

ADALÉKOK A KAVITÁCIÓ RONCSOLÁSI ENERGIÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSÁHOZ

VARGA JÓZSEF

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

és

SEBESTYÉN GYULA

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM VÍZGÉPEK TANSZÉKE

[Beérkezett 1967. április 11-én]

A szerzők zárt cirkulációjú hidrodinamikusan csatornában végzett méréseik alapján a kavitációs roncsolás energiájának mérésére alkalmas mérőszámot mutatnak be. Vácolják azokat a korábbi eredményeket, amelyek alapján ilyen roncsolási mérőszám bevezetésének jogossága bizonyítható. Így foglalkoznak a kavitációs áramlás néhány jellemző tulajdonságával, a kavitációs roncsolás kritikus adataival, a sebességi léptékszámokkal, az egyenértékű ütésszámmal, a roncsolás felületi nagyságával és a modell ellenállással; mindezekkel azonban csak olyan mértékben, ami áttekinthetővé teszi az energia-mérőszámokban szereplő egyes tagok szerepét és jelentőségét. Befelezésekkel az energetikai paraméter és az egyenértékű ütésszám kapcsolatát mutatják be, amellyel a kavitáció során a testről leváló örvények frekvenciájának a roncsolásban betöltött fontos szerepére utalnak.

I. Bevezetés

A világszerte egyre nagyobb mértékben folyó kavitációs eróziós kutatások egyik fontos célja, hogy a kavitációs erózió intenzitásának mérésére alkalmas paramétereket találjanak és kapcsolatot teremtsenek az erózió intenzitása és az anyagjellemzők között. A kutatásoknak további ugyancsak fontos céljai közé tartozik az is, hogy az erózió intenzitása és az áramlási viszonyok között egyértelmű és általános érvényű kapcsolatot találjanak. Ezekben az irányokban többen és többféle módon végeztek vizsgálatokat, melyek közül a fontosabbak SHALNEV [1], GOVINDA RAO [2], THIRUVENGADAM [3] nevéhez fűződnek. E témakörrel szerzők is foglalkoztak [4]. Az előbbi kérdések általánosítható módon való tisztázása lehetővé tenné, hogy a különböző módokon és berendezésekben kapott kavitációs eróziós kísérleti eredmények között összefüggéseket lehessen felállítani, tehát a gyorsított vizsgálatra alkalmas berendezéseken kapott eredmények és az áramlási viszonyok közötti kapcsolatot is megteremtene.

A következőkben szerzők előbbi témakörbe vágó kutatásaik néhány olyan eredményét közlik, amelyeket áramlási rendszerben végzett vizsgálatok során kaptak, de alkalmasak lehetnek arra, hogy más berendezésekben végzett kutatásokkal kapcsolatban is alkalmazzák azokat.

Szerzők ezeket a kutatásaikat zárt cirkulációjú hidrodinamikusan csatornában végezték, a mérőtérben az áramlás irányára merőlegesen elhelyezett körhengermodellekkel. A kavitációs eróziót a mérőtér oldalfalán elhelyezett

próbatesteken vizsgálták. Az eróziós súlyvesztésüket ± 1 mg pontossággal mérlegeléssel határozták meg. A későbbiekben közölt gondolatmenet követése céljából azonban szükségesnek látszik, hogy szerzők által végzett korábbi kutatásoknak a téma szempontjából fontosabb eredményeit előljáróban vázlatosan összefoglaljuk.

II. Néhány alapvető összefüggés

1. A Strouhal-szám

A korábbi vizsgálatok [5, 6] folyamán megállapítható volt, hogy az áramlásba helyezett modellekről kavitációs áramlásban periódikus üregleválás következik be és a v áramlási sebességgel, a leváló örvények f frekvenciájával, valamint a modell jellemző méretével (d átmérőjével) képzett Strouhal-szám ($S = fd/v$), továbbá a kavitációs szám (σ) között

$$S = C_0 \sqrt{\sigma} \quad (1)$$

összefüggés áll fenn, ahol $C_0 = \text{const}$ és $\sigma = (p_\infty - p_v)/(0,5 \rho v^2)$, amelyben p_∞ a statikus nyomás a modell helyén, annak távollétében; p_v az adott folyadék hőmérsékletéhez tartozó gőznyomás; ρ pedig a folyadék sűrűsége.

Az (1) összefüggésből és a Strouhal-számból következik, hogy állandó értékű kavitációs szám esetében végzett kísérleteknél (ami egyúttal állandó hosszúságú kavitációs zónát is jelent [7]) a leváló örvények frekvenciája

$$f = C_1 v \quad (2)$$

alakú összefüggéssel fejezhető ki, tehát a leváló üregek frekvenciája az áramlási sebességgel arányos.

2. A kavitációs zóna és a kavitációs állapot

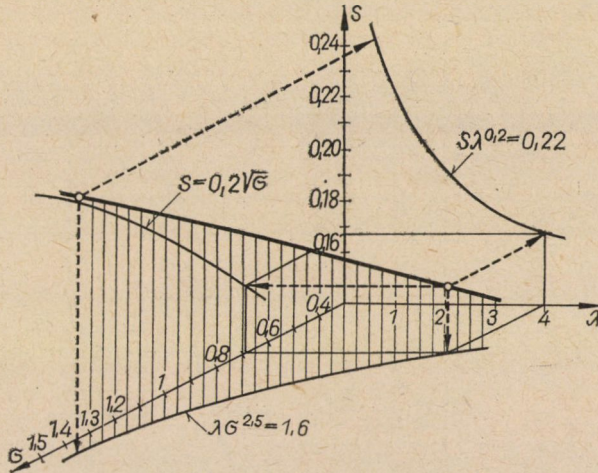
Az előbbiekben már utaltunk arra, hogy állandó értékű kavitációs számhoz állandó hosszúságú kavitációs zóna tartozik. Ugyancsak a korábbi kutatások eredménye volt annak kimutatása, hogy a kavitációs zóna dimenzió nélküli hossza ($\lambda = l_z/d$, ahol l_z a kavitációs zóna hosszúsága a körhenger közepétől mérve) és a kavitációs szám között

$$\lambda \sigma^m = \text{állandó} \quad (3)$$

alakú összefüggés áll fenn [8]. Előbbiek alapján a kavitációs zóna dimenzió nélküli hossza, a kavitációs szám és a Strouhal-szám között

$$S = \frac{\lambda \sigma^3}{C_2} \quad (4)$$

összefüggés mutatható ki, ahol $C_2 = \text{állandó}$. A (3) és (4) egyenleteknek megfelelő térgörbe egyértelmű összefüggést ad a három változó között (1. ábra).

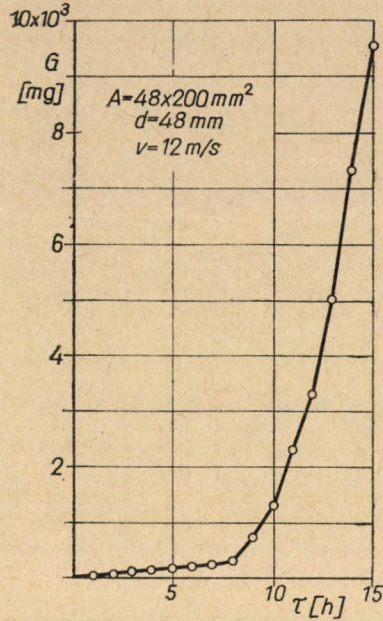


1. ábra. A Strouhal-szám (S), a kavitációs szám (σ) és a kavitációs zóna relatív hossza (λ) közötti kapcsolat

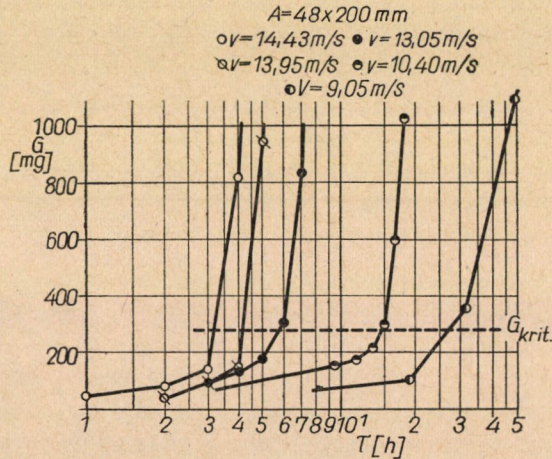
3. A kavitációs roncsolás kritikus értékei

A kavitációs eróziós vizsgálatok során előálló súlyveszteség értékeket (G) a vizsgálat időtartamának (τ) függvényeként felrajzolva (2. ábra) a roncsolás két jellegzetes szakasza figyelhető meg. Az első, az origóból kiinduló közel egyenes szakasz a roncsolás inkubációs periódusa. A második, a rövid átmeneti tartományt követő meredek emelkedésű szakasz, a totális roncsolás periódusa vagy akkumulációs zóna. A két görbeszakasz között helyezkedik el az ún. kritikus pont, amely a kavitációs roncsolás kritikus időtartamát és a hozzá tartozó kritikus anyagmennyiséget határozza meg. A kritikus pont a G/τ^2 értékeknek a kísérleti idő függvényében való felrajzolásával grafikus úton kellő pontossággal meghatározható.

A kritikus ponthoz tartozó kritikus adatok nagy figyelmet érdemelnek, mert vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy azonos kavitációs állapotban a kritikus idők ugyan az áramlási sebességek függvényei, azonban az erodált kritikus anyagmennyiségek értéke adott anyagnál az áramlási sebességtől függetlenül állandó értékű (3. ábra). A kritikus pont anyagszerkezeti szempontból is figyelmet érdemel, mert a kavitációs behatásoktól kifáradt anyagállapotot jelenti. Az inkubációs periódus végére már az anyag kifáradása következik be és így a kritikus értékhez meghatározott anyagstruktúra tartozik. Ezt igazolja HOFF, LANGBEIN és RIEGER [9] munkája, amelyben a mikrokeményiség és a koercitív térerősség változását mérték meg kavitációs erózióknak kitett tiszta nikkel próbatesteknél és azt találták, hogy az inkubációs idő végéig ezek az értékek hirtelen nőnek és attól kezdve állandó értékűek



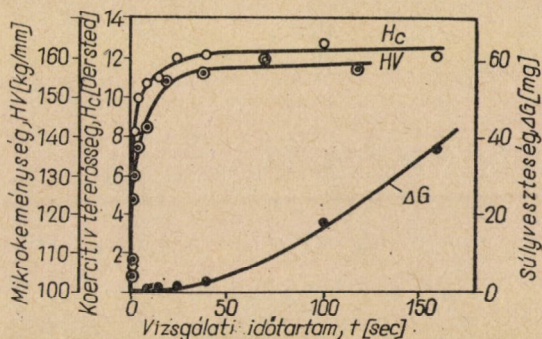
2. ábra. Az eróziós súlyvesztés (G) a vizsgálat időtartamának (τ) függvényében, ólom próbatest esetén



3. ábra. A kavitációs eróziós súlyvesztés (G) a vizsgálat időtartamának (τ) függvényében, különböző áramlási sebességeknél (v)

(4. ábra). Ez azt igazolja, hogy az inkubációs szakasz végén már az anyag kifáradása bekövetkezett. Ugyanezt támasztják alá PLESSET és DEVINE [10] magnetostrikiós berendezésen végzett kísérletei, amelyekben röntgen diffrakciós módszerrel hasonló eredményhez jutottak. A kritikus pont, ill. az ahhoz

tartozó időtartam és anyagmennyiség alkalmas arra, hogy a különböző anyagok kavitációs erózióval szembeni ellenállását megbízható módon hasonlítsuk össze az eddigi önkényesen választott módszer helyett [11]. A különböző anyagok kavitációval szembeni ellenállását eddig rendszerint úgy igyekeztek meghatározni, hogy önkényesen kiválasztott időtartamig vetették alá a kavitációs behatásoknak a különböző minőségű próbatesteket és az így nyert súlyveszteségeket hasonlították össze. Nyilvánvaló, hogy ez a módszer nem



4. ábra. A mikrokeménység (H_V), a koercitív térerősség (H_c) és a súlyveszteség (ΔG) a vizsgálati időtartam (t) függvényében Hoff és társai szerint

ehet helyes, mert a rangsorolás különböző anyagállapotban levő anyagok összehasonlítása révén történt. Megemlítendő még, hogy egyedül az inkubációs szakaszban van a vizsgált anyag tiszta, szekundér hatások nélküli kavitációs erózióknak kitéve.

4. A sebességi léptékszám

Állandó értékű kavitációs számnál különböző v_1, v_2, \dots, v_n áramlási sebességekkel végzett vizsgálatoknál azonos eróziós súlyveszteségek ($G =$ = állandó) eléréséhez szükséges $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ idők összehasonlítása alkalmazsának látszott az áramlási sebesség befolyásának megítélésére. Vizsgálataink során [12] azt találtuk, hogy az előbbi feltételek melletti kísérleti idők hányadosai az áramlási sebességekkel a

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^5 \quad (5)$$

összefüggésben vannak, ami általánosabb formában

$$\tau_1 v_1^5 = \tau_2 v_2^5 = \dots = \tau_n v_n^5 \quad (6)$$

alakban írható fel. Az összefüggés mind a kritikus adatokra ($G_{krit} =$ = állandó), mind a totális roncsolás (akkumulációs zóna) szakaszában érvényes. A sebesség

I. táblázat

6 különböző áramlási sebességnél végzett vizsgálat eredményei
($G = 4000$ mg; $\lambda = 3$)

V [m/s]	$f\tau \times 10^{-4}$	$\psi \times 10^{-4}$
9,05	8,87	3,33
10,40	4,43	2,93
13,05	1,99	3,18
13,60	1,78	3,45
13,95	1,52	3,27
14,43	1,32	3,47
		$\bar{\psi} = 3,26$

hatványkitevője nem függ sem a kavitációs állapottól, sem az erózióknak alávetett anyagtól, sőt — más szerzők kísérleti adataiból megállapíthatóan — nem függ a kísérleti berendezéstől sem és ezért úgy tűnik, hogy ez az összefüggés a sebesség befolyását általános érvénnyel fejezi ki. Az irodalomban általában

$$\Delta V = C v^\alpha \quad (7)$$

alakban találunk erre utalásokat, ahol $\Delta V = G/(\gamma\tau)$ az időegység alatt erodált anyagterefogat; γ az erózióknak alávetett anyag fajsúlya; C állandó és α a sebesség hatványkitevője.

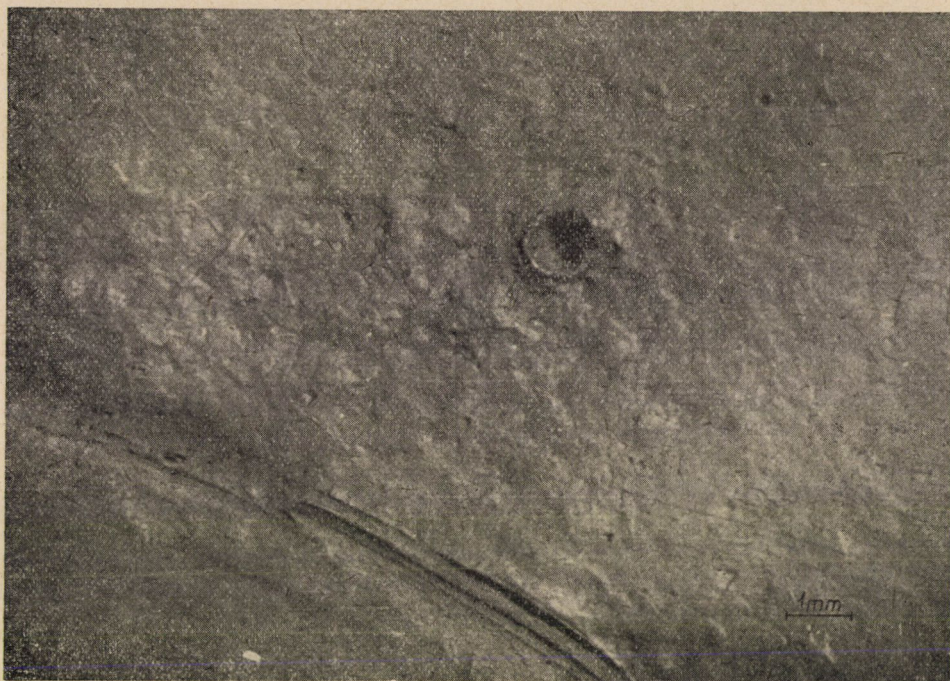
A (7) összefüggést egy kísérlet sorozat esetén állandó értékű eróziós súlyvesztésre alkalmazva, a (6) alatti összefüggéshez jutunk. Az α hatványkitevő értékére vonatkozóan az irodalomban ugyan $4 \div 8$ közötti értékeket találhatunk, azonban már számos olyan kísérleti eredmény áll rendelkezésre, amelyekből az $\alpha = 5$ érték jól igazolható.

5. Az egyenértékű ütészám

Állandó értékű kavitációs számmal jellemzett kavitációs állapotban végzett kísérletek során a kavitációs erózióknak alávetett próbatesteken a kavitációs zónával fedett terület nagysága állandó. A roncsolt felület a kavitációs zóna tartományában alakul ki. A roncsolt felületet az áramlási sebességgel arányos számú ütés éri, mely ütések nagyságát a környezeti nyomás szabja meg. Abból a feltételezésből indulunk ki, hogy ha az állandó hosszúságú kavitációs zóna mellett végzett kísérleteknél az erózió következményei egyformák, akkor azonos súlyvesztés értékeknél az anyag elroncsolásához azonos nagyságú energiára van szükség. Ennek igazolására az egyenértékű ütészám fogalmát vezettük be [13], melyet a

$$\psi = f\tau \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^2 \quad (8)$$

összefüggéssel írhatunk fel, ahol τ a vizsgálat ideje; $\Delta p = p_{\infty} - p_v$; $\Delta p_0 = 1$ kp/cm². Az I. táblázatban feltüntettük 6 különböző áramlási sebességnél végzett vizsgálat eredményeit, amelyek előbbi feltételezéssel jó egyezést mutatnak.



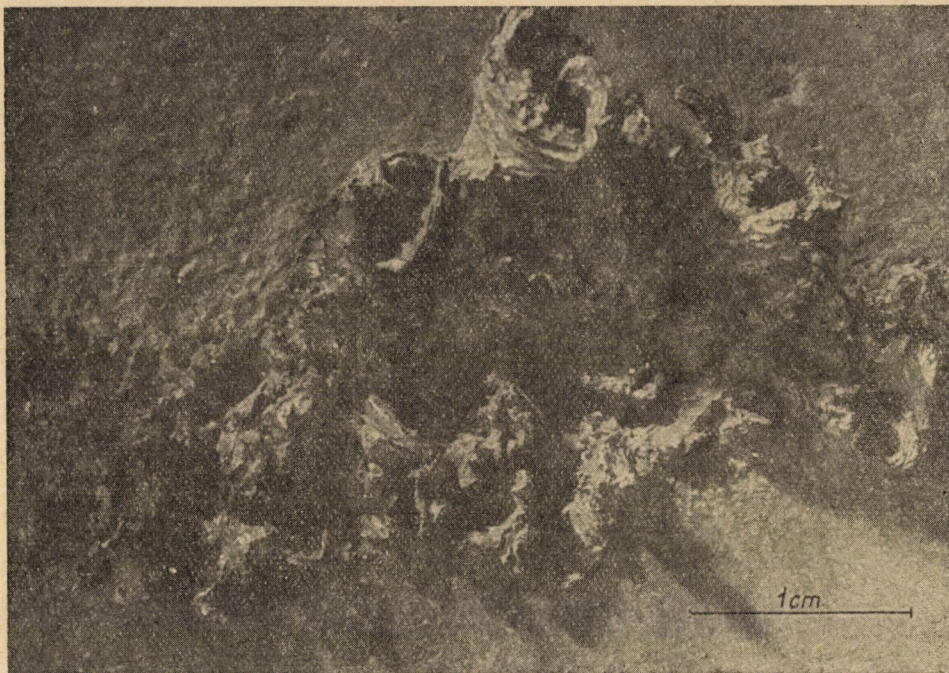
5. ábra. Eróziós roncsolásnak alávetett ólompróbatest fényképe (inkubációs periódus); a kép bal sarkában a kavitációt keltő körhenger lenyomata látható

6. A roncsolt felület

A kavitációs erózió okozta roncsolás az ellipszishez hasonló kavitációs zóna ellipszis kis tengely mögötti kontúrján keletkezik és a vizsgálati idő növekedésével a roncsolt felület és annak mélysége egyre növekszik. A kavitációs behatásnak kitett felület az inkubációs periódusban a plasztikus deformáció jeleit mutatva hullámossá válik, azon finom repedések és mikrokavernák figyelhetők meg (5. ábra). Nem számottevő, de mérhető súlyvesztés jelentkezik. A kritikus pont után következő totális roncsolási periódusban már növekvő nagyságú és mélységű kavitációs kráterekkel borított felületet kapunk (6. ábra).

A roncsolt felület nagysága a roncsolási időtől függően nő. GOVINDA RAO [2] kísérletei szerint kapcsolatba hozható a kavitációs zóna területével, azzal arányos, amit saját vizsgálataink is megerősítettek. Ez a körülmény lehetővé teszi egy olyan vonatkoztatási felület kijelölését, amellyel a roncsolt

felület arányos. A vonatkoztatási felületet vizsgálatainknál egy olyan téglalap területével tekintettük egyenlőnek, amelynek magassága a modell átmérője, d , ill. magassága, hossza pedig a kavitációs zóna hosszúságával azonos, vagyis



6. ábra. Eróziós roncsolás során, ólompróbatesten keletkezett kráterek fényképe

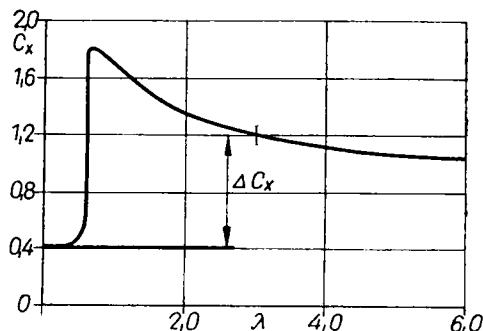
$$A_f = dl_z. \quad (9)$$

A roncsolt felületet tehát ezzel a vonatkoztatási felülettel arányosnak tekintve, $A = C_3 A_f$, ahol $C_3 \leq 1$.

7. A modell ellenállása kavitációs áramlásban

Különböző átmérőjű körhenger modellekkel vizsgálatsorozatot végeztünk abból a célból, hogy a kísérleteinknél használt körhenger modell ellenállását kavitációs és kavitációmentes áramlásban meghatározzuk. Az ellenállástényező megállapítása a henger felületén végzett nyomásméréssel történt. A kísérletsorozat alapján megállapítottuk, hogy kavitációs áramlásban a körhenger ellenállástényezője csak a kavitációs számtól függ, a kavitációmentes áramlásban mutató ellenálláshoz képest jelentős eltérések mutatkoznak és az ellenállástényező értéke — kavitáció mentes áramlásban — a kritikus

Reynolds-szám felett állandó értékű. Ezekre a vizsgálatokra azért volt szükség, mert kapcsolatot kívántunk találni a modell ellenállása és a roncsolás mértéke, ill. annak intenzitása között. A 7. ábra a kavitációs állapotot jellemző dimenzió nélküli kavitációs zónahossz (λ) és az ellenállástényező (C_x) közötti összefüggést mutatja be.



7. ábra. Körhenger ellenállástényezőjének (C_x) változása a kavitációs zóna relatív hosszának (λ) függvényében (a mérőtér szelvénymérete: 48×200 mm, $d = 48$ mm)

III. Energetikai vizsgálatok

1. Az energetikai paraméter

Többet tettek kísérletet, hogy a kavitációs roncsolás energiáját valamilyen mérőszámmal, energetikai paraméterrel jellemezzék. Az a tény, hogy kavitációs áramlásban a modell ellenállása lényegesen nagyobb, mint kavitációmentes áramlásban, lehetővé teszi annak feltételezését, hogy az ellenállástényező változásának megfelelő energia-, ill. roncsolási teljesítménytöbblet kapcsolatba hozható a roncsolásra fordított energiával. Feltételezzük tehát, hogy a modell ellenállásának változásával együttjáró energiaváltozás a kavitációs roncsolásra fordítódik, ill. azzal arányos. Ennek alapján az alábbi energetikai mérőszám felírása lehetséges:

$$e = \frac{G_{\text{krit}}}{\tau_{\text{krit}} \gamma F v} \frac{A_0}{A} \frac{\Delta p_0}{\Delta p}, \quad (10)$$

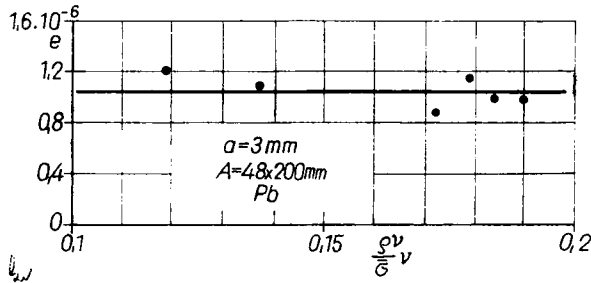
azaz

$$e = \frac{\Delta V}{F v} \frac{A_0}{A} \frac{\Delta p_0}{\Delta p} [\text{mm}^3/\text{mkp}], \quad (11)$$

ahol ΔV az időegység alatti térfogatveszteség az inkubációs szakasz végén, F az egységnyi hosszú modell ellenállása $F = \Delta C_x \rho v^2 d/2$; ΔC_x a kavitációs és a kavitációmentes áramlásban ellenállástényezők különbsége (a kritikus

Reynolds-szám felett — $\lambda =$ állandó mellett — állandó érték). A a roncsolt felület $A = C_3 \lambda d^2$ és $A_0 = C_3 \lambda d_0^2$, ahol $d_0 = 1$.

Az összefüggésben $\Delta V/A = i$ az erózió átlagos előrehaladási sebességével azonos és ezért a kifejezés az erózió intenzitásának mérésére is alkalmas.



8. ábra. Az energetikai paraméter (e) a Weber-szám ($We = \rho dv^2/\sigma$) és a Reynolds-szám ($Re = vd/\nu$) hányadosának függvényében

Mivel $\lambda p = 0,5 \rho \sigma v^2$, az energetikai paraméter — $\sigma =$ állandó és $\gamma =$ állandó feltételezéssel —

$$e = C_4 \frac{G_{\text{krit}}}{\tau_{\text{krit}} v^5 d^3 \rho^2}$$

alakban is felírható. Azonos anyagok azonos mértékű erodált állapotára, azonos folyadék, mérőtér- és modellméretek esetében állandó értékű. Ez $G_{\text{krit}} =$ állandó és $\tau v^5 =$ állandó alapján könnyen belátható (8. ábra).

Mindezek lehetővé teszik a sebességi és geometriai léptékhatás igazolását is. Előbbiek alapján ui. felírható, hogy

$$\frac{\Delta V_1}{\rho_1^2 v_1^5 d_1^3} = \frac{\Delta V_2}{\rho_2^2 v_2^5 d_2^3} \quad (12)$$

$v_1/v_2 = W$; $d_1/d_2 = A$ és $\rho_1/\rho_2 = P$ jelölésekkel

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 W^5 A^3 P^2 \quad (13)$$

Ebben az összefüggésben már a folyadék sűrűségének léptékhatása is befigyeltatik.

2. Az egyenértékű ütésszám és az energetikai paraméter

Az egyenértékű ütésszám (8) fogalmát arra a feltételezésre alapozva vezettük be, hogy hasonló kavitációs állapotokban, de különböző áramlási sebességekkel létrehozott azonos erodált anyagmennyiség elroncsolásához

szükséges energia is azonos. Az energetikai mérőszám (10) hasonló koncepción alapul azzal a kiegészítéssel, hogy a roncsolási energiát az áramlási viszonyoktól függő áramlási energiavesztéssel hoztuk kapcsolatba. Ez a két mérőszám egymással kapcsolatba hozható. A korábbi összefüggések alapján a (10) összefüggést az

$$e = \frac{4 G_{\text{krit}} A_0 \Delta p_0}{\gamma A \cdot \Delta C_x \varrho^2 d \sigma \tau_{\text{krit}} v^5} \quad (14)$$

alakban, a (8) összefüggést ugyancsak a kritikus értékekre vonatkoztatva

$$\psi = \frac{\varrho^2 \sigma^{2,5} \tau_{\text{krit}} v^5}{20 d \Delta p_0^2} \quad (15)$$

alakban is felírhatjuk.

Azonos kavitációs állapotokat feltételezve ($\sigma =$ állandó) a (14) és (15) összefüggések egybevetésével az

$$e = \frac{K G_{\text{krit}}}{\psi d^4} \quad (16)$$

összefüggéshez jutunk, amelyben

$$K = \frac{0,2 d_0^2 \sigma^{1,5}}{\Delta C_x \gamma \Delta p_0} \quad (17)$$

Ennek az értéke hasonló mérőterekben a geometriai méretektől függetlenül állandó.

Adott mérőtérben végzett vizsgálatoknál állandó értékű kavitációs szám mellett:

$$e\psi = K_1 \quad (18)$$

A (18) összefüggés közvetlen kapcsolatot létesít az energetikai paraméter és az egyenértékű ütésszám között.

A (16) összefüggés — geometriailag hasonló vizsgálatoknál egy sajátosság és fontos léptékhatás figyelembevételét teszi lehetővé. Amennyiben a kavitációs állapotok, az áramlási sebességek, az alkalmazott folyadékok és az erózióknak alávetett anyagok egyformák, a (13) egyenlethől

$$\frac{G_{1\text{krit}}}{\gamma \tau_{1\text{krit}}} = \frac{G_{2\text{krit}}}{\gamma \tau_{2\text{krit}}} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^3,$$

azaz

$$G_{1\text{krit}} = G_{2\text{krit}} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^3 \quad (19)$$

összefüggés adódik, mert azonos sebességeknél a kritikus idők egyformák.

Az energetikai paraméterek állandóságából, azaz $e_1 = e_2$ -ből következik, hogy

$$\frac{C_{1\text{krit}}}{\psi_1 d_1^4} = \frac{C_{2\text{krit}}}{\psi_2 d_2^4} \quad (20)$$

és a (19), (20) figyelembevételéből a

$$d_1 \psi_1 = d_2 \psi_2 \quad (21)$$

összefüggés adódik.

Mínt hogy a (8)-ből az előbbi megfontolásokkal

$$\frac{\psi_1}{\psi_2} = \frac{f_1}{f_2} \quad (22)$$

a (21) és (22)-ből az

$$f_1 d_1 = f_2 d_2 \quad (23)$$

összefüggéshez jutunk, és ez nem más, mint hasonló kavitációs állapotokban, egyforma áramlási sebességek feltételezésével a Strouhal-szám állandóságának kifejezése, ami az (1) összefüggésből következik.

Mindezek közvetlenül utalnak a kavitációt keltő testről leváló örvények frekvenciájának igen fontos szerepére a kavitációs roncsolások fizikai vizsgálatánál.

IRODALOM

1. Шальнев, К. К.: Энергетический параметр и масштабный эффект кавитационной эрозии. *Изв. АН. СССР. ОTH.* (1961), № 5.
2. GOVINDA RAO, N. S.—THIRUVENGADAM, A.: Prediction of Cavitation Damage. *Journ. Hydr. Div. Proceed. of the ASCE* 87 (1961), No. Hy. 5.
3. THIRUVENGADAM, A.: A Unified Theory of Cavitation Damage. *Trans. of ASME Journ. of Basic Eng.* (1963), Sept.
4. VARGA, J.—SEBESTYÉN, GY.: The Intensity and Scale Effect of Cavitation Damage. *Periodica Polytechnica (Engineering)* 10 (1966), No. 1.
5. VARGA, J.—SEBESTYÉN, GY.: Adalékok a kavitációs erózió és léptékhatás hidrodinamikájához. *MTA VI. Oszt. Közl.* 35 (1965).
6. VARGA, J.—SEBESTYÉN, GY.: Determination of the Frequencies of Wakes Shedding from Circular Cylinders. *Acta Techn. Hung.* 53 (1966).
7. SILBERMAN, E.—SONG, C. S.: Instability of Ventilated Cavities. *St. A. F. Hydr. Lab. Techn. Paper* No. 29. B.
8. VARGA, J.—SEBESTYÉN, GY.: Experimental Investigations of Some Properties of Cavitating Flow. *Periodica Polytechnica (Engineering)* 9 (1965), No. 3.
9. HOFF, G.—LANCBEIN, G.—RIEGER, H.: Investigations of Material-Destruction Due to Liquid Impact. *Symp. on Erosion by Cavitation or Impingement.* Atlantic City (New-Jersey) Juni 26—July 1; ASTM 1966 Annual Meeting.
10. PLESSET, M. S.—DEVINE, R. E.: Effect of Exposure Time on Cavitation Damage. *Transactions of the ASME Journ. of Basic. Eng. (Series D)* 88 (1966), No. 4.
11. VARGA, J.—SEBESTYÉN, GY.—VASVÁRI, F.—BERZY, J.: Determination of the True Resistance of Materials to Cavitation Erosion. *Symp. on „High Velocity Flow”*, Bangalore 1967.
12. VARGA, J.—SEBESTYÉN, GY.: Observations on Cavitation Velocity-Damage Exponent in a Flowing System. *Periodica Polytechnica (Engineering)* 8 (1964), No. 3.
13. VARGA, J.—SEBESTYÉN, GY.: Beiträge zur Untersuchung der Intensität der Kavitationserosion. *Vorträge der II. Konferenz für Strömungsmaschinen*, Budapest 1966.