

R.B. Calkins: EJTŐERNYŐ KIFORDULÁSOK

(AIAA 6. Aerodinamikai fékezésköz és ballontechológia konferenciája. Referátum szám: 79-0451)

Kivonat: A kupolakifordulások (szálátcsapódások) okozta nyílási rendellenességek jónéhány ejtőernyőtípusnál régóta problémát jelentenek. Ez a tanulmány a kupolakifordulás okait, az azzal kapcsolatos félreértéseket, a főbb jelenségeket és a kiküszöbölés módjait tárgyalja. Ismertetésre kerül a kifordulás-gátló eszközök vizsgálata is.

Előzmény: Az ejtőernyők kezdeti alkalmazása óta eltelt években gyakoriak voltak és ma is gyakoriak a kupola részleges kifordulása miatti nyílás-rendellenességek, kupola károsodások. Annak ellenére, hogy elterjedt probléma ez, mégis meglehetősen tájékozatlanság van a kupolakifordulások létrejöttével kapcsolatban, a hiedelmek és félreértések egy része túlságosan elterjedt.

Kifordulások: A kifordulás kifejezést akkor használjuk, amikor a kupola egy része áthalad a kupola másik része alatt a zsinórok között, és részben, vagy teljesen kifordulva telik meg levegővel. (lásd: 1. sz. ábra.) (Szerk.megjegyzése: a hazai terminológia ezt a jelenséget szálátcsapódásnak nevezi). A szálátcsapódások leggyakrabban a zárt, nem porózus anyagú kupoláknál következnek be, de előfordulnak Ring Sail típusú (Szerk.megjegyzése: Ilyen a Skysaid-E típusú kupola – Ejtőernyős Tájékoztató 1978. 4. szám, 14. oldal.) kupolákkal is. A szálátcsapódás mechanikája csak akkor tanulmányozható megfelelően, ha nagysebességű filmfelvétellel rögzítik. Sokszor alakul ki rövid ideig tartó szálátcsapódás, s ennek korrekciója rendkívül gyorsan, esetleg kevesebb, mint 0,1 másodperc alatt végbe is megy. Miután éveken keresztül, sok ilyen rendellenességet tartalmazó filmfelvételt tanulmányoztunk, a megfelelő kísérletek alkalmával három szálátcsapódást eredményező okot sikerült megállapítani:

- a) Az ejtőernyő belépőélének véletlenszerű (nem ellenőrzött, vagy vezetett) mozgása. Az ejtőernyő nyílása közben, a kupolabelobbanás kezdeti fázisában a belépőél véletlenszerű mozgása révén előfordul, hogy a kupola egy része, a belépőél tágulása helyett, befelé mozdul, egy szomszédos, vagy szemben lévő belépőél alá. Ha ez a kupolarész áthalad a másik kupolarész alatt (l. 1. sz. ábrát), akkor az elmozduló rész külső fele válik belsővé, azaz kifordul. Az aerodinamikai erők kialakulásának módjától függően a szálátcsapódás tovább folytatódhat még, utána hirtelen visszahúzódhat és normális belobbanás következik be, vagypedig tovább növekszik a kifordult rész. A növekvő kifordult rész egyre több rendszeren belobbanó anyagot próbál áthúzni, ha ez sikerül, akkor a kupola akár teljesen ki is fordul. Ha nem sikerül, akkor egy egyensúlyi állapot, félig kifordult és félig rendszeren belobbant kupola lesz, ezt a fajtát nevezik Mae-West-nek (szálátcsapódásnak).
- b) Oldaláramlással történő szálátcsapódások akkor alakulnak ki, amikor oldalirányú légáramlás próbálja meg a kupola egy részét a másik rész alatt átnyomni. Ha ez végbemehet, akkor ugyanolyan szálátcsapódási helyzet áll elő, mint az a) pontban leírt.
- c) Tagolt belépőél miatt bekövetkező szálátcsapódás akkor keletkezik, amikor egy zsinórcsoport valamiért összeakad, így a belépőél egy része alacsonyabbra kerül a többinél, ismét az a) pontban leírt szálátcsapódási helyzet áll elő.

A szálátcsapódások megfelelő tárgyalásához célszerű egy terminológiát kialakítani és alkalmazni. Ezért az egyes kifejezések definícióit is megadjuk:

RÉSZLEGES KIFORDULÁS (szálátcsapódás), amikor a kupola egy része kifordulva, egy része normálisan lobban be.

KIFORDULÁS, amikor a kupola belsejével kifelé fordulva lobban be.

IDŐLEGES KIFORDULÁS (időleges szálátcsapódás), amikor a kifordult kupolarész visszatér normális helyzetébe, rendszeren belobbant.

SZÁLÁTCSAPÓDÁS, amikor a belobbanás után fennmarad a két félkupolából álló forma.

KERESZT KIFORDULÁS (kereszt szálátcsapódás, amikor az átcsapódó kupolarész a szemben lévő belépőél alatt halad át.

OLDAL KIFORDULÁS (oldal szálátcsapódás), amikor az átcsapódó kupolarész nem szemben, hanem oldalt lévő belépőél alatt halad át.

Károsodás

A kifordulások és szálátcsapódások általában kupolakárosodást okoznak és felismerhetők a jellegzetes beégéses mintázatról. A kiszakadt szeletek, az elszakadt belépőél és zsinórok ugyancsak gyakori következményei a nagyobb sebességeken bekövetkezett szálátcsapódásoknak (kifordulásoknak).

A károsodás rendszerint a súrlódáskor keletkező hő miatt kezdődik, amely megolvasztja az anyagot ott, ahol az gyorsan áthúzódik a másik rész belépőéle alatt. Ez a súrlódásos beégés meggyengíti az anyagot és különösen nagyobb sebességeknél ez szakadást idéz elő. Tipikus károsodási jegyek az elszórtan található 10–50 mm átmérőjű égett lyukak, több szomszédos kupolaszelet alsó 1/3–2/3-án.

A belépőél azon szakasza, amely alatt a kiforduló kupolarész áthúzódik, rendszerint egy kis területű súrlódásos beégéssel rendelkezik középen, rendszerint a belső oldalon. A többszínű kupolák esetében gyakran következik be szín-átdörzsölődés az áthúzott kupolaszakasz és az áthúzási rész között.

Növekvő nyitási sebességnél a vizsgálatok során látható volt, hogy jelentősen növekszik a szálátcsapódások száma, s a kupolakárosodások jelentős része éppen a szálátcsapódás miatt következik be.

A 2. sz. ábra egy tipikus károsodási képet ábrázol a C–9 típusú ejtőernyőkupola részleges kifordulása után. Ez a károsodás azonban nem befolyásolja jelentős mértékben a kupola merülési sebességét.

A 3. sz. ábrán egy olyan kupolakárosodást láthatunk, melynél két zsinór elszakadt. Mindkét zsinór annak a szeletnek a két oldalán volt, amely alatt a kupola átcsapódó része áthúzódott. Miközben a kupolarész áthúzódott, a keletkező súrlódási hő eléggé megolvasztotta mindkét zsinórt ahhoz, hogy elszakadjon. A merülősebességben azonban ez sem okozott lényeges változást.

A 4. sz. ábrán olyan károsodás látható, amely egy kiszakadt kupolaszeletet is tartalmaz, elszakadt belépőélel együtt. Itt a beégési károsodás elég nagy volt ahhoz, hogy a belépőél is elszakadjon. A belépőél hirtelen elszakadása miatt a szelet anyaga is elrepedt, ez pedig kb. 40 %-os merülősebesség növekedést eredményezett.

A megmaradó szálátcsapódás rendszerint nem okoz nagymértékű kupolaanyag károsodást, azonban az égett lyukak és szakadások pörgést okozhatnak, ezzel már a földetérési sebesség akár 65 %-kal is megnő, igen kedvezőtlen földetérési körülményekkel együtt. Ha a szálátcsapódott kupola nem pörög, akkor a merülési sebesség növekedése rendszerint nem nagy.

Félreértések

Ezen fajta nyílási rendellenesség rosszul értelmezését jelzi a szálátcsapódás terminológia mechanikus alkalmazása, azaz ha ezt szó szerint értelmezzük. Igaz ugyan, hogy az ejtőernyős ugró amikor felnéz, úgy látja egy, vagy két zsinór megy át a kupola fölött és húzza össze az anyagot, de a valóságban ez egy kupolakifordulás, a kupola egy része a belépőél egy másik szakasza alatt ment át, a két zsinór és a belépőél csak határolja ezt.

A másik félreértés a szálátcsapódás keletkezési idejével kapcsolatos: nem akkor következik be, amikor az első belobbanás után a kupola részlegesen beroskad, hanem a kupolabelobbanás korai szakaszában.

Megelőzés

A szálátcsapódások megakadályozására, illetve arányának csökkentésére különböző eljárásokat vizsgáltak meg.

Az oldaláramlásos ejtőernyőnyílás megakadályozására, valamint a belépőél mozgásának korlátozására – a zsinórok kifeszüléséig – tett intézkedések egyformán hasznosak a szálátcsapódási arányok csökkentésére. Kidolgozásra került egy olyan rendszer, ami lényegében kiküszöböli a szálátcsapódásokat. Ezt a módszert jelenleg az USA Hadsereg T–10 típusú (I. Ejtőernyős Tájékoztató 1977/6. sz. 10. old., 1978. 6. sz. 29. old.) ejtőernyőin alkalmazzák. Ez a rendszer abból áll, hogy egy olyan elemet alkalmaznak a belépőél alatt, amely megakadályozza a kupolát abban, hogy egy szakasza elmozdulhasson egy másik szakasz alatt. Ennek a korlátozó elemnek elég nagy légáteresztésűnek kell lenni ahhoz, hogy önmaga ne kezdjen szálátcsapódásba. (l. 5. sz. ábra).

Az ilyen belépőél hálókat tartalmazó T–10 típusú ejtőernyőkkel végzett vizsgálatok azt mutatják, hogy félmilliónál több ejtőernyős ugrásnál a kupolakifordulások aránya mindössze 0,005 % volt, míg 1970 és 1977 között a hagyományos, azonos típusú ejtőernyőnél 0,33 %-os volt a kifordulásos rendellenességek száma.

Ennek az elemnek a hátrányos tulajdonságai a következők:

- nő az ejtőernyő összehajtogatott térfogata és súlya,
- nő a nyílási idő, nagy szórással,
- a háló összeakadási lehetősége fennáll.

A kísérleti vizsgálatokat az USA Légierő Aeronautikai Osztálya végezte, vékony hálóval (MIL–C–3395. I. anyag). Ilyen anyagból a C–9 ejtőernyőhöz készítettek 30,5 cm hosszú hálót (a T–10 típusnál a háló hossza 46 cm volt). (Az erősítések és a szerkezet rajza az 5. sz. ábrán látható.)

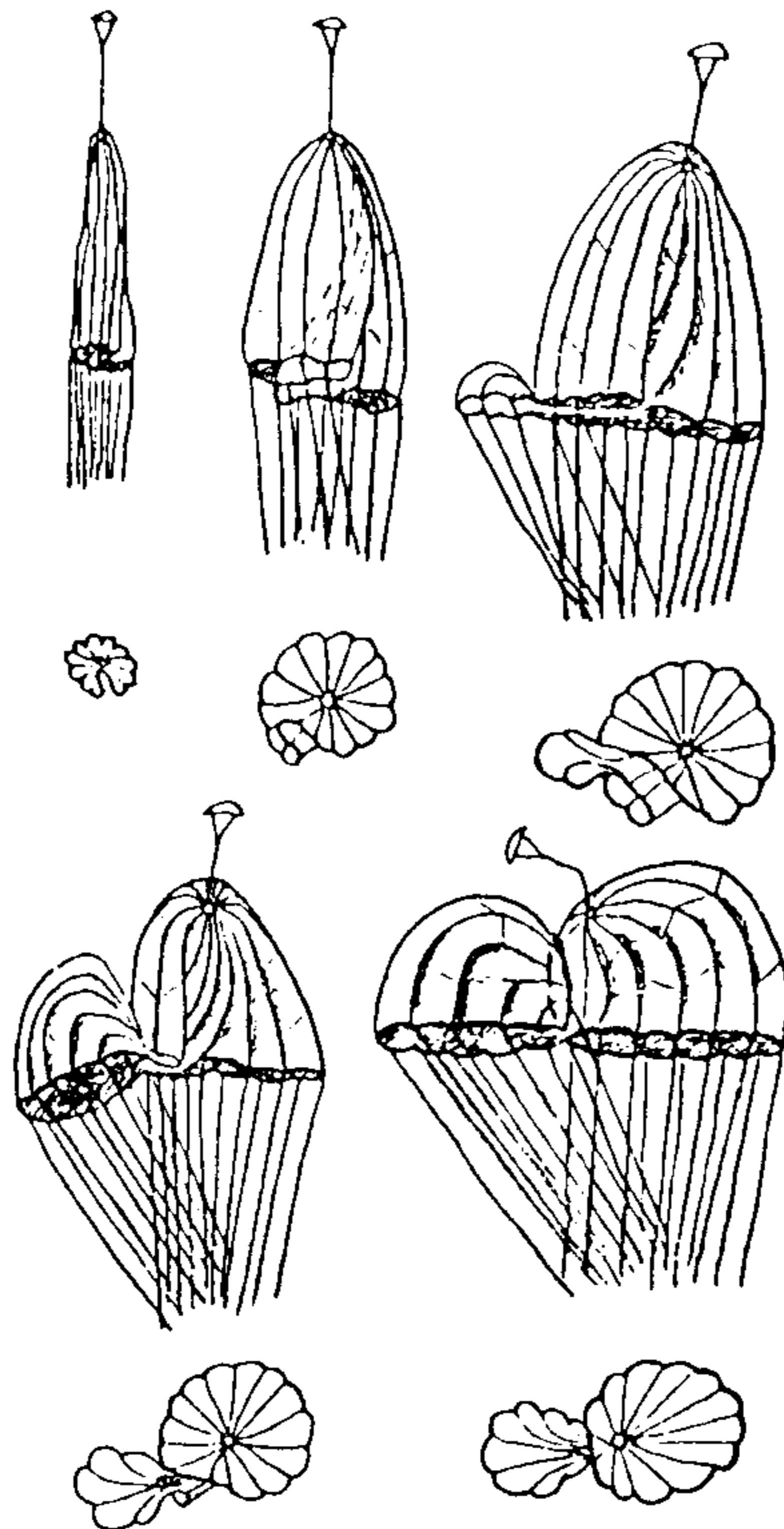
A C–9 típusú ejtőernyőnél az összes súlynövekedés 870 gramm volt, s a kísérleti értékek kedvezően alakultak, kifordulás nem következett be a viszonylag nagyszámú vizsgálatnál. Az ejtőernyő nyílási ideje lényegében azonos volt a standard ejtőernyővel, ezt a 6. sz. ábra mutatja.

A bevezetett elem csekély súly és térfogatnövekedést adott, ezért további kísérleteket vettek tervbe, mivel angol és amerikai tapasztalatok azt mutatják, hogy a háló anyagában való kisebb változtatások lényeges módosításokat jelentenek az ejtőernyő viselkedésében.

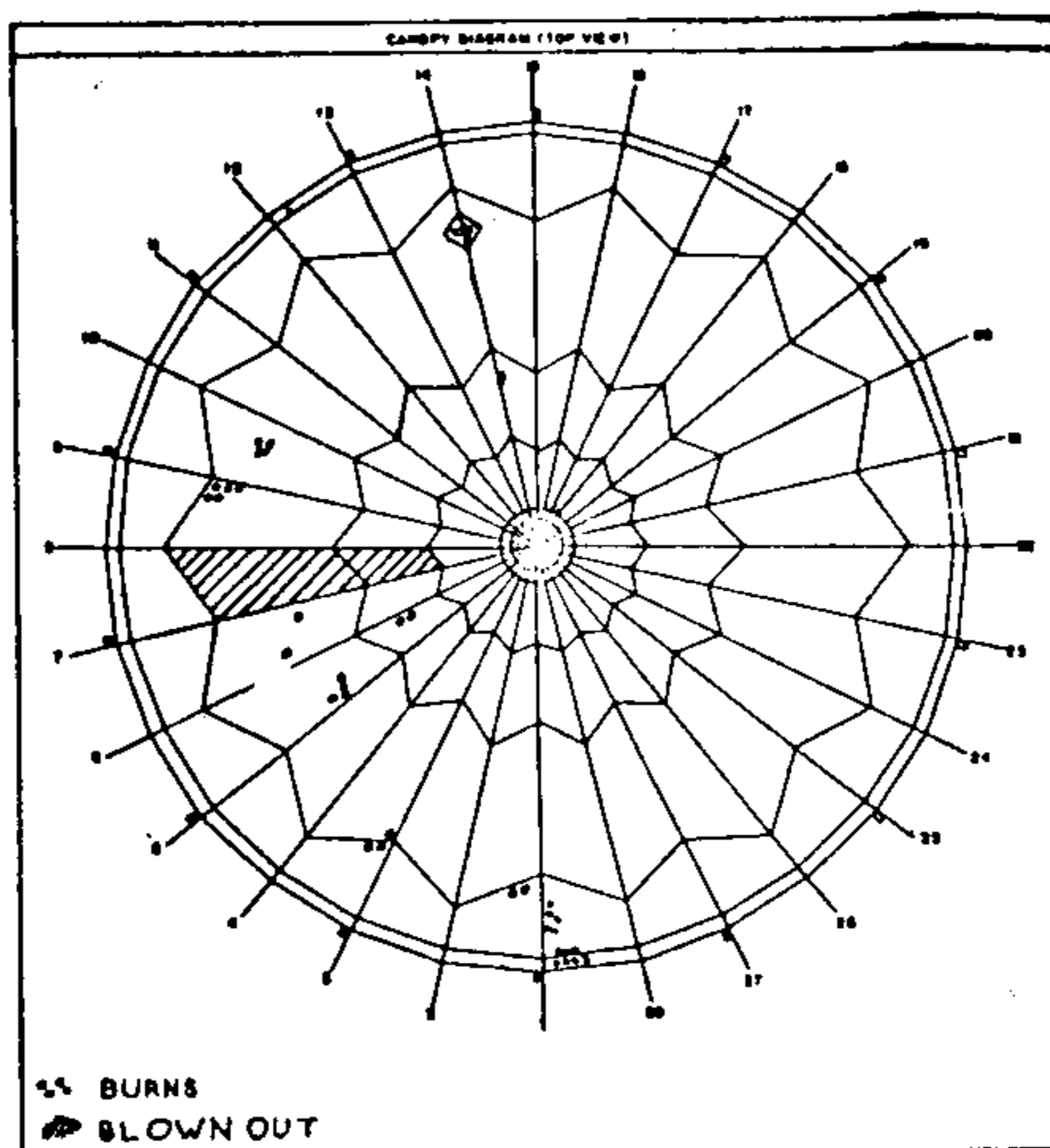
Összegezés

A szálátcsapódások forrásai az ejtőernyő rendellenességek egy típusának és egyfajta károsodásának. A jelenség alapos megértése, az okok feltárása potenciálisan jobb ejtőernyő-szerkezetek kialakításához vezethet.

Fordította: Szuszék os János

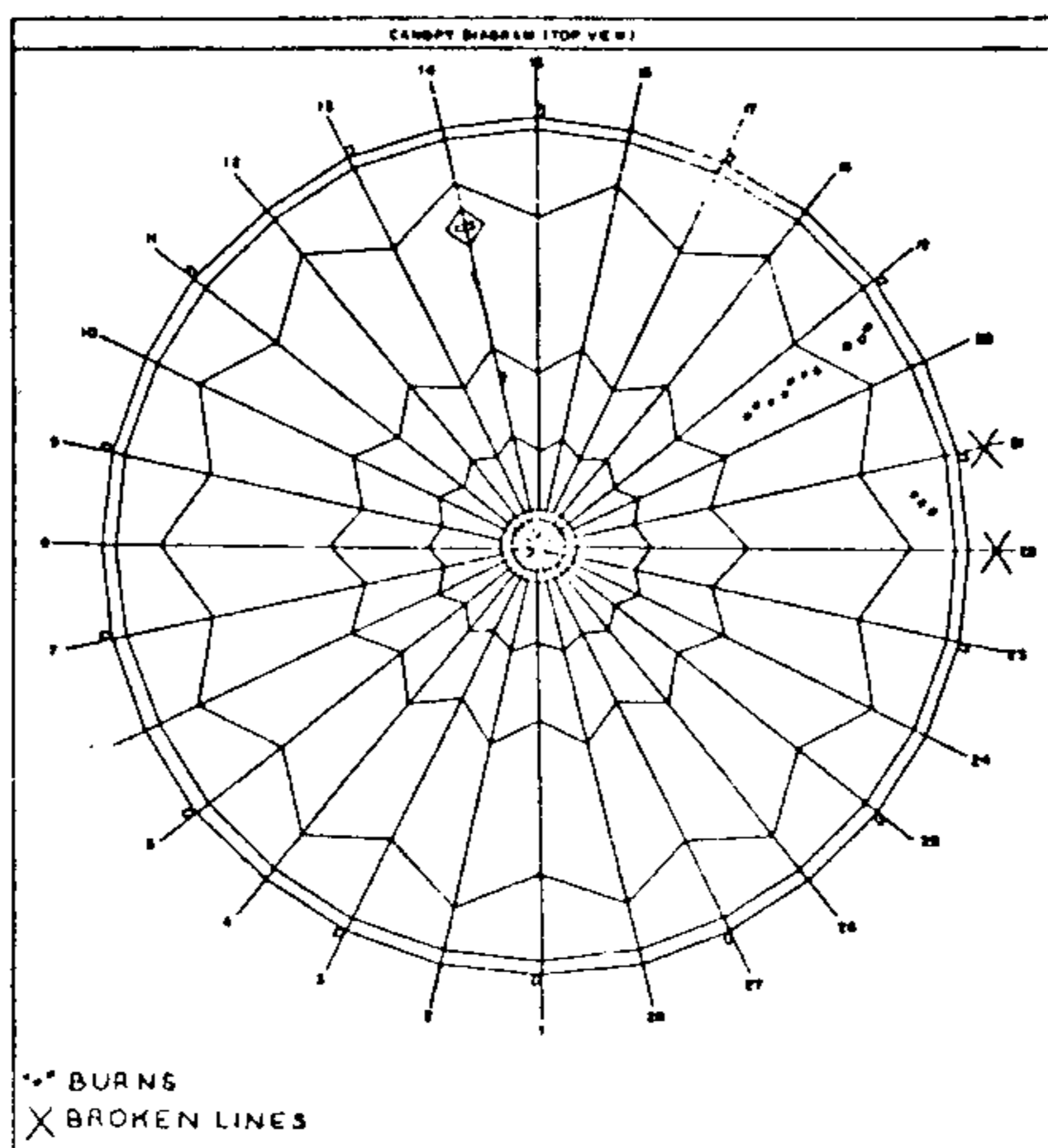


1. ábra
A szálátsapódás kialakulási folyamata.



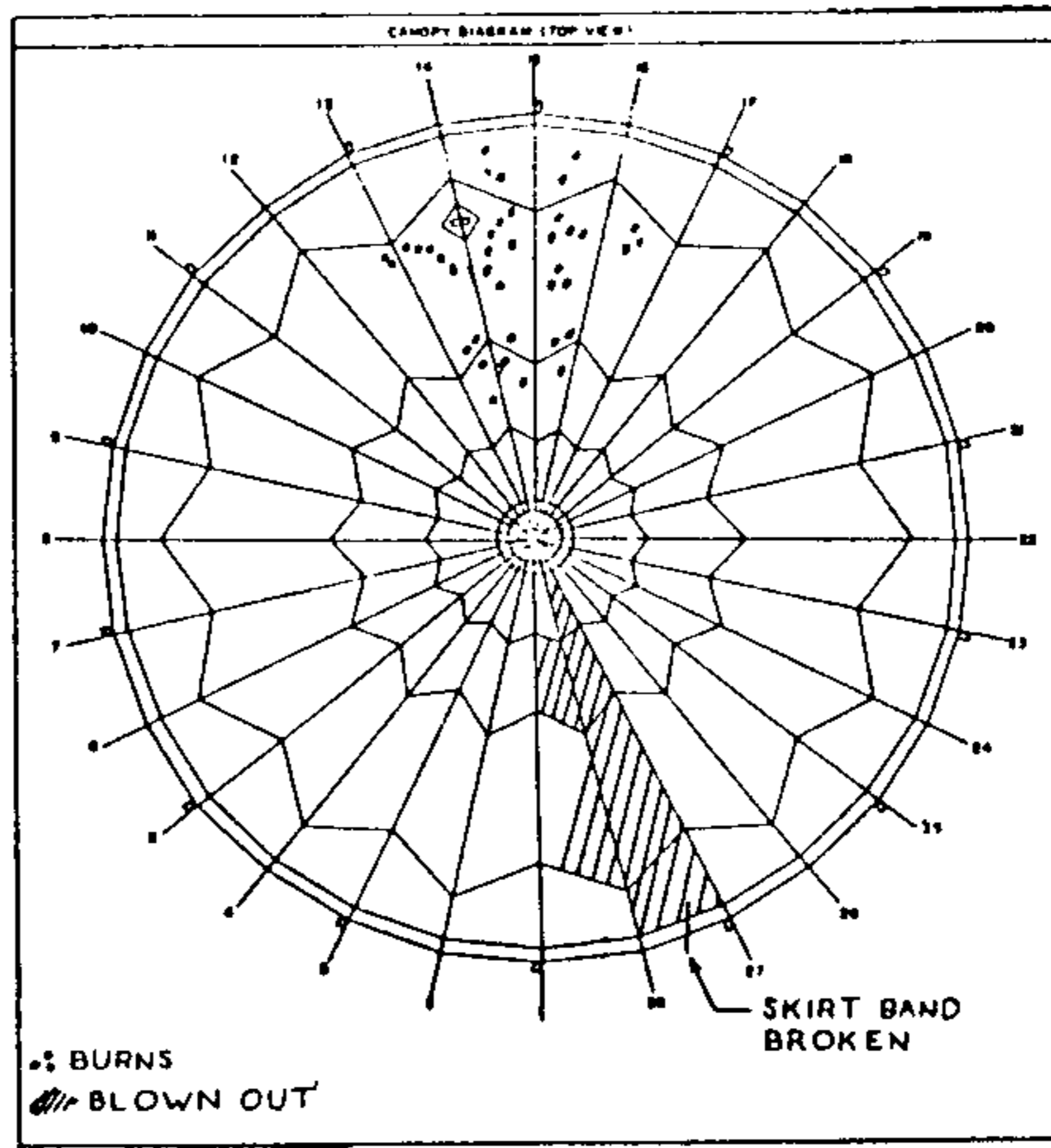
2. ábra

Részleges szálátcsapódás jellegzetes sérülései. A 7. szelet környezete csúszott át a 28. szelet alatt ••• égés [shaded] szakadás



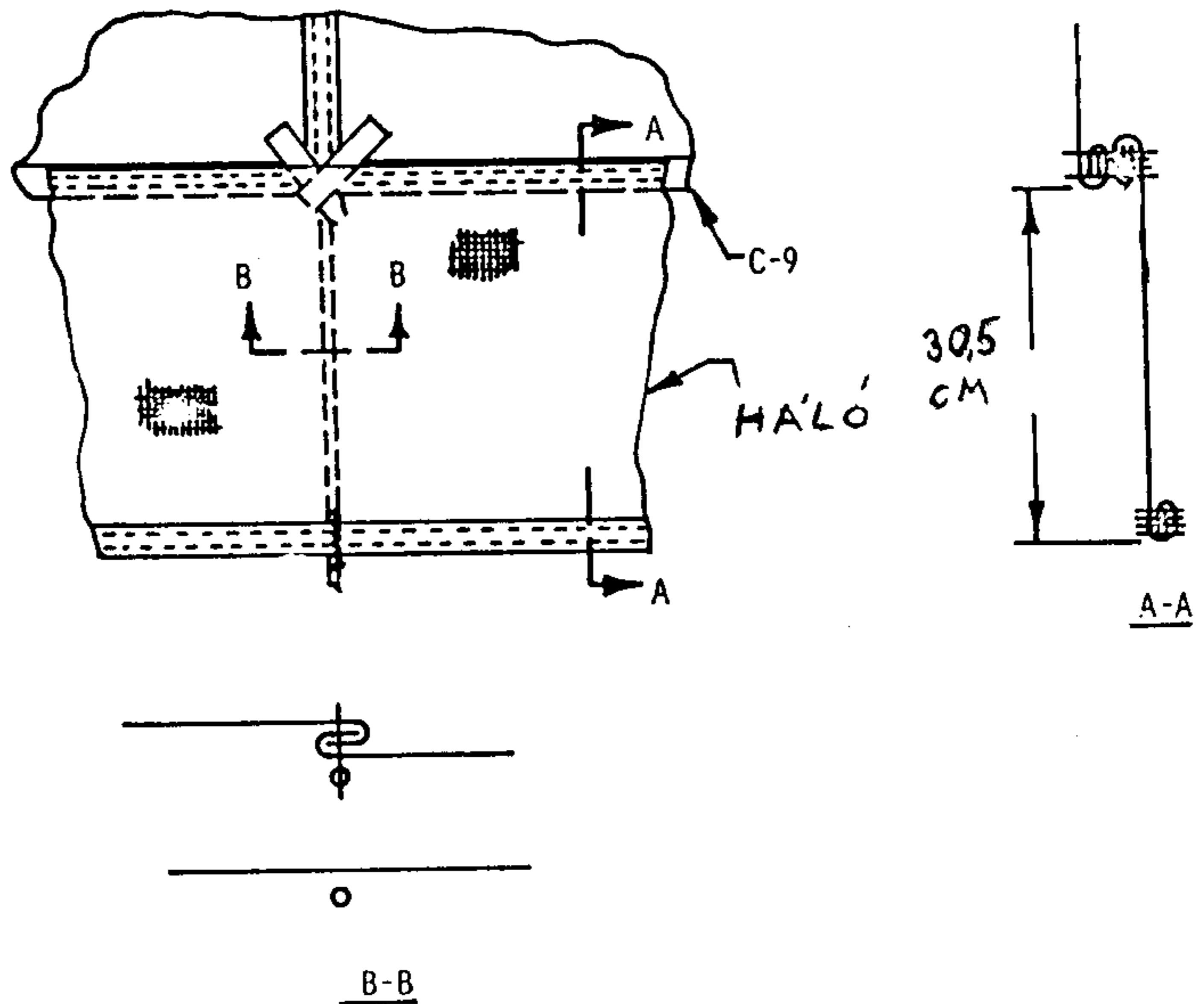
3. ábra

Részleges szálátcsapódás jellegzetes sérülései, 2 zsinór elszakadásával. A 19. szelet körzete csúszott át a 21. szelet alatt.



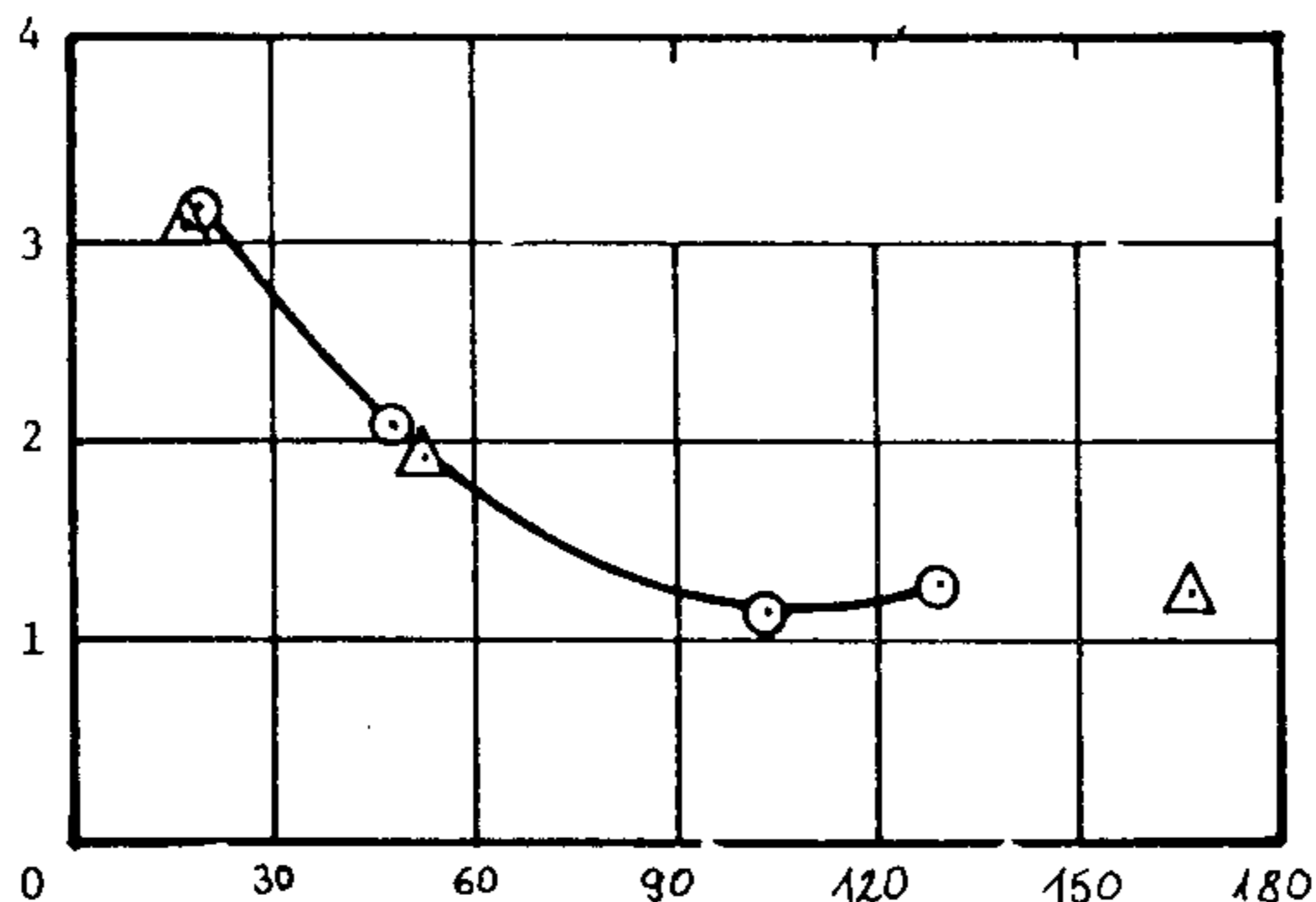
4. ábra

Teljes szálátcsapódás jellegzetes sérülései. A 14. szelet csúszott át a 27. szelet alatt, a belépőél elszakadt.



5. ábra

Szálátcsapódás elleni háló a C-9 típusú ejtőernyőn.



6. ábra

C-9 ejtőernyő nyílási ideje védőhálóval \odot és védőháló nélkül. \triangle
 a – nyílási idő (s) b – nyitási sebesség (m/s)

J.D. Reuter: KERESKEDELMI EJTŐERNYŐK

(AIAA 6. Aerodinamikai fékezőeszköz és ballontechnológia konferenciája. Referátum szám: 79-0458)

Kivonat: Ez a tanulmány a kereskedelemben kapható mentőernyők és részeik bizonyos aspektusait tárgyalja. A jelenlegi gyártástechnológiák és az ejtőernyőkre vonatkozó előírások lehetővé teszik olyan kisméretű ejtőernyők gyártását is, mint az 5,8 m átmérőjű, de ugyanakkor a nyitási rántást csökkenteni kellett. A tartalékernyők leggyakrabban előforduló nyílásrendellenessége a kupolakifordulás. Az ilyen jellegű rendellenességeket nagymértékben csökkenteni lehet egy egyszerű belépőél-hajtogatási módszerrel. A könnyű, gyorsan csatlakoztatható hevedervegről bebizonyosodott, hogy megfelelő tulajdonságokkal rendelkezik, ha helyesen van felszerelve és megfeszítve.

Az ejtőernyő méretcsökkentésének szempontjai

A könnyű, kis helyet elfoglaló kereskedelmi mentő- és tartalékernyők iránti igényt a javított tulajdonságú anyagokkal és a kupolaméretük csökkentésével elégítették ki. Az a lehetőség, hogy az ejtőernyő méretét és helyfoglalását csökkenteni lehet a merülősebesség növekedése nélkül, a könnyű, kis légáteresztő képességű anyagok kifejlesztésének és a siklóernyő rendszerek bevezetésének köszönhető.

Az 1. sz. ábra elvi kapcsolatot szemléltet a kupolaanyag légáteresztőképesség és a meglévő kupolaszerkezetek tényleges légellenállása között. A tényleges légellenállást az összes sebesség függőleges komponense, illetve a vertikális sebesség adja meg tényezőként. Látható, hogy a hatásos légellenállás rohamosan megnövekszik, ha megakadályozzuk a kis légáteresztésű kupolák lengését és az ejtőernyőt egyirányú siklásra kényszerítjük. Az ejtőernyőknek ezt a jellemzőjét nem nehéz biztosítani, ezt bizonyítja a kereskedelemben kapható sport- és tartalékernyők számos variációja.

Érdekes tanulmányozni, mekkora a legkisebb kupolaméret, amely a gyakorlati felhasználhatóság követelményei mellett a jelenlegi technológiával előállítható.

Az FAA (Légügyi Hatóság) merülősebességre vonatkozó előírása a következő maximumokat adja: mentőernyő 6,4 m/s, tartalékernyő 7,6 m/s, ha a szállított személy súlya (összsúly) 76,5 kg.

Ezen követelmény szélsőértéke – 7,6 m/s sebesség a tengerszinten – már alig valamivel nagyobb,

mint 4,26 m átmérőjű ejtőernyővel elérhető. De ez a határérték nem tekinthető reálisnak, ha a sérülésmentes földetérés a kritérium. A gyakorlati követelmény tehát: 1200 m magasságban, 90 kg hasznos tehernél csak 6,4 m/s lehet a legnagyobb merülési sebesség. Ezt a követelményt pedig már 5,8 m átmérőjű ejtőernyővel – melynek súlya akár 2 kg is lehet – teljesíthetjük. Az ilyen kisméretű ejtőernyőnek a bevezetésekor azonban figyelembe kell venni az ejtőernyő nyílási jellemzőit, a nyílási terhelést okozó erőket is. Várható, ha az ejtőernyő méreteit csökkentjük, akkor a belobbanáshoz szükséges idő is csökken. Ezt a tendenciát a 2. sz. ábra tanúsítja, ebben azonos szerkezetű 6,7 m, illetve 7,9 m átmérőjű ejtőernyők csaknem azonos körülmények (hasznos súly, nyitási sebesség, nyitási magasság) közötti vizsgálati eredményei láthatók. Ugyanebben az ábrában az 5,8 m átmérőjű „elvi” ejtőernyő nyitási sebessége is szerepel. (Ez a becslés a kupolatérfogat, töltődési idő és a kupolaátmérő közötti elvi kapcsolaton alapul. (Szerk. megjegyzése: A feltöltődéssel kapcsolatos matematikai részletek az Ejtőernyős Tájelejtő 1977/5. és 1980/6. számában – utóbbi 21. oldalától – található.)

A 2. sz. ábra feltöltődési (belobbanási) jellemzőivel lehetséges vetületi kupolaterületre számított légellenállási tényező meghatározása a vizsgált ejtőernyőkhöz hasonló iniciális körülmények közötti nyílási-csúcsterhelés becslésére, illetve számítására. Az ilyen számítások eredményeit a 3. sz. ábra illusztrálja különböző hasznos terheléseknél és iniciális állapotoknál, olyankor, amikor az ejtőernyősugró kritikus sebességnél nyit vízszintes-hason testhelyzetben 1500 m tengerszint feletti magasságon.

Látható, hogy a nyitóterhelés legnagyobb értéke igen gyorsan túl nagyra nő, ha a kupolaátmérő 6,7 m alá csökken. Ilyenkor nemcsak a maximális nyitóterhelés növekszik meg – az ejtőernyő méretcsökkenésénél –, de a kupola alakja is lényegesen megváltozik, a legnagyobb terhelés hatásakor.

A 4. sz. ábra ezt a hatást jellemzi, amikor a relatív kupolaátmérőt (a pillanatnyi vetületi átmérő és a teljesen belobbant kupola vetületi átmérőjének viszonya) a vizsgált ejtőernyőknél a csúcs-terhelés fellépésekor bemutatja. Látható, hogy az 5,79 m átmérőjű kupola a legnagyobb nyílási terhelés idején a teljesen belobbant kupolaátmérő 70 %-át érte el, míg 7,9 m átmérőjű kupolánál a legnagyobb terhelés 30 %-os átmérőnél van.

Az ejtőernyős ugró szempontjából teljesen mindegy lehet, milyen alakú a kupola a legnagyobb nyílási terhelésnél, azonban az ejtőernyőtervezőnek ezt a körülményt is mérlegelni kell. Például egyetlen zsinór elszakadása, amikor a kupola majdnem teljesen nyitott állapotban van, annak az erőnek a megnövekedését is jelenti, amely átadódik a belépőélről a következő (szomszédos) ép zsinórra. Ez a hatás társulva a belépőél és a zsinór közötti szögek változásával, előidézhetheti a szomszédos zsinórok „lefejtődését” már sokkal kisebb terhelés mellett is, mint a zsinórok tényleges szakítószilárdsága. (Erről lásd a 79-0451 sz. referátumot is.)

A kis porozitású ejtőernyők feltöltődési idejének meghosszabbítására gyakran javasolt módszer olyan jellegű nyíláskésleltető (slider), mint amilyent a légcéls ejtőernyőknél alkalmaznak.

Ezt a koncepciót Floyd Smith még a 40-es években szabadalmazta, de eddig még nem ért el vele számottevő kereskedelmi sikert. Ennek oka, valószínűleg az 5. sz. ábrán tanulmányozható, mely a csúszólappal kapcsolatos. A közel 0 porozitású személy-ejtőernyő a 6. ábra szerinti 35,5x35,5 cm méretű csúszólappal van ellátva és a nyílási idők a szélkémények függvényeként láthatók. Olyan szélkémény területtel, amilyent az azonos porozitású ejtőernyőknél alkalmaznak, a teljesen belobbant állapot nem volt elérhető 20 másodperc alatt, habár a kupola hamar felvette a „körte” alakot, melynek – az elvárás szerint – a csúszólapot lefelé kellett volna kényszeríteni.

A szélkémény területét csökkentve, továbbá a szövetanyag felszínét a csúszólapban a körtealak tovább nő és a csúszólapot lefelé kényszeríti. Ennek a lefelé mozgásnak a következménye a kupola teljes feltöltődése lesz. Ezen korlátozott sikerű eredmények láttán már könnyen belátható, miért nem volt sikeres Smith koncepciója akkor, amikor nagyobb porozitású ejtőernyőanyagokkal kellett dolgoznia, miért nem sikerült működőképes nyitóterhelés csökkentő eszközt előállítania. (Szerk. megjegyzése: N.A. Lehanov: Osznovü raszcsota i konsztruironanyija parasjutov 1965. évi kiadásában a csúszó nyíláskésleltető egy olyan háború alatti német változatát ismerteti, amely minden zsinórt kü-

lön nyíláson vezetett és csak egy keretből állt, tehát a 6. ábra szerinti középső nyílás megközelítette a külső átmérőt.)

Rendellenes nyílás

Elvárható, hogy minden ejtőernyő rész, mely kritikus az életmentés szempontjából, megnyugtató szerkezeti biztonsággal rendelkezzen. Ha ez a kívánság nem is valósulhatott meg teljesen a múlt selyem és pamut kupoláinál, úgy elmondható, hogy a mai favorit ejtőernyőanyagok, a poliamidnak a bevezetésével ez ma már teljesült. Az ejtőernyőkön elsődleges szerkezeti meghibásodás nagyon ritka jelenség és ritkán okoz sérülést az általános ejtőernyős tevékenységben.

Ennek a kijelentésnek a kulcsszava az „elsődlegesség”, mert szerkezeti meghibásodások előfordulhatnak és elő is fordulnak rendellenes belobbanások alkalmával, de ilyenkor ezek másodlagos sérüléseket okoznak a szerkezetben.

A sportejtőernyőzés alkalmi nézőit valószínűleg megriasztaná, ha tudomásukra jutna, a modern ejtőernyőszerkezetek nemcsak jóval magasabb arányú nyílási rendellenességek forrásai, de amelletttől jóval kevésbé ellenállóak az ilyen rendellenességek eredményeként létrejövő mechanikai károsítóhatásokkal szemben.

Olyan ejtőernyőket piacra dobni, melyek biztonsággal ellenállnak a rendellenes kupolabelobbanásból származó mechanikai igénybevételeknek, úgy tűnik kivitelezhetetlen feladat, a tervezőnek a rendellenességet kell mérsékelni.

A rendellenes kupolabelobbanások uralkodójelleggel előforduló fajtája a Mae-West (szálátcsapódás) okozta kupolakifordulás. Noha úgy tűnik, évekig tartott, amíg felismertük ennek a rendellenességnek a kialakulási mechanizmusát, de tulajdonképpen egy nagyon egyszerű dolog, s ha már alaposan megismertük, általa számtalan olyan ejtőernyősérülés is megmagyarázható, melyek rejtélyesen, időnként előfordulnak.

Kupolakifordulás akkor alakul ki, amikor a kupola belépőél területének egy része az ejtőernyő belobbanási folyamatának kezdeti szakaszában nem kifelé mozog a beáramló levegő hatására, hanem befelé, át a normálisan működő belépőélen, majd átkerül a szemben lévő – vagy akár szomszédos – zsinórok között. (l. a 7. sz. ábrát.) A kupolaanyagok ezen abnormálisan „viselkedő” darabja rendszerint visszatér normális helyzetébe anélkül, hogy az ejtőernyős észrevette volna a rendellenességet. Ennek az az oka, hogy a kupola rendszeren belobbanó része visszahúzó hatást fejt ki. Később, azonban törheti az ugró a fejét, miért keletkeztek azok a kisebb-nagyobb beégések a kupola belépőéle közelében. Más esetekben a kupola egy „tévelygő” része „fog” levegőt, külön lobban be egy megmaradó kupolarésszel együtt, így két félkupolát alkot. Az az anyagrész, amelyik helytelenül lobbant be, belsőjével kifelé van, ez a „kifordulás”.

Annak érdekében, hogy a kupola folytassa a megkezdett belobbanást, ilyen esetben a kifordult kupolarész további anyagot húz maga után a kupola normálisan belobbanó részéből. Eleinte, amikor a zsinórok még viszonylag lazák, kicsi a mozgással szembeni ellenállás, alaposan megnőhet ez a kifordult rész. Eközben azonban a kupola normális része is megtelik levegővel, vissza kezdi húzni az áthúzott anyagot. Ennek aztán az a következménye, hogy egy „kötélhúzási játék” alakul ki. Lehet, hogy az eltévedt kupolarész visszatér, visszakényszerül rendes helyére, a kupola normálisan belobban, de az is lehet, hogy a rendellenes rész bizonyul „erősebbnek” és az egész kupolát maga után húzza, ilyenkor normális kupolaalak alakul ki, de a kupola teljesen kifordul.

A „kötélhúzás” azonban a két kupolarész között legtöbbször nem dől el egyik irányba sem, a két kupolarész megmaradásával kialakul a szálátcsapódás.

Ennek a folyamatnak – a „kötélhúzásnak” – a fő áldozata a belépőél és a felette lévő anyag, a „senki földje”, amely alatt a „vita tárgyát képező” anyag vonszolódik. Ilyenkor a belépőél szalagjára nagy súrlódóerő hat, miközben a kupolaanyag és a radiális varratok átkényszerülnek a zsinórok

között, kifeszül a belépőél, túlterhelődik esetleg valamelyik zsinór a tartó belépőélnél és elszakad. Ilyenkor az ív tovább tágul, csökken a terhelés – esetleg nem szakad el a zsinór sem – és a két félkupola megmarad.

Azok a zsinórok, amelyek a részben kifordult kupolát „megnyergelték”, gyakran leszakadnak a radiális varrásokról, így a radiális szalag és a pillangó (erősítő rátét) nem sérül meg. Amikor a belépőél szalagjában nagy erőhatás ébred és a zsinór vektorirányába kerül, a szakítóterhelést viszonylag egy kis számú varratnak kell elviselnie. Amikor ez a szakítóerő eléri a 108 kg értéket (laboratóriumi mérés szerint) a zsinór öltései az erősítőnyelvnél elszakadnak. Ekkor a zsinór a radiális szalagot lefelé húzza, az erősítő rátét hurokjába és a zsinór felerősítése fokozatosan elválik. Belátható, hogy a zsinór ilyen leszakadása független a zsinór szakítószilárdságától.

Az ív alatt átvonszolódó kupolaanyag is megsérül, mert közben összekeveredik más mozgó, csúszó kupolarészekkel is. Az ilyen károsodás rendszerint sok, szabálytalan – általában apró – kiégett lyuk formájában jelentkezik, de található egy, vagy több csíkban meghúzott anyagterület is. A kupolaanyag károsodás mértéke a kupola teteje felé fokozódik.

Annak valószínűsége, hogy a kupolakifordulás bekövetkezik, nagyban függ a nyílási rendszertől és nagyon félrevezető lenne egy meghibásodási ráta megállapítása. A nyílási rendellenesség bekövetkezésében a kupolaanyag porozitása és a kupola típusa is igen fontos tényező.

Az angolok például megfigyelték, hogy a szálátcsapódás jellegű rendellenességekre való hajlam a selyempkupoláknál nagyobb, mint a szintetikus anyagoknál.

Az 1. sz. táblázat a különböző kupolatípusok és nyílási rendszerek csoportosításában tartalmazza a nyílásrendellenességek adatait. Noha a táblázatban közölt számok pontossága némileg bizonytalan, mégis nyilvánvaló, hogy:

- a nyílásrendellenességek száma napjaink legnépszerűbb tartalékernyőinél magas,
- a nyílásrendellenességek arányszáma elég magas ahhoz, hogy komolyan vegyük.

1. sz. táblázat

Kupola típus	Nyitási mód	Ugrások száma	Nyílási rendell. száma	Arány %
Deszant tip.	Bk.kötél, csomag, zsinór először	23 200 ⁽¹⁾	58	0,25
T-7A deszant	Bk. kötél, kupola először	739 230	2037	0,27 ⁽²⁾
T-10 deszant	Bk. kötél, csomag, zsinór először	1 338 852	1132	0,08 ⁽²⁾
Tart.ernyők	Kupola először, kisernyővel, v. anélkül	875	26	3,0 ⁽³⁾
Kis légáteresztésű tartalékernyők	Kupola először, kisernyővel, vagy anélkül	159	19 ⁽⁴⁾	11,9 ⁽⁴⁾

Megjegyzések:

- 1.) Az angolok – érdekes módon – szűrőpróba szerűen választottak ki 58, szálátcsapódással foglalkozó filmfelvételt. Számításuk szerint az ilyen nyílási rendellenességek aránya: 1:400, ebből határozták meg az ugrások számát.

- 2.) Csak olyan kifordult kupolákat foglal magába, melyek kifordulva maradtak a földetérésig, tehát az önmaguktól rendeződőket nem tartalmazza a kimutatás. A valószínű rendellenességi arány – valószínűleg – 2–3-szorosa a táblázatban megadottaknak.
- 3.) Nem tartalmazza azokat a kupolakifordulásokat (szálátcsapódásokat), melyek az ugró tudtán kívül jöttek létre és „múltak el”
- 4.) A táblázatban lévő adatok csak a szálátcsapódás miatt károsodott és jelentett eseteket tartalmazzák, tehát nagyobb feltétlenül a tényleges szálátcsapódások száma. Az olyan esetekben, amikor a rendellenesen működő főernyő nem került leoldásra biztos, hogy némelyik tartalékernyő éppen a főernyő miatt károsodott. Az irodalom a leoldott főernyők arányát 75 %-ra veszi, így 14 esetben nem történt érintkezés a főernyővel, ezzel pedig az arány 8,9 % lesz.

A nyílásrendellenesség arányszámának a növekedését két ok idézi elő, melyek kapcsolatosak a kis légáteresztésű kupolaanyag alkalmazásával:

- 1) a laterális erők, melyek az áramlásirányra merőlegesen hatnak és a porozitás csökkenésével nőnek, tehát megnövekszik a kupolarészek oldalirányú mozgásra való hajlama,
- 2) az eltérülő kupolarész kis porozitása még hatékonyabban „árnyékolja” a normális kupolarész belépő nyílását, késlelteti, illetve gátolja a normálisan belobbanó részek rendező hatását.

A szálátcsapódások megelőzésének egy hatékony eszköze van a „kupola először” nyílású ejtőernyőknél – olyan elem alkalmazása, amely megakadályozza a belépőél kiszabadulását mindaddig, amíg a zsinórok meg nem feszülnék. Ez az elem kibomlásakor szabályozza a belobbanás egyenletességét is.

A 8. sz. ábra két módszert mutat be, melyek ezt a célt szolgálják. Mindkét módszernél a legelőször végzett művelet (befűzés) bomlik ki utoljára. A belépőélzsáknak az az előnye, hogy korlátozza még a belépőél mozgásait a zsinórok megfeszüléséig.

A zsinórok összefogása és a zárócsap alkalmazása olyan ejtőernyőnél hasznos, mely lapos tokban van, így nem lehetne bennük elhelyezni a belépőélzsákkal összefogott kupola-aljat.

Ma már, a legtöbb kis porozitású, kormányozható ejtőernyő fel van szerelve ezen megoldások valamelyikével, s a jövőbeli rendellenességek elemzése fogja megadni majd a hatékonyságukat.

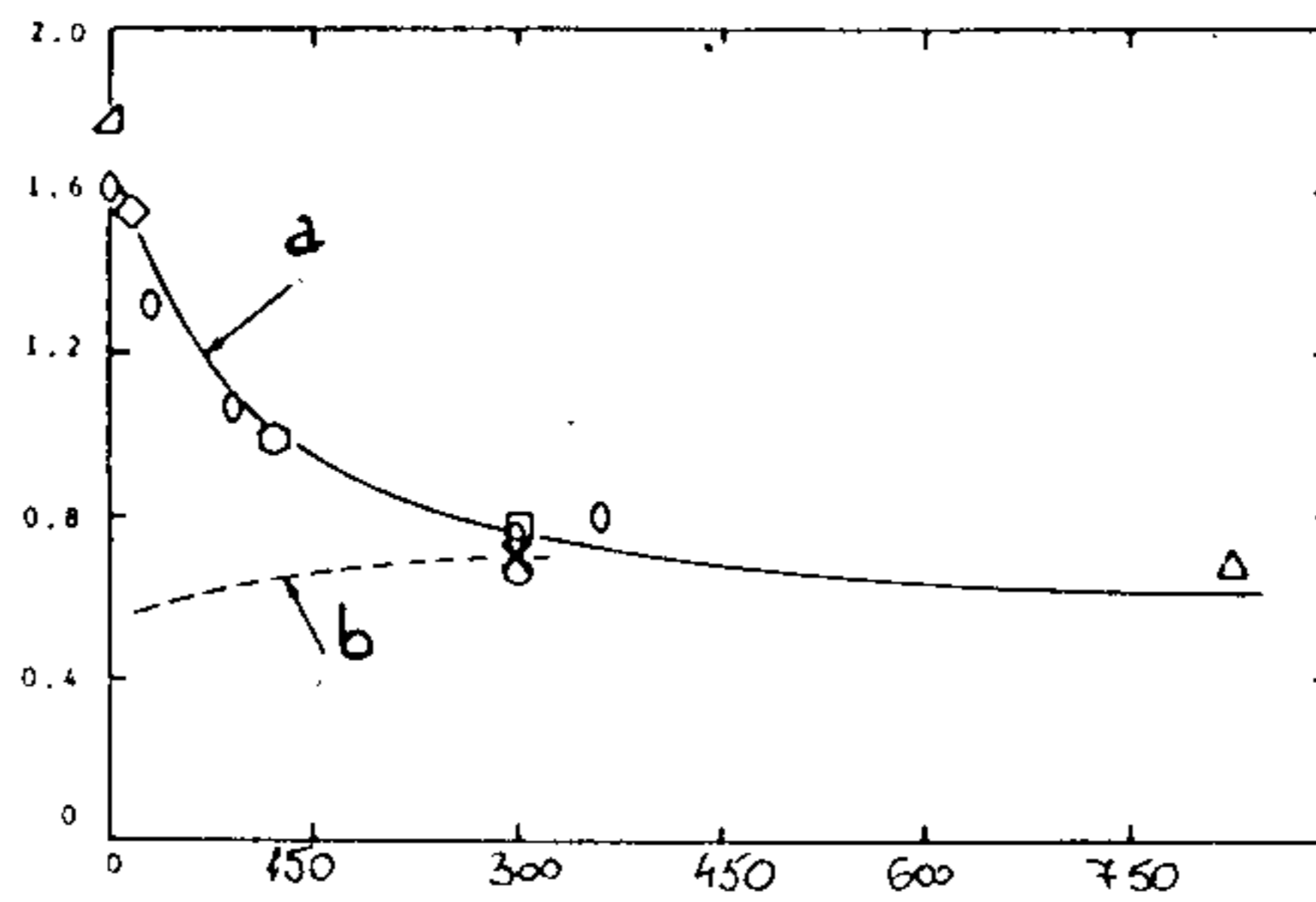
Kereskedelemben kapható gyorscsatlakozó elem

A sportejtőernyőknél alkalmazott, könnyen oldható, gyorscsatlakozó elem a Quick Link (Szerk. megjegyzése.: csavaros karabiner). Ennek az elemnek a gyártó által meghatározott teherbírása 337,5 kg – elég alacsonynak tűnik, azonban hatásos és jó, ha helyesen szerelik fel.

Helyes csatlakozáson azt értjük, hogy az anyát a meneten végig kell csavarni, mert a teljes szilárdság mindaddig nem valósul meg, amíg ez nem teljesül. Például egy-negyed fordulattal kevesebb felcsavarás menetszakadást okozhat, akár kis terhelésnél is.

Fordította: Szuszékos János

Szerk. megjegyzése: Az Egyesült Államokban használt tartalékejtőernyőkkel végzett kísérletek jó adalékot adnak ehhez a tanulmányhoz. Ezek leírása az Ejtőernyős Tájékoztató 1977. évi 6. számában, 1978. évi 1. számában és az 1980. évi 3. számában jelent meg.



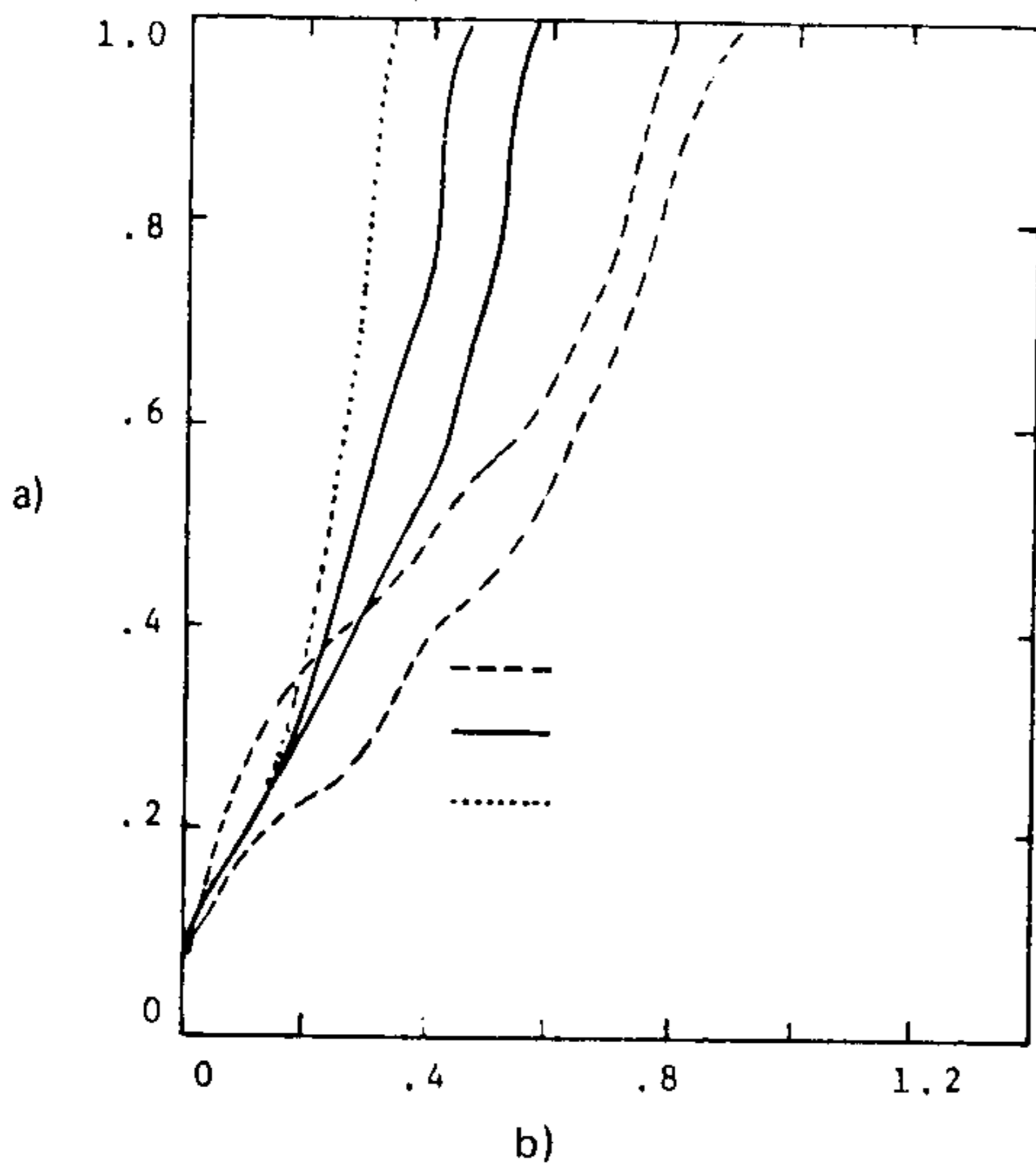
1. ábra

A légellenállási tényező és az anyagporozitás összefüggése.

Tényleges ellenállási tényező C_D eff.

Anyag áteresztőképessége (l/dm²/s)

- T-10 típusú ejtőernyő „T” alakú réssel
- T-10 típusú ejtőernyő HALO réseléssel
- ◇ Para-Commander
- × T-10 típusú ejtőernyő
- ∩ Körkupola
- △ Körkupola (szélcsatorna adat)
- ◁ 7,01 m átmérőjű TRI-CON
- ◊ 7,92 m átmérőjű TRI-CON
- a) merülésben
- b) lengésben



2. ábra
Tipikus átmérő-nyílási időviszonyok.

--- $D_0 = \emptyset 7,92 \text{ m } D_0$ (2 mérés)

— $D_0 = \emptyset 6,70 \text{ m}$ (2 mérés)

..... $D_0 = \emptyset 5,79 \text{ m}$ (számított)

a—átmérőviszony D_p/D_F

b—Idő (sec)

3. ábra
Nyílási terhelés

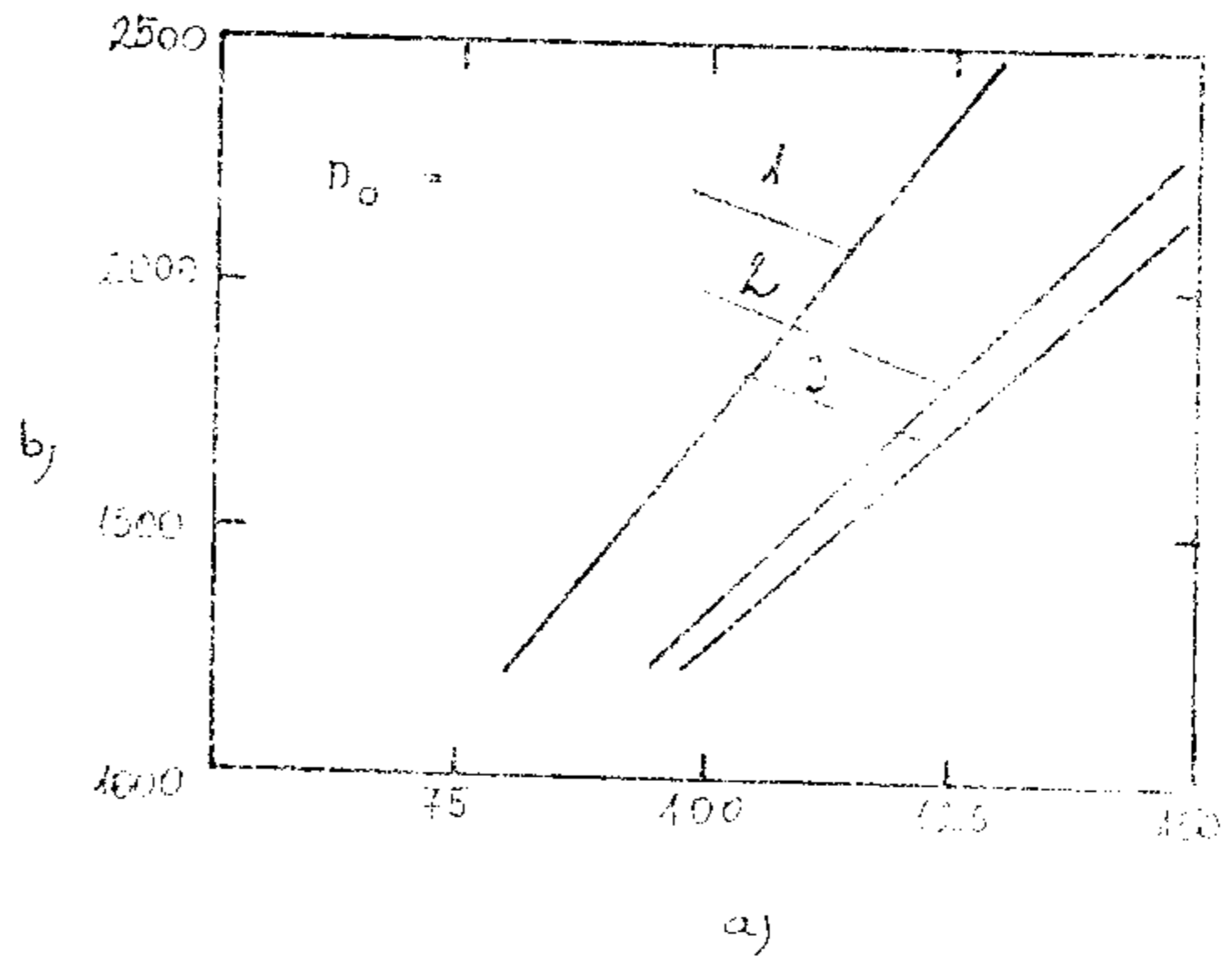
1) $D_0 = 5,79 \text{ m}$

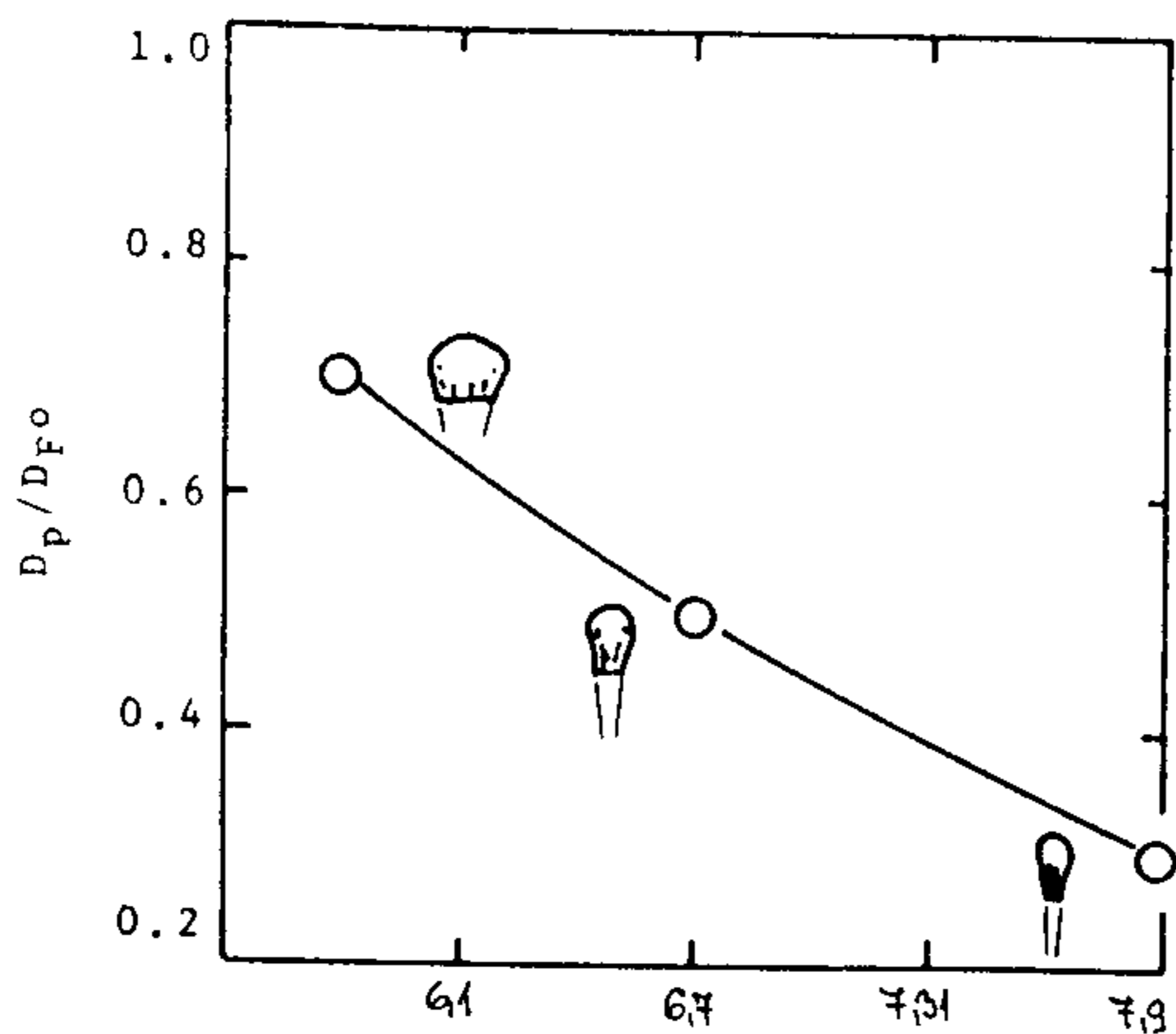
2) $= 6,70 \text{ m}$

3) $= 7,92 \text{ m}$

a - hasznos teher (kg)

b - nyílási terhelés (kg)





4. ábra

Átmérő viszony és csúcsterhelés összefüggése.

a) Névleges átmérő (m)

5. ábra

Nyílási idő 9,75 m átmérőjű ejtőernyőnél, csúszólap felülete függvényében.

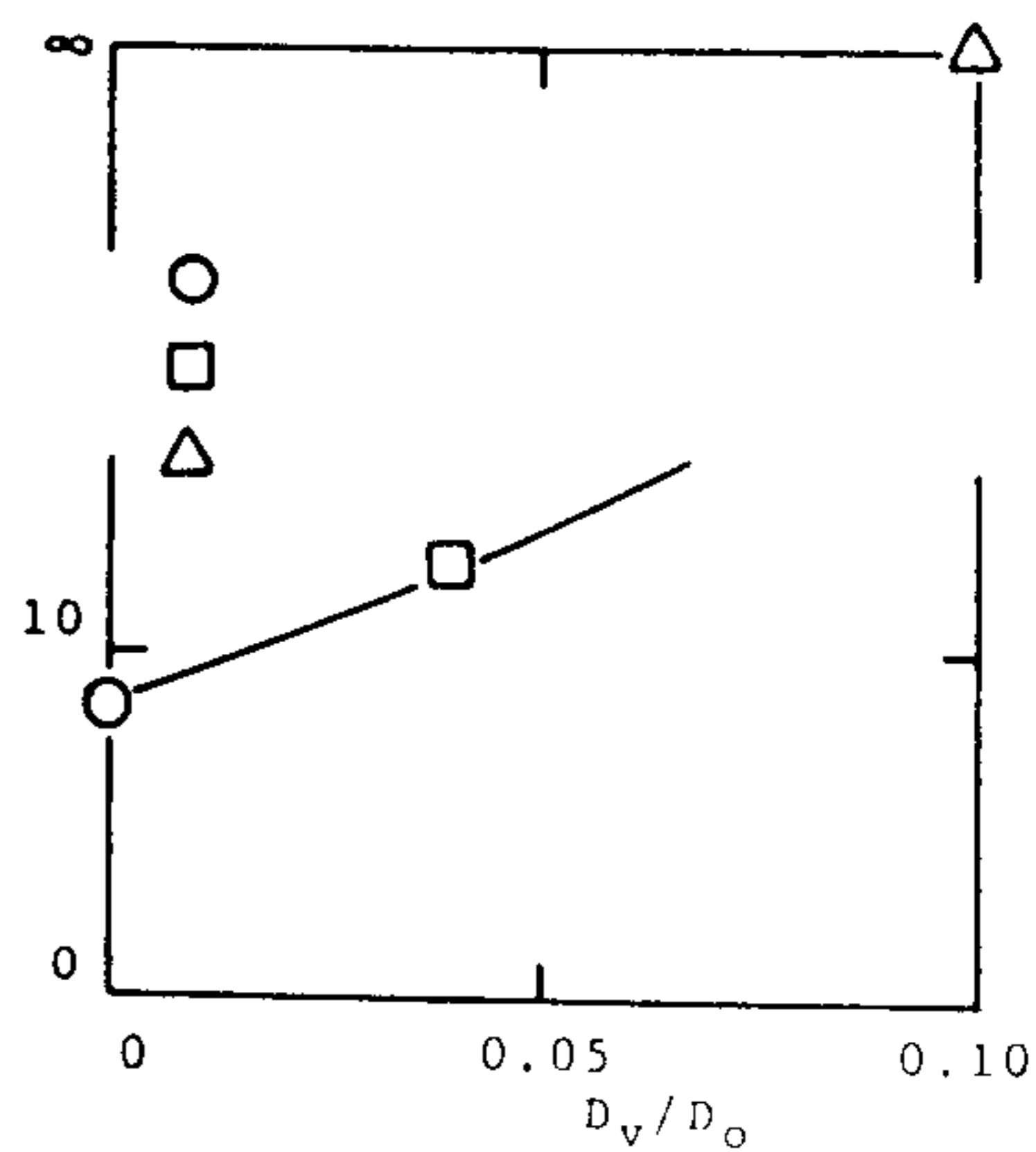
○ : 0,13 m²

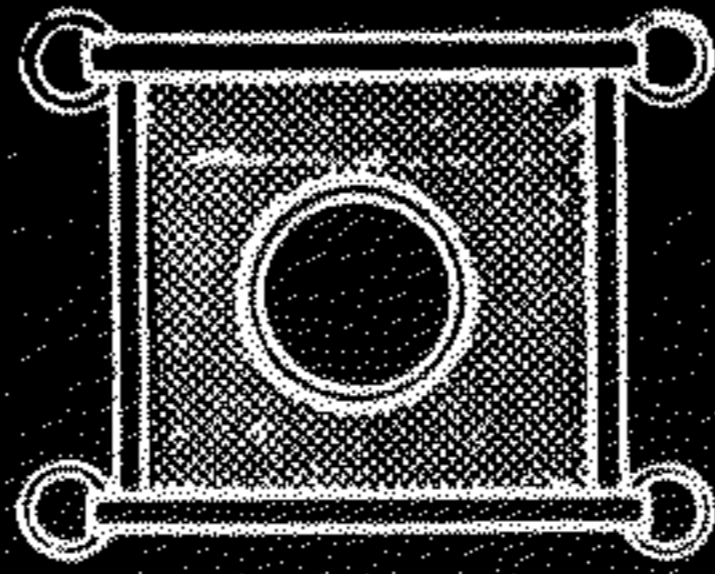
□ : 0,06 m²

△ : 0 m²

D_v/D_o – átmérőviszony

idő (s)

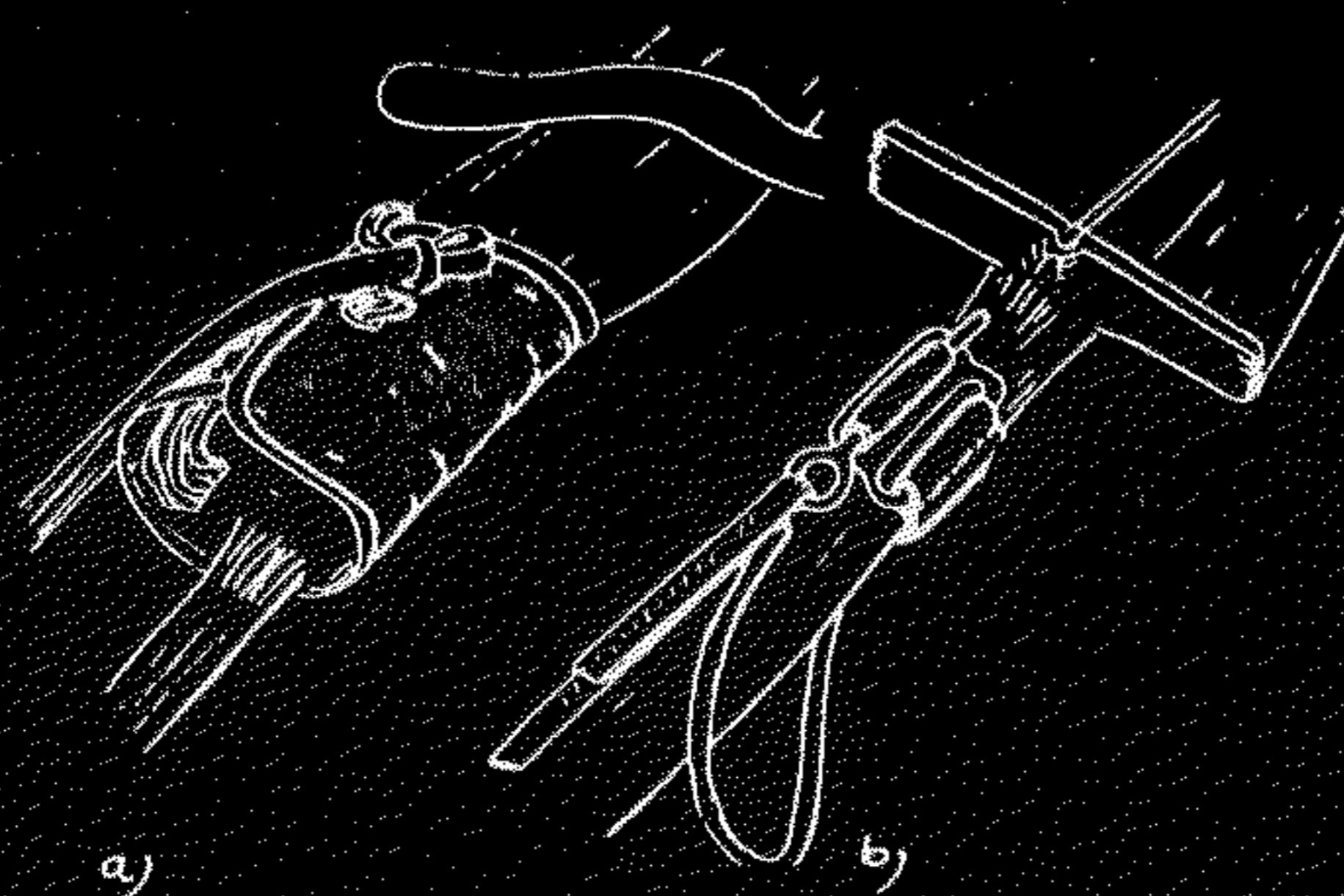




6. ábra
Csúszómembrán rajza.



7. ábra
Szálátsapódás kialakulásának kezdeti fázisa.



8. ábra
Kifordulásgátló megoldások. a) belépőélzsák, b) zsinórrögzítés.



1. fénykép
Tipikus szálatsapódási belépőél sérülés.



2. fénykép
Szálátcsapódásnál kiolvadt lyukak.

B.W. Roberts: EJTŐERNYŐBELOBBANÁS SZABÁLYOZÁSA A KUPOLACSÚCSHOZ CSATOLT FÉKEZŐESZKÖZ ALKALMAZÁSÁVAL

(AIAA.6. Aerodinamikai fékezőeszköz és ballontechológia konferenciája. Referátumszám: 79-0449)

Kivonat: Egy adott ejtőernyő belobbanási idejét egyrészt a belépőél késleltetők alkalmazásával, reefelő zsinórokkal, vagy a kupola legmagasabb pontján rugalmas anyag alkalmazásával, illetve más, hasonló technikával lehet növelni.

Másik oldalról viszont a belépőél húzószalagok (szerk.megj.: L. az Ejtőernyős Tájékoztató 1977 5. szám 21. old.), vagy középzsínórok alkalmazásával csökkenteni lehet a belobbanás idejét. Mégis, a kupolacsúcshoz erősített fékezőeszköz kevéssé volt eddig alkalmazva a belobbanási idő csökkentésére. (szerk.megj.: a T-2 típusú 4. szériájú ejtőernyőnél, mely nem felkötött belsőzsákkal rendelkezett, a kupolacsúcshoz egy rugó nélküli kisernyő csatlakozott. Ezzel nagyon lerövidült az ejtőernyő nyílási úthossza is.)

Ez a fékezőeszköz a belobbanás kezdeti fázisában növeli a zsinórok megfeszülését és ezzel növeli a belobbanási időt. Ezenkívül, a kupolaanyagra ható nyílási terhelést lényegesen csökkenti. Ezt a technikát vizsgáltuk meg számítógépes eljárásokkal, ugyanakkor rakéta-szán kísérleteknél is érdekes eredményeket kaptunk.

Bevezetés

Hasznos terheknek nagy sebességről és nagy dinamikus nyomásokról való aerodinamikus fékezése rendszerint ejtőernyők alkalmazását teszi szükségessé.

Ismert dolog, hogy ezek az ejtőernyők úgy vannak méretezve, valamint kikísérletezve, hogy képesek legyenek azokat a terheléseket és erőhatásokat elviselni, melyek a viszonylag rövid belobbanási idő alatt fellépnek. A terhelés és az erőhatás a kupolabelobbanás után közvetlenül egy-két nagyságrenddel csökken a belobbanási fázisban ható terheléshez és erőhatáshoz képest.

A belobbanási folyamat, illetve sorrend, aerodinamikus szempontból tekintve még nem eléggé tisztázott. Általánosságban is meglehetősen nagy a bizonytalanság még a változó nyomások és feszültségek számítása terén, de különösen nagy az ejtőernyőbelobbanás kritikus fázisaiban.

A nagysebességű ejtőernyős fékezéseknél alkalmazott klasszikus technika a többfokozatú ejtőernyő rendszer. Tény, hogy komoly súlymegtakarítás érhető el egy, vagy több ejtőernyőfokozat alkalmazásával akkor, amikor minden egyes fokozat a következő működésbe lépése előtt leválik. Az ejtőernyőfokozatok együtt alkalmazhatók a reefelési technikával (a reefelés eredetileg vitorlázó műszó és a vitorla rövidítésére utal) a belobbanási terhelések további csökkentése érdekében.

Ez a reefelési technika akár több ejtőernyőfokozatban is alkalmazható a teljes belobbanási idő növelése érdekében és az ejtőernyőkre ható terhelés csökkentése céljából.

A reefelés kiterjedt alkalmazásának azonban vannak vitatható előnyei is. Például, a reefelt ejtőernyőnek masszívabb középső részűnek kell lennie, mely erősebb területnek a kupola félátmérőjén túl kell terjedni. Sőt még arra sincs mód, hogy a terhelést csökkentsük a kupola középső részén, annak ellenére, hogy a kupolák belépőél környezete sokkal kisebb dinamikus terhelésre van méretezve.

Egy további hátránya a reefelésnek az, hogy a pirotechnikai reef leoldók megbízhatósága és a hosszúidejű tárolása meglehetősen alacsony – különösen trópusi klímán. Annak ellenére, hogy az ejtőernyőbelobbanás szabályozásában a reefelő technika sikeresen volt alkalmazva az elmúlt két évtizedben (a legfontosabb példa erre az APOLLÓ program jelenlegi ejtőernyő-rendszere, illetve a VIKING terv), a tanulmány szerzőjének úgy tűnik, nem viszik mégsem túlzásba a reefelő technika alkalmazását az Egyesült Államokban az ejtőernyőtervezés területén.

Amikor a fenti kijelentést teszem, akkor az angol technika azon vonása felé fordulok, amit már jó ideje alkalmaznak a Martin-Baker katapultáló rendszerben. Itt azonban fontos megjegyezni, hogy

az említett rendszer nem tartalmaz ree felést a belobbanás szabályozására. A belobbanást kis dinamikus nyomások esetén a középzsínór segíti. Ugyanakkor a belobbanás sebességét bizonyos mértékig csökkenteni lehet egy 1,5 m átmérőjű fékernyővel, mely a 7,3 m átmérőjű (kb. 42 m²) főernyőkupola csúcsához kötnek. Sőt, ha alaposan tanulmányozzuk Sir J. Martin némelyik ejtőernyőzéssel kapcsolatos szabadalmát, láthatjuk, hogy a kupolacsúcsához erősített fékezőeszköz lényeges szerepet játszik, vagy játszott a többfokozatú ejtőernyők főfokozatainak belobbantásának szabályozásában a hivatkozott mentő-fékező ejtőernyő rendszerekben.

A tanulmány szerzője úgy véli, a kupolához csatolt fékezőeszköz alkalmazásában rejlő alapvető elveket még nem teljesen értik és értékelik az USA-ban.

Lehet, hogy ezen tanulmány olvasója sem fog egyetérteni a megállapításokkal, azonban a tanulmány alapvető célkitűzése az, hogy megkérdőjelezze a ree felési technika egyetemes alkalmazását és javaslatot tegyen annak megvizsgálására, milyen határozott előnyei vannak, ha többfokozatú ejtőernyő rendszerekben az előző fokozatot a következő fokozat csúcsához erősítve megtartjuk, illetve késleltetjük a leválasztását. Ezen megoldások előnyeit fogjuk az alábbiakban tárgyalni.

Fizikai alapok

Mielőtt bármilyen elméleti fejtegetésbe kezdenénk és leírnánk a rakéta-szános ejtőernyő kísérleteket és vizsgálatokat, előnyös, ha előbb alaposan megismerkedünk az ejtőernyő csúcsához csatolt rendszer fizikájával.

Ha az ejtőernyő belobbanási jelenségének leírásában a feltöltődési idő elméletét használjuk fel (szerk.megj.: V.ö. az Ejtőernyős Tájékoztató 1977/5. számával és az 1980/6. szám 21–33. oldalával.), akkor a következő a helyzet.

Az egyszerű ejtőernyő úgy lobban be, hogy a belobbanásban lévő ejtőernyő belépőélén a levegő folyamatosan beáramlik. Ugyanekkor a beáramló levegő egy meghatározott mennyisége fokozatosan eltávozik a kupola belsejéből az anyagporozitás és a konstrukció résein.

Azt is elmondhatjuk, hogy az ejtőernyő belobbanási folyamata tulajdonképpen a kontinuitás elméletének alkalmazása az időben változó kupolatérfogatra. A konstrukcióban fellépő feszültségek a belső (kupolatérfogaton belüli) levegő és a külső (környező) levegőtér nyomása közötti különbségből ered, azaz nyomáskülönbség eredménye.

Az állítás logikus továbbfejtéséből következik, hogy a feltöltődési (belobbanási) idő növelhető, ha a kupolába nagyobb porozitást „építünk” be, akár anyag, akár konstrukció formájában. A belobbanási idő meghosszabbítására rugalmas anyagnak alkalmazása a kupolában már egy ideje vizsgálat tárgya. Ezt a következtetést azonban a két alábbi kísérlettel teljesen érvényteleníteni lehet. Vegyünk először egy olyan ejtőernyőt, melynek belobbanási ideje feltételezetten csak a kupolaanyag porozitása révén meghatározott. Így a belobbanási ideje egy egyszerű nyitási folyamat során mérhető. Ezután alkalmazzunk ehhez a kupolához középzsínórt, mely olyan hosszú, hogy a kupola csúcsát a belépőél magasságáig behúzza, de nem változtatja a porozitást.

Ha ezt az ejtőernyőt próbadobásnak vetjük alá, akkor látható lesz, hogy a belobbanási idő a kupolaközép behúzása következtében felére csökken.

A következő lépésben fordítsuk meg a kísérletet. Vegyük a fent leírt ejtőernyőt, a kupolacsúcsához csatoljunk egy másik ejtőernyőt, vagy aerodinamikai fékezőeszközt. Az aerodinamikai fékezőeszköz átmérője 25–30 %-a legyen a főernyőnek. Ezután úgy „nyissuk” ezt a kétfokozatú rendszert, hogy a főernyőt az aerodinamikai fékezőeszköz bontsa ki, és végig a főernyő csúcsához csatolva maradjon. Ebben az esetben úgy találjuk, hogy a főernyő belobbanási ideje közelítőleg háromszorosára változik, annak ellenére, hogy a porozitásban semmiféle változás nem történt.

Ezen vizsgálatok eredményeinek magyarázatául sem a porozitás, sem pedig a töltődési idő nem szolgál. E helyett azt kell figyelembe vennünk, hogy az ejtőernyő belobbanási folyamata lényegében

a kupola elemeinek dinamikus egyensúlyi állapotától függ. A kupolaelemeket szerkezeti feszültségek korlátozzák – ilyen például a zsinórok feszülése, s a kupolán belüli és kívüli áramlások által indukált nyomáskülönbségek (instabil nyomásdifferenciák) arra készítetik a kupola elemeket, hogy az incíális kibomlási konfigurációból kifelé mozogjanak.

Ha a leírtak alapján a zsinórok feszültségét mesterségesen fokozzuk aerodinamikai fékezőeszköz (ejtőernyő) által, akkor a feszültség egyik összetevője a belobbanási sebesség lassítójaként működik.

Ugyanigy, illetve ezzel ellenkezően, a középzsínór egy újabb terhelési irányt vezet be a rendszerbe a felfüggesztő rendszerig ezáltal csökkenti a zsinórok feszültségét. A zsinórok feszültségének csökkenése viszont hozzájárul ahhoz, hogy a kupola gyorsabban töltődjön fel, lobbanjon be.

A belobbanási folyamat a kupola nyomásterhelés kifejezéseivel való leírása, mely szerint ez a nyomás egyensúlyban van a zsinórokban ébredő feszültséggel, alapul szolgált Wolf-nak, McVeynek, valamint ezen tanulmány szerzőjének arra, hogy számítógépes vizsgálatot dolgozzon ki. A két elmélet (a ree felés és a kupolához csatolt aerodinamikai fékezőeszköz) a klasszikus Heinrich-féle „töltési idő” elmélet részének kell tekinteni.

Most azt javasoljuk, hogy ezt a számítógépes módszert használjuk fel egy sorozatvizsgálathoz. A vizsgálat során egy 225 kg súlyú ejtőernyő rendszer lett számításba véve, egészen transzszónikus sebességig. Ezzel a vizsgálattal a kupola csúcshoz csatolt fékezőeszköz némely vonását kívánjuk demonstrálni.

Az ejtőernyő-csúcs csatolású ejtőernyőrendszer szerkezete

Elhatároztuk, kidolgozunk egy vizsgálati programot annak érdekében, hogy meghatározhassuk a pozitív és negatív tulajdonságait egy olyan ejtőernyőrendszer nyitásának, melynél a főernyő csúcsához egy fékezőeszköz csatlakozik. Ez a módszer lényegében a ree felési rendszer egy lehetséges alternatívájának tekinthető.

A rendszer 225 kg súlyú 35,5 cm átmérőjű vizsgálati járműből áll, melyet Mach 0,6 sebességre gyorsítunk fel. Amikor a jármű eléri az M 0,6 sebességet, akkor 26 m/s függőleges sebességgel, maximuman 33,5 m magasba juttatjuk fel. A vizsgálatok 1650 méter tengerszint feletti magasságon történnek, ahol a levegő sűrűsége valamivel kisebb, mint a tengerszinten. A kettős ejtőernyő-rendszert a vizsgáló jármű farokrészébe építettük be és az ejtőernyő működtetése a következő módon történik.

Mielőtt a jármű elérné a legnagyobb magasságát, a farokrész lezáró fedél kilövédik és vele együtt kibomlik egy 2,74, 2,44 vagy 2,13 m átmérőjű szalagernyő. Ez a primer ejtőernyő azért készült három különböző méretben, hogy a méretváltozás hatását is elemezni lehessen.

A jármű farokrészének hátralökésével a primer ernyő nagyon gyorsan belobban, majd kihúzza a szekunder ejtőernyőt. A szekunder ejtőernyő kihúzásakor először a zsinórok szabadulnak ki. A szekunder ejtőernyő 8 m átmérőjű (51 m²-es) és zárt szeletekből áll. A szekunder ejtőernyő céljára csak egy ejtőernyő volt használva, a vizsgálat célja a primer ejtőernyő olyan beállításának megállapítása, amely megfelelően szabályozza a szekunder ejtőernyő belobbanási sebességét.

A primer ejtőernyőt a szekunder ejtőernyő csúcsához egy szövött hevederrel erősítettük. A vizsgáló jármű merülési sebessége a teljesen belobbant szekunder ejtőernyő alatt 11,3 m/s-ra volt számolva.

A primer ejtőernyő

Mint már megemlítésre került, a primer ejtőernyő három változatban készült el, hogy meg tudjuk határozni, illetve össze lehessen hangolni a végleges ejtőernyő-együttest. A primer ejtőernyők mindegyike szalagernyő, 20^o-os kúpszöggel és 20 %-os geometriai porozitással. A különböző kupolák sugarai rendre 109, 122 és 134,5 centiméteresek, melyekhez sorban 203, 233 és 259 cm hosszú zsinórok tartoznak. Mindegyik primer szalagernyő M=1 sebesség melletti nyitásra lett tervezve, ennek megfelelően a horizontális szalagok szilárdsága 50 mm szélességre számítva 4410–8820 N (kb. 450-900 kg)

között van. A primer rendszert azért terveztük transzszónikus sebességen való nyitásra, hogy $M=1$ sebességen lehessen működtetni, s a primer fokozat csökkentse le a sebességet $M=0,6$ -ra, ezután mint csatolt rendszer védje a szekunder fokozatot.

Végül azonban sürgőssé vált tartottuk, hogy a próbákat $M=1$ sebességen folytassuk le, ehelyett csak a csatolt rendszert vizsgáltuk $M=0,6$ sebességen történő együttes működtetéssel.

Csatlakozó kengyel

A csatlakozó kengyel (csatolótag) flexibilitása és belső csillapítása a primer ejtőernyő kritikus pontja, de ugyanígy kritikus az egész rendszer sikeres működése szempontjából is.

Ebben a tanulmányban a számítógépes tervezési eljárásról - mellyel a fokozatok közötti dinamikus terhelések kiszámíthatók – nem adunk teljes részletességgel képet, ehelyett csak a végleges megoldás kerül ismertetésre.

Azt azonban érdemes megjegyezni, hogy a tehetetlenségi és aerodinamikai erők, melyek a két rendszer között hatnak, hatékonyan szabályozzák a szekunder ejtőernyő belobbanását, továbbá ezen fokozatok közötti erők a szekunder ejtőernyő zsinórzatán át eljutnak a hasznos teherhez is. Ezek a terhelések aztán hasznosak a teher lendülésének csökkentésénél.

Sok-sok számolgatás után, melyet a csatlakozó rendszer rétegesen szakadó megoldásával, vagy anélkül végeztünk el, döntöttünk a részlegesen – terhelés hatására – felszakadó csatolótag mellett. Két számítógépes programot alkalmaztunk a csatolótag terhelésének megállapítására, melyek kellőképpen figyelembe vették a csatolótag és a zsinórok flexibilitását, a kismértékű belső csillapítását, a kupolatömeget és a virtuális, valamint tényleges tömegeket, különösen a teljesen belobbant primer kupola esetén.

A végülis kiválasztott csatlakozó kengyel négy réteg szövött hevederből áll:

- kettő réteg egyszerű 44 145 N (4500 kg) szilárdságú XIX típusú nylon heveder,
- két réteg El-Centro típusú rétegesen szakadó GIRO–107-es szalag. (E két réteg szakadó szilárdsága 25 600 N – 2600 kg--).

Nagy gondot fordítottunk arra, hogy az anyagtulajdonságokat egymáshoz illesszük, a hosszakat úgy szabjuk le, hogy szakadáskor a terhelés egyenlően oszoljon meg.

Végülis a teszt adatokból látható, hogy a rendkívüli gondosság, mellyel a csatlakozó tagot terveztük, a dinamikus terhelések túlbecslése miatt nagyjából indokolatlan volt.

A szekunder ejtőernyő

Nagyon lényeges ennek az ejtőernyőnek a szerkezetét megismerni. Először is van egy 225 kg tömegű, $M=0,6$ sebességre tervezett hasznos teher. Maga a szekunder kupola – figyelembe véve azt, hogy a vázolt rendszer miatt a terhelés alacsony lesz a kupola anyagán – igen könnyű. A felépítése lapos, kerek és az átmérője 8,07 m, a szeletek száma 32. A kupola anyaga 76 g/m^2 -es, melynek szakítószilárdsága 157 N/cm (80 kg/5 cm).

A konstrukció többi része a szokásos: húzószalag a belépőélen, a zsinórzat $7,92 \text{ m}$ hosszú és 8830 N (900 kg) szakadási szilárdságú VI. típusú magszál nélküli anyag.

A zsinórzat szilárdsága – legalábbis első látásra – túlzottan tűnhet a kupola viszonylag alacsony teherbírásához képest, de az egész csatolt rendszernek az volt a célja, hogy csökkentsük a kupolaanyag súlyát – így az egész ejtőernyőrendszer súlya radikálisan csökkenthető. Igen lényeges az, hogy 76 g/m^2 -es anyagot használhatunk még $M=0,6$ sebességű nyitáskor is!

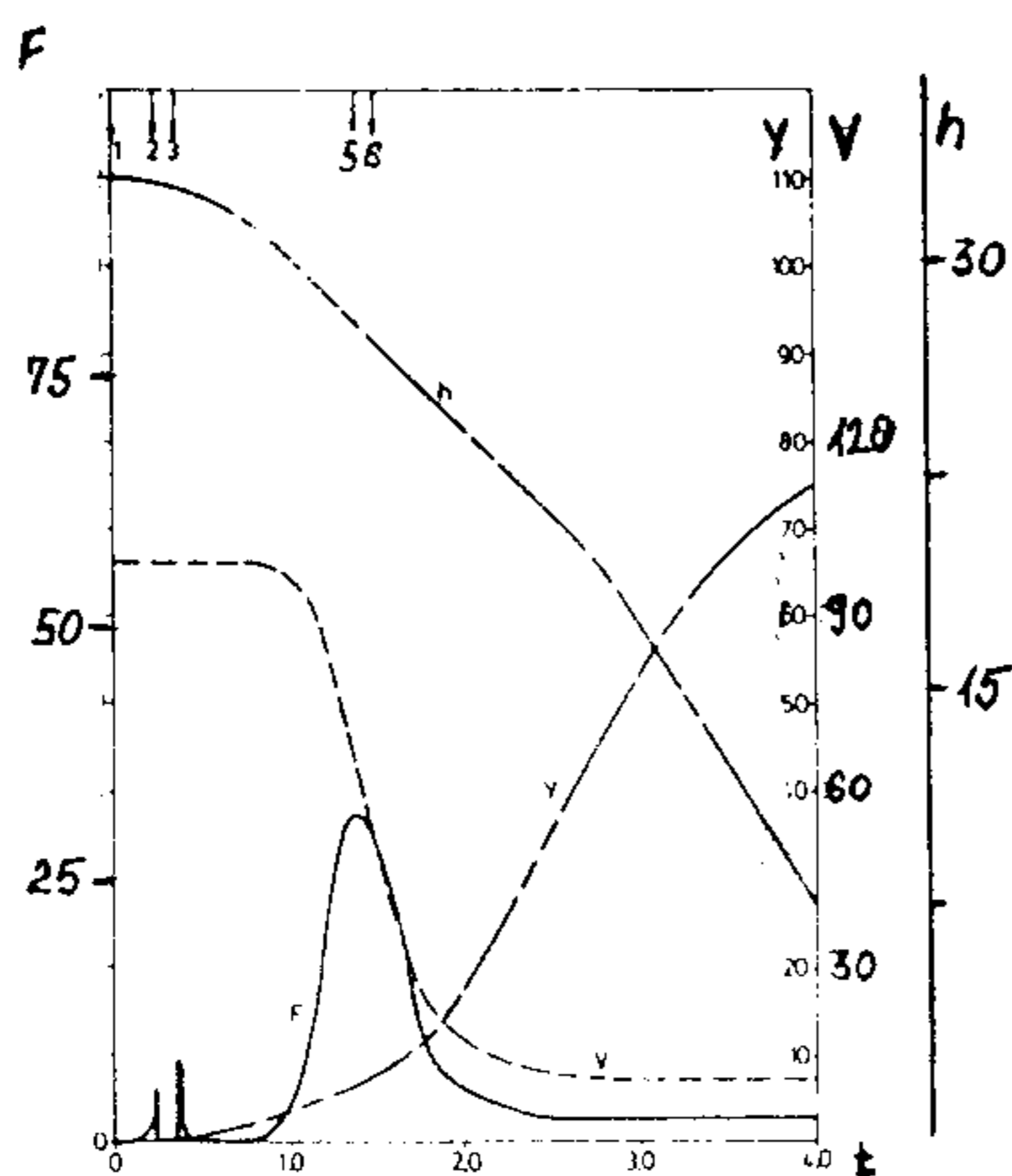
A gyakorlati tapasztalat szerint ilyen nyitási sebességet csak szalagernyők képesek elviselni, ám az új szerkezettel ezt a 76 g/m^2 -es nylonszövet is elviseli.

Elméleti tanulmányok a légipróbák előtt

A belobbanás tanulmányozása

Azt már a Fizikai alapokban is említettük, számos elméleti eljárás létezik ma már az ejtőernyő-együttesek belobbanási tulajdonságainak, illetve viselkedésének számítására. A töltési idő koncepcióján alapuló számítógépes eljárásoknak azonban ebben az esetben nem lehetett sok hasznát venni. A SANDIA laboratórium kidolgozott egy igen érdekes nyomatéki eljárást, s a jelen tanulmány szerzője is rendelkezik olyan programmal, amely Wolfe-hoz hasonló eredményeket produkál.

A szerző OPEN-AND-PILOT programja lett alkalmazva a „csatolt” ejtőernyőrendszer belobbanási tulajdonságainak számítására. A nyert eredmények összehasonlíthatók a szekunder ejtőernyő csatolt fékezőeszköz nélküli belobbanási viselkedésével. Itt a programok nem kerülnek részletes ismertetésre, csupán annyit közlünk, hogy részletes indoklásuk már korábban megtörtént. A számítógépes vizsgálatok eredményei az 1., 2., 3. és 4. sz. ábrán láthatók.

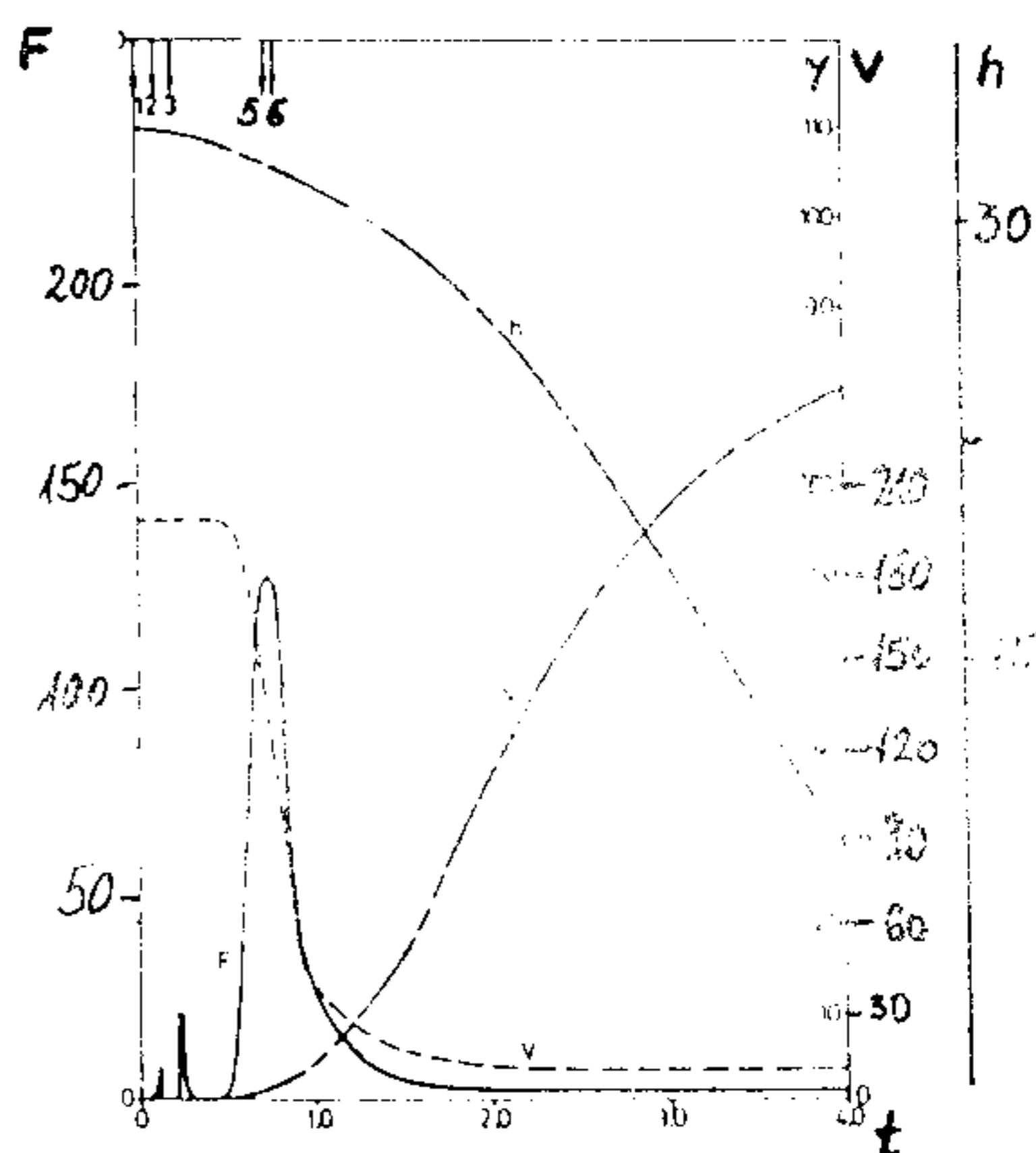


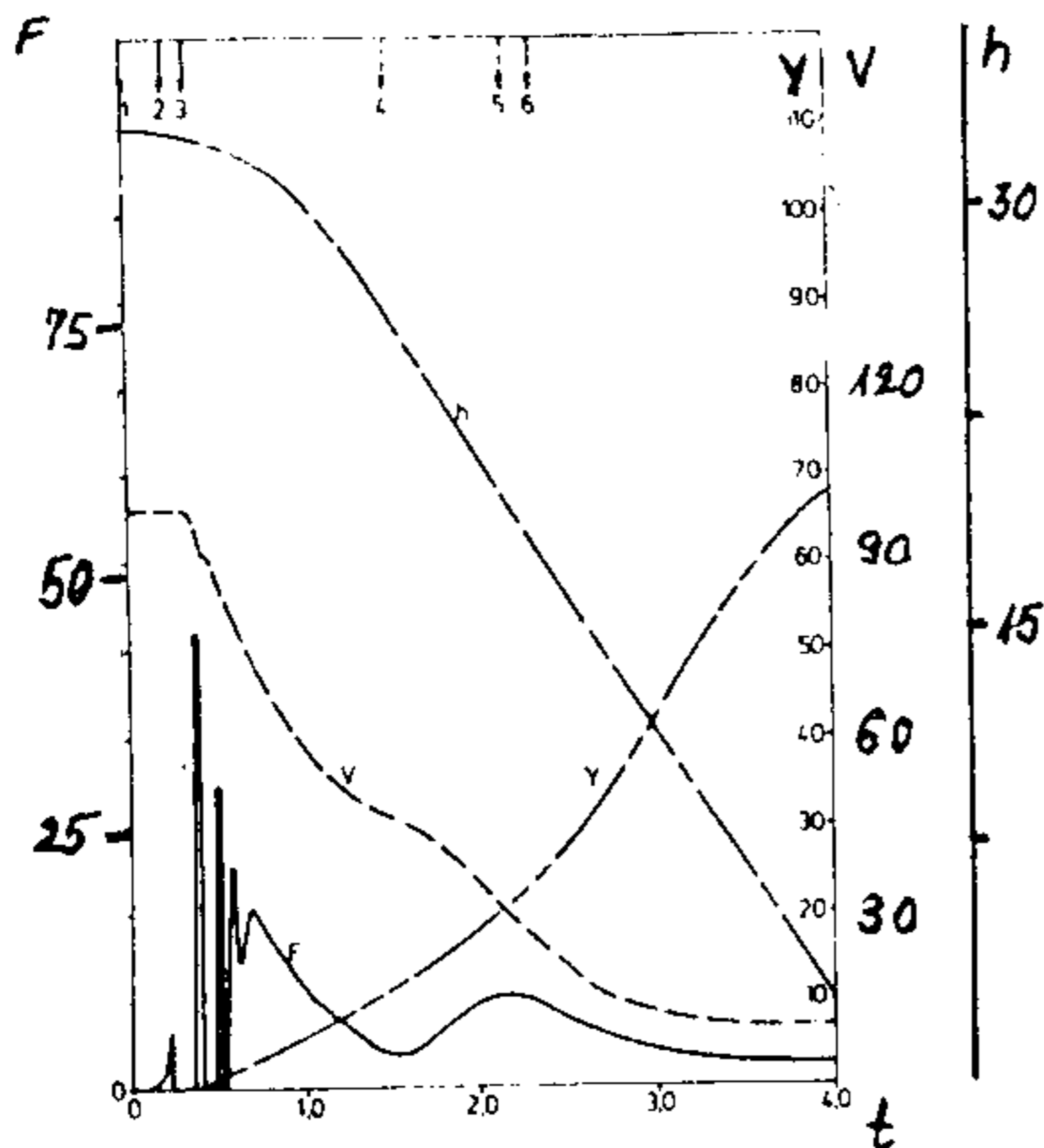
1. ábra

8,07 m átmérőjű szekunder ejtőernyő 225 kg hasznos tömegű terheléssel történő nyitása $M=0,3$ sebességnél, normál működtetés.

2. ábra

8,07 m átmérőjű szekunder ejtőernyő 225 kg hasznos tömegű terheléssel történő nyitása $M=0,6$ sebességnél, normál működtetés.





3. ábra

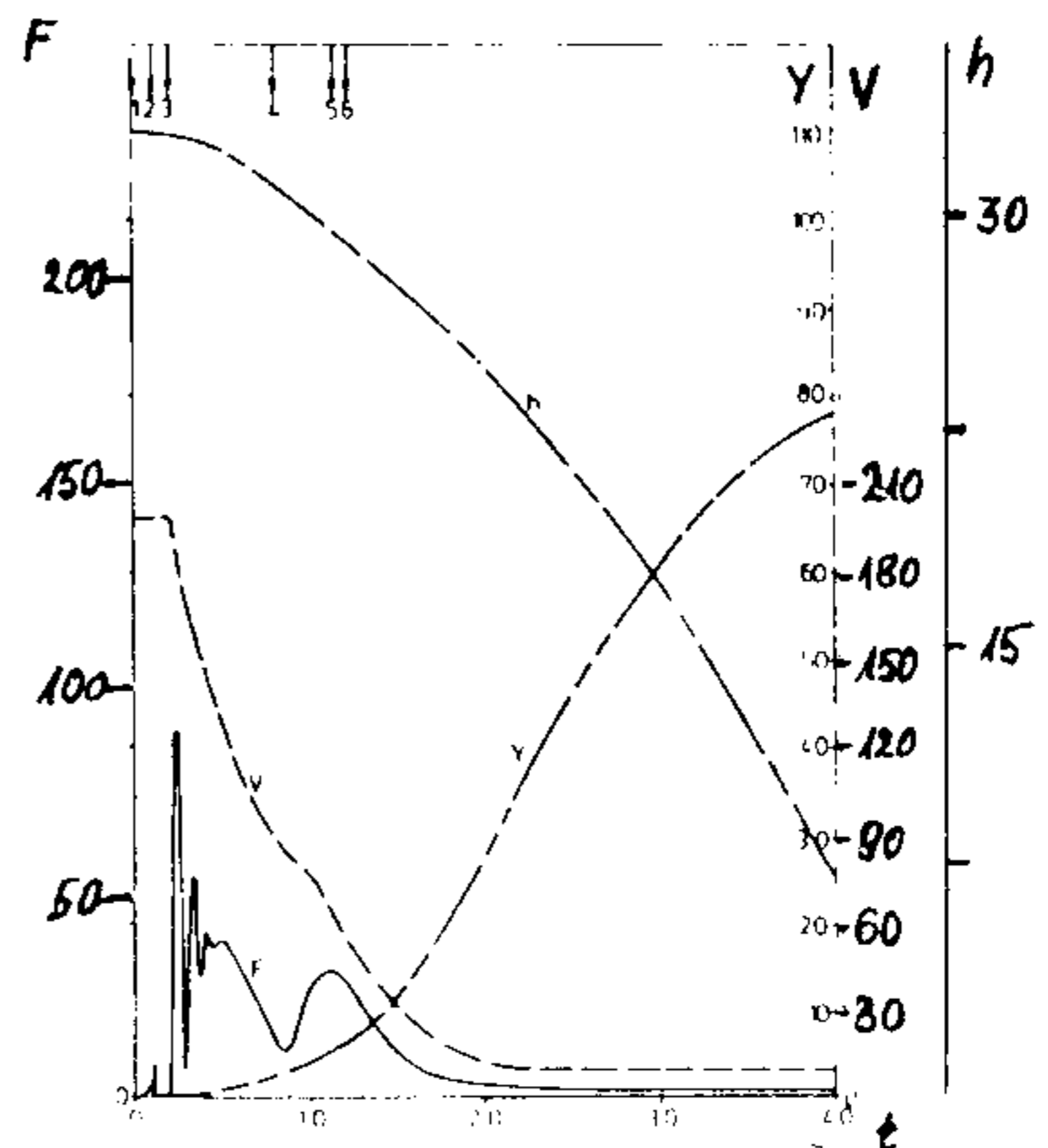
Csatolt ejtőernyőrendszer belobbanása (\emptyset 8,07 m, primer ejtőernyő: \emptyset 2,44 m) $M=0,3$ sebességnél.

4. ábra

Csatolt ejtőernyőrendszer belobbanása (\emptyset 8,07 m, primer ejtőernyő: \emptyset 2,44 m) $M=0,6$ sebességnél.

Az ábrákon alkalmazott jelölések:

- F — erő (kN)
- V — sebesség (m/s)
- Y — mozgáspálya szöge (fok)
- h — magasság (m)
- 1. — faroktartály leválása (nyitás) ideje
- 2. — főernyő tok kinyílik
- 3. — főernyő zsinór kihúzódik
- 4. — segédernyő becsukódik
- 5. — főernyő maximális terhelése lép fel



Az 1. sz. ábrából három fontos pont választható ki, mégpedig az, hogy a szekunder ejtőernyő belobbanási ideje ($t_1 - t_6$) = 1,15 s, az első belobbanásig bekövetkező magasságvesztés ($h_1 - h_6$) = 5,8 m, és végül a legnagyobb belobbanási terhelés 15 g volt.

A 2. sz. ábrán – most már $M=0,6$ sebességnél – az alábbi eredményt kaptuk: a belobbanási idő 0,56 s, a magasságvesztés 2,75 m és a csúcsterhelés 59,4 g.

A 3. és 4. sz. ábrák a csatolt ejtőernyő rendszerénél a következő értékeket adják:

- 3. ábra: belobbanási idő 1,98 s., a magasságvesztés 14,6 m., a csúcsterhelés 8,2 g,
- 4. ábra: belobbanási idő 1,01 s, a magasságvesztés 3,96 m., a csúcsterhelés 18,2 g.

Az 1–3. és a 2–4. számú ábrák egymással összehasonlíthatók. Elvben az erő-idő görbék a kettős maximumos alakot veszik fel a csatolt rendszerben, míg a szokásos rendszerben csak egy csúcs alakul ki. Hogy fékezés legyen, az azonos kiindulási és végső merülési sebességek közötti erő-idő görbék alatti terület azonos. A kettős csúcsos értékek miatt azonban az erő-görbék szélsőértékei nagymértékben lecsökkennek.

Más, nagyon is érdekes megfigyelés tehető még a fentieken kívül. Ugyanis azt állíthatjuk, hogy a belobbanó ejtőernyő anyagában a legnagyobb feszültségek közvetlenül az első belobbanás előtt keletkeznek, de ugyanakkor ezek a feszültségek arányosak a meglévő dinamikus nyomásokkal.

Ha az olvasó figyelmesen megvizsgálja a 2. és 4. sz. ábrák görbéit és értékeit, akkor úgy találja, hogy a dinamikus nyomás a 2. sz. ábrán 3,6-szor akkora, mint a 4. sz. ábrán az első belobbanáskor.

Ezekben az összehasonlító időpontokban a kupola-alakok is azonosak, de a szabad-áramlási dinamikus nyomások a kupola-csatolt rendszerben igen erősen lecsökkennek.

Az elmondottak alapján a logika elvezet most már bennünket az ejtőernyőanyagban ébredő feszültségek alaposabb vizsgálatához a belobbanás idején.

A feszültségek megoszlása

Amint azt már az előzőekben is megjegyeztük, nagyon fontos tudatában lenni annak, hogy a csatolt rendszer alkalmazásával nagy kupolaanyag-feszültség csökkenést lehet elérni. Röviden, hasznos, ha kihasználjuk ezt az előnyt, ami a dinamikus nyomásváltozás terén adódik, mivel a dinamikus nyomás az, ami elsődlegesen meghatározza a terhelést.

A belobbanási folyamatban bekövetkező dinamikus terhelés redukcióján kívül még további, kupolaalak változásból származó előnyökkel találkozunk. Más szavakkal, a kupolaanyagban ébredő feszültségeket a dinamikus terhelés és a kupolaalak együttesen határozzák meg a kérdéses pillanatban. Ez utóbbit vizsgáljuk meg alaposabban.

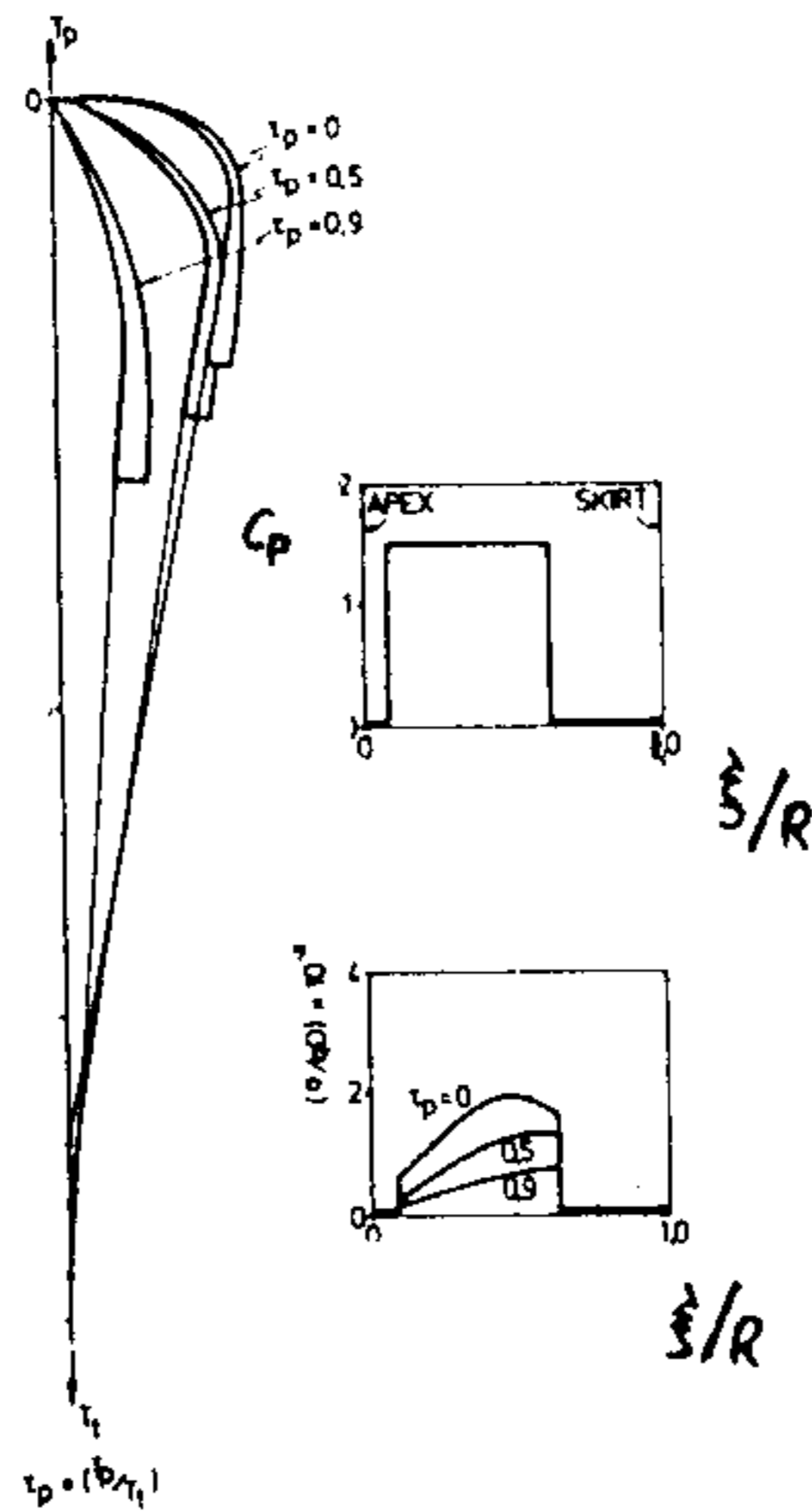
A SANDIA laboratóriumban kidolgoztak a feszültségek számítására egy kiváló programot – ennek a neve: CANO. A lényege az, hogy ebben a programban a kupolaalakot és kupolaanyagban ébredő feszültséget úgy állapítják meg, hogy a kupolanyomást egy független forrásból értelmezik. A szerző ehhez a programhoz hasonló SHAPPLT programot alkalmazott a tangenciális és meridionális kupolafeszültségek számításához a csatolt rendszerben. Ez a program megkívánja, hogy a primer ejtőernyő fékező ellenállása a szekunder ejtőernyő pillanatnyi nyomáseloszlásával együtt meghatározott legyen, egyebekben a feltételezések hasonlóak a CANO-hoz.

Annak érdekében, hogy a primer ejtőernyő fékező ellenállását és annak hatását a szekunder ejtőernyő alakjára és az ébredő feszültségekre demonstrálhassuk, erre a célra feltételezett nyomáseloszlást alkalmazunk.

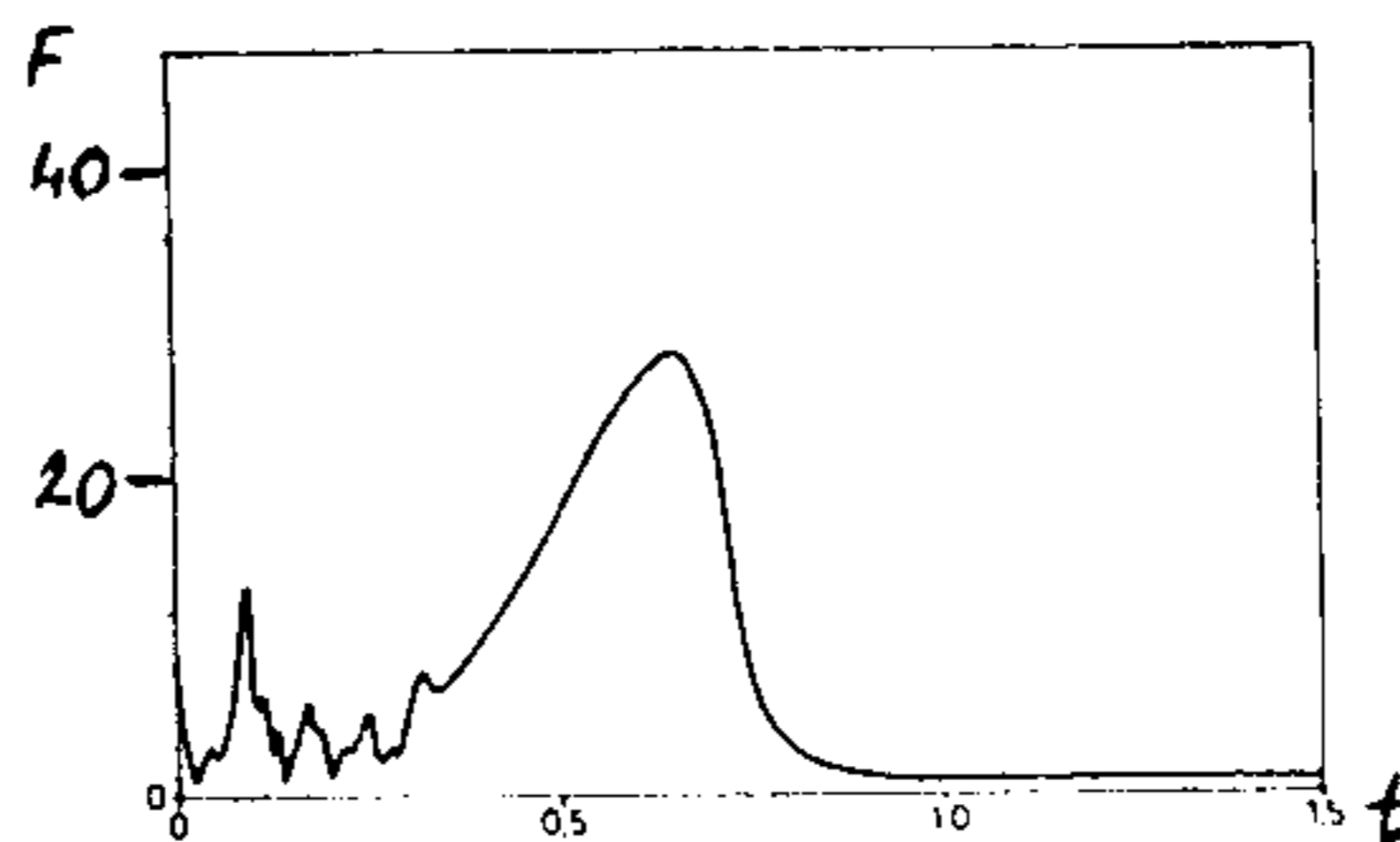
Az 5. sz. ábra a primer ejtőernyő (T_p) fékező hatása alatti szekunder ejtőernyőt és ezzel együtt a szekunder ejtőernyő nyomástényezőjét (C_p) mutatja. Ez a felvett nyomáseloszlás a szélkémény környékén 0 nagyságú, a szeletek felső 60 %-ában 1,5 értékű, majd újra 0 értékű a kupolaszelet alsó részén. A kerületi feszültségtényező Heinrich szerinti értéke (σ/qD) az 5. ábrán a T_p/T_t különböző értékeire látható, s itt a T_t értékek a szekunder ejtőernyő zsinórjának összes feszültségét jelentik.

Az 5. sz. ábrából látható, hogy a T_p/T_t paraméter bármilyen növekedése a szekunder ejtőernyő belépőélét összeháródásra készíti. Továbbá korlátlan kupolanyílás csak akkor érhető el, amikor a T_p/T_t értéke 0-ra csökken. Az is belátható az 5. sz. ábra alapján, hogy a kupolaanyagban ébredő nyomásdifferenciák 2,7-szeresen csökkennek, ha a primerkupola légellenállása 0-ról 0,9-re nő.

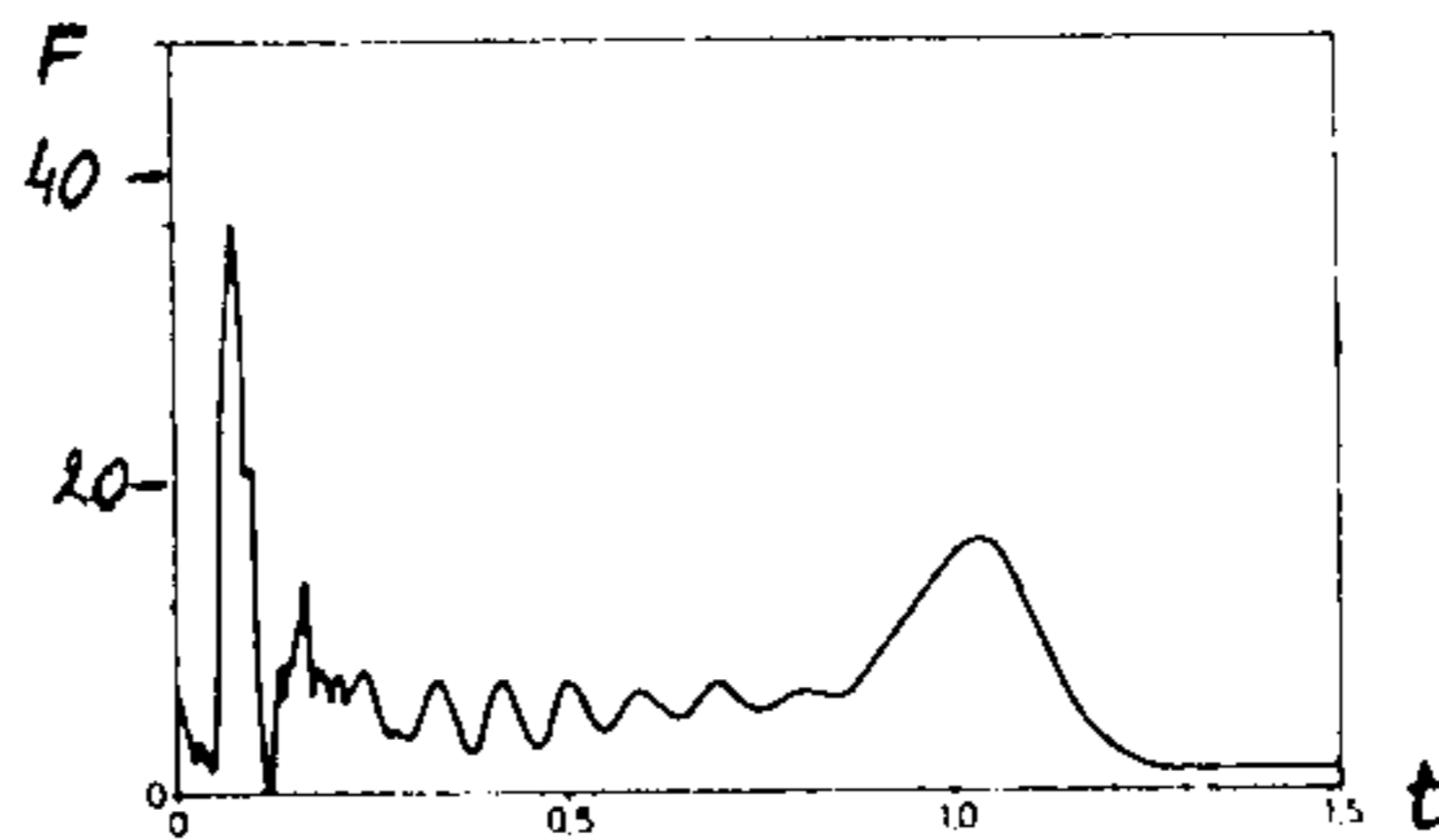
Más szavakkal, belátható, hogy a nagy (szekunder ejtőernyő) közepére ható terhelések a szekunder ejtőernyőt részleges belobbant állapotban tartják. Ez a részlegesen belobbant állapot többlet fel-töltődést okoz és hasznos a kupolaszelet feszültségének csökkentésében. Ezenkívül a kupola csúcsára ható fékező terhelés átadódik a teherre és ez segíti a lassulási folyamatot.



5. ábra



6. ábra



7. ábra

Azzal azért tisztában kell lenni, hogy az 5. sz. ábrán bemutatott alakú erő-diagrammok a belobbanási folyamat egy bizonyos pillanatára vonatkoznak. Egy nyomáseloszlási sorozat és a hozzájuk tartozó primer-ejtőernyő terhelésvariáció felhasználható annak a hipotézisnek az igazolására, hogy a kupolában ébredő feszültségek nagysága egy nagyságrenddel csökkenthetőek ezzel a csatolt technikával.

Egyes kísérleti eredmények

A kísérleti rakétaszános vizsgálatok a SANDIA laboratóriumok albuquerquei berendezéseiben 1977-ben lettek végrehajtva. A kísérletek célja a vázolt rendszer általános viselkedésének igazolása, illetve rögzítése volt. Az elvégzett kísérletek még mindig az $M=0,3$ sebességeknél tartanak.

A 724. sz. vizsgálat

Ebben a kísérletben a 2,44 m átmérőjű primer ejtőernyő a 8,07 m átmérőjű szekunder ejtőernyőhöz 1,82 m hosszú – előzőekben leírt – csatlakozó taggal volt rögzítve. A vizsgálókészülék még fel volt szerelve longitudinális (hosszirányú) lassulás regisztráló eszközzel, s közben egy lézeres követőrendszer mérte a pontos helyzeteket, a vizsgálat $M=0,32$ sebességnél történt.

A longitudinális terhelések az idő függvényében a 6. sz. ábrán láthatók, a belobbanási idő a zsinórok megfeszülésétől számított 0,8 másodperc volt, s az ehhez tartozó legnagyobb terhelés 53 kN (5400 kg) volt. A terhelési adatok vizsgálata során az is nyilvánvalóvá vált, hogy a csatlakozó rendszerben csak mintegy 17,6 kN (1800 kg) csúcsterhelés ébredt. Ráadásul ez az erőhatás folyamatos oszcillációt mutatott mintegy 10 Hz frekvenciával.

A filmfelvételek részletes vizsgálata alapján meggyőződhattünk arról, hogy a primer ejtőernyő igen erősen lélegzett és a főernyőhöz viszonyítva nem működött sikeresen. Ezért úgy döntöttünk, hogy újabb kísérletet végzünk, miközben a primer ejtőernyő átmérőjét 2,74 m-re növeljük és a kisebb szilárdságú szalagokat kihagyjuk a csatolótagból. Erre a döntésre azért került sor, mert úgy látszott, a nemkívánatos dinamikus rántások nincsenek jelen a rendszerben a kísérlet során.

A 726. sz. vizsgálat

A csatolótag most 176 kN (18 000 kg) szilárdságú lett és a primer ejtőernyő 2,74 m átmérőjű, annak érdekében, hogy nagyobb kupolacsúcs terhelés maradjon. Azt reméltük, hogy ezek a változások módosítják, esetleg megszüntetik a primer-ejtőernyő nemkívánatos lélegzését is.

Ezzel a felszereléssel $M=0,321$ sebességnél az előző kísérlet volt megismételve. A longitudinális gyorsulások rögzített adatait a 7. sz. ábra tartalmazza. Ebben az esetben a belobbanási idő 1,25 mp-re

növekedett és ezzel mindössze 26,5 kN (2700 kg) értékre csökkent a belobbanási csúcsterhelés. Ennél a kísérletnél a primer ejtőernyő csúcsterhelése 66 kN (6750 kg) volt az iniciális nyitórántás során. A gyorsulásmérő adatait filmfelvétellel ellenőriztük, s bebizonyosodott, hogy a primer ejtőernyő a légzési jelenség miatt képtelen volt elég aerodinamikai terhelést felvenni. Azonban a 6. és 7. sz. ábrák összehasonlítása révén észrevehető, hogy a megnövekedett primer terhelés a második kísérlet alkalmával volt a felelős azért az 50 %-os összes belobbanási időnövekedésért a szekunder ejtőernyőnél.

Végső következtetés

Ez a tanulmány elsődlegesen a kupola-csatolt rendszer problémájával foglalkozott, s csak mindössze két rakétaszáns kísérletről számoltunk be a koncepció igazolására.

Röviden, kimondható, hogy a kupola-csatolt rendszer megérdemelné egy alaposabb vizsgálatot is. Ebből a következő előnyök származhatnának:

- a belobbanási csúcsterhelések 2-3-szoros mértékben csökkenthetők,
- kiküszöböli a konvencionális pirotechnikai reefelő berendezés alkalmazását,
- a fő-, illetve a szekunder ejtőernyő inerciálisan és aerodinamikusan van „reefelve” a teljes ejtőernyőnyitási tartományra,
- a kupolaszilárdsággal szemben támasztott követelmények lecsökkennek, ez magával hozhatja a szalagernyő helyett rendes anyagú ejtőernyő alkalmazását is a primer ejtőernyőben,
- az egész rendszer súlya kb. 40 %-kal kisebbnek adódhat, mint a konvencionálisan reefelt szalagernyő rendszer. Ez figyelembe veszi azt az extra súlyt is, amit a primer ejtőernyő jelent,
- az ejtőernyőnyitási folyamatban az alkalmazott rendszer révén nem következik be haszontalan magasságvesztési probléma.

Fordította: Szuszékos János

Szerk. megjegyzése: Érdekes a felvetett téma és jó összehasonlítást lehet végezni pl. az RS ejtőernyővel kézikieloldásos ugrásnál fellépő terhelésnél – ha egy darab kisernyőt használunk – , valamint a stabilizátor használatával fellépő terhelésnél. Ugyanígy más megvilágítást ad ez a tanulmány, ha a különböző mentőernyők kísernyőit méret szerint összehasonlítjuk a gyakorlat tapasztalataival.

TARTALOMJEGYZÉK

Ejtőernyő kifordulások	1
Kereskedelmi ejtőernyők	7
Ejtőernyőbelobbanás szabályozása a kupolacsúcshoz csatolt fékezőeszköz alkalmazásával	18