

LRI Repüléstudományi és Tájékoztató Központ

KÉZIRAT GYANANT!

EJTŐERNYŐS
tájékoztató 

1977/5

AZ EJTŐERNYŐS MOZGÁSÁNAK ELEMELI ÉS AZ EJTŐERNYŐK SZÁMÍTÁSA.

/Részlet a Repülőgépszemélyzet mentőeszközei c. könyvből - Kiadó: MASINOSZTROENYIJE, Moszkva 1975./

1. A MENTŐERNYŐ MŰKÖDÉSÉNEK ELEMELI.

Az eje, mint a repülőgépszemélyzet mentőeszköze /ezeket az ejéket mentőejének nevezzük/ nagy jelentőséggel bírnak a mentőeszközök komplexusában.

Azokban az esetekben, amikor katapultülést nem használnak, az eje önálló mentőeszköz, de a katapultülés, de különösen a teljesen automatizált megjelenésével az eje /pontosabban a kupolasorozatokból álló eje-rendszer/ mind nagyobb mértékben válik az ülés tartozékává, ami szervesen kapcsolódik annak konstrukciójához.

Ezért szükséges megismerkedni a mentőernyők működésének alapvető elemeivel és ismereteket szerezni azok számításáról és tervezéséről.

Az eje ugrást a következő szakaszokra lehet felosztani:

1. szakasz: az ugró szabadesése a gépelhagyás pillanatától az eje működtetéséig;
2. szakasz: a kihúzóernyő kiszabadulása a tokból és a belobbanása;
3. szakasz: a kupola és a zsinórzat teljes kifizűzése és kihúzóddása a belsőzsákból;
4. szakasz: a kupola feltöltődése /belobbanása/;
5. szakasz: a nyitott kupolával való merülés és a földetérés.

Az első szakaszban az ugró sebessége változik a repülőgép sebességétől a nyitás pillanatának sebességéig. Ez a változás a szabadon eső ejés légellenállása miatt megy végbe.

Az első szakasz tartamát "szabadesés idejének" nevezzük és t_1 -el jelöljük.

A szokásos ugrásoknál az eje 1-5 másodpercen belül kezd működni, s az u.n. késleltetett ugrásoknál, vagy késleltetett nyitású ugrásoknál - néhány tíz, vagy száz másodperc után. /Például E.N. Andrejev 1962. évi rekordugrásánál 25 500 méter magasból kb. 300 másodperces késleltetés után nyitotta az ejtőernyőjét./

A második szakaszban az ugró sebessége és az általa megtett ut változik /mint az első szakaszban is/ az eje nélkül zuhanó testre vonatkozó törvényszerűségek szerint.

A nyitóernyő /kisernyő/ nyílásának ideje - t_2 - függ a konstrukciótól, a súlyától, a méreteitől, az eje sebességétől az első szakasz végén, valamint egyéb tényezőktől. Az 1. ábrán látható a nyitóernyő nyílási idejének változása a sebesség függvényében.

A levegő által feltöltött nyitóernyő működésben gyorsan veszti a sebességét, kihúzza a tokból a belsőzsákokat, a bennelévő főernyőkupolával együtt, kihúzza a zsinórokat a belsőzsák füleceiből és lehúzza a belsőzsákokat a kupoláról. Ekkor a főernyőkupola a zsinórokkal együtt, teljes hosszában kihúzódik.

A harmadik szakasz folyamán, ha figyelmen kívül hagyjuk a kupola surlódását a belsőzsákból való kihúzóddáskor és azt az orószükségletet, ami a zsinórok kifűzéséhez kell, az ejés esési sebessége és az általa megtett ut hossza a szabadesés törvényszerűségei szerint

változik.

A harmadik szakasz t_3 hossza függ a kihuzóernyő méreteitől és súlyától, a kupola és a zsinórzat hosszától, a belsőzsák hosszától és konstrukciójától, az ugró esési sebességétől a második szakasz végén, valamint más tényezőktől.

Az első három szakasz folyamán, az ugró gépelhagyásától a kupola és a zsinórzat teljes kihuzódásáig, az eje, mint fékező eszköz nem dolgozik. Az ugró esési sebessége V_0 értéktől V_0 értékig változik e közben a saját légelkenállása következtében.

Az eje működtetésének pillanatától a kupola és a zsinórzat teljes kihuzódásáig terjedő időt "kihuzódási időnek" nevezzük és t_{ki} vel jelöljük; $t_{ki} = t_2 + t_3$.

A 2. ábrán látható a /kétféle/ mentőeje kihuzódási idejének t_{ki} változása a torlónyomás q függvényében, a 3. ábrán - a belsőzsák kihuzódásának ideje t_{zs} /ugyancsak a torlónyomás q függvényében.

A harmadik szakasz végén, a kupola és a zsinórzat teljes kihuzódása után, kezdődik a kupola feltöltődése /belobbanása/. A kupola belobbanásának kezdetén a sebességet V_0 -al jelöljük, az időt t_0 -nak, a sebességnek megfelelően $t_0 = t_{ki} + t_{zs}$.

A negyedik szakasz folyamán a kupola belobban, ezért a rendszer sebessége hirtelen lecsökken V_0 -ról V_B -re, a belobbanás végének sebességére. A hirtelen sebességváltozás viszonylag rövid idő alatt, azzal jár, hogy a kupolára a belobbanás folyamán jelentős terhelés hat, elérheti azt a maximális értéket, ami sok esetben többszörösen felülmúlja a rendszer súlyát.

Az eje kupola belobbanásának ideje - t_B - függ a rendszer sebességétől a belobbanás kezdetén V_0 , a kupola konstrukciójától, a kupola anyagának légáteresztőképességétől, a zsinórok hosszától és számától, valamint egyéb tényezőktől.

Azt az időt, ami az eje működtetésének kezdetétől /nyitásától/ a kupola teljes belobbanásáig eltelik, az eje nyilási idejének nevezzük. Ezt az időt t_{ny} -nek jelöljük és az alábbi összeg adja:

$$t_{ny} = t_{ki} + t_{zs} + t_B, \text{ vagy } t_{ny} = t_0 + t_B$$

A negyedik szakasz végén, a kupola teljes belobbanásának pillanatában, a rendszer V_B sebessége jelentősen különbözik a teljesen belobbant eje kupolára meghatározott V_{mer} merülősebességtől.

Az ötödik szakaszban a rendszer sebessége V_B -ről V_{mer} -re változik. Ha a kupola közvetlenül a földközéleben lobban be, akkor a veszélytelen földetérést nem minden esetben biztosítja, mivel elég nagy V_0 sebességnél a V_B sebesség többszörösen felülmúlhatja a megállapított V_{mer} sebességet.

Nagy magasságban történő nyitásnál a rendszer megállapított V_{mer} vertikális sebessége fokozatosan csökken a levegő sűrűségének növekedésével a magasság csökkenésekor és a földetérés előtt éri el azt az értéket, amit földetérési sebességnek V_T /nevezünk:

$$V_{mer} = V_T \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

ahol $\lambda = \frac{N}{\rho}$ - a levegő relativ sűrűsége.

Gyakorlatban a földetérésnél a rendszer földhöz viszonyított V_{er} eredő sebességgel rendelkezik, amely a vertikális összetevőn

V_F kívül tartalmaz horizontálisat - a szél V_{sz} sebességét is.

Igy a földhöz viszonyított sebesség:

$$V_{er} = \sqrt{V_F^2 + V_{sz}^2}$$

Csak szélcsendes időben, ha $V_{sz} = 0$:

$$V_{er} = V_F$$

2. FÜGGŐLEGES ESÉS.

Az ugrás gépelhagyása után a kupola belobbanásáig a test sebessége V_{rg} sebességtől V_0 sebességig a testek levegőben való szabad-
esésének törvényszerűségei alapján változik.

Nézzük azt az esetet, amikor a kezdősebesség függőlegesen lefelé irányul, /ugrás, vagy dobás függőlegesen zuhanó repülőgépről/ vagy nulla értékű /ugrás, vagy dobás léggömbből, vagy függeszkedő helikopterről/.

Mozgás közben a testre két erő hat: a G nehézségi erő és a levegő Q ellenállása:

$$Q = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot c_T \cdot f_T \quad /1/$$

ahol: ρ - a levegő sűrűsége /nominális/ a test esésének magasságában; / kg/m^3 /

V - a test esési sebessége; / m/s /

c_T - a test ellenállási tényezője;

f_T - a test homlokfelülete / m^2 /.

A sebességet, amelynél a légellenállás ereje megegyezik a rendszer súlyával, /nehézségi erővel/ kritikus sebességnek V_{kr} nevezük, mivel:

$$G = \frac{\rho V_{kr}^2}{2} \cdot c_T \cdot f_T \quad /2/$$

Igy:

$$V_{kr} = \sqrt{\frac{2G}{\rho c_T f_T}} \quad /3/$$

A 4. ábrán látható az ejtőernyős kritikus sebességének változása a magasság függvényében, abban az esetben, ha a földközeli sebesség $60 m/s$. Ha ismert a test kritikus sebességének nagysága a földközeli V_{kr0} , akkor a H magasságon a kritikus sebesség számítására az alábbi formula szolgál:

$$V_{krH} = V_{kr0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_H}} \quad /4/$$

ahol: $\frac{\rho_H}{\rho_0}$ - a levegő relatív sűrűsége.

Vertikális esésénél a mozgásegyenlet a következő formájú:

$$m \frac{dV}{dt} = G - Q$$

ahol: m - a zuhanó test tömege az ejével együtt /kp/
 G - a gravitációs erő /N/.

Az egyenlet két oldalát osztjuk m -el:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \left(1 - \frac{Q}{G} \right)$$

Ebből a Q és G behelyettesítésével - az /1/ és /2/ egyenletekből, kapjuk:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \left(1 - \left(\frac{V}{V_{kr}} \right)^2 \right) \quad /5/$$

Ezt az egyenletet átalakítjuk, a test által t idő alatt megtett H uttal:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dH} \cdot \frac{dH}{dt} = V \frac{dV}{dH}$$

az /5/-be behelyettesítjük:

$$V \frac{dV}{dH} = \frac{d}{dH} \left(\frac{V^2}{2} \right) = g \cdot \left(1 - \left(\frac{V}{V_{kr}} \right)^2 \right) \quad /6/$$

Az /5/ és /6/ egyenletek jobb oldalán lévő V_{kr} sebesség függ a magasságtól. Ezért közelítő megoldás céljából a teljes utat egyenlő szakaszokra felosztjuk és mindegyik szakaszra feltételezzük, hogy $V_{kr} = \text{const}$. Ekkor a változók száma csökken és az egyenlet könnyen integrálható. A /6/ integrálása adja:

$$H = H_{kezd} + \frac{V_{kr}^2}{2g} \ln \frac{V_{kr}^2 - V_{kezd}^2}{V_{kr}^2 - V^2} \quad /7/$$

ahol: H - a test által megtett út;

H_{kezd} - a test által a mozgás kezdetéig megtett ut, a vizsgált szakaszon;

V_{kr} - kritikus sebesség /a vizsgált szakaszban feltételesen állandó/;

V - a test pillanatnyi sebessége.

Az /5/-ből kapjuk:

$$t = t_{kezd} + \frac{V_{kr}}{2g} \ln \frac{V_{kr} + V}{V_{kr} - V} \cdot \frac{V_{kr} - V_{kezd}}{V_{kr} + V_{kezd}} \quad /8/$$

ahol: t - az esés kezdetétől eltelt idő;

t_{kezd} - a mozgás kezdetének ideje a vizsgált szakaszon.

A /8/-at V -re megoldva, a V -t /7/-ből behelyettesítve, két újabb formulát kapunk:

$$V = V_{kr} \frac{(V_{kr} + V_{kezd}) \cdot e^{2gt} - (V_{kr} - V_{kezd})}{(V_{kr} + V_{kezd}) \cdot e^{2gt} + (V_{kr} - V_{kezd})} \quad /9/$$

$$H = H_{\text{kezd}} + \frac{v_{\text{kr}}^2}{g} \ln \frac{1/\sqrt{v_{\text{kr}} + v_{\text{kezd}}} \cdot e^{\frac{2g/t - t_{\text{kezd}}}{v_{\text{kr}}}} + 1/\sqrt{v_{\text{kr}} - v_{\text{kezd}}}}{2v_{\text{kr}} \cdot e^{\frac{2g/t - t_{\text{kezd}}}{v_{\text{kr}}}}} \quad /10/$$

Ezek az egyenletek a vertikálisan zuhanó test mozgásának vizsgálatára teljes megoldást adnak.

Gyakorlatban a /7/-/10/ formulák csak addig használhatók, amíg a sebesség lényegesen különbözik a kritikustól. Amikor a különbség e két sebesség között elég kicsivé válik /1-3% a V-hez képest/ már fel kell tételezni, hogy a test kritikus sebességgel esik.

Meg kell jegyezni, minél kisebb a vizsgált és kiválasztott szakaszok hossza, melyben a kritikus sebességet állandónak vesszük, annál nagyobb pontosságú az eső test mozgáselemeinek meghatározása.

3. A VIZSZINTESBEN REPÜLŐ REPÜLŐGÉPRŐL LEDOBOTT, SZABADESÉST VÉGZŐ TEST MOZGÁSPÁLYÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSA.

Vizzintes repülés közben ledobott és szabadon eső bábú, vagy ejtőernyős mozgáspályájának meghatározása céljából integrálni kell az ismert mozgásegyenleteket, így lehetővé válik a V sebesség meghatározása, továbbá az Y magasságcsökkenés és vizzintesirányú X elsodrás meghatározása a pálya bármely pontján!.

Tételezzük fel, hogy a t pillanatban ledobott objektum súlypontja a mozgáspályán a ψ szög szárának érintési pontjában van /5.ábra/. A zuhanó objektumra hat az R légellenállási erő, ami érintőleges s mozgáspályával, és a G nehézségi erő. A mozgás egyenlete a következő formában írható fel:

$$\frac{d}{ds} \left/ \frac{mV^2}{2} \right/ = mg \cdot \sin \psi - cV^2$$

$$mV^2 \frac{d\psi}{ds} = mg \cdot \cos \psi \quad /11/$$

ahol: m - a test tömege;

V - a test sebessége a mozgáspálya adott pontjában;

g - a nehézségi gyorsulás;

ψ - a mozgáspálya érintőjének vizzintessel bezárt szöge;

$$c = \frac{H \cdot c_T \cdot f_T}{2} - \text{tényező.}$$

ρ_H - a levegő sűrűsége az adott H magasságon.

Általános esetben, amikor az eje-teher rendszer mozgáspályán mozog:

$$c = \frac{H}{2} \left(\sum C_{eje} F_{eje} + \sum c_T \cdot f_T \right)$$

ahol: $c_T \cdot f_T$ - a teher összevont ellenállási tényezője

$C_{eje} F_{eje}$ - az ejtőernyő jellemzői.

Ha behelyettesítjük az $a = \frac{c}{m}$ -értéket, akkor a /11/ mozgásegyenlet az alábbi lesz:

$$\frac{d/v^2/}{ds} = 2 \cdot g \cdot \sin \psi - 2 \cdot a \cdot v^2$$

$$v^2 \cdot \frac{d/\sin \psi/}{ds} = g \cdot \cos^2 \psi = g \cdot (1 - \sin^2 \psi) / \quad /12/$$

A változók behelyettesítése után: $v^2 = z$, $\sin \psi = \eta$, a /12/ egyenletet átírhatjuk:

$$\frac{dz}{ds} = 2g\eta - 2az \quad /13/$$

$$z \frac{d\eta}{ds} = g(1 - \eta^2) /$$

/13/-at megoldva kapjuk:

$$z = v_0^2 \cdot \cos^2 \psi_0 \cdot \frac{e^{-2a \cdot s}}{1 - \eta} \quad /14/$$

$$b = b_0 + \lambda / e^{2a \cdot s} - 1 / \quad /15/$$

ahol:

$$b = \frac{2}{1 - \eta^2} \cdot \eta + \ln \frac{1 + \eta}{1 - \eta} \quad /16/$$

$$b_0 = \frac{2}{1 - \eta_0^2} \cdot \eta_0 + \ln \frac{1 + \eta_0}{1 - \eta_0} \quad /17/$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot g}{a \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \psi_0} = \frac{2 \cdot g \cdot m}{c \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \psi_0} \quad /18/$$

vagy:

$$V = v_0 \cdot \cos \psi_0 \cdot \frac{e^{-a \cdot s}}{\cos \psi} \quad /19/$$

$$s = \frac{1}{2a} \ln \left/ 1 + \frac{b - b_0}{\lambda} \right/ \quad /20/$$

Az utóbbi egyenletek magukban foglalják a sebességi hodográf egyenleteket.

A /16/ összefüggés alapján felrajzolhatjuk a $b = b(\psi)$ függvényt, mint a 6. ábrán látható.

Különböző értékekkel számolva a mozgáspályát a /15/ formula alapján megkapjuk a b értékeit /6. ábra/ a ψ szög függvényében. Is-

merve a ψ -t és s-t, a /19/ alapján megkaphatjuk a V sebesség értékeit a mozgáspálya különböző pontjaiban. X, Y és t értékeit integrálással kaphatjuk meg.

Mint látható az eddigiekből, az ejtőernyős esésének mozgáspálya-elemei számításánál alapvetően jellemző a $c_T f_T$ összevont ellenállási tényező.

Az ejés a levegőben való zuhanásnál, különböző testhelyzeteket vesz fel a légáramlás irányához képest, s ez mind a c_T ellenállási tényező, mind az f_T homlokfelület széles határok közötti változásával jár. Ezt bizonyítják a szélesatorna vizsgálatok eredményei is, amikor az ugró modelljének c_T tényezője a légáramláshoz viszonyított testhelyzet függvényében 0,182-től 1,176-ig változott.

c_T értékének széles határok közötti változása az ugró légáramlat-hoz viszonyított testhelyzete miatt, szükségessé teszi egy átlagos, kombinált tényező alkalmazását a számításoknál.

$c_T f_T$ meghatározására, ha ismertek a kísérletek eredményei, fel lehet használni az eddigi formulákat, bizonyos átalakításokkal.

A /18/ formula c értékének behelyettesítése után így írható:

$$\lambda = \frac{4 \cdot m \cdot g}{V_0^2 \cdot \rho_H \cdot c_T f_T \cdot \cos^2 \psi_0} \quad /21/$$

/19/ alapján írhatjuk:

$$e^{2a \cdot s} = \left(\frac{V_0 \cdot \cos \psi_0}{V \cdot \cos \psi} \right)^2 \quad /22/$$

A /15/-ből következik:

$$\lambda = \frac{b - b_0}{e^{2a \cdot s} - 1} \quad /23/$$

ami a /22/ behelyettesítése után az alábbi alakot veszi fel:

$$\lambda = \frac{(b - b_0) \cdot V^2 \cdot \cos^2 \psi}{V_0^2 \cos^2 \psi_0 - V^2 \cos^2 \psi} \quad /24/$$

/21/ és /24/-ből rendezve:

$$c_T f_T = \frac{4mg}{\rho_H \cdot (b - b_0)} \left(\frac{1}{V^2 \cos^2 \psi} - \frac{1}{V_0^2 \cos^2 \psi_0} \right) \quad /25/$$

A mozgáspálya kezdeti szakaszára, vízszintesen repülő repülőgépről való dobásnál $\psi_0 = 0$; $b_0 = 0$ / a /25/ az alábbi alakú lesz:

$$c_T f_T = \frac{4mg}{\rho_H \cdot b} \left(\frac{1}{V^2 \cdot \cos^2 \psi} - \frac{1}{V_0^2} \right) \quad /26/$$

A /25/ formulával meghatározható a $c_T f_T$ értéke a zuhanó objektum mozgáspályájának kis szakaszán, ha ismert az objektum sebességének nagysága és iránya, a szakasz határain.

Általában a a pilóta kényszerugrások mozgáspályáinak számításánál kombinált keresztmetszeti tényezővel $(c_T f_T = 0,40 \text{ m}^2)$ számolunk.

4. A KUPOLA BELOBBANÁSA.

A megismert összefüggések, melyek a szabadon eső test mozgáspályaelemeit határozzák meg függőleges esésnél, valamint abban az esetben, amikor vízszintesen repülő légi járműről történik a dobás, lehetőséget adnak a test mozgásának leírására a mantóernyő működésének három szakaszában. Annak a szakasznak a számítása, melyben a főkupola és a zsinórzat kihúzódnak, a belsőzsák lehuzódik, - némileg bonyolultabb, mivel a kibomló rendszer, valamint a kihuzóernyő miatt a tömeg változik. Ezt figyelembe véve, a feladat közelítő megoldásánál, amit a számítási technikában alapvetően alkalmaznak, a teher és a kihuzóernyő tömegét megnövelik a főkupola, a belsőzsák és a zsinórok tömegének a felével és feltételezzük, hogy akadály nélkül mozognak. E közben még feltételezzük, hogy a folyamat kezdetén a nyitóernyő és a teher egyforma sebességű.

Az idő, ami a főkupola és a zsinórzat kifeszítéséhez szükséges, grafikusán kerül meghatározásra.

A /10/-es, vagy a /11/ egyenletek megoldásai adják a teher és a kihuzóernyő ut-grafikonját. Az idő, ami ahhoz szükséges, hogy a tehertől elmaradjon a kihuzóernyő kifeszített zsinór és kupolahosszra - a kifeszítési idő.

A kihuzóernyő rendszer kihuzásakor a belsőzsák és a főernyőkupola elmarad a tehertől. Ez ahhoz vezet, hogy a rendszer teljes hosszra való kihuzódása után rántás következik be. Ekkor az ejcszinte egy pillanat alatt akkora sebességre gyorsul, mint a teher. Az ekkor fellépő terhelések függenek a teher és az ejcs sebességkülönbségétől, tömegeüktől, a zsinórok rugalmasságától, valamint az ejcs működésének további fázisaitól.

A korszerű ejckonstrukciók többségénél a főernyőkupola belsőzsákba kerül elhelyezésre, ami nem engedi a belobbanást a teljes kihuzódás előtt.

A belsőzsák borítólapjának kiszabadulása után /miután a zsinórok a fülecsékből kihuzódtak/ a kihuzóernyő lehuzza a belsőzsákot a főernyőkupoláról. A belsőzsák lehuzásakor a teher a főernyővel és a belsőzsák a kisernyővel - bizonyos határok között - két önálló rendszert képeznek. A belsőzsák lecsuszásának idejét azzal az időtartammal határozzuk meg, amely ahhoz szükséges, hogy az első rendszer a másodikhoz képest a belsőzsák hosszának megfelelően elmozduljon. A belsőzsákból való kicsuszás után a főernyőkupola kész a belobbanásra. Azonban, mint a kísérletek mutatták, néha a belobbanás nem azonnal kezdődik, sőt egyes esetekben az ejcs egyáltalán nem nyílik. Megállapítást nyert, hogy a kupola csak meghatározott feltételek esetén lobbant be. A kupola belobbanóképessége függ a sebességtől, melynél az ejcs működtetik, a kupola anyagának légáteresztőképességétől, valamint egyéb tényezőktől.

Kis sebességnél az erő, ami a légáramlás részéről hat a kupolára, jelentéktelen, és így nem lobbantja be. A sebesség növekedésével a légerő növekszik, s amikor akkora lesz, mint a zsinór és a kupola súlya, a kupola elkezd feltöltődni. Azt a sebességet, melynél a kupola elkezd belobbanni /feltöltődni/ minimális belobbanási sebességnek V_{min} nevezzük.

5. MINIMÁLIS BELOBBANÁSI SEBESSÉG VIZSGÁLATA, MEGHATÁROZÁSA.

Az eje kis sebességnél való működtetésekor a feltöltődés /belobbanás/ csak az után kezdődik, hogy a rendszer sebessége eléri V_{\min} értéket, azaz, amikor a légellenállás ereje azonos a kupola és zsinórzat súlyával:

$$Q_{\min} = G_K \quad /27/$$

ahol: G_K - a kupola és a zsinórzat súlya;

Q_{\min} - a be nem lobbant kupola légellenállása.

Általában úgy számolnak, hogy a be nem lobbant kupola ellenállása $1/10$ - $1/16$ része a teljesen kinyitott kupolának:

$$Q_{\min} = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{16} \right) \cdot c_E \frac{V_{\min}^2}{2} F_E \quad /28/$$

/27/ és /28/ kifejezésből meghatározzuk a minimális torlónyomást:

$$q_{\min} = \frac{V_{\min}^2}{2} \quad \text{melynél a kupola elkezdi feltöltődni:}$$

$$q_{\min} = \frac{G_K}{\left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{16} \right) \cdot c_E F_E} \quad /29/$$

valamint a belobbanás minimális sebességét:

$$V_{\min} = \sqrt{\frac{2G_K}{\left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{16} \right) \cdot c_E F_E}} \quad /30/$$

6. A KUPOLA-BELOBBANÁS KRITIKUS SEBESSÉGINEL MEGHATÁROZÁSA.

A kupola belobbanási tulajdonságának másik nagyon fontos jellemzője a kritikus belobbanási sebesség - V_{ok} .

Ha a kupolát elég nagy légáteresztési tényezővel rendelkező anyagból készítjük, vagy a nagy légáteresztést konstrukciós úton biztosítjuk /a kupolán nyílásokat készítünk/, akkor a kupola nagy sebességnél nem lobbant be, csak az után, hogy a sebessége csökken V_{ok} -ig.

Igy V_{ok} a belobbanás kritikus sebességét / V_{ok} / úgy lehet tekinteni, mint egy minimális sebességet, melynél a lassítási folyamatban lévő eje még nem lobbant be.

Nézzük meg röviden az alapvető geometriai viszonyokat, melyek a kiterített ejét jellemzik, abból a célból, hogy megtudjuk határozni a V_{ok} kritikus belobbanási sebesség formuláját.

Mint V_{ok} már szó volt róla, az ejekupola, amikor elkezdi belobbanni, /a kupola és a zsinórok teljes hossza kihúzódta, a belsőzsák lehuzódása után/ felvesz egy formát, csonkakúp alakot fél-

gömb alakú felső résszel /7. ábra/.

Vegyük az ábra alapján a következő jelöléseket:

- W - a kupola térfogata;
- S - a kiterített kupola sugara;
- r_0 - a kilépő nyílás /szélkémény/ sugara;
- R - a félgömb alakú felső rész sugara;
- l - zsinórhossz;
- H - a csónkakup magassága;
- r - a belépő nyílás sugara;
- n - a zsinór szám;
- 2α - két szomszédos zsinór által bezárt szög.

A vizsgálatok egyszerűsítése céljából nézzünk egy tengelyszimmetrikus kupolát, ami kiterítve kör alakú. /8. ábra/.

A kupola térfogata két részből áll: W_1 - a csónkakup térfogata
 W_2 - a félgömb térfogata.

$$W = W_1 + W_2 = \frac{1}{3} \pi H (r^2 + R \cdot r + R^2) + \frac{2}{3} \pi R^3 \quad /31/$$

Kifejezzük W térfogatát egy változóval /r/, a belépő nyílás sugarával. Így kapjuk:

$$\frac{1}{r} = \frac{AC}{CC'}, \text{ de } CC' = R \cdot r \text{ és } AC = S_0 - \frac{\pi R}{2}$$

Ebből következik:

$$\frac{1}{r} = \frac{S_0 - \frac{\pi R}{2}}{R \cdot r} \quad /32/$$

/32/ alapján kapjuk:

$$R = \frac{r/S_0 + 1/2}{1 + \frac{\pi r}{2}} \quad /33/$$

A csónkakup magassága:

$$H = \sqrt{\left(S_0 - \frac{R \cdot \pi}{2}\right)^2 - (R - r)^2} \quad /34/$$

behelyettesítve /32/-ből /R-r/ értékét /34/-be, kapjuk:

$$H = \left(S_0 - \frac{R \cdot \pi}{2}\right) \sqrt{1 - \frac{R^2}{l^2}} \quad /35/$$

Sorbafejtjük a $\sqrt{1 - \frac{R^2}{l^2}}$ - kifejezést és a továbbiakban csak az első két tagot $\sqrt{1 - \frac{R^2}{l^2}}$ vesszük figyelembe /ez abból is következik, ha figyelembe vesszük a belobbant kupola azon konstrukciós sajátosságát, hogy az r/l viszony kisebb, mint egy/:

$$\sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2}} \approx 1 - \frac{r^2}{2l^2}$$

ekkor

$$H = \left[S_0 - \frac{R \cdot \pi}{2} \right] \left(1 - \frac{r^2}{2l^2} \right)$$

vagy a /33/ alapján:

$$H = \left[S_0 - \frac{\pi \cdot r \cdot (S_0 + 1)}{2 \cdot l + \pi \cdot r} \right] \left(1 - \frac{r^2}{2l^2} \right) \quad /36/$$

Innen a kupola térfogata:

$$W = \frac{1}{3} \cdot \left[S_0 - \frac{\pi \cdot r \cdot (S_0 + 1)}{2 \cdot l + \pi \cdot r} \right] \left(1 - \frac{r^2}{2 \cdot l^2} \right) \left[r^2 + \frac{r^2 / (S_0 + 1)}{1 + \frac{\pi \cdot r}{2}} + \frac{r^2 / (S_0 + 1)^2}{/1 + \frac{\pi \cdot r}{2} /^2} \right] +$$

$$+ \frac{2}{3} \pi \frac{r^3 / (S_0 + 1)^3}{/1 + \frac{\pi \cdot r}{2} /^3} \quad /37/$$

Igy a kupola térfogatát egy változóval fejeztük ki: $W = W/r/$.
Az egyensúlyi levegőtérfogattal összevetve:

$$\frac{dW}{dt} = n_1 \pi r^2 V - /2\pi R^2 - \pi r_0^2 / V_i - n_2 \pi r_0^2 V \quad /38/$$

ahol: V - a levegőáram sebessége;

V_i - a levegő áramlási sebessége a kupolaanyagon át;

n_1 - korrekciós tényező a légáram átlagos sebességének változására, annak kupolába való belépése miatt;

n_2 - korrekciós tényező az átlagos légáramlási sebesség változására, a szélkéményen való kilépés miatt.

Levegőkiáramlást a kupolából oldalirányba nem vesszük figyelembe. Mivel $W = W/r/$, ezért

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dr} \cdot \frac{dr}{dt} = W'/r/ \frac{dr}{dt} \quad \text{és a /38/ a következő alakú lesz:}$$

$$W'/r/ \frac{dr}{dt} = n_1 \pi r^2 V - /2\pi R^2 - \pi r_0^2 / V_i - n_2 \pi r_0^2 V \quad /39/$$

Abban az esetben, ha az ejekupola, mely csonkakúp alakot vett fel félgömb alakú lezárással, nem lobban be, akkor

$\frac{dr}{dt} \leq 0$ és a be nem lobbanás feltételei az alábbiak:

$$n_1 \pi r^2 V - /2\pi R^2 - \pi r_0^2 / V_i - n_2 \pi r_0^2 V \geq 0 \quad /40/$$

Az ejekupola belobbanás kritikus sebességének meghatározására szolgáló formula.

Mint már szó volt róla, a V_{ok} kritikus belobbanási sebesség azt a legkisebb sebességet jelenti, melynél az ejekupola nem lobban be; ezért ezt a be nem lobbanás feltételéből határozhatjuk meg /40/.

$$n_1 \tilde{r}^2 V_{ok} - 2R^2 - r_o^2/V_i - n_2 \tilde{r}_o^2 V_{ok} = 0 \quad /41/$$

behelyettesítve az R értékét /33/-ből, kapjuk:

$$n_1 \tilde{r}^2 V_{ok} - \left[2 \frac{r^2/S_o + 1/2}{1 + \frac{r}{2}} - \tilde{r}_o^2 \right] V_i - n_2 \tilde{r}_o^2 V_{ok} = 0 \quad /42/$$

Azért, hogy kiküszöböljük a V_i -t, induljunk ki az alábbiakból. Ismert (2), hogy az eje kupola anyagán átáramló levegő V_i arányos a Δp nyomáskülönbséggel

$$\Delta p = a \cdot V_i + b \cdot V_i^2 \quad /43/$$

ahol: a, és b tényezők, melyek a kupolaanyag légáteresztő képességére jellemzők.

Más oldalról, kísérletileg megállapították, hogy

$$\Delta p = n_o \frac{g \cdot V^2}{2} \quad /44/$$

A 9. ábrán látható az n_o nyomástényező függése az anyag légáteresztőképességétől W , melynek a dimenziója l/m^2s szabványos körülmények között $\Delta p = 5 \text{ kp/m}^2 = 49 \text{ Pa}$. Az ábrából következik, hogy az n_o tényező kis légáteresztésű anyagnál $W = 500 \text{ l/m}^2s / 1,6$, s nagy légáteresztésű anyagból készített kupolánál $W = 1600 \text{ l/m}^2s / n_o$ tart az egyhez.

/43/ és /44/ összefüggések alapján:

$$aV_i + bV_i^2 = \frac{n_o g V^2}{2} \quad /45/$$

/A jelen esetben: $V = V_{ok}$ /

A /45/ egyenletből:

$$V_i = -\frac{a}{2 \cdot b} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4b^2} + \frac{n_o g V_{ok}^2}{2b}}$$

behelyettesítve: $-\frac{a}{2b} = k$ és $\frac{n_o g}{2b} = \omega$ kapjuk:

$$V_i = k \pm \sqrt{k^2 + \omega V_{ok}^2} \quad /46/$$

A /42/ egyenletbe behelyettesítjük V_i értékét /46/-ből, kapjuk:

$$n_1 \tilde{r}^2 V_{ok} - \left[2 \frac{r^2/S_o + 1/2}{1 + \frac{r}{2}} - \tilde{r}_o^2 \right] \left[k \pm \sqrt{k^2 + \omega V_{ok}^2} \right] =$$

$$= n_2 \tilde{r}_o^2 V_{ok} r_o^2, \text{ vagy}$$

$$V_{ok} / \frac{1 + \frac{r}{2}}{2} / n_1 \tilde{r}^2 - n_2 \tilde{r}_o^2 / = \left[2 \frac{r^2/S_o + 1/2}{1 + \frac{r}{2}} - \tilde{r}_o^2 \right] \left[k \pm \sqrt{k^2 + \omega V_{ok}^2} \right]$$

A bal és jobb oldalt S_o -val elosztjuk, kapjuk:

$$V_{ok} / \frac{1}{S_o} + \frac{\tilde{r} r / 2}{2 \tilde{r}_o^2 / 2} \left[n_1 / \frac{r}{S_o} / 2 - n_2 / \frac{r_o}{S_o} / 2 \right] = \left[2 / \frac{r}{S_o} / 2 / 1 + \frac{1}{S_o} / 2 - \frac{r_o}{S_o} / 2 / \frac{1}{S_o} + \frac{\tilde{r} r}{2 S_o} / 2 \right]$$

$$\cdot \left[k_{\pm} \sqrt{k^2 + v_{ok}^2} \right]$$

/47/

bevezetjük az alábbi, dimenzió nélküli paramétereket:

$$\frac{1}{S_0} = \eta; \quad \frac{r_0}{S_0} = \eta'; \quad \frac{r_0}{S_0} = \lambda$$

/48/

Ekkor a /47/ egyenlet a következő formájú lesz:

$$v_{ok} / \left[\chi + \frac{\eta}{2} \lambda \eta'^2 / n_1^2 - n_2^2 \right] = \left[2\lambda^2 / 1 + \chi / 2 - \eta'^2 / \chi + \frac{\eta}{2} \lambda \eta'^2 \right] \left(k_{\pm} \sqrt{k^2 + v_{ok}^2} \right)$$

$$\text{vagy } v_{ok} \frac{\chi + \frac{\eta}{2} \lambda \eta'^2 / n_1^2 - n_2^2}{2\lambda^2 / 1 + \chi / 2 - \eta'^2 / \chi + \frac{\eta}{2} \lambda \eta'^2} - k = \pm \sqrt{k^2 + v_{ok}^2} \quad /49/$$

A bal oldalon lévő törtet "A" értékkel behelyettesítjük, így a bevezetett jelöléssel /49/-ből a következő alakú egyenletet kapjuk:

$$v_{ok} \cdot A - k = \pm \sqrt{k^2 + v_{ok}^2} \quad /50/$$

Négyzetre emeljük /50/ mindkét oldalát:

$$v_{ok}^2 / A^2 - v_{ok}^2 = 2kAv_{ok} \quad /51/$$

v_{ok} -ra megoldjuk az egyenletet, így v_{ok} -ra két értéket kapunk. Az egyik megoldás triviális - $v_{ok} = 0$, a másik megoldás alakja pedig:

$$v_{ok} = \frac{2 \cdot A \cdot k}{A^2 - v_{ok}^2} \quad /52/$$

Az /52/ formula alkalmazási területének meghatározása céljából az ejekupola kritikus belobbanási sebességének meghatározására felrajzoljuk a $v_{ok} = f/A$ összefüggést.

Az /52/ formulából következik, hogy $A=0$ -nál $v_{ok}=0$. Ha A tart a v_{ok} értékhez lentről /azaz mindig kisebb marad annál/, akkor v_{ok} tart a pozitív végtelenhez.

Gyakorlatilag ebben az esetben a nevező igen kis negatív mennyiség lesz, a számláló ugyancsak negatív értékű. / k nagyobb, mint 0, mivel $k = -a/2b$; a nagyobb, mint 0 és b nagyobb, mint 0/. Ha $A = \sqrt{v_{ok}^2}$, akkor v_{ok} végtelennel egyenlő, azaz végtelen nagy a kritikus belobbanási sebesség. Ha A értéke nagyobb, mint $\sqrt{v_{ok}^2}$, akkor v_{ok} -ra negatív értéket kapunk.

A végtelenhez tartó... A-nál v_{ok} tart a 0-hoz, mivel:

$$\lim_{A \rightarrow \sqrt{v_{ok}^2}} \frac{2 \cdot A \cdot k}{A^2 - v_{ok}^2} = \lim_{A \rightarrow \sqrt{v_{ok}^2}} \frac{2k}{A - \frac{v_{ok}^2}{A}} = 0$$

A fentiek alapján készült görbe a lo. ábrán látható.

A levezetett analízisből következik, hogy v_{ok} értékét /52/-ből abban az esetben lehet megtalálni, ha teljesül az

$$A < \sqrt{v_{ok}^2} \quad \text{feltétel} \quad /53/$$

Ha az /53/ feltétel teljesül, akkor meg lehet határozni egy kritikus belobbanási sebességet. Ha az /53/ feltétel nem teljesül, azaz

$$A \neq \sqrt{S_0}$$

/54/

akkor a belobbanás kritikus sebessége végtelen nagy, vagy negatív értékű. Ez azt jelenti, hogy az ejekúpola mindig belobban.

A belépő felület meghatározása a részlegesen belobbant kupolánál.

A felvett geometriai séma /csonkakúp félgömb alakú fedéllel/ abból a feltevésből indult ki, hogy a kupola belépő nyílása r sugarú kör, azaz végtelen sok zsinórja van a kupolának. Gyakorlatilag azonban a belépőnél "szírom" formájú és összehúzott. Ezért a belobbanási kritikus sebesség zsinórszámmal kapcsolatos analízisének, amit alább végzünk, számításba kell venni a kupola belépőnyílása formaváltozását a zsinórszám változása miatt. A célból tisztázni kell néhány kérdést a további számításokhoz.

Ugy szélcsatornában - ejekúpola modelleken végzett vizsgálatoknál, filmfelvételkor, mint a teljesen belobbant természetesen méretű ejekúpolákról készült felvételeken - a következők voltak jellemzők: a kupolának az a része, amely közel van a szélkéményhez, teljesen belobban, a többi kupolarész ráncolt marad, miközben ezek a ráncok a kupola belsejébe irányulnak, ezzel csökkentve a belépő nyílás nagyságát. /11. ábra./

A befelé irányuló ráncok határvonala a belobbanás közben kifele mozog a kupola széle felé és teljesen belobbant kupolánál a ráncok eltűnnek.

Kiszámoljuk a belépő nyílás felületét a nem teljesen belobbant ejekúpolánál, hogy megtaláljuk az r^x /és annak megfelelő λ^x értéket/, értve ez alatt annak a körnek a sugarát, melynek területe azonos a kupola belépő felületével, figyelembevéve a ráncokat, amelyek a kupola tengelye felé irányulnak.

A számítás a 12. ábrából kiindulva végezzük el, ahol adott a belépő felületnek az a része, amit két zsinór határol.

Ha az "e"-vel jelölt távolságon érintőirányú a kupola anyaga, s R_x a "szírom" rádiusza, akkor kapjuk:

$$e = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot S_0}{n} - \pi R_x^2} \quad /55/$$

Mivel az AA'CB'B görbe hossza megfelel $\frac{2\pi S_0}{n}$ -nek, belátható;

$$r - e = \frac{R_x}{\frac{n}{\pi}} \quad ; \text{ továbbá:}$$

$$e = r - R_x \cdot \frac{\pi}{n} \quad /56/$$

/55/ és /56/ egyenleteket megoldva, R_x és e értékére kapjuk:

$$R_x = \frac{2 \sqrt{r \cdot n - \pi S_0}}{n/2n - \pi^2} \quad /57/$$

$$e = \frac{2 \sqrt{S_0 - r \pi^2}}{2n - \pi^2} \quad /58/$$

A belépő elem "f" felülete, amit két szomszédos zsinór határol:

$$f = \frac{\pi r^2}{n} - \frac{1}{2} e / 2R_x + 2r \frac{\pi}{n} / - \frac{\pi R_x^2}{2}$$

Innen /57/ és /58/ segítségével kapjuk:

$$f = \frac{\pi r^2}{n} - \frac{\pi}{n} \frac{2S_0 - r^2}{2n - \pi^2/2} / 4r - 2S_0 - r^2 / - \frac{2r^3 \cdot \pi / 2n - \pi^2/2}{n^2} / 59/$$

A belépő teljes felület - F - a "szírom" alak és a ráncolódás figyelembevételével, ami a kupola tengelye felé irányul;

$$F = n \cdot f$$

Behelyettesítve f értékét /59/-ből, algebrai átalakítás után kapjuk:

$$F = \frac{2\pi/n \cdot r - \pi S_0/2}{n/2n - \pi^2/2} / 60/$$

és ebből következőleg, r^x sugár, ami az F felületnek felel meg:

$$r^x = \pi S_0 / \sqrt{\frac{2}{n/2n - \pi^2/2}} / 61/$$

vagy mértékegység nélkül kifejezve:

$$\lambda^x = \frac{r^x}{S_0} = \pi / \sqrt{\frac{2}{n/2n - \pi^2/2}} / 62/$$

Az F belépőfelület meghatározása a "szírom" alak és a ráncolódás figyelembevételével nem változtatja meg a V_{ok} sebesség meghatározására szolgáló /52/ formulát, de módosítja az "A" mennyiség kifejezését az alábbiakra:

$$A = \frac{\sqrt{1 + \frac{\lambda}{2}} / 2 \cdot \pi / n_1^2 x^2 - n_2^2}{2\lambda^2 / 1 + \lambda / 2 - R^2 / \lambda + \frac{1}{2} \lambda / 2}$$

Az n_1 és n_2 tényezőkről.

A levegő be- és kiáramlás egyensúlyi egyenletében, amelyből következett az /52/ formula, az ejekupola kritikus belobbanási sebességére, kerültek alkalmazásra az n_1 és n_2 tényezők.

Mint már szó volt róla, n_1 tényező adja a kupola belépő nyílásába áramló V sebességű levegő korrekcióját, azaz

$$V_1 = n_1 \cdot V$$

ahol: V_1 - a kupola belépő keresztmetszetében a légáramlás sebessége.

Ebből következik:

$$n_1 = \frac{V_1}{V} / 63/$$

A 13. ábra alapján, ahol:

f - a légáramlat keresztmetszete;

$F_1; V_1$ - a kupola belépőnyílásának keresztmetszete, az itt belépő levegő sebessége;

$F_2; V_2$ - a kupola kupulégömb átmenetében a keresztmetszet felülete és a légáram sebessége a víz ált keresztmetszetben.

A kontinuitás figyelembevételével:

$$V \cdot f = F_1 V_1 = F_1 n_1 V; \text{ ebből következik:}$$

$$n_1 = \frac{f}{F_1} \quad /64/$$

azaz n_1 tényező a légáramlat összenyomását határozza meg. Más oldalról, ismét a kontinuitás figyelembevételével:

$$F_1 V_1 = F_2 V_2; F_2 V_2 = 2R^2 V_i \quad - \text{következőleg:}$$

$$F_1 V_1 = 2R^2 V_i; V_1 = \frac{2R^2}{F_1} V_i = \frac{2R^2}{r^2} V.$$

/63/-nak megfelelően:

$$n_1 = \frac{2R^2}{r^2} \frac{V_i}{V} \quad /65/$$

A /33/ és /46/ összefüggések felhasználásával kapjuk:

$$n_1 = \frac{2r^2 / S_0 + 1/2 \cdot /k \pm \sqrt{k^2 + v^2} /}{V / 1 + \frac{W r}{2} / 2} \quad /66/$$

A be nem lobbant formánál $R = r$, ekkor /65/-ből következik:

$$n_1 = \frac{2V_i}{V}$$

Igy a különböző anyagokkal a légátáramlási sebesség kísérleti adataival meg lehet határozni az n_1 tényezőt. Az n_1 tényező meghatározható még elméleti úton, a légáteresztő testek egyes aerodinamikai tulajdonsága alapján.

Em részletezve ezt a kérdést, bizonyítható, hogy az n_1 tényező, nagy légáteresztőképességű anyagból készült kupolánál közelítőleg egységnyi.

Az n_2 tényező, amely meghatározza a szélkéményen át kiáramló átlagos légáramsebességet, elméleti megfontolásokból 0,5 értékű. Kísérleti adatok is alátámasztották ezt az értéket.

Az ejeanyag légáteresztőképessége.

Az ejeanyag W légáteresztőképessége meghatározza az eje alapvető jellemzőit és ezért annak egyik legfontosabb jellemzője. Gyakran az /52/ formula alapján történő kritikus belobbanási sebesség meghatározáshoz is ismerni kell R és ω értékét, melyek a /43/ összefüggéshez tartozó "a" és "b" légáteresztési tényezőktől függenek. Az ejeanyag W légáteresztését gyakorlati úton állapítják meg, speciális berendezés segítségével, amely lehetővé teszi az átáramló levegő mennyiségének mérését. Azonban az átáramló levegőmennyiség, így a légáteresztőképesség függ a nyomáskülönbségtől, ezért a jellemzők azonossága miatt ezt is pontosan meg kell határozni.

A Szovjetunióban a szabványos légáteresztést 5 m vízszlop /49 Pa/ nyomáson kell meghatározni, $l/m^2/s$ -ban megadni, azaz azzal a litertérfogatú levegővel, ami 1 másodperc alatt $1 m^2$ felületen átáramlik.

A légáteresztés nyilvánvalóan kapcsolatos a V_i sebességgel $/m/s/$ amelynél a levegő átáramlik az anyagon. A W és W_i közötti kapcsolat

megállapítható:

$$W = 1000V_i / \text{lit}/\text{m}^2\text{s}/.$$

Az ejtőernyőkúpola nyílási folyamatát a kúpolaanyag légáteresztőképességével együtt szükséges vizsgálni, mivel az eje működtetésekor meglévő nagyobb sebesség módosítja az anyag légáteresztőképességét, mert a $\Delta p = 5 \text{ kgs}/\text{m}^2 / 49 \text{ Pa}$ nyomáskülönbségnél mért légáteresztés csak a teljesen kinyílt és ereszkedett kúpolára jellemző, de a nyomáskülönbség nyílás közben lényegesen nagyobb lehet.

1939-ben dolgoztak a különböző ejeanyagok különböző nyomáskülönbségek mellett $60 \text{ kgs}/\text{m}^2 - 588 \text{ Pa}$ - ig terjedő légáteresztőképesség meghatározásán. A kísérleteket szélcsatornában végezték, a mérőcsövet elzárták a vizsgált ejeanyaggal, az áramlás megindítása után mérték a nyomást az anyag előtt $/p_1/$ és az anyag után $/p_2/$. Érzékeny anemométerrel meghatározták az anyag mögötti V_i áramlási sebességet az adott nyomáskülönbségnél.

Beigazolódott, hogy a nyomáskülönbség analitikus összefüggése az anyagon keresztúláramló levegő V_i sebességével, a következő formájú:

$$\Delta p = a \cdot V_i + b \cdot V_i^2$$

1947-48-ban H.A. Rahmatulin professzor vezetésével erre a célra konstruált berendezéssel kísérleti vizsgálatokat végeztek az ejeanyagok légáteresztőképességének meghatározására különböző nyomástartományokban $10-5000 \text{ kgs}/\text{m}^2 - 0,1-49 \text{ kPa}$ - értékek között. /14. ábra./

A kísérletek eredményeként kapott $\Delta p = f/V_i$ görbék aproximative parabolikus összefüggésűek, miközben az a és b tényezők - melyek jellemzőek a vizsgált ejeanyagra - közel állandóak maradnak minden anyagnál, a nyomáskülönbség $0,1-49 \text{ kPa}$ tartományában, ami gyakorlatilag magában foglalja a mentőernyők kúpolájának anyagára ténylegesen ható nyomás teljes tartományát.

A $\Delta p = a \cdot V_i + b \cdot V_i^2$ formula megadja az anyagdarabon átáramló levegő fizikai képét. Valóban, ez a köz, amit a szövet szálai határolnak minden oldalról, úgy tekinthető, mint egy kör alakú csődarab. Ekkor a sebesség és a nyomáskülönbség ennek a csőnek a végein összefüggenek a Poisson-formula szerint:

$$\Delta p = 8 \cdot \mu \frac{L}{r^2} V_i$$

ahol: μ - a levegő viszkozitása;

L - az anyag vastagsága;

r - a szálak által határolt nyílás sugara.

Más oldalról, ugyanez a nyílás diafragmaként kezelhető, amivel kapcsolatos a Borda-Carnot formula:

$$\Delta p = \left(\frac{\sigma}{K\sigma_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{2} \rho V_i^2$$

ahol: σ - az anyag egy nyílásának területe;

σ_1 - a nyílás területe;

K - a légáramlás összenyomódási tényezője / $K = 0,6$ /.

Összesített formában:

$$\Delta p = 8 \cdot \mu \frac{L}{r^2} V_i + \left(\frac{\sigma}{K\sigma_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{2} \rho V_i^2$$

A levezetett összefüggések bizonyos mértékig lehetőséget adnak az a és b tényezők fizikai valóságának megértéséhez.

7. AZ EJEKUPOLA KRITIKUS BELOBBANÁSI SEBESSÉGÉNEK FÜGGÉSE KÜLÖNBÖZŐ PARAMÉTEREKTŐL.

A kupolakritikus belobbanási sebességét V_{ok} meghatározó formula /52/ a /40/ feltételből lett levezetve, amely fizikailag értelmezi, hogy meghatározott feltételek között, melyek elég nagysebességű levegőáramlásnál jönnek létre - a kupolaanyagban és a szélkéményen keresztül, összefüggnek a kupola λ és ω paraméterekkel jelzett meghatározó geometriai méreteivel, egyenlő a kupola alá áramló levegő mennyisége a kiáramló levegő mennyiségével, ami feltétele e be nem lobbanásnak.

Az /52/ formula magában foglalja a λ , ω , k és α paramétereket, ami lehetővé teszi a V_{ok} analizisét ezek függvényében.

1. Gyakorlatilag, meghatározott formát adva a be nem lobbant kupolának - amit λ paraméterrel jellemezzük - ω , k és α paraméterek meghatározott értékeinél, variálva a λ paramétert, összefüggést lehet találni a V_{ok} kritikus belobbanási sebesség és a λ paraméter között, azaz, meghatározható, hogyan hat a zsinór hossza a V_{ok} kritikus belobbanási sebességre.

2. Meghatározott λ , k és α értéknél ω paraméter variálásával összefüggést kaphatunk a V_{ok} és ω között, azaz, meghatározható hogyan hat a szélkémény sugarának nagysága a V_{ok} - ra.

3. k és α paraméterek megváltoztatása adott ω levegősűrűségnél megfelel az a és b tényezők változtatásának, azaz a kupola W légáteresztőképeségére vonatkozó anyagjellemzők megváltozásának. Ebből következik, hogy meghatározott konstrukciójú ejekupolánál, azaz konkrét λ és ω -nál, összefüggés található a V_{ok} és az anyag W légáteresztése között.

4. Állandó a és b értéknél, azaz adott légáteresztőképeségű kupolánál, a k paraméter állandó mennyiség, s α változtatja értékét a levegő sűrűsége változásával, azaz a H magasság változásával.

Ebből következik, ismerve a ω és λ konstrukciós paramétereket, változtatva a α -t, azaz különböző magasságokon működtetve az ejtőernyőt, megismerhetjük az összefüggést a V_{ok} és H között.

5. A zsinórok n számának változtatásával változik a kupola belépő nyílása, azaz a λ paraméter, s az utóbbi változása a V_{ok} változását is magával vonja, amilehetőséget ad a V_{ok} összefüggésének megállapítására a zsinórszám függvényében.

A V_{ok} különböző paraméterektől való függésének analizisekor a vizsgált kőrkupolás eje jellemzői a következők voltak:

A kiterített kupola sugara:

Zsinórhossz:

Zsinórszám:

Szélkéménynyílás nincs

$S_0 = 4,4$ m.
 $L = 6,55$ m.
 $\lambda = 1,49$
 $n = 28$

Összegezve, az /52/ formulát felhasználva tekintjük át az alapvető tényezők hatását a kritikus belobbanási sebességre.

Légáteresztőképeség

A 15. ábrából következik, hogy a légáteresztőképeség növelésével a kritikus belobbanási sebesség hirtelen csökken, azonban a sűrűsű anyagoknál a számítások alapján / pl. G-sely-m, ASZT-100, stb/

az /53/ feltételek, melyek az /52/ formula kritériumai, nem teljesülnek. Ez azt jelenti, hogy azoknak az ejeknek a kupolája, amelyek ezekből az anyagokból készítenek, mindig belobbannak.

A kapott eredmény bizonyítja, hogy meghatározott konstrukcióju minden egyes kupola, amely egy adott anyagból készült, egyéni jellemzőkkel rendelkezik, amit jelez az a és b tényező, ezzel összhangban van a kritikus belobbanási sebesség, mely felett a kupola nem lobban be, azaz létezik egy olyan sebesség, mely felett a kupola nem lobban be, de alatta belobbán. Ebből a szempontból a 15. ábra felső része a be nem lobbanási zónát tartalmazza, az alsó része - a belobbanásit.

Zsinórhossz.

A γ paraméter, amely az L zsinórhossz arányát adja meg a kiterített kupola S_0 sugarához képest, konstrukciós tényező és az általános ejekupolánál:

$$\gamma = 1,4 + 1,6 \cdot \gamma, \text{ ami megfelel a zsinórhossz}$$

$L = /0,7 + 0,8/ \cdot D_0$ értékének, ahol D_0 a kiterített kupola átmérője.

A 16. ábrából következik, hogy a zsinórhossz növelésével az összes vizsgált anyagnál a kritikus belobbanási sebesség megnő. Ebből fontos következtetés származik, a kupola zsinórhossz növelésével a belobbanási tulajdonság javul. Különösen intenzíven növekszik a V_{ok} sebesség olyan anyagból készült kupoláknál, mint az A-35 perkal, a 16004 típuszámú selyem. 1,8 és 2,0 értékű γ paramétereknél ezeknél a kupoláknál nem teljesedik az /53/ feltétel, azaz mindig belobbannak. Másik oldalról a γ paraméterek csökkentése $\gamma = 1$ -ig, ezekből az anyagokból készült kupoláknál a V_{ok} kritikus sebesség jelentősen lecsökken, azaz a nyílási jellemzők romlanak és elérhető a kupolák be nem lobbanása viszonylag kis sebességeknél is.

Zsinórszám

A /60/ formulából, mely meghatározza a teljes F belépőfelületet a "szírom" alak és ráncokdás figyelembevételével, következik, hogy a zsinórok száma /n/ növelésekor F értéke tart az r^2 -hez, azaz r^x tart r-hez, λ^x tart λ -hoz. A λ -t ismertnek véve /62/ formula alapján meghatározzuk λ^x különböző n zsinórszámokhoz tartozó értékeit.

Ismervé λ^x -et, meghatározhatjuk V_{ok} kritikus belobbanási sebességét az azonos geometriai méretekkel de különböző anyagból készített kupoláknál a zsinórok n számának növelésével.

A számítások eredményét mutatja a 17. ábra, mely az /52/ és /62/ formulák alapján készült. A grafikonból látható, hogy különböző anyagokból készített kupoláknál a zsinórok n számának növelésével a V_{ok} kritikus belobbanási sebesség növekszik. Ebből következik, hogy nagyobb légáteresztő képességű anyagból készített kupoláknál a jobb belobbanási tulajdonság elérése céljából növelni kell a zsinórok számát. Ilyen zsinórszám-növelés meghatározott határok között helyes és mint a kísérletek mutatták, ténylegesen javítja a belobbanási tulajdonságokat. Azonban a zsinórszám növelése az eje térfogatának és súlyának növeléséhez is vezet. Ezen kívül, a zsinórszám jelentősmértékű növelése, különösen abban az esetben, ha azok szalagból készültek, a kupola be nem lobbanásához vezethet, mivel a belépő nyílás a belobbanás kezdetén a szalagokkal kialakított kuppal lefedett.

A 17. ábrán bemutatott grafikon ebből a szempontból egyszerűsített, mivel a számításoknál a zsinórok vastagsága nem lett figyelembevéve.

A szélkémény nagysága.

Az /52/ formulából következik, hogy az A számításához, valamint V_{ok} -hoz ismerni kell az n_2 tényezőt.

A paraméter növelésekor természetesen elvárható a β^x növekedése is, a β^x függése β -től első közelítésben lineárisnak vehető. /18. ábra./

Elvégezzük a számításokat az /52/ formula alapján és felrajzoljuk V_{ok} -t a β függvényében, különböző anyagokból készült kupoláknál, miközben az n_2 tényezőt kísérletek alapján 0,49 értékünk vesszük. Ez a grafikon megmutatja, hogy a szélkémény növelésével a kritikus belobbanási sebesség csökken. Analóg minőségű eredményeket adott a V_{ok} összefüggésének vizsgálata a kupolaanyag légáteresztőképességének növelésekor.

Mindebből következik, a β paraméter növelésekor az ejekúpola belobbanási tulajdonsága romlik, ezért nagy légáteresztőképességű anyagból szélkémény nélkül készítenek kupolát. Azon kupoláknál, melyeket sűrűszövésű anyagból készítenek, a szélkémény meglete kívánatos, mivel az bizonyos mértékig csökkenti a V_{ok} -t, azaz a kupola egy kicsit kisebb sebességig használható, de csökken az a túlterhelés, ami a rendszerre hat a belobbanáskor.

Az eje működtetési magassága.

Az /52/ formulában, mely meghatározza a kritikus belobbanási sebességet, szerepel az $\sigma = n_0 p / 2b$ mennyiség, ahol ρ - a levegő sűrűsége.

Természetes, hogy σ változásával, azaz a H magasságtól függően, ahol működtetik az ejét, megváltozik a V_{ok} kritikus belobbanási sebessége is.

A számítások eredményét a 20. sz. ábra szemlélteti, s ebből következik, hogy az eje H működtetési magassága növelésével a V_{ok} kritikus belobbanási sebesség annál energikusabban nő, minél kisebb a kupola anyagának légáteresztőképessége.

A V_{ok} sebesség növekedése az eje H működtetési magasságának emelkedése miatt egyidőben növeli az eje-teher rendszerre ható terhelést nyílás közben. Sőt még a nagy légáteresztésű anyagból készített kupolák, ami kis magasságon kis terhelést ad, nagy magasságon nagyobb terhelést adnak, mivel a sebesség, melynél megkezdődik a belobbanás, lényegesen megnő. Ezért a túlterhelések magasságtól való függésének vizsgálata és a sebességi, valamint a magassági határok megállapítása - melynél a túlterhelés nem haladja meg a megengedett értékeket - feltétlenül szükséges a nagy légáteresztőképességű kupola-konstrukcióknál /belátható, ez a következtetés vonatkozik azokra a kupolákra is, melyeknél elég nagy a konstrukciós úton biztosított - résrendszerek alkalmazásával - magasabb légáteresztőképesség.

Kupolák belobbanási jellemzőitességei kis V_{ok} -nál.

Előzőekben már szóba került, hogy a kupola belobbanási tulajdonsága függ a rendszer sebességétől abban a pillanatban, amikor a kupola kicsuszott a belsőzsákból és készen áll a belobbanáshoz.

Ha ez a sebesség, amit a belobbanás kezdeti sebességének V_0 - nevezünk, megfelel a $V_{min} < V_0 < V_{ok}$ -nak, mint feltételnek, akkor a be-

lobbanás azonnal megkezdődik és a kupola gyorsan, energikusan nyílik. Ebben az esetben - természetesen - teljesül az /54/ feltétel, amikor a V_{ok} értéke nagyon nagy lesz /a kupola légáteresztőképessége kicsi - 500 lit/m²s-nél kisebb/.

Ha az ejét V_{min} sebesség alatt kezdik működtetni, akkor a belobbanás csak a sebesség megadott értékre való megnövekedése után fog bekövetkezni.

Az eje működtetése elég nagy sebességnél, amikor V_0 nagyobb, mint V_{ok} , a kupola ugyancsak késve nyílik, de ebben az esetben a belobbanás csak a V_{ok} sebességre való lefékeződés után következik be. Ha V_{ok} értéke kicsi, a kupola lassan és simán nyílik, viszonylag kis terhelést ad a teher-eje rendszerre.

A kupola t_B belobbanási ideje V_{ok} -t meghaladó sebességnél működtetve az ejét, összetevődik t_{B1} időből, ami szükséges a V_0 sebesség V_{ok} -ra való lecsökkenéséhez és a t_{B2} belobbanási időből, ami idő alatt a kupola belobban és a sebessége V_{ok} -ról V_B -re, a belobbanás végének sebességére csökken:

$$t_B = t_{B1} + t_{B2}$$

8. AZ EJEKUPOLA BELOBBANÁSI TULAJDONSÁGAINAK JAVÍTÁSA.

Néhány esetben meg kell növelni a kritikus belobbanási sebességet. Ha V_{ok} értéke közeli a teher be nem lobbant ejével való esési sebességével és csak kissé múlja felül azt, akkor a kupola lomhán nyílik.

A kupolabelobbanás aktivizálására, valamint olyan ejék létrehozására, melyek rövid belobbanási idővel rendelkeznek, összehúzzák a szélkéményt, légzsebeket helyeznek el a belépőélen, megnövelik a zsinórok hosszát és számát /ésszerű határokon belül/, a kupola belépőélen húzó-szalagokat helyeznek el, középszinórt /köldökzsinórt/ alkalmaznak.

Középszinór alkalmazása.

Középszinórt /21/a ábra/ alkalmaznak pl. a mentőeje kihúzóernyőjénél abból a célból, hogy nagyobb aktivitású legyen a kisernyő belobbanása, gyorsabban menjen végbe a kupola és a zsinórzat kifeszítése, a belsőzsák lehúzása.

Középszinór alkalmazása növeli a kupola belépő keresztmetszetét. A kupola belobbanási tulajdonságának javításán kívül a középszinór növeli a kupola ellenállási tényezőjét is.

Légzsebek elhelyezése a belépőélen 5)

A kupola belépőélenél, a zsinórrögzítő csomópontok között zsebeket szoktak felvarrni /21.b. ábra/. A zsinórzat és a kupola teljes kihúzódása, a belsőzsák lecsuszása pillanatában /ha az van/ a zsebek gyorsan feltöltődnek levegővel, ezzel segítik a kupola belépőélenek kiterülését és a belépő nyílás gyors kialakítását. A rendszer sebességét V_{ok} -ig lecsökkenti ezzel a zseb, amikor a kupola már képes teljesen belobbanni.

Húzó szalagok.

Húzószalagok /22. ábra/ (6) alkalmazása nagyon hatásos mód az ejekupola belobbanási tulajdonságainak javítására: a húzószalagok a-

zon kívül, hogy csökkentik a kupola belépőélének hosszát, még mérséklék a szálátcsapódások számát is, melyek a belépőél egy részének átcsuszása redeményez a kupola ellentétes oldalán két zsinór között.

A huzószalagok hosszát úgy választják meg, hogy azok ne csökkentsék a teljesen belobbant kupola homlokfelületét.

A kupola belépőéle, amely kidomborodik két zsinór között, félkörhöz közeli görbe vonalat alkot, melynek a középpontja a két szomszédos zsinórt összekötő egyenesen van /23. ábra/.

Ennek a félkörnek a sugarát jelöljük r_0 -al, a huzószalag hosszát L_1 -el, a huzószalag rögzítési pontjának távolságát a belépőélen L_2 -vel és α -val annak a két egyenesnek a közbezárt szögét, amely közül az egyik a zsinórrögzítési ponton megy át, a másik pedig a huzószalag rögzítési pontján. Ekkor $L_2/2 = 2 \cdot r_0 \cdot \alpha / 360$, vagy $L_2 = 4 \cdot r_0 \cdot \alpha / 90$.

Mivel az r_0 rádiuszu félkörív hossza egyenlő a két szomszéd zsinór rögzítésének távolságával:

$$r_0 = \frac{2 \cdot S_0}{n}$$

ahol: S_0 a kiterített kupola sugara és n : a zsinórok száma. ekkor:

$$L_2 = \frac{4 \cdot S_0 \cdot \alpha}{90n}$$

Az ABC háromszögből tudjuk:

$$\frac{L_1}{2AC} = \cos \psi$$

De $AC = 2r_0 \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{4S_0}{n} \sin \frac{\alpha}{2}$ és $\psi = 90 \frac{n-2}{n} - \frac{\alpha}{2}$ akkor:

$$L_1 = \frac{8S_0}{n} \sin \frac{\alpha}{2} \cos / 90 \frac{n-2}{n} - \frac{\alpha}{2} /$$

Huzószalagok alkalmazása lehetővé teszi a belépőél hosszának csökkentését $n/L_2 - L_1$ mértékben, a zsinórok közötti távolság csökkentését $L_2 - L_1$ mértékben.

A levezetett formulák lehetővé teszik meghatározni az optimális α szöveget, mely a minimális anyagfelhasználást adja a huzószalagok készítésénél. Azzal a feltétellel, hogy a huzószalagok nem csökkentik a teljesen belobbant kupola homlokfelületét, jelentősen lehet csökkenteni a belépőél hosszát.

A kupola belépőnyílásának sugara - huzószalag esetén - meghatározható az alábbi formulával:

$$r^x = r_0^x + 0,5n \sqrt{\frac{2}{n/2n-1}^2} \cdot /L_2 - L_1/$$

ahol: r^x azon kör sugara, melynek a területe azonos az F_0 kezdeti belépőnyílással, ami

$$F_0 = \frac{2F_1 \alpha^2}{n/2n-1}^2$$

A bemutatott analízist és a megfelelő formulák levezetését V. T. Smakov mérnök végezte.

9. BELOBBANÁSKOR A KUPOLÁRA HATÓ MAXIMÁLIS TERHELÉS MEGHATÁROZÁSA.

Ismeretes, hogy nyitott állapotban az eje Q_E ellenállását az alábbi formulával határozhatjuk meg:

$$Q_E = \frac{\rho \cdot V^2}{2} c_E F_E \quad /67/$$

ahol c_E és F_E a nyitott ejtőernyőkúpola ellenállási tényezője és felülete.

Ez az ellenállás bizonyos mértékig kapcsolatos a kúpolára nyitáskor ható maximális erővel kgs-ben /N/, amit az alábbi formulával lehet kifejezni:

$$R_{E\max} = \rho V_B^2 c_E F_E \quad /68/$$

ahol: V_B - a rendszer sebessége / m/s / a kúpola kilobbanásának pillanatában.

A /68/ kifejezés a feladatot nem oldja meg, mivel a jobboldalon lévő V_B ismeretlen. A teljes megoldás céljából még egy egyenletet kell találni, amely kapcsolatos $R_{E\max}$ -al és V_B -vel, amelyeket a kúpola teljes belobbanása közbeni mozgás egyenleteiben használunk. Ezért az egyszerűsítés érdekében feltételezzük, hogy a rendszer vertikálisan esik és a maximális terhelés a kúpola teljes belobbanásakor hat. Az egyszerűsítések figyelembevételével a mozgás egyenletét az alábbi formában kapjuk:

$$m \frac{dV}{dt} /_B = G - R_{E\max} \quad /69/$$

ahol V - a rendszer merülési sebessége;

$\frac{dV}{dt} /_B$ - a belobbanáskor fellépő gyorsulás, pontosabban lassulás, mivel

$$\frac{dV}{dt} /_B < 0$$

A /69/ kifejezésben V_B természetesen nem szerepel és ezért azt átalakítjuk, a gyorsulást az átlagos gyorsulással fejezzük ki:

$$\frac{dV}{dt} /_B = k \frac{V_B - V_0}{t_B} \quad /70/$$

ahol: k - tényező, ami számszerűleg a minimális gyorsulás és az átlagos gyorsuláshoz való viszonyt fejezi ki.

A /70/ kifejezésben behelyettesítjük t_B -t, felhasználva ekkor a megtett ut, a sebesség és idő összefüggését.

Ismert (3), hogy S_B ut, amit a rendszer megtesz a kúpola belobbanásakor, arányos a kúpola méretével:

$$S_B = c \sqrt{F_E} \quad /71/$$

ahol: c - arányossági tényező, amely a kúpola konstrukciójától és légáteresztőképességétől függ /ART.16003 selyemből készült négyszögletes kúpolánál $C=0,4$, ART.16004 selyemnél $c=0,15$; APT.56008P kapronból $C=7,5$ /.

Más oldalról az utat ki lehet fejezni az átlagsebességből és a belobbanási időből:

$$S_B = \alpha \frac{V_0 + V_B}{2} t_B \quad /72/$$

ahol: α - tényező az átlagsebességből meghatározott ut számítási hibájának korrekciójára, ez egyenlő az S_B terület arányával a 24 ábrán jelölt trapézhoz képest.

/71/-ből és /72/-ből kapjuk:

$$t_B = \frac{2c \sqrt{F_E}}{V_0 + V_B} \quad /73/$$

Ezt a kifejezést, valamint /70/-et használva, kapjuk:

$$\frac{dV}{dt} /_B = \frac{\alpha k}{2c} \frac{V_B^2 - V_0^2}{\sqrt{F_E}} \quad /74/$$

/74/ alapján /69/-et átírjuk:

$$R_{E_{max}} = \frac{G}{\sqrt{F_E}} \left(\sqrt{F_E} - k/V_B^2 - V_0^2 \right) \quad /75/$$

ahol: $k = \alpha k / 2cg$ - állandó, amit kísérleti úton állapítanak meg, nagysága függ a kupola konstrukciójától, anyag-típusától és az anyag légáteresztő képességétől. Négyzetletes kupolánál ART.16004 selyemből, $K=0,01$, SZ-3 kupolánál ART.56008P papronból $K = 0,0056$.

A /68/ és /75/ egyenletrendszer V_B^2 -re és $R_{E_{max}}$ -ra megoldva kapjuk:

$$V_B^2 = \frac{K \cdot V_0^2 + \sqrt{F_E}}{0 \cdot c_E F_E / \left(\frac{K}{0 \cdot c_E F_E} + \frac{\sqrt{F_E}}{G} \right)} \quad /76/$$

$$R_{E_{max}} = \frac{K \cdot V_0^2 + \sqrt{F_E}}{\frac{K}{0 \cdot c_E F_E} + \frac{\sqrt{F_E}}{G}} \quad /77/$$

Mivel $G = c_E F_E \frac{\rho \cdot V^2}{2}$, megfelelő átalakítás után /77/-et felírhatjuk:

$$R_{E_{max}} = 2G \frac{K \cdot V_0^2 + \sqrt{F_E}}{\frac{K}{\Delta} + 2 \sqrt{F_E}} \quad /77a/$$

ahol: $\Delta = \frac{\rho}{\rho_0}$ - a levegő relatív sűrűsége.

/76/ és /77/ formulákat azokban az esetekben használhatjuk, amikor a fellépő terhelés G/F_E 1 és 40 kp/m^2 / $9,81 - 392 \text{ N/m}^2$ / határok között van.

Ha G/F_E nagyobb, mint 40 kp/m^2 / 392 N/m^2 /, akkor $R_{E_{max}}$ az alábbi képlettel számítható:

$$R_{E_{max}} = K_D \frac{\rho V_0^2}{2} c_E F_E \quad /78/$$

ahol K_D - dinamikus tényező, amit kísérleti úton állapítanak meg, általában $K_D = 1,75 \pm 2$.

A dinamikus tényezőt gyakorlatilag lehet csökkenteni a konstrukciós légáteresztés módszerének alkalmazásával.

10. AZ EJKUPOLÁRA NYILÁSKOR HATÓ MAXIMÁLIS TERHELÉS FÜGGÉSE A KÜLÖNBÖZŐ TÉNYEZŐKTŐL.

Tételezzük fel az ejék azonos kupolaformáját, azt, hogy azonos anyagból készültek, $K = \text{const.}$; $C_E = \text{const.}$ Ekkor, mint /27/-ből következik, a maximális terhelés négy tényezőtől függ:

$$R_{E\text{max}} = f/V_0; \rho; G; F_E/$$

Elemezzük mindegyik tényező hatását!

$R_{E\text{max}}$ függése a belobbanás kezdeti V_0 sebességétől.

Ha $V_{\text{min}} < V_0 < V_{0K}$, akkor a kupola, mint bizonyítást nyert, késlekedés nélkül belobban.

A /77/ formula analízise megmutatja, hogy állandó ρ , G és F_E esetén, a belobbanás kezdeti V_0 sebességének növelésekor az $R_{E\text{max}}$ terhelés rohamosan nő /25. ábra/.

$V_0 > V_{0K}$ esetén, az ejekupola belobbanása csak a rendszer sebességének V_{0K} -ra való csökkenésekor kezdődik meg és ez lesz az adott esetben a belobbanás kezdeti sebessége.

$R_{E\text{max}}$ függése a működtetés H magasságától.

Ha feltételezzük, hogy a magasság növelésekor, azaz a levegő sűrűségének a csökkenésekor, a belobbanás kezdeti sebessége, a rendszer súlya és a kupola felülete nem változik / $V_0 = \text{const.}$; $G = \text{const.}$; $F_E = \text{const.}$ /; akkor a /77/ formulából következik, hogy az $R_{E\text{max}}$ csökken /26. ábra/.

Ha a kupola belobbanása különböző magasságokban történik, azonos torlónyomásnál / $q = \rho V_0^2 / 2 = \text{const.}$ / és a rendszer G súlya, a kupola F_E felülete továbbra is állandó, akkor a magasság növekedésekor $R_{E\text{max}}$ növekszik /27. ábra/.

$R_{E\text{max}}$ függése a rendszer G súlyától.

/77a/ formula analízise megmutatja, hogy V_0 , ρ és F_E állandósága esetén a rendszer G súlyának növekedésekor $R_{E\text{max}}$ is növekszik /27. ábra/.

Ha állandó marad a földtérési sebesség, azaz a rendszer súlya növelésekor arányosan növeljük a kupola felületét, / $G/F_E = \text{const.}$ /, akkor ebben az esetben, azaz változatlan V_F , V_0 és ρ esetén, mint a /77a/ formula analízise mutatja, a súly növelése ugyancsak az $R_{E\text{max}}$ növekedéséhez vezet. /29. ábra./

$R_{E\text{max}}$ függése a kupola F_E felületétől.

A kupola belobbanása folyamán a rendszer sebessége V_0 -ról - a belobbanás kezdeti sebességéről - V_B sebességre - a teljes belobbanás végső sebességére - csökken.

Belátható, hogy a rendszer adott G súlya mellett, a sebességváltozás a kupolabelobbanás folyamán annál effektivebb lesz, minél nagyobb a kupola felülete. A V_B sebesség változása miatt ugyancsak változik a terhelés, ami különböző méretű kupolákra hat. A 30. ábrán látható a V_0 sebesség változása V_B -ig a nagy /kis felületi terhelésű/ és a kis /nagy felületi terhelésű/ kupoláknál. A 30. ábrából következik, hogy az első esetben a rendszer V_B sebessége lényegesen alacsonyabb V_0 -nál, a második esetben a V_B sebesség a V_0 -hoz képest jelentéktelen mértékben csökken. Am a maximális terhelés, ami az ejekupolára hat a V_B sebesség négyzetével és a kupola F_E felületével arányos:

$$R_{E\max} = \rho V_B^2 c_E F_E$$

Ebből a formulából következik, hogy $R_{E\max}$ az $F_E V_B^2$ szorzattól függ. Belátható, ha V_B kissé különbözik V_0 -tól, F_E növekedése a fenti szorzat növekedéséhez vezet és ebből következőleg az $R_{E\max}$ növekedéséhez is. Az F_E további növelése /a rendszer állandó súlya esetén/ V_B olyan gyorsan csökken, hogy az $F_E V_B^2$ szorzat a maximum elérése után elkezd csökkenni. A 31. ábrán látható az eje terhelésváltozásának függvénye különböző kupolaméretknél.

11. A KUPOLA BELOBBANÁSAKOR HAT MAXIMÁLIS TERHELÉS CSÖKKENTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI.

Ténylegesen lecsökkenteni a V_0 sebességet, ebből következőleg a maximális terhelést is, amely belobbanáskor a kupolára hat, az eje szükséges késleltetett működtetésével oldható meg.

A V_0 csökkentésének másik módja a kisfelületű fékernyő, vagy egy sorozat ilyen célú ejtőernyő alkalmazása, melyeket sorban /megahatározott intervallumban/ működtetünk a főernyő nyitása előtt, ezek biztosítják az eje-teher rendszer sebességének csökkentését olyan mértékig, melynél már működtethető a főernyő olyan feltételekkel, melynél a terhelés nem semmisíti meg az ejtőernyőt.

A belobbanás kezdetének sebességét a V_0 csökkentésével is el lehet érni, a nagyobb légáteresztőképesseégű kupolaanyag alkalmazásával.

A konstrukciós légáteresztőképesseég biztosításának módszere.

Használják ejéket u.n. konstrukciós légáteresztőssel, melyeknél a magasabb légáteresztőképesseéget a kupolánál nem a magasabb légáteresztőképesseégű anyag alkalmazásával, hanem részrendszerek készítésével, elsősorban a centrális részben, biztosítják. A konstrukciós légáteresztés biztosításának módszerével jelentősen csökkenthető a maximális terhelés, ami a kupola nyílási folyamatkor lép fel, ezzel egyidőben növekszik a konstrukció szilárdsági tartaléka - ugyanazon anyag felhasználásánál. Ezen kívül a konstrukciós légáteresztés módszere lehetővé teszi a belobbanási tényező variálását - a nyílások/rések/ elhelyezésének változtatásával a kupolára ható terhelés helyének függvényében - így lehetőség nyílik arra, hogy jelentősen lecsökkentsék a légáteresztőképesseég szempontjából csoportosított anyagválasztékot.

12. A RENDSZER SÜLLYEDÉSE AZ EJEKUPOLA BELOBBANÁSA UTÁN.

A kupola belobbanása után a légellenállás megnövekedésével a rendszer sebessége gyorsan lecsökken. Rövid időköz elteltével a sebesség közel kritikus értékű lesz, vagy ahogy mondják, állandósul a merülési sebesség.

A kupola belobbanása utáni első periódusban a kupola mozgása nem megállapodott. A rendszerre két erő hat - a rendszer súlya és a levegő ellenállása. Az ellenállási erő az adott esetben:

$$Q_{E\text{inst}} = Q_E + m_R \frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} \rho V^2 c_E F_E + m_R \frac{dv}{dt} \quad /79/$$

ahol: Q_E - az ellenállás ereje egyenletes mozgásnál;
 m_R - redukált tömeg /fiktív tömeg, amit azon erők változásainak figyelembevételével számolunk, melyek az egyenle-

len mozgásnál hatnak az egyenletes mozgáshoz képest./
Feltételezve, hogy a rendszer vertikálisan süllyed, a mozgás egyenletét az alábbi formában lehet felírni:

$$m \frac{dV}{dt} = G - Q_{\text{Einst.}}$$

Ebből az összefüggésből kiküszöbölve a $Q_{\text{Einst.}}$ -t és rendezve:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{1 + \frac{m_F}{m}} \left(1 - \sqrt{\frac{V}{V_{kr}}} \right) \quad /80/$$

ahol $V_{kr} = \sqrt{\frac{2G}{\rho c_{EF} E}}$ - az állandósult merülősebesség nyitott ejével.

A kapott egyenlet, pontosabban a számláló, megfelel a korábban megismert /5/ összefüggésnek. Figyelembevéve, hogy a nem egyenletes mozgás rövid idejű, a számláló, ugyanugy, ahogy ρ és V_{kr} mennyiségek állandónak tekinthetők. Ez lehetővé teszi a /80/ egyenlet megoldását és a korábban kapott /5/ egyenlet használatát, abban a g értékét helyettesítve:

$$\frac{g}{1 + \frac{m_F}{m}} - \text{el.}$$

A rendszer mozgásának gyakorlati számításainál a nem egyenletes mozgást csak addig vesszük figyelembe, ameddig a sebesség változásában különbözik a kritikus értéktől. Ha a különbség a valóságos és kritikus sebesség között 1-3%-os lesz, általában úgy számolunk, hogy ekkor már a rendszer kritikus sebességgel mozog.

A /7/ és /8/ formulát használva, az alábbi összefüggéseket kapjuk, melyek lehetővé teszik meghatározni azt az időt, mely alatt a rendszer sebessége V_B -ről $1,01 \cdot V_{mer}$ -re csökken, valamint azt az utat, amit e közben a rendszer megtesz:

$$t = \frac{V_{mer}}{2g} / 1 + \frac{m_F}{m} / \cdot \ln 2,01 \frac{V_B - V_{mer}}{V_B + V_{mer}} \quad /81/$$

$$H = \frac{V_{mer}^2}{2g} / 1 + \frac{m_F}{m} / \cdot \ln \frac{V_B^2 - V_{mer}^2}{0,0201 V_{mer}^2} \quad /82/$$

Általában t és H meghatározásával az aerodinamikai erők változásának nemstacionáris mozgás eredményeként egyszerűsítéssel élünk /feltételezzük, hogy $m_F = 0$ / és ezért az alábbi formulát használjuk:

$$t = \frac{V_{mer}}{2g} \ln 2,01 \frac{V_B - V_{mer}}{V_{mer}} \quad /81a/$$

$$H = \frac{V_{mer}^2}{2g} \ln \frac{V_B^2 - V_{mer}^2}{0,0201 V_{mer}^2} \quad /82a/$$

Fejezzük ki ezzel az egyszerűsítéssel elkövetett hibát. Az m_F -el jelölt redukált tömeg nagyságrendi értékeléséhez, mely tömeget a rendszer belobbanás közbeni mozgása idején alkalmaztunk a számításban, feltételeztük, hogy az m_R mint gömb mozog.

feltételezhető, hogy az m_R tényleges értéke a számított esetben közbenső /időszakos/ volt.

O'Hara munkájában (7) az m_R értékének a következő jelentését adja meg a belobbanás végén, a rendszer mozgása közben:

$$m_R = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \quad /83/$$

ahol: $R=0,7 \cdot S_0$ - kupola beáramló nyílásának sugara.

Ismert, hogy a gömbre:

$$m_R = \frac{2}{3} \rho R^3 g \quad /84/$$

A /83/ formulát felhasználva kapjuk:

$$\frac{m_R}{m} = \frac{\frac{4}{3} \pi (0,7 \cdot S_0)^3 \rho}{\frac{\rho V_M^2 c_E^2 S_0^2}{2g}} \cdot g \cdot \frac{S_0}{c_E V_M^2} \quad /85/$$

Ha felhasználjuk a /84/ összefüggést, akkor az $\frac{m_R}{m}$ kétszer kisebb lesz:

$$\frac{m_R}{m} = 4,5 \frac{S_0}{c_E V_M^2} \quad /86/$$

$F_E=56 \text{ m}^2$ -es, $c_E=0,8$ és $V_M=6 \text{ m/s}$ jellemzőkkel bíró mentőernyőnél /85/ és /86/ felhasználásával m_R/m értékére 1,31, illetve 0,65-öt kapunk.

Behelyettesítve a kapott szélsőértékeket a /81/ és /82/ formulákba, összehasonlítjuk a /81a/ és /82a/ formulákkal kapott eredményekkel, láthatjuk, a redukált tömeg figyelembevétele nélkül t és H értéke 65-130%-kal csökken. Ezért a /81a/ és /82a/ formulák csak megfelelő korrekcióval használhatók.

13. AZ EJEKUPOLA LÉGELLENÁLLÁSI TÉNYEZŐJE.

A c_E légellenállási tényező az ejekupola egyik alapvető jellemzője.

Az ejekonstruktorok előtt az a feladat áll, hogy olyan kupolákat tervezzenek, melyek maximális homlokellenállást adnak a rendszer számára, azaz a lehető legnagyobb légellenállási tényezővel rendelkezzenek, amit speciális kupolaforma és legkisebb légáteresztőképességű anyag alkalmazásával valósítanak meg.

Ezen követelmények kielégítése biztosítja az eje-rendszer minimális súlyát és térfogatát, ami a felhasználás fontos követelménye.

Azonban az eje rendszerekkel szemben fennállnak még más, nem kevésbé fontos követelmények, mint például minimális tulterhelés, ami az eje-teher rendszerre hat a nyíláskor, vagy a stabil merülés követelménye, amik arra kényszerítik a tervezőt, hogy csökkentse az ellenállási tényezőt, nagyobb légáteresztőképességű anyag, valamint konstrukciós légáteresztés alkalmazásával.

Az alak, az anyag és a kupolaméret megválasztását az eje rendszer tervezésénél az öszes követelmények figyelembevételével kell végrehajtani és különböző ejék kísérleti és használati ta-

pasztalatait is alapul kell venni.

A légellenállási tényező függ olyan tényezőktől, mint az eje formája, mérete, a kupolaanyag légáteresztése, a légáramlás sebessége, a zsinórok száma és mérete.

Az ejekupola légellenállási tényezőjét akár a kupola szélcsatornában való megfújásával, akár a természetes körülmények közötti ledobásával határozzák meg, különböző légi járművekről.

Az eje szélcsatornában való megfújásakor kerül meghatározásra a kupola Q homlokellenállása különböző V áramlási sebességeknél. Ezt az ellenállást aerodinamikai súlyok és mérővevők segítségével lehet megállapítani.

A mérőhuzalokat általában dinamometrikus gyűrűre ragasztják, melyek egyik felét az aerodinamikai súlyhoz, a másik felét az e-jéhez csatlakoztatják.

Az e-jére ható terhelés miatt a gyűrű a nyulásmérő bélyeggel /huzallal/ deformálódik/ ezzel a mérőhuzal keresztmetszete változik. Ennek a változásnak a mérése Wheaston-hidba kapcsolt galvanométerrel történik.

A mérőhuzalos gyűrű előzetes hitelesítése beállított terhelés és a galvanométer jelzésének összehasonlításával történik.

Ha Q - az ejekupola homlokellenállása, V - az áramlás sebessége, ρ - a levegő sűrűsége, F_E - a kupola felülete, akkor c_E ellenállási tényező, mely a kupolához tartozik:

$$c_E = \frac{Q}{\frac{\rho V^2}{2} F_E} = \frac{Q}{q F_E}$$

Tulajdonképpen meg lehet állapítani az ellenállási tényezőt a kupola F_x homlokfelületéhez képest is:

$$c_x = \frac{Q}{q \cdot F_x}, \text{ vagy a belépő felülethez képest:}$$

$$c_{be} = \frac{Q}{q F_{be}}$$

Azonban kényelmesebb az ellenállási tényezőt a kiterített F_E kupolafelülethez viszonyítani, mivel a megfújás folyamán a kupola F_E felülete nem változik, ugyanakkor a belépőfelület, vagy a homlokfelület a megfújásakor a sebesség függvényében változik.

Ezen kívül, a homlokfelület mérése adott sebességnél némi nehézséggel jár az ejekupola instabil viselkedése miatt, ami különösen jellemző a kis légáteresztőképességű anyagból készült kupolákra.

Ismerve a c_E ellenállási tényezőt, a konstruktor az eje F_E felületét /a kiterített területét/ a megkívánt merülési sebességből számolja:

$$F_E = \frac{2G}{c_E \rho V^2}$$

A c_E ellenállási tényező jellemzi az adott kupola célszerű gazdaságosságát, mivel minél nagyobb a c_E , annál kevesebb anyagot kell a kupolához felhasználni, adott merülési sebesség eléréséhez.

Számítások céljára az ellenállási tényezőt valós körülmények között, mint átlagos merülési sebességet mérnek a földetérés előtti utolsó 35 méteren V_F sebességként, vagy a V_F -t filmfel-

vétel, vagy filmfelvevő-teodolit anyagának a felhasználásával állapítják meg.

Ismerve a V_F sebességet, G_T teher súlyát, az eje G_E súlyát, a kupola F_E kiterített felületét, kiszámoljuk az ellenállási tényezőt:

$$c_{rendszer} = \frac{G_T + G_E}{\frac{\rho V_F^2}{2} F_E}$$

ahol: $G_T + G_E$ - az ereszkedő rendszer sulya.

A rendszer kissebességű merülése esetén a c_E gyakorlatilag egybeesik a $c_{rendszer}$ -el. Valójában:

$$G_T + G_E = Q_T + Q_E$$

$$G_T + G_E = \frac{\rho V_F^2}{2} c_E F_E + c_T f_T /$$

$$c_{rendszer} = c_E + \frac{c_T f_T}{F_E}$$

A rendszer kissebességű merülésénél $c_T f_T \ll F_E$ /például bábuval $c_T f_T = 0,23 \text{ m}^2$, s $F_E = 60 \text{ m}^2$ mentőernyőnél/, ezért:

$$c_{rendszer} \approx c_E$$

c_E összefüggése a kupolaanyag légáteresztőképességével.

Az első közelítésben az ejekupola anyagának légáteresztése meghatározott ellenállási tényezőnél számításbavehető az n_0 nyomástényezőként a kupola anyagának W légáteresztéséből /9. ábra./;

$$\Delta p = n_0 \frac{\rho V^2}{2}$$

Ismerve a kupolaanyag W légáteresztőképességét, az $n_0 = f/W$ grafikon segítségével megkeressük az n_0 nyomástényezőt, amely annál kisebb, minél nagyobb a kupolaanyag légáteresztése.

A 11. ábrából következik, hogy az n_0 nyomástényező állandó értéket /1,6/ tart sűrű anyagoknál /400-500 lit/ m^2s légáteresztésig/ s $W=1600-1800 \text{ lit}/\text{m}^2\text{s}$ -ig növelve a légáteresztést, közelítőleg egyet ad.

Az anyag légáteresztésének további növelésekor az n_0 nyomástényező tovább csökken, de már kevésbé intenzíven és $W=3200 \text{ l}/\text{m}^2\text{s}$ értéknél a 0,8-at éri el.

A nyomástényező értékét különböző légáteresztésű anyagoknál kör alakú kupolamodellek szélcsatorna vizsgálatánál állapították meg.

Az ilyen modellek megfújásos mérését megcsapolásos módszerrel végzik, azaz nyomásvevőket helyeznek el a kupolán, melyek vékony gumicsővel csatlakoznak a manométerekhez, s így mérik a nyomáskülönbségeket a kupola különböző pontjain.

Az n_0 nyomástényező változásának grafikonja a légáteresztés függvényében, lehetőséget ad értékelni, hogyan változik az ejekupola c_E ellenállási tényezője az anyag légáteresztőképessége vál-

tozásakor, mivel a c_E ellenállási tényező és az n_0 nyomástényező között kapcsolat van.

Ismert, hogy $c_E = \frac{Q}{qF_E}$

Am a Q homlokellenállás a nyomáskülönbség és az ejekúpola homlokfelület szorzatával egyenlő.

$$Q = \Delta p F_x$$

Ebből következik, hogy:

$$c_E = n_0 \frac{F_x}{F_E} \quad /87/$$

Az F_x/F_E viszonytól függően kapunk különböző c_E értékeket.

Ha feltételezzük, hogy a nyíló kupola félgömb formájú, akkor $F_E=2F_x$ és $c_E = n_0/2$.

Az ábrából következik, hogy ebben az esetben a légáteresztőképesség változása 0-tól 3200 l/m²s-ig a c_E ellenállási tényezőt 0,8-tól 0,4-ig változtatja.

A /87/ összefüggés lehetőséget ad az alábbi következtetések levonására a különböző formájú kupolák c_E értékeinek lehetséges határaitól:

1. Kis légáteresztésű anyagból készült lemez. $F_x = F_E; c_E = 1,6 \cdot 1 = 1,6$.
2. Félgömb alakú kupola, sűrű anyagból. $F_x = 1/2 \cdot F_E; c_E = 1,6 \cdot 0,5 = 0,8$.

A kiterített sík-szabású kupola a levegőben közel félgömb alakot vesz fel, ezért ennél a $c_E = 0,8$ értékű.

3. Félgömbalaku szalagkupola /32. ábra/. Ilyen kupola felülete egyforma szélességű, egymást fedő szalagokból áll. A legnagyobb fedés a szélkéménynél van, a legkisebb fedés a belépőnél. A kupolánál a legkisebb fedés - a belépőnél - 0,6 értékű, ez a fedés a szélkéménynél eléri az 1-et. Ennek az ejének a viszonylag kis ellenállási tényezője azaz jár, hogy a földterés sebessége magasabb. Másik hátránya az, hogy az eje merülés közben forog.

A szalagernyő értékes tulajdonsága az, hogy nagy sebesség melletti nyitás viszonylag kis terheléssel jár.

4. Kónuszos kupolák /23. ábra/ $c_E = 0,3 \div 0,6$ értékűek. Merülés közben a kupola csomkakup alakú, félgömb alakú felső résszel. Értékes tulajdonsága a kónuszos kupolának az, hogy stabil /forgás és lengés nélküli/ ereszkedést biztosít ezért ezeket elterjedten, mint stabilizátorernyőket alkalmazták.

5. A korszerű pilóta-mentőernyők síkban kiteríthetők és a levegőben elég magas ellenállási tényezőjű alakot vesznek fel. Így például az ellenállási tényező átlagos értéke Sz-3 típusú mentőernyőnél - ami kapronanyagból készült - 0,9.

A zsinórhosszak növelésével a kupola ellenállási tényezője növekszik. A 34. ábrán bemutatásra kerül a c_E/n_0 elméleti függése a $\delta = L/S_0$ változásától, amit szélcsatornában végzett eje-modell kísérletek igazoltak. Ebből következik, célszerű az eje kupolát hosszú zsinórokkal készíteni. Am a nagyon hosszú zsinórok alkalmazása kényelmetlen, mivel a nagymenyiségű zsinór növeli a kupola súlyát és térfogatát. Ezért a zsinórokat gyakorlatilag a kiterí-

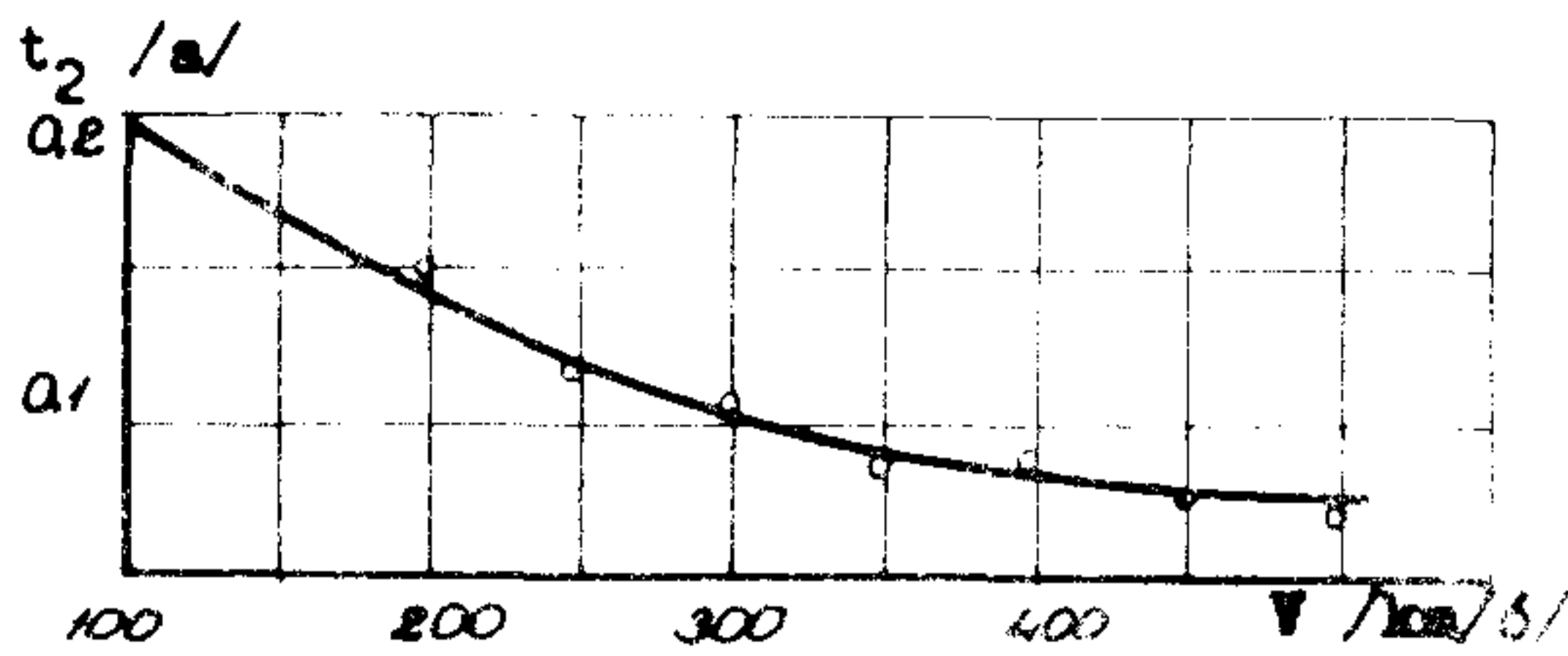
kúpolaátmérő 0,8-1,0 -szorosára veszik, azaz a χ paraméter változása 1,6-2,0 határok között történik.

A zsinórok menyiségének a növelése a c_D ellenállási tényezőt növeli 10-15%-kal, ami azzal magyarázható, hogy a kúpola homlokfelülete a zsinórszám növelésekor kissé növekszik.

A sebesség növekedésével a c_D ellenállási tényező kissé csökken, ha a kúpola elég sűrű anyagból készült és a becsukódási kritikus sebesség elég magas.

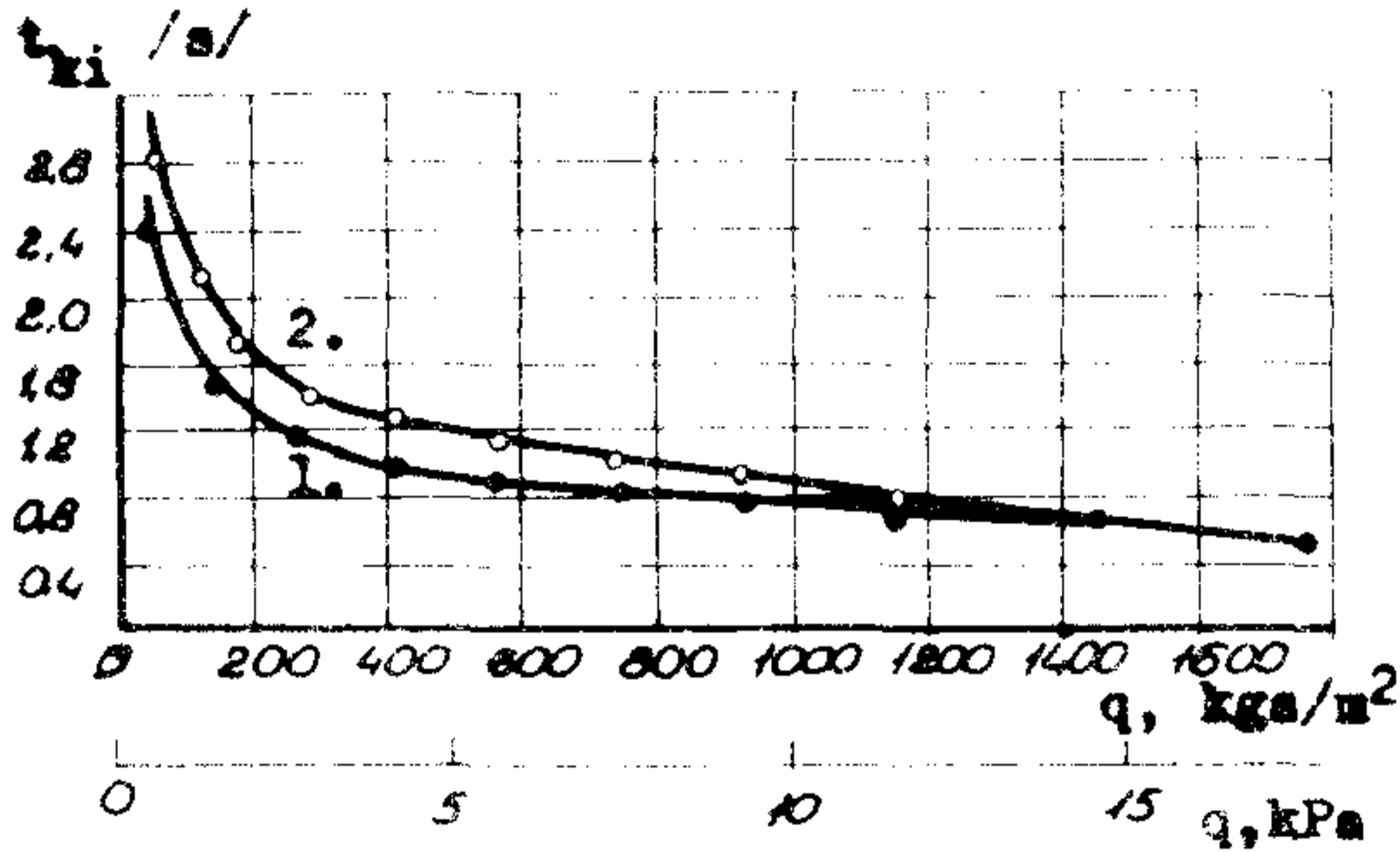
IRODALOM:

1. Некрасов А.И.: Курс теоретической механики. 1952.
2. Рахматулин Х.А.: Аэродинамика проницаемого тела. В.МГУ 1949.
3. Лобанов Н.А.: Нагрузки на парашют. Л.П. 1945.
4. Попов, Палазов: Об определении воздухопроницаемости тканей. Изм. Техн. 1941.
5. Гкачев Ф.Д.: Использование в парашютостроении тканей с максимальной и минимальной воздухопроницаемостью. Легк. Пром. 1946.
6. Brown W.D.: Parachutes. London, 1951.
7. O'Hara F.: Notes on the Opening Behavior and the opening Forces of Parachutes. Journal of the RA Society. 1949.



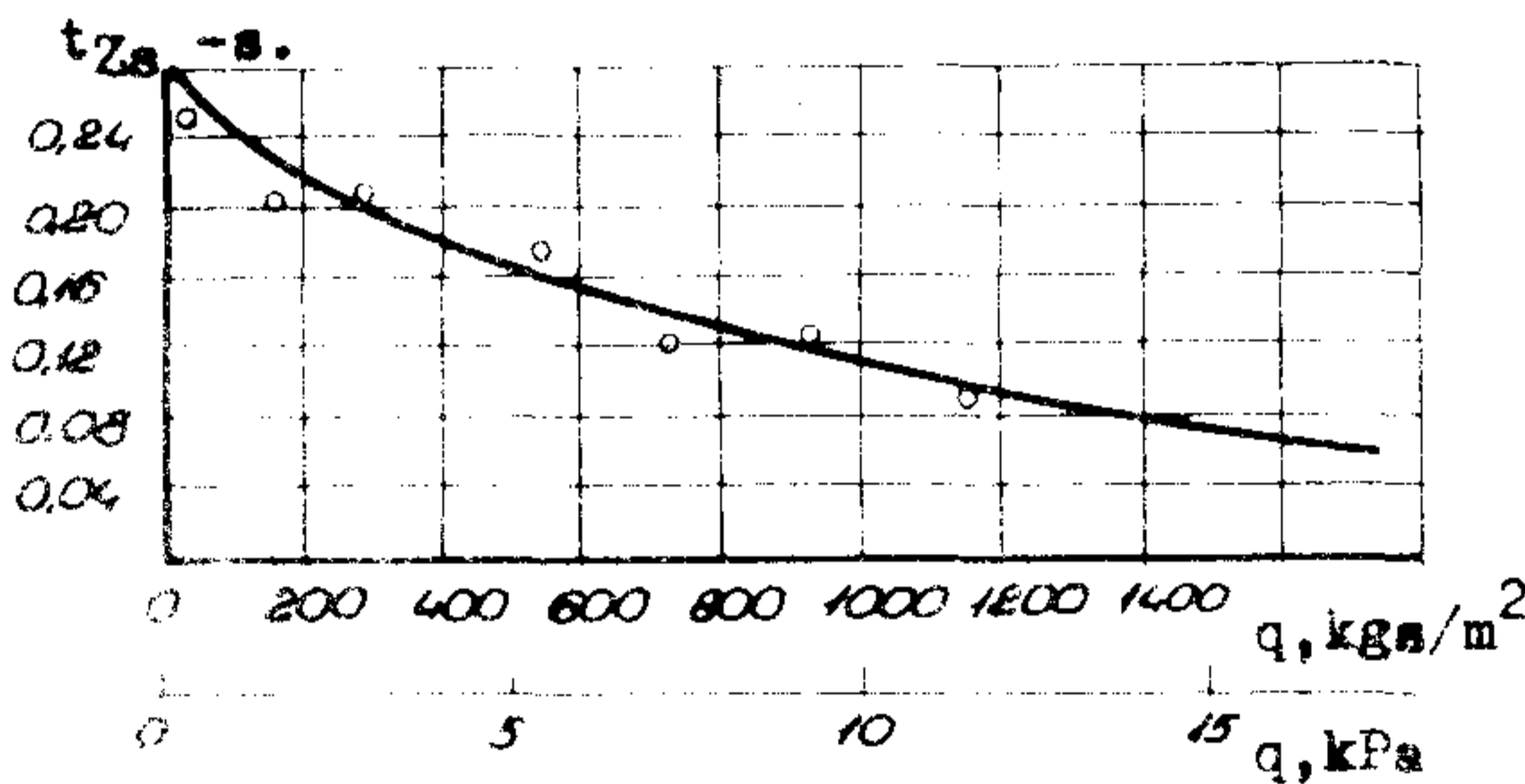
1. ábra.

Kisernyő nyílásának ideje a sebesség függvényében.



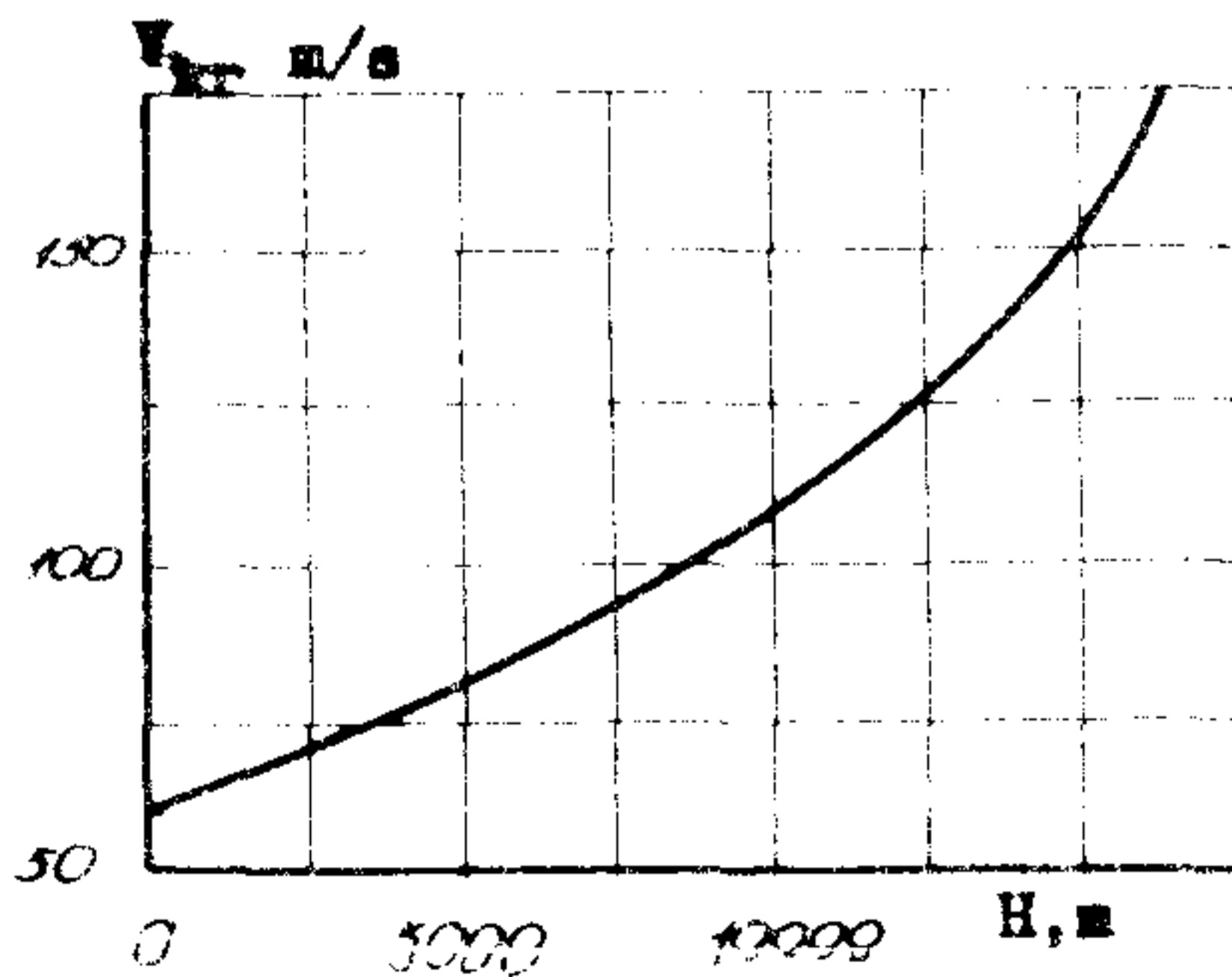
2. ábra.

Mentőernyő kihuzódásának ideje a sebesség függvényében. / 1. - PL-3M; 2, - szalagernyő. /



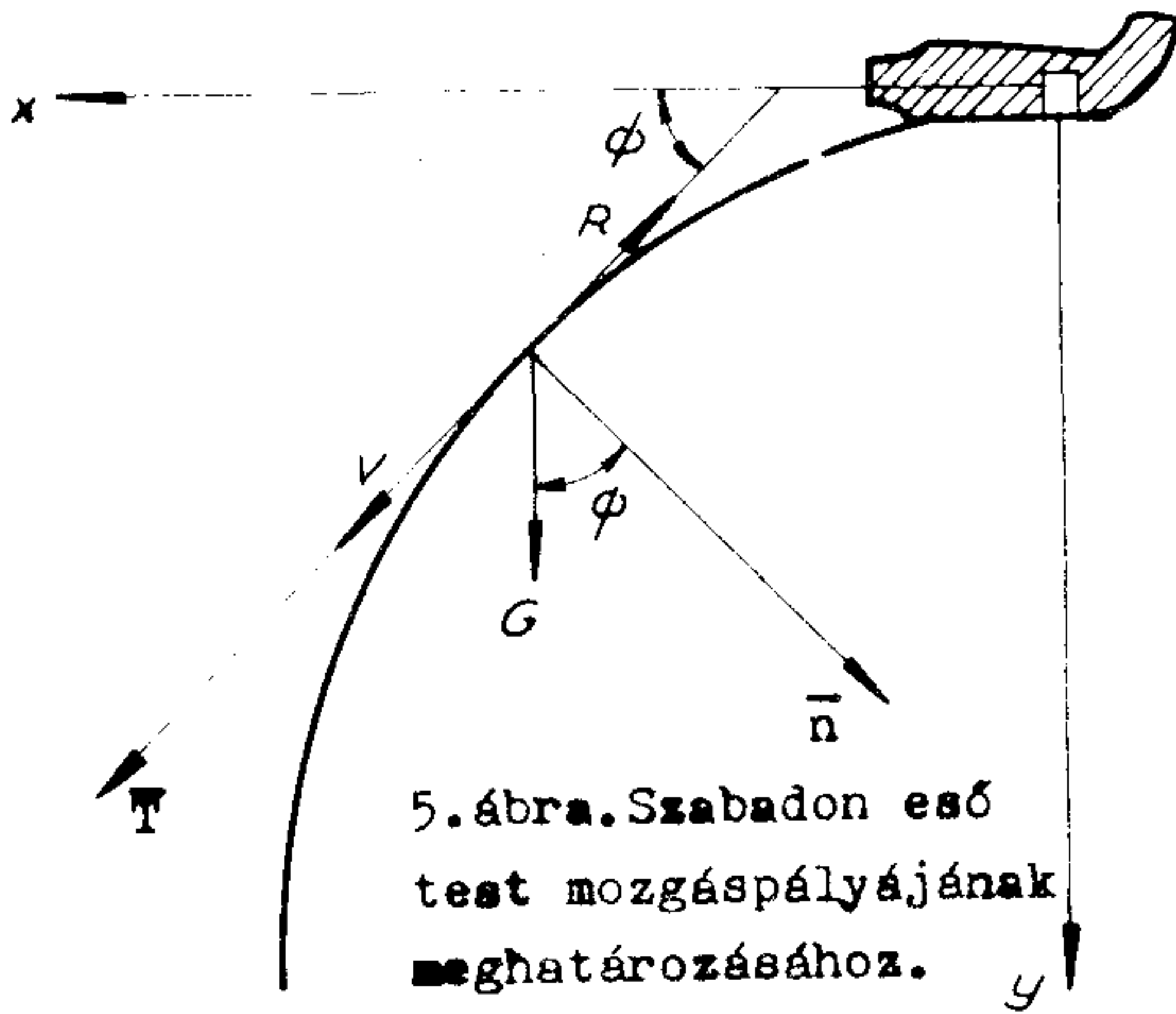
3. ábra.

Belsőzsák lecsuszásának ideje a torlónyomás függvényében.

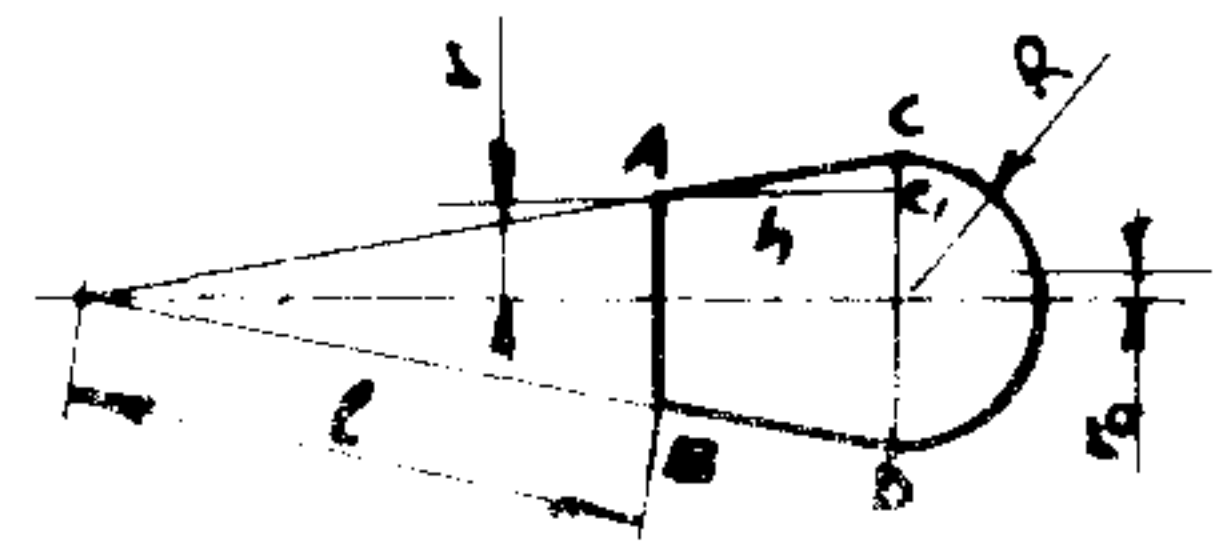


4. ábra.

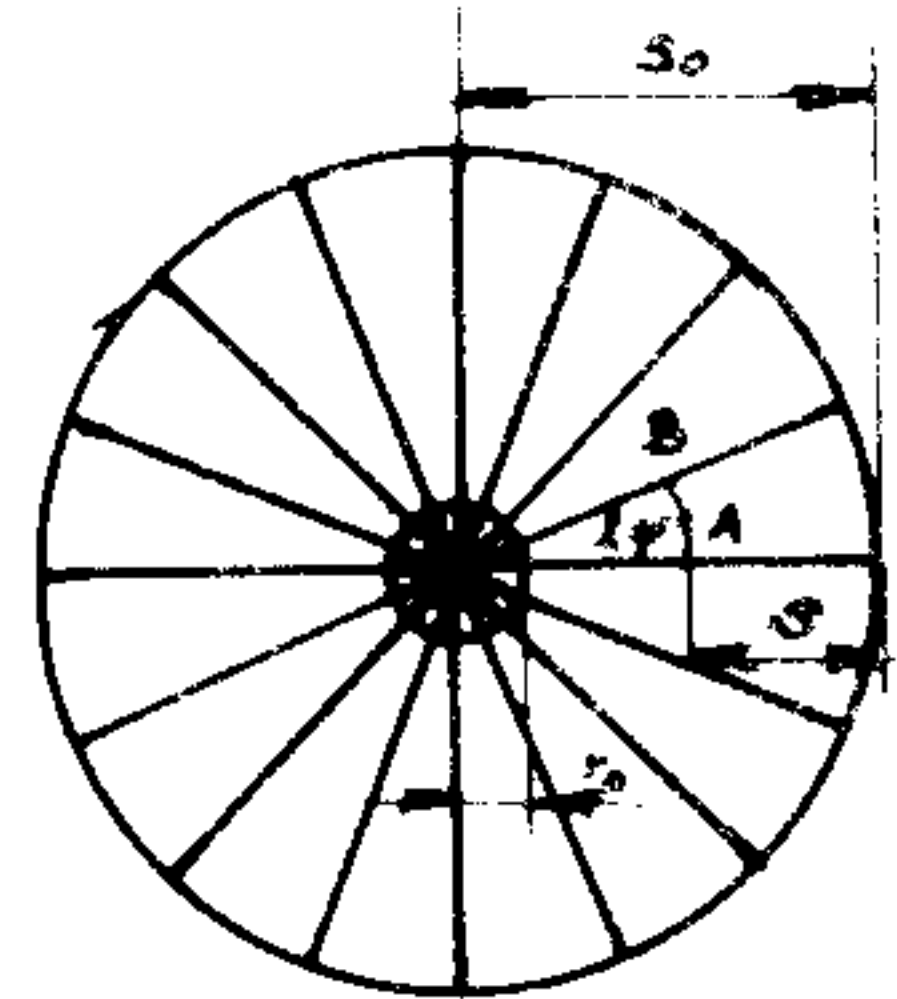
A kritikus sebesség függvénye.



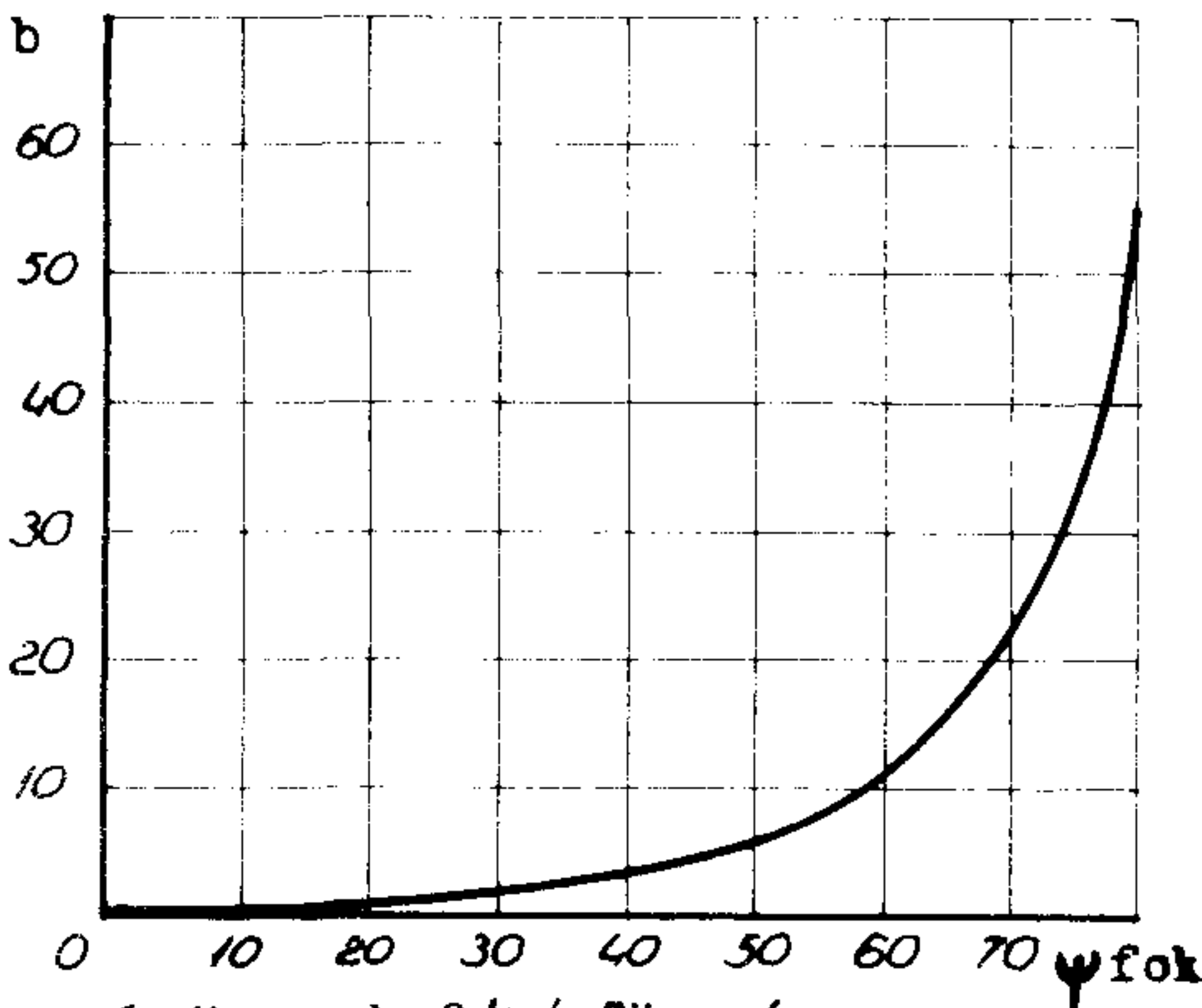
5. ábra. Szabadon eső test mozgáspályájának meghatározásához.



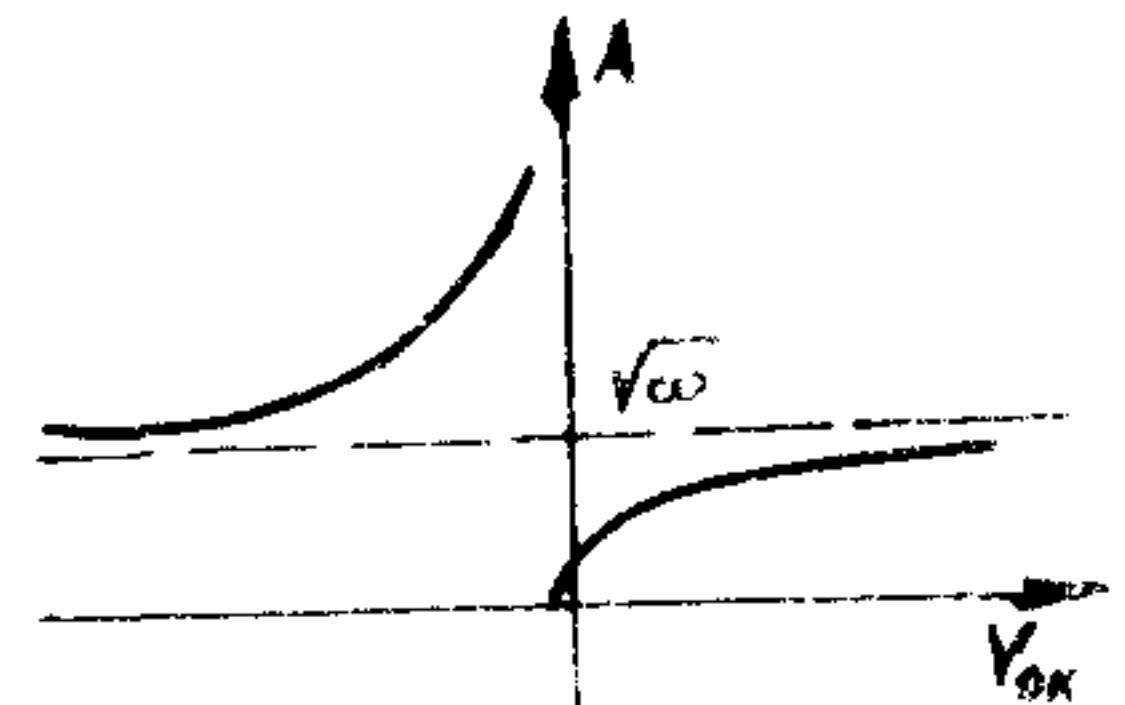
7. ábra. A kupola sémája belobbanás közben.



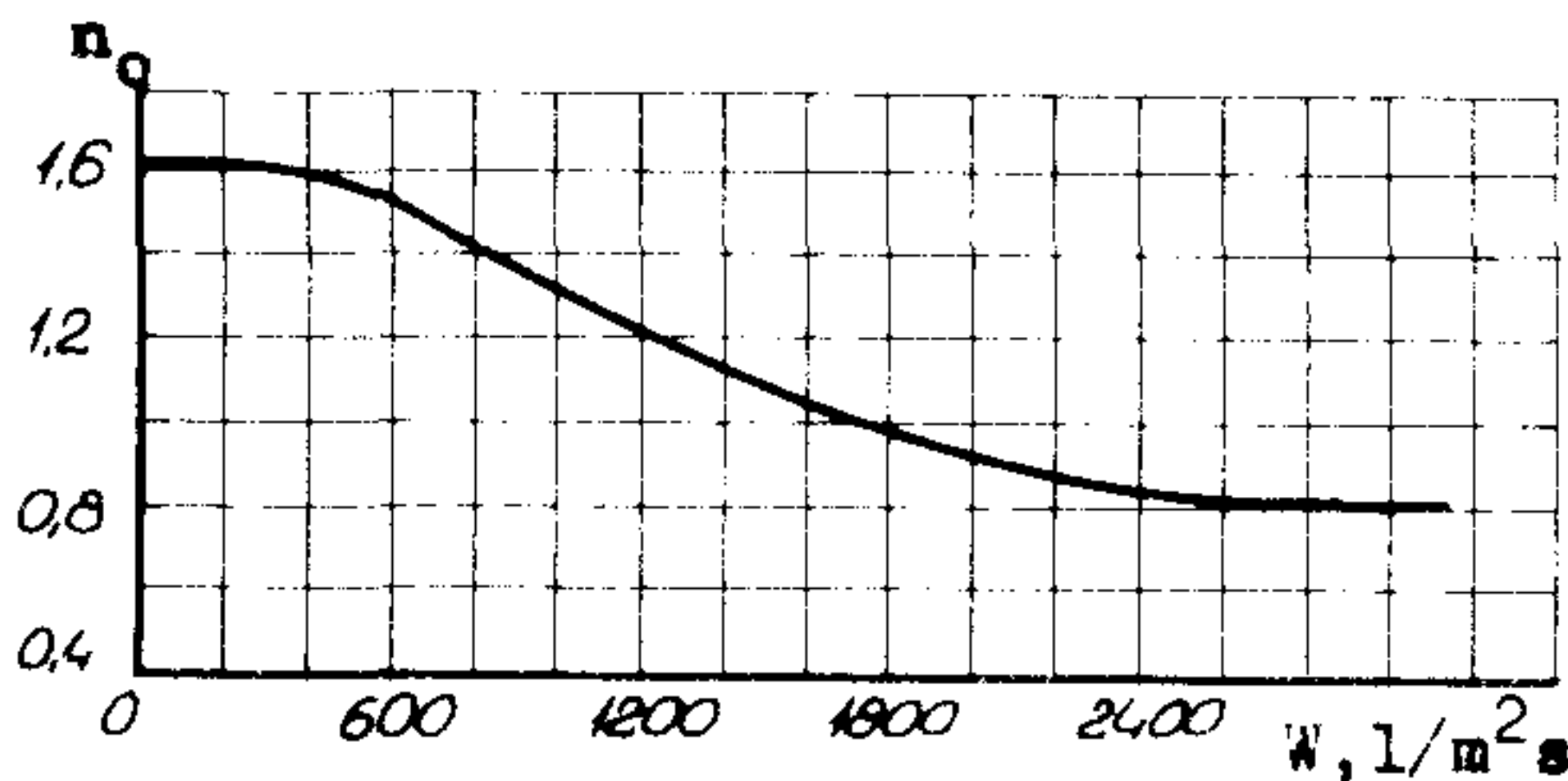
8. ábra. A kórszimmetrikus kupola sémája.



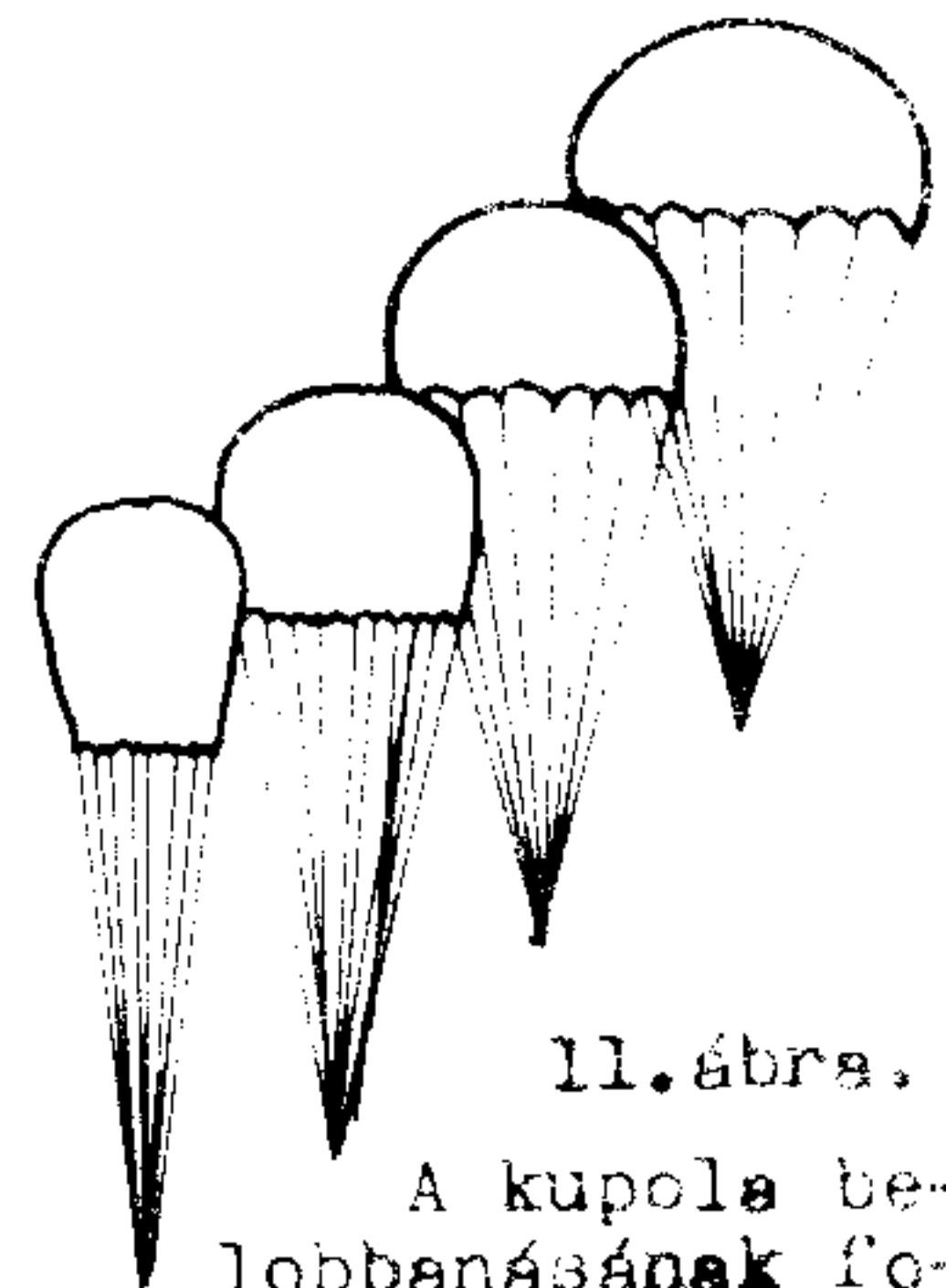
6. ábra. $b=f/\psi$ függvénye.



10. ábra. A $V_{ok}=f/A$ függvénye.

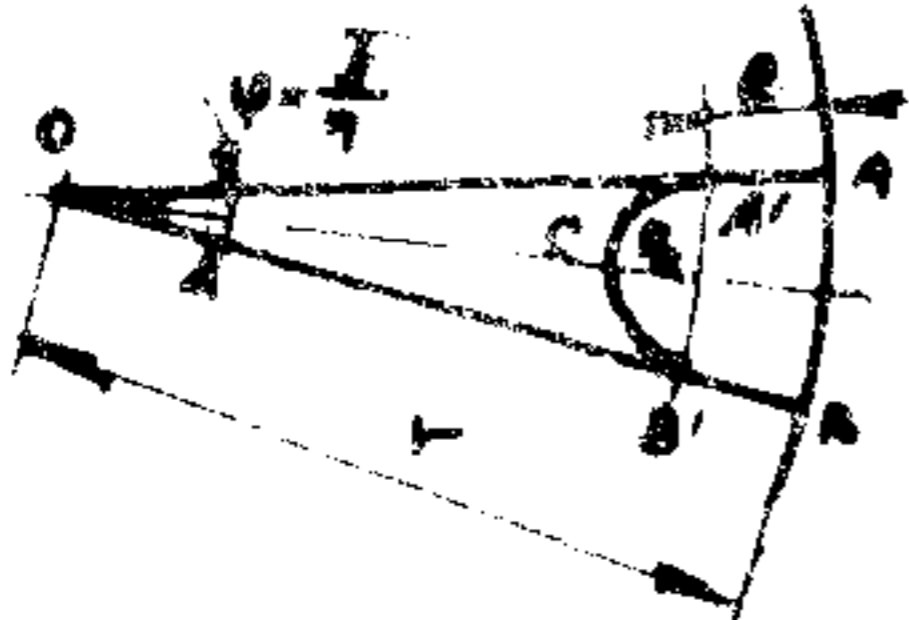


9. ábra. Nyomástényező és a kupolaanyag légáteresztése közötti összefüggés.

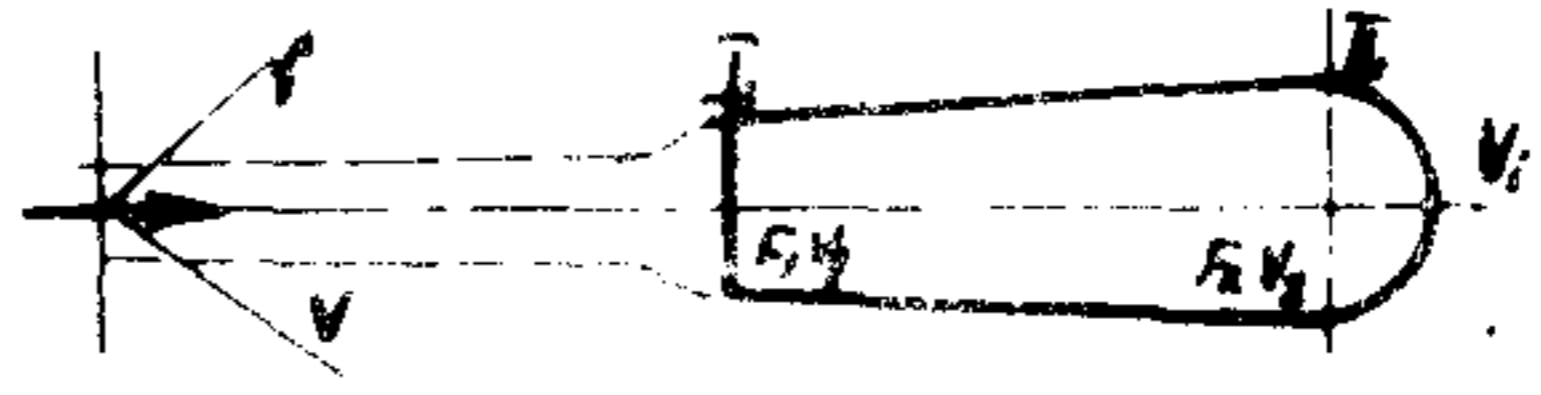


11. ábra.

A kupola belobbanásának folyamata. filmfelvétel alapján/.



12. ábra. A részle-
gesen belobbant ku-
pola belépő-nyílá-
sának számításai
sémája.

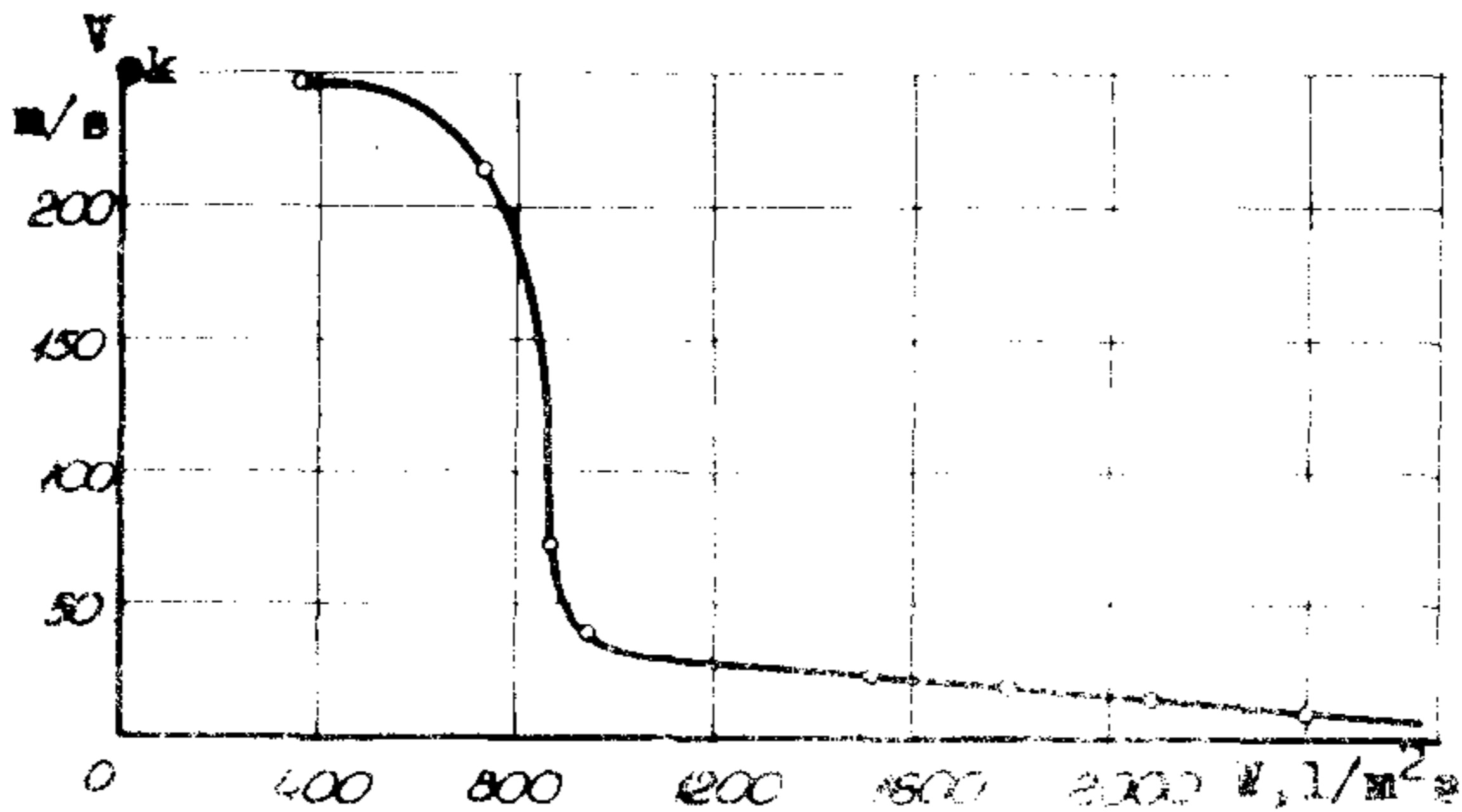
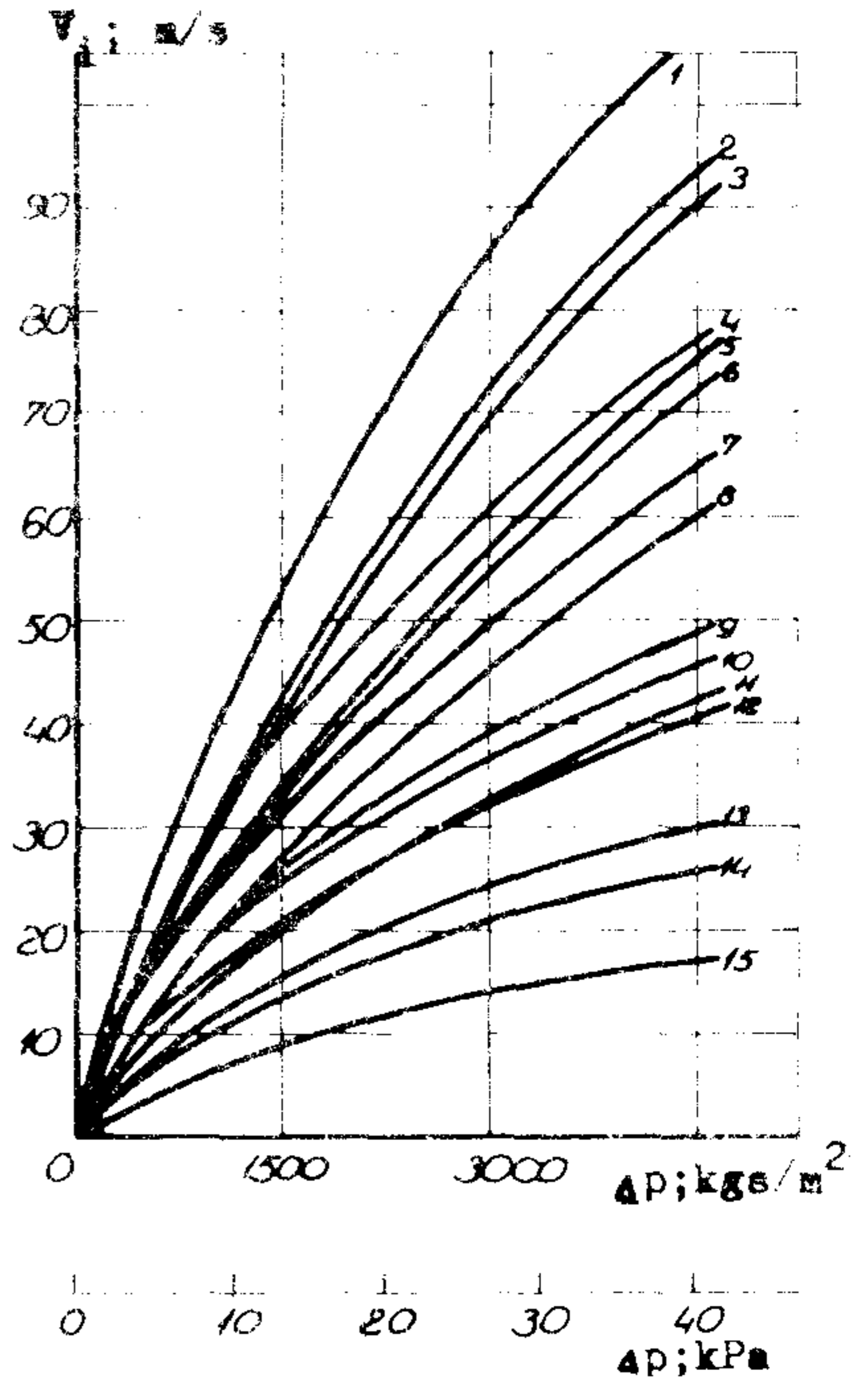


13. ábra. Az n_1 tényező leve-
zetéséhez.

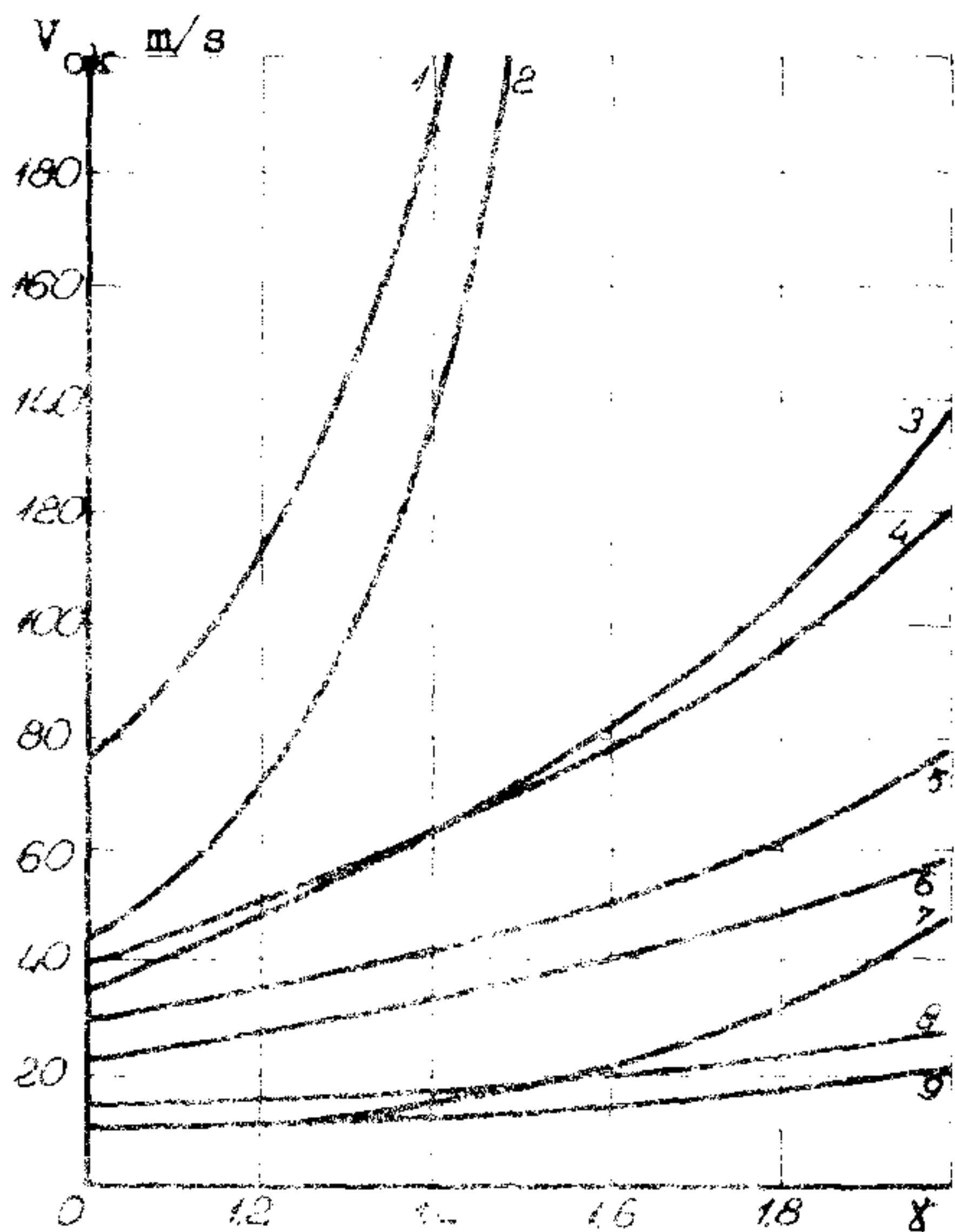
14. ábra.

Kísérleti eredmények a külön-
böző áramlási sebességeknél
létrejövő nyomáskülönbségről.

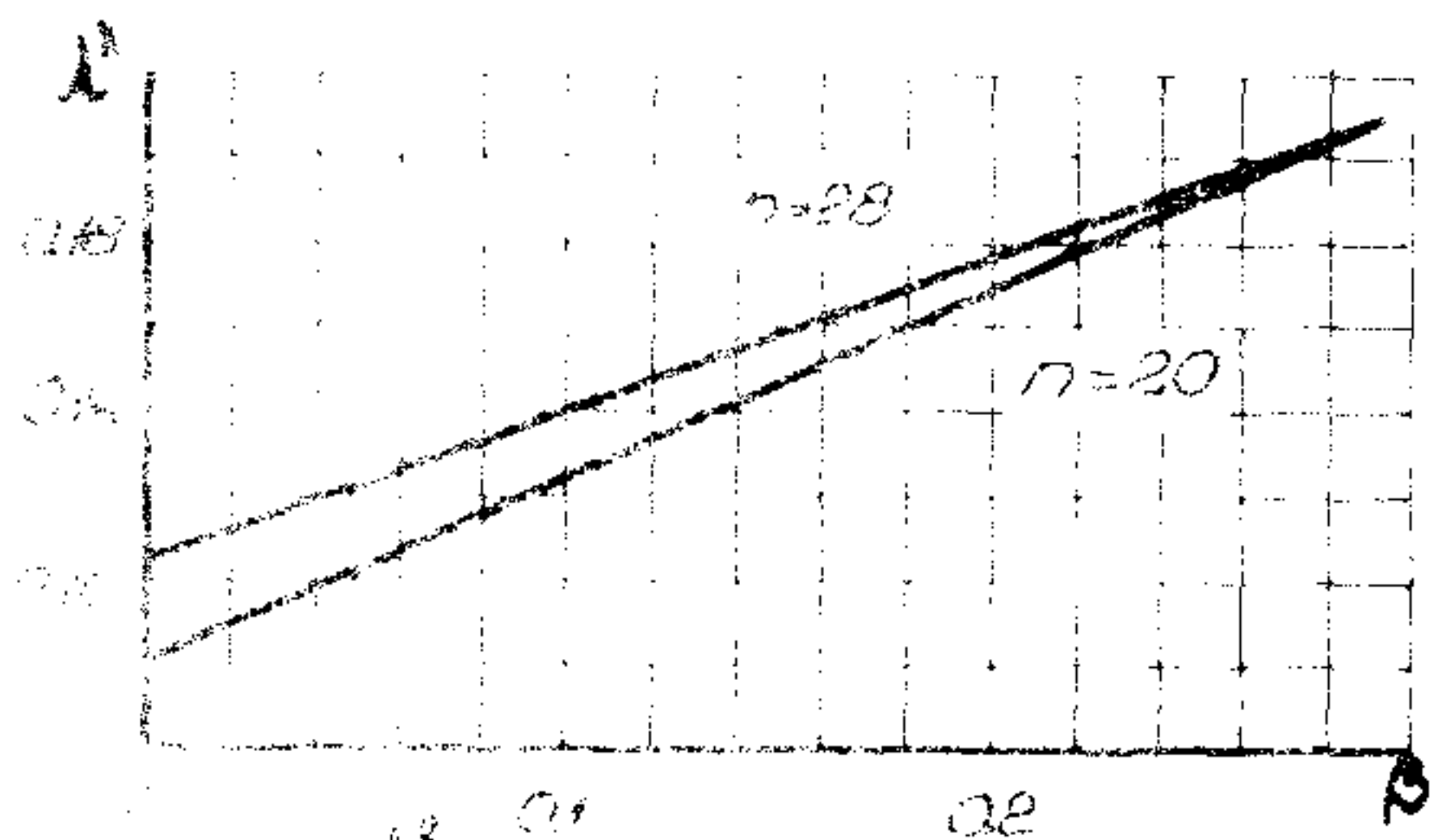
1. Könnyített perkál;
2. Elasztikus selyem;
3. Gypot /teherernyőhöz/;
4. Excelsior;
5. Maja;
6. ANKR;
7. Perkál B;
8. Mitkál;
9. Kapron 56008P;
10. Kapron 56004P;
11. Selyem 16004;
12. Perkál A-85;
13. ASZT-100;
14. ASZT-28;
15. Selyem 16003.



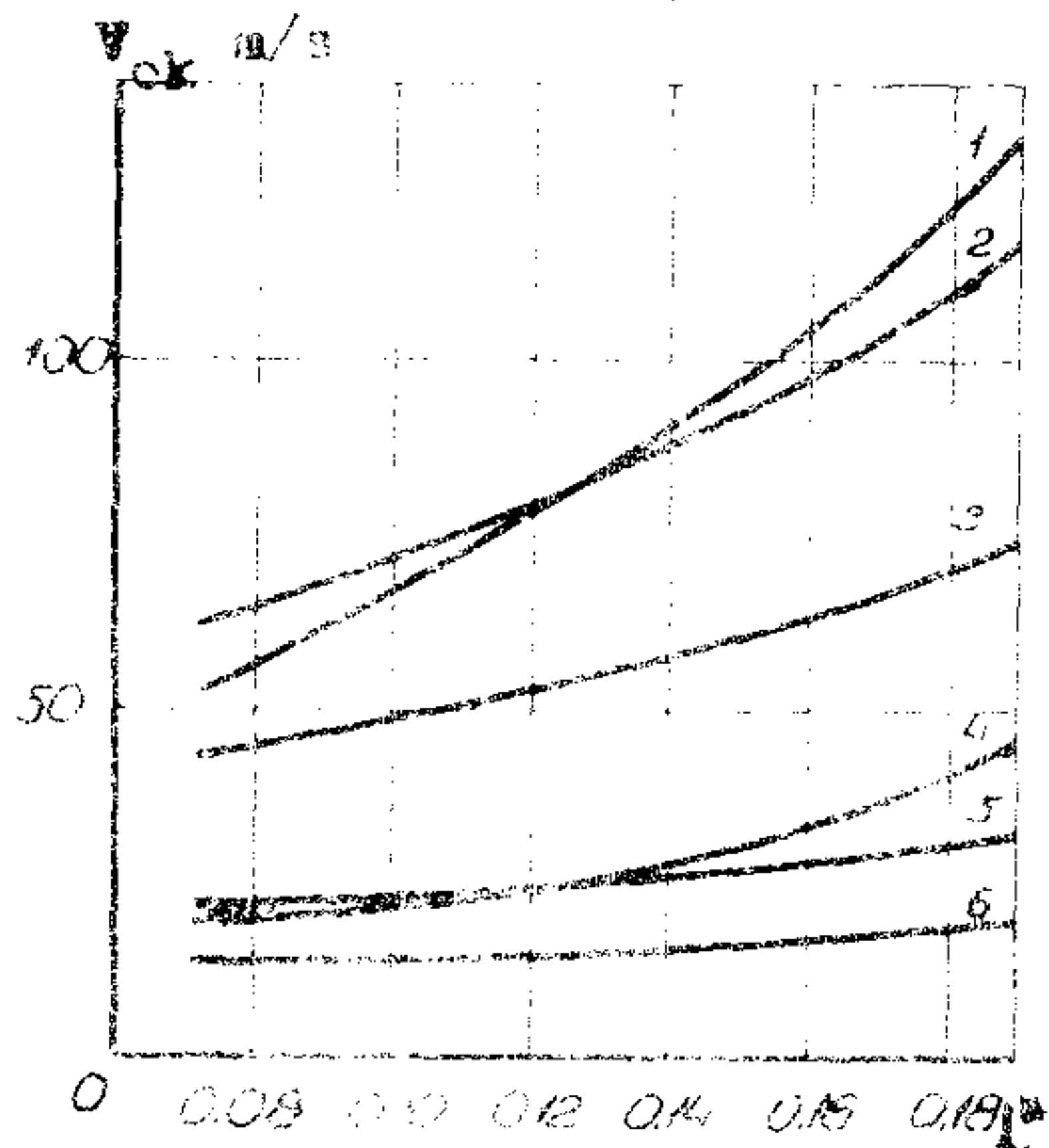
15. ábra. Kupolabelobbantás kritikus sebessé-
gének függése a légáteresztéstől./körkupo-
lás ejtőernyőnél/



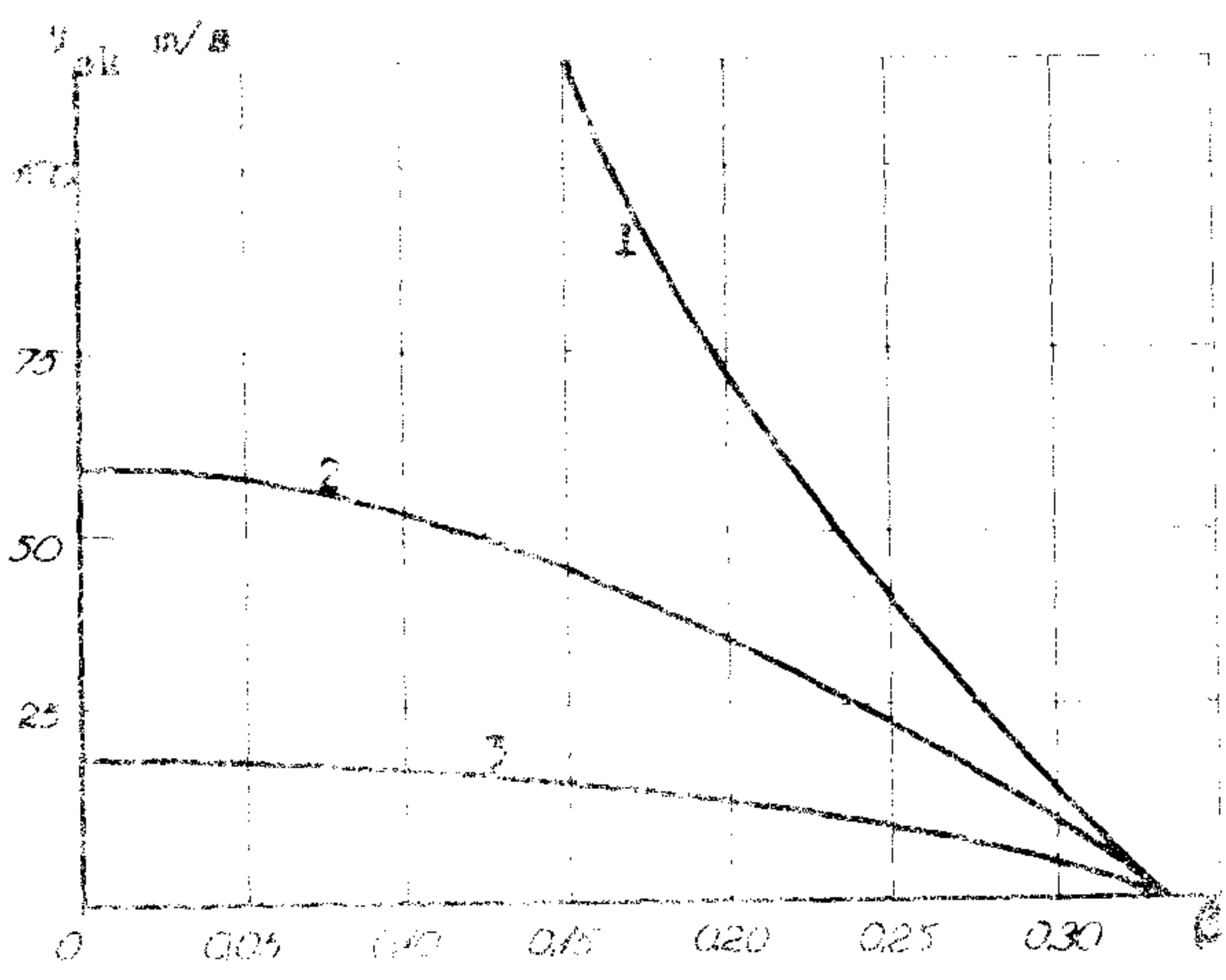
16. ábra.
Kritikus sebesség függése a γ paramétertől, különböző anyagoknál. 1. Perkál A-85; 2. Selyem 10004; 3. Perkál B; 4. Mitkál; 5. AlKR; 6. Inptin; 7. Könnyített selyem; 8. Inzitikus selyem; 9. Könnyített perkál.



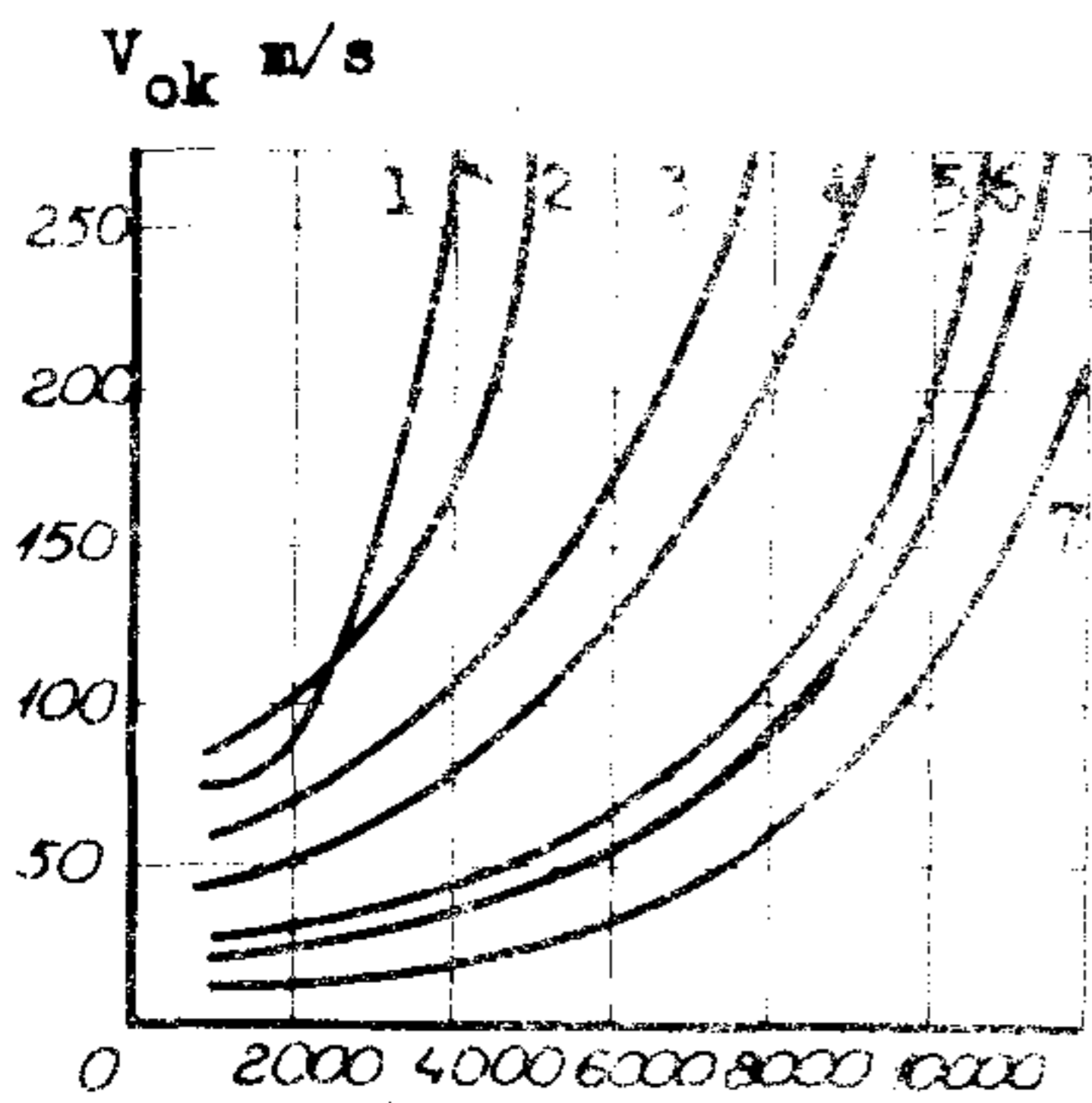
17. ábra. λ paraméter változásának karakterisztikája a β függvényében.



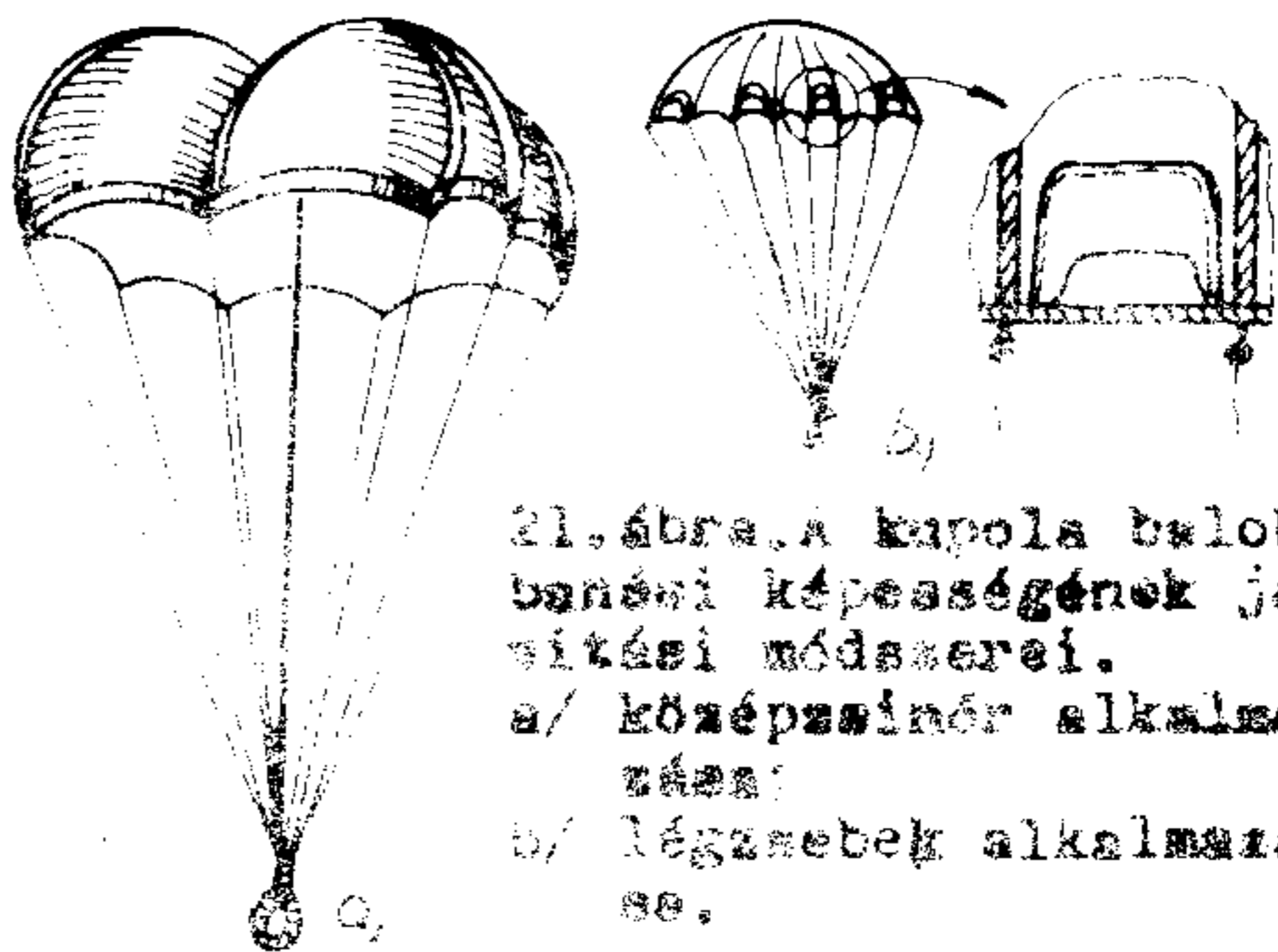
18. ábra. Kritikus belobbanási sebesség függése a β paramétertől, különböző anyagoknál. 1. Perkál B; 2. Mitkál; 3. AlKR; 4. Selyem 10004; 5. Elastikus selyem; 6. Könnyített perkál.



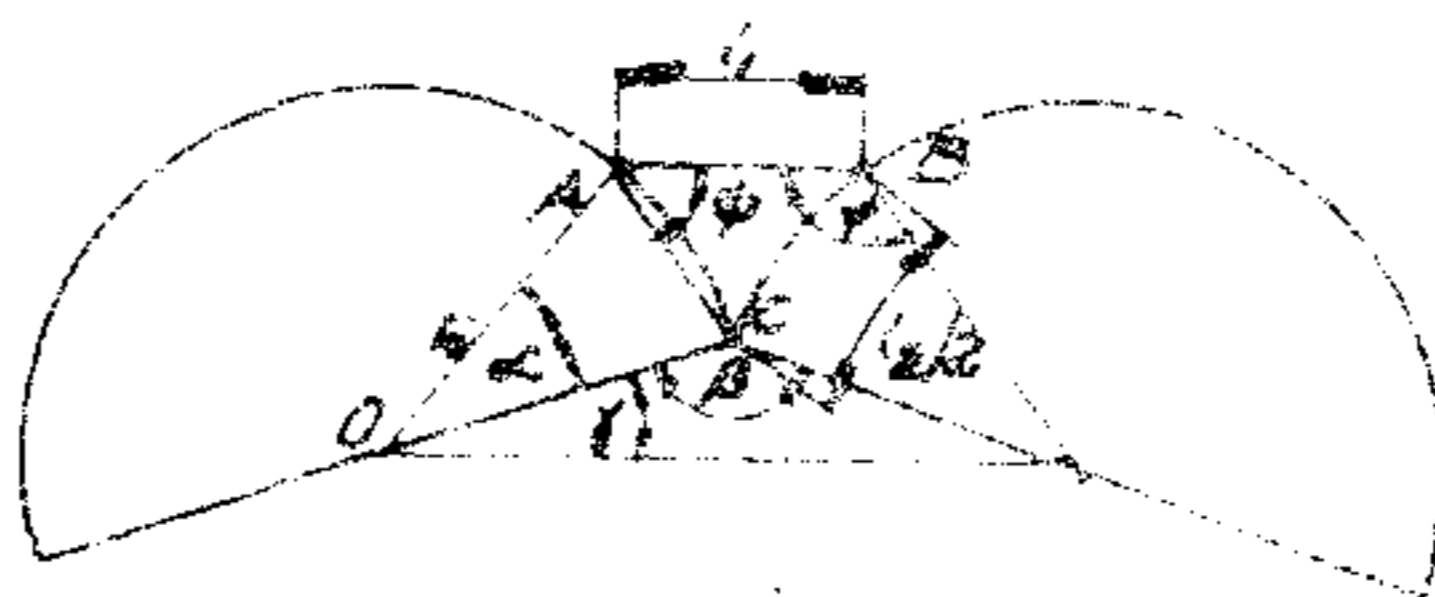
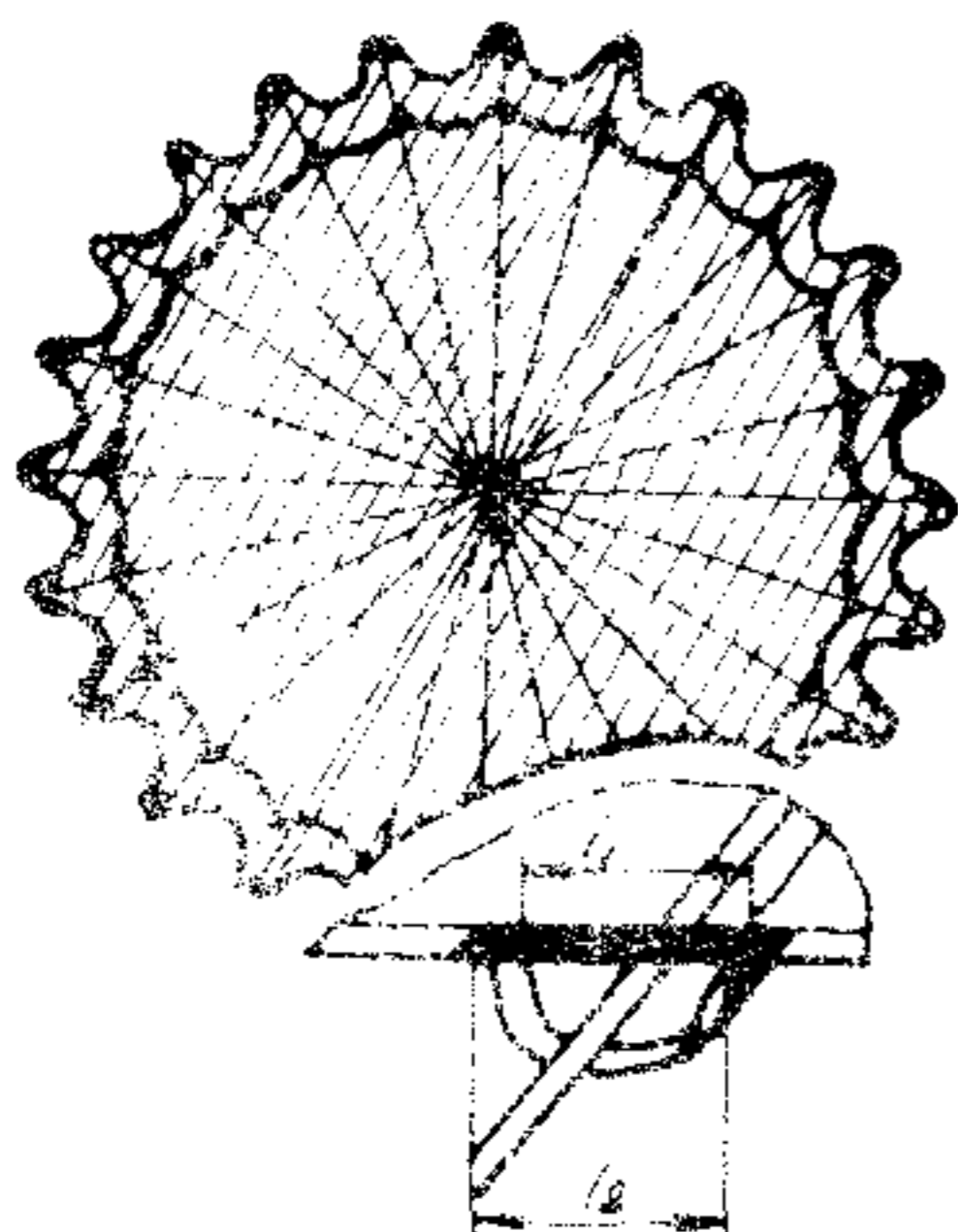
19. ábra.
Kritikus belobbanási sebesség függése a β paramétertől, különböző anyagoknál. 1. Selyem 10004; 2. Perkál B; 3. Elastikus selyem.



20. ábra. Kritikus belobbanási sebesség függése a magasságtól.
 1. Perkál B; 2. Mitkál; 3. AHKR; 4. Maja; 5. Kisérl. perkál; 6. Elastikus selyem; 7. Könnyített perkál.

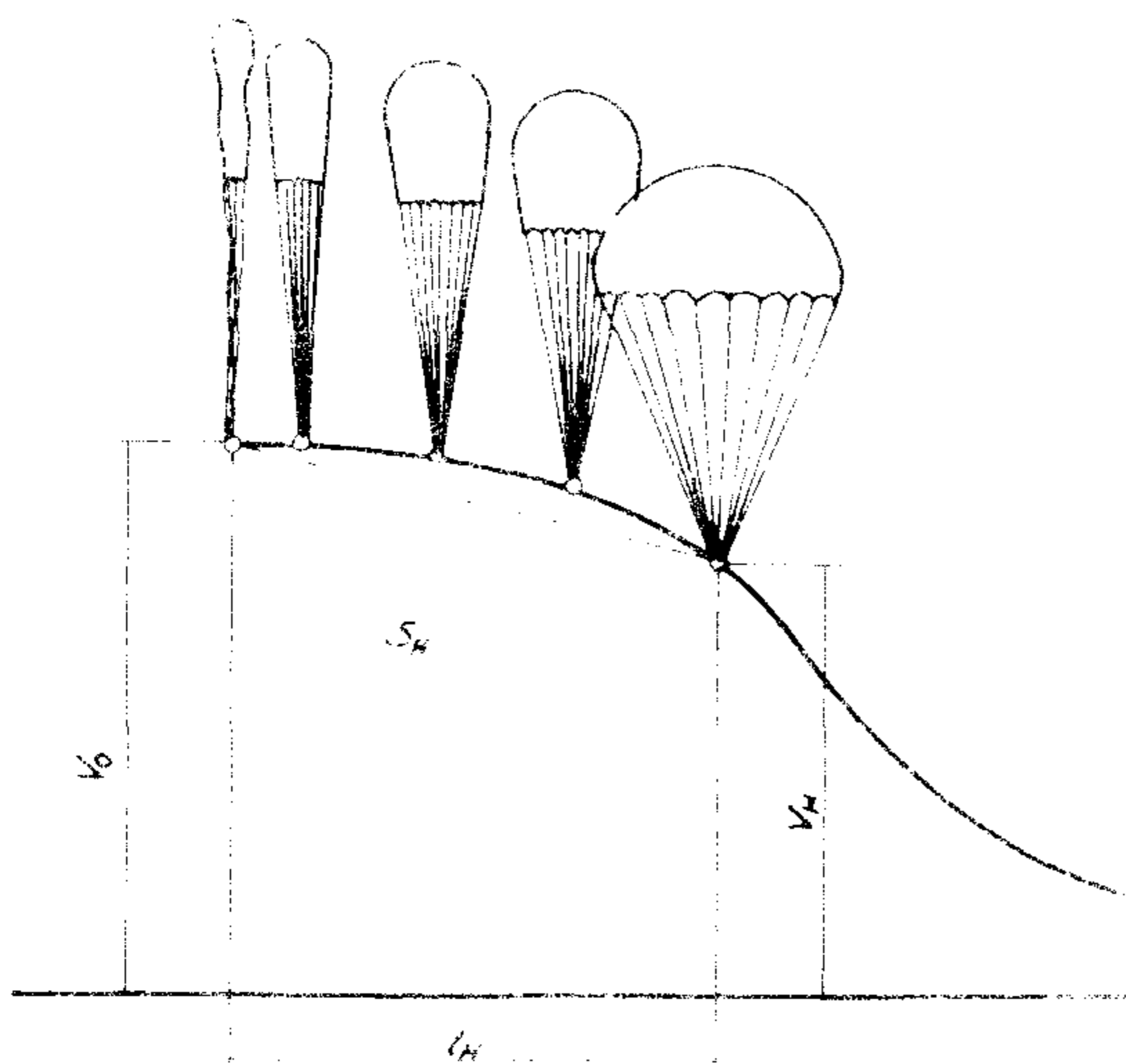


21. ábra. A kupola belobbanási képességének javítási módszerei.
 a/ középsínőr alkalmazása;
 b/ légszebek alkalmazása.

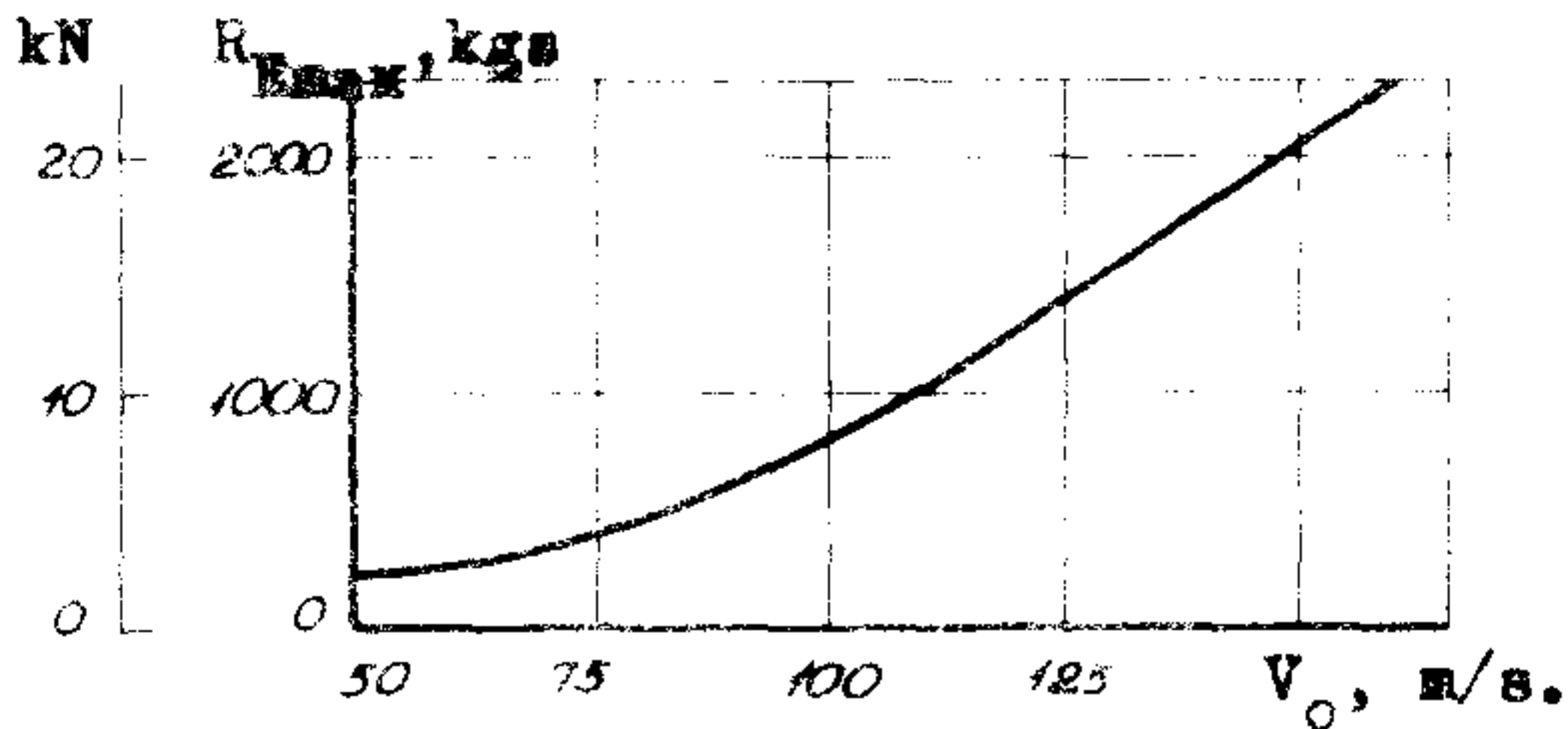


23. ábra. A huzószalag számításához felvett jelölések.

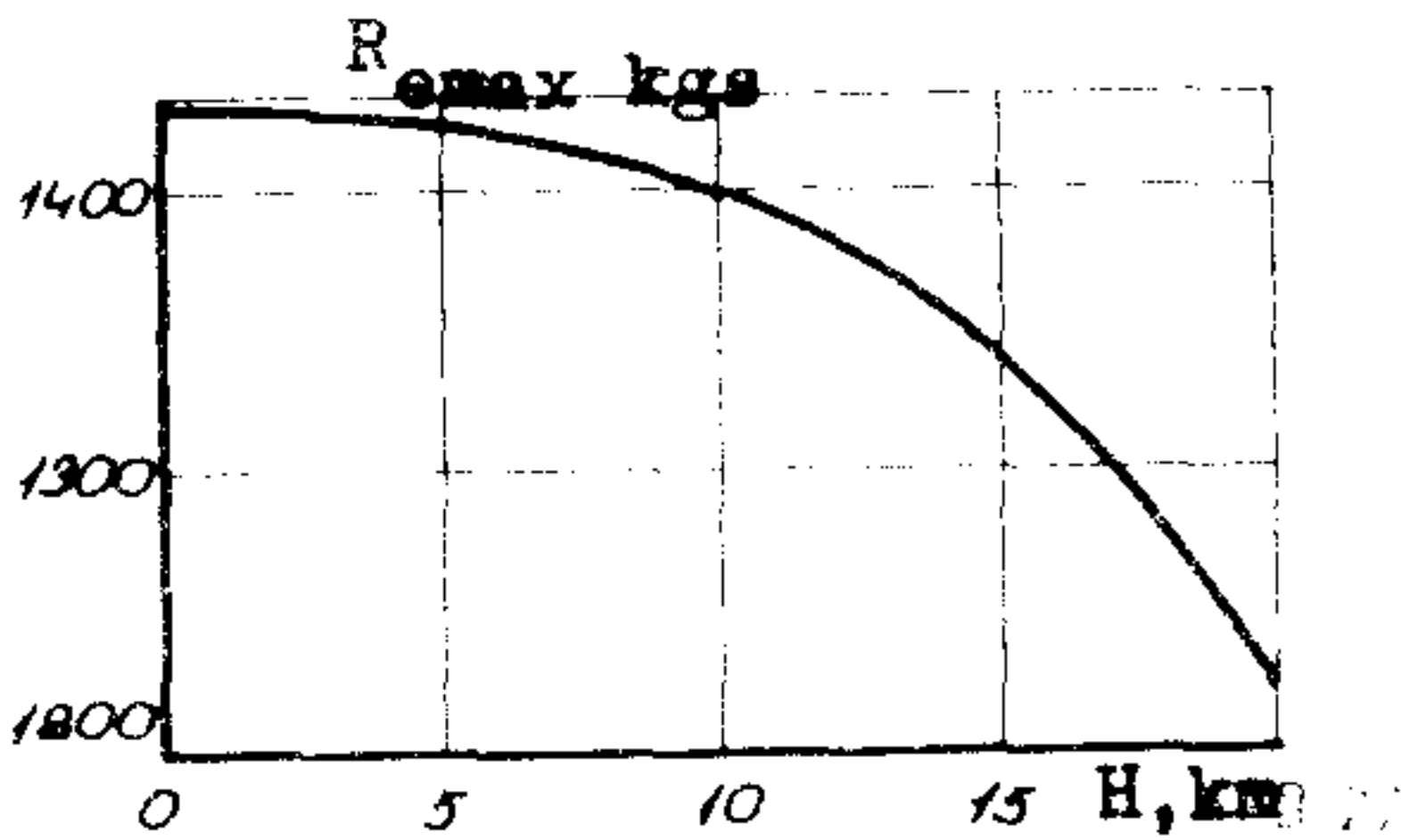
22. ábra. A kupola belépő feltételének változása huzószalag alkalmazásakor.



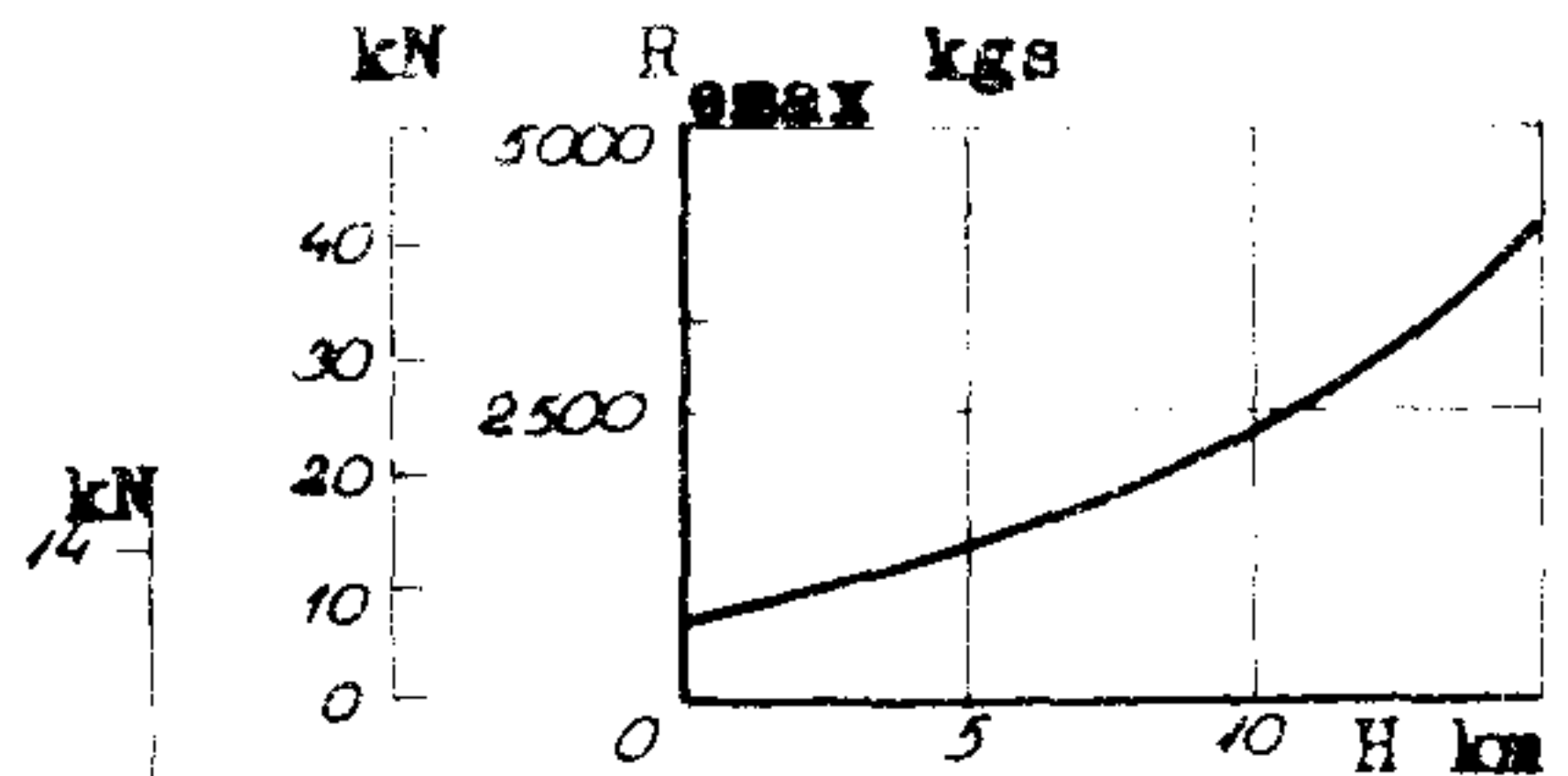
24. ábra.
 A sebesség változása az ejtőernyő nyílása közben.



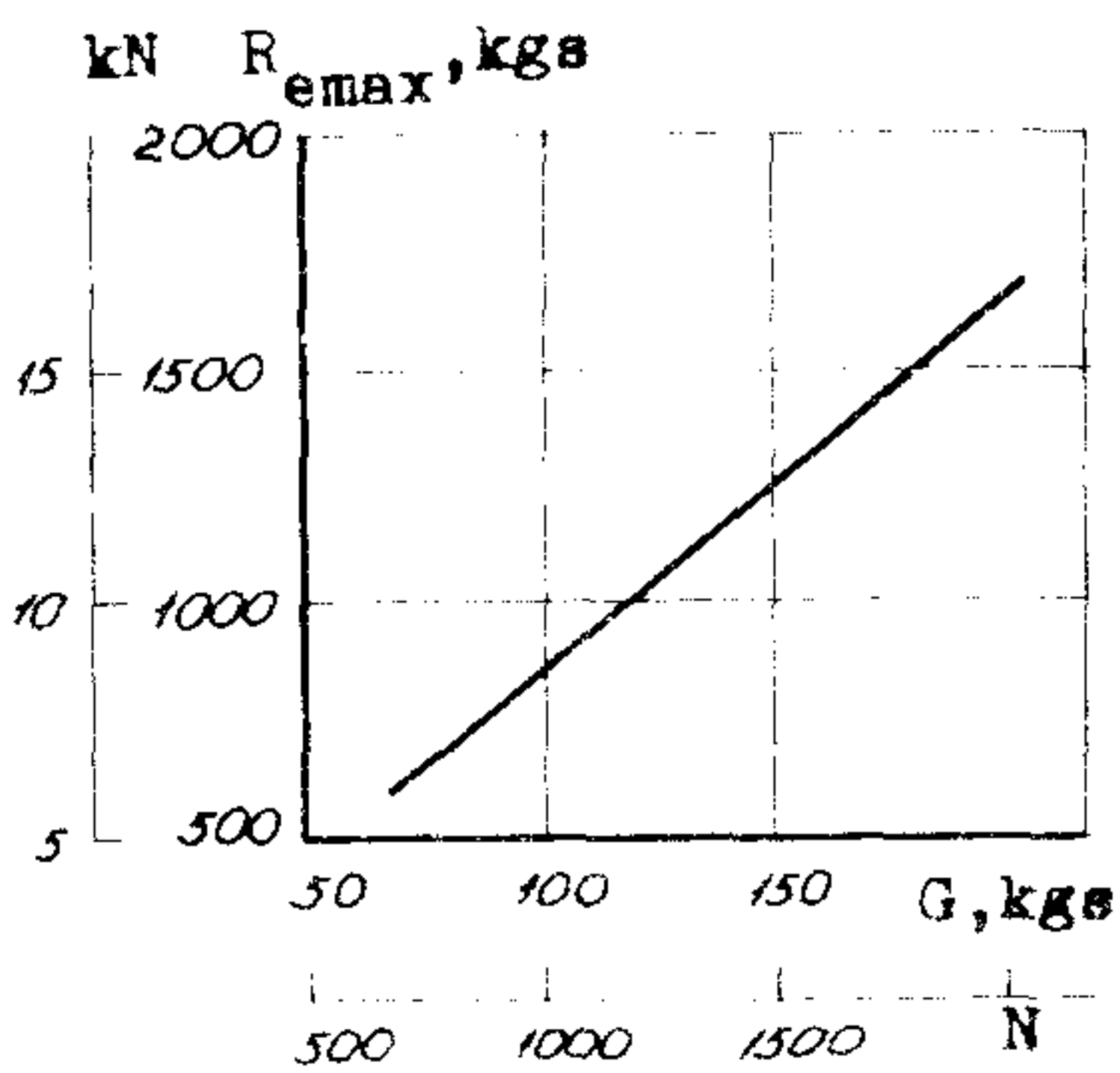
25. ábra. A maximális terhelés függése a kupolabelobbanás kezdeti sebességétől. $\rho = 0,113 \text{ kgs./m}^3 = 1,11 \text{ kg/m}^3$, $G = 100 \text{ kgs} = 981 \text{ N}$, $F = 56 \text{ m}^2$, $C_e = 0,8$, $k = 0,086/$



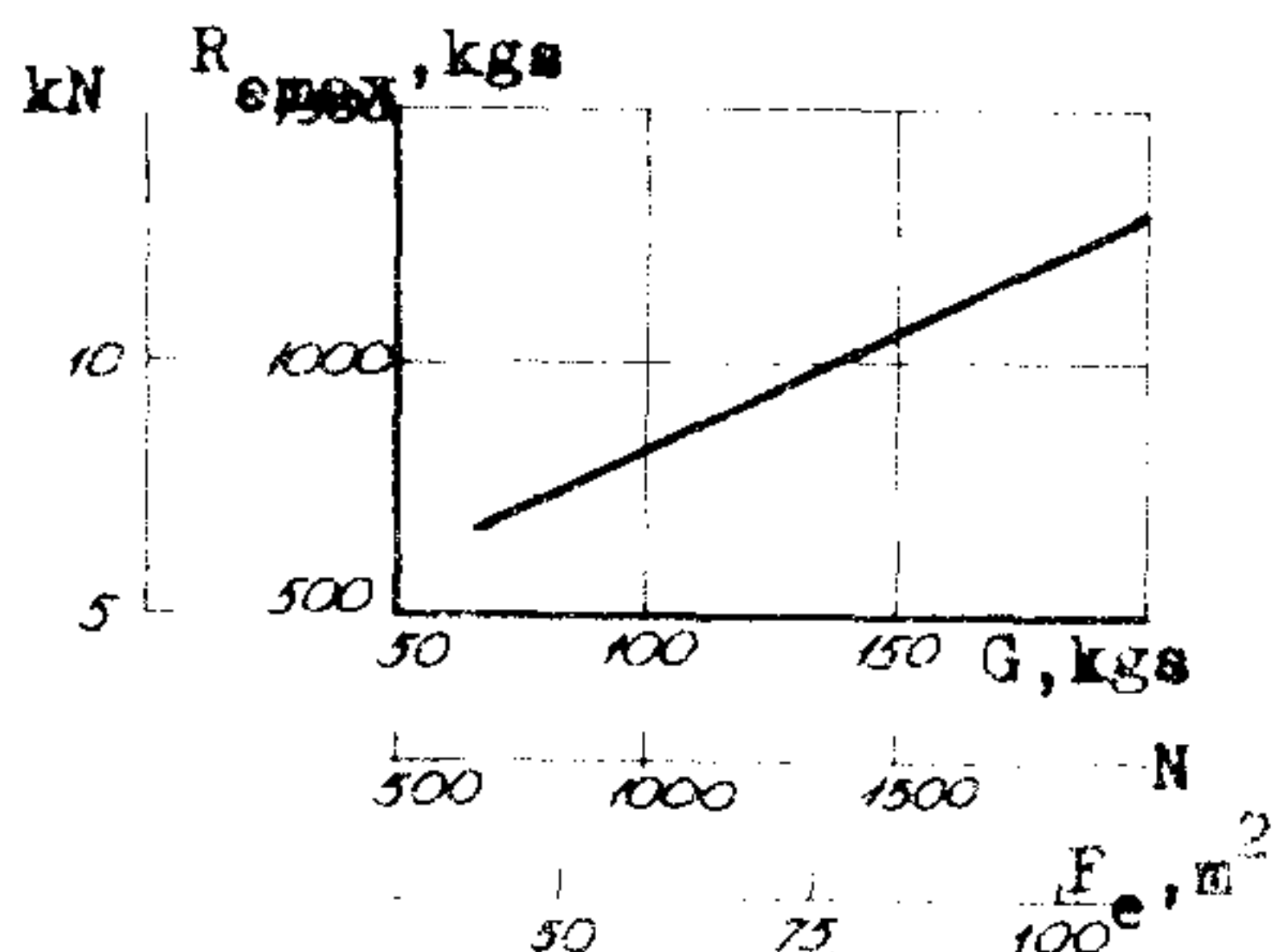
26. ábra. A maximális terhelés függése a magasságtól $V_0 = \text{const}$, $F_e = \text{const}$; $V_0 = 139 \text{ m/s}$.



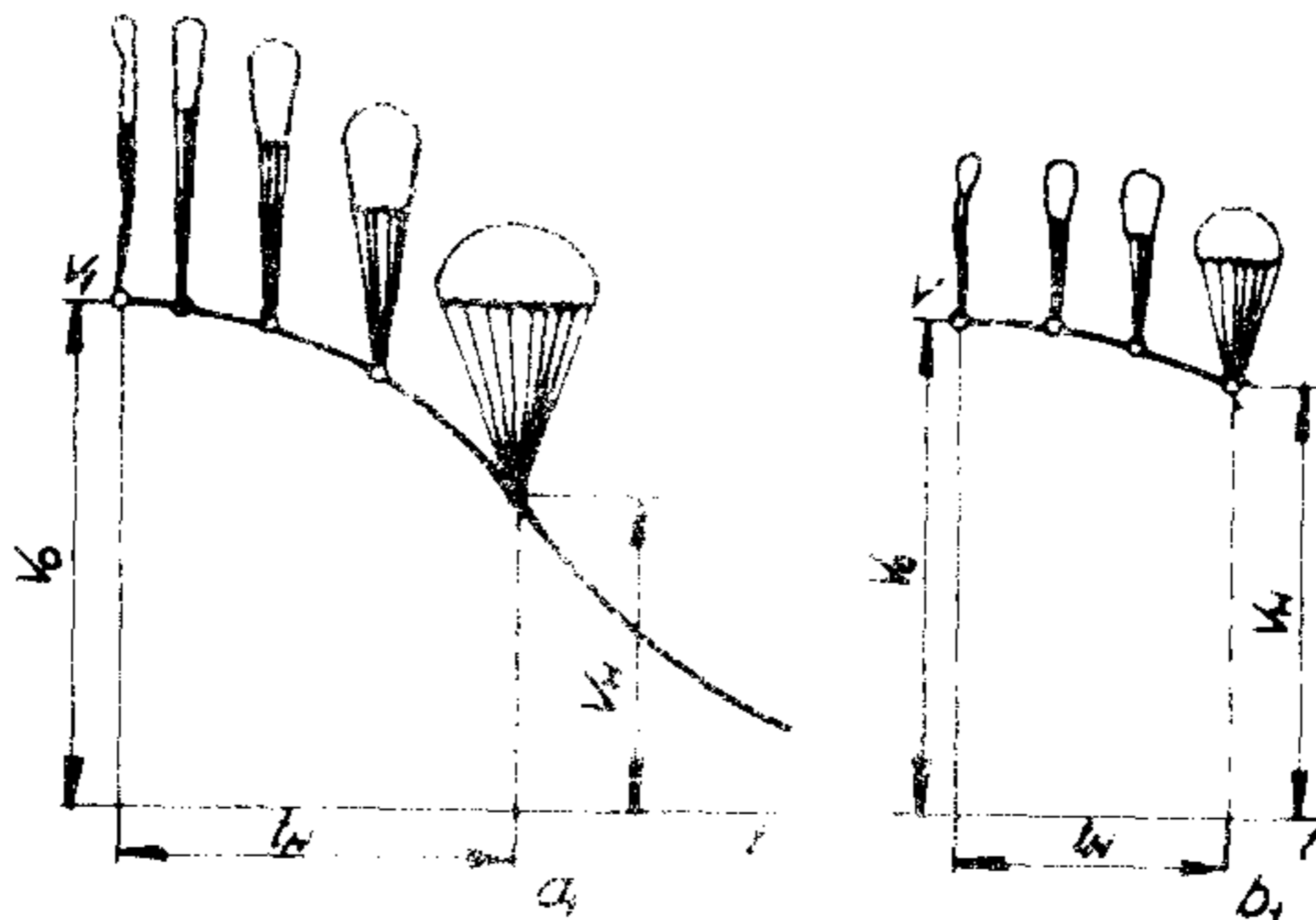
27. ábra. A maximális terhelés függése a magasságtól, $q = \text{const}$; $G = \text{const}$; $F_e = \text{const}$.



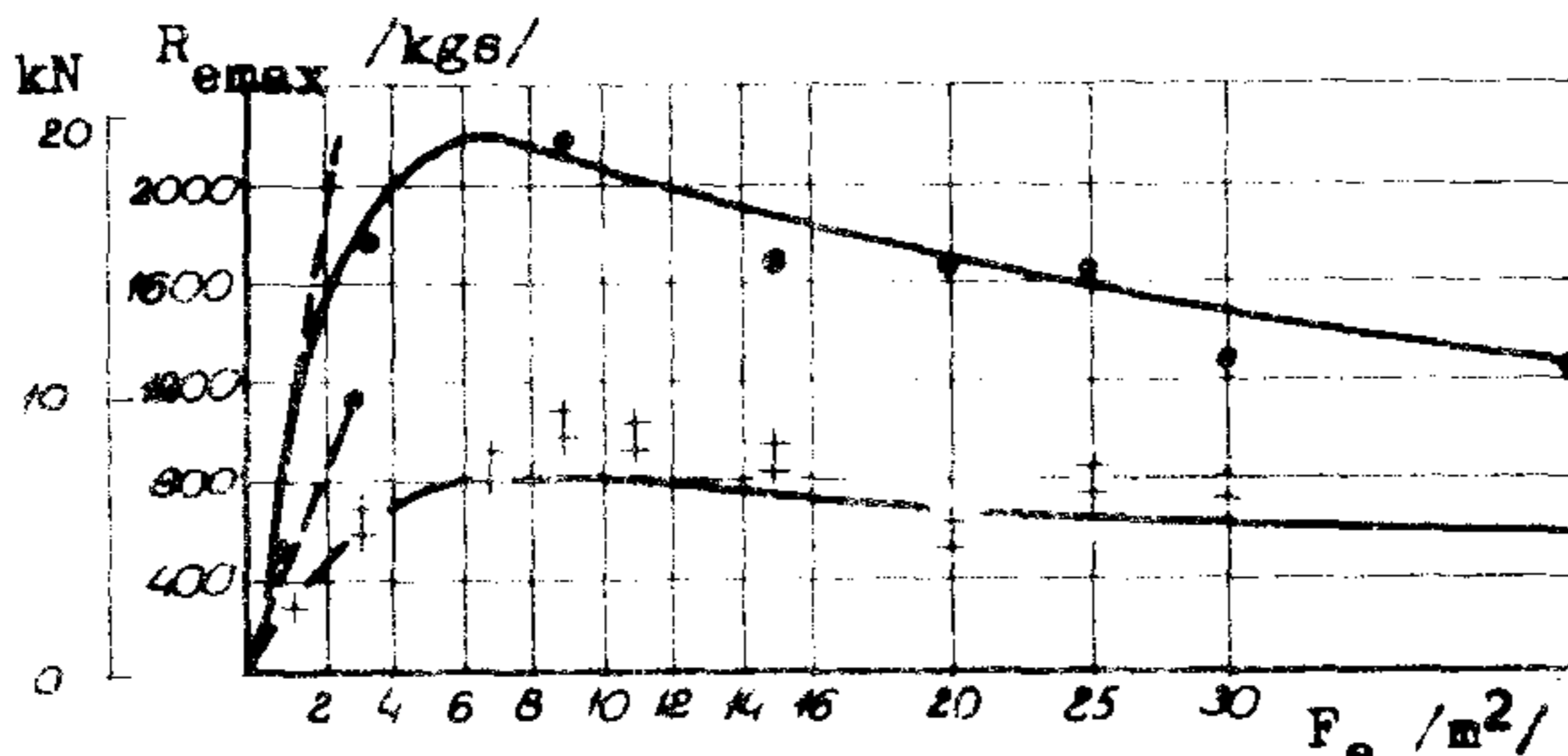
28. ábra. A maximális terhelés függése a rendszer súlyától. $V_0 = \text{const}$; $\rho = \text{const}$; $F_e = \text{const}$.



29. ábra. A maximális terhelés függése a rendszer súlyától állandó felületi terhelésnél $G/F_e = \text{const} = 1,63 \text{ kgs/m}^2$, $V_0 = \text{const}$; $\rho = \text{const}$; $g = \text{const}$.

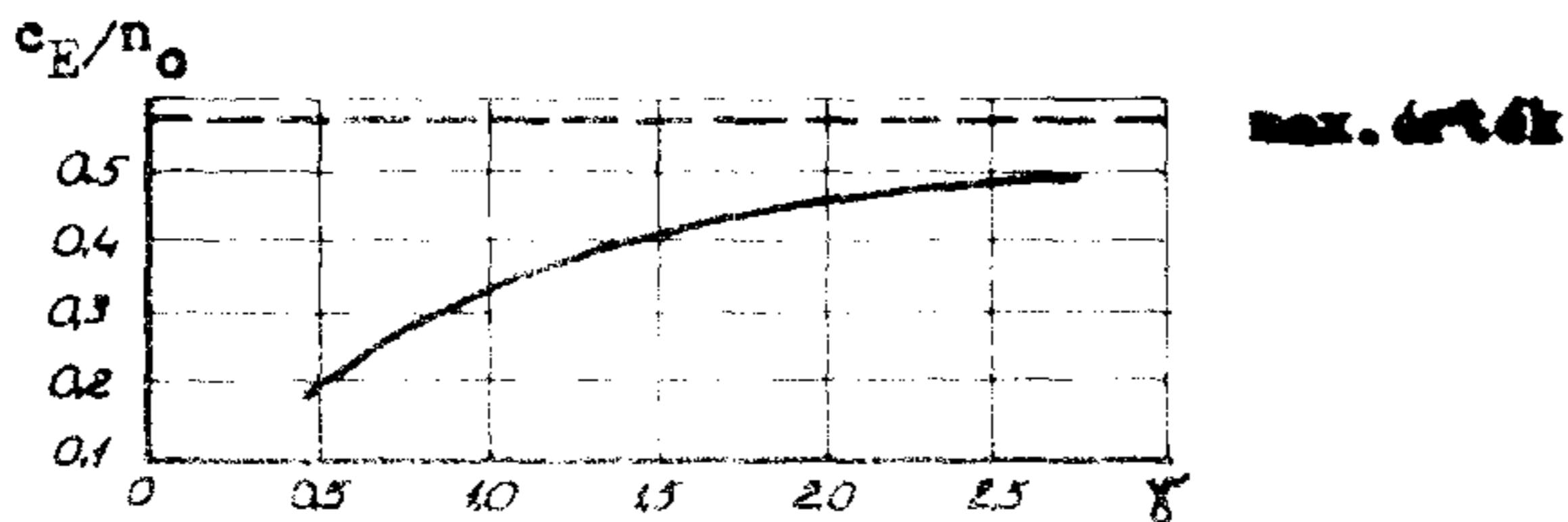


30. ábra. A sebesség változása V_0 -tól V_B -ig különböző felületi terhelésű kupoláknál. a/kis felületi terhelésű kupola; b/nagy felületi terhelésű kupola-kis geometriai méretű.



31. ábra. Maximális terhelés nagyságának változása különböző méretű kupoláknál $V_0 = 54$ m/s - alsó görbe - és $V_0 = 90$ m/s - felső görbe.

● - kísérleti eredmények $V_0 = 90$ m/s-nál;
+ - kísérleti eredmények $V_0 = 54$ m/s-nál.



32. ábra. c_E/n_0 változásának jellege γ függvényében.