

LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ

KÉZIRAT GYANANTI

EJTŐERNYŐS
tájékoztató 

1980/6

EL-CAPITAN

(Parachutist 1980. május)

A cikk a Parachutist c. folyóiratban megjelent, e témával foglalkozó több cikkből és közleményből lett összeállítva.

El Capitan (A Kapitány) egy félelmet és tiszteletet ébresztő 1200 m magas monolit szikla, mely a környező Yosemite-hegyekből kiemelkedik. Az egyik oldalán egy csaknem függőleges szakadék van, amely úgy néz ki – valaki szerint, aki már leugrott róla – mintha a természet-isten egy óriási fejszével vágta volna le a többi részét. Ennek a szirtnek, amelyet a Hajnali Fény Falának is neveznek az indiánok, olyan a helyzete, hogy kiválóan alkalmas „ejtőernyős” ugrásra. Tény az, hogy valószínűleg talán az El Cap az egyetlen olyan hely Észak-Amerikában, ahonnan lehetséges a „lábról” és a talajról ejtőernyős ugrást végrehajtani.

Az El Cap krónikája (P.Proctor)

Az első ismert ugrások az El Cap szirtről 1966-ban történtek, amikor két ugró PC ejtőernyőket viselve nekiszaladtak és leugrottak a szirtről. Mind a ketten megsebesültek – az egyikük súlyosan –, amikor a sziklás omladékot nem tudták elkerülni a szirt lábánál. 6 évvel később egy film-kaszkadőr kihasználta az El Cap környékén a havat és 55-56-57. ejtőernyős ugrásánál egyszerűen lesíelt a szirt pereméről egy háromszögletű THUNDERBOW főernyővel (szerk.megj.: Erről a H.Gregory:Parachuting's unforgettable jumps c. könyv 302–320 oldalon foglalkozik. A filmfelvétel a nálunk is ismert „Veszélykeresők” filmsorozathoz készült.) Az ugró később felhasználta az itt szerzett tapasztalatait, mert egy kémfilmben egy kanadai hasonló szirtről síelt le.

Ezek után egy kaliforniai szabadeső fényképész, C. Boenisch elhatározta, hogy megkísérli ő is az ugrást El Cap-ról. Meg volt győződve arról, hogy ez a szakadék tapasztalt szabadeső ejtőernyősök számára biztonságosan és rendszeresen alkalmazható ejtőernyős ugrásra – ha felhasználják a korszerű szabadeső technikát és felszereléseket. Úgy vélte, az ejtőernyősök csúsztatással eléggé el tudnak távolodni a sziklafaltól – és ami még fontosabb, a modern légcélszerű ejtőernyőkkel el tudnak manőverezni a sziklafaltól, annak lábánál lévő földetérésre nem alkalmas területtől a biztonságos közeli rétig.

Miután alaposan megbeszélték a biztonsági kérdéseket, Boenisch és barátai több fényképező akciót szerveztek 1978 tavaszán az El Cap-hoz azzal a céllal, eldöntsék, végrehajthatók-e ezek az ugrások, s ha igen, megtalálják az alkalmas induló és földetérési helyeket. Igyekeztek minden veszélyes körülményt felderíteni, melyek a jövőben veszélyeztethetnék a szabadesőket is. Az előkészítés során ballonokból gyakoroltak ugrásokat, kisebb szirtekről vízbe ugrottak – olyan körülményeket próbáltak ki, melyek szimulálták a tervezett ugrás körülményeit. Ezenkívül megterveztek és megépítettek egy speciális 5 m hosszú létrát is, amit felcipeltek a csúcsra és úgy szerelték fel, hogy kiálljon, így egyedülálló kameraállást nyújtson a fényképezéshez, filmezéshez.

Végül, miután meggyőződtek arról, hogy az ugrásokat ésszerű határok között biztonságosan végre lehet hajtani, egy negyedik kirándulásra indultak a Yosemite-hegységbe. Egyetértettek abban, hogy eltöltenek – ha kell – mind a négyen 5 napot a megfelelő jó időre várva. A hegytetőn lévő segédcsapathoz a földetérési helyre is hívtak egy segélycsapatot, melyek fel voltak szerelve rádió adó-vevővel, hogy a szélviszonyokat a tetőn lévő, ugrásra váróknak jelezhessék.

Túl a peremen.

1978. augusztus 18. reggel 09 óra. K.Lane végrehajtotta azt az ugrást, melynek révén ő lett az első, aki modern ejtőernyős ugrást hajtott végre az El Cap pereméről. Másodpercek múlva követte őt még három ugró. Mint később Boenisch elmondta, a négy ugrási kísérletből négy sikerült tökéletesen és úgy éreztem megfelelően bizonyított, hogy magasképzettségű ejtőernyősök számára a szirtről való leugrás ellenőrzött körülmények között biztonságos.

Két héttel később Boenisch újabb kirándulást tett a hegyre, mivel ő maga társával a filmezés

miatt nem ugorhatott, most ezt a helyzetet akarta megváltoztatni. Ezon a kiránduláson résztvett még egy harmadik ejtőernyős, valamint az előbb ugrók közül három, a második ugrást végrehajtani. Sajnos azonban lent már várta őket a Park Szolgálat rendőre, aki hármójukat egyből letartóztatta, majd később „elkapta” a maradék három ugrót is. A vád, amit ellenük emeltek az volt, hogy „sárkányrepülés engedély nélkül”, valamint egy homályos és elavult rendelet olyan passzusa, amely megtiltotta bárminek a légi úton való szállítását a természetvédelmi területre, illetve nemzeti parkba.

A letartóztatások egy törvényességi vitát indítottak el, amelyet Boenisch még most is folytat. Az ejtőernyősök azzal védekeztek, hogy semmiféle törvény nem tiltja meg a szirtről való leugrást és ők az ugrást gondos előkészület után hajtották végre, mind felelős személynek és senkinek sem okoztak kárt. (Szerk.megj.: Az említett ugrásról készített fényképfelvételeket A.Koch: Skyes call c. könyvének 2. kötete tartalmazza a 127–134. oldalakon.)

A letartóztatások azonban még jobban felkeltették az érdeklődést El Cap iránt és a környékbeli, sőt külföldi ejtőernyősök is kezdtek megjelenni a hegyekben, hogy leugorjanak. A következő néhány hónapban 52 újabb ugró hajtott végre összesen 62 ugrást a szirtről. Több ejtőernyőst „elkaptak”, de a legtöbbjük „megúsza”, illetve el tudta kerülni a Park Szolgálatot. Mindannyik ugró egyetértett abban, hogy ez az ugrás nagyon vidám és talán egy kicsit veszélyesebb volt, mint a szokásos ejtőernyős ugrások. Az említett 52 ugró közül négy nő is volt, ketten éjszaka hajtották végre az ugrást, s egy ugrónak volt nyílási rendellenessége, de sikeresen működtette a tartalékernyőjét. Az ugrók közül egy sem sérült meg komolyan, vagy szenvedett halálos balesetet.

Mire az 1979-es téli hó beborította az El Cap-ot, az ejtőernyősök és a Park Szolgálat között ki-tört a teljes ellenségeskedés, mindketten az USPA-hoz (Szerk.megj.: USA Ejtőernyős Szervezet) fordul-tak segítségért.

El Cap – avagy hogyan kell ugrani a szikláról (B.Ottley)

Az ugrók meglehetősen alkalomszerűen, de már 1966 óta hajtanak végre ugrásokat az El Cap-ról, ám 1978 óta már elég sűrűn. Biztonságos és törvényes ez?

Az 1979-es USPA igazgatói ülése egy nyilatkozatot tett közzé, az ilyen természetű ugrásokról, mely szerint: „Az USPA az olyan ugrásokat, melyeket stabil tárgyról (épület, hod, szirt, stb.) hajta-nak végre ejtőernyővel, mutatványoknak tartja, amelyeket kaszkadőrök végeznek. Elismerjük, hogy az ilyen ugrásokkal kapcsolatos kockázatokat és veszélyeket némiképpen minimalizálni lehet, de az ilyen ugrások ennek ellenére jelentősen veszélyesebbek, mint a légijárművekből végrehajtott ejtőernyős ugrások, melyeket az USPA Biztonsági Előírásainak megfelelően hajtanak végre. E mutatványjellegű (kaszkadőr) tevékenység meglehetősen új és azok véleménye, akik már hajtottak végre ilyen ugrásokat, arról győzte meg az USPA Igazgatói Testületét, hogy ez a tevékenység az USPA részéről jelenleg még nem hagyható jóvá.”

Az USPA álláspontjának ismerete nélkül a Park Szolgálat csaknem egyidőben kiadott bizonyos szabályokat azok számára, akik ilyen ugrásokat akartak végrehajtani. Mielőtt azonban a Szolgálat által kiadott előírások életbeléphettek volna, a Szolgálat tudomást szerzett az USPA állásfoglalásáról, annak alapján visszavonták a legelső hivatalos engedélyt, amit 1979. november 23-24-re adtak ki.

Ezután a Park Szolgálat kijelentette, az USPA-t tekintik olyan mértékadó intézménynek, mely az USA területén felelős és szankciókat is alkalmazni tudó szervezet ejtőernyős ügyekben, ennél fogva tő-le várnak útmutatást, különös tekintettel a biztonság és a felszerelés tekintetében.

Erre a leghivatottabbak maguk az ugrók, akik már ténylegesen megmászták a hegyet és hajtottak végre róla ugrást.

1980 februárjában a Perris Valey ejtőernyős központba összehívtak egy értekezletet, melynek a célja az volt, hogy kidolgozza az El Cap-ról történő ejtőernyős ugrások feltételeit és ezekkel az ugrásokkal kapcsolatos álláspontot.

Az El Cap „szakértői” itt elmondták, ezzel segítettek az USPA-nak, hogy mikor és hogyan lehet és szabad szirtugrást végrehajtani. Részt vett még ezen az összejövetelen a Yosemite Park Szolgálat vezetője is, aki felbecsülhetetlen értékű adatokat szolgáltatott a magasságokról, a szikla aljában lévő lejtő formájáról, stb., ami azokat az ugrókat izgatta, akik „átkukucskálnak” a szikla peremén.

Az összejövetel végén J.Svec a legtöbb résztvevő gondolatát összegezte az alábbiakkal: „Meg vagyok győződve arról, hogy az El Cap-i ugrások folytatódni fognak és még az időjárás sem akadályozza meg az ugrókat abban, hogy le ne ugorjanak a szirtről. Az idén már két külföldi csoport is ugrott le a hóba. Kérdezhetjük – miért? Mi az El Cap vonzereje, ami arra készíti a föld másik felén lakó ejtőernyősöket is, hogy felkapaszkodjanak a csúcsra és leugorjanak onnan? A legjobb válasz, amit erre adni tudok, úgy tűnik nem a legjobb válasz, de úgy érzem, amit eddig megtettünk és ezután meg fogunk tenni, azt csak egy ok miatt tesszük, a szépségért, az izgalomért és az élvezetért, amit közben tapasztalunk.

Biztonságos-e?

Azok véleménye szerint, akik már „elkövették” és akik jelen voltak Perris Valley-ban ahhoz, hogy valaki az El Cap-ról biztonságosan leugorhasson, legalább „D” minősítéssel kell rendelkeznie, továbbá alapvető célbaugró képességgel, csúsztatni kell tudnia szabadesés közben, legalább 50 ugrása legyen légcellás ejtőernyővel és ezen 50 ugrás közül legalább ötöt a legutolsó 90 napon belül hajtson végre. Az értekezlet résztvevői kívánatosnak tartották, hogy az ugrónak tapasztalata legyen a meredek megközelítésben, hogy a szirt alatti földetérési terület biztonságosan elérhető legyen.

Az USPA biztonsági és oktatási bizottsága még az alábbi javaslatokat fogadta el:

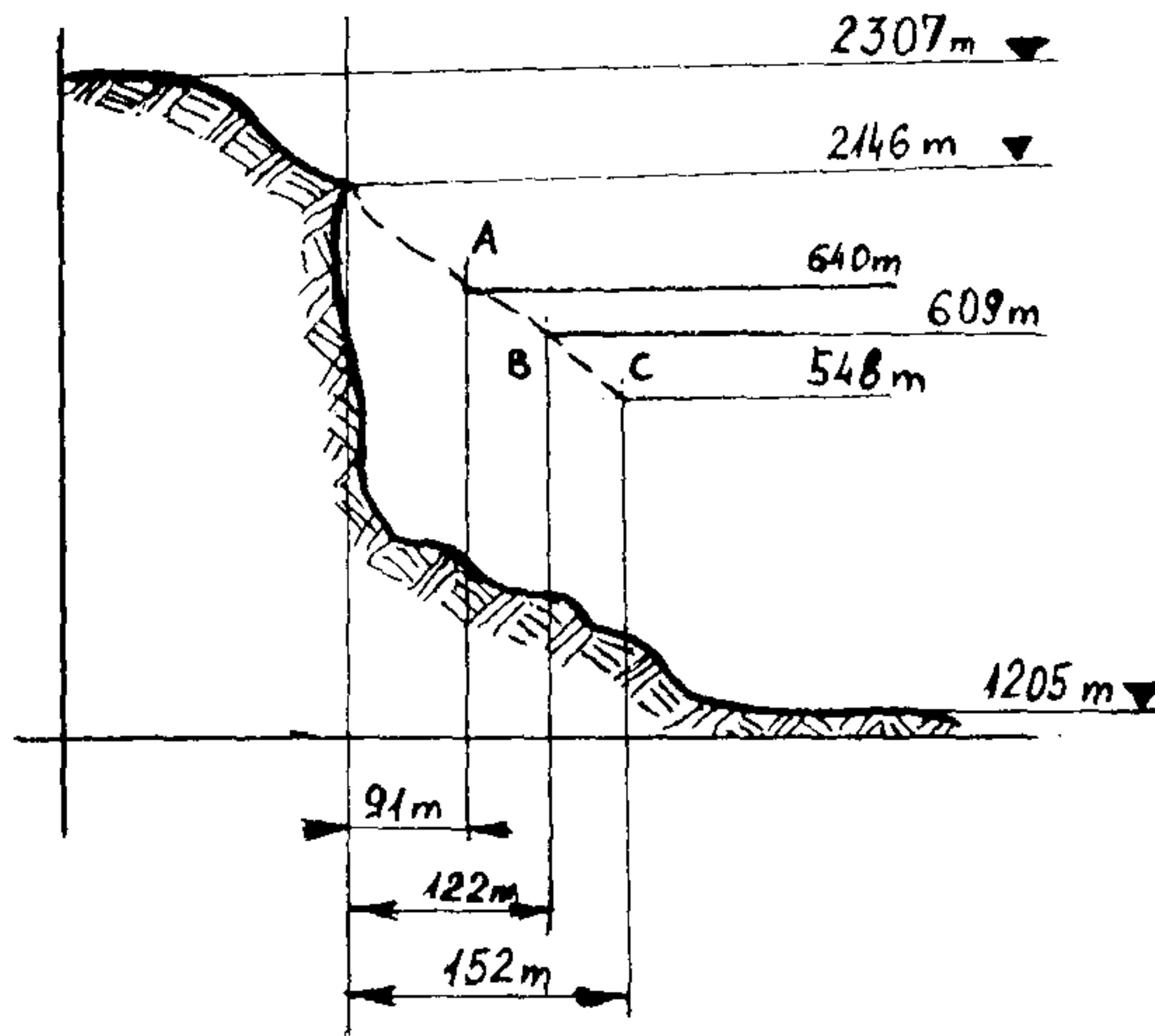
FELSZERELÉS: Légcellás főernyő, irányítható tartalékernyő, egy mozdulattal működtethető leoldórendszer, kemény bukósisak, bakancsok, cipők, illetve teniszcipők és nagy formaugró ruha az ugrás közbeni stabilitás biztosítására.

MEGENGEDETT LEGNAGYOBB SZÉLSEBESSÉG úgy az ugrási, mint a földetérési helyen nem lehet 4.4 m/s-nál nagyobb. A hegyekben a szelek leginkább a reggeli órákban a leggyengébbek, ehhez társulnak a Park szabályai, melyek megkövetelik, hogy az ugrásokat fél kilenc előtt hajtsák végre és csak akkor, ha a szélviszonyok megfelelőek.

SZABADESÉSI IDŐHATÁROK. Az ejtőernyőnyitás késleltetése 6 és 8 másodperc között legyen, s a szabadesés során a lehető legmesszebb kell elcsúsztatni a sziklafaltól. 6 másodpercnél rövidebb késleltetés nem ad elég nagy nyitási távolságot a sziklafaltól, míg a 8 másodpercnél hosszabb nem hagy elég biztonságos magasságot.

Az USPA előírásain túl a Park Szolgálat más követelményeket is támaszt, amit az ugróknak teljesíteniük kell:

- Az engedélyezett ugrási helyet a Szolgálat mindig kijelöli és meghatározza. Ez elsősorban a keleti fal felett van, ahol a szirt egy pereme kinyúlik a sziklafal fölé. A kijelölt ugróhelyen kívül engedély nélkül más ugróhelyet tilos használni.
- Földetérési helyekre a Park Szolgálat előírja, hogy az ugrani kívánók ismerkedjenek meg azokkal. Elsősorban a szikla alatti rét alkalmas a földetérésre és oda kell földetérni, hacsak előre nem látható probléma nem adódik. A másodlagos földetérési hely az „Ördög könyöke” réten van.
- Az ugrók a földetérési helyet a lehető leggyorsabban kötelesek elhagyni, mivel az esetleg összegyűlő nézők káros hatással vannak a növényzetre és állatvilágra. Ha egy ugró fára esik, felelős a felszerelésének eltávolításáért úgy, hogy a fában semmilyen kárt ne tegyen.
- Segítők. A Park Szolgálat előírja, hogy mindenkinek legyen segítőtje, aki leszállítja a felszerelés fennmaradt részét. Tiltják bármilyen felszerelés, vagy anyag fennhagyását a szirten, vagy bármi- nek a ledobását. A földetérésnél földi segítőknek kell tartózkodni, akivel megfelelő kommunikációs összeköttetés van a szirt-tetőről.
- Ugráskorlátozások. Ugrást csak a hivatalos napfelkelte és 08 óra 30 perc között szabad végrehajtani, továbbá kedvezőtlen szélviszonyok között tilos ugrani.



A – nyitási pont 6 másodperces késleltetésnél. B – nyitási pont 7 másodperces késleltetésnél. C – nyitási pont 8 másodperces késleltetésnél.

A szikla teljes magassága a tengerszint felett 2307 m, az elugrásra alkalmas pont magassága a tengerszint felett 2146 m és a völgy – földetérési terület tengerszint feletti magassága 1205 m.

Az ugrások szezonálisan is korlátozva vannak, az idén – gyakorlatilag csak nyáron – október 1-ig szabad ugrani. Ugyanezen korlátozások vonatkoznak a sárkányrepülésre is a Parkban. Ezenkívül naponta csak legfeljebb 12 ugrást engedélyeznek, ugyancsak hasonlóan a sárkányrepülésekhez.

Törvényes-e? (H.Ottley)

Lapzártakor az volt a helyzet, hogy a „labda” még a Nemzeti Park „udvarában volt”. A Park vezetője tudatta, hogy az USPA képviselőjének a jelenléte szükséges a parkszemélyzet eligazításához.

Fordította: Szuszékos János

J.Mitchell: EJTŐERNYŐK VISELKEDÉSE KIS SEBESSÉGEKEN

(Az ejtőernyők és kapcsolódó technológiák szimpóziuma 1971. szeptember 15–16 Anglia)

Az ejtőernyők viselkedésével foglalkozó elméletek legnagyobb része két elvre alapoz. Először: a levegő áramlása az ejtőernyő tengelyével párhuzamos, másodszer: az ejtőernyő körüli áramlást a levegő sebessége nem változtatja meg jelentősen. Lehet, hogy ezek az áramlási jellemzők nagy sebesség mellett igazak, de amikor az ejtőernyő szabadon merül és a légáramlás sebessége kicsi, bizonyított, hogy a fenti két alapelvhez való ragaszkodás nem célszerű.

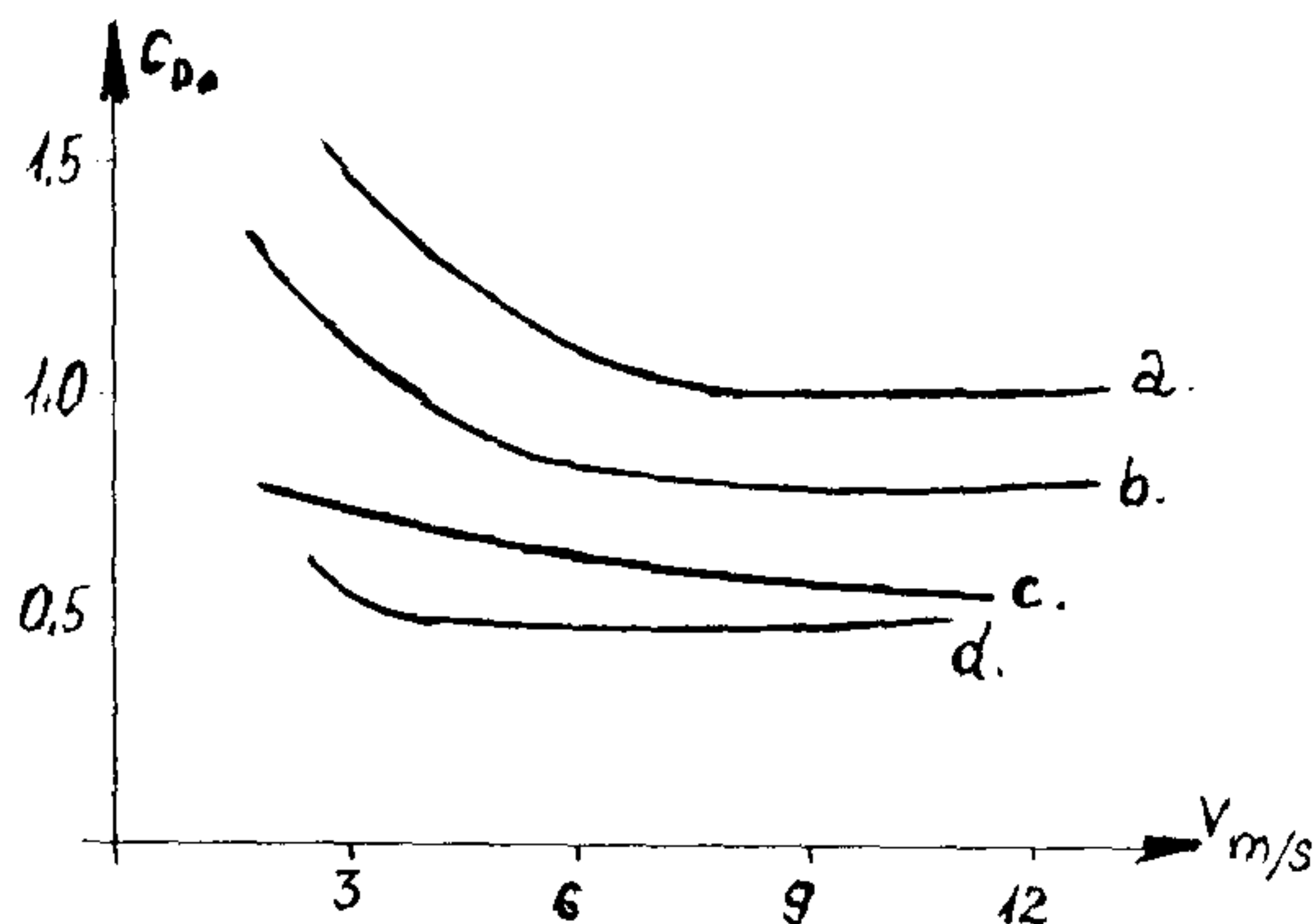
Változás az ellenállás nagyságában

Az USA-ban egy sorozat ejtőernyő vizsgálatot végeztek léghajó hangárban, hogy kizárják a szabad levegőben mindig jelen lévő turbulenciákat. A mérések eredménye alapján kimutatható, hogy a vizsgálat különböző típusú és szerkezetű ejtőernyők légellenállási tényezője megnövekedett akkor, amikor a vertikális sebességet az ember számára biztonságosra csökkentették. Amíg a lapos ejtőernyőknél (Szerk. megj.: Ez a síkban simán kiteríthető ejtőernyőkre vonatkozik, pl. a D-1 típusra, vagy a nálunk is ismert Sz-4-re.) a kupola vetületi területe növekszik, addig a formázott alakú ejtőernyőknél (Szerk. megj.: pl. RS-4) mindig a maximális névleges átmérőt figyelhetjük meg és az ellenállási tényező változását.

Ez a tény arra mutat, hogy egy bizonyos kritikusnál kisebb sebesség esetén az ejtőernyő feletti áramlás változik és bizonyos erők, melyek az alakellenálláshoz adódnak, halmozódnak. A leggyorsabb növekedést olyan ejtőernyőknél lehet felfedezni, melyeknél a belépőél rész viszonylag hosszú, ha pedig ez a rész a kupola tengelye felé dől (Szerk. megj.: Ilyen a T-10 -- L. Ejtőernyős Tájékoztató 1978. évi 6. számát -- és az RS-4.), akkor csak minimális a változás.

A siklászög változása

A vizsgálatok során megfigyelhető volt, hogy az ejtőernyők különböző siklászögekkel rendelkeznek, mely szög értéke a kupola légáteresztésén és alakján múlt. A siklás akkor volt a legkisebb, amikor a kupolának volt egy görbített oldala és akkor volt a legnagyobb, amikor olyan vezetőfelülete volt, amely megakadályozta az oldal-mozgást. A gyűrűs-réses (Szerk. megj.: L. az Ejtőernyős Tájékoztató 1978. évi 4. számát) és a szalagernyőknél kevesebb volt az oldalelmozdulás lehetősége, mint a zártfalú ejtőernyőkupoláknál.



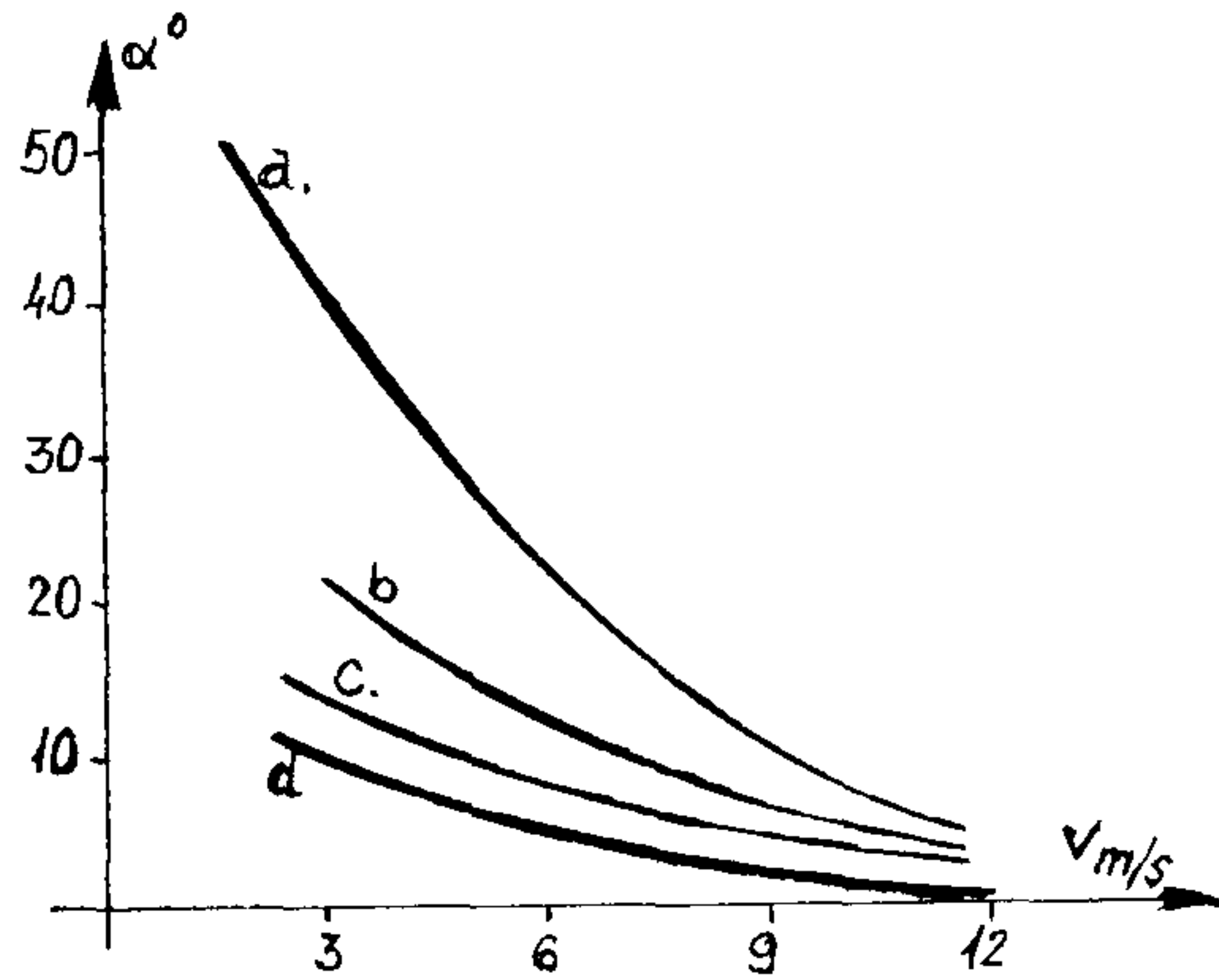
1. ábra

Merülési sebesség – fajlagos ellenállási tényező összefüggése az ejtőernyő konstrukcióval. a—lapos kupola, b—formázott kupola, c—szalagernyő, d—vezetőfelületű ejtőernyő.

Nyilvánvaló, a folytonossági hiányban szenvedő kupolafalaknál a rések helyi turbulenciát okoznak és ez változtatja meg az áramlási viszonyokat. Tény azonban, hogy a DGB ejtőernyők jobban siklanak a szalagernyőknél. (2. sz. ábra)

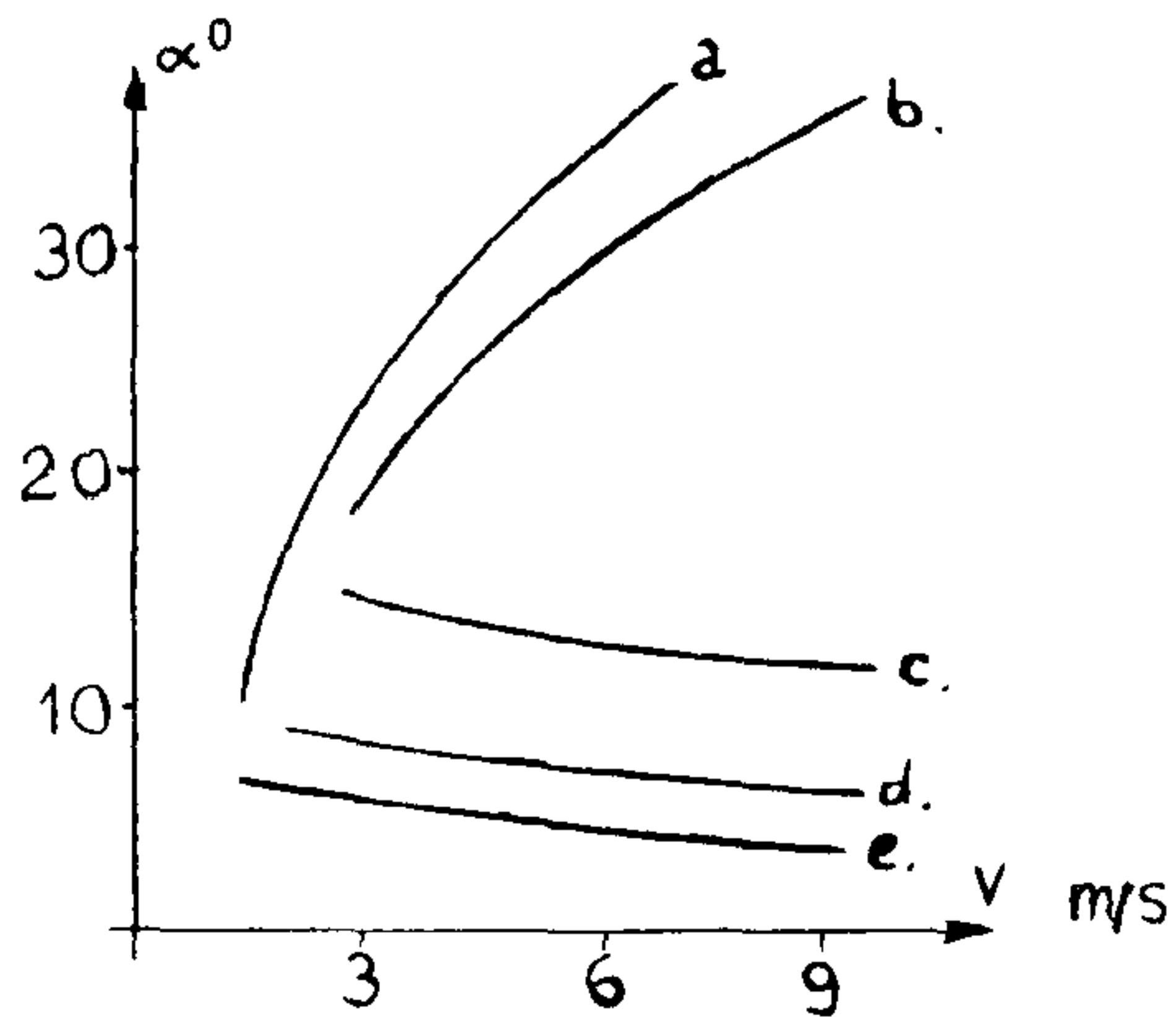
Lengési-szög variációk (3. sz. ábra)

Egy további megfigyelés tárgya a lengő ejtőernyő oszcillációja. Az irányító felületekkel rendelkező, szalag és DGB ejtőernyők általában a merülési sebességtől függetlenül megtartották lengési szögüket,



2. ábra

Merülési sebesség – siklószög összefüggése. a–lapos- és formázott kupola, b–DGB kupola, c–szalagernyő, GSP kupola.



3. ábra

Merülési sebesség – lengési szög összefüggése. a–formázott kupola, b–lapos kupola, c–DGB kupola, d–szalagernyő, e–vezérfelületű ejtőernyő.

a zártkupolájú ejtőernyők azonban a sebesség csökkentésével (kisebb terhelésnél) csökkentik a lengési amplitudót.

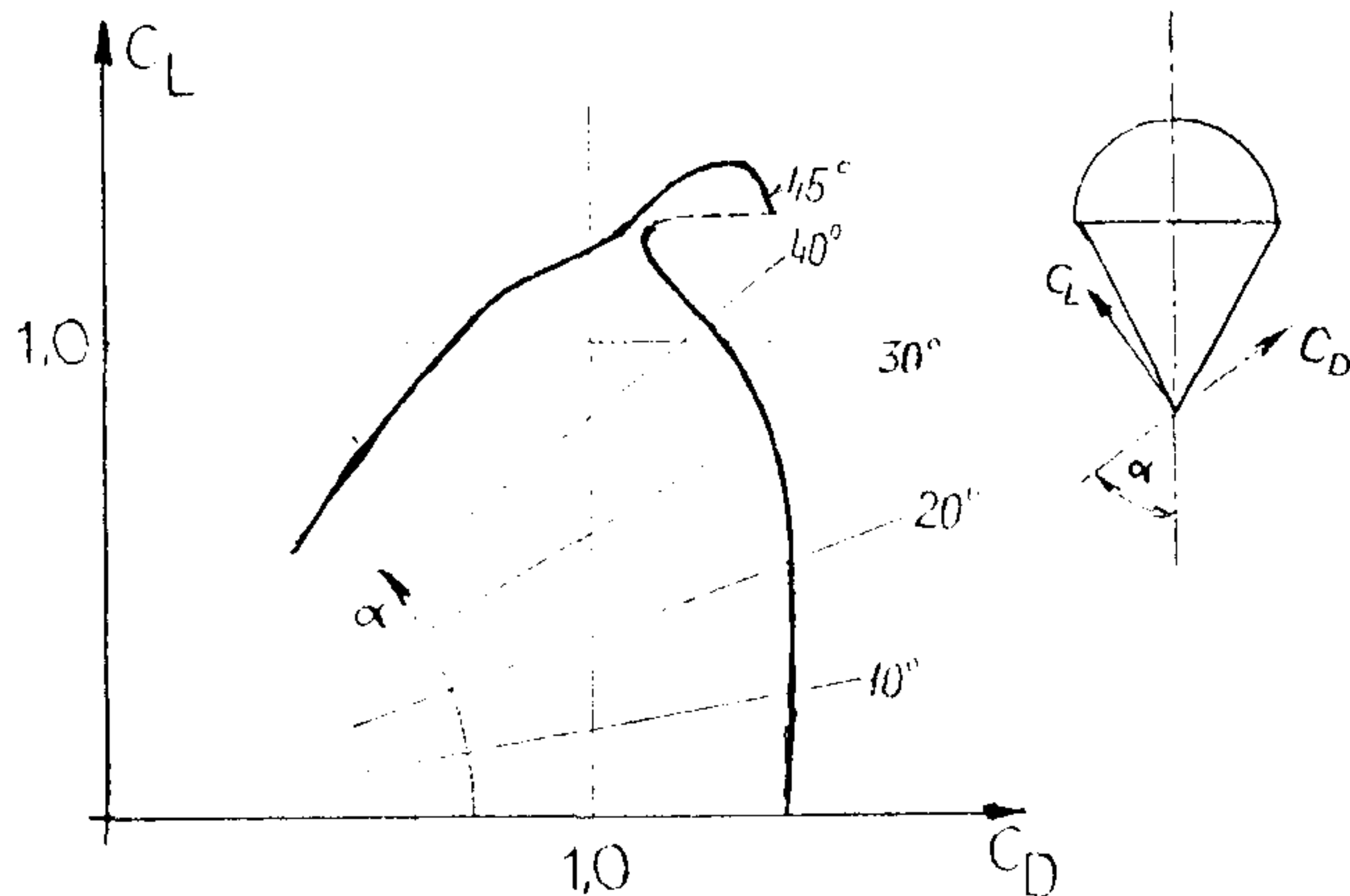
Ez a tény arra mutat, hogy a teher-ejtőernyő rendszer lengőmozgása helyett a lengés egy kombinált mozgás, a kupola egyik oldalán jelentkező emelés adja a billentő hatást és a nyomásközéppont elmozdulásai tartják fenn a lengést.

A nagy légáteresztésű kupolák a lengést okozó emelést még egy korábbi fázisban kezdik el fékezni, ezért a lebillenő oldal ellenállása csillapítja a lengést.

Ezen megfigyelések összegzésekképpen az emberek használatára tervezett ejtőernyők mindig létrehozhatnak valami oldalelmozdulást is. Amennyiben ezt az oldalelmozdulást kiküszöbölik, úgy az ejtőernyő légellenállása viszonylag kicsi lesz és ellenkezőleg, amennyiben a kupola meglehetősen jó síklási tulajdonságokkal rendelkezik, a légellenállási tényezője nagy lesz és ezzel együtt a nagy lengésnek is megvan a lehetősége.

A légellenállás nagyságának mérése

A szélcsatorna mérések során, amikor a modellek mereven rögzített átnemeresztő félgömbök voltak, további hasznos információhoz lehetett jutni. (4. ábra)



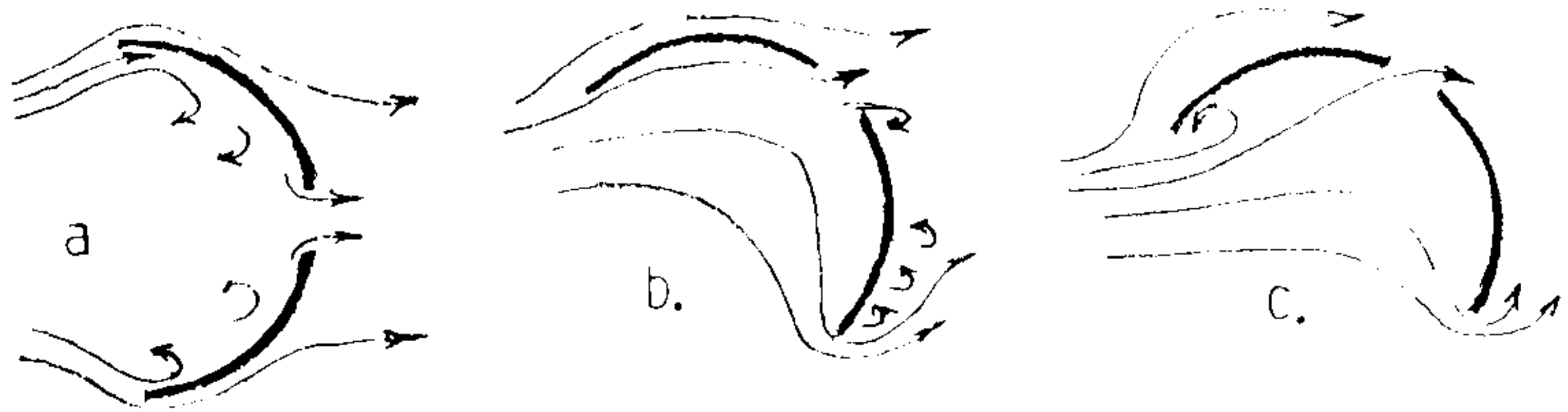
4. ábra

Merev félgömb felhajtóereje (C_L) és ellenállása (C_D). α – a megfújás iránya.

A megfigyelések eredménye az volt, hogy amikor a légáramlás iránya 45° -os szöget zárt be az ejtőernyő tengelyéhez képest, akkor az emelés és a fékezés komponensei közelítőleg egyenlőek voltak. A légellenállási tényezőben közben szakaszosan kisebb változások álltak be, ezek az ejtőernyőt egy meghatározott síklási pályára igyekeztek beállítani feltételezve, hogy az ejtőernyő szabadon merül. Az ejtőernyő lengése a fékező erőt kb. kétszeresére fokozta a merőleges süllyedéshez képest.

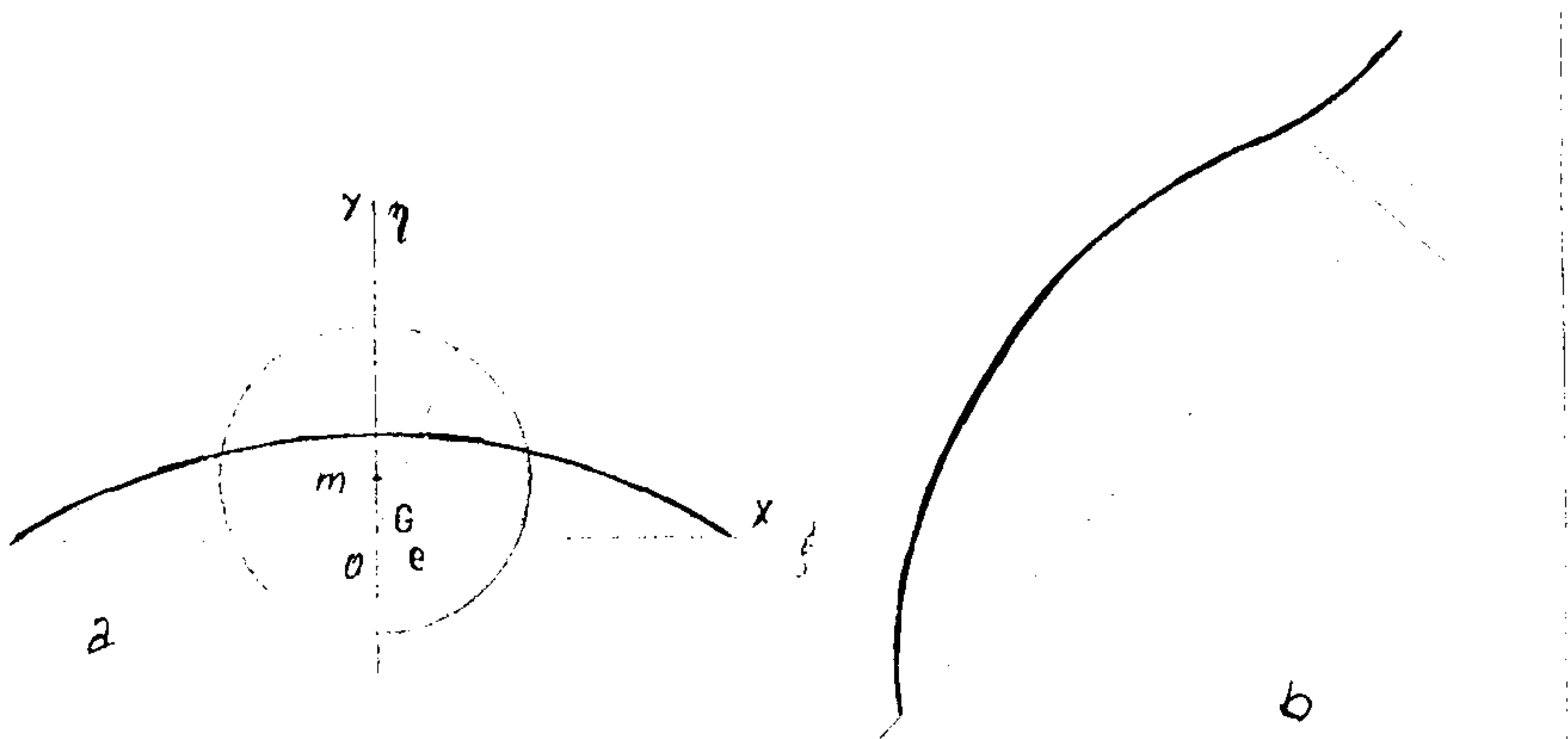
Áramvonalak

A kritikus helyzetek meghatározása végett vízcsatornában kétdimenziós modell körüli áramlások lettek vizsgálva.



5. ábra

Merev kupolaalak körül, vízcsatornában megfigyelt áramképek. a—normális áramlás (szimmetrikus), b—emelő áramlás, c—„átesett” áramlás.

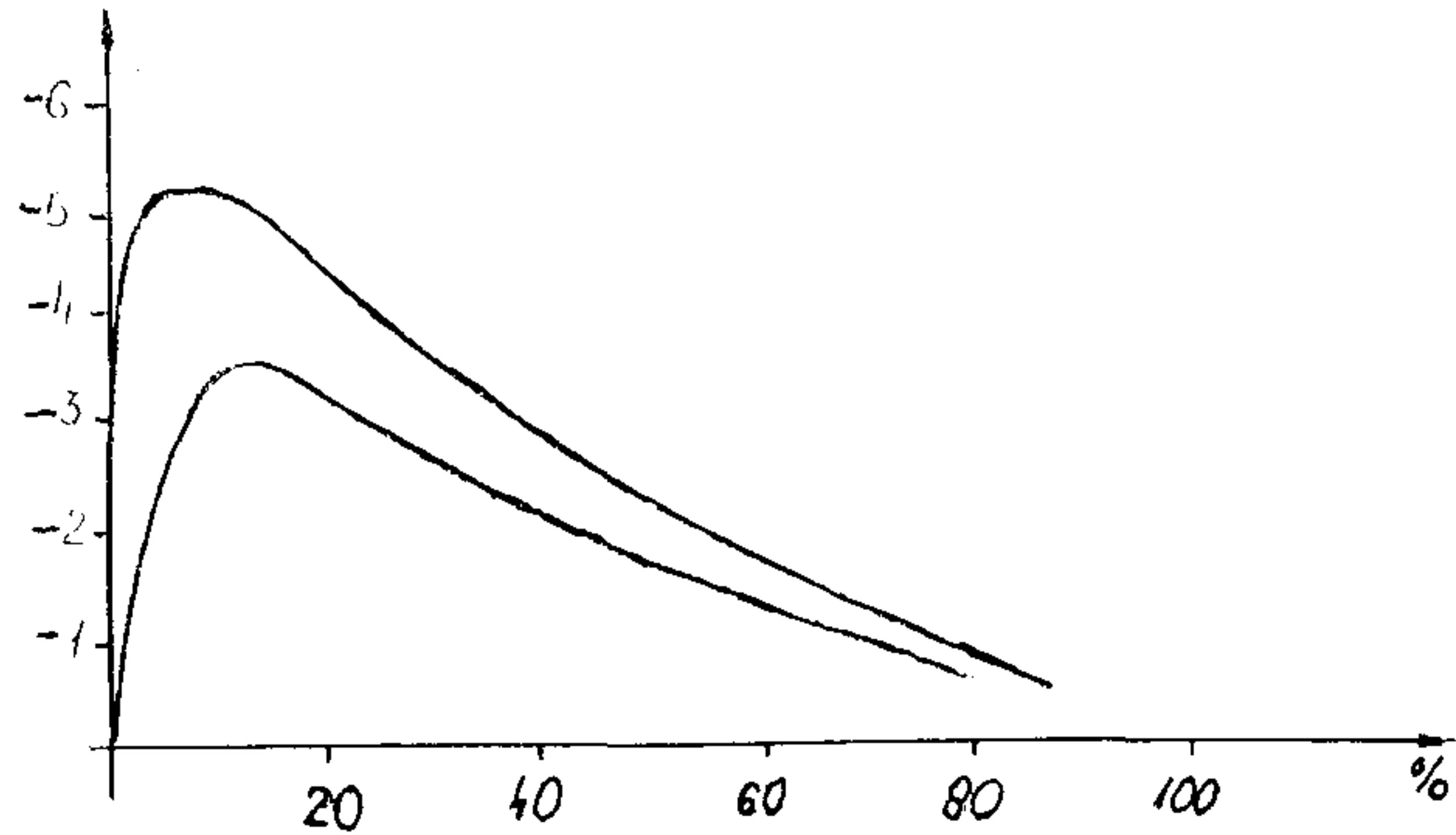


6. ábra

a—A Treffiz-féle grafikus ívszerkesztés hengerből. b—Ív alakú szárnymetszet formálása reflexgörbével.

Amikor az ejtőernyő tengelye párhuzamos volt az áramlás irányával, akkor az áramlás egyenletesen oszlott meg a szélek között. Az ejtőernyő szélkéményén keresztül folyó áramlás egyesült azokkal a kis örvényekkel, melyeket a gyorsan mozgó külső áramlás választott le a kupola külsejéről.

Amikor az ejtőernyő tengelye és az áramvonalak iránya közötti szög növekedett, akkor az ejtőernyő alatt lévő egész folyadék tömeg elkezdett mozogni, némely áramvonal a belépőéltől a szélkéményen át haladt, a külső él körüli áramlás sokkal jobban eltérült, mint ezt megelőzően. A külső élen való áramlás leválása csökkent. Az áramlás szögének növelésével kialakult egy kritikus pont, amikor örvény képződött a kupola belsejében. Itt a helyi nyomás hirtelen lecsökkent és ezt a külső felületen lévő áramlás széttartása is kísérte. Amikor viszont az állásszög lecsökkent, az örvény széteszlott és a külső felületen lévő áramlás is visszaalakult.



7. ábra

A nyomásegütthető változása a zsinórhossz-paraméter függvényében.

Ha a modell flexibilis lett volna, akkor a nyomásváltozást a kupolaszél beszívódása okozta volna. Ezt a gyakorlatban is meg lehet figyelni a szabadon merülő ejtőernyőknél.

A fent leírt vízcsatornás mérések – valószínűleg legfontosabb – megfigyelése az, hogy amikor az ejtőernyő egy siklopályát követ, akkor a felülete hasonló módon viselkedik, mint egy szárnymetszet belső felülete.

A viselkedés megbecslése

Bármilyen ejtőernyő viselkedésére kidolgozott elmélet képletének egyszerűnek kell lenni, mert a kupola háromdimenziós és ennél fogva komplex. A probléma megközelítése csak úgy érhető el, ha formára engedelményeket teszünk – de csak akkor, ha a probléma iniciális megközelítése jóságig, vagy alkalmassági bizonyítást nyert.

A vízcsatornás áramlási kép alapján ésszerű feltételezni, hogy az ejtőernyőkupola egy keresztmetszete körívvel helyettesíthető, illetve megjeleníthető. Az áramlásnál így már feltételezhető, hogy körkörös henger körüli áramlásból származtatható le úgy, hogy a henger tengelyét az Y tengely mentén mozgatjuk (6.a. ábra)

Ez a legegyszerűbb áramlási szárnykeresztmetszet, amit Jouskowski-transzformációból fejlesztettek ki, s noha a kilépőél menti örvénylés nem lesz jellemző, a Treffiz által kifejlesztett grafikus módszer a metszeten jó nyomásbecslési eredményt adhat.

A számítás kiterjesztése, hogy az egész ejtőernyőre alkalmazható legyen, olyan keresztmetszet kiválasztását teszi szükségessé, amely közeláll a körív-formához. Ez azt jelenti, hogy a nyomás első közelítésre a tengelymenti keresztmetszeten oszlik meg. A 7. ábra azt a nyomáseloszlást mutatja be, amit egy ívhez tartozó szelő képvisel 4,87 m átmérőjű és ember szállítására alkalmas ejtőernyőnél. A szelő 3,05 m hosszú, az íveltsége 20 %-os, a levegő sebessége pedig 6,1 m/s.

A teljes emelés ezen a keresztmetszeten 55,8 kg volt, ami jól összehasonlítható az ilyen ejtőernyőre repülés közben becsült 63 kg értékkel.

Stabilitás

A nyomásközéppontnak az előremozdulása azt jelenti, hogy oszcilláló mozgás van jelen, s ha egy

tényleges ejtőernyő elkészítése a cél, akkor ez a mozgás akadályozandó. Jól ismert tény, hogy ha egy szárnymetszethez u.n. reflex görbét alkalmazunk, melynél az inflexió a kilépőélhez képest 12 %-ra van, akkor a nyomásközéppont stacionárius marad az állásszög bizonyos tartományában. Az ilyen reflexgörbe ejtőernyőhöz való alkalmazása módosítja az ejtőernyő alakját olyanra, amit úgy ismerünk, mint aerocinical ejtőernyőt (6.b.ábra).

További kutatások

Noha az ejtőernyőkhöz a tervezésnél a leírt és tárgyalt elveket alkalmazzák – és ezeknek az ejtőernyőknek a tényleges tulajdonságai bizonyítást nyertek -- további vizsgálatokkal kell meghatározni a következők hatását:

- a) görbületváltozások a nyomásmaximum mozgásának és mértékének következtében,
- b) az erősítőszalagok benyomódása a kupolába a határréteg mélységében,
- c) az ejtőernyőanyag légáteresztésének hatása az áramlás leválására.

Továbbá vizsgálni kell a szélkéményméret, a zsinórzat hosszának, a belépőélmerevségnek a hatását, amit az ejtőernyőknél figyelembe vesznek.

A gyakorlati kutatások és matematikai analízisek jól igazolhatnák a különböző jelenségeket azért, hogy módszert adjanak:

- kis sebességű mozgásnál uralkodó kupolanyomás-görbék meghatározására,
- a kétdimenziós áramlásvizsgálatok háromdimenziós modelljéhez,
- a felfüggesztett teher ellenállása miatt bekövetkező siklózögváltozás hatásának vizsgálatához, stb.

Fordította: Szuszékos János

R.Hume, G.Stevens: A LÉLEGZÉS ÉS A VELE TÁRSULÓ MÁS JELENSÉGEK MEGFIGYELÉSE NÉMELY KATONAI EJTŐERNYŐTÍPUSNÁL, MERÜLÉS KÖZBEN

(Ejtőernyők és kapcsolódó technológiák kétnapos szimpóziuma 1971. szeptember 15–16, Anglia)

Bevezetés

Amikor a PX-1 típusú ejtőernyőt értékelték, ezt annak érdekében tették, hogy az X típusú ejtőernyők helyett (Szerk. megj.: Az X típusú ejtőernyőről az Ejtőernyős Tájékoztató 1978. évi 6. számában közöltünk cikket – könyvrészletből.) a katonai ejtőernyős alakulatoknál bevezessék. E közben jelentések érkeztek az ugróktól, hogy az új ejtőernyő stabilabbnak tűnik, mint a régi, azonban hajlamos nagyobb „lélegzésre”, amiről az ugrók azt állították, érzékelhetően hat a merülősebségre és ezért kérték, tegyenek valamit e lélegzés ellen. Ez a jelenség azonban szabálytalan megjelenésű volt, nem volt minden ejtőernyőnél megfigyelhető, továbbá nem volt jellemző tartósan, vagy a teljes merülés során.

A Királyi Légierő (angol) farnborough-i telephelyének egyik osztályát felkérték, vizsgálja meg a légzés-merülősebség összefüggéseket. Az első lépés az volt, hogy meg kellett határozni, milyen pontossággal lehet egy mozgó test helyzetét definiálni, mi módon lehet megállapítani a merülősebség ingadozását.

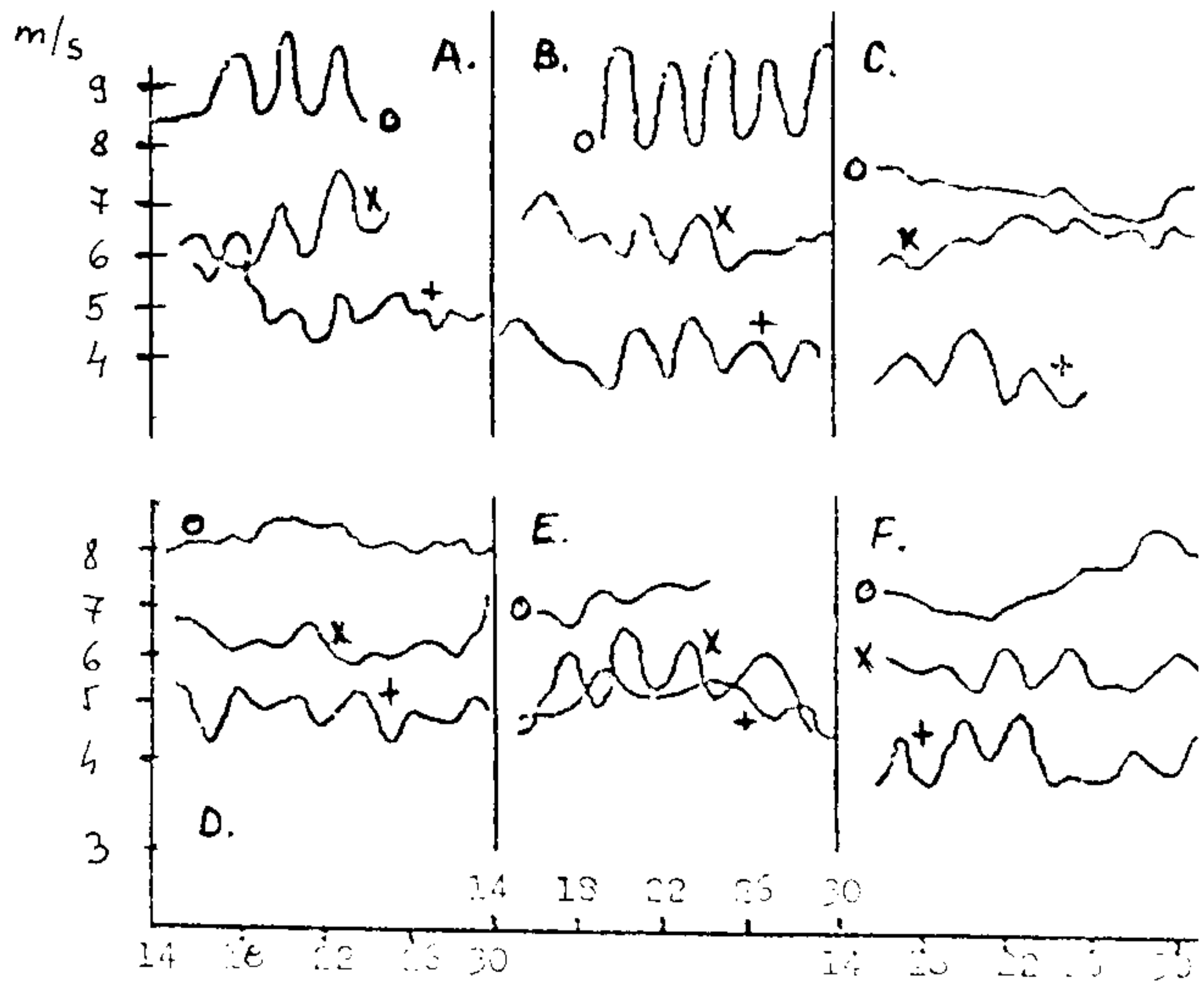
Ennek során megállapítást nyert, hogy 2–3 másodperces nagyságrendig lehet meghatározni a merülősebség változást, ezért kísérleti ledobásokat hajtottak végre úgy, hogy a hevederek csatlakozási pontjának sebességét megmérték. A kísérletek során a mérésekkel szinkronban pontos idő szerint működő filmfelvevőt is alkalmaztak. Ez a jelentés egy kísérletsorozat eredményeivel foglalkozik, amit 1966-ban hajtottak végre. Utóbb még két újabb kiegészítő kísérletsorozat került végrehajtásra.

A vizsgálat köre

- a) AZ ELŐKÉSZÍTŐ TANULMÁNY, melynek során kisebb ejtőernyős próbák folytak a kettős funkció teljesítésére.
- a.1) Próbaméréseket végeztek annak érdekében, hogy tanulmányozhassák a rendszeresített katonai ejtőernyők teljesítményét és viselkedését különböző hasznos terheléseknél: 49,9, 90,7 és 149,7 kg-nál.
- a.2) Próbaméréseket hajtottak végre a légzés-lengés megfigyelésére, ha ilyen előfordul ereszkedés közben. Az ebben a mérésben részt vett ejtőernyőtípusok a következők voltak:
- X típus (128). Ez háború utáni 8,53 m átmérőjű, laposkupolájú csapat ejtőernyő, a 60-as években kivonásra került,
 - X típusú, hálós belépőélű ejtőernyő. Ez a kupola lényegében egy módosított X típus. A módosítás lényege, hogy a kupola belépőéléhez egy háló hosszabbítás került. Ezzel növelni lehetett a belobbanási sebességet és csökkenteni a szálátcsapódások számát.
 - PX. 1. (132). Az X típus helyébe került a PX. 1. Ez 9,8 m átmérőjű lapos kupola, kétféle légáteresztésű anyagból a belobbanási tulajdonság javítása végett.
 - PX. 1. háló-szoknyával – hálós belépőéllel.
 - GQ típusú 6,7 m átmérőjű formázott ejtőernyő. Ez az ejtőernyő a PX. 1-el együtt jelent meg az X típus leváltására.
 - GQ típusú, 6,7 m átmérőjű, résejt ejtőernyő. Ennél a kupolánál két egymással szembeni kupolaszelet alsó részén volt rés.
- b) A PRÓBÁK SORÁN RÖGZÍTETT ADATOK. A próbákat filmfelvevőkkel és filmfelvevő teodolitokkal kísérték figyelemmel 15 másodpercen keresztül az ereszkedés nyugodt fázisa alatt. A filmfelvételeket időalapokkal együtt készítették, ez lehetővé tette a pontos értékelést. A teher megfigyelésének kinoteodolitos lokalizálására egy olyan eljárás lett kidolgozva, melynek során a merülési sebesség változását a teher pályák alapján lehetett megfelelő pontossággal megállapítani.
- c) TOVÁBBI MUNKA. A kísérletek elemzése során nyilvánvalóvá vált, bizonyos jelenségek további és mélyebb tanulmányozást igényelnek. Ezek pedig a következők:
- c.1) A hevedervégek feszültsége.
Rendelkezésre álltak megfelelő regisztráló berendezések arra a célra, hogy rögzíteni lehessen ereszkedés közben a hevedervégek feszültségét, ezt telemetrikus úton a földi állomásra juttatták el. A terhelést feszültségmérőkkel mérték, melyek a hevederekbe voltak belevarrva. Mindezeket a méréseket még nagysebességű filmfelvevőkkel is regisztrálták.
- c.2) Az ejtőernyő lengése.
Kidolgozásra került egy technika az ejtőernyő lengésének mérésére. A lengést lényegében az ejtőernyőegyüttes két különböző pontjának röppálya elemzéséből állapították meg.

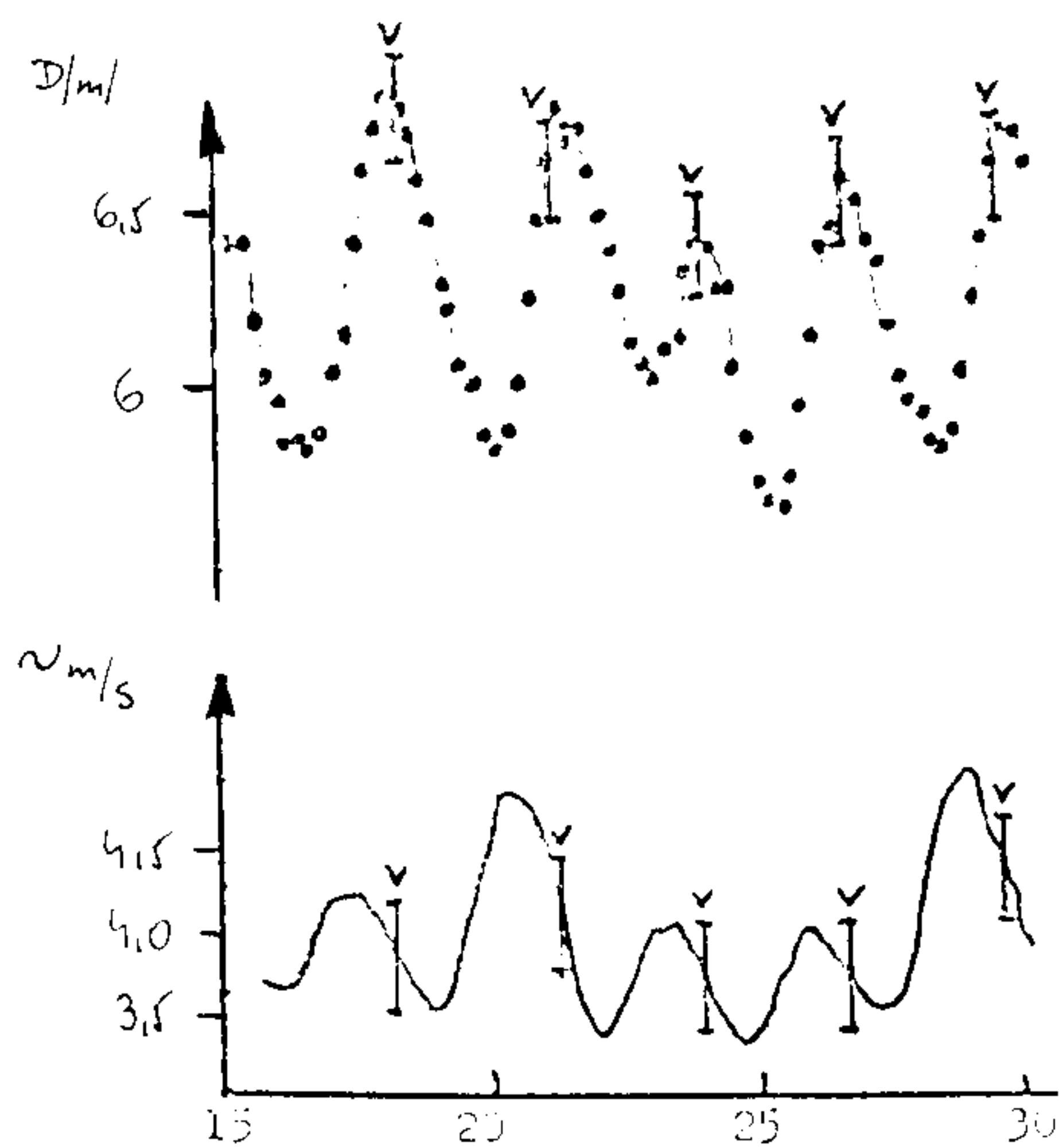
Eredmények

- a) A VIZSGÁLT EJTŐERNYŐRENDSZEREK ÁLTALÁNOS ÖSSZEHASONLÍTÁSA. Az 1. ábrán látható mind a hat ejtőernyő esetében kapott merülési sebességváltozás. Ez egy könnyű összehasonlítást tesz lehetővé az ejtőernyőknél három kiválasztott terheléssel. Mindegyik ejtőernyő mutatott hajlamot a periodicitásra, noha ez nem volt nyilvánvaló minden egyes ejtőernyődobásnál. A legerősebb tendenciát az X típusú és a hálós X típusú ejtőernyő képviselte.



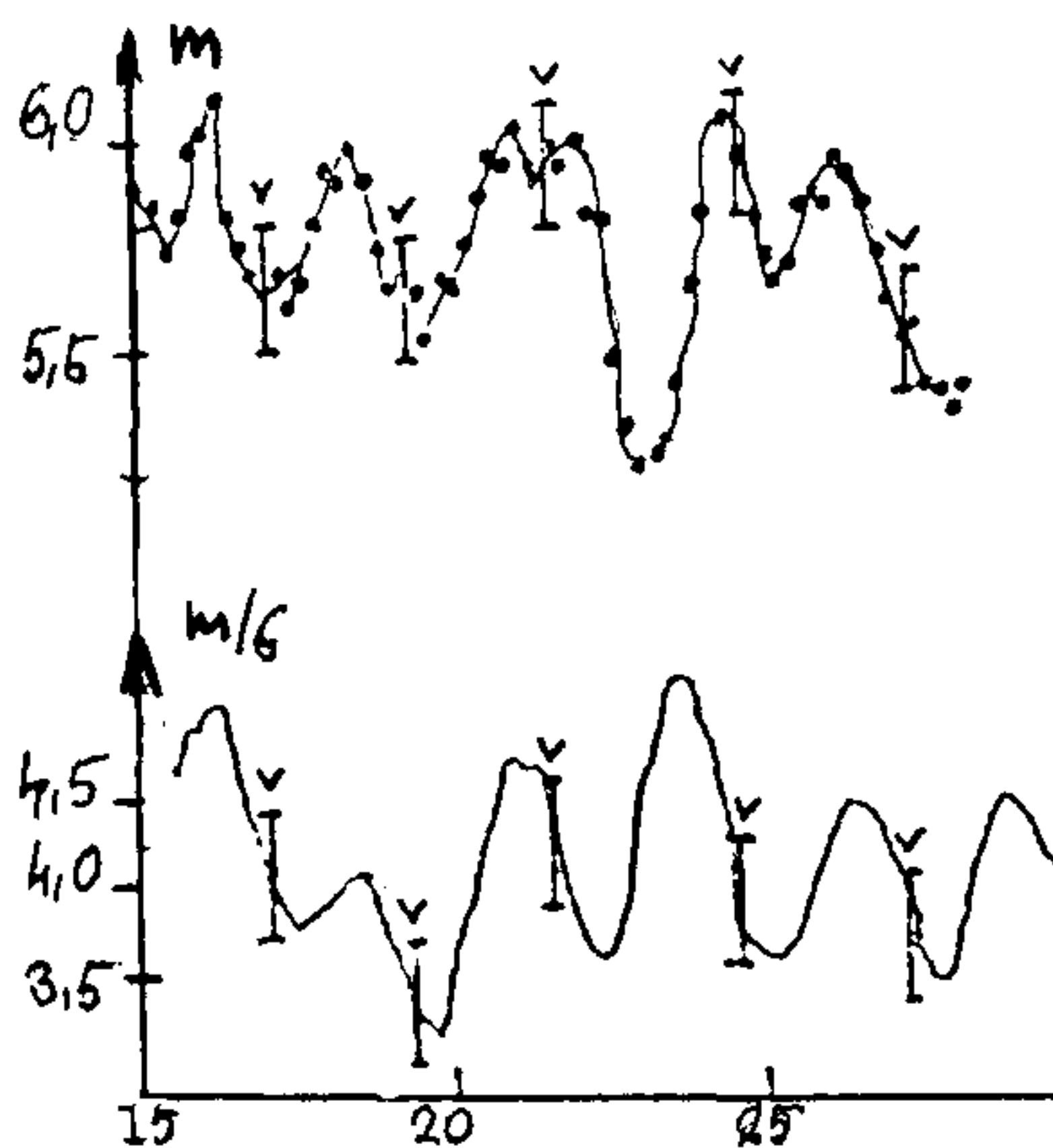
1. ábra

Hat ejtőernyőfajta tényleges merülősebességének mérése különböző hasznos terheléseknél. A—X-típus, B—X típus hálós belépőélel, C—PX-1 típus, D—PX-1 típus hálós belépőélel, E—6,7 m átmérőjű GQ formázott kupola, F—6,7 m átmérőjű GQ típus réselve. Terhelések: o-149,7 kg, x-90,7 kg, +49,9 kg.



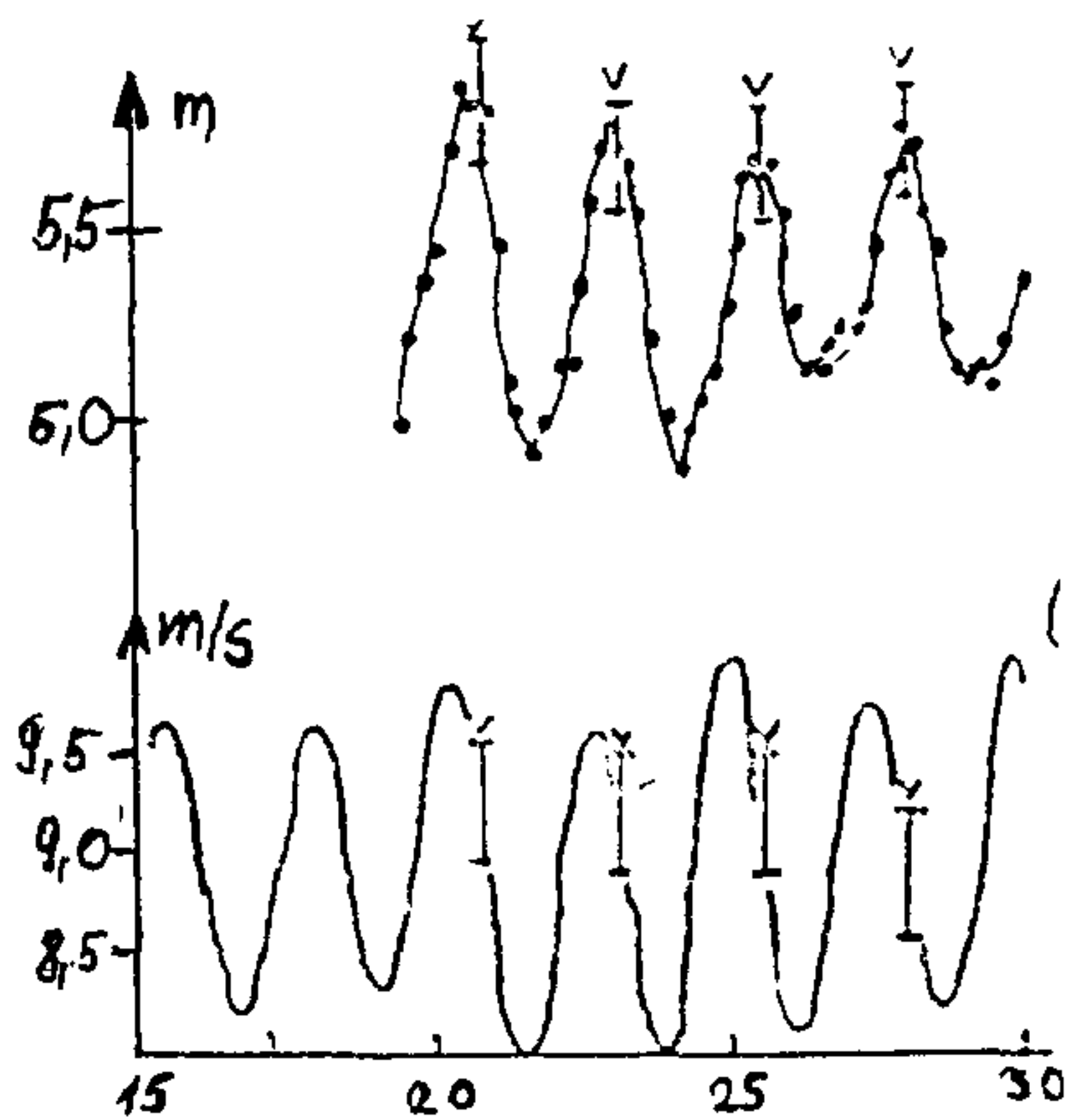
2. ábra

Kupolaátmérő és merülősebesség változása PX-1 típusnál, 49,9 kg hasznos terhelésnél. v-vel jelölt helyzetekben az ejtőernyő függőleges volt.



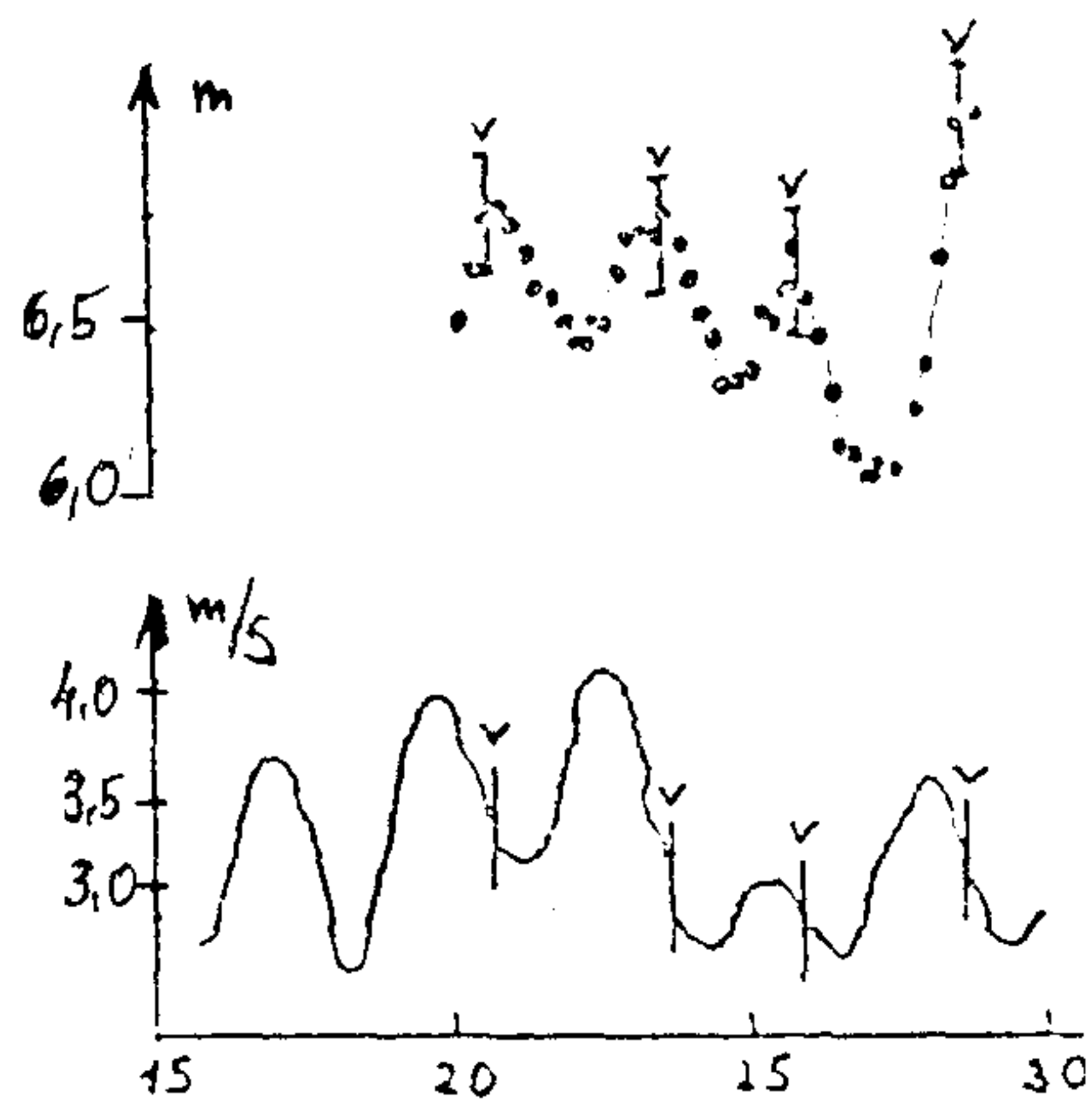
3. ábra

Kupolaátmérő és merülősebesség változása az X-típusú, hálózoknyás ejtőernyőnél 49,9 kg hasznos terhelésnél.



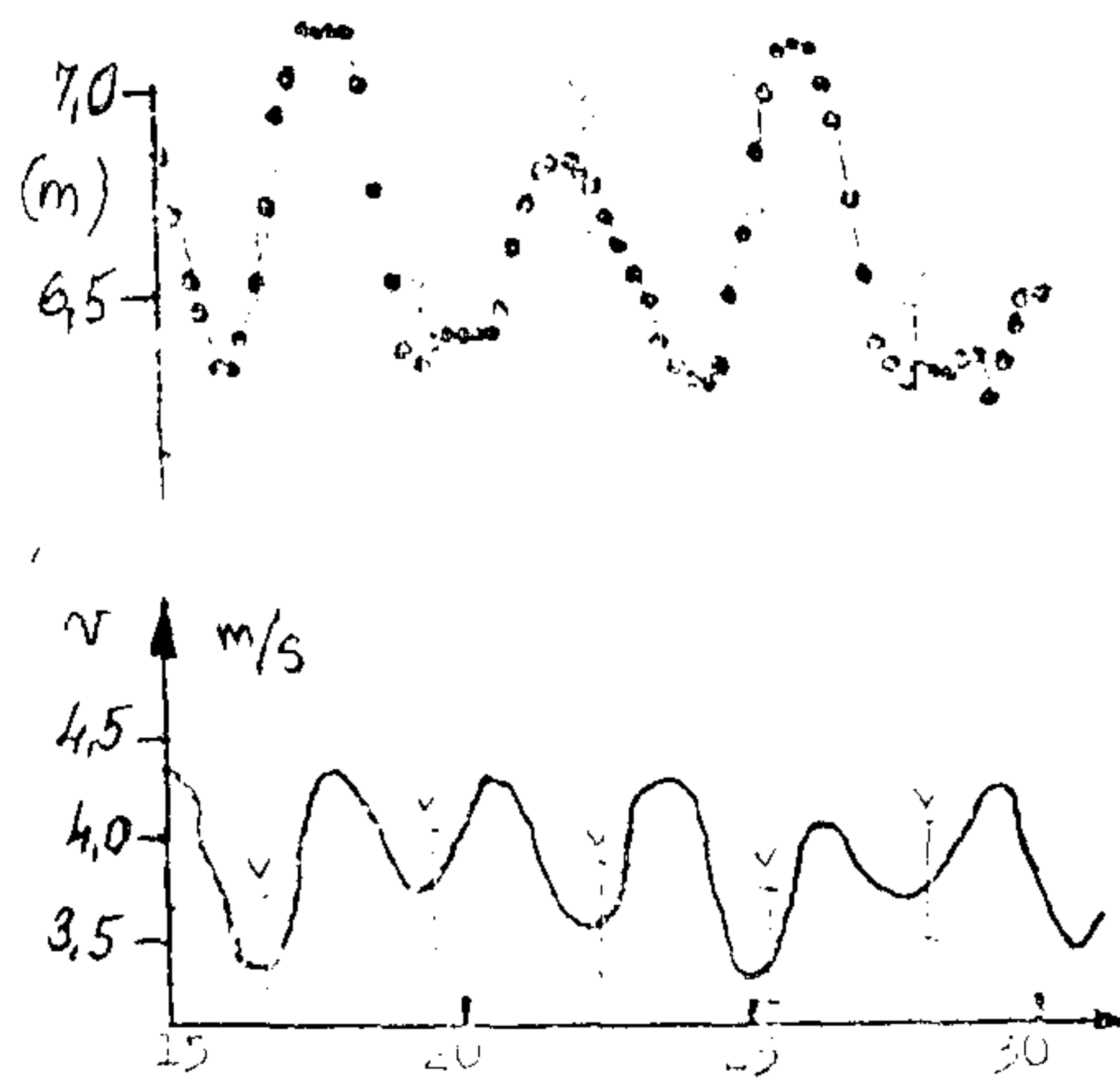
4. ábra

Kupolaátmérő és merülősebesség változása az X-típusú hálózoknyás ejtőernyőnél. 149,7 kg-os hasznos terhelésnél.



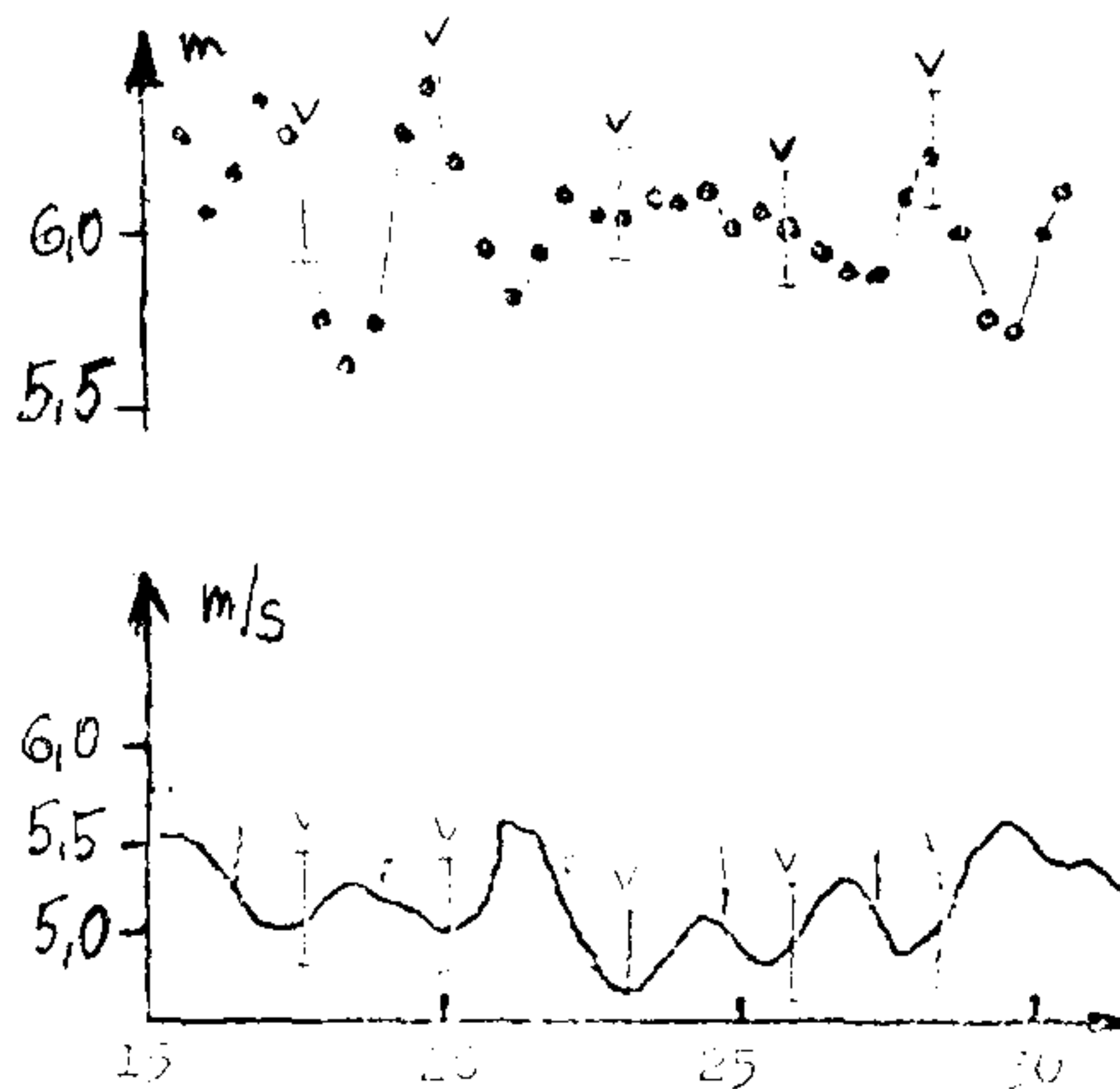
5. ábra

Kupolaátmérő és merülősebesség változása GQ típusú rézelt ejtőernyőnél 49,9 kg hasznos terhelésnél.



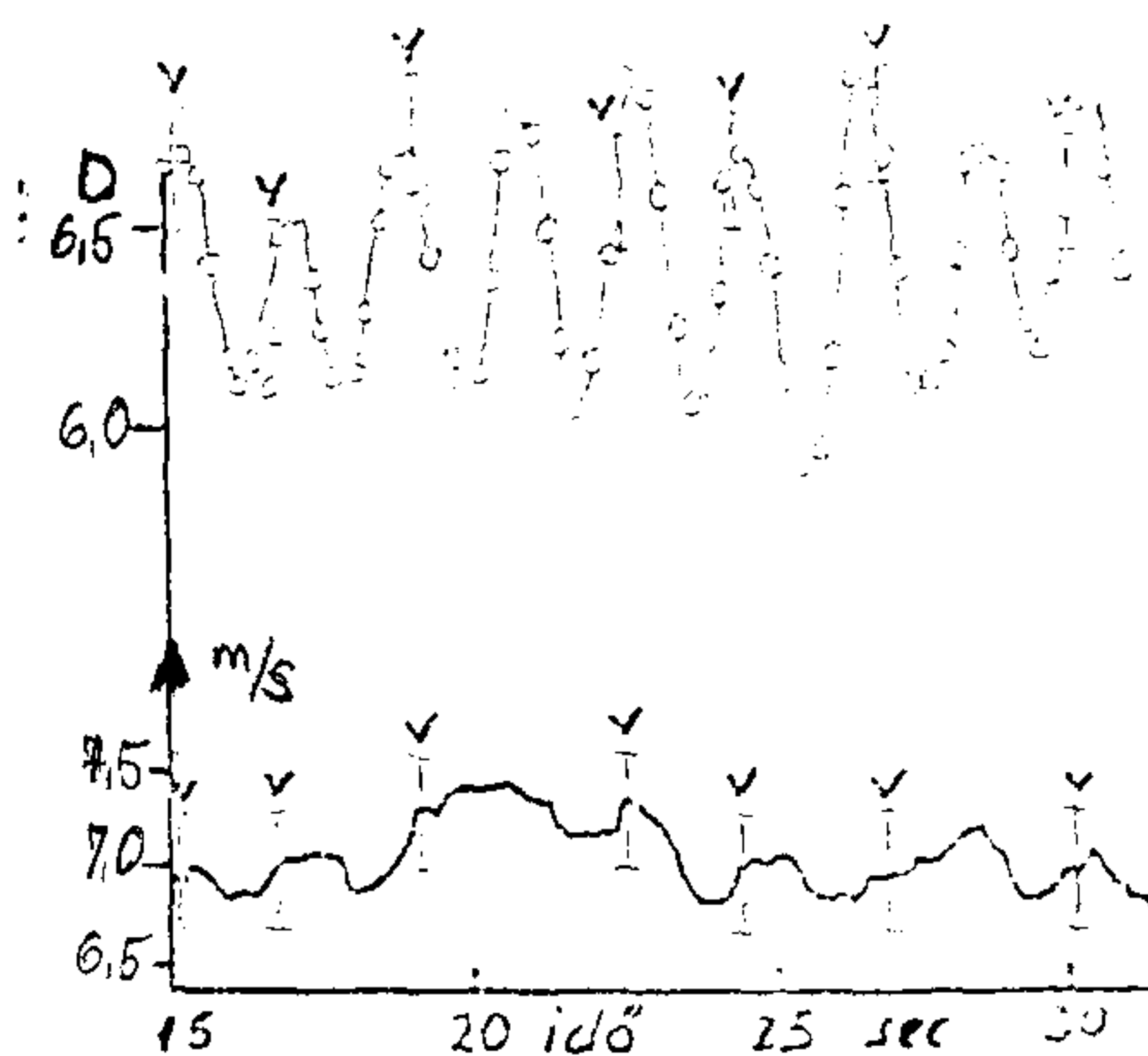
6. ábra

Kupolaátmérő és merülősebesség változása PX-1 típusú hálós belépőélű ejtőernyőnél 49,9 kg hasznos terhelésnél.



7. ábra

Kupolaátmérő és merülősebesség változása PX-1 típusú hálós belépőélű ejtőernyőnél 90,7 kg hasznos terhelésnél.



8. ábra

Kupolaátmérő és merülősebesség változása PX-1 típusú hálós belépőélű ejtőernyőnél 136,1 kg hasznos terhelésnél.

Ugyanakkor a PX-1-es ejtőernyő hálójával a belépőélen, vagy anélkül és a GQ ejtőernyő esetében is nyilvánvaló volt a periodicitás, de csökkentett intenzitással. Azonban az ejtőernyők, melyek periodikus tulajdonságokat mutattak lengtek is és értékelésünk szerint a megfigyelt eredmények részben a lengő mozgástól függtek. A függőleges sebesség változásának nagyságrendje az esetek többségében 0,3–0,6 m/s volt, de legrosszabb esetben – az X típusú ejtőernyőnél – 1 m/s értékű. A fluktuáció amplitudója kisebb terheléseknél nagyobbak tűnt. Azonban a merülési sebesség nagy szóródása (1,5 m/s) a ledobások alkalmával sokkal nagyobb jelentőségű. Ez a szóródás a vélemények szerint a meteorológia viszonyoktól (turbulenciáktól) függ és némileg jelzi az ilyenfajta vizsgálatok korlátait is.

Az a kísérletsorozat, amely a hálózoknyával ellátott PX-1 típusú ejtőernyő ledobásából állt, a legkisebb érzékenységet mutatta az ilyen turbulenciák iránt. A bizonytalan meteorológiai körülmények miatt a merülési sebességek átlagos értékei nem lettek úgy elfogadva, mint a vizsgálat sorozat reprezentáns eredményei.

b) A LÉLEGZŐ LENGÉS ÉS A MERÜLŐSEBESSÉG VÁLTOZÁSA KÖZÖTTI KAPCSOLAT

b.1) Kupolaátmérő változás

Az ejtőernyők belépőélelénél a kupolaátmérők bizonyos időközökben mérve voltak és nyolc kiválasztott süllyedés folyamán bizonyos (erős) periodikus tendenciákat mutattak az ilyen mérések eredményei.

A kupolaátmérő változásokat szinkronizáltan vették fel a diagramba a merülési sebesség változásokkal együtt. Ezek összehasonlítása a 2–9. ábrán látható a következő esetekre:

- PX-1 49,9 kg teherrel,
- X típus, hálójával 49,9 kg teherrel,
- X típus, hálójával 149,7 kg teherrel,
- GQ típus résekkel, 49,9 kg teherrel,
- PX-1 hálójával 49,9 kg teherrel,
- PX-1 hálójával 90,7 kg teherrel,
- PX-1 hálójával 136,1 kg teherrel,
- PX-1 hálójával 149,7 kg teherrel.

A kupolaátmérő mozgófilm felvételről lett megmérve az ismert zsinórhosszhoz viszonyítva. Míg a kupola kerülete feltehetően nem marad teljesen körkörös az ereszkedés során, addig a mért átmérőváltozások követték a kupola belépőméret változásokat. Ezt a belépő felületváltozást két módszerrel is ellenőrizték, illetve mérték. Filmfelvételen a kupola belépőnyílás gyakran látható volt és megfigyelhető volt mindkét tengely arányos növekedése. A légzéseket, továbbá a kupola-mélység változásai is jelezték, ezek ugyanolyan frekvenciával rendelkeztek, de ellenkező fázisban az átmérőváltozással.

b.2) Lélegzési és merülősebességváltozás regisztrálása

Némely ejtőernyő süllyedése során, nevezetesen a 2, 4 és 5. ábránál, ahol a merülési sebesség változása magasértékű volt, ott a légzési és merülési sebességváltozási frekvencia társult. Ez a társulás nemcsak frekvenciában volt meg, hanem fázisban is. A legnagyobb merülési sebesség kb. 90°-kal később látszott megjelenni, mint a kupola minimális belépő átmérője. Ez a helyzet várható volt, amennyiben elfogadjuk, hogy a kupola belépőnyílás változások gerjesztik a megfelelő ellenállási tényező (felület) változást.

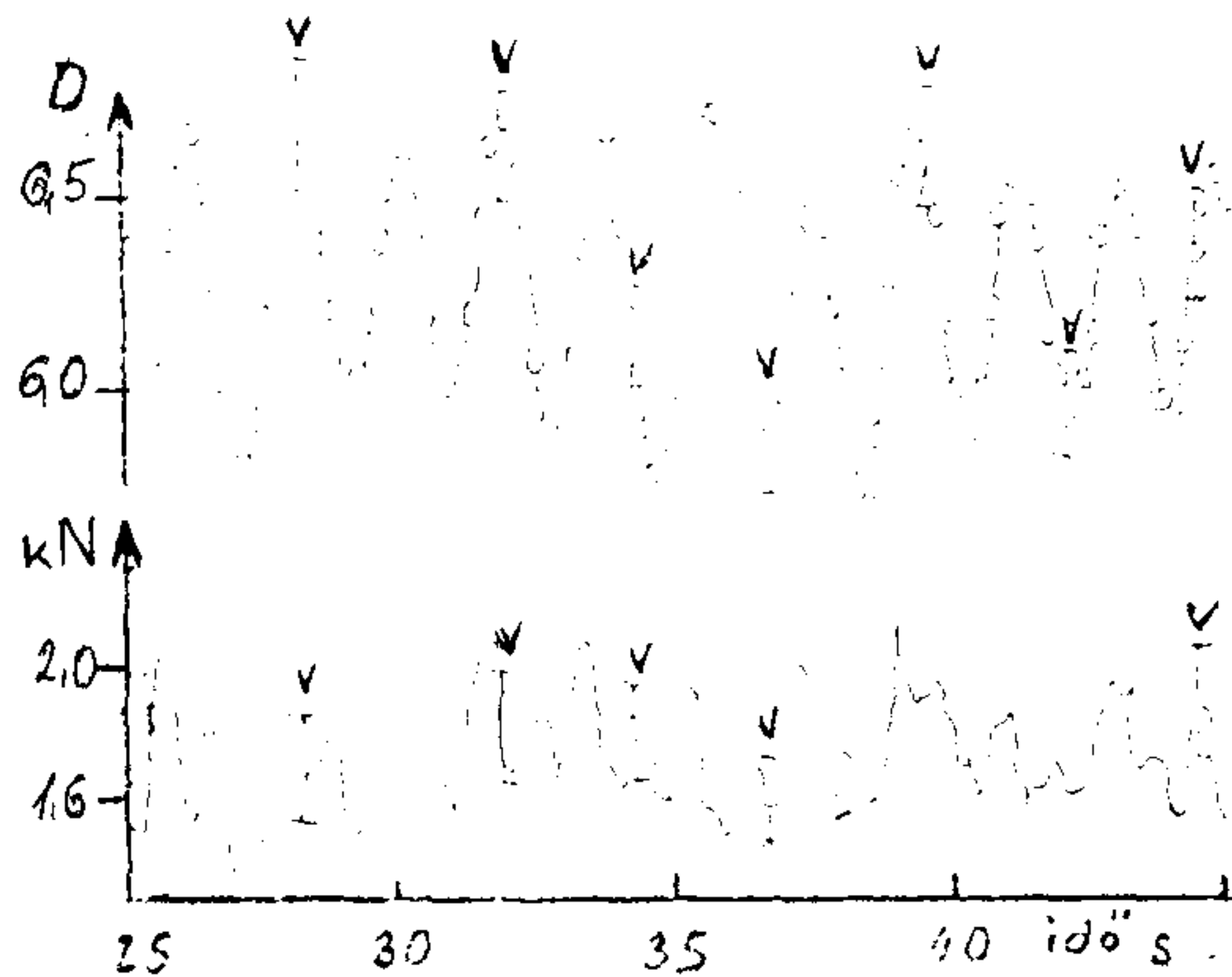
b.3) Lengő mozgás

Az ejtőernyő ingaszerű lengő mozgását nagyon nehéz volt filmfelvételekből mérni, csak olyan helyzetekben, amikor az ejtőernyő hossz tengelye nyilvánvalóan függőleges volt, lehetett regisztrálni.

rálni (2–9. ábrák). A nyilvánvaló függőleges helyzetek is hibát adhattak, mert az ingamozgások (lengések) kúp körüli lengéshez tendáltak.

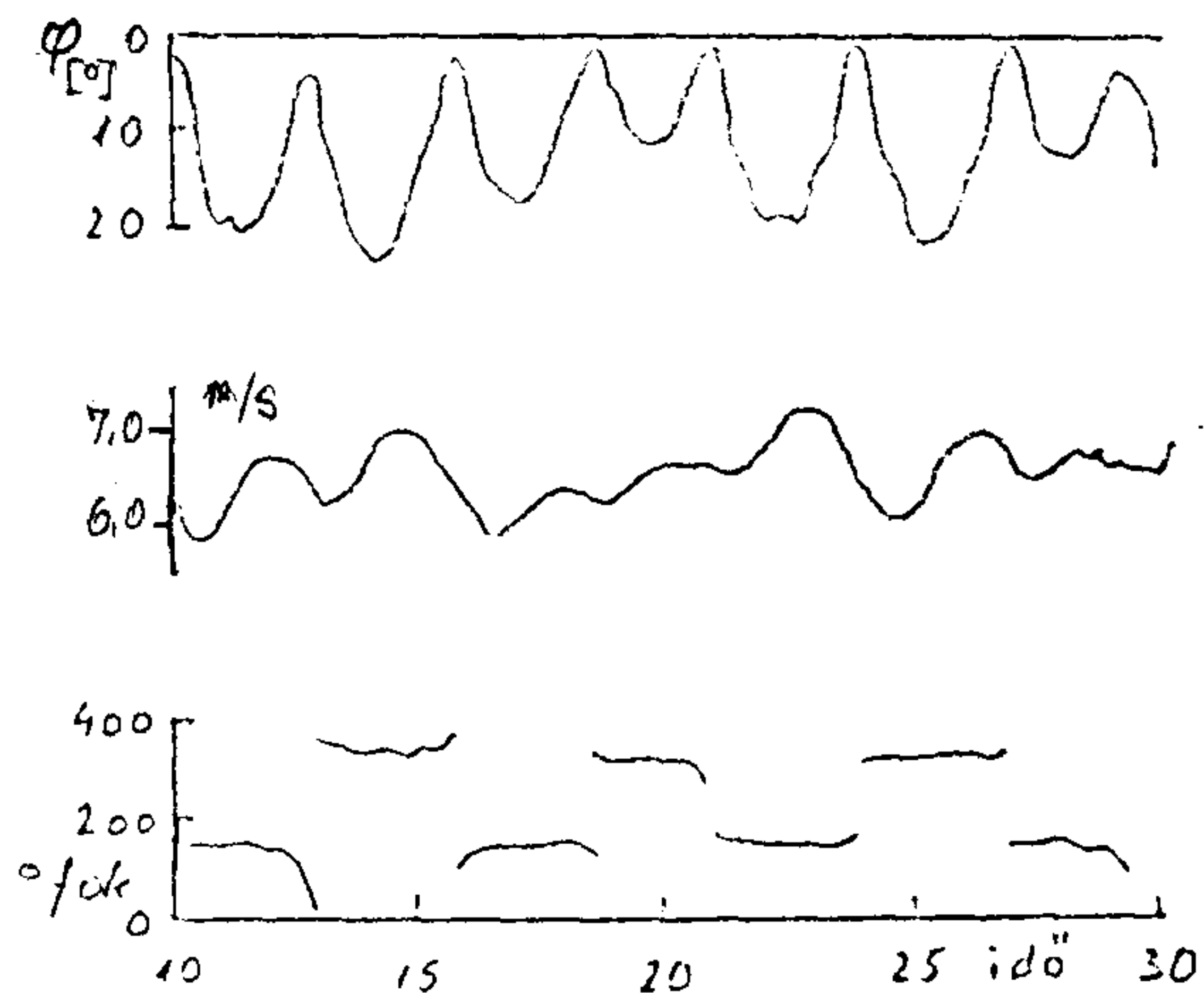
Az ingamozgást már több szerző is tárgyalta, így Jones 1923-ban felfedezte az egyszerű lengés és a kupola lengés periódusa közötti azonosságot.

Ebben a kísérletsorozatban is jól megegyezett az elméleti értékkel a lengésperiódus, az egyenértékű inga szárhossz a zsinórhosszal.



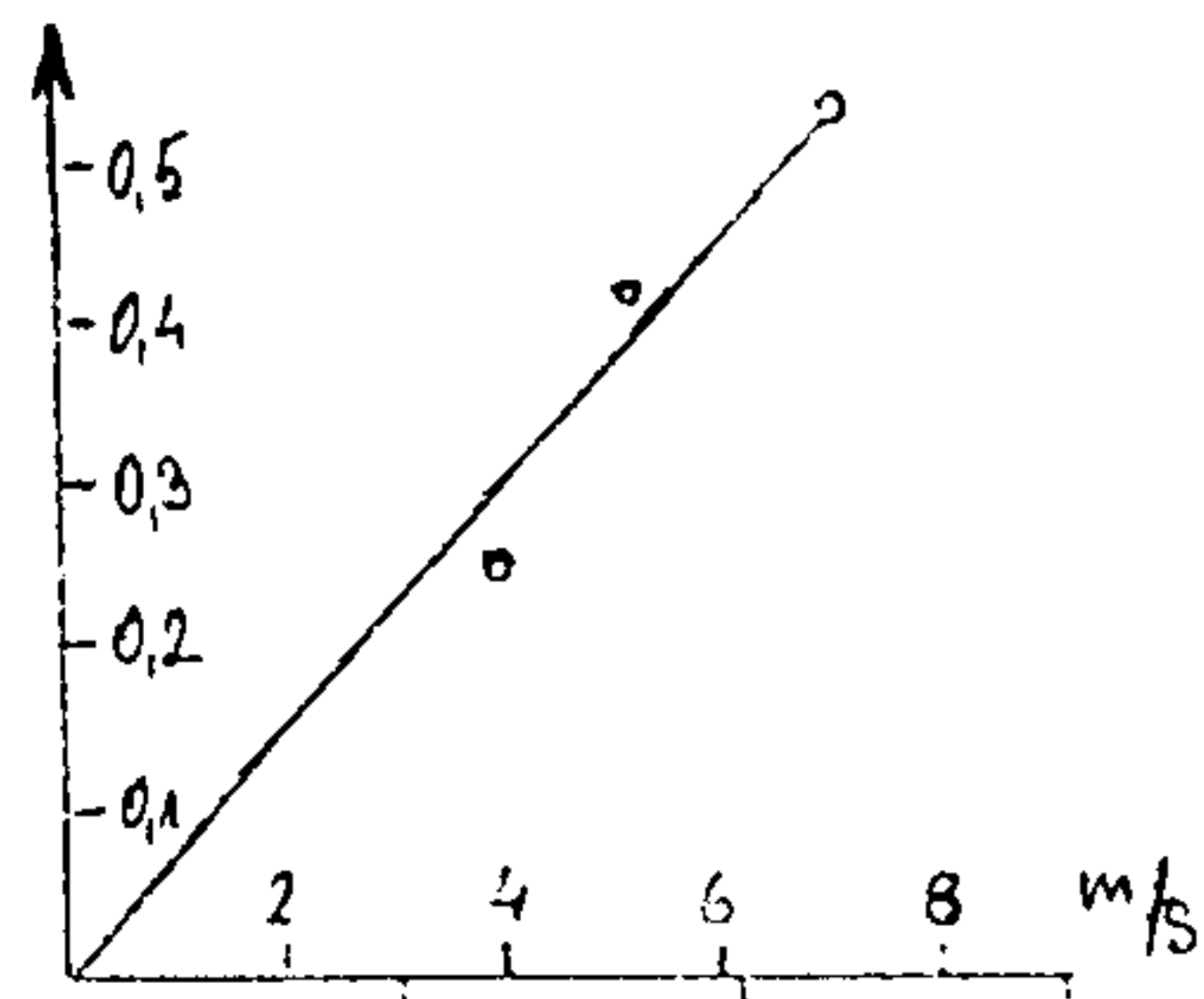
9. ábra

Kupolaátmérő és hevederre ható húzóerő változása PX-1 típusú ejtőernyőnél, 136,1 kg hasznos terhelésnél.



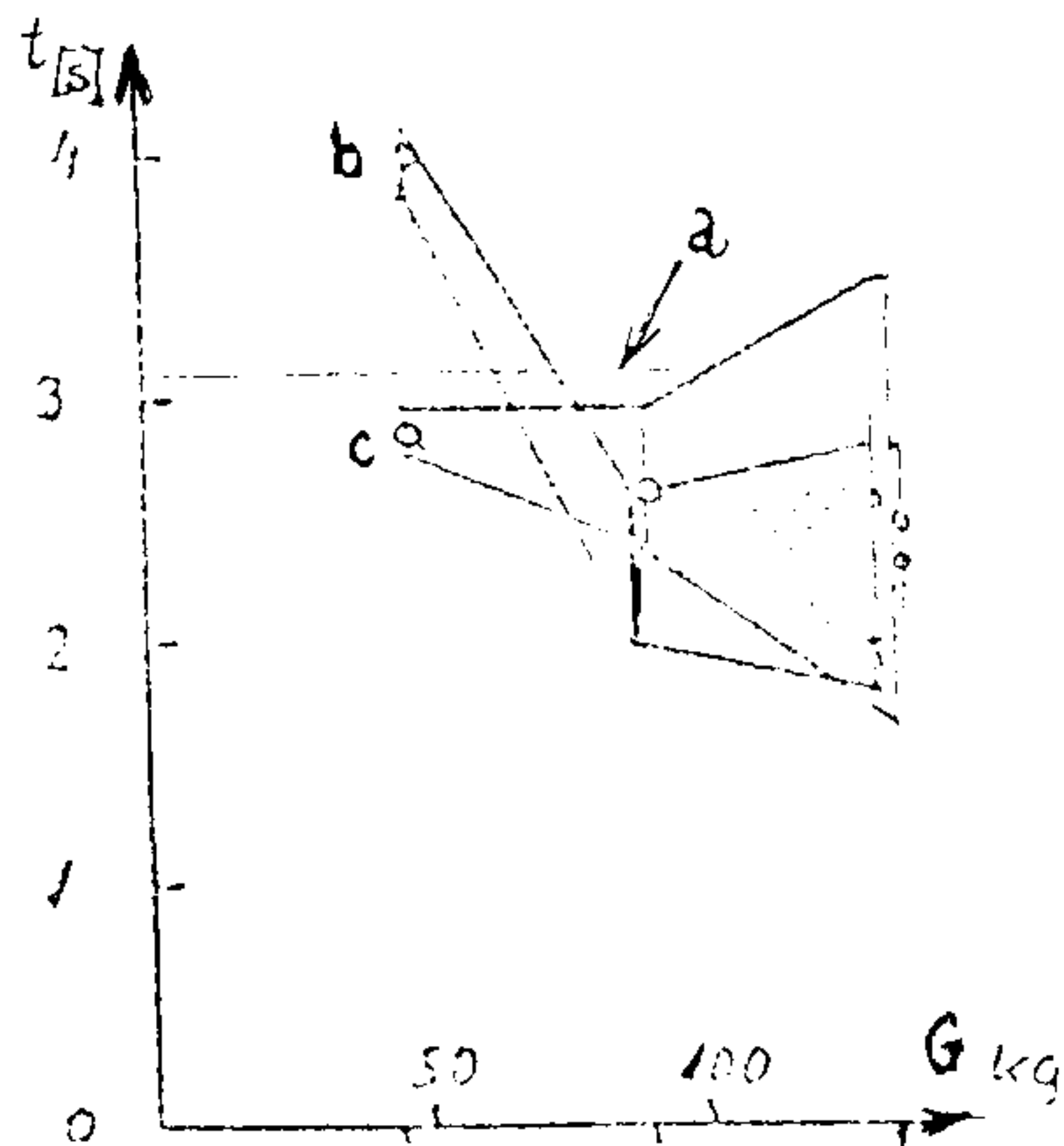
10. ábra

Ejtőernyő lengési szög és merülési sebesség 136,1 kg hasznos terhelésű PX-1 ejtőernyőnél.



11. ábra

Légzési frekvencia-merülősebesség összefüggés PX-1 hálózoknyás ejtőernyőnél.



12. ábra

Lengési és légzési frekvencia különböző hasznos terheléseknél PX-1 hálózoknyás ejtőernyőnél. a--a zsinór hosszának megfelelő inga lengési frekvenciája, b--lengési frekvencia, c--légzési frekvencia.

A merülési sebesség regisztrátumokon társul a függőleges kupolahelyzet a merülési sebességgel, az inga frekvenciája pontosan fele a merülési sebességváltozás frekvenciájának. Az egyszerű ingamozgás analógiáját továbbfejlesztve is felmerül az említett kapcsolat, továbbá az, hogy a fáziskapcsolat a merülési sebesség és az ingamozgás között éppen megfelel az ingától vártnak.

b.4) Egymással kapcsolatban nem álló lélegző és ingamozgások

A 7. és 8. ábránál az ingamozgás nem olyan erős, mint az előző esetekben. Következésképpen nagyon nehéz volt filmfelvételekből meghatározni a nyilvánvaló függőleges helyzeteket. A terhek a függőleges síkban lévő hodográfja sokkal jobb eszköze az ingamozgás fázisának jelzéséhez. Kézenfekvő a függőleges helyzeteket a hodográfból kiválasztani és így meghatározható a fáziskapcsolat az inga és a sebességváltozás között ugyanúgy, ahogyan korábban is megfigyelhető volt (7. ábra).

A légzési oszcilláció frekvenciája olyan volt, hogy különbözött a merülési sebességoszcillációtól, továbbá a légzési oszcilláció ugyanolyan nagyságrendű amplitudót tartott fenn, mint amelyet a 2, 4. és 5. ábrák mutatnak, miközben a merülési sebesség variációja kisebb volt.

Ezek a megfigyelések végülis arra a következtetésre vezettek, hogy a légzési oszcillációnak kevés közvetlen hatása van a merülési sebesség oszcillációra.

c) EGYÉB KISÉRLETI EREDMÉNYEK

A teherre ható légellenállást a hevederekbe beépített feszültségmérővel mértük. Az előbbi tárgyalások fényében azonban az eredmények meglehetősen meglepőek voltak. Volt olyan periódusváltozás a hevederek feszültségében, ami szoros kapcsolatban állt a kupola légzésével (10. ábra), azonban:

- c.1) Mivel az erőoszcilláció frekvenciája kétszer akkora volt, mint a légzés frekvenciája, ezért az kb. kétszer akkora, mint a sebességoszcilláció.
- c.2) Az inga félperiódusa eltért a légzési periódustól és ennél fogva a hevederek a légzéssel vannak kapcsolatban, nem az ingamozgással.
- c.3) Az erő amplitudója sokkal kisebb volt, mint amekkora ahhoz kell, hogy előállítsa a megfigyelt sebességfluktuációkat. A maximális és a minimális ejtőernyőátmérők megfelelték a minimális feszültségméréseknek.

d) AZ INGAMOZGÁS PONTOS MÉRÉSE

Ahhoz, hogy az ingamozgás oszcillációját össze lehessen hasonlítani a sebesség oszcillációjával, az ingamozgás mérésére pontos mérési módszer lett kidolgozva.

A kinoteodolit kikereste a mérendő ejtőernyőegyüttes két különböző pontjának mozgáspályáját, ezek mindenkor meghatározták az ejtőernyő tengelyének helyét.

A 11. ábrán lévő görbe pontok azt mutatják, hogy az ingamozgás és a merülési sebességváltozás frekvenciája közötti fáziskapcsolat az egész merülés során állandó maradt. Ez a fáziskapcsolat ugyanolyan volt, mint amelynek már az előzőekben is mutatkozott.

Továbbá a 11. ábra is azt mutatja, hogy igen jó korreláció létezik az ingamozgás amplitudója és a sebességváltozás amplitudója között. Ennél fogva nyilvánvaló, nem a légzés az, ami a merülési sebesség változását okozza.

A LÉGZÉS, MINT TRANZVERZÁLIS LENGÉS

- a) A légzési frekvencia és az átlagos merülési sebesség
Stimler 1953-ban azt írta, hogy a légzési frekvencia a szabad áramlási sebesség egy lineáris funk-

ciójának látszik. Megfigyelései olyan vizsgálatokból eredtek, amely szélcsatornában történt modelleken.

Hasonló viszony látszik fennállni a hálózoknyával ellátott PX-1 ejtőernyőnél is (12. és 13. ábra). Ez a megfigyelés némi fényt derít a lélegzés jelenségének jellemzőire.

Stevens azt sugalmazza, hogy a lélegzés nem más, mint egy bizonyos tranzverzális oszcillációja a zsinórzatnak. A mozgást ő úgy képzelte el, mint egyetlen zsinór, mely a kupolából indul és a terhen át visszafut a kupolába, ezért a nehéz kötélt tranzverzális frekvenciája a kötél feszültség négyzetgyökével arányos.

A zsinórzat feszültsége az ejtőernyőknél közel arányosan változik a merülési sebesség négyzetével. Ezért, ha valaki a nehéz zsinóros modell alapján érvel, akkor a tranzverzális típusú oszcilláció a kupolában várhatóan olyan frekvenciát mutat, amely arányos az ejtőernyő merülési sebességével.

Hasonló érv felhasználásával a hosszirányú lengés és az egyszerű tömegek egy zsinórra való felfüggesztése révén kialakítható oszcilláció elhanyagolható. A hosszirányú, egyszerű rugózó oszcilláció frekvenciája a következőképpen változik: dT/de , ahol a „ e ” a zsinór feszültsége. Mivel a kifejezés elég érzéketlen a feszültség magnitúdója tekintetében, ezért az oszcilláció frekvenciája majdnem állandónak vehető.

b) A lélegzési frekvencia és a kupola fékező hatása

A tranzverzális típusú oszcilláció további tárgyalására felhasználható a 10. ábra görbéje is. Már korábban megállapítást nyert, hogy az ejtőernyő tartóhevedere a lélegzési frekvencia kétszeresével fluktuál. Ez a megfigyelés egyezik a tranzverzális oszcillációval, de nem egyezik a hosszanti, vagy rugózó típusú mozgással.

ZÁRÓ MEGJEGYZÉSEK

A merülési sebességváltozás megfigyelt periodicitása elsődlegesen az ingaszerű mozgásból adódik, amelyben az egész ejtőernyőrendszer részt vesz.

A lélegzésnek csak kicsiny hatása van a kupola légellenállására. Ez a jelenség egy tranzverzális típusú oszcillációnak látszik, mely a kupolában és a zsinórzatban megy végbe. Némely példában jelentőséggel bír, milyen közel van egymáshoz a lélegző és ingamozgások frekvenciája. Ezeknél a merüléseknél a kialakult lélegzési oszcilláció pontosan kétszerese volt az ingamozgás frekvenciájának. Továbbá, mindegyik esetben azonos volt a lélegzés és a lengés közötti fázisviszony.

Következtethetjük, hogy noha az erők, melyek a lélegzést indukálják, még nincsenek teljesen definiálva, a lélegzés maga nem látszik elsődleges problémának az ilyen kupolákkal végrehajtott ejtőernyős ugrásoknál, inkább a stabilitási kérdést kell alaposabban szemügyre venni.

Fordította: Szuszékos János

Megjegyzés: A hazánkban elterjedten használt ZL-62 típusú mentőernyő kifejezetten hajlamos lélegzésre. Ez a lélegzés úgy is előállítható nyugodtan ereszkedő ejtőernyőnél, hogy az ugró ráüt az egyik tartóhevederre — ez a hatás hasonló a légköri turbulencia (szélnyírás, széllökés, termiklökés) hatásához. A lélegzéshajlam egyes esetekben felhasználásra kerül a merülősebesség csökkentésére — lehúzott heveder hirtelen feleresztése a föld felett 0,5–1,0 m magasan, ekkor belélegzik az ejtőernyő és jelentős mértékben lecsökken a földetérési sebesség.

A lélegzés jelensége a BE-8 kupolánál is létezik, jól látható ereszkedés közben és ilyen lélegzésből indul meg rendszertelenül a lengése is.

Igy az elméleti fejtegetés abban a kérdésben vitatható, ami a merülősebesség és a légzés összefüggését kizárja, inkább helyt kell adni a Bevezetőben hivatkozott problémafelvetésre az ejtőernyősök részéről.

Érdekes volna ebben a kérdésben a hazai tapasztalatok összegezése.

Szerkesztő

H.G. Heinrich, D.P. Saari: EJTŐERNYŐ NYITÁSI TERHELÉS SZÁMITÁSA KÍSÉRLETILEG MEGHATÁROZOTT FÜGGVÉNYEKKEL

(Journal of Aircraft 1978. február)

Jelek:

C_D	– légellenállási tényező
C_{D_S}	– légellenállási felszín
D	– átmérő (légellenállási)
d	– beáramlási átmérő
F	– erő
g	– nehézségi gyorsulás
L_s	– zsinórhossz
m	– tömeg
S	– terület (felület)
t	– idő
T	– dimenzió nélküli idő ($\frac{t}{t_f}$)
u	– kiáramlási sebesség (az anyag porozitása miatt)
u/v	– tényleges porozitás
V	– térfogat
v_x	– sebesség
v_{be}	– képzetes beáramlási sebesség
θ	– röppálya hajlásszög
W	– súly
ρ	– levegő sűrűsége

Indexek:

a	– látszólagos
f	– töltés
g	– gravitációs
i	– belefoglalt
be	– beáramlási
t	– terhelés
max	– $T=1,0$ -nál (ha D_p, S_p -vel, vagy V -vel szerepel)
o	– kezdeti
s	– rántás
T	– teljes (totális)

Bevezetés

A kísérletek, hogy az ejtőernyő nyílási folyamatát elemezzék, még 1927-ben kezdődtek. Azóta számos módszert javasoltak, melyek közül néhány elsődlegesen elemzési megfontolásokon alapult. Úgy tűnik azonban, hogy ezek a módszerek nem fejlődtek odáig, hogy az eredményeik szélcsatornás, vagy gyakorlati mérések eredményeivel összehasonlíthatók legyenek.

Egyes szerzők pontszerű tömegeből álló dinamikus modellt javasoltak, melyhez elasztikus tagok csatlakoznak és bevezettek egy radiális erő-tényezőt is, mely egy ismert ellenállási tényezőhöz kapcsolódott. Ezek a számítások jól egyeztek a szalagernyők nyílásánál mért eredményekkel.

Más szerző az ejtőernyő porozitást, mint fogalmat bevezetett az elemzésekbe és kidolgozta a belobbanás során fellépő beáramlási sebesség és az ejtőernyőkúpola kiterülésének modelljét. Ez a modell egy köralakú henger volt, a rádiuszának növekedési sebessége (a feltöltődés sebessége) a kontinuitási egyenlettel volt meghatározható. Eredményeként a teljes beáramlási sebesség és a rendszer sebességének aránya a növekvő rádiusszal és a kúpola porozitásával csökken.

Ezt az utóbbi modellt továbbfejlesztették olyan formában, hogy a geometriai modellt csonkakúp-nak vették, mely csonkakúp oldalai a zsinórokkal párhuzamosak. A csonkakúp teteje félgömb alakú lett, s bevezették a tényleges porozitás, valamint a virtuális tömeg számszerű értékeit. A számításnál feltételezésre került, hogy a levegő beáramlása a kupolába és a kupola légellenállási területe időben lineárisan változik. Ilyen formában már jól meg lehetett közelíteni a nem porózus anyagú ejtőernyőknél fel-lépő maximális nyílási erőt, azonban a mért és számított értékek erő-idő függvénye különbözött. Az a feltevés, hogy a levegő beáramlási sebessége és az ejtőernyő légellenállási felületének a változása az idő-vel lineáris, nyilvánvalóan önkényes és valószínűleg ez eredményezi az irreális elméleti lefutást.

Jelen tanulmányban az, hogy a tényleges ejtőernyővizsgálatok adataiból legyenek az idő-erő függ-vények előállítva. Alapvető feltételezés, hogy egy bizonyos ejtőernyőtípus nyílása minden esetben kö-zel azonos módon játszódik le, a tényleges mérettől és a vizsgálat körülményeitől függetlenül. További feltételezés, hogy a rendelkezésre álló adatokból előállíthatók jellemző függvények a beáramlás-idő és terület-idő kapcsolatokra.

A kupola belobbanását leíró egyenletek

Az ejtőernyő tényleges belobbanása csak akkor kezdődik, amikor a zsinórokra ható nyitóerő ki-fejlődött, azaz a kupola és a zsinórzat kihúzódása befejeződött, az ejtőernyő a rajta lévő teherrel azo-nos sebességgel repül.

Amikor a kupola megtelik levegővel és a zsinórok egy bizonyos szöget zárnak be a rendszer szí-metriatengelyével (középvonalával), akkor az ejtőernyőrendszer tömegközéppontja és a kupolába be-fogott levegőtömeg előre mozog a terheléshez képest.

Ezzel a hatással szemben hat a rugalmas zsinórok megnyúlása. Mindezeket a hatásokat az elem-zésnél figyelembe venni, túlságosan bonyolulttá tenné a rendszert, azonban a gyakorlati jelentősége nem jelentős. A legtöbb publikációban ezeket a hatásokat ugyancsak elhanyagolják, így a továbbiak-ban mi is feltételezzük, hogy a belobbanás közben az ejtőernyő és a teher azonos sebességgel halad.

A mozgás egyenletét így a következő formában írhatjuk:

$$\frac{d(m_T v)}{dt} = F_g - D_T \quad (1)$$

avagy más formában, ha D_p -vel jelöljük az ejtőernyő légellenállását:

$$\frac{d(m_t + m_p + m_i + m_a)}{dt} = (m_t + m_p) \cdot g \cdot \cos\theta - D_t - D_p$$

Bizonyításra került, hogy a mozgás ezen egyenlete jó egyezést ad a számolt és szélcsatorna mérési ered-ményei között. Szélcsatornás megfújáshoz az (1) egyenletet természetesen módosítani kellett a vízszin-tes erőhatásoknak megfelelően.

A szabad ledobások és a számítások összehasonlítása céljára az (1) egyenlet a következő formára hozható:

$$\frac{dv}{dt} = \left[(m_t + m_p) \cdot g \cdot \cos\theta - \frac{g \cdot v^2 (C_{Dt} \cdot S_t + C_{Dp} \cdot \pi \cdot D_p^2 \cdot \frac{1}{4})}{2} - \frac{v}{t_f} \left(\frac{dm_i}{dt} + \frac{dm_a}{dt} \right) \right] m_T^{-1} \quad (2)$$

A centrifugális gyorsulást bevezetve, megkapható a görbé röppályán a szöggyorsulás:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{(m_t + m_p) \cdot g \cdot \sin\theta}{m_T \cdot v} \quad (3)$$

Ha figyelembe vesszük a kupola belépőélénél, a belépési felületen az áramlást, továbbá a kupola félgömb alakú, porózus tetejét, akkor a töltési idő (t_f) a folytonosságból kapható:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d^2 \left[v_{be} - 2u \left(\frac{D_p}{d} \right)^2 \right]}{4} \quad (4)$$

Ezután a (2) és (4) egyenletek megoldása adja a nyitási erőt:

$$F = m_t \left(g \cdot \cos\theta - \frac{dv}{dt} \right) \quad (5)$$

Ezekben az egyenletekben az ejtőernyő vetületi területének, a befogott és a látszólagos tömegek, valamint a beáramlási sebesség szerepelnek. Megoldásuk érdekében a sebesség-idő és terület-idő függvények szükségesek. Ezen tanulmányban ezek a függvények a gyakorlati, szélcsatorna vizsgálatokból lettek előállítva.

A beáramlási függvények

A vázolt felfogás alapján az S_p vetületi kupola terület és az idő kísérleti úton meghatározott viszonya egy geometriai modellel együtt megadja a térfogat-idő összefüggését, ami a folytonossági egyenlet megoldásához szükséges.

Közbenső alakzatok modelljeként csonkakúp alakú kupola-csoport és félgömb, vagy ellipszoid alakú felső részek alkalmazhatók.

Más tanulmányban a beáramlási függvényre mérésekből a következő formula lett kidolgozva:

$$\frac{dV}{dt} = \left(\overline{v} \cdot d^2 \right) \cdot v_{be}^x \quad (6)$$

ahol v_{be}^x értéke azonos a (4) egyenletben a zárójelben lévő értékkel. Fizikailag ez nem más, mint a tényleges beáramlási sebesség és a porózus kupolán és nyílásokon áthaladó sebesség különbség átlagos értéke. Ezt a mennyiséget előállíthatjuk a kupola-változás sebességéből is. A rendszer v sebessége a $T=t/t_f$ segítségével számolható:

$$v = v_0 - \left(\frac{t_f}{m_t} \right) \int_0^T F dt \quad (7)$$

A gyakorlati vizsgálati eredményeket az USAF (Szerk.megj.: Egyesült Államok Légierője) 44. sz. vizsgálatából vettük. E mérésnél C-9 típusú 8,53 m átmérőjű, lapos, kerek mentőernyőt vizsgáltak. (Szerk.megj.: a C-9 típusú ejtőernyő részleges ismertetésére az Ejtőernyős Tájékoztató 1978. évi 4. számában került sor.) A mérésnél a vizsgálat adatai:

Felfüggesztett teher (súly):	199 kg	Nyitási magasság:	1851 m
Nyitási sebesség:	68,6 m/s	Belőbbanási idő (t_f):	0,93 s

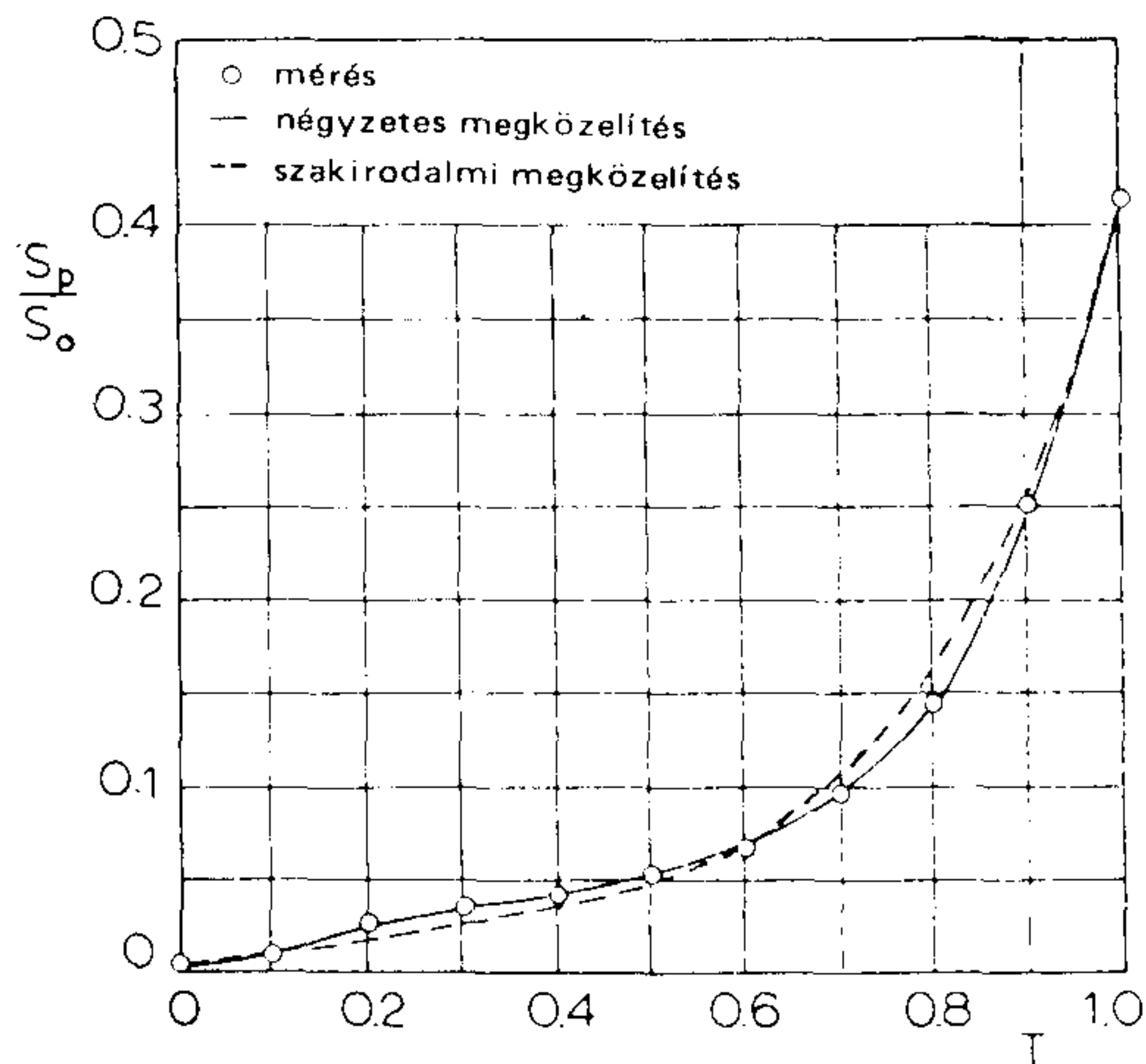
Az erő adatok függvénye approximálva lett és a rendszer sebességét az 1. ábra, valamint a (7) egyenlet segítségével számították. Ugyanerre a vizsgálatra még a terület-idő változásának függvénye is meg lett határozva –l. a 2. ábrát.

Ha a kupola alakját a belobbanás során olyan csonkakúpnek vesszük, amelynek a felső része félgömb alakú, s arányai az időben változnak, akkor a kupola térfogata az $L_s = D_o$ zsinórhossznál a következő:

$$\frac{V}{V_{\max}} = \frac{\sqrt{\pi} \cdot 3}{3} \left\{ \frac{S_p}{S_o} \left[\left(\frac{3}{2} - \frac{\sqrt{\pi} D_p}{4 \cdot D_o} \right)^2 - \frac{S_p}{4 S_o} \right]^{1/2} \frac{S_{be}}{S_o} \left(1 - \frac{S_{be}}{4 S_o} \right)^{1/2} + \left(\frac{D_p}{D_o} \right)^3 \right\} \quad (8)$$

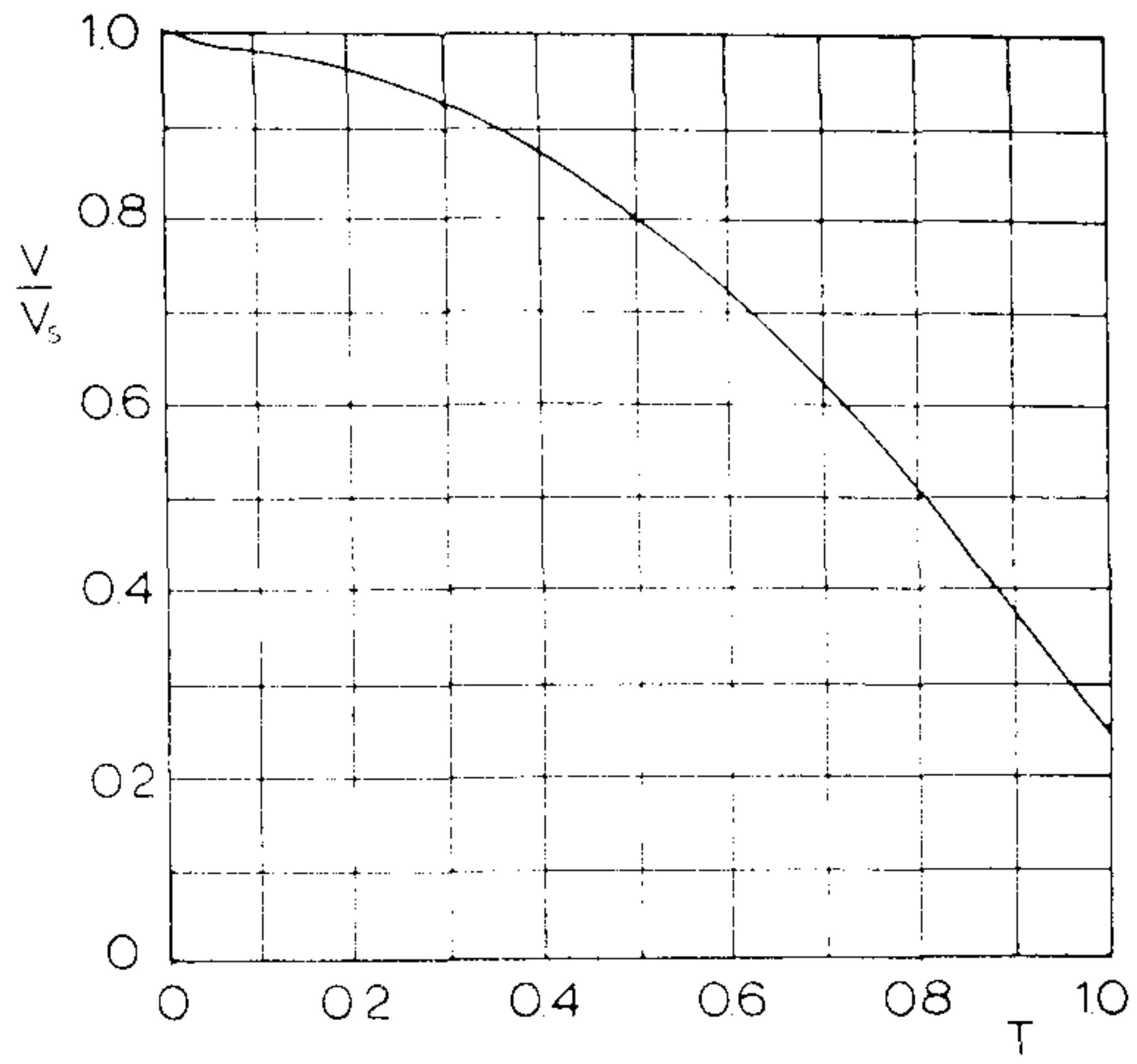
ahol $V_{\max} = \frac{\sqrt{\pi} \cdot D_{p\max}^3}{12}$

és $S_{be} = \frac{\sqrt{\pi} \cdot d^2}{4}$

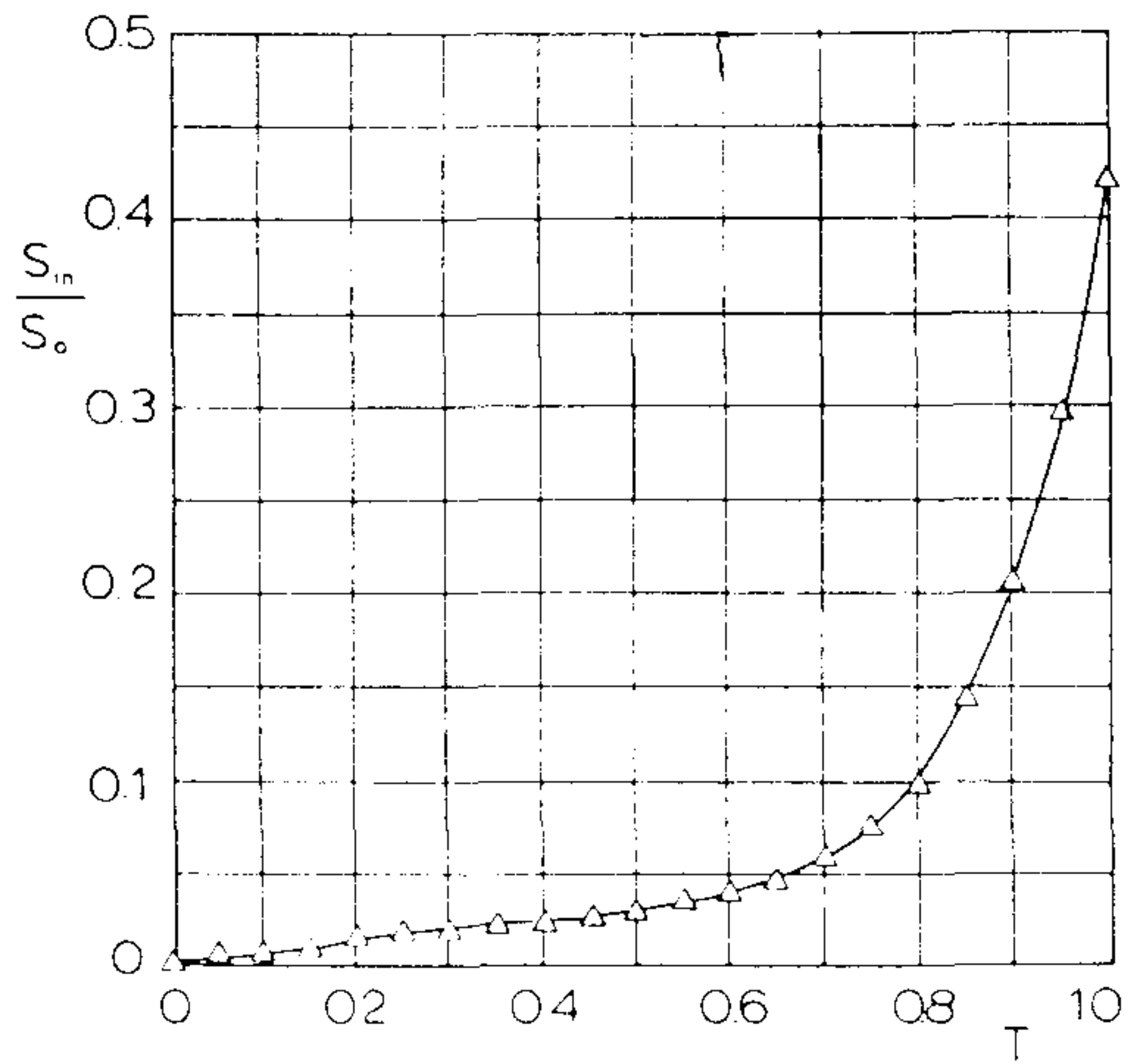


1. ábra

Sebesség-erő összefüggés megközelítése a 44. sz. vizsgálatnál.

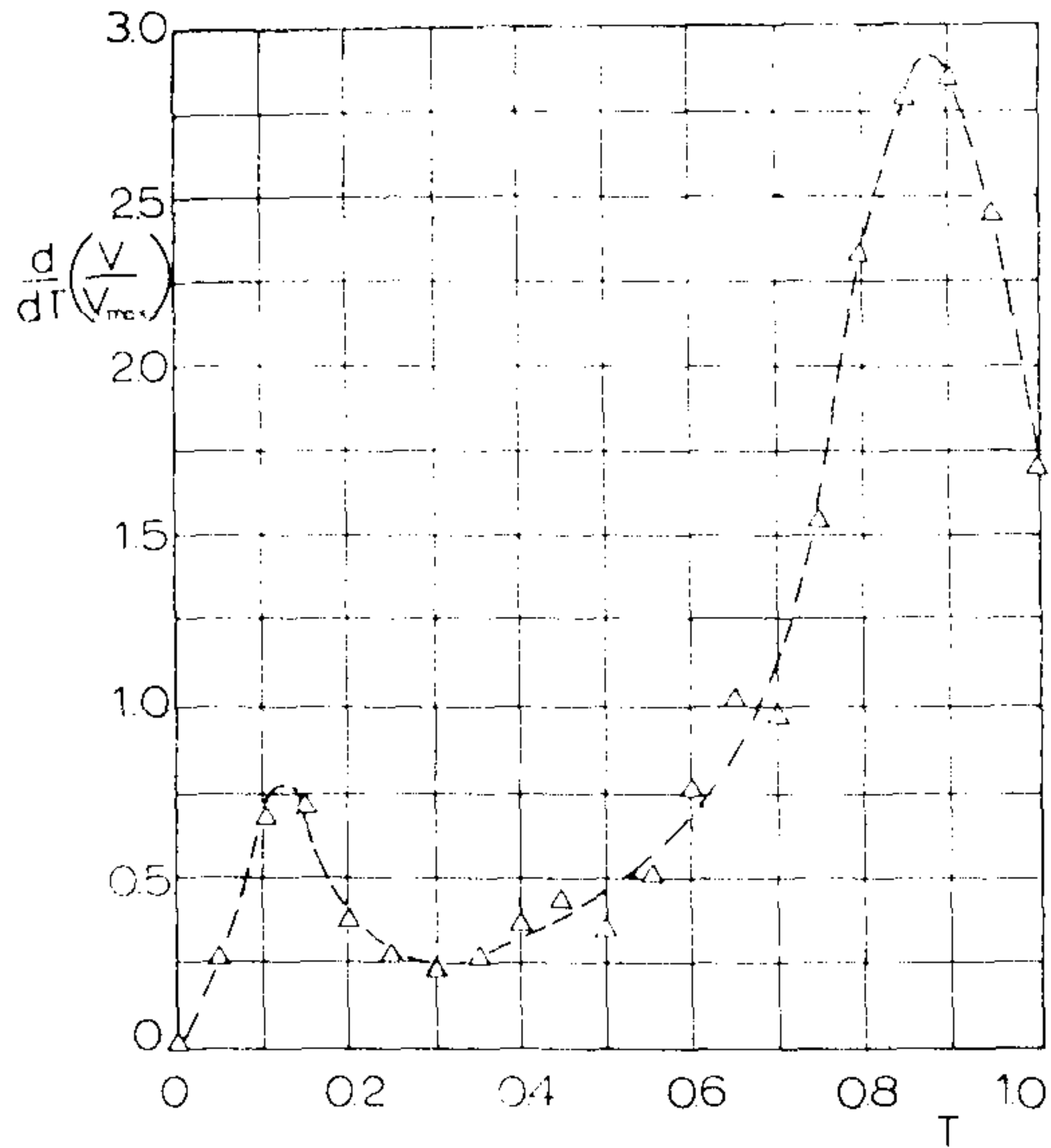


2. ábra
Vetületterület-idő összefüggés



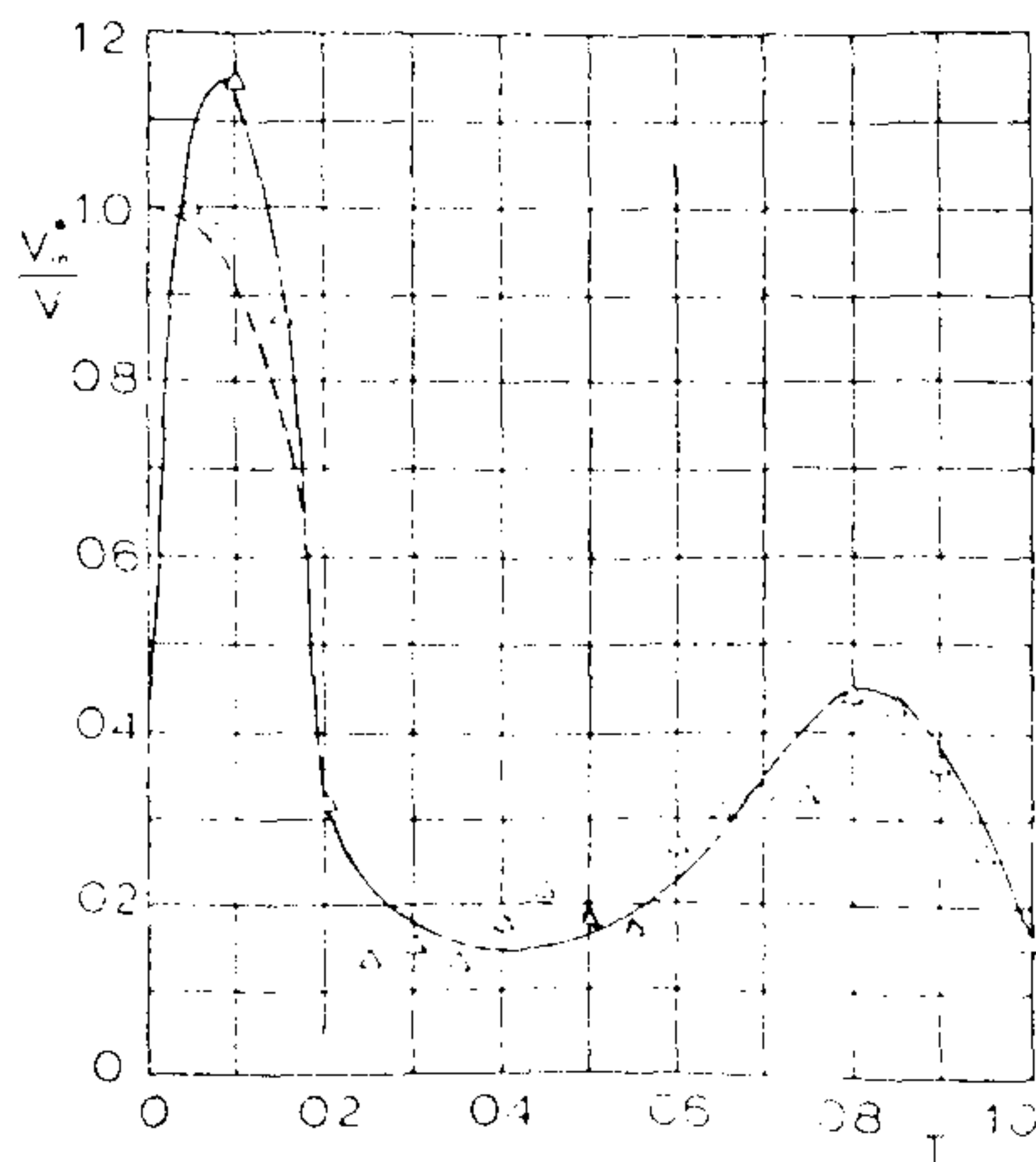
3. ábra
A mért belépőfelület vetített területe és a geometriai modell.

A 2. ábra szerinti terület-idő változást a geometriai modellel kombinálva a 3. ábrán látható belépő-felület-idő lefutását kapjuk. A (8) egyenlettel a terület-idő függvényt a térfogat-idő függvényt és a térfogat derivációt produkálja. (4. ábra)



4. ábra

Térfogat deriváció a vetített területből és a geometriai modellből



5. ábra

A teljes beáramlás függvénye

A (6) egyenlet átalakítása és kibővítése után a következő beáramlási-sebesség formula írható fel:

$$v_{be}^x = \left(\frac{V_{max}}{t_f S_o} \right) \left(\frac{S_o}{S_{be}} \right) \frac{d \left(\frac{V}{V_{max}} \right)}{dT} \quad (11)$$

és a rendszer v sebességével (1. ábra) ennek dimenzió nélküli formája:

$$\frac{v_{be}^x}{v} = \left(\frac{V_{max}}{v_o t_f S_o} \right) \left(\frac{S_{be}}{S_o} \right)^{-1} \left(\frac{v}{v_o} \right)^{-1} \frac{d \left(\frac{V}{V_{max}} \right)}{dT} \quad (12)$$

ez pedig az 5. ábrán látható.

Az 5. ábrán a szaggatott görbe a $T=0$ körzetében úgy lett felvéve, hogy kielégítse az induló feltételeket. Ezekután már a 2. ábra szerinti terület-idő függvény, valamint az 5. ábra szerinti beáramlási függvény már produkálja az erőszámításhoz szükséges információt.

A mozgási egyenlet tényezőinek áttekintése

Ha a t_f töltési időt szakirodalmból vesszük, akkor az ottani definíció szerint ez magában foglalja azt az időintervallumot is, amely a fellépő maximális nyílási erő és azon pillanat között telik el, amikor a kupola eléri – a nyílás során először – azt a feltöltött átmérőt (vetületi területet), mellyel majd végülis stabilan ereszkedni fog. Továbbá magában foglalja még azt az időintervallumot is, amikor a kupola kibomlik és kevés levegő már áramlik a kupolába anélkül, hogy ez a kupolát lelassítani és stagnáló tömeggé válna. Ez a kezdeti fázis viszonylag rövid, azonban a regisztrátumokban észlelhető. Ez és más megfontolások szükségessé teszik azon kifejezések felülvizsgálatát, melyeket a mozgási egyenletekbe – (2) és (3) – be kell vinni.

TÖLTÉSI IDŐ

Mint már szó volt róla, a töltési idő olyan időszakot is magában foglal, melyben olyan események játszódnak le, amik a valóságban nincsenek szoros kapcsolatban az ejtőernyőbelobbanás dinamikájával. A gyakorlati mérések alapján ez az időszak közelítően: $0 \leq T \leq 0,15$ s-nek vehető és ez az időintervallum közelítőleg egyenlő azzal az idővel, ami ahhoz szükséges, hogy a levegő a belépőéltől a kihúzott kupolavégig eljusson:

$$t = \frac{D_o}{2v_s}$$

Ezen intervallumban a kupola légellenállási tényezője még alig nő meg és ezért a (2) és (3) egyenletek így alakulnak:

$$\frac{dv}{dt} = g \cdot \cos\theta - \left(\frac{\rho \cdot v^2}{2} \right) \left[(C_D S)_t + (C_D S)_p \right] (m_t + m_p)^{-1} \quad (13)$$

és

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{-g \cdot \sin\theta}{v} \quad (14)$$

ahol $(C_D S)_p$ képviseli a kinyúlt kupola légellenállási felületét.

BEFOGLALT ÉS LÁTSZÓLAGOS TÖMEG

A teljesen feltöltött ejtőernyőnél fel lehet tételezni, hogy gyakorlatilag az egész kupola stagnáló levegőtömeeggel van tele, mely levegő tömege a kupolával együtt mozog. Így a stagnáló (befogott) levegő tömege a teljes feltöltődésnél a következő:

$$m_i = \rho \cdot V_{\max} \quad (15)$$

Azonban a feltöltődés folyamán valamilyen levegőmennyiség átfolyik a kupolán, így a kupola teljes térfogata nem stagnáló levegővel van tele – mint ahogyan ezt egyes számításoknál feltételezték. A belobbant kupola tényleges alakjai azt sugallják, hogy elsődlegesen a levegővel megtelt felső kupolarész van tele stagnáló levegővel, a többi rész nem. Ez a stagnáló levegőtömeg a következőképpen fejezhető ki:

$$m_i = \rho \cdot V_{\max} \left(\frac{D_p}{D_{p\max}} \right)^3 \quad (16)$$

A látszólagos tömeg a külső levegőáramlási térhez viszonyított tehetetlenség kifejezése. A látszólagos tömeg értéke, ami korábbi tanulmányokban megállapítást nyert, teljesen belobbant ejtőernyőkkel végrehajtott méréseken alapul, ezt most tényezővel módosítjuk. Ez a tényező lineárisan változik 0-tól 1-ig, miközben a kupola töltődik. Ily módon a látszólagos tömeg változása kerül bevezetésre, mely tömeg együtt változik a kupola alakjával – miközben a kupola alak a hosszú hengerestől változik a belobbant és egyensúlyba merülő formáig. Így a látszólagos tömeg a következőképpen írható le:

$$m_a = \frac{1}{4} \cdot T \cdot \rho \left(\frac{D_p}{2} \right)^3 \quad (17)$$

ahol az 1/4-es tényező szakirodalomból kerül felhasználásra, a szokásos anyagú ejtőernyőre vonatkozik.

Ha a látszólagos tömeg a kupolában lévő levegőhöz van viszonyítva, akkor a teljesen belobbant szokásos anyagú ejtőernyőkre a következő:

$$m_a = \frac{3}{8} \cdot m_i (T=1) \quad (18)$$

A látszólagos tömegre vonatkozó tanulmányok kissé ugyan különböző értékeket ismertetnek, de a legjobb egyezést a fentiek, az 1/4-es tényező adja.

A T idő módosítása (17)-ben, egy olyan posztulátum, mely a vetületi átmérő lineáris variációján alapul. Annak érdekében, hogy nem lineáris értékek esetén is a módosítás alkalmazható legyen, az alábbi forma látszik célszerűnek:

$$m_a = \frac{3}{8} \cdot m_i \left(\frac{D_p}{D_{\max}} \right)^2 \quad (19)$$

ALAKRA VONATKOZÓ MEGFONTOLÁSOK

A gyakorlati vizsgálatok azt jelzik, hogy a vetülék-terület a teljes feltöltődéshez a következő:

$$S_{p\max} = 0,420 \cdot S_0, \text{ míg annál a modellnél, ahol félgömb alakú a végződés}$$

$$S_{p\max} = 0,405 \cdot S_0 \text{ nagyságú.}$$

Annak érdekében, hogy minden következtetés elkerülhető legyen, a geometriai modell úgy módosult, hogy az eddigi félgömb alakú kupolavég helyett most ellipszoid alakú kupolavéget veszünk.

Ennek a modellnek a legnagyobb vetületi területe – amikor $T=1$, akkor $S_{pmax} = 0,420 \cdot S_0$ – így a vonatkozó egyenlet:

$$V = \frac{\pi}{12} \left\{ 0,661 \cdot D_p^3 + D_p^2 \left[\left(L_s + \frac{D_0}{2} - 0,665 D_p \right)^2 - \frac{D_p^2}{4} \right]^{1/2} - d^2 \left(L_s^2 - \frac{d^2}{4} \right)^2 \right. \quad (20)$$

és

$$d = L_s D_p \left(L_s + \frac{D_0}{2} - 0,665 D_p \right)^{-1} \quad (21)$$

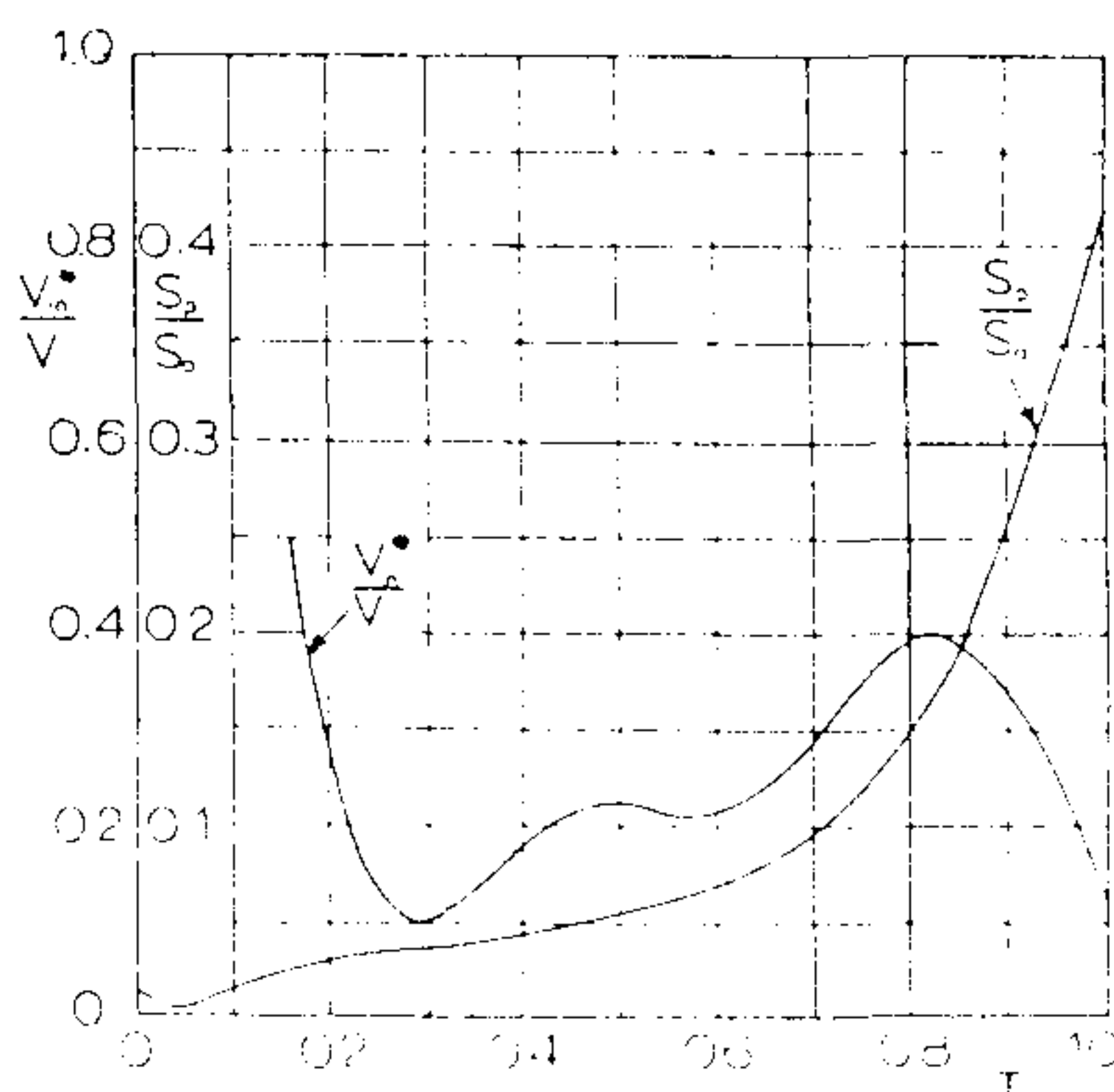
A LÉGELLENÁLLÁSI TÉNYEZŐ

Amikor a geometriai modell vetületi területtel kapcsolatos, akkor az ejtőernyő légellenállási tényezője csaknem állandó. Erre az eredményre a szélcsatorna kísérletek alapján jutottak, amikor olyan modellt vizsgáltak, melynek csonkakúp alakja volt, felül félgömbbel és az alakot drót vázzal biztosították, azon pedig lapos, kerek, szövött kupola volt.

Kissé szokatlan a légellenállási tényezőt olyan felülethez kapcsolni, amely időben változik, de a számítási módszer szempontjából praktikus, mivel az összes mennyiség idővel kapcsolatos. Referencia irodalomban az állandóértékű légellenállási tényező feltételezése kielégítő eredményt hozott, ezért ezen tanulmánynál is elfogadást nyert. Számítások azonban kimutatták, hogy a változó légellenállási tényező olyan kismértékben befolyásolja a kupola teljes légellenállást, hogy a kis finomítás, amit a légellenállási tényező variációja jelentene, járulékosan túl nagy komplikációkat okozna. Ennélfogva, a következőkben az állandóértékű $C_{Dp} = 1,786$ értéket alkalmazzuk, amely kapcsolatos a pillanatnyi vetületi felülettel.

Vizsgálati adatok és leíró függvények

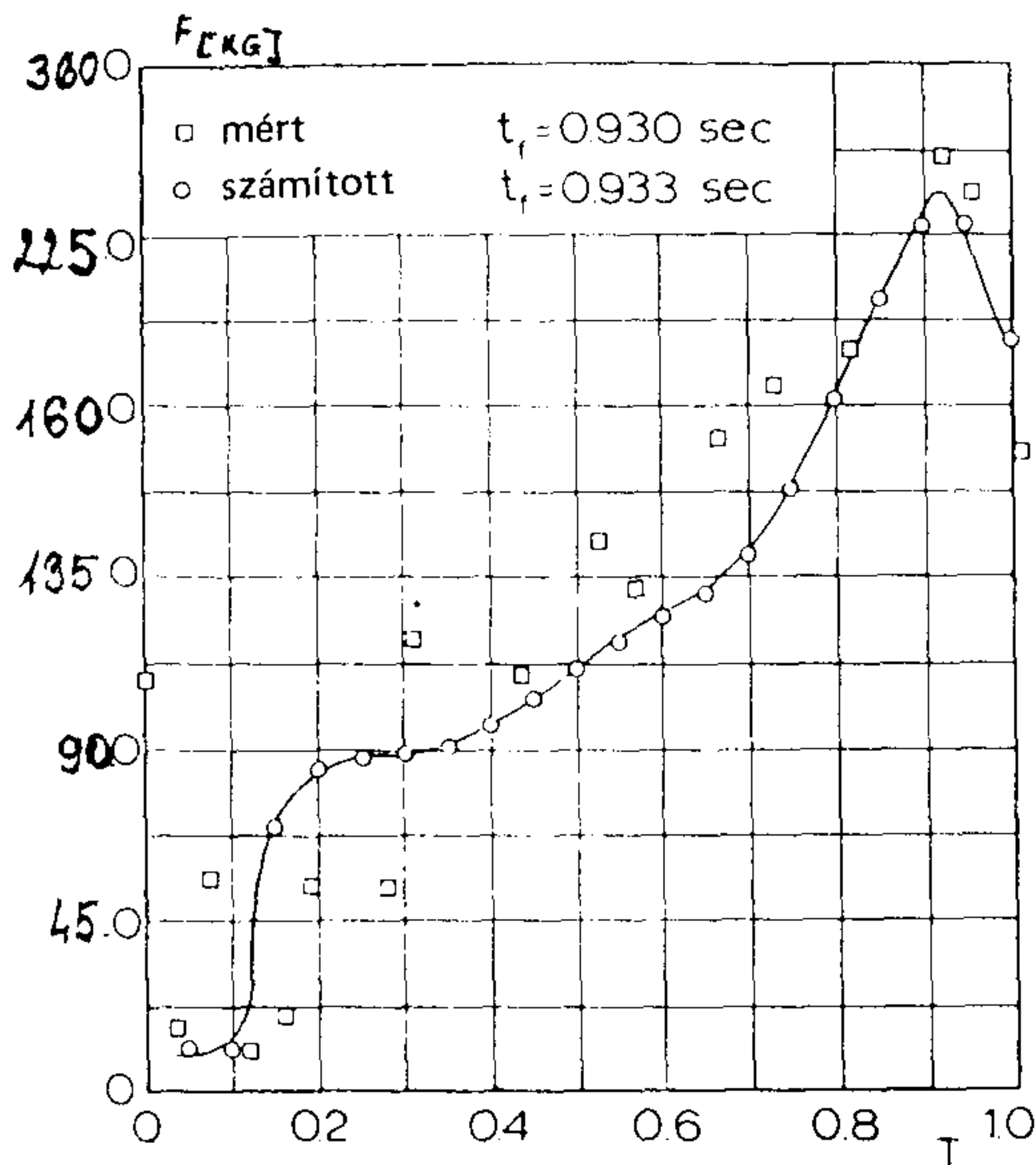
Ismételt elemzésre kerültek a vizsgálatok idő-terület grafikonjai és az eddigiek alapján módosított függvények. A beáramlási és a terület függvények a 6. ábrán láthatók.



6. ábra

A kísérleti mérés terület és beáramlási görbéi

Ez pedig a látszólagos levegőtömeg függvényekkel együtt volt befoglalva a megfelelő egyenletekbe. Most már a 7. ábrán látható a mért és számított erő-idő összefüggés mértéke.



7. ábra

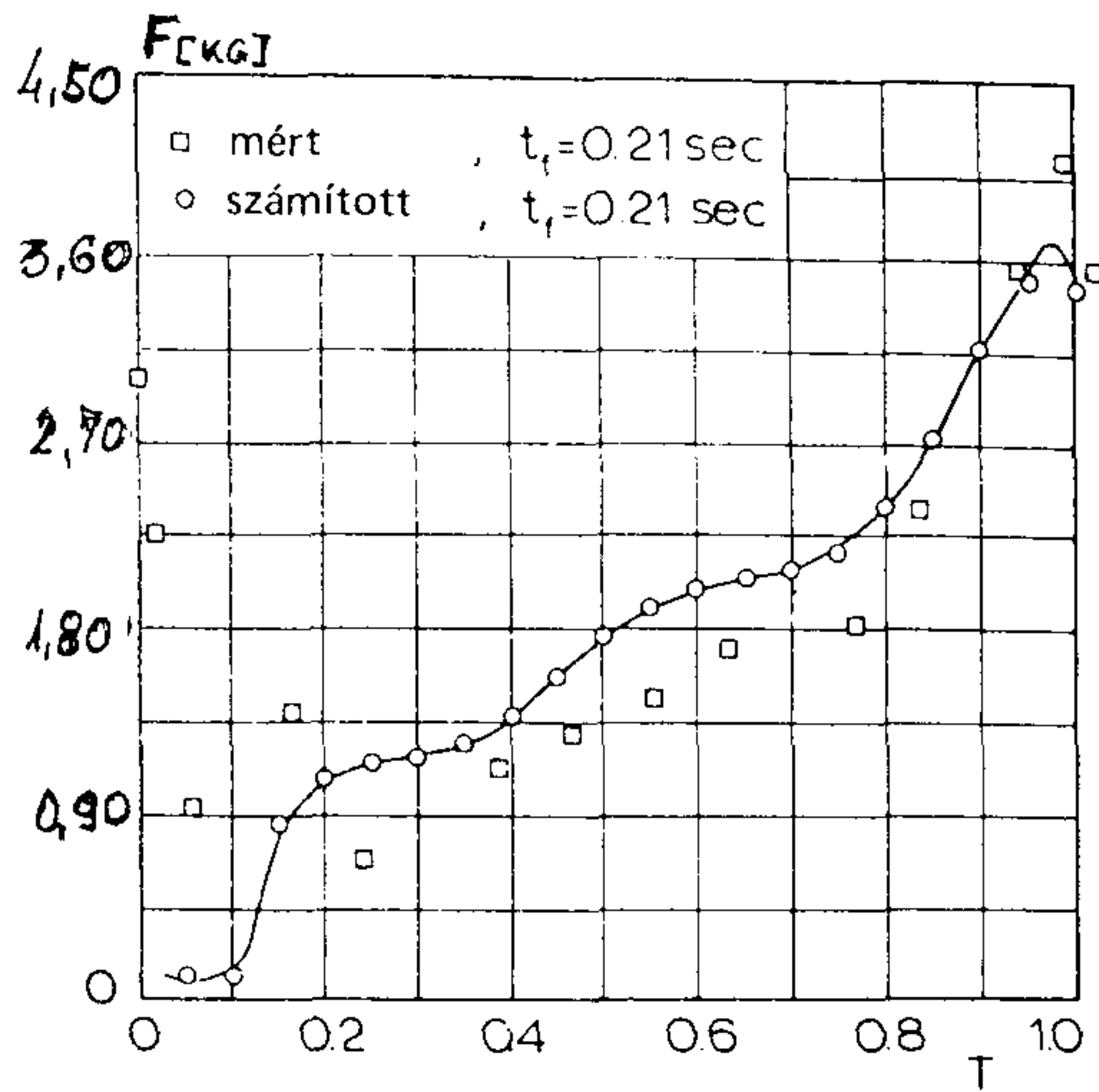
Mért és számított erő-idő összefüggés 8,53 m átmérőjű ejtőernyőnél (USAF 44. sz. vizsgálata) $v_s=77,72$ m/s sebességnél és $W_t = 197,55$ kg terhelésnél.

Ugyanez a módszer került alkalmazásba idő-függvények előállítására 91,4 cm átmérőjű modell ejtőernyőknél szélcsatornában végzett mérésnél. Ekkor a megfújás sebessége 21,33 m/s volt, 0,225 kg fel függesztett tömegnél. Az itt mért és számított nyílási erőhatás a szokásos tervezési tűrésen belül egyezett és a terhelés időbeli lefutásának tendenciája azonos.

A kísérletek során rögzített nagyszámú eset lett tanulmányozva és kerültek összehasonlításra a számított és mért adatok. Általában, ha a gyakorlatban rögzített adatok terület-idő és töltési idő lefutásait vettük figyelembe, akkor a számított és mért erő-idő összefüggések jól megfeleltek egymásnak, pl. a 7. és 8. ábrán illusztrált esetekben is. Ez a jó egyezés bizonyítja a módszer érvényességét és alkalmazhatóságát, valamint a feltételezések megfelelő helyességét.

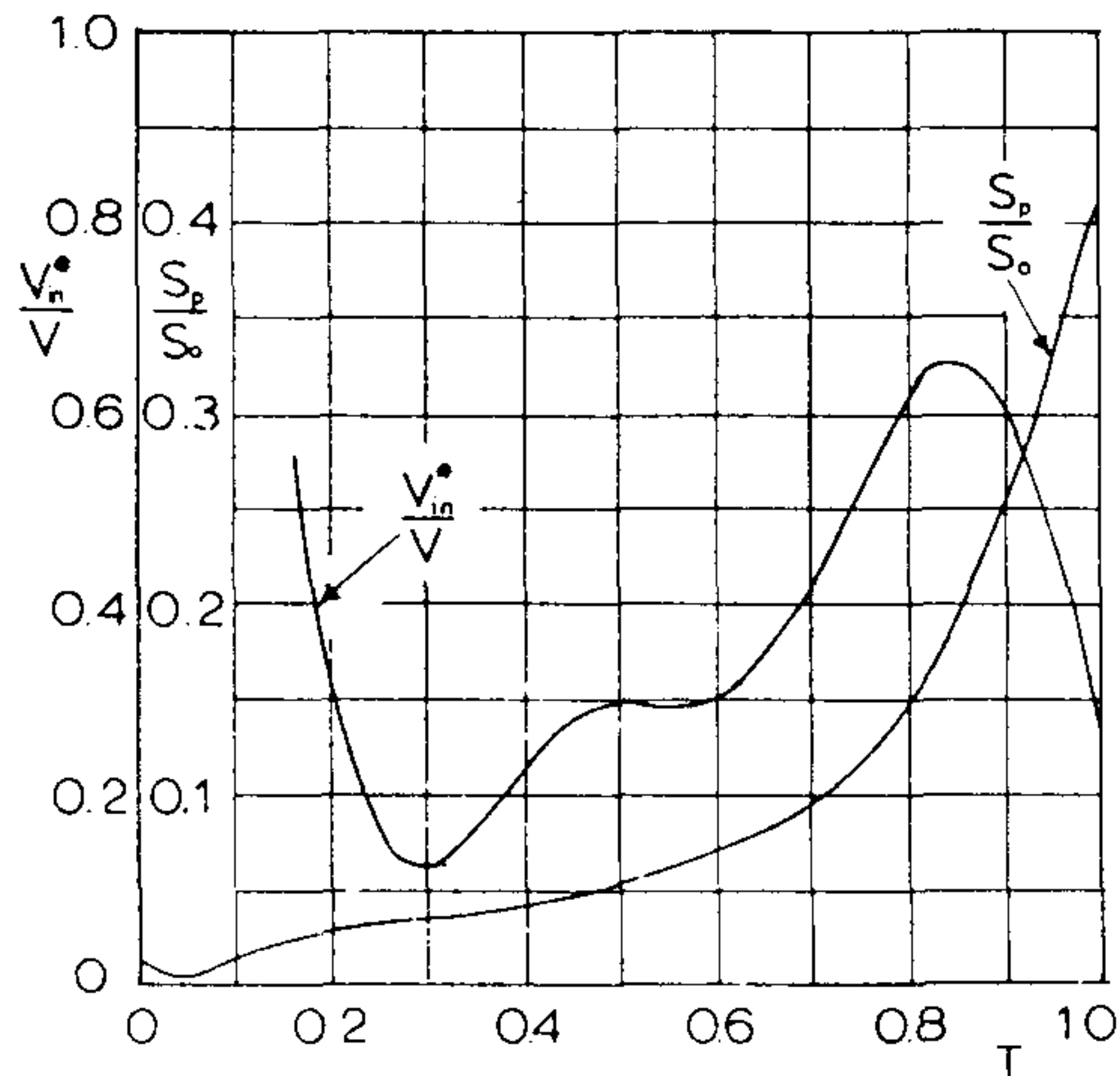
A következő cél az volt, hogy néhány olyan leíró függvényt lehessen előállítani, melyek kielégítő előrejelzést nyújtanak akkor is, amikor az ejtőernyő méretek, terhelések és alkalmazási sebességek nagyon széles tartományban kerülnek alkalmazásba.

Erre a célra egyes gyakorlati mérési eredmények (terület és sebesség) volt kiválasztva. Ilyen számításokból került ki néhány olyan függvény, ami megközelíti a valóságot (9. ábra). Így ezen függvények felhasználásával már nagyszámú gyakorlati mérésre vonatkozó – mért és számított – erő-idő diagramm nagymértékben egyezett (10. ábra, 11. ábra).



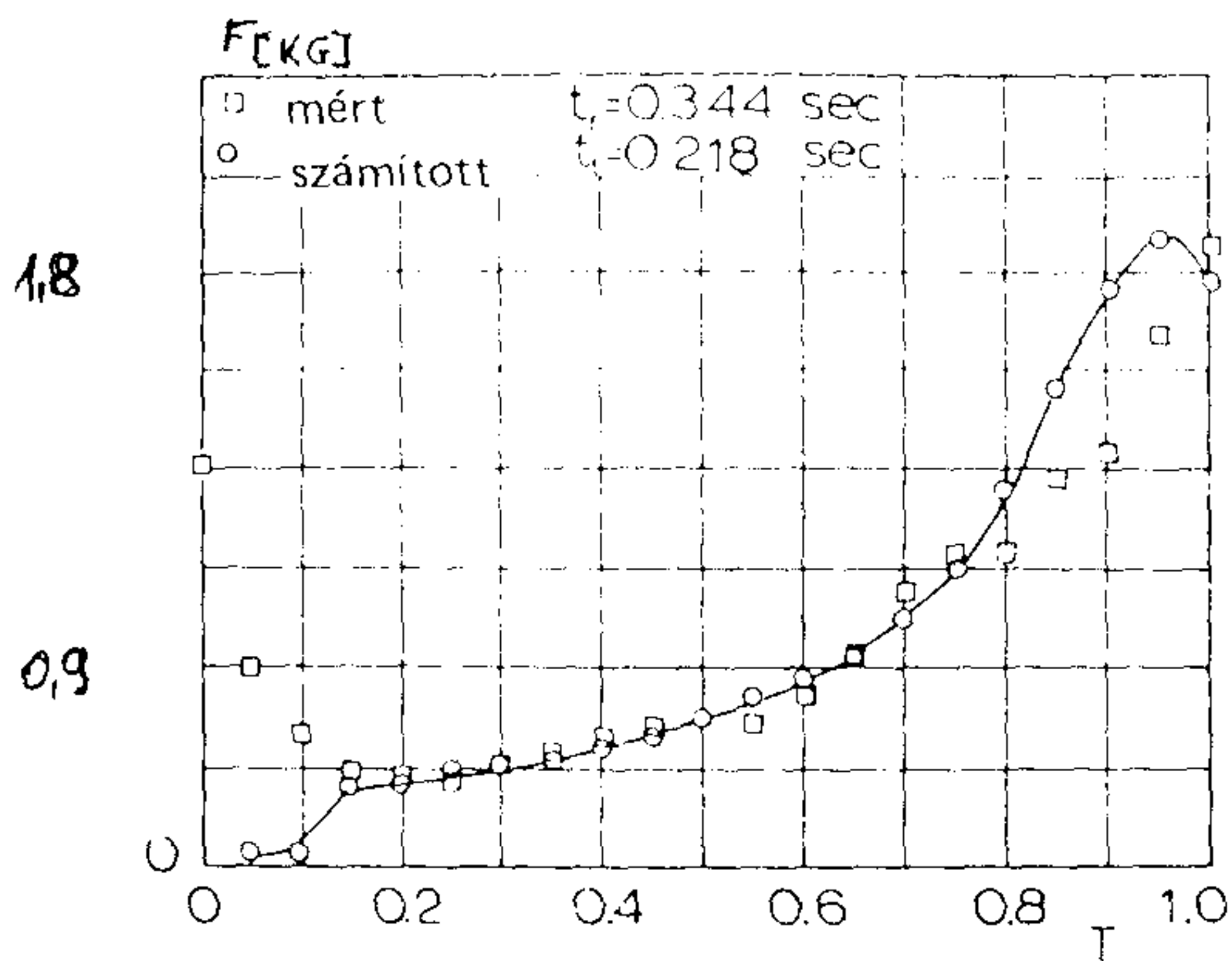
8. ábra

91,4 cm átmérőjű ejtőernyőmodell mért és számított erő-idő diagrammja. $v_s = 21,33$ m/s, $W_t = 0,225$ kg.



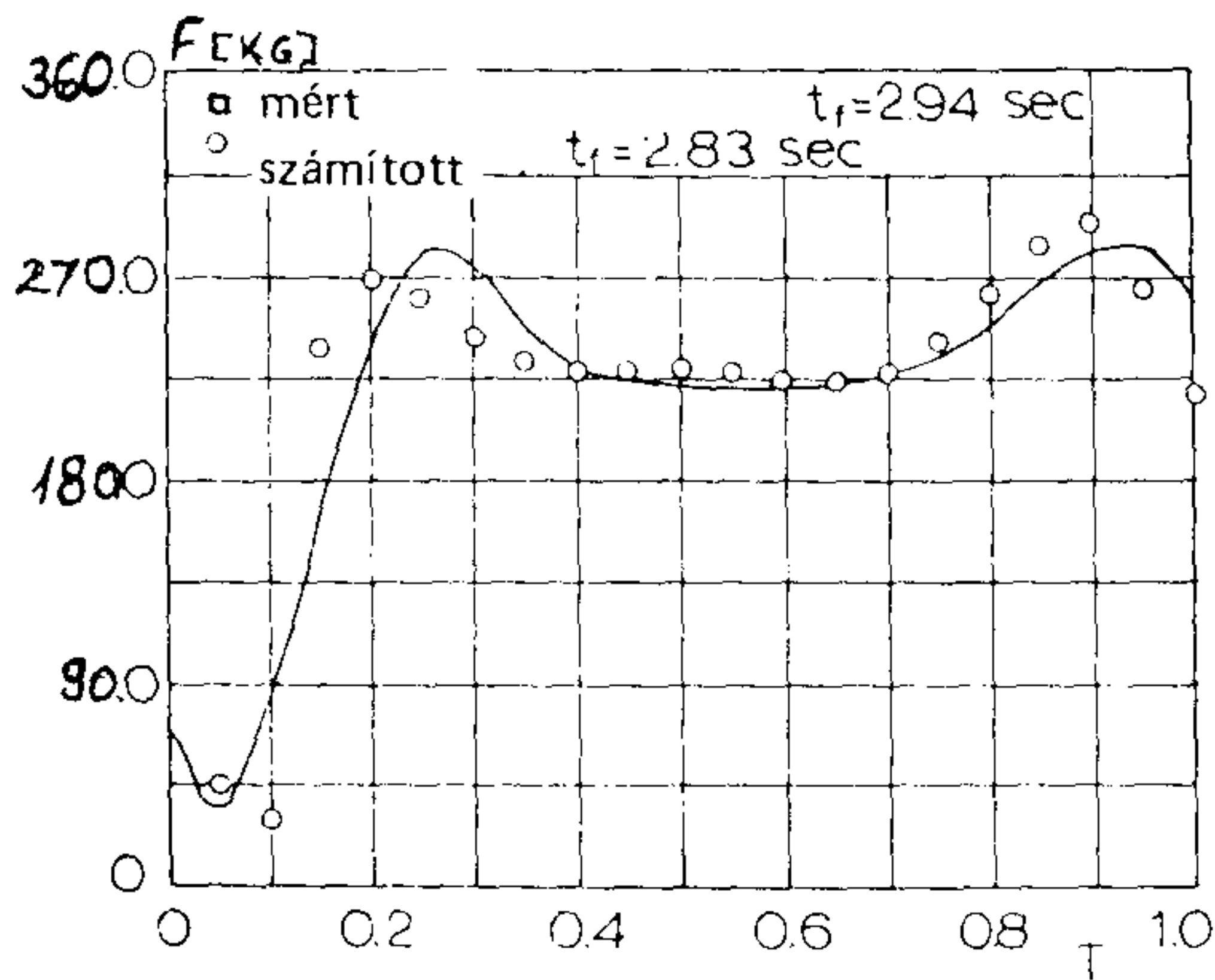
9. ábra

A terület-beáramlás leíró függvény



10. ábra

Számított és mért erő-idő diagramm 91,4 cm átmérőjű ejtőernyőre. $v_s=15,24$ m/s $W_t=0,225$ kg.



11. ábra

19,5 m átmérőjű G-12 ejtőernyő erő-idő mért és számított értékei. $v_s=62,5$ m/s, $W_t=990$ kg.

Ejtőernyő átmérő (D_0) m	Terhelés (W) kg	Nyitási sebesség (v_s) m/s	Eredmény szórása %
0,914	0,225	15,24	0
0,914	0,225	21,33	20
0,914	0,225	25,90	8
8,53	90	68,58	17
8,53	90	93,26	18
19,5	990	62,48	1
19,5	990	73,15	10
30,48	2047	56,99	2
30,48	2434	47,54	17

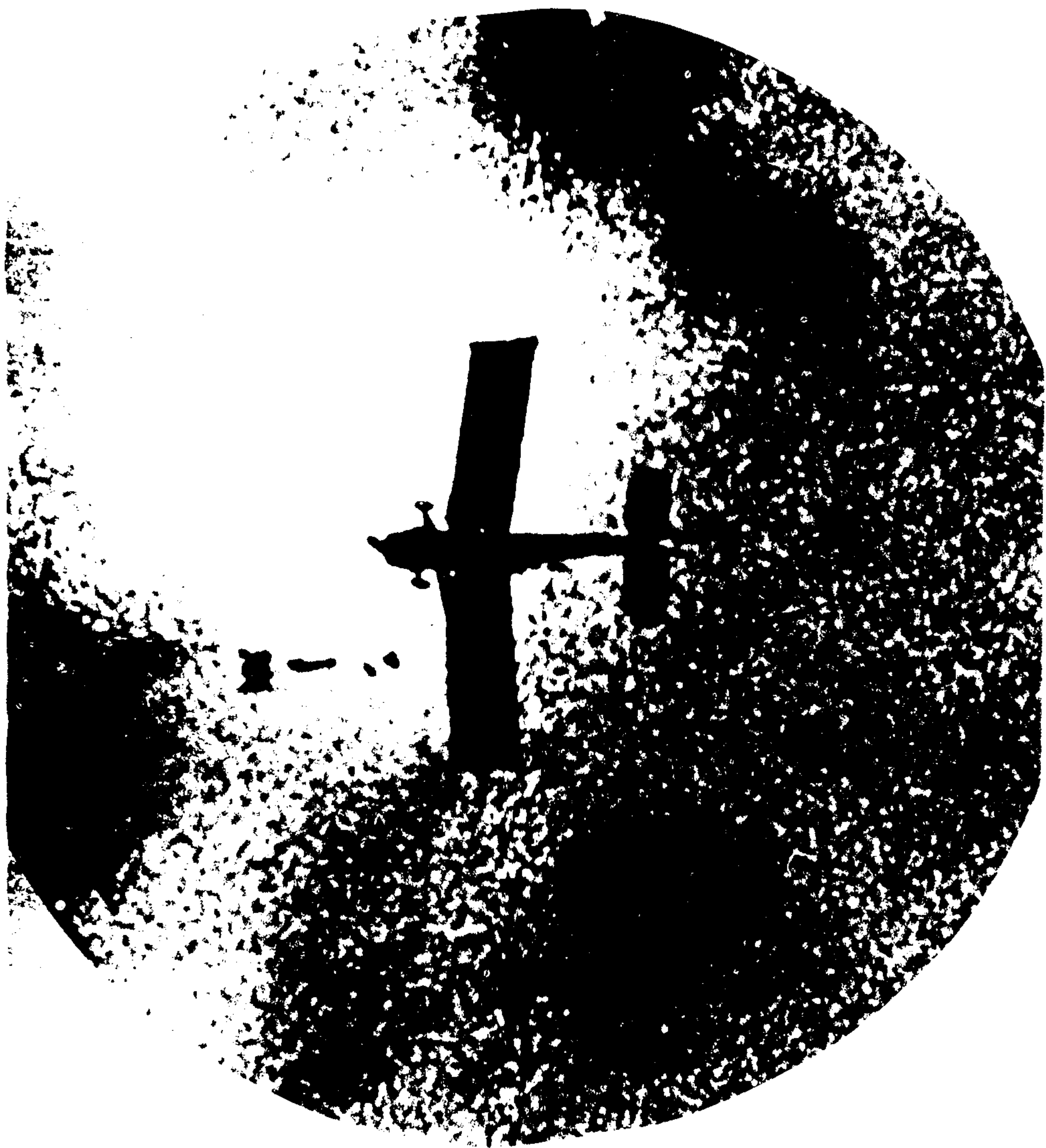
Véggövetkeztetés

A számított és mért adatok közötti jó egyezés alapján az a tény a legérdekesebb, hogy az időfüggvények adják a reális kupolájú lapos kerek ejtőernyő szubsónikus jellemző vetületi-terület és beáramlási függvényét.

A reális leírást megközelítő függvényeket alkalmazva a számított és mért eredmények különbsége a vizsgálatok maximális értékeihez képest kisebb, mint az egyes vizsgálatok eredményeinek a különbsége. Ennélfogva, az itt bemutatott módszerrel számított maximális erők felfoghatók a tényleges erők átlagos értékeként.

Fordította: Szuszékos János

HULLÁMZÓ LÁTHATÁR címmel a repülősportokról fotóalbum jelenik meg a Zrínyi Katonai Kiadó gondozásában, 1981. augusztusában. A szerző – Arnyai László - fotói közt számos ejtőernyős felvétel is szerepel majd a könyvben.



AZ EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1980. ÉVI TARTALOMJEGYZÉKE

Felkészítés, kiképzés

Juhász Z.: A vészhelyzetelhárítás oktatásához	1/3
Both L.: Néhány szó az önképzésről	2/14
A jövő?	2/15
PO-9 Oktatás, ugrások	3/1
Célbaugrás	3/3
Akadályraérés	4/23

Ejtőernyők és ejtőernyő részek vizsgálata

Még az ejtőernyőkről (sárkányrepülő mentőernyőről)	2/10
A „Blast-Handle” kérdés	3/10
Simon L.: Mentő- és tartalékernyők beugrásának tapasztalatai	3/13
Útmutató a siklórepülő mentőernyő készítésére és üzemeltetésére	4/1
Felcsatolható ejtőernyő-leoldó rendszer	5/20
Az ejtőernyők viselkedése kis sebességeken	6/4
A légzés és a vele társuló más jelenségek megfigyelése némely katonai ejtőernyőtípusnál, merülés közben	6/10
Ejtőernyő nyitási terhelés számítása kísérletileg meghatározott függvényekkel	6/21

Biztonság, események

FAI Biztonsági Bulletin 1979. No. 3.	1/19, 2/7
Tanulmány az 1978. évi fatális ejtőernyős balesetekről az Egyesült Államokban	1/20
Baleseti jelentések	2/1, 4/17, 5
Felszerelés és magatartás	2/5
Ha nem működik az ejtőernyő	3/8
Az 1979. évi halálos kimenetelű ejtőernyős balesetekről szóló jelentés	5/1

Egyéb

Szóló ballonrepülés egy-két utassal	2/18
Rajzok az Airborne Operations c. könyvből	4/22
A kupolaformaugrás története	5/15
Az első kupola-boglya	5/16
Big Jake a KFU királya	5/17
Szakirodalomjegyzék	5/21
El Capitan	6/1

TARTALOMJEGYZÉK

El Capitan	1
Az ejtőernyők viselkedése kis sebességeken	4
A légzés és a vele társuló más jelenségek megfigyelése némely katonai ejtőernyőtípusnál, merülés közben	10
Ejtőernyő nyitási terhelés számítása kísérletileg meghatározott függvényekkel	21