I.3. Eltérés a szimmetriától, az aerodinamikai emelőerő

I.3.1. A gerely és a diszkosz mozgásának kvalitatív magyarázata

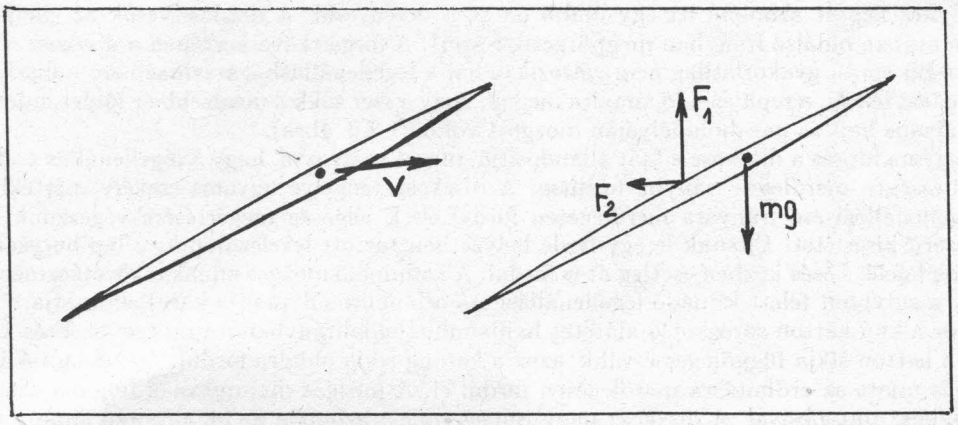
I.3.1.1. A gerely mozgása

A sportszerek mozgásának kísérleti vizsgálata és a mozgás elemzése legegyszerűbben filmfelvételek analizálásával végezhető el.

Filmfelvétel segítségével megállapítható volt, hogy egy gerelyhajító *53 m*-es dobását 42°-os kezdőszög alatt *26 m/s* kezdősebességgel indította. Ha itt is úgy számolunk, mint a súlylökésben, az ilyen kezdőfeltételekkel elhajított gerelynek legalább *70 m* körül kellett volna földet érnie. A valóságos adat *(53 m)* és a számított érték eltérése bizonyítja, hogy a könnyű (mintegy *0,8 kg*) gerely mozgására a légellenállás erősen hat.

Vizsgáljuk meg, hogy milyen erővel hat a levegő az elhajított gerelyre! A légellenállás szempontjából teljesen mindegy, hogy a gerely mozog a nyugvó levegőhöz képest, vagy egy álló gerelyre bocsátunk rá megfelelő sebességű és irányú légáramlást: az erőt a gerely és a levegő relatív sebessége szabja meg. Az erőhatások elemzése egyszerűbb, ha gondolatban a gerelyt álló helyzetűnek tekintjük, s vele szemben áramló levegőt gondolunk el. Megjegyezzük, hogy a légellenállásra vonatkozó méréseket mindig hasonló módon, szélcsatornában végzik úgy, hogy a rögzített tárgyra levegőt fújnak, s mérik azt az erőt (azokat az erőket), amely(ek) a test változatlan helyzetben tartásához szükséges(ek).

A légellenállás miatt a gerelyre ható erők számbavételekor figyelembe kell vennünk, hogy a mozgó gerely hossztengelye és pillanatnyi sebessége általában nem nulla fokos szöget zár be egymással (I.3.1. ábra). Hasonlóképpen fontos az is, hogy a *260-270* cm hosszú gerely *25–33 cm* hosszú fémhegyben végződik, így súlypontja nem középen, hanem a nehezebbik végétől 90-110 cm-re helyezkedik el.



I.3.1. ábra

A gerellyel szemben áramló levegő a sportszert egyrészt hátrafelé nyomja (F_2), másrészt emeli is (F_1). Az emelőerő legnagyobbrészt abból származik, hogy a gerely mögött az áramlás örvényessé válik. Mivel a levegő a gerely hegyénél nagyobb irányváltozást szenved, mint a végén, az örvényképződés a gerely első felén erőteljesebb, mint a hátsón. Ezért a levegő által képviselt erőnek a támadáspontja a gerely felénél följebb, de a gerely súlypontja alatt van. A légellenállás igen összetetten hat a gerely mozgására. Az F_2 erő lassítja a gerelyt, azaz a hajítás távolságát egyértelműen csökkenti. Az F_1 erőösszetevő ellenben növeli a hajítás távolságát. F_1 hatására ugyanis a Föld felé haladva csökken a gerely zuhanási sebessége, nő a repülés ideje, s ezáltal növekedik a hajítás távolsága. (Bonyolítja a helyzetet, hogy a légellenállási erő mozgás közben a gerely helyzetét is változtatja. Mivel a légellenállásból származó erő támadáspontja a súlypont alatt van, az F erő repülés közben a gerelyt a sebesség irányába forgatja. Ezzel csökken a sportszernek az áramlás irányára merőleges felülete és ilyen módon a közegellenállási erő is.)

Az elmondottak értelmében a gerelyhajítónak arra kell törekednie, hogy a gerely hossztengelye az elhajítás pillanatában minél kisebb szöget zárjon be a kezdősebesség irányával, a közegellenállás fékező ereje (F_2) ugyanis ilyenkor a legkisebb. A tapasztalatok szerint a gerely legcélszerűbb elhajítási szöge kisebb *(35-40°)*, mint a súlylökésre megállapított *42 fok*. A laposabb indításkor a légellenállásból származó F_1 emelőerő nő, míg a fékező hatás csökken. Tovább bonyolítja a dolgot, ha ellenszél vagy hátszél fúj. (Vannak gerelyhajítók, akik például ellenszélben nagyobbat tudnak dobni, mint szélcsendben.)

A közegellenállásról elmondottak világosan érzékeltetik, hogy gerelyhajításnál a súlylökéssel ellentétben szó sem lehet a mozgásnak olyan pontos leírásáról, hogy azzal a dobási távolságok is kiszámíthatók legyenek. A fizikai törvények itt jobbára „csak" arra alkalmasak, hogy segítségükkel a gerelyhajítás tapasztalati szabályait értelmezzük.

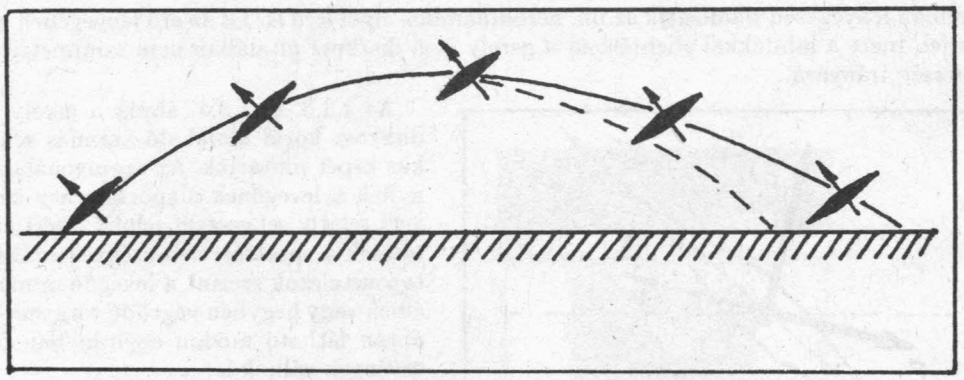
I.3.1.2. A diszkosz mozgása

Diszkoszvető atléták tapasztalatai szerint a diszkosz ellenszélben messzebbre hajítható, mint szélcsendben. Ez a tapasztalat az első pillanatban meglepőnek tűnhet, hiszen a *2 kg* tömegű, *22 cm* átmérőjű, lencse alakú diszkoszon — viszonylag nagy átmérője miatt — nem csekély légellenállási erő ébred. Ezt az erőt az ellenszél csak növeli.

A diszkosz mozgását valójában ugyanolyan hatások szabják meg, mint a gerelyét. A nehézségi erőn kívül a légellenállás fékezi és egyúttal emeli is az elhajított diszkoszt. A gerelyhez képest azonban itt egy újabb hatás is érvényesül. A diszkoszvetők az elhajítás pillanatában oldalsó irányban megpörgetik a szert! A forgás következtében a diszkosz síkja a mozgás során gyakorlatilag nem változik, s bár a légellenállásból származó erő a diszkosz mozgását fékezi, a repülési idő annyira megnő, hogy a szer sokkal messzebb ér földet, mintha egy ideális hajítás parabolapályáján mozgott volna (I.3.2. ábra).

A gyors forgás a diszkosz síkját állandósítja, megakadályozva, hogy a légellenállás e síkot a sebességre merőleges irányba fordítsa. A diszkosz tengelye ugyanis csekély mértékben a légellenállási erő irányára merőlegesen fordul el. E jelenség megértésére végezzünk két egyszerű kísérletet! Ejtsünk le egy ferde helyzetben tartott levelezőlapot: a lap bucskázva mozog lefelé, s esés közben esetleg át is fordul. A kalimpáló mozgás annak a következménye, hogy a súlypont felett támadó légellenállási erő a lapot a súlypontja körül elforgatja.

Kör alakú karton söröskorsó-alátétet hajítsunk el oldalirányban megpörgetve. Esés közben a karton síkja függőlegessé válik, azaz a korong síkja oldalra fordul. A korong tehát a pörgés miatt az erőhatásra merőlegesen fordul el. A mozgás dinamikailag teljesen azonos a diszkosz mozgásával. A diszkosz nagy tömege miatt azonban az oldalirányú elmozdulás

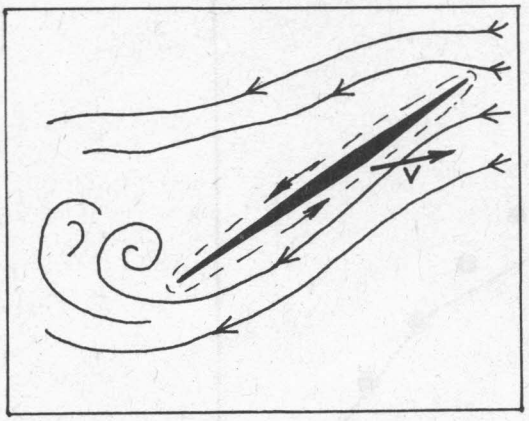


I.3.2. ábra

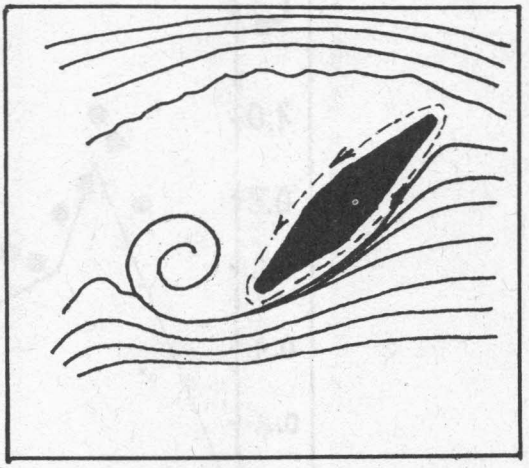
igen csekély. Földetéréskor azt észlelhetjük, hogy a diszkosz mindig ugyanarra az oldalára fordulva ér talajt. (Az irány attól függ, hogy jobb- vagy balkezes versenyző dobta-e el a szert.)

A célszerűen indított diszkosz síkja eldobáskor majdnem pontosan a sebesség irányával párhuzamos. (Pontosabb mérések szerint a sebesség irányához képest mintegy *10 fokos* szögben lefelé kell dőlnie.) A gyors forgás miatt a repülés során a diszkosz síkja tulajdonképpen önmagával párhuzamosan tolódik el. Így a pálya leszálló ágán a diszkosz síkja már fölfelé tér el a sebesség irányától. Emiatt a szerre emelőerő hat, ez pedig növeli a repülési időt és ezzel a dobás távolságát.

I.3.2. Az aerodinamikai emelőerő



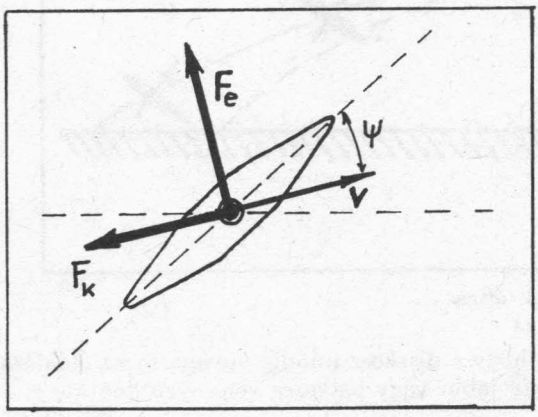
I.3.3. ábra



I.3.4. ábra

A gerely és a diszkosz mozgásának pontosabb megértéséhez kissé részletesebben kell foglalkoznunk azzal az erővel, amit a levegő a mozgó sportszerekre kifejt. Eddig ezen erőnek csak egyik fajtáját, a közegellenállást vettük figyelembe. A gerely és a diszkosz mozgását

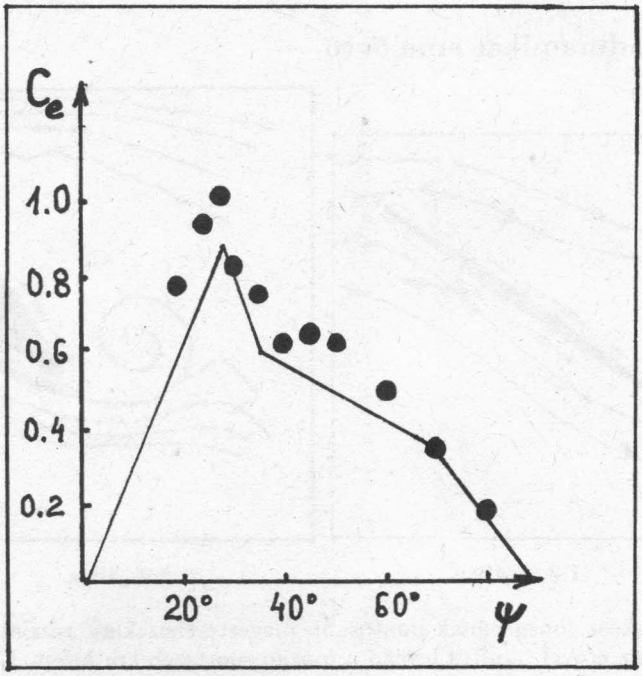
azonban lényegesen módosítja az ún. aerodinamikai emelőerő is. Ez az erő lényegében azért lép fel, mert a labdákkal ellentétben a gerely és a diszkosz általában nem szimmetrikus a sebesség irányára.



I.3.5. ábra

Az I.3.3. és I.3.4. ábrák a gerely és a diszkosz körül kialakuló áramlás sematikus képét mutatják. Az áramvonalakon a nyilak a levegőnek a sportszerhez képest vett relatív sebességét jelölik, ezért ellentétesek a sportszer sebességvektorával. A tapasztalatok szerint a levegőben mozgó, élben vagy hegyben végződő tárgyakról az ábrán látható módon egyirányban forgó örvények válnak le.

Az impulzusmomentum-megmaradás törvényének értelmében az örvények által hordozott impulzusmomentumot egy ellentétes irányban forgó áramlásnak kell kompenzálnia. Ez az ellentétes irányú áramlás a mozgó tárgyat körüláramló cirkulációs mozgás formájában jelentkezik. Ezt szemléltetik az ábrákon a szaggatott vonalakkal berajzolt görbék. Az eredeti áramlás és az erre rakódó cirkulációs mozgás eredményeként a testek felett a levegő relatív sebessége megnő, alatta pedig csökken. A Bernoulli-törvény



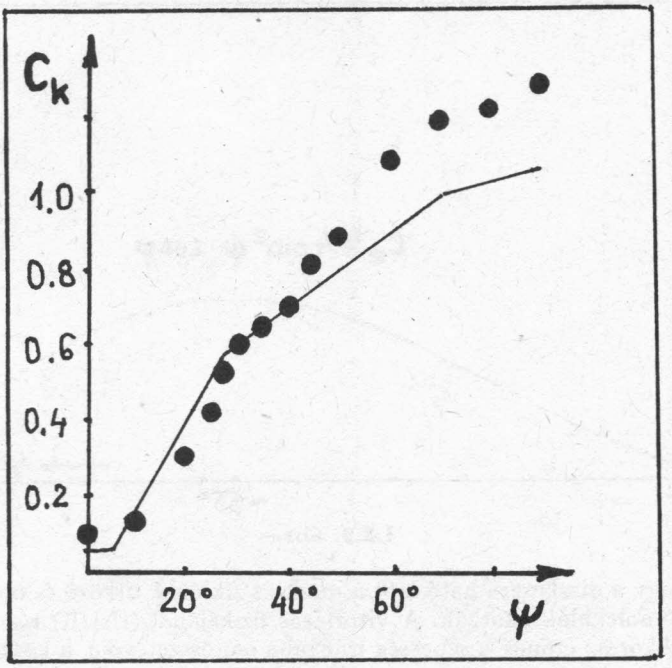
I.3.6. ábra

értelmében ez azt jelenti, hogy a test felett a nyomás csökken, alatta pedig nő, s emiatt a testre sebességének irányára merőleges emelőerő lép fel. Ugyanakkor természetesen továbbra is hat a testre a közeg és a test relatív sebességével ellentétes irányú közegellenállási erő. Általában tehát a közeg által a testre gyakorolt erő pl. a diszkosz esetén az I.3.5. ábrán látható módon bontható két összetevőre, ahol F_k a közegellenállási, F_e pedig az aerodinamikai emelőerő.

Az F_e emelőerő a közegellenállási erőhöz hasonlóan igen sok tényező függvénye. Általában ezt az erőt a közegellenálláshoz hasonlóan az

$$F_e = \frac{1}{2} C_e \varrho A v^2 \tag{I.3.1}$$

alakban szokás megadni, ahol v a test és a közeg relatív sebessége, ϱ a közeg sűrűsége, A a test legnagyobb keresztmetszete, a C_e dimenzió nélküli szám pedig az emelőerő-tényező. Ez a tényező elsősorban a test alakjától, illetve a relatív áramlási sebességhez képesti elhelyezkedésétől függ. Kis mértékben függhet azonban a sebességtől, illetve a *Reynolds*-számtól is. Értéke általában csak kísérleti úton határozható meg.



I.3.7. ábra

Az I.3.6. ábrán a diszkoszra ható emelőerő C_e tényezőjének értéke látható a diszkosz síkja és a relatív szélsebesség által bezárt ε szög függvényében. Az ábrán körrel a *24,4 m/s*-os relatív sebesség mellett mért adatokat jelöltük *(J. G. Hay, The Biomechanics of Sports Techniques)*. A kihúzott és szaggatott vonal félempirikus becslések eredményeit mutatja *(C. Fröhlich, ill. V. N. Tutevich)*. A szélcsatornában végzett mérések jól alátámasztják,

hogy az emelőerőben 30° körül bekövetkező hirtelen csökkenés a diszkosz mögötti térben fellépő turbulencia következménye.

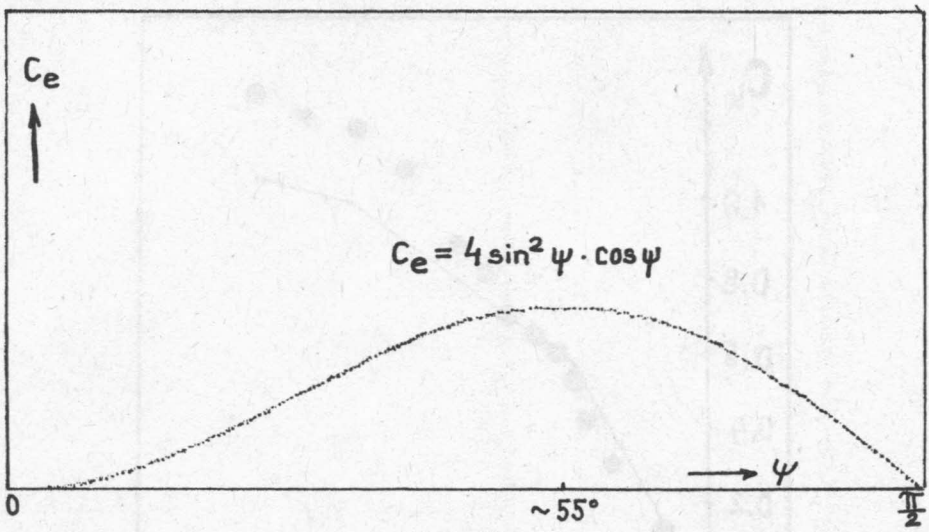
Az emelőerő mellett érdemes röviden az

$$F_k = C_k A \frac{1}{2} \varrho v^2 \tag{I.3.2}$$

alakban felvett közegellenállási erő C_k tényezőjével is foglalkozni. A kísérleti adatok szerint diszkosz esetén ez az állandó a Ψ szöggel az I.3.7. ábrán látható módon változik. (Az ábra jelölései megegyeznek az I.3.6. ábra jelöléseivel.)

Az I.3.7. ábra mutatja, hogy a közegellenállási erő gyakorlatilag zérus, ha a diszkosz síkja párhuzamos a sebesség irányával, és maximális, ha a sík merőleges a sebességre.

A két ábra összevetéséből bizonyára felvetődik, hogy a közegellenállási tényező durván egy negyed, az emelőerő állandója pedig egy fél szinuszhullámmal közelíthető. Ekkor a diszkoszra ható emelőerő, illetve közegellenállási erő változását gyakorlatilag a diszkoszfelület sebesség irányába eső, illetve arra merőleges vetületének változása okozná. Alaposabb fizikai meggondolásokkal ezt a kézenfekvő feltevést finomíthatjuk. Ha nem is ez a feltevés, de nagyjából hasonló eredmény vezethető le.



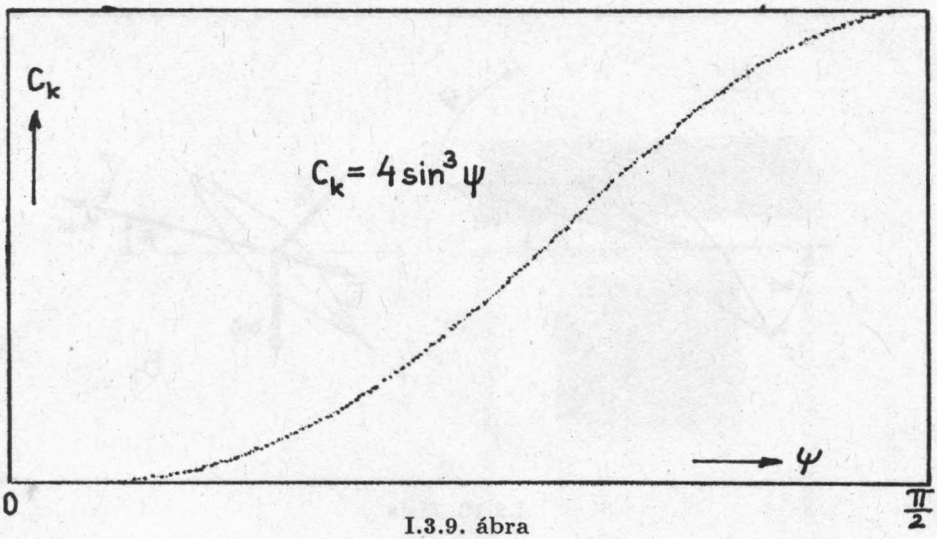
I.3.8. ábra

Tegyük fel, hogy a diszkoszra ható erőt a diszkosz síkjának ütköző és onnan rugalmasan elpattanó levegőmolekulák okozzák. A vitorlázás fizikájánál (II.1.1.) részletesen tárgyalt modell szerint ekkor az erőnek a sebesség irányába eső összetevője, a közegellenállás

$$F_k = 2A\varrho v^2 \sin^3 \Psi, \tag{I.3.3}$$

a sebességre merőleges emelőerő pedig

$$F_e = 2A\varrho v^2 \sin^2 \Psi \cos \Psi. \tag{I.3.4}$$



I.3.9. ábra

Ebből látható, hogy ekkor

$$C_e \sim 4\sin^2\Psi\cos\Psi \tag{I.3.5}$$

$$C_k \sim 4\sin^3\Psi. \tag{I.3.6}$$

A két függvény menete hasonló a mérési eredményekből kapott függvényekhez, a C_e tényező maximumhelye azonban $\Psi_m \approx 55°$-ra tolódik (I.3.8. és I.3.9. ábra). Az eltérés jól mutatja, hogy az egyszerű ütközéses modell pontosabb számításokhoz nem használható, mert az örvényképződéssel kapcsolatos jellegzetes aerodinamikai hatásokat nem írja le.

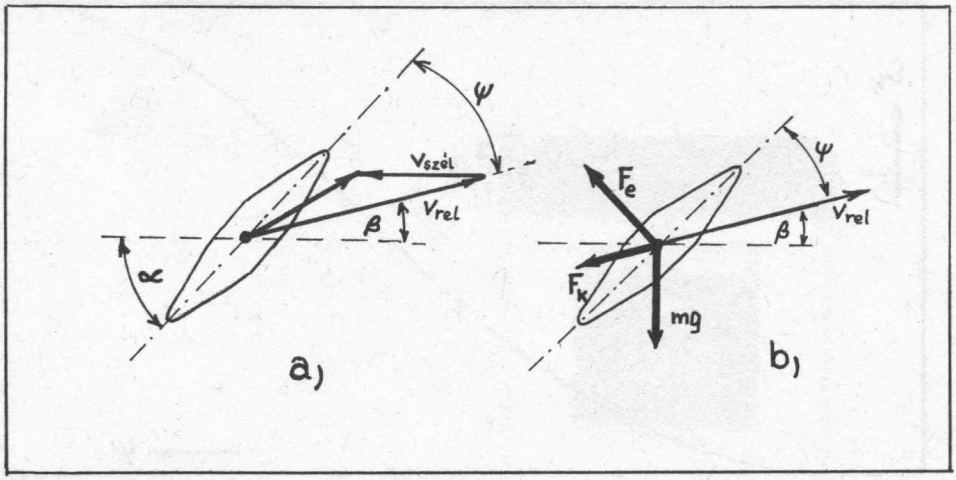
I.3.3. A diszkosz pályája

Térjünk vissza most a diszkosz mozgásának leírásához! Vegyük figyelembe az emelőerőt és a szélsebességet, de zárjuk ki az oldalszél lehetőségét. Tegyük fel továbbá, hogy a mozgás során a pörgés stabilizálja a szer síkját, így a diszkosz bucskázás nélkül repül, a pörgés egyéb hatásaitól azonban tekintsünk el. Az I.3.10/a. ábra az ellenszélben repülő diszkosz sebességviszonyait, az I.3.10/b. ábra pedig a fellépő erőket mutatja. Az ábrák jelöléseivel a diszkosz mozgásegyenlete az

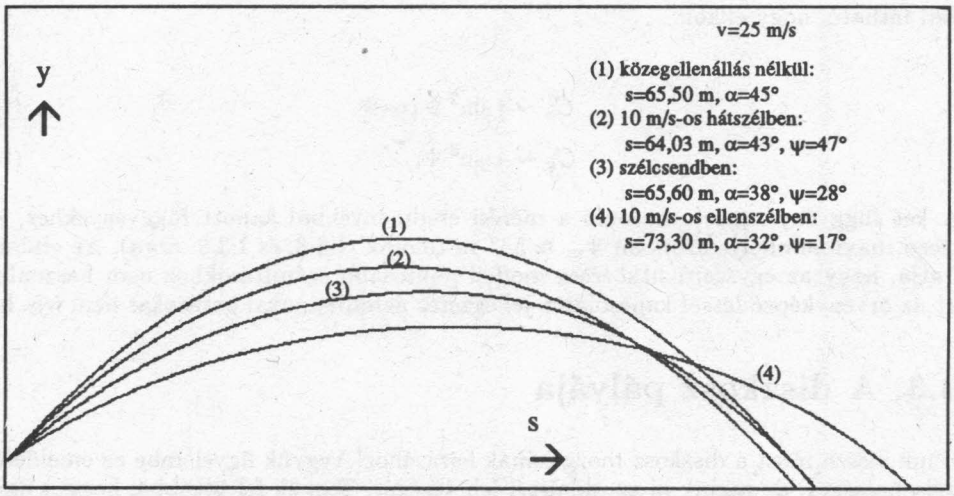
$$\ddot{x} = -\frac{1}{2}\left(\varrho A\frac{v_{\text{rel}}^2}{M}\right)(C_k\cos\beta + C_e\sin\beta) \quad \text{és} \tag{I.3.7}$$

$$\ddot{y} = -g + \frac{1}{2}\left(\varrho A\frac{v_{\text{rel}}^2}{M}\right)(C_e\cos\beta + C_k\sin\beta) \tag{I.3.8}$$

alakban írható fel.



I.3.10. ábra



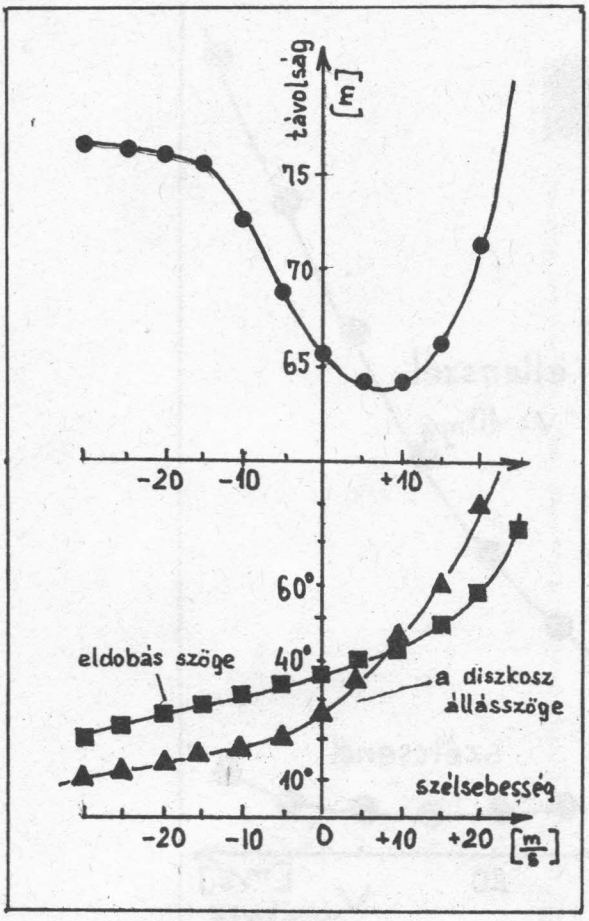
I.3.11. ábra

Az egyenletrendszer igen bonyolult, numerikus megoldását a már ismertetett léptető módszerrel hajthatjuk végre. A megoldás egy lehetséges számítógépes programját a következő fejezetben közöljük. A program elkészítése során feltételeztük, hogy a diszkosz síkjának hajlásszöge mozgás közben állandó. Ez a feltevés a tapasztalat szerint jó közelítéssel teljesül, mert a diszkosz gyors pörgése a sportszer síkját stabilizálja. (Erre a hatásra, továbbá a diszkosz síkjának csekély elfordulására az I.3.1.2. pontban még visszatérünk.)

A C_e és C_k paraméterek értékéül az I.3.6. és I.3.7. ábrákon kihúzott vonallal megadott függvény szerinti értékeket fogadtuk el.

A program lehetővé teszi, hogy a mozgásegyenletben szereplő paraméterek (v_{sz} szélsebesség, v_d hajítási sebesség, valamint az I.3.10. ábrán jelölt szögek kezdeti értékei) sziszte-

matikus változtatásával különböző erősségű ellenszélben, illetve hátszélben meghatározzuk az optimális dobás feltételeit.

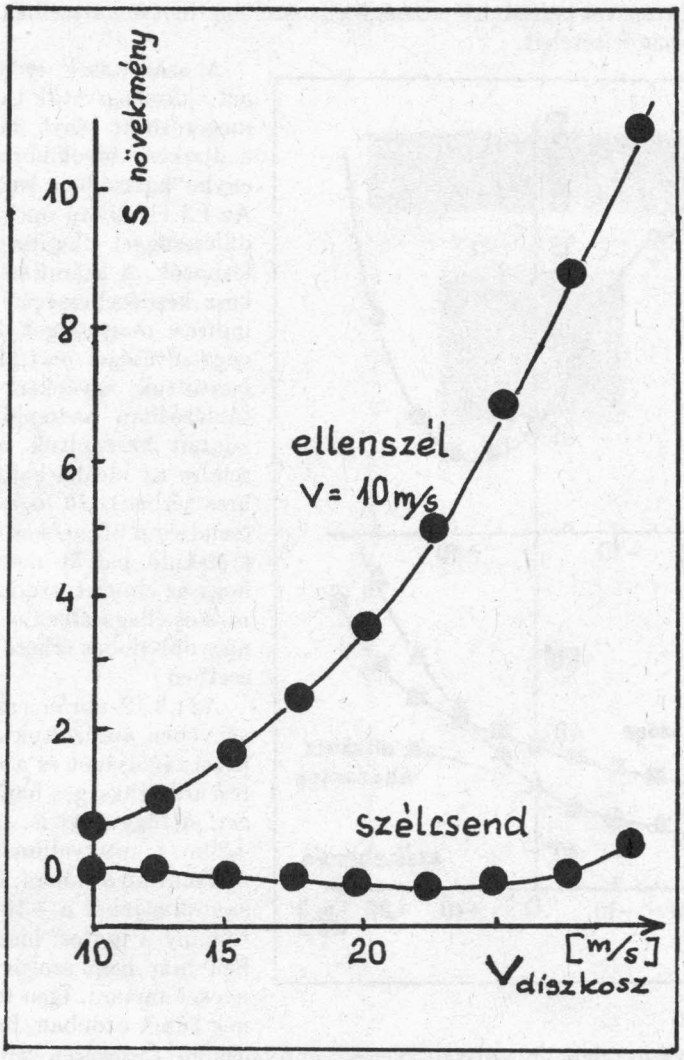


I.3.12. ábra

A számítások eredménye mutatja azt a diszkoszvetők tapasztalataival is megerősített tényt, hogy ellenszélben a diszkosz távolabbra dobható, mint enyhe hátszélben vagy szélcsendben. Az I.3.11. ábrán optimális szögben és dőlésszöggel elhajított diszkoszpályák láthatók. A számítások során a diszkosz kezdősebességét *25 m/s*-nak, az indítási magasságot *1,8 m*-nek, a levegő sűrűségét $\varrho=1{,}29\ kg/m^3$-nek választottuk, egyébként pedig az I.3.1. táblázatban szereplő férfi diszkosz adatait használtuk. Az 1–4. görbék rendre az ideális hajítási pályát (légüres térben), *10 m/s*-os hátszél, szélcsend és a *10 m/s*-os ellenszél mellett kialakuló pályát mutatják. Látható, hogy az elméleti számítások szerint *10 m/s*-os ellenszélben mintegy *5–7 m*-rel nagyobb dobás érhető el, mint a többi esetben.

Az I.3.12. ábrán a szélsebesség függvényében ábrázoltuk a maximális hajítási távolságot és a maximumok eléréséhez szükséges hajítási és dőlésszöget. A függvényt a $-20\text{m/s} \leq v_{\text{szél}} \leq +20\text{m/s}$ intervallumban vettük fel, nyilvánvaló azonban, hogy a sportolók szempontjából a $-10 \leq v \leq 10$ tartomány a fontos, hiszen viharos szélben már nem szokás atlétikai versenyeket tartani. Igen fontos eredménynek tűnik azonban, hogy az *5–7 m/s*-os hátszél a legelőnytelenebb a diszkoszvetés szempontjából. Érdekesen változik a szélsebességgel az optimális hajítási és dőlésszög is. Ellenszélben a szélsebesség növekedtével egyre laposabb szögben érdemes elhajítani a diszkoszt, s a kezdeti dőlésszöget érdemes *10–15°*-kal még ennél is kisebbnek választani. Szélcsendben az optimális hajítási szög *36–40°*, és ez hátszélben nő, a dőlésszöget azonban ennél rohamosabban érdemes növelni. *10 m/s* hátszél esetén a diszkosz síkjának már párhuzamosnak kell lennie a hajítás irányával.

Az I.3.11. ábra mutatja azt a meglepő tényt, hogy a diszkosz a légellenállás ellenére még a légüres térben lehetséges maximális hajítási távolságnál is messzebbre dobható. A kérdés kissé részletesebb vizsgálatából az adódik, hogy a légüres térbeli optimális hajítási távolság szélcsendben csak akkor dobható túl, ha a diszkosz sebessége *25 m/s*-nál nagyobb. (Természetesen a légüres térbeli és valóságos körülmények közötti optimális hajítási szög nem azonos.) Ellenszélben azonban az aerodinamikai emelőerő fellépte jócskán megnövelheti a



I.3.13. ábra

maximális hajítási távolságot. Az I.3.13. ábrán a hajítási sebesség függvényében ábrázoltuk a légüres térbeli maximális hajítási távolsághoz képest elérhető növekményt szélcsend és *10 m/s*-os ellenszél esetén.

sportszer	tömeg (kg)	átmérő (m)	vastagság (mm)	világrekord (m, 1989)
férfi diszkosz	2	221	46	74,08
főiskolai diszkosz	1,62	211	41,3	—
női diszkosz	1	182	39	76,80

I.3.1. táblázat

I.3.3.1. A pálya kiszámításához felhasznált program

A program IBM PC (vagy kompatíbilis) számítógépre készült Turbo Pascal nyelven. A bemenő adatok: a diszkosz kezdősebessége, az elhajítás szöge, a diszkosz állásszöge, a szél sebessége, a levegő sűrűsége, a diszkosz keresztmetszete és tömege, valamint a léptetési időköz.

A program „felhasználóbarát" formában készült, a bevitel szervezése kérdések formájában (READLN) egyértelműen történik. A program a kérdezett adatok esetén azonnal javasol egy értéket, ha ezt elfogadjuk, elegendő a RETURN lenyomása. Ha nem, akkor a javasolt értéket át kell írni.

A program az (I.3.7), (I.3.8) egyenletrendszert egyszerű léptető módszerrel oldja meg. A program magját a főprogramban a **Kozegellenall** és a **Rajzol** eljárások hívása közötti sorok képezik. Végeredményként a képernyőre a diszkoszpálya rajzolódik ki.

A program változói a következők:

- `x1`, `x2`: a diszkosz helykoordinátái
- `v1`, `v2`: a diszkosz sebességkoordinátái
- `a1`, `a2`: a diszkosz gyorsuláskomponensei
- `be` (β): a relatív sebesség iránya
- `ps` (Ψ): a diszkosz állásszöge a relatív sebességhez képest
- `cl`: a felhajtóerő állandója
- `cd`: a közegellenállási erő állandója.

A `cl` és `cd` értékeket a **Felhajto** és **Kozegellenall** eljárások állítják elő `ps` (Ψ) függvényében.

```
{ Turbo Pascal program diszkoszpálya kiszámítására }

uses crt, graph;

{ A különböző kísérleti helyzeteket állományba mentjük }
{ Az állomány egy komponensének típusa: }
type  adatok = record
            v, o, oo, v1, v2, vs, al, af, ro, a, m, dt: real;
      end;

{ A program bemenő adatai, alapértelmezésükkel }
const v: real = 25; o: real = 38; ro: real = 1.29; dt: real = 0.02;
      af: real = 28; g: real = 9.81; a: real = 0.038; m: real = 2;
      vs: real = 0;

{ További változók a számításokhoz }
var   be, ps, al, k, oo, v1, v2, vr: real;
      cd, cl, x1, x2, a1, a2: real;

      { Munkaváltozók }
      pcs: char;
      x1s: string;
      gd, gm, i: integer;
      rx, ry: real;

      { A kísérleti helyzeteket tartalmazó állomány }
      adrec: adatok;
```

```
    fdrec: file of adatok;

{ A felhajtóerő állandójának kiszámítása }
procedure Felhajto;
begin
   if abs(ps)<=0.4886921 then
      cl:=1.8007245*abs(ps)
   else if abs(ps)<=0.6108652 then
         cl:=0.88-2.3736823*(abs(ps)-0.4886921)
      else if abs(ps)<=1.2217305 then
            cl:=0.59-0.4092555*(abs(ps)-0.6108652)
         else
            cl:=0.34-0.9740282*(abs(ps)-1.2217305);
   if ps<0 then cl:=-cl;
end;

{ A közegellenállási együttható kiszámítása }
procedure Kozegellenall;
begin
   if abs(ps)<=0.4712389 then
      cd:=0.06+1.2240462*(abs(ps)-0.0872664)
   else if abs(ps)<=1.2217305 then
         cd:=0.53+0.6262561*(abs(ps)-0.4712389)
      else cd:=1+0.2291831*(abs(ps)-1.2217305);
end;

{ A pálya egy képpontjának megjelenítése }
procedure Rajzol;
begin
   putpixel(round(rx*x1*4.2),getmaxy-round(ry*x2*4),7)
end;

{ Egy kísérleti helyzet paramétereinek bevitele }
procedure Beolvas;
var c: char;
begin
   restorecrtmode;
   clrscr;
   x1:=0; x2:=0;
   gotoxy( 1,4); write('A diszkosz kezdő koordinátái:');
   gotoxy( 6,5); write('x1 = 0'); gotoxy(31,5); write('x2 = 2');
   gotoxy( 1,6); write('Kezdősebesség és hajítási szög:');
   gotoxy( 6,7); write('v (',v:10:5,') = '); readln(v);
   gotoxy(31,7); write('o (',o:10:5,') = '); readln(o);
   oo:=o*pi/180; v1:=v*cos(oo); v2:=v*sin(oo);
   adrec.v:=v; adrec.o:=o; adrec.oo:=oo; adrec.v1:=v1; adrec.v2:=v2;
   gotoxy( 1,8); write('A hátszél sebessége:');
   gotoxy( 6,9); write('vs (',vs:10:5,') = '); readln(vs);
   adrec.vs:=vs;
   gotoxy(1,10); write('A diszkosz állásszöge:');
   gotoxy(6,11); write('al (',af:10:5,') = '); readln(af);
```

```
    al:=af*pi/180;
    adrec.af:=af; adrec.al:=al;
    gotoxy(1,12); write('A levegő sűrűsége:');
    gotoxy(6,13); write('ro (',ro:10:5,') = '); readln(ro);
    adrec.ro:=ro;
    gotoxy(1,14); write('Keresztmetszet és tömeg:');
    gotoxy(6,15); write('A (',a:10:5,') = '); readln(a);
    gotoxy(31,15); write('m (',m:10:5,') = '); readln(m);
    adrec.a:=a; adrec.m:=m;
    gotoxy(1,17); write('A léptetési időköz:');
    gotoxy(6,18); write('dt (',dt:10:5,') = '); readln(dt);
    adrec.dt:=dt;

    { Azonnal beírjuk a kísérleti helyzeteket tároló }
    { átmeneti állományba }
    reset(fdrec);
    seek(fdrec,filesize(fdrec));
    write(fdrec,adrec);
    close(fdrec);

    gotoxy(1,20); write('Üss le egy billentyűt!');
    c:=readkey
end;

{ Egy kísérleti helyzet beolvasása az átmeneti állományból }
{ Az i változó a beolvasandó rekord sorszáma }
procedure FBeolvas(i: integer);
begin
    seek(fdrec,i);
    read(fdrec,adrec);
    v:=adrec.v; o:=adrec.o; v1:=adrec.v1; v2:=adrec.v2; vs:=adrec.vs;
    al:=adrec.al; af:=adrec.af; ro:=adrec.ro; a:=adrec.a; m:=adrec.m;
    dt:=adrec.dt;
    x1:=0;x2:=2;
end;

{ Főprogram }
begin
    { A grafikus mód inicializálása, a felbontás megállapítása }
    detectgraph(gd,gm);
    initgraph(gd,gm,' ');
    rx:=(getmaxx+1)/320; ry:=(getmaxy+1)/200;

    { Az átmeneti állomány létrehozása (kiürítése) }
    assign(fdrec,'hajitas.dat'); rewrite(fdrec); close(fdrec);

    repeat
        Beolvas;
        { Grafikus módba kapcsolunk }
        setgraphmode(gm);
        { A hajítási pályákat az átmeneti állományban tárolt }
        { paraméterekből rajzoljuk fel - ekkor már a legutoljára }
```

```
        { bevitt kísérleti helyzet is az állományban van, mert }
        { a Beolvas eljárás beírja }
        reset(fdrec);

        for i:=0 to filesize(fdrec)-1 do begin
           FBeolvas(i);
           be:=arctan(v2/(v1-vs)); ps:=al-be;

           { Ez a program magja, a rajzolási ciklus }
           repeat
                Felhajto;
                Kozegellenall;
                vr:=sqr(v2)+sqr(v1-vs);
                k:=0.5*ro*a*vr/m;
                a1:=-k*(cd*cos(be)+cl*sin(be));
                a2:=-g+k*(cl*cos(be)-cd*sin(be));
                x1:=x1+v1*dt+0.5*a1*sqr(dt);
                x2:=x2+v2*dt+0.5*a2*sqr(dt);
                v1:=v1+a1*dt; v2:=v2+a2*dt;
                be:=arctan(v2/(v1-vs)); ps:=al-be;
                if x2>=0 then Rajzol;
           until x2<0;
        end;

        str(x1:10:5,x1s);
        outtextxy(0,0,'A dobás hossza:'+x1s);
        outtextxy(0,20,'U  - új számolás törlés nélkül');
        outtextxy(0,30,'T  - új számolás törléssel');
        outtextxy(0,40,'Esc - kilépés');
        pcs:=readkey;

        if upcase(pcs)='T' then begin
          { Ha a felhasználó törlést kér, ki kell üríteni az állományt }
          rewrite(fdrec); close(fdrec);
        end
        else begin
            close(fdrec);
        end;
    until pcs=chr(27);

    closegraph;
    { A program végén letöröljük az állományt }
    erase(fdrec);
end.
```