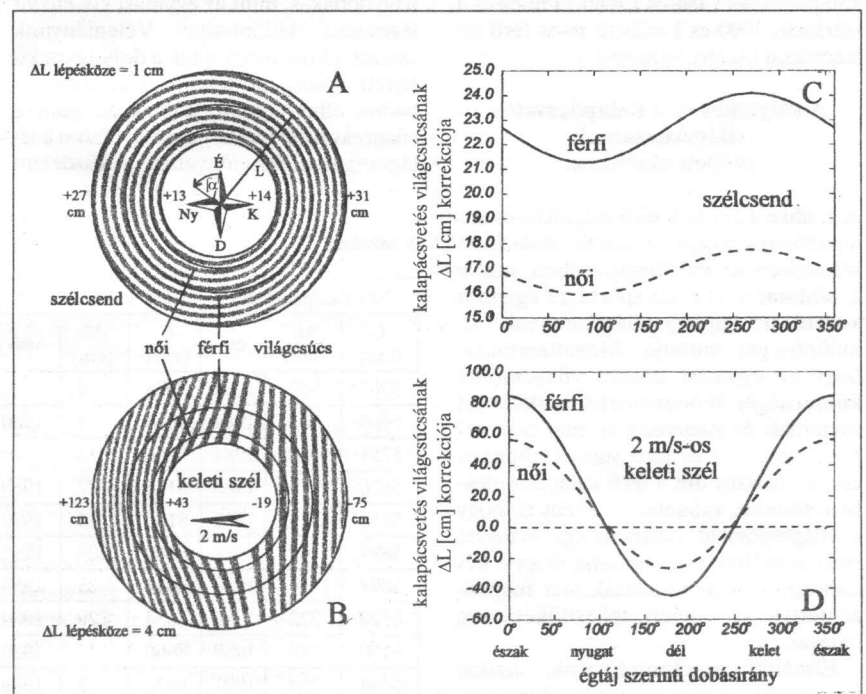
Számításaink lehetővé teszik, hogy a környezeti hatásokat kvantitatívan is jellemezzük. Ez azt jelenti, hogy ha közvetlenül nem is lehet összehasonlítani a különböző körülmények (légköri viszonyok és földrajzi helyzet) között történt dobásokat, készíthetünk egy olyan szabályt, ami alapján a megmért dobótávot korrigáljuk, vagyis átszámoljuk egy standard körülmények között kapott eredményre. Ezzel már fizikailag pontosabban tudnánk a dobósporthatásokat összehasonlítani. Igazságosabb lenne nem a mért dobótávot, hanem az így korrigáltávot elfogadni mint a sportoló valódi egyéni teljesítményét. Láthattuk, hogy a tárgyalt jelenségek közül többnek is akkora befolyása van a dobótávra, hogy az összemérhető az egymást követő világcúscok eltéréseivel. Hogyan lehetne mégis figyelembe venni ezeknek a ténye-

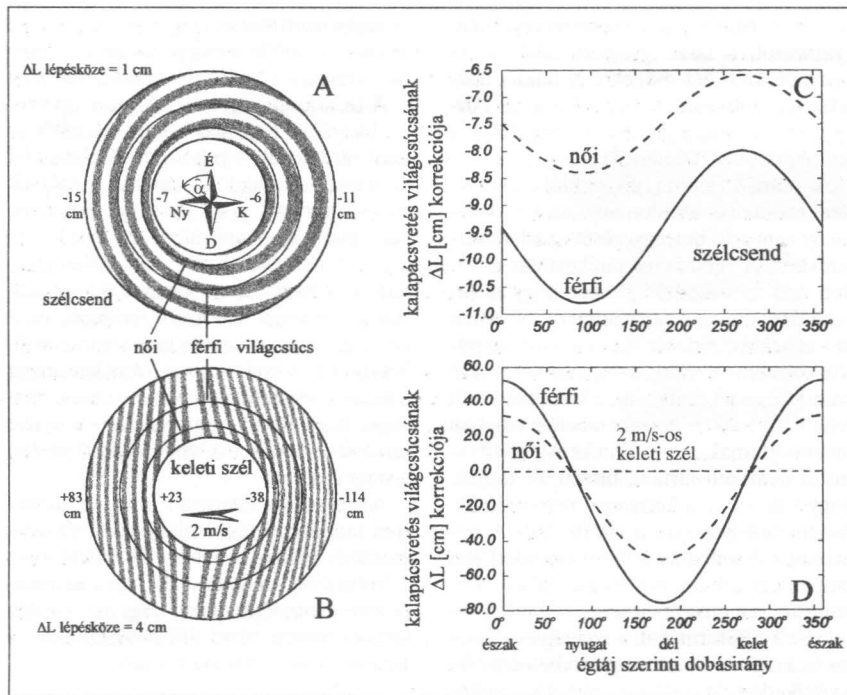
zőknek a hatásait egy igazságosabb eredmény kialakításának érdekében?

Vegyük először a légköri viszonyokat, például a szél irányát. Meg lehetne mérni, hogy a dobás irányába eső szél sebessége mekkora, s a dobótáv megmérése után videofelvétel számítógépes kiértékelésével ki lehetne deríteni, hogy mekkora volt az eldobott sportszerezke sebessége. Fel lehetne egy olyan matematikai formulát írni, amelybe mindössze be kellene helyettesíteni a szélességet, a dobótávot, a vetési szöget és a vetési magasságot, s az eredmény megmonda-

ná, hogy hány centiméterrel kellene módosítani a dobótávot, hogy megkapjuk a szélcsendre vonatkozó értéket. Hasonlóan járhatnánk el a légnyomás és léghőmérséklet figyelembevételénél is. Egy másik formula megmondaná, hogy hány cm-rel kellene változtatni a dobótávot, hogy megtudjuk például a tengerszintre, normál légköri nyomásra, 20 °C-ra vonatkozó dobótávot. E módszer alkalmas lenne arra is, hogy a tengerszint fölötti magasságbeli különbségeket is igazságosan kezelni lehessen, ami nagyon hasznos lenne, hiszen például a mexikói olimpia

6. ábra. (A, B) A kalapácsvetés  $L$  dobótávja  $\Delta L$  korrekciójának eloszlástérképe szélcsend (A), illetve 2 m/s-os keleti szél (B) esetén egy Sydneyben ( $\varphi_{\text{Sydney}} = -34^\circ$  földrajzi szélességen) lévő stadionban, ha a referencia stadion Sodankyläben ( $\varphi_{\text{Sodankylä}} = 67,5^\circ$ ) fekszik, ahol a referencia irány északra mutat. A változóan szürke, illetve fehér sávok kontúrvonalaihoz  $\Delta L$  különböző értékei tartoznak, amelyek a gyűrű alakú térkép széleinél feltüntetett számok között változnak  $\Delta L$  1 cm-es (A), illetve 4 cm-es (B) lépésközzel. A térkép azt szemlélteti, hogy a sydneyi stadion dobópályájának adott helyén becsapódó kalapács hány cm-rel röplene többet vagy kevesebbet az ugyanolyan kezdőfeltételekkel és azonos meteorológiai viszonyok között (léghőmérséklet  $T = 20^\circ \text{C}$ , légnyomás  $p = 100 \text{ kPa}$ , tengerszint fölötti magasság  $H = 0 \text{ m}$ ) a sodankyläi referencia stadionban északi irányban elvetett kalapácsához képest. A térképen a fekete körök az 1991-es  $L = 64,44 \text{ m}$ -es női, illetve az 1986-os  $L = 86,74 \text{ m}$ -es férfi világcúscok utatják. (C, D)  $\Delta L$  változása az égtáj szerinti dobásirány függvényében a női (szaggatott vonal), illetve férfi (folytonos vonal) kalapácsvetés világcúscsára számítva.





7. ábra. Mint a 6. ábra, de most a referencia stadion Papeetében ( $\varphi_{\text{Papeete}} = -17,5^\circ$ ) fekszik.

kapcsán már sok olyan megjegyzést hallhattunk, hogy a sporteredményeket mennyire jelentősen befolyásolja a tengerszint fölötti magasság.

Ahhoz, hogy össze tudjuk hasonlítani különböző  $\varphi$  földrajzi szélességeken fekvő stadionokban, eltérő  $\alpha$  irányokban végzett dobások  $L$  hosszát, a dobótávokhoz hozzá kellene adnunk egy  $L$ -től  $\varphi$ -tól és  $\alpha$ -tól függő megfelelő  $\Delta L(L, \varphi, \alpha)$  korrekciót, amely figyelembe venné az eltérő földrajzi szélesség és égtáj szerinti dobásirány hatásait oly módon, mintha a dobások ugyanazon a referencia földrajzi szélességen lévő stadionban azonos referencia irányban történtek volna. Az így korrigált  $L_{\text{korrigált}} = L + \Delta L(L, \varphi, \alpha)$  dobótávok már fizikailag pontosabban tükröznék a valódi sportteljesítményeket.

Hogy meghatározzuk a  $\Delta L(L, \varphi, \alpha)$  korrekciónak a forgó Földön fellépő szélsőértékeit, referencia földrajzi szélességként Sodankylä, illetve Papeete városok  $\varphi_{\text{max}} = \varphi_{\text{Sodankylä}} = 67,5^\circ$ , illetve  $\varphi_{\text{min}} = \varphi_{\text{Papeete}} = -17,5^\circ$  földrajzi szélességét választottuk, égtáj szerinti referencia dobásirányként pedig az északi irányt. Sodankylä volt az Egyenlítőhöz legtávolabbi, Papeete pedig az Egyenlítőhöz legközelebbi olyan város, ahol valaha rendeztek dobóversenyeket. Az eredményeket a 6. és 7. ábra mutatja.

A 6. a, b ábrán a kalapácsvetés  $L$  dobótávja  $\Delta L$  korrekciójának eloszlástérképét láthatjuk szélcsend, illetve 2 m/s-os (az IAAF által megengedett) keleti szél esetén egy Sydneyben lévő stadionban,

ha a referencia stadion Sodankyläben fekszik, ahol a referencia hajtási irány északra mutat. A térkép azt szemlélteti, hogy a sydneyi stadion dobópályájának adott helyén becsapódó kalapács hány cm-rel röpkönné többet vagy kevesebbet az ugyanolyan kezdőfeltételekkel és azonos meteorológiai viszonyok között a sodankyläi referencia stadionban északi irányban elvetett kalapáchoz képest. A 6. c, d ábra a  $\Delta L$  korrekció változását mutatja az égtáj szerinti dobásirány függvényében a női és férfi kalapácsvetés világcúcsára számítva. A 7. ábrán ugyanezek láthatók, mikor a referencia stadion Papeetében van.

A 3. táblázat azon szélsőértékeket tartalmazza, amelyek között a női és férfi kalapácsvetés és súlylökés  $L_{\text{női}}^{\text{kalapács}} = 64,44$  m,  $L_{\text{férfi}}^{\text{kalapács}} = 86,74$  m,  $L_{\text{női}}^{\text{súly}} = 22,63$  m,  $L_{\text{férfi}}^{\text{súly}} = 23,13$  m világcúcsának  $\Delta L$  korrekciós tagja változik szélcsend, illetve az IAAF által megengedett 2 m/s-os keleti szél (Sydneyben uralkodó szélirány) esetén egy Sydney  $\varphi_{\text{Sydney}} = -34^\circ$  földrajzi szélességén lévő stadionban, ha a referencia stadion földrajzi szélessége  $\varphi_{\text{Sodankylä}} = 67,5^\circ$  vagy  $\varphi_{\text{Papeete}} = -17,5^\circ$ , és a referencia dobásirány észak.

A 6. és 7. ábrából, valamint a 3. táblázatból az is kitűnik, hogy a Nemzetközi Amatőr Atlétikai Szövetség által a dobóversenyeken megengedett 2 m/s-os maximális szélsősebesség túl magas, mivel már az ilyen szélnek is akkora hatása van a súlylökés és kalapácsvetés dobótávjaira,

amit nem lenne szabad figyelmen kívül hagyni a világcúcsok hitelesítésekor.

A fenti eredményekből az is látszik, hogy a súlylökés és a kalapácsvetés esetén a földrajzi szélesség és az égtáj szerinti dobásirány változásának hatását nem nyomják el a dobótáv más környezeti tényezők (pl. tengerszint fölötti magasság, légnyomás, léghőmérséklet) változásai miatti módosulásai.

Cikkünkben részletesen csak a két legkönnyebben modellezhető dobósportággal, a súlylökéssel és a kalapácsvetéssel foglalkoztunk. A Föld forgása természetesen a másik két olimpiai dobósportág, a gerelyhajtás és a diszkoszvetés dobótávjait is módosítja a dobóhosszal közel arányosan. Ezt azonban elmosza a sokkal nagyobb aerodinamikai hatás.

A pörgés által stabilizált diszkosz aerodinamikai felhajtóerő ébred. A helyesen elhajtott diszkosz szimmetriatengelyének mint forgástengelynek az iránya a stabilitás miatt a léghellenállás befolyása ellenére is közelítőleg változatlan marad. A korong ezért a röppálya leszálló ágában a léghellenállás irányához képest hasonló helyzetű, mint a repülőgépek szárnyfelülete, és az így ébredő aerodinamikai felhajtóerő miatt lényegesen messzebbre röpkönné a hajtási parabolának megfelelő távolságnál. A gerely hossztengetely körüli forgása miatt mintegy befürödik a levegőbe. A helyesen, hossztengetely körül erősen forgásba hozott elhajtott gerely tengelye a gerely helyzetével változó léghellenállás miatt bonyolult mozgást végez. Ennek eredményeként a tengely közelítőleg mindig a röppálya irányába mutat, úgyhogy a gerelyrúd a csúcsával ér célba, de a függőleges hajtási síktól oldalirányban is kissé kitér.

Ezek az aerodinamikai hatások tehát a gerely és a diszkosz oldal irányú eltérülését, valamint a dobótáv akár több méterrel történő hosszabbodását vagy rövidülését eredményezik. Talán a gerelyhajtásnál és a diszkoszvetésnél is eljön az az idő, amikor az egymásra következő világcúcsok közötti különbségek nem lesznek nagyobbak, mint a Föld-forgás dobóhosszra kifejtett hatása, s ekkor célszerű lenne, ha a világcúcsnak számító dobótávok hitelesítésénél figyelembe vennék a centrifugális és a Coriolis-erő befolyását is.

**Köszönetnyilvánítás.** Munkánkat a Magyar Felsőoktatásért és Kutatásért Alapítvány Magyar Zoltán posztdoktori ösztöndíja és a Magyar Tudományos Akadémia Boljai János kutatói ösztöndíja tette lehetővé. Köszönjük prof. Szécsényi Józsefnek (Magyar Testnevelési Egyetem, Budapest), Horváth Ákosnak (Department of Atmospheric Physics, University of Arizona, Tucson, USA) és Németh Péternek (Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest) a munkánk során nyújtott segítségét.

1999. évi cikkpályázatunk II. díjas munkája