

Válaszok  
Dr. Károlyi György bírálatára  
doktori mű:  
Dr. Hős Csaba János  
„Direkt rugóterhelésű biztonsági szelepek dinamikus viselkedése és  
stabilitása”

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Válaszok	1
3. Javított táblázatok	6

### 1. Bevezetés

Mindenekelőtt megköszönöm a Bírálók alapos és részletes bírálatait, melyben felhívták figyelmemet a doktori mű egyes pontatlanságaira és hiányosságaira. Külön öröömre szolgált, hogy a Bírálók személye és eltérő szakmai háttere lehetővé tette, hogy a dolgozatomat többféle "szemüvegen" keresztül értékeljék; az ipari alkalmazhatóság mellett a matematikai és nemlineáris dinamikai szempontok is megjelentek.

A bírálatokra adott válaszok kidolgozása során – kicsit több, mint másfél év után újraolvasva a dolgozatot – valóban számos ponton dolgozhattam volna alaposabban, részletesebben vagy más logika mentén. Számos olyan kérdést is kaptam, mely a dolgozat írása során bennem fel sem merült és ezek ígéretes irányokat jelölnek ki a jövőbeli kutatásokhoz.

Az alábbiakban igyekezni fogok kimerítően válaszolni a felmerült kérdésekre. Amennyiben egy-egy észrevételre nem reagálok közvetlenül, úgy elfogadom azt és egyetértek vele.

### 2. Válaszok

A Bíráló az általános megjegyzések során kritizálja, hogy a dolgozat szakít a bevett szokással, hogy az értekezés elején a szerző egy részletes irodalmi áttekintés során tisztázza, hogy a szakterületen mik az ismert, kiforrott eredmények, elméletek, és melyek azok a kérdések, amelyek még tisztázatlanok és kutatómunkát igényelnek.

A bevezetést újraolvasva igazat kell adnom a Bírálónak. Bár az 1.1 fejezetben igyekeztem bemutatni a tervezőmérnökök számára rendelkezésre álló szabványokat és méretezési eljárásokat, valamint ezek hiányosságait, a dolgozat ezen része túlságosan a szabványok és ipari gyakorlat szemszögéből íródott. A bevezetésből valóban hiányzik egy olyan alfejezet, amely a tudományos irodalom eredményeit foglalja össze és – akár más területekről összegyűjtve – rendszerezi azt a tudást, ami a dolgozat témájában releváns. Ezen az sem segít, hogy a dolgozat egyes fejezeteiben igyekeztem a kapcsolódó irodalmat összefoglalni és arra folyamatosan reflektálni. Mindezzel

együtt véleményem szerint a dolgozatban – ha elszórtan is, de – végigtekintem a szakirodalom kapcsolódó eredményeit.

A bíráló első oldalának alján kifogásolja a Bíráló, hogy a 2. fejezetből nem derül ki, hogy az ismertett modellegetek levezetése az én munkám vagy irodalmi eredmény. Mivel ebben a fejezetben a newtoni dinamika és a klasszikus áramlástan eredményeiből kiindulva vezetek le modelleket, fel sem merült bennem, hogy saját eredményként tekintsek a modellekre. Ez alól kivételt képez a 2.1.3 fejezet (effektív felület) ill. az ebben található 7. és 8. ábra, melyet nem találtam meg a kapcsolódó szakirodalomban. Azonban direkt módon ezekkel kapcsolatban sem fogalmaztam meg tézist. Hasznos lett volna a fejezetben folyamatosan hivatkozni a szakirodalomban fellelhető hasonló modellekre.

Köszönöm, hogy a 4. tézis kapcsán a Bíráló felhívta a figyelmemet a nemsima rendszerekben előforduló homoklinikus pályákkal kapcsolatos közleményekre. A megjegyzést elfogadom.

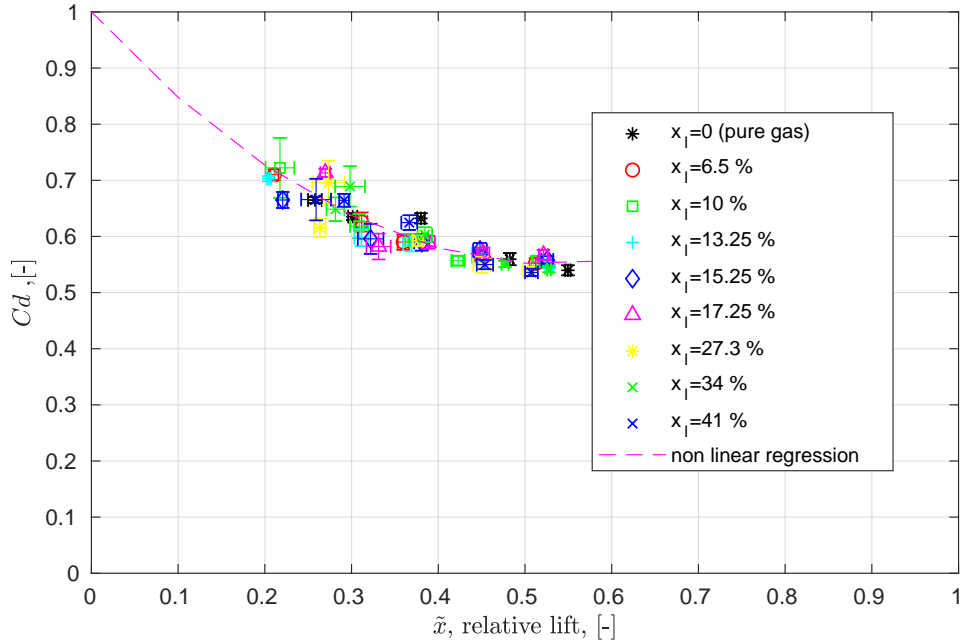
Az "Egyéb megjegyzések" alfejezetben felsorolt észrevételekkel egyetértek és azokat elfogadom, csak néhányhoz kívánok megjegyzést fűzni.

- A 9. ábrán közölt adatok Bazsó Csaba (volt) doktoráns hallgatómmal közös eredmények. Ez az ábra tulajdonképpen a 8. ábra mérésekkel kapott megfelelője és a 2.1.3 alfejezetben ismertett összefüggésekkel határoztuk meg. Valóban hiányzik a világos leírás.
- A 28. oldal első bekezdésének utolsó mondata valóban homályos. Itt azt szerettem volna hangsúlyozni, hogy amennyiben az egyensúlyi szelepnyitásokat ábrázoljuk a tartálynomás függvényében, jól láthatóvá válnak azok a nyomástartományok, melyekben az egyensúlyi görbe "visszahajlik", tehát egyetlen tartálynomáshoz több egyensúlyi helyzet (egy stabil zárt, egy stabil nyitott és egy közbenső instabil) tartozik. Ez a jelenség a 8. ábra jobb oldalán is látható (elméleti levezetés eredményeképpen), mérési eredményekre pedig a 9.d ábra ad példát. Mindkét esetben az effektív felület görbe alakja bír döntő jelentőséggel. Moussou megfigyeléseinek megerősítésére a 9.b és c ábra szolgál: abban a tartományban stabil a szelep, ahol a rugómerevség nagyobb, mint a "hidraulikai rugómerevség"; azaz a (3.47) képlettel megadott összefüggés pozitív.
- A (3.48)-(3.50) képletek jelölése kapcsán igyekeztem a fizikai tartalmat megőrző változókat használni, de a használt "kevert" jelölést ( $\tilde{x}$  és  $\tilde{p}_t$ , de  $y_2$ ) nem tudom védeni.
- A 18. ábrán a  $4x/D_{cs}$  mennyiség százalékban van feltüntetve, amelyet elmulasztottam jelölni.
- A 4. fejezet bevezetőjében említett kevert instabilitások kapcsán talán valóban sokat ígér a fejezetcím. Itt arra próbáltam utalni, hogy az előző fejezetben mesterségesen szétválasztott hatások egyszerre lehetnek jelen egy rendszerben. Így pl. a 19. ábra bal oldalán statikus instabilitást látunk, míg a jobb oldalán nyitási/zárési instabilitást; az elsőt az effektív felület görbe okozza, míg a másodikat a negyedhullám instabilitás (tranzien kialakulása), holott a két szimuláció között csak a csőhosszat változtattuk meg. Hasonlóan, a 24. ábrán nyitáskor a statikus instabilitás hatására való "ugrást" (hirtelen nyitást látjuk), míg zárásakor megint csak negyedhullám instabilitást.
- Ulam mondásával kapcsolatban az alábbi forrásokat tudom felmutatni:
  - <https://physics.sciences.ncsu.edu/research/nonlinear-dynamics/>
  - Campbell Nature cikke: [1]

- A 71. oldalon a variációs probléma megfogalmazása kapcsán túlságosan tömör és nagyvonalú a fogalmazás. A  $\mathcal{M}$  monodrómia mátrixot az eredeti nemlineáris rendszer  $y_p(x)$  (periodikus) pályája körüli linearizáltjának integrálásával kapjuk rendre az  $(1, 0, \dots)$ ,  $(0, 1, \dots)$  stb. kezdeti értékekből kiindulva, a  $0 \leq t \leq T_p$  időintervallumon (ahol  $T_p$  a periódus). Ezt a periodikus pálya körüli linearizáltat neveztem variációs feladatnak. Elismerem továbbá, hogy itt zavaró, hogy a dolgozatban eddig a  $t$  (vagy  $\tau$ ) dimenziótlan idő volt a független változó, ebben a fejezetben pedig (mivel próbáltam a kapcsolódó szakirodalommal összhangba kerülni)  $x$  a független változó (ezt Stépán professzor úr is felrótta). Periodikus pályák stabilitásával és a monodrómia mátrix számításával kapcsolatosan Kuznetsov [3] könyvére tudok hivatkozni.
- A 30. ábra GR2 és PD1 pontok közötti két stabil ág létezése kapcsán felvetett tranzienst káosz jelenlétével kapcsolatosan próbáltam releváns szakirodalmat találni, többek között Tél Tamás *The joy of transient chaos* c. közleményét [5] olvastam el. Numerikus szimulációkat futtattam a kérdéses tartományban, de a már közölt két periodikus megoldáson kívül nem találtam tranzienst káoszra utaló nyomokat. (Nagyszámú szimulációt futtattam véletlenszerű kezdeti feltételekből kiindulva, különösen a két stabil periodikus megoldást elválasztó instabil pálya közeléből, de kaotikus megoldásokat nem találtam.)
- A 6.3.2. fejezetben az  $\mathcal{R} = 0$  (súrlódásmentes) feltevés kapcsán jogos az észrevétel, ti. hogy a két végén nyitott csövön keresztül is lehet folyamatos átáramlás (és emiatt súrlódás), vagy, még ha nincs is nyomáskülönbség a cső két vége között és ezért az (időbeli) átlagsebesség zérus, a hullámjelenségek során kialakuló lokális sebességek miatt jelen van a súrlódás is. A megfogalmazásom valóban pontatlan. Helyesebb lett volna azt írni, hogy súrlódásmentes esetben *pontosan* a klasszikus fél-állóhullám a megoldás (ami az akusztikából jól ismert eredmény, pl. [4], 474. oldal teteje vagy [2] 10.2 fejezet), és az instacionárius súrlódási hatások vagy a folyamatos áramlás (pl. nyomáskülönbség hatására) esetén kialakuló (stacionárius) súrlódás módosítja a hullámhosszt és a sajátfrekvenciát.
- Az M-24-es oldalon "kiadódó" távolságok alatt azt értettem, hogy minden csőnek az  $1/3L$  és  $2/3L$  axiális pozíciójában készültek a nyomásmegcsapolások. Amikor hosszabb csőhosszakat vizsgáltunk, ezeket a már meglévő csöveket kapcsoltuk össze karimák segítségével, így a teljes kiadódó csőhossznak nem az  $1/3L$  és  $2/3L$  pozíciójában történtek a nyomásmérések, hanem az egyes csőszegmensek már kialakított pontjaiban. Elnézést a pontatlan fogalmazásért.

A konkrét kérdésekre az alábbi válaszokat adom (a Bíráló számozásának megfelelően).

1. A 9.d ábrán a piros és kék vonalak valóban a (2.16) képlettel kerültek kiszámítása. Ez – mivel összenyomható gázzal mértünk – pontatlanságokat okoz, ám, mivel az átfogott nyomástartomány nyitónyomás 85...115%-a, egy átlagos sűrűség feltételezésével jó becslés adható. Hangsúlyozom ugyanakkor, hogy ez a közelítés több lényeges gázdinamikai hatást elhanyagol (sűrűség- és hőmérsékletváltozás, fojtott áramlás, stb.), mégis, mint azt a diagram is mutatja, a jelenséget *minőségileg* leírja. Az ábrával azt szerettem volna demonstrálni, hogy bár a statikus instabilitás elméleti magyarázatát összenyomhatatlan közelítéssel vezettem le, a jelenség minőségileg ugyanolyan módon jelentkezik gázok esetén is.
2. A  $C_d$  átfolyási tényező valóban függ a szelepnitástól, erre a dolgozat 6. ábráján (ott a nyomás függvényében) ill. jelen dokumentumban az 1. ábrán mutatok példát. Ez utóbbit G.H. Burhani PhD hallgatómmal közös, a Periodica Polytechnical Mechanical Engineering folyóiratba leadott, bírálat alatt lévő közleményünkből vettem ki. Az ábrán egy kúpos



1. ábra. Átfolyási tényező a szelepnnyitás függvényében levegő-víz keverék esetében.

kialakítású szelep átfolyási tényezője látható a szelepnnyitás függvényében, kétfázisú homogén áramlás esetén (levegő + porlasztott víz,  $x_l$  a víz tömegaránya). A kérdés kapcsán megjegyzem még, hogy ezek a  $C_d$  görbék a numerikus szimulációk során és az elméleti levezetésekben is figyelembe vehetők, de a disszertációban azt szerettem volna hangsúlyozni, hogy a felsorolt instabilitásokat nem az átfolyási tényező változása okozza, annak hatása másodlagos.

A sűrűség és az alvázoldali nyomás szerepelnek a  $C_d$  definíciójában, hiszen ez egy tipikusan mérésekből meghatározott korrekciós paraméter; a mért és az elméleti tömegáram hányadosa, amiből az elméleti érték tartalmazza mind az alvázoldali nyomást (ha nem fojtott az áramlás) és a sűrűséget is. Ez látszik a (2.4) és (2.8)-(2.9) egyenletekből is. Az ipari gyakorlatban jellemző, hogy a szelepgyártók csak a teljes nyitáshoz (!) tartozó  $C_d$  értéket adják meg, mivel feltételezik, hogy amennyiben a szelep kinyit egy vészhelyzet esetén, teljes kapacitással fog működni. Máshogyan megfogalmazva, a szelepek kiválasztása jellemzően a maximális térfogatáramra (kapacitásra) történik és ritka, hogy részleges nyitásokra is adnának meg  $C_d$  értékeket. Ha meg is adnak további függést, az jellemzően a szelepnnyításra vonatkozik.

3. A  $B_k(\tau)$  és  $C_k(\tau)$  függvények szerinti sorfejtésével kapcsolatban igazat kell adnom a Bírálóknak abban, hogy mivel ezen amplitúdó-változások deriváltjai is megjelennek később, szükséges lett volna legalább utólag ellenőrizni, hogy a lineáris közelítés megfelelően pontos-e. Itt csak arra tudok hivatkozni, hogy a levezetett összefüggések mind a numerikus szimulációkkal, mind a mérésekkel (gyakorlati szempontból) elfogadható egyezést adtak és a nemlineáris tagok megtartása aránytalanul bonyolulttá tette volna a számításokat.
4. A 22. ábra kapcsán nem látok ellentmondást a szöveg és az ábra kapcsán (ha jól értem a Bíráló megjegyzését). Stabil szelepműködés esetén (zöld karikák) a kapacitás 100%-áig képesek voltunk mérni. Amikor azonban a szelep rezgett, nem voltunk képesek a kapacitásig növelni a térfogatáramot, mivel a rezgések miatt a szelep "átlagos" átfolyási keresztmetszete jelentősen kisebb az elvárt, teljes (stabil) nyitáshoz tartozó keresztmetszettől. A kisebb

(1E2, jobb oldal) szelep esetén kevésbé látszik ez a hatás, mert még intenzív rezgés közben is képes a kapacitás 50%-át elvezetni (piros pontok,  $L_{cs} \approx 3.6\text{m}$ ). A bal oldalon (2J3 szelep) látunk néhány eltérést az elmélettől; egyrésztől, nagy térfogatáramnál is látunk kék pontokat; ezek a bizonytalan mérések voltak, ahol a visszamérések során eltérő viselkedést tapasztaltunk (ezek oka nem tisztázott). Másrésztől,  $q_{be} \approx 33\%$ ,  $L_{cs} = 1.9\text{m}$  értéknél látunk instabil mérést, ami a stabil tartományon belül van. Ezek az eltérések véleményem szerint magyarázhatók a mérések bizonytalanságával és az elméleti görbe levezetése közbeni elhanyagolásokkal.

5. A 85-86. oldalon található sorfejtés kapcsán a felvetett kérdés jogos és a dolgozat írása során nem gondoltam erre. Az alábbiakat tudom válaszolni. Egyrésztől, mivel dimenziótlan mennyiségekkel dolgozunk, semmiképpen sincs akkora nagyságrendi különbség a dimenziótlan nyomás és sebesség között, mintha az eredeti m/s és Pa mértékegységű fizikai változókat alkalmaznánk. Másrésztől, a nyomás- és sebességmező ilyen típusú felbontása ill. a (6.123) hullámegyenlet alak számos klasszikus (akusztikai) szakirodalomban megtalálható, pl. [2] vagy [4]. Érdekességképpen hozzáteszem, hogy utóbbi könyv 14.4 fejezete tartalmazza a másodrendű tagok megtartásával kapott egyenleteket, melyek azonosak az elsőrendű egyenletekkel, kivéve a forrástagokban, ld. (14.4.12) összefüggés jobb oldala és a képlet alatti bekezdés (a hivatkozott irodalomban).
6. A  $\bar{v} = 0$  esettel kapcsolatos megjegyzés kapcsán az a válaszom, hogy nem változtat az eredményen, de ezt nem triviális látni. Amennyiben a közeg nyugalomban van ( $\bar{v} = 0$ ) és elfogadjuk, hogy egyetlen  $\varepsilon$  elegendő a sorfejtéshez, a (6.120) egyenletek érvényben maradnak (stacionárius megoldás), míg a (6.122) egyenletben a sűrűlódásos tag ( $\mathcal{R} = 2\varphi\bar{v}$ ) kiesik, de más tagokban nem fordul elő a  $\bar{v}$  tag. Ugyanakkor egyetértek azzal, hogy a matematikai megfogalmazás pontatlan.

Végezetül, még egyszer szeretném megköszönni a Bíráló előremutató észrevételeit.

Budapest, 2021. február 12.



Dr. Hős Csaba  
egyetemi docens

BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

## Hivatkozások

- [1] David K. Campbell. Fresh breather. *Nature*, 432(7016):455–456, 2004.
- [2] L.E. Kinsler, A.R. Frey, A.B. Coppens, and J.V. Sanders. *Fundamentals of Acoustics*. Wiley, 1982.
- [3] Yu.A. Kuznetsov. *Elements of applied bifurcation theory*. Springer-Verlag, 2004.
- [4] P.M. Morse and K.U. Ingard. *Theoretical Acoustics*. International series in pure and applied physics. McGraw-Hill, 1971.

- [5] Tamás Tél. The joy of transient chaos. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 25(9):097619, 2015.

### 3. Javított táblázatok

A bírálatokra adott válaszok kidolgozása során hibát találtam az M-11. oldalon található 5. és az M-12. oldalon található 6. táblázatban. A hiba forrása, hogy a  $\rho^*$  és  $\rho^{**}$  mennyiségeket hibás nyomásértéken értékeltem ki (az 1E2 és 3L4 szelepek nyitónyomásai össze voltak cserélve a sűrűség számítása során). Alább közlöm a két javított táblázatot és jelzem. Ezek a táblázatok példaszámításokat tartalmaztak, így a dolgozatot sehol máshol nem érintik.

Szelep	1E2	1E2	2J3	2J3	3L4	3L4
Közeg	víz	levegő	víz	levegő	víz	levegő
$m$ , kg	0.442	0.442	1.523	1.523	6.543	6.543
$s$ , kN/m	72.68	72.68	125.04	125.04	120.49	120.49
$f_{sz}$ , Hz	64.50	64.50	45.60	45.60	21.60	21.60
$p_{ny}$ , bar	31.16	31.16	17.44	17.44	6.89	6.89
$D_{be}$ , mm	12.7	12.7	32.5	32.5	48.4	48.4
$x_0$ , mm	5.4	5.4	11.6	11.6	10.5	10.5
$p_{ref} = p_a$ , bar	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$x_{max}/D_{be}$ , -	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
$\dot{A}_{(eff)}(x_{max})$ , -	1.440	1.440	1.547	1.547	1.954	1.954
$\dot{m}_n$ , kg/s	7.66	0.94	37.54	3.47	52.34	3.16
$x_{ref}$ , mm	0.17	0.17	0.66	0.66	1.53	1.53
$v_{ref}$ , m/s	0.07	0.07	0.19	0.19	0.21	0.21
$a$ , m/s	1300.0	343.1	1300.0	343.1	1300.0	343.1
$\rho^*$ , kg/m <sup>3</sup>	1000.0	38.2	1000.0	21.9	1000.0	9.4
$\rho^{**}$ , kg/m <sup>3</sup>	1000.0	42.0	1000.0	24.0	1000.0	10.2
$D_{cs}$ , mm	25	25	51	51	76	76
$L_{cs}/D_{cs}$ , m	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
$\text{Mach}_{cs}@ \dot{m}_n, \rho^{**}$ , -	0.012	0.128	0.014	0.208	0.009	0.198
$V_t$ , m <sup>3</sup>	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
$\beta$ , -	0.0319	0.0003	0.2214	0.0014	0.6518	0.0027
$\mu$ , -	0.0047	0.0016	0.0103	0.0027	0.0181	0.0031
$\delta$ , -	31.16	31.16	17.44	17.44	6.89	6.89
$\sigma$ , -	2.0	5.8	1.8	7.0	2.5	15.0
$\alpha$ , -	3.67	0.04	6.04	0.04	6.68	0.02
$\gamma$ , -	0.0792	0.3000	0.1120	0.4242	0.0795	0.3014
$\varphi$ , -	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
$\Lambda$ , -	0.0007	0.0007	0.0013	0.0013	0.0020	0.0020
$\mu\sigma$ , -	0.009	0.009	0.019	0.019	0.046	0.046
$(\alpha/\gamma)/\Lambda$ , -	67 600.0	197.6	41 259.8	69.0	41 868.1	29.8
$1/(\alpha\gamma)/\Lambda$ , -	5010.0	119 412.9	1131.9	47 147.3	939.1	91 995.8
$f_H$ , Hz	2.92	0.77	4.13	1.09	5.06	1.34
$L_{NH,krit}@ \dot{m}_n$ , m	2.31	0.61	3.50	0.93	8.81	2.33
$\tilde{k}_{krit}@ \dot{m}_n$ , %	0.175	0.001	1.809	0.012	<b>8.184</b>	0.035

1. táblázat. 5. táblázat Tartálytérfogot:  $V_t = 10\text{m}^3$ , csőhossz:  $L = 10 D_{cs}$ .  $\rho^*$ : sűrűség a nyitónyomás 100%-án,  $20^\circ\text{C}$ -on.  $\rho^{**}$ : sűrűség a nyitónyomás 110%-án (maximális nyomás),  $20^\circ\text{C}$ -on.

Szelep	1E2	1E2	2J3	2J3	3L4	3L4
Közeg	víz	levegő	víz	levegő	víz	levegő
$m$ , kg	0.442	0.442	1.523	1.523	6.543	6.543
$s$ , kN/m	72.68	72.68	125.04	125.04	120.49	120.49
$f_{sz}$ , Hz	64.50	64.50	45.60	45.60	21.60	21.60
$p_{ny}$ , bar	31.16	31.16	17.44	17.44	6.89	6.89
$D_{be}$ , mm	12.7	12.7	32.5	32.5	48.4	48.4
$x_0$ , mm	5.4	5.4	11.6	11.6	10.5	10.5
$p_{ref} = p_a$ , bar	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$x_{max}/D_{be}$ , -	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
$\dot{A}_{(eff)}(x_{max})$ , -	1.440	1.440	1.547	1.547	1.954	1.954
$\dot{m}_n$ , kg/s	7.66	0.94	37.54	3.47	52.34	3.16
$x_{ref}$ , mm	0.17	0.17	0.66	0.66	1.53	1.53
$v_{ref}$ , m/s	0.07	0.07	0.19	0.19	0.21	0.21
$a$ , m/s	1300.0	343.1	1300.0	343.1	1300.0	343.1
$\rho^*$ , kg/m <sup>3</sup>	1000.0	38.2	1000.0	21.9	1000.0	9.4
$\rho^{**}$ , kg/m <sup>3</sup>	1000.0	42.0	1000.0	24.0	1000.0	10.2
$D_{cs}$ , mm	25	25	51	51	76	76
$L_{cs}/D_{cs}$ , m	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
$\text{Mach}_{cs}@ \dot{m}_n, \rho^{**}$ , -	0.012	0.128	0.014	0.208	0.009	0.198
$V_t$ , m <sup>3</sup>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
$\beta$ , -	3.1930	0.0272	22.1445	0.1427	65.1784	0.2738
$\mu$ , -	0.0047	0.0016	0.0103	0.0027	0.0181	0.0031
$\delta$ , -	31.16	31.16	17.44	17.44	6.89	6.89
$\sigma$ , -	2.0	5.8	1.8	7.0	2.5	15.0
$\alpha$ , -	3.67	0.04	6.04	0.04	6.68	0.02
$\gamma$ , -	0.0792	0.3000	0.1120	0.4242	0.0795	0.3014
$\varphi$ , -	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
$\Lambda$ , -	0.0007	0.0007	0.0013	0.0013	0.0020	0.0020
$\mu\sigma$ , -	0.009	0.009	0.019	0.019	0.046	0.046
$(\alpha/\gamma)/\Lambda$ , -	67 600.0	197.6	41 259.8	69.0	41 868.1	29.8
$1/(\alpha\gamma)/\Lambda$ , -	5010.0	119 412.9	1131.9	47 147.3	939.1	91 995.8
$f_H$ , Hz	29.22	7.71	41.33	10.91	<b>50.62</b>	13.36
$L_{NH,krit}@ \dot{m}_n$ , m	2.31	0.61	3.50	0.93	8.81	2.33
$\tilde{k}_{krit}@ \dot{m}_n$ , %	<b>17.351</b>	0.149	<b>95.894</b>	1.165	<b>38.926</b>	3.453

2. táblázat. 6. táblázat. Tartálytérfogat:  $V_t = 0.1\text{m}^3$ , csőhossz:  $L = 10 D_{cs}$ .  $\rho^*$ : sűrűség a nyitónyomás 100%-án,  $20^\circ\text{C}$ -on.  $\rho^{**}$ : sűrűség a nyitónyomás 110%-án (maximális nyomás),  $20^\circ\text{C}$ -on.