

Válaszok
Dr. Siménfalvi Zoltán bírálataira
doktori mű:
Dr. Hős Csaba János
„Direkt rugóterhelésű biztonsági szelepek dinamikus viselkedése és
stabilitása”

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Válaszok	1
3. Javított táblázatok	4

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

Köszönöm a bíráló bevezetőjét, különösen a mérnöki gyakorlatban alkalmazható „ököl szabályok” megalapozása felé tett lépéseim elismerését.

A többsoros ábraalírásokkal kapcsolatos kritikát el- és megfogadom. Az olvasó szempontjából kényelmesnek tartom, ha sok információ szerepel a képalírásban, mivel így nem kell a folyószövegben keresgélni (ami ráadásul tördelési okokból gyakran másik oldalra kerül), ugyanakkor el kell ismernem, hogy valóban összefolyhat a szöveg és a képalírás.

Válaszaim (a bírálatot követő számozással):

1. Teljes mértékben egyetértek a megjegyzéssel. A nyitónyomás kérdésének utánaolvasva az 5% és 10% mellett az [2] jogszabály bizonyos esetekben (4.2.4.15.1 c pont) további, 20%-os nyitónyomásra beállított szelepeket is előír.

2. A k csillapítási tényezővel kapcsolatosan köszönöm a Bíráló megjegyzését. Valóban, elérhetőek ilyen jellegű mérések és sajnálom, hogy a Bíráló közleménye elkerülte figyelmemet.
3. Az ún. effektív felülethez kapcsolódóan a Bíráló több megjegyzést is tesz.

„A szeleptányér nyitási pillanatában, kis áramlási keresztmetszeteknél megfigyelhető, hogy az áramlásból származó erőhatás a nyitást követően csökkenő tendenciát mutat.” Ezzel tökéletesen egyetértek. A nyitáskor ugyanis a szelep(test) alatti térrészben nyugvó állapotban lévő közeg felgyorsul, így a statikus nyomás csökken, aminek következtében a nyomásból származó erőhatás is csökken. (A nyitás ezen kezdeti fázisában, mivel a tömegáram alacsony a kis szelepnitítás miatt, az impulzusváltozásból adódó erők alacsonyak.) Valóban, a kis szelepnitítás-közeli állapotokban különösen fontos lenne minél pontosabban és részletesebben feltérképezni a nyomáseloszlást, ami természetesen CFD számításokkal lenne lehetséges. Ilyen részletes modellek nélkül, egyetlen mennyiségbe (effektív felület) koncentrálva a nyomáseloszlást, pontatlan eredményeket kaphatunk a szelepnitítás közvetlen környezetében.

„... a nyitónyomás elérésének pillanatában kialakuló erőhatások (nyugalmi és mozgó állapot határállapota) vizsgálatához elengedhetetlen annak ismerete, hogy a tömítettséget biztosító illeszkedő felületek között hogyan alakul ki a szivárgási állapot.” Ezzel a megjegyzéssel is egyetértek, azzal (a Bíráló által is említett) kiegészítéssel, hogy ezek a hatások csak igen kis szelepnitításoknál jelentősek. Egészen pontosan, olyan szelepnitításoknál, melyek (a) összemérhetőek a zárótest (és tömítés) geometriai pontatlanságaival, (b) a zárótest önbeállítását biztosító mozgás nagyságával vagy (c) a nem tökéletesen koncentrikus nyitás miatti eltérésekkel (pl. kúpos szeleptestek vízszintes beépítése esetén). Ezek a hatások becslésem szerint a teljes nyitás legfeljebb 5%-áig jelentősek, azon túl elhanyagolhatók. A dolgozatban ezeket a hatásokat elhanyagoltam, tisztázásuk és alapos vizsgálatuk érdekes jövőbeli kutatási terület lehet.

4. A közeg tartályból csőbe való belépésekor kialakuló nyomásesés és az ezt modellező χ dimenziótlan paraméter kapcsán a dolgozat valóban nem tartalmaz becslést, ezért most pótolom. A (3.69) szerint

$$\chi = \frac{\rho_t x_{ref}^2 \omega_v^2}{2p_{ref}} \times \begin{cases} \frac{R}{c_p} & \text{(ideális) gázokra és} \\ 1 & \text{folyadékokra.} \end{cases}$$

melyet az alábbi táblázatban kiértékeltem néhány tipikus esetre.

	víz	levegő	víz	levegő	víz	levegő
p_{ny} , bart	3.45	3.45	6.89	6.89	68.95	68.9
ρ_t , kg/m ³	1000	5.29	1000	9.38	1000	83.2
x_{ref} , mm	5.02	5.02	1,53	1.53	0.16	0.17
ω , rad/s	121	405	136	136	418	405
p_{ref} , bar	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
R , J/(kg K)	287		287		287	
c_p , J/(kg K)	1004		1004		1004	
χ	1.84E-03	3.13E-05	2.16E-04	5.78E-07	2.24E-05	5.64E-07

Ebből azt figyelhetjük meg, hogy (a) a χ paraméter értéke gázokra jellemzően két nagyságrenddel kisebb, mint folyadékok esetében és (b) a legnagyobb érték is a 10^{-3} nagyságrendben van.

Egy konkrét számpéldán keresztül is bemutatom a tartályból a csőbe való izentrópikus belépés során felgyorsuló közeg állapotváltozását. Számadatoknak az M-9 oldalon található értékeket veszem.

- A szelep nyitónyomása: $p_{ny} = 17.24$ barg (túl nyomás)
- A teljesen nyitott állapotot vizsgáljuk, ekkor a szelep a névleges térfogatáram folyik keresztül ($\dot{m}_n = 3.43$ kg/s) és a tartályban a nyitónyomás 110%-a uralkodik.
- Tartályjellemzők: $p_t = 1.1 \times p_{ny} = 18.96$ barg (túl nyomás), $t_t = 20^\circ C$, $R = 287$ J/(kg C)
- Sűrűség: $\rho^{**} = 23.7$ kg/m³
- A csővezeték átmérője: $D_{cs} = 51$ mm (a táblázatban található 32.5 mm a szelepből található fojtási keresztmetszet átmérője).
- Ideális gáz izentrópikus áramlását feltételezve: $\frac{T_t}{T} = 1 + \frac{\kappa-1}{2} M^2$, $\frac{p_t}{p} = \left(1 + \frac{\kappa-1}{2} M^2\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$, $\frac{\rho_t}{\rho} = \left(1 + \frac{\kappa-1}{2} M^2\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$, $M = v/a$ és a tömegáram $\dot{m}_n = \rho v \frac{D_{cs}^2 \pi}{4}$, ahonnan
- a cső belépő keresztmetszetében $T = 17.6^\circ C$, $\rho = 24.2$ kg/m³, $M = 0.2$, $v = 69$ m/s és $p = 18.4$ barg (túl nyomás), tehát a nyomáscsökkenés $\frac{p_t - p}{p_t} = \frac{18.96 - 18.4}{18.96} = 2.98\%$.

A fentiek tükrében kijelentem tehát, hogy – a Bíráló felvetésének megfelelően – a tartályból a csővezetékbe való belépéskori izentrópikus közeggyorsulás hatását (melyet a χ paraméter számszerűsít) már egy korábbi ponton is el lehetett volna hanyagolni. Köszönöm az észrevételt.

5. Ennél a pontnál a Bíráló több kérdést is feltesz.

„A felépített vizsgálati környezet alkalmassá tehető lenne további jelenségek mérési alátámasztására?” A méréseket a Pentair (ma Emerson) cég Houston melletti (El Campo) akkreditált laboratóriumában végeztük, ahol a mérőberendezés alkalmas mind folyadék, mind gáz munkaközegű mérések elvégzésére. A disszertációban a G3 melléklet tartalmazza a levegővel végzett mérések részleteit, azonban a 4.2 fejezetben erre valóban nem hivatkozik. A 22. és 23. ábra folyadék, ill. levegő munkaközeggel végzett mérések stabilitási diagramjait közli.

A CFD modellel kapcsolatos kérdésekre az alábbiakat válaszolom. Az ANSYS CFX rendszerben elérhető ún. SST turbulenciamodelt használtuk, mely a faltól való távolság függvényében vált a $k-\varepsilon$ és $k-\omega$ modellek között. Csak 2D tengelyszimmetrikus számításokat végeztünk, 3D szimulációkat (azok számításigénye ill. a vizsgált geometria tengelyszimmetriája miatt) nem végeztünk. Hálótanulmányt sem végeztünk, de a számítások során az y^+ értékeket folyamatosan ellenőriztük. A CFD számítás további részletei elérhetők a [1] közleményben.

6. Az 5. fejezettel kapcsolatban több észrevételt tesz a Bíráló.

Egyrésztől jogosan jegyzi meg, hogy csak a szeleppülékkel való (alsó) ütközéseket vizsgálom az 5. fejezetben és a felső ütközőt elhanyagolom. A válasz egyszerűen annyi, hogy a jelenség így is kellően bonyolult volt és a felső ütköző figyelembevétele átláthatatlanná tette volna a vizsgálatot. Érdekességképpen megjegyzem, hogy éppen ezekben a hónapokban indul egy vizsgálatossorozat a felső ütköző környezetében kialakuló jelenségek vizsgálatára.

Másrésztől, az ütközési tényezővel kapcsolatosan nem végeztem méréseket, pedig valóban egyszerűen meg lehetett volna oldani. A dolgozatban használt 0.8-as érték ugyanakkor realisztikus.

7. Végül, a bíráló a szelep alatti vakcső típusú kialakításra kér ipari példát.

Első példaként azt az esetet hozom fel, amikor a berendezést nagy- és kis lefúvatási tömegáramokra is biztosítani kell és ilyenkor tipikusan két darab párhuzamosan kapcsolt nyomáshatároló szelepet építenek be egy Y közdarab segítségével. Ilyenkor a kisebb kapacitású szelepek valamelyest alacsonyabb, a nagyobbak magasabb a nyitónyomása, így kis tömegáramok esetén csak a kisebb nyit ki, majd, az elvezetendő mennyiség növelésével idővel a nagyobb szelep is kinyithat. Ilyen esetekben, amikor csak a kisebb szelep működik, a nagyobb szelephez vezető csőág ilyen vakcsőként viselkedik.

A vizsgálatnak azonban volt egy másik célja is: arra voltunk kíváncsiak, hogy ilyen vakcsővek hozzáadásával (ami szerelés szempontjából nagyon egyszerű átalakítás lenne), javíthatóak-e a rendszer stabilitási tulajdonságai? A 37.(d) ábra alapján sajnos nem.

Végezetül, még egyszer szeretném megköszönni a Bíráló előremutató észrevételeit.

Budapest, 2021. február 12.



Dr. Hős Csaba
egyetemi docens

BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

Hivatkozások

- [1] I. Erdődi and C. Hős. Prediction of quarter-wave instability in direct spring operated pressure relief valves with upstream piping by means of CFD and reduced order modelling. *Journal of Fluids and Structures*, 73:37–52, AUG 2017.
- [2] Nemzetgazdasági Minisztérium. 2/2016. (I. 5.) NGM rendelet a nyomástartó berendezések, a töltő berendezések, a kisteljesítményű sűrített gáztöltő berendezések műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről és az autógáz tartályok időszakos ellenőrzéséről. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1600002.NGM×hift=20170101>, 2016.

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 ρ^* és ρ^{**} 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 dolgot 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
ρ^* , kg/m ³	1000.0	38.2	1000.0	21.9	1000.0	9.4
ρ^{**} , kg/m ³	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 ³	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
β , -	0.0319	0.0003	0.2214	0.0014	0.6518	0.0027
μ , -	0.0047	0.0016	0.0103	0.0027	0.0181	0.0031
δ , -	31.16	31.16	17.44	17.44	6.89	6.89
σ , -	2.0	5.8	1.8	7.0	2.5	15.0
α , -	3.67	0.04	6.04	0.04	6.68	0.02
γ , -	0.0792	0.3000	0.1120	0.4242	0.0795	0.3014
φ , -	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
Λ , -	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	8.184	0.035

1. táblázat. 5. táblázat Tartálytérfogot: $V_t = 10\text{m}^3$, csőhossz: $L = 10 D_{cs}$. ρ^* : sűrűség a nyitónyomás 100%-án, 20°C -on. ρ^{**} : sűrűség a nyitónyomás 110%-án (maximális nyomás), 20°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
ρ^* , kg/m ³	1000.0	38.2	1000.0	21.9	1000.0	9.4
ρ^{**} , kg/m ³	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 ³	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
β , -	3.1930	0.0272	22.1445	0.1427	65.1784	0.2738
μ , -	0.0047	0.0016	0.0103	0.0027	0.0181	0.0031
δ , -	31.16	31.16	17.44	17.44	6.89	6.89
σ , -	2.0	5.8	1.8	7.0	2.5	15.0
α , -	3.67	0.04	6.04	0.04	6.68	0.02
γ , -	0.0792	0.3000	0.1120	0.4242	0.0795	0.3014
φ , -	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
Λ , -	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	50.62	13.36
$L_{NH,krit}@ \dot{m}_n$, m	2.31	0.61	3.50	0.93	8.81	2.33
$\tilde{k}_{krit}@ \dot{m}_n$, %	17.351	0.149	95.894	1.165	38.926	3.453

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