

BIZTONSÁGI SZELEP ELLENNYOMÁS ÉRTÉKÉNEK VIZSGÁLATA

Pusztai Tamás

PhD hallgató, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: pusztai@uni-miskolc.hu

Mikáczó Viktória

tanársegéd, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: mikaczo.viktoria@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Ebben a cikkben közvetlen rugóterhelésű biztonsági szelepek ellennyomás értékei kerültek meghatározásra, különböző független, valamint egyidejű lefűvési esetekre. A cikkben az egyidejű lefűvés hatását vizsgáltuk a biztonsági szelepen fellépő ellennyomás értékére. A cikkben bemutatásra került a szelepek ellennyomás-vizsgálatához alkalmazott alrendszer felépítése és az egyes lefűvési esetek sajátosságai. A vizsgálatok során az ellennyomás számításához áttekinthető és részletes leírást adtunk. A számítások eredményeit mind grafikusán, mind számszerűen ismertettük. Bemutattuk az ellennyomás értékek meghatározásának lehetőségeit UniSim Design folyamatszimulációs szoftver segítségével. Összehasonlításra kerültek a számított és szimulált eredmények, amelyek kiválóan közelítenek egymáshoz. Mind a számítás, mind a szimuláció során kapott ellennyomás értékek meghaladják az adott biztonsági szelepek nyitónyomásának 10%-át, ami ezeknél a típusú biztonsági szelepeknél a stabil működés miatt nem megengedett. Javaslatot tettünk a biztonsági szelepek stabil működéséhez szükséges feltételek megteremtésére.

Kulcsszavak: biztonsági szelep, ellennyomás, UniSim Design, lefűvő vezeték

Abstract

In this paper the back pressure of direct spring loaded safety valves were studied at different blow-down cases. The examined system was described and the different blow-down cases were specified. For back pressure calculation detailed calculation method was described. Results of the calculation were shown on figures and on tables. Simulation method for determining back pressure was also described. Calculated and simulated back pressure values were compared with each other and the results converged very well to each other. The value of the back pressures were higher than 10% of the set pressure in every cases which is not allowed for this type of safety valves. Proposal was given for the stable operation of the safety valve.

Keywords: safety valve, backpressure, UniSim Design, blow-down pipe

1. Bevezetés

A vegyipari és a vele rokon iparai ágazatok technológiai gyakran a környezetitől eltérő, többségében annál magasabb nyomáson üzemelnek. Nem szokatlan, hogy ezen technológiákban a környezetre és emberi egészségre kifejezetten káros anyagok találhatóak meg. Ezen káros anyagok légkörbe való kijutása ellen védekezni szükséges, mind aktív, mind passzív védelmi berendezésekkel. Az egyik lehetséges passzív védelmi berendezés a biztonsági szelep, amely káros túlnyomás kialakulása esetén

elvezeti a védendő berendezésből vagy berendezésekből a túlnyomást okozó felesleges anyagmennyiséget. A biztonsági szelepen lefúvatott anyagáramot veszélyessége miatt semlegesíteni vagy megsemmisíteni szükséges. Jelen cikkben ilyen típusú lefúvásokat vizsgáltunk egy minta rendszeren keresztül. A vizsgálatok során a lefúvás közben kialakuló ellennyomás értékek pontos meghatározása a cél, mind analitikus, mind folyamatszimulációs szoftver segítségével.

A biztonsági szelepek lefúvás közbeni ellennyomás értékeinek a pontos ismerete elengedhetetlen, mert ezen ellennyomás a biztonsági szelep nyitását gátolni próbáló erőként jelenik meg. Ellennyomásra érzéketlen biztonsági szelepek esetén ez az érték a beállított nyitónyomás maximum 10%-a lehet, ezt meghaladva a biztonsági szelep nyitónyomásának értéke megváltozhat, működése pedig instabillá válhat [2,5]. A cikkben nem kerülnek külön bemutatásra a rendszerben káros túlnyomást kiváltó zavarok okai.

2. Vizsgált rendszer ismertetése

A vizsgált rendszer egy létező kísérleti rendszer részlete, amelyben klorát-ion csökkentés megy végbe. Az 1. ábra mutatja a vizsgált rendszer sematikus vázlatát. Az ábrán 3 fő berendezés látható, egy hidrogénező reaktor (R), egy duplikált falú keverős tartály (M) és egy véggáz mosó kolonna (C). Normál üzemállapotban a reaktor felső részén elhelyezett N1 csonkon keresztül történik anyagátadás a mosó kolonna felé, melynek tömegárama 100 kg/h. A keverős tartályból normál üzemállapotban nincs anyagátadás a mosó kolonna felé. Mind a reaktor, mind a keverős tartály el van látva egy-egy biztonsági szeleppel az esetlegesen kialakuló káros túlnyomást eredményező zavarok kezelésére. Az 1. ábra SV1 és SV2 jelzései jelölik a rendszer védelmére szolgáló biztonsági szelepeket. A biztonsági szelepek által lefúvatott anyagáram az C jelű véggázmosó kolonnában kerül semlegesítésre.

A reaktorban és a keverős tartályban 150°C-os maximális üzemi hőmérséklet és 16 bar_a-os maximális üzemi nyomás jöhet létre. A mosó kolonna normál üzemi nyomása atmoszférikus, vagyis 1 bar_a. A biztonsági szelepek nyitónyomása 17 bar_a. A reaktor gázterében lévő anyag összetétele 80% H₂, 15% N₂ és 5% H₂O. A keverős duplikátor gázterében lévő anyag összetétele 80% H₂, 10% N₂ és 10% H₂O.

A rendszerbe beépített biztonsági szelepek közvetlen rugóterhelésű biztonsági szelepek, amelyek normál emelkedésűek és a közeg veszélyessége miatt gáztömör zárt házú a kialakításuk. Az SV1 jelű biztonsági szelep maximális lefúvó kapacitása 266 kg/h, az SV2 biztonsági szelep maximális lefúvó kapacitása 257 kg/h. Ezek a maximális lefúvási értékek az adott anyag összetételre lettek meghatározva az MSZ-EN-ISO-4126-1:2004-es szabványban [6] megfogalmazott összefüggések alapján. A vizsgálat során feltételezzük, hogy a biztonsági szelepek működése során azokon a maximális lefúvó kapacitásra jellemző anyagmennyiség halad keresztül.

A vizsgálatához szükséges csővezetékek geometriai paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

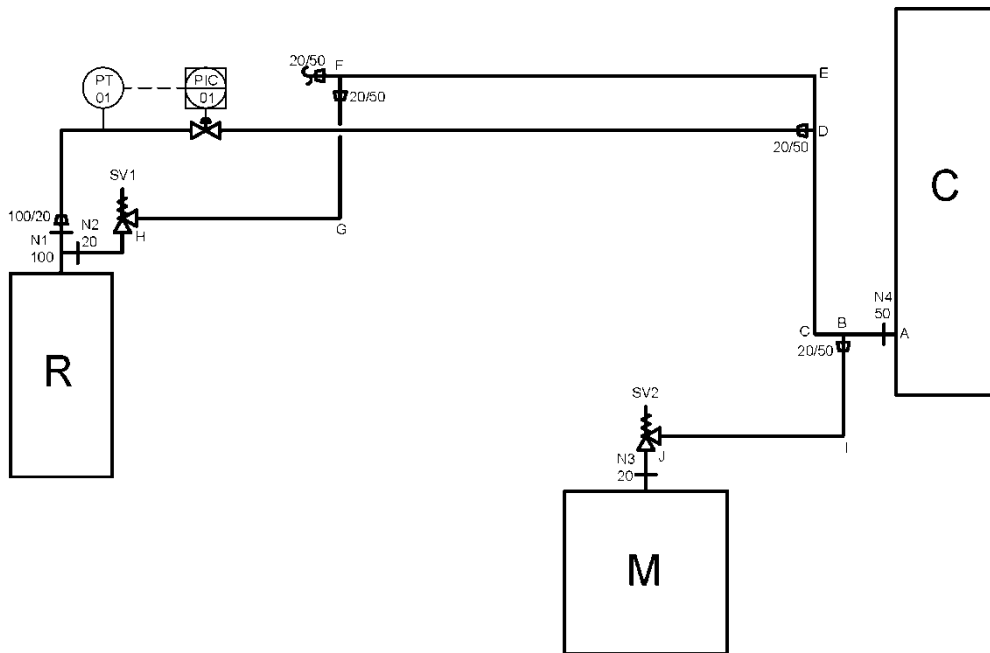
A vizsgálat három különböző jellegű lefúvási esetet fed le, amik a következők:

1. csak az SV1 biztonsági szelep végez lefúvást,
2. csak az SV2 biztonsági szelep végez lefúvást,
3. az SV1 és SV2 biztonsági szelepek ugyan azon időpillanatban végez lefúvást.

Az 1. lefúvási esetről a PIC-01 nyomásszabályzó szelep teljesen zárt, így reaktorból csak az SV1 biztonsági szelepen keresztül távozik gáz a mosókolonna felé. A 2. lefúvási esetről a reaktor normál üzemi állapotban üzemel és 100 kg/h gáz kerül továbbításra a mosókolonna felé a PIC-01 nyomásszabályzó szelepen keresztül. A 3. lefúvási esetről a PIC-01 nyomásszabályzó szelep teljesen zárt és az SV1 és SV2 egyidejűleg végez lefúvást a mosókolonna felé.

1. táblázat. Lefűvó rendszer geometriai méretei

	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	B-I	I-J
Hossz [m]	1	0,5	1,5	0,5	3	1,5	1	0,5	1
Ø DN	50	50	50	50	50	20	20	20	20



1. ábra. Vizsgált rendszer sematikus ábrája

3. Analitikus megoldás

3.1. Számítási módszertan

Az ellennyomás a biztonsági szelep kiömlő nyílásánál keletkező statikus nyomás, amelyet a lefűvó vezetékben lévő nyomás vált ki. Az ellennyomás a saját és az idegen ellennyomás összege. Az ellennyomás értéke befolyásolja a beállított nyitónyomás értékét. Az ellennyomás a következő egyenlettel határozható meg [1]:

$$p_e = \sqrt{\frac{m^2 \cdot R \cdot T}{A_0^2 \cdot M} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{\sum L}{d_0} + \sum \xi \right)} + p_{ie}^2, \quad (1)$$

ahol,

p_e ellennyomás [Pa],

m tömegáram $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$,

- R általános gázállandó $\left[\frac{\text{J}}{\text{kmólK}} \right]$,
 T a közeg hőmérséklete a nyitónyomáson $[\text{K}]$,
 M moláris tömeg $\left[\frac{\text{kg}}{\text{kmól}} \right]$,
 A_0 cső áramlásikeresztmetszet $[\text{m}^2]$,
 λ csősúrlódási együttható $[-]$,
 L cső hossz $[\text{m}]$,
 d_0 cső belső átmérő $[\text{m}]$,
 ξ szerelvények, csőidomok alakú ellenállástényezője $[-]$,
 p_{ie} idegen ellennyomás $[\text{Pa}]$.

Az (1) egyenletet csak abban az esetben lehet használni, ha a cső vizsgált hossza mentén keresztmetszet-változás nem történik. Abban az esetben, ha a vizsgált cső hossza mentén keresztmetszet-változás történik, akkor az ellennyomás-számítást visszafelé kell elvégezni, tehát először ki kell számítani az ellennyomás-értéket a gyűjtőtartály, fáklya vagy bármely tetszőleges berendezés, amelybe a gyűjtővezeték kapcsolódik és az első keresztmetszet változás között. Az (1) egyenletben a nyomás értékek mindig abszolút nyomásban értendők. Ezt követően a következő szakaszon úgy kell elvégezni az ellennyomás számítását, hogy az előbbi lépésben meghatározott ellennyomás értéket ebben a szakaszban, mint idegen ellennyomást kell figyelembe venni.

A csősúrlódási együttható a Haaland féle egyenlettel [3] lett meghatározva:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1,8 \log \left[\left(\frac{k}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{\text{Re}} \right], \quad (2)$$

ahol,

$$k = \frac{\varepsilon}{d_i}, \quad (3)$$

ahol,

ε cső felületi érdesség $[\text{m}]$,

d_i cső belső átmérő $[\text{m}]$.

Ahhoz, hogy a (2) egyenlet segítségével a csősúrlódási együttható számítható legyen, meg kell határozni a Reynolds-számot az alábbi módon [3]:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\eta}, \quad (4)$$

ahol,

ρ áramló közeg sűrűsége $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$,

v áramló közeg sebessége $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$,

d_i névleges méret, jelen esetben a cső belső átmérője $[\text{m}]$,

η áramló közeg dinamikai viszkozitása $[\text{Pas}]$.

Ahhoz, hogy a (4) egyenlettel a Reynolds-szám számítható legyen, meg kell határozni a közeg áramlási sebességét, ezt a kontinuitási egyenlettel lehet megtenni az alábbi módon [3]:

$$A \cdot v \cdot \rho = m, \quad (5)$$

ahol,

A áramlási keresztmetszet $[\text{m}^2]$,

v áramló közeg sebessége $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$,

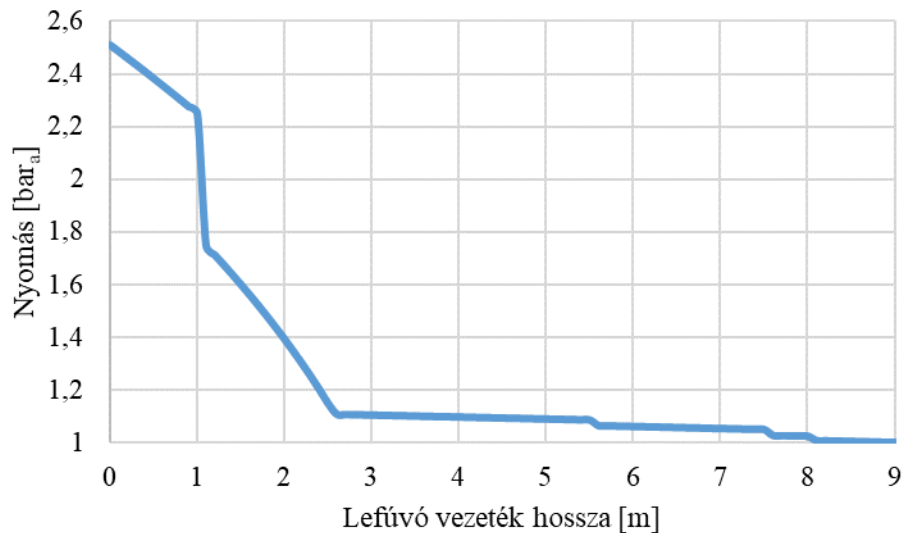
ρ áramló közeg sűrűsége $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$,

m tömegáram $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$.

Az (5) egyenletet v -re rendezve számíthatóvá válik az áramlási sebesség.

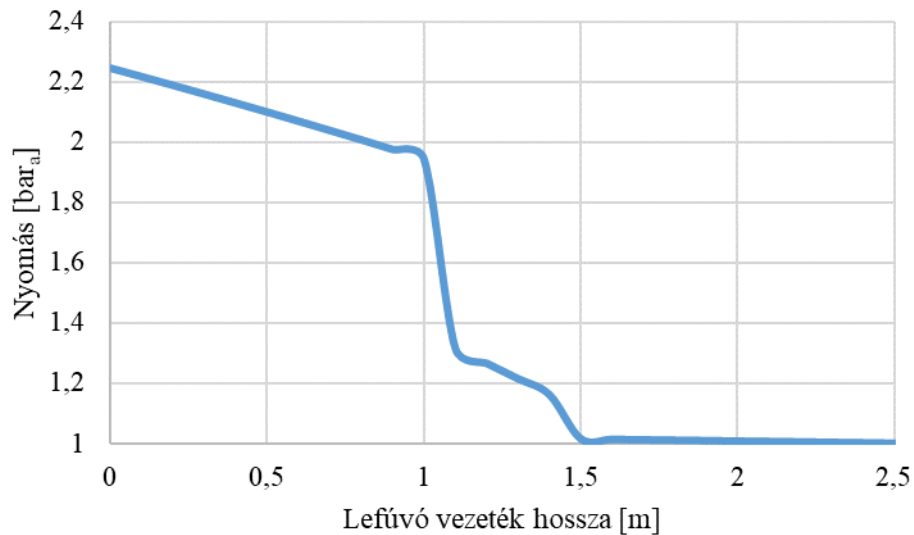
3.2. Számítási eredmények

Az áramlási sebességek számításához szükséges adatokat és azok felhasználásával számított eredményeket, minden lefűvási esetre külön-külön, a 2. táblázat tartalmazza.

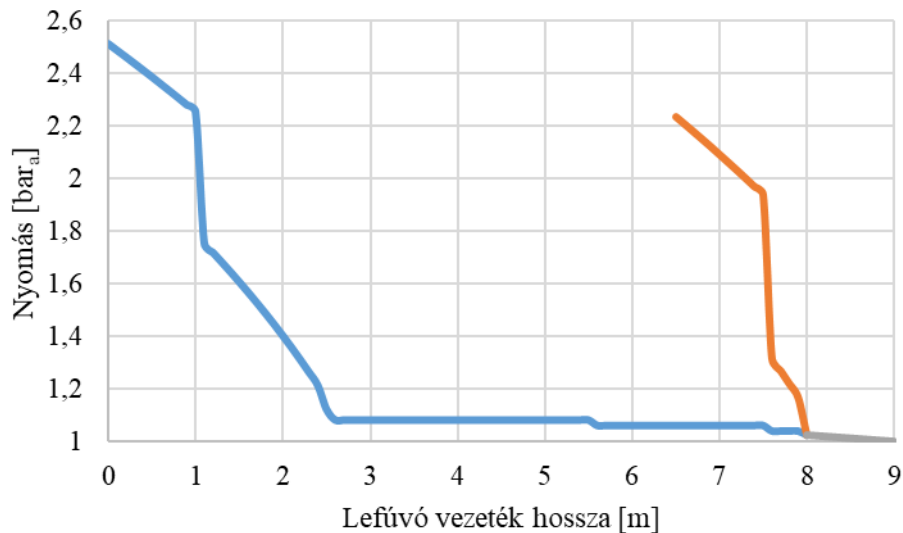


2. ábra. SVI lefűvási esetén a nyomásprofil a lefűvő csővezetékben

A lefúvást végző biztonsági szelep és a mosókolonna közötti csőszakasz(ok)on, a lefúvás közben kialakuló nyomásprofilokat a 2-4. ábrák szemléltetik, ahol az ábrák x tengelyén a vizsgált csőszakasz hosszát jelöltük, és az $x=0$ pontban helyezkedik el a lefúvást végző biztonsági szelep; az y tengelyen pedig az ellenyomás értéke van ábrázolva abszolút nyomásban.



3. ábra. SV2 lefúvása esetén a nyomásprofil a lefúvó csővezetékben



4. ábra. SV1 és SV2 együttes lefúvása esetén a nyomásprofil a lefúvó csővezetékben

A 4. ábra $x=0$ pozíciójában helyezkedik el az SV1 biztonsági szelep, amelynek nyomásprofilját kék görbe jelöli, az $x=6,5$ pozícióban az SV2 biztonsági szelep helyezkedik el, amelynek nyomásprofilját

narancssárga görbe jelöli. A 4. ábra szürke görbéje az 1. ábra szerinti B és A pontok között kialakuló nyomásprofil jelöli, ahol az egyidejű lefűvés során a két lefűvatott anyagáram találkozik.

A 2-4. ábrák jól szemléltetik, hogy a görbék meredeksége a kezdeti szakaszban jóval nagyobb, mint a későbbi szakaszban. Ezt a meredekség változást a lefűvó vezeték keresztmetszetének változása okozza. Továbbá ezeken a görbéken a hirtelen és nagymértékű nyomás csökkenést egy-egy szerelvény, mint például könyökcső, vagy T-idom, okozza.

2. táblázat. Áramlási sebességek számított eredményei

Eset	Szakasz	$m \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$	$A \left[\text{m}^2 \right]$	$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	$v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
1.	SV1 – F	266	0,00039	0,4798	394,293
	F – A	266	0,00233	0,2198	144,102
2.	SV2 – B	257	0,00039	0,3895	469,271
	B – A	357	0,00233	0,1834	231,784
3.	SV1 – F	266	0,00039	0,4863	389,023
	F – B	266	0,00233	0,2226	142,289
	SV2 – B	257	0,00039	0,3935	464,500
	B – A	523	0,00233	0,1892	329,150

A 3. táblázat minden lefűvási esetre külön-külön tartalmazza a nevezetes pontokban számított ellennyomás értékeket, az egyes szakaszokra jellemző számított csősúrlódási tényezőt és Reynolds-számot. A táblázatban az ellennyomás érték mindig az adott szakasz kezdő pontjára értelmezendő, mint például az 1. esetben, az SV1 – F szakaszon, a 2,509 bar_a ellennyomás az SV1 pontra, a biztonsági szelep kilépő csonkjára, érvényes. A számított eredményekből látható, hogy minden lefűvási esetben a biztonsági szelepek kilépő csonkjánál keletkező ellennyomás nagyobb, mint a beállított nyitónyomás 10%-a, ami 1,7 bar_a.

3. táblázat. Ellennyomás számított eredményei

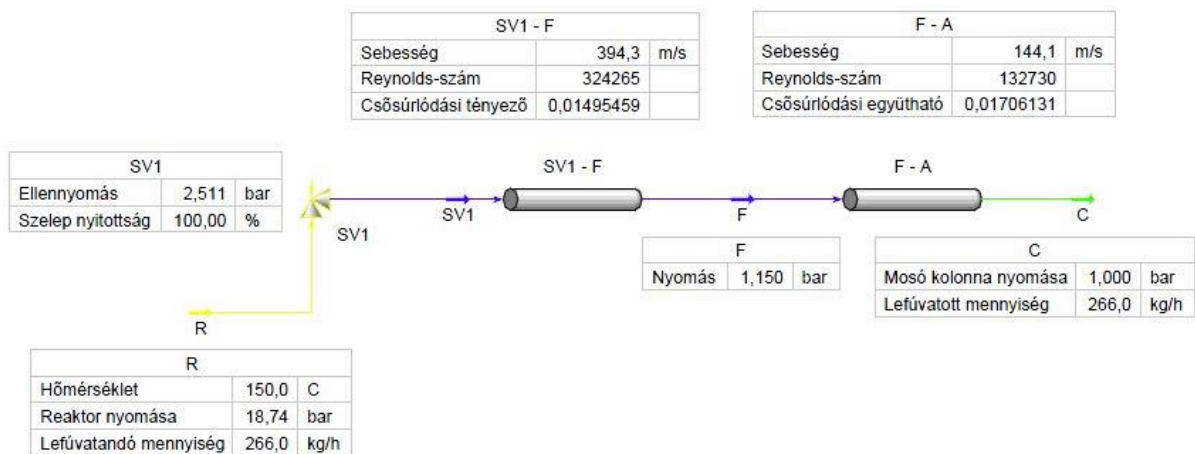
Eset	Szakasz	$p_e \left[\text{bar}_a \right]$	$\lambda \left[- \right]$	$\text{Re} \left[- \right]$
1.	SV1 – F	2,509	0,0147	324270
	F – A	1,147	0,0169	132683
2.	SV2 – B	2,244	0,0147	333826
	B – A	1,014	0,0159	186834
3.	SV1 – F	2,514	0,0147	336961
	F – B	1,165	0,0168	137875
	SV2 – B	2,235	0,0146	350474
	B – A	1,028	0,0147	281894

4. Szimulációs vizsgálat

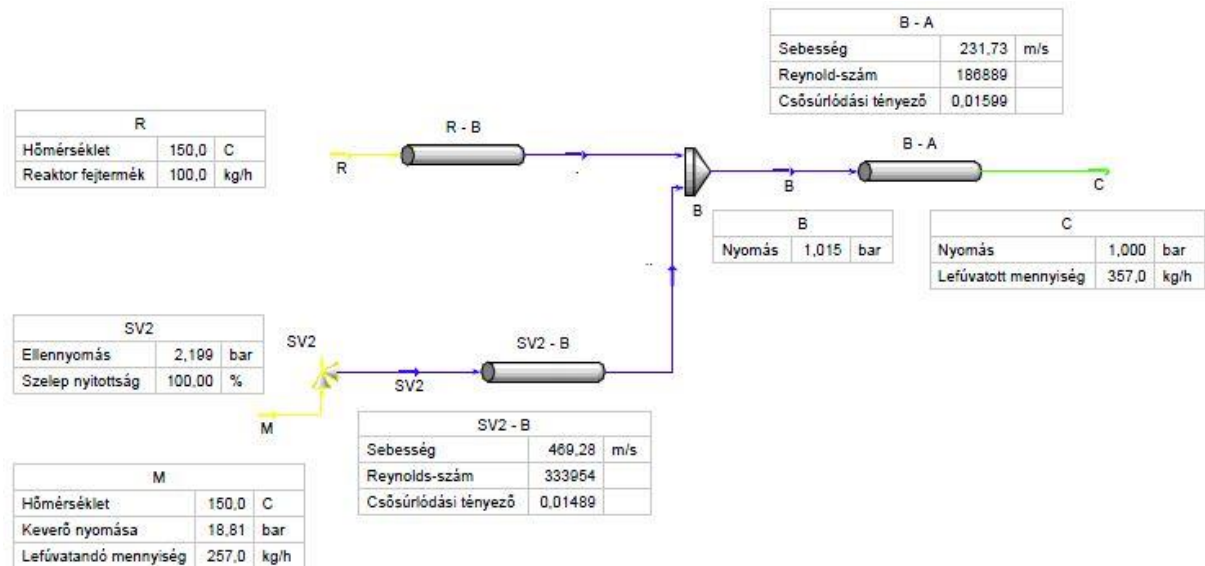
A számítási eredmények helyességének igazolására elvégeztük az előbbieken számított különböző lefűvási esetek számítógépes szimulációját a UniSim Design nevű folyamat modellező programmal. A szimuláció során nem került felépítésre az egész rendszer, hanem minden egyes lefűvási esetet külön vizsgáltunk. A modell tartalmazza az adott lefűvási típusra jellemző biztonsági szelepet és a lefűvó és

gyűjtő csővezeték rendszert. A szimulációs ábrákon feltüntetett nyomás értékek abszolút nyomásban értendők.

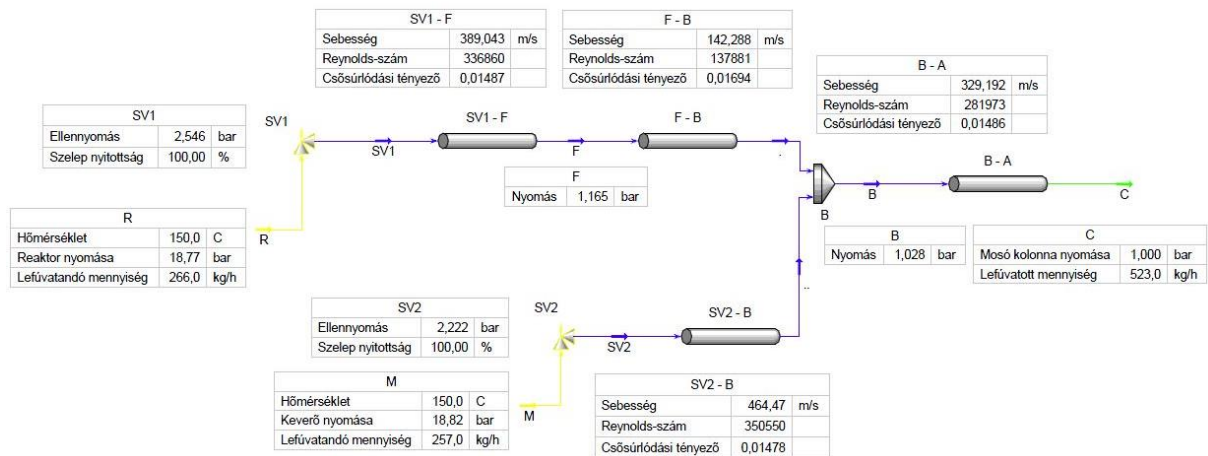
A szimulációt dinamikus szimulációs módban végeztük el, melynek során a Peng-Robinson anyagmodellt alkalmaztuk [4]. Az ábrákon használt jelölések megegyeznek a cikkben használt korábbi jelölésekkel. Az egyes lefűvási esetekre készített modelleket és a szimuláció során kapott eredményeket, mint például áramlási sebesség, csősúrlódási tényező vagy ellenyomás értékeit, az 5-7. ábrák mutatják be.



5. ábra. SV1 lefűvásának modellje



6. ábra. SV2 lefűvásának modellje



7. ábra. SV1 és SV2 egyidejű lefűtésének modellje

A szimuláció során kapott ellennyomás értékeket, csőúrlódási tényezőket és Reynolds-számokat, minden lefűtési esetre külön-külön, a 4. táblázat tartalmazza. A táblázatban továbbá fel lett tüntetve a számított és a szimulált ellennyomás értékek közötti százalékos eltérés is.

4. táblázat. Ellennyomás modellezett eredményei

Eset	Szakasz	P_e [bar _a]	λ [-]	Re [-]	%-os eltérés számított és szimulált ellennyomás között
1.	SV1 – F	2,511	0,01495	324265	0,07%
	F – A	1,150	0,01706	132730	0,23%
2.	SV2 – B	2,199	0,01489	333954	2,06%
	B – A	1,015	0,01599	186889	0,7%
3.	SV1 – F	2,546	0,01487	336860	1,27%
	F – B	1,165	0,01694	137881	0,02%
	SV2 – B	2,222	0,01478	350550	0,57%
	B – A	1,028	0,01486	281973	0,015%

5. Összefoglalás

Ebben a cikkben egy kísérleti üzem egy részét vizsgáltuk, annak is két berendezésén elhelyezett biztonsági szelepek egyedi és egyidejű lefűtésai során kialakuló ellennyomásokat. A cikkben részletesen bemutatásra került az ellennyomás számításának módszere. A számított értékek mind grafikusán, mind számszerűen bemutatásra kerültek. A számított értékek hitelessége érdekében UniSim Design folyamatszimulációs szoftverben végzett szimulációkkal is meghatározásra kerültek az egyes lefűtési típusokhoz tartozó ellennyomás értékek.

A számított és a szimulált ellennyomás értékek nagyon jól közelítették egymást, minden esetben az eltérés kisebb volt mint 5% a két érték között. Mind a számítással, mind a szimulációval meghatározott ellennyomás értékek minden esetben meghaladták a biztonsági szelepek beállított nyitónyomásának 10%-át, ami a nyitónyomás értékének kedvezőtlen irányba történő változását és a biztonsági szelep instabil működését eredményezi.

Ahhoz, hogy a biztonsági szelep stabil működése biztosított legyen, két lehetőség van. Az első lehetőség egy másik típusú, ellennyomásra kevésbé érzékeny biztonsági szelep alkalmazása. Ez a megoldás azért nem célszerű, mert az ilyen típusú biztonsági szelepek rendkívül költségesek. A másik megoldás a lefúvó és gyújtó csővezetékrendszer ellenállásának csökkentése. Ez történhet a csővezeték hosszának minimalizálásával és/vagy a csővezeték átmérőjének növelésével mindaddig, míg a csővezeték ellenállás a biztonsági szelep nyitónyomásának 10%-a alá, jelen esetben 1,7 bar_a alá csökken.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Meg-újuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

1. Bozóki, G. Nyomástartó rendszerek túlnyomáshatárolása. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1977.
2. Siménfalvi, Z., Spisák, B., Szepesi, G. Rugóterhelésű biztonsági szelep kísérleti és szimulációs vizsgálata. GÉP 2016, 67(3):34–37.
3. White, F. M. Fluid Mechanics, 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
4. “UniSim ® Design, User Guide.” Honeywell, p. 567, 2017.
5. Siménfalvi, Z. and Ortutay, M. Safety valves for pressure vessel protection,” Proc. Conf. Mech. Eng., pp. 409–413, 1998.
6. EN-ISO-4126-1:2003. Safety devices for protection against excessive pressure.