Szolnoki Tudományos Közlemények XVII.

Szolnok, 2013

Pokorádi László[1]

FOLYADÉKSZÁLLÍTÓ RENDSZER LINEÁRIS PARAMÉTER-ÉRZÉKENYSÉG ELEMZÉSE[2]

Technikai rendszerek matematikai modellvizsgálata során figyelembe kell vennünk, hogy az valamilyen mérvű parametrikus bizonytalansággal bír. A parametrikus bizonytalanság forrásai folyadékszállító rendszer esetében a rendszer technikai adatainak, az üzemmód jellemző értékének, valamint a szállított folyadék összetételének, fizikai paramétereinek eltérései lehetnek. A tanulmány a folyadékszállító rendszerek parametrikus érzékenység vizsgálata módszerét és a kapott elemzési eredmények értékelését mutatja be egy egyszerű rendszer példáján keresztül. A vizsgálat során szerzett tapasztalatok jó alapot adnak az összetett folyadékszállító rendszer érzékenység vizsgálatának elvégzésére, illetve annak tanulmányozására, hogy a szállított közeg összetételének, fizikai jellemzőinek ingadozása milyen hatást gyakorol a rendszer működése.

LINEAR PARAMETER SENSITIVITY ANALYSIS OF PIPELINE SYSTEM

During mathematical model investigation of real technical systems we can meet any type and rate model uncertainty. In case of pipeline systems the sources of parameter uncertainties can be anomalies of technical system data, the mode of functioning values, composition and physical parameters of the fluid. The paper shows the methodology of the sensitivity analysis and the discussion of its results using an easy pipeline system model case. These consequences and experiences can be used to investigate parametrical uncertainties of geothermal pipeline systems, such as fluid characteristic's indeterminations.

1. BEVEZETÉS

A technikai rendszer matematikai modelljének felállításakor, illetve a kapott modellezési eredmények elemzésekor mindig számolnunk kell valamilyen bizonytalansággal. Ennek oka részben az, hogy ismereteink sosem teljesek a modellezett rendszerrel kapcsolatban, illetve a rendelkezésre álló adataink is valamilyen mérvű pontatlansággal bírnak.

A rendelkezésre álló információk bizonytalansága megakadályozhatja a helyes modell, valamint pontos adatok, felesleges információk nélküli meghatározását. Itt fontos felidézni egy, a [4] irodalomban leírt gondolatot, azaz: „*Az a jó modell, amely a lehető legegyszerűbb, de a célnak megfelelő pontossággal közelíti a valóságot.*” Másképpen megfogalmazva: az, és csak az a modell tekinthető *jónak*, amely a vizsgálat szempontjából fontos paramétereket, összefüggéseket és a peremfeltételeket megfelelő pontossággal figyelembe veszi, de mindazon másodlagos jellemzőket elhanyagolja, amelyeket a kitűzött vizsgálat szempontjából nem tekintünk meghatározónak [8].

[1] egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

[2] Lektorálta: Prof. Dr. Szabolcsi Róbert, egyetemi tanár, HVK SzCsF/Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronikai és Autótechnikai Intézet, szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu

A modellbizonytalanság – annak forrása alapján történő – osztályozása megkülönböztet parametrikus, és ismereti bizonytalanságot. Möller és Beer szerint mivel az első a paraméteringadozáshoz köthető – szemben az utóbbi, az ismeretek hiányához kapcsolható – ismereti bizonytalansággal [6]. Ez indokolja a parametrikus bizonytalanság értelmezését úgy, mint sztochasztikus (aleatory – véletlenen múló, esetleges) bizonytalanság – ami a valós rendszerről szerzett véletlen tapasztalatok eredményeként jelenik meg. A parametrikus bizonytalanság tudományos szintű elemzésének módjait Ferson elemezte [1].

Mahvadi [5] munkájában az épület-teljesítmény szimuláció bizonytalanságainak különböző forrásait elemezte. Megfogalmazásában a szimulációs bizonytalanságot i) épület pontatlan leírása; ii) véletlen klimatikus feltételek és iii) hiányos használói (lakói) információk okozhatják. Pokorádi [7], [8] és [12] könyvében a technikai rendszerek modellezését és a modellek alkalmazását írja le.

Folyadékszállító – mint például a fűtési vagy használati meleg víz – rendszerek esetén is felmerül a rendszer, illetve a felállított modelljének parametrikus bizonytalanságai elemzésének fontossága. Ilyen rendszerek esetén a parametrikus bizonytalanság forrása a rendszer technikai adatainak, méreteinek pontatlansága, az üzemmód jellemző értékének pillanatnyi eltérése, illetve a szállított folyadék összetételének, fizikai paramétereinek ingadozása lehet [10].

A kutatómunka során adaptált lineáris diagnosztikai modellek repülőműszaki tudományokon belüli alkalmazásának eredményei a Szerző [7], [8], [9] és [12] publikációin kívül Rác [13], [14], valamint Rohács, Simon és Rohály [15], [16] tanulmányaiban lelhetők fel. Az általános rendszertechnika alapjai magyar nyelven történt alapmű szintű összefoglalása Szűcs [18] könyvében található meg. A Szerző számára fontos műszaki-tudományos szemléletformáló szerepet kapott Szabolcsi munkássága, melyet például a [17] irodalom fémjelez. A Szerző és Szabolcsi közös kutatómunkájuk eredményeit a [7] monográfiában foglalták össze. A különféle matematikai eljárások, módszerek mérnöki alkalmazásainak lehetőségei, többek közt, a két Korn [3] munkái alapján ismerhetőek meg.

A tanulmány célja – a fenti irodalmakban olvasható eredményekre támaszkodva – a folyadékszállító rendszerek érzékenység vizsgálata módszerének bemutatása és a kapott elemzési eredmények értékelése. Ezért az elemzést ez egyszerű – egy egyenes csőszakaszból és egy szerelvényből álló – folyadékszállító rendszeren végezzük el. A vizsgálat során levont következtetések, szerzett tapasztalatok jó alapot adnak az összetett folyadékszállító rendszer érzékenység vizsgálatának elvégzésére, illetve annak tanulmányozására, hogy a szállított közeg összetételének, jellemzőinek változására milyen érzékenységgel bír a rendszer működése.

A cikk az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezetben a lineáris érzékenységi modellek felállításának általános módszerét mutatjuk be. A 3. fejezet a folyadékszállító rendszer egyszerű esettanulmányán keresztül szemlélteti a módszer alkalmazását. A 4. fejezetben ismerhetők meg az érzékenységvizsgálat eredményei, és olvashatók azok értékelései. Az 5. fejezetben következtetéseket és ajánlásokat fogalmaz meg a Szerző.

2. A LINEÁRIS ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLAT MÓDSZERE

Az érzékenyvizsgálat célja annak meghatározása, hogy a vizsgált aggregát vagy teljes rendszer független, bemenő jellemzői értékeinek megváltoztatására milyen mértékben érzékeny annak kimenő jellemzője vagy jellemzői. A felállított matematikai modell felhasználásával meghatározhatjuk a függő, kimenő változók érzékenységi együtthatóit, melyek megmutatják, hogy az adott bemenő jel relatív változása mekkora relatív változást okoz az adott kimenő jellemző értékére. Így ez az elemzés megmutatja a rendszer érzékenységét a különféle modellezett paraméter-eltérésre, vagy bizonytalanságra.

Az érzékenységvizsgálat elvégzésekor mindig figyelembe kell vennünk azt, hogy a vizsgált rendszerünk, így az (eredeti) modellünk nemlineáris. Ezért a vizsgálat során – az (eredeti) modell, vagy a rendszer „nem-linearitása” függvényében – a független változók értékeit általában csak 1 ~ 5%-al lehet változtatni.

Az érzékenységi együttható meghatározása során az eredeti

$$y = f(x_1, x_2, ..., x_n) \tag{1}$$

többváltozós, nemlineáris egyenlet mindkét oldalának

$$dy = \frac{\partial f(x_1; x_2; \ldots x_n)}{\partial x_1} dx_1 + \ldots + \frac{\partial f(x_1; x_2; \ldots x_n)}{\partial x_n} dx_n \tag{2}$$

alakú deriváltját képezzük, más szóval, az (1) nemlineáris egyenletet zérus kezdeti feltételek mellett Taylor-sorfejtés módszerével linearizáljuk. Ezután mindkét oldal mindegyik tagját bővítjük $\frac{x_i}{x_i}$-vel, azaz:

$$\frac{dy}{y} = \frac{\partial f(x_1; x_2; \ldots x_n)}{\partial x_1} \frac{x_1}{f(x_1; x_2; \ldots x_n) x_1} dx_1 + \ldots + \frac{\partial f(x_1; x_2; \ldots x_n)}{\partial x_n} \frac{x_n}{f(x_1; x_2; \ldots x_n) x_n} dx_n \tag{3}$$

A

$$K_{y;x_i} = \frac{\partial f(x_1; x_2; \ldots x_n)}{\partial x_i} \frac{x_i}{f(x_1; x_2; \ldots x_n)} = \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{x_i}{y} \tag{4}$$

együttható bevezetésével, és a

$$\frac{d\eta}{\eta} \approx \frac{\Delta\eta}{\eta} = \delta\eta$$

összefüggés felhasználásával az alábbi lineáris egyenletet kapjuk:

$$\delta y = K_{y;x_1} \delta x_{y;x_1} + \ldots + K_{y;x_n} \delta x_n , \tag{5}$$

amely a vizsgált rendszer paramétereinek relatív változásai közti kapcsolatot – azaz a kimenő jellemző, és így az aggregát érzékenységét – írja le.

Ha a rendszerünk több részegységből, így függő kimenő jellemzőből áll, a fenti módon meghatározott lineáris egyenletek egyszerűbb formájú felírása érdekében határozzuk meg a független és a függő paraméterek vektorát.

Ekkor, a felírt érzékenységi kapcsolatok mátrix formában az alábbi módon írhatók fel:

$$\mathbf{A}\delta\mathbf{y} = \mathbf{B}\delta\mathbf{x} \tag{6}$$

ahol: **A** és **B** a függő és független paraméterek együttható mátrixaik.

Bevezetve a

$$\mathbf{D} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B} \tag{7}$$

vizsgált rendszer érzékenyégi mátrixát, a (6) egyenlet a

$$\delta\mathbf{y} = \mathbf{D}\delta\mathbf{x} \tag{8}$$

alakúra módosul, amely egyenlet a rendszer függő és független változói relatív eltérései közti kapcsolatot írja le.

A fenti összefüggés alapján meg tudjuk határozni, hogy a modellezett rendszer kimenő jellemzője milyen érzékenységgel bír bizonytalanságával szemben. Például a bemenő jelek mérése során fellépő mérési pontatlanság hogyan befolyásolja a kimenő jel vagy jelek pontosságát, értékének megbízhatóságát.

3. A LINEÁRIS ÉRZÉKENYSÉGI MODELL FELÁLLÍTÁSA (ESETTANULMÁNY)

Jelen esettanulmányban a folyadékszállító rendszer két fő típusú részegységét, az azokon fellépő nyomás veszteséget, illetve veszteségmagasságot vizsgáljuk. Ezért rendszerünk csak egy egyenes csőszakaszból és egy szerelvényből áll, melyeket külön-külön vizsgálunk. Az elemzés során figyelembe vesszük, hogy az egyenes csőszakaszban lamináris vagy különböző mértékben turbulens áramlás uralkodhat.

A folyadékszállító rendszerben lejátszódó folyamatok matematikai leírását a szállítandó folyadék kinematikai viszkozitási tényezőjének meghatározásával kezdjük [2]:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \tag{9}$$

Ezt követően a csővezeték átlagos áramlási sebességét határozzuk meg:

$$c = \frac{4\dot{V}}{d^2\pi}. \tag{10}$$

Ezek alapján a csővezetékben történő áramlás Reynolds száma:

$$\mathrm{Re} = \frac{cd}{\nu}. \tag{11}$$

A csősúrlódási tényező értékére több egyenlet írható fel az áramlás lamináris vagy turbulens volta – azaz a Reynolds-szám – függvényében. Ezek:

ha $\mathrm{Re} < 2320$ – azaz ha az áramlás lamináris:

$$\lambda_a = \frac{64}{\mathrm{Re}}; \tag{12a}$$

ha $2320 < \mathrm{Re} < 8 \cdot 10^4$:

$$\lambda_b = \frac{0{,}316}{\sqrt[4]{\mathrm{Re}}}; \tag{12b}$$

ha $2 \cdot 10^4 < \mathrm{Re} < 2 \cdot 10^6$:

$$\lambda_c = 0{,}0054 + 0{,}396\,\mathrm{Re}^{-0{,}3}; \tag{12c}$$

ha $10^5 < \mathrm{Re} < 10^8$:

$$\lambda_d = 0{,}0032 + 0{,}211\,\mathrm{Re}^{-0{,}337}. \tag{12d}$$

A csőszakasz veszteségmagassága:

$$h'_{cs} = \frac{c^2}{2g}\frac{l}{d}\lambda, \tag{13}$$

illetve nyomásvesztesége:

$$\Delta p_{cs} = \frac{\rho}{2}c^2\frac{l}{d}\lambda. \tag{14}$$

A szerelvény veszteségmagassága:

$$h'_{sz} = \frac{c^2}{2g}\xi, \tag{15}$$

illetve nyomásvesztesége:

$$\Delta p_{sz} = \frac{\rho}{2}c^2\xi. \tag{16}$$

A fenti (9) – (16) egyenletek alkotják a vizsgált egyszerű folyadékszállító rendszer matematikai modelljét. A lineáris érzékenységi modell felállítása érdekében a következőkben a (9) – (16) egyenleteket – a 2. fejezetben ismertetett módon – linearizálnunk kell. Ekkor az alábbi egyenleteket kapjuk:

(9) egyenlet esetén:

$$\delta\nu = \delta\mu - \delta\rho; \tag{17}$$

(10) egyenlet esetén:

$$\delta c = \delta\dot{V} - 2\delta d; \tag{18}$$

(11) egyenlet esetén:

$$\delta\,\mathrm{Re} = \delta c + \delta d - \delta\nu; \tag{19}$$

(12a) – (12d) egyenletek esetén:

$$\delta\lambda = K\delta\,\mathrm{Re}, \tag{20}$$

ha $\mathrm{Re} < 2320$

$$\delta\lambda_a = -\delta\,\mathrm{Re} \qquad K_a = -1\,; \tag{20a}$$

ha $2320 < \mathrm{Re} < 8 \cdot 10^4$:

$$\delta\lambda_b = -0{,}25\delta\,\mathrm{Re} \qquad K_b = -0{,}25\,; \tag{20b}$$

ha $2 \cdot 10^4 < \mathrm{Re} < 2 \cdot 10^6$:

$$\delta\lambda_c = -\frac{0{,}1188}{0{,}0054\,\mathrm{Re}^{-0,3} + 0{,}396}\delta\,\mathrm{Re} \qquad K_c = -\frac{0{,}1188}{0{,}0054\,\mathrm{Re}^{-0,3} + 0{,}396} \quad ; \tag{20c}$$

ha $10^5 < \mathrm{Re} < 10^8$:

$$\delta\lambda_d = -\frac{0{,}074477}{0{,}0032\,\mathrm{Re}^{-0,337} + 0{,}221}\delta\,\mathrm{Re} \qquad K_d = -\frac{0{,}074477}{0{,}0032\,\mathrm{Re}^{-0,337} + 0{,}221} \quad . \tag{20d}$$

(13) egyenlet esetén:

$$\delta h'_{cs} = 2\delta c + \delta l + \delta\lambda - \delta d \quad . \tag{21}$$

(14) egyenlet esetén:

$$\delta\Delta p_{cs} = \delta\rho + 2\delta c + \delta l - \delta d + \delta\lambda \quad . \tag{22}$$

(15) egyenlet esetén:

$$\delta h'_{sz} = 2\delta c + \delta\xi \quad . \tag{23}$$

(16) egyenlet esetén:

$$\delta\Delta p_{sz} = \delta\rho + 2\delta c + \delta\xi \quad . \tag{24}$$

A további vizsgálat érdekében határozzuk meg a független paraméterek vektorát:

$$\mathbf{x}^T = \begin{bmatrix} \mu & \rho & \dot{V} & d & l & \xi \end{bmatrix} \ , \tag{25}$$

és a függő paraméterek vektorát:

$$\mathbf{y}^T = \begin{bmatrix} \nu & c & \mathrm{Re} & \lambda & h'_{cs} & \Delta p_{cs} & h'_{sz} & \Delta p_{sz} \end{bmatrix} \ . \tag{26}$$

Ekkor a függő és független paraméterek együttható mátrixaik:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -K & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{27}$$

$$\mathbf{B}=\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{28}$$

Mivel elemzésünket négy Reynolds-szám tartományban végezzük, így négy esetre az érzékenységi együttható mátrixot az alábbiak lesznek:

$\mathrm{Re} < 2320 \quad \rightarrow \quad K_a = -1$

$$\mathbf{D}_a=\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & -4 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -4 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & -4 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \tag{29a}$$

$2320 < \mathrm{Re} < 8 \cdot 10^4 \quad \rightarrow \quad K_b = -0{,}25$

$$\mathbf{D}_b=\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0{,}25 & -0{,}25 & -0{,}25 & 0{,}25 & 0 & 0 \\ 0{,}25 & -0{,}25 & 1{,}75 & -4{,}75 & 1 & 0 \\ 0{,}25 & 0{,}75 & 1{,}75 & -4{,}75 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -4 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & -4 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \tag{29b}$$

$2 \cdot 10^4 < \mathrm{Re} < 2 \cdot 10^6 \quad (\mathrm{Re} = 1 \cdot 10^6) \rightarrow \quad K_c = \text{-}0{,}2999351775$

$$\mathbf{D}_c = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0{,}2999 & -0{,}2999 & -0{,}2999 & 0{,}2999 & 0 & 0 \\ 0{,}2999 & -0{,}2999 & 1{,}7001 & -4{,}7001 & 1 & 0 \\ 0{,}2999 & 0{,}7001 & 1{,}7001 & -4{,}7001 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -4 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & -4 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \qquad (29c)$$

$10^5 < \mathrm{Re} < 10^8$ $\quad (\mathrm{Re} = 5 \cdot 10^6) \rightarrow \quad K_d = \text{-}0{,}3369730350$

$$\mathbf{D}_d = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0{,}337 & -0{,}337 & -0{,}337 & 0{,}337 & 0 & 0 \\ 0{,}337 & -0{,}337 & 1{,}663 & -4{,}663 & 1 & 0 \\ 0{,}337 & 0{,}663 & 1{,}663 & -4{,}663 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -4 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & -4 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \qquad (29d)$$

4. AZ ÉRZÉKENYSÉG VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI

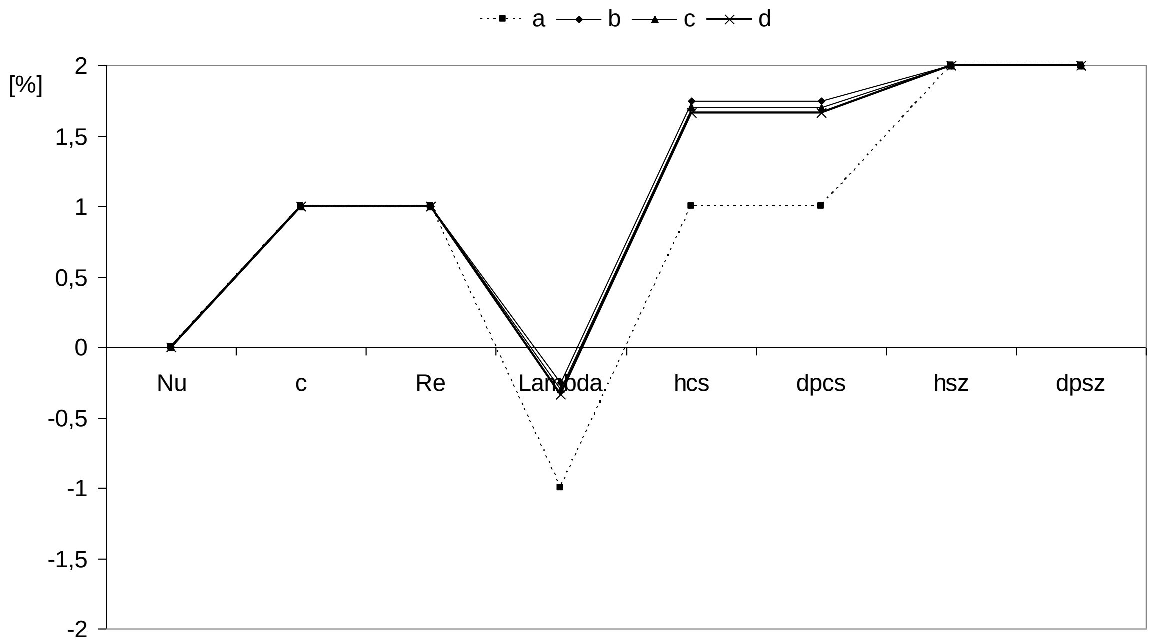
A többváltozós rendszerek esetén a **D** érzékenységi együttható mátrix ismeretében, a (8) egyenlet felhasználásával a független változók értékeinek – azaz a $\delta\mathbf{x}$ vektor elemeinek – megváltoztatásával szimuláljuk az adott részegység vagy alkatrész meghibásodását, elhasználódását, a gyártási eltéréseket, a környezeti hatások vagy anyagjellemzők megváltozását. A felállított érzékenységi modell felhasználásával meghatározható, hogy relatív értékben miként fognak változni a függő változók – azaz a $\delta\mathbf{y}$ vektor – elemei. Így ez az elemzés megmutatja a rendszer érzékenységét a különféle modellezett paraméter-eltérésre, vagy eltérésekre. Ha egyszerre csak egy független változó értékét változtatjuk – egyváltozós, ha több értékét módosítjuk – többváltozós érzékenységvizsgálatról beszélünk.

Fontos itt hangsúlyoznunk, hogy ezt a vizsgálatot – mint minden modell vizsgálatot – nem a valós rendszeren, hanem annak (jelen esetben a matematikai) modelljén tudjuk elvégezni. Ez jelenti a modellvizsgálatok egyik legnagyobb előnyét, mivel az elemzéshez nem kell a valós rendszer részegységeit tönkretenni, hogy annak káros – esetleg katasztrofális – következményeit megismerhessük.

4.1. Az üzemmód jellemző bizonytalanságának elemzése

Üzemmód jellemző, ami a rendszer működési módját írja le, jelen vizsgálatunkban a szállított térfogatáram. Az 1. ábra a rendszer által szállított folyadék térfogatáram 1 %-os növekedésének hatását szemlélteti a rendszer kimenő, függő jellemzőire – különböző Reynolds-szám tartomány esetén.

A grafikon egyértelműen igazolja, hogy (adott keresztmetszet esetén) a tömegáram növekedés csak az áramlási sebesség növekedésével érhető el, ami egyben a Reynolds-szám hasonló mértékű növekedését is okozza. A fentiek hatására az egyenes csőszakasz csősúrlódási tényező csökken, méghozzá a különböző Reynolds-szám tartományokban különböző mértékben. Megállapítható, hogy a csősúrlódási tényező lamináris áramlás esetén mutatja a legnagyobb érzékenységet. Az egyenes csőszakaszon keletkező veszteségek (Reynolds-szám tartományonként) azonos – de a szerelvényeknél kisebb mértékben – növekednek a modellezett paraméter eltérés esetén. Ekkor viszont a lamináris áramlás esetén kevésbé lesz érzékeny a rendszer. A szerelvényen fellépő veszteségek mutatják a rendszer legnagyobb abszolút értékű érzékenységet a szállított térfogatáram változásával szemben.



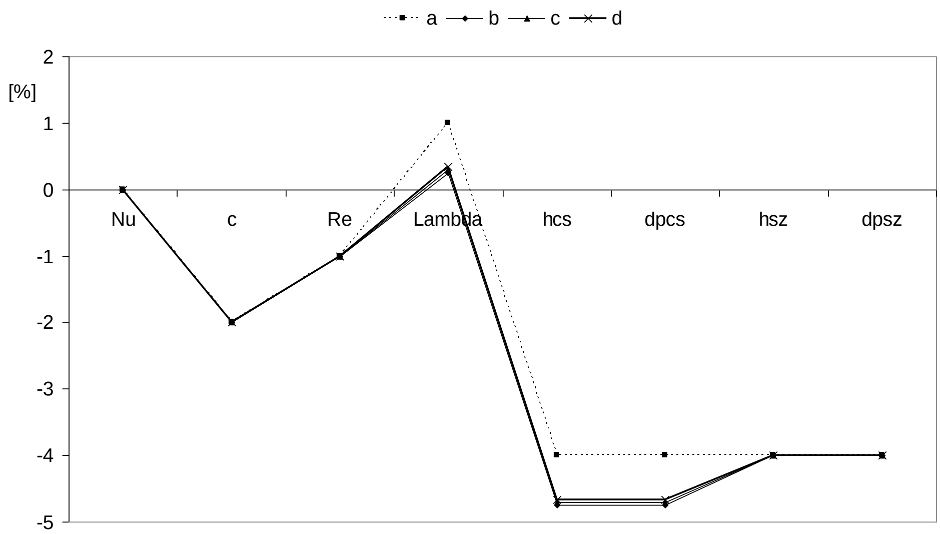
1. ábra $\delta\dot{V} = +1\%$ hatásai

4.2. A rendszer műszaki jellemzők bizonytalanságának elemzése

A rendszer technikai jellemzői, melyek a rendszer szerkezetét, méretét determinálják. A technikai jellemzők eltérését alapvetően a részegységek gyártása során fellépő pontatlanságok okozhatják, de e paraméterek változhatnak a rendszer működése során is. Vizsgálatunkban a technikai jellemzők az alábbiak voltak:

- csővezeték belső átmérője;
- egyenes csőszakasz hossza;
- szerelvény veszteségi tényezője.

A rendszer technikai jellemzői közül a csőátmérő 1 %-os növekedésének hatásai a 2. ábrán kerültek szemléltetésre.

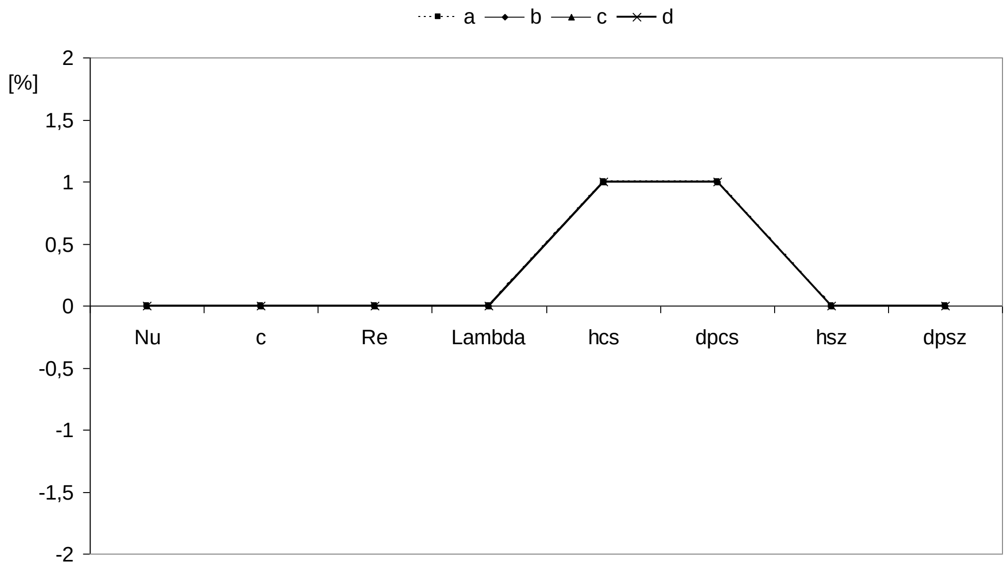


2. ábra $\delta d = +1\%$ hatásai

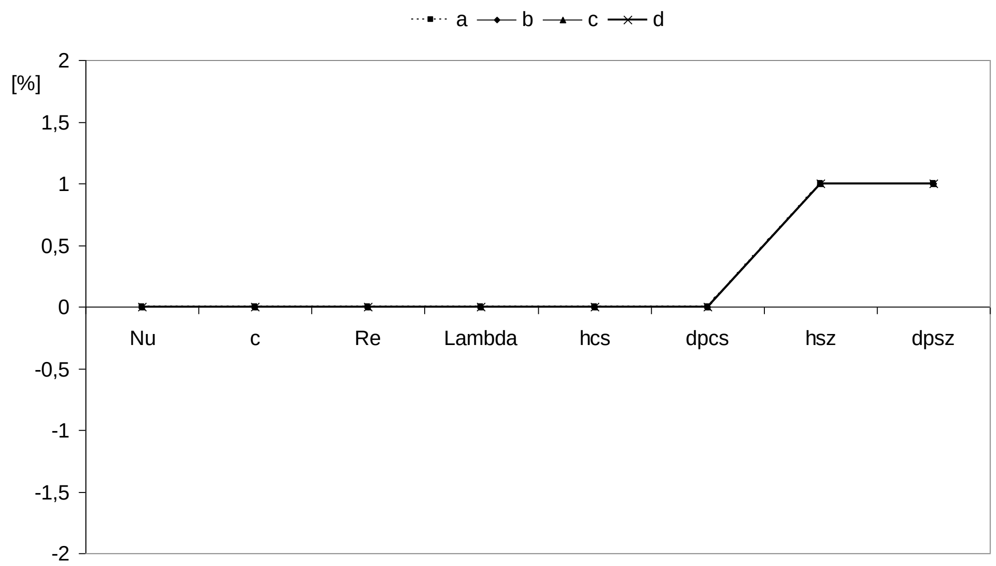
Látható, hogy az átmérő – és így az áramlási keresztmetszet – növekedése áramlási sebességcsökkenést okozott, ami a Reynolds-szám csökkenését vonta maga után. Látható, hogy bár a csősúrlódási tényező növekszik (a lamináris áramlás esetén a legnagyobb mértékben), az egyenes csőszakasz, valamint a szerelvény nyomásvesztesége, illetve veszteségmagassága pedig jelentős mértékben csökkent. A térfogatáramhoz hasonló módon itt is a legkisebb érzékenységgel a lamináris áramlás esetén találkozunk.

A 3. ábra az egyenes csőszakasz hosszának növekedéséhez kapcsolható érzékenységek tekinthetők meg. Látható, hogy ez a független paraméter megváltozásának csak az egyenes csőszakaszon fellépő veszteségekre van hatással.

A 4. ábra a szerelvény veszteségi tényezője 1%-os növekedésének hatását szemlélteti. Látható, hogy – a csőhosszhoz hasonlóan – a jellemző értékének változása csak a szerelvényen fellépő veszteségekre van hatással.



3. ábra $\delta l = +1\%$ hatásai



4. ábra $\delta\xi = +1\%$ hatásai

5. KÖVETKEZTETÉSEK, AJÁNLÁSOK

A tanulmány bemutatta a lineáris paraméter bizonytalanság érzékenység vizsgálatra épülő elemzési módját egy egyszerű (két elemből álló) folyadékszállító rendszer példáján keresztül. A rendszer független jellemzőinek változásával szembeni érzékenységek több összefüggésére is rámutatott, melyek részletesebb a 4. fejezetben olvashatóak. A tanulmány egyértelműen megmutatta a választott, lineáris érzékenységvizsgálati módszer alkalmazhatóságát folyadékszállító rendszerek viselkedésének elemzésére.

Az eddigi eredmények alapján a Szerző témakörrel kapcsolatos jövőbeni tevékenységét az alábbiakban fogalmazza meg. A bemutatott módszer kiterjesztése:

- összetett folyadékszállító rendszerek érzékenység vizsgálatára;
- a szállított folyadék paraméterváltozásai hatásainak elemzésére, ha a közeg kémiai összetétele, nyomása és hőmérséklete változik;
- a rendszer parametrikus bizonytalanságának lineáris intervallum egyenletekkel történő elemzésére.

ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK

y – általános függő változó;

x – általános független változó;

K – általános együttható;

μ – dinamikai viszkozitási tényező;

ρ – sűrűség;

ν – kinematikai viszkozitási tényező;

c – átlagos áramlási sebesség;

$\dot{V}$ – térfogatáram;

d – cső belső átmérő;

Re – Reynols-szám;

λ – csősúrlódási tényező;

h'_{cs} – cső veszteség magasság;

Δp_{cs} – cső nyomásveszteség;

h'_{sz} – szerelvény veszteség magasság;

Δp_{sz} – szerelvény nyomásveszteség;

ξ – szerelvény veszteségi tényező;

$\mathbf{A}$ – függő változók együttható mátrixa;

$\mathbf{B}$ – független változók együttható mátrixa;

$\mathbf{D}$ – érzékenységi együttható mátrixa.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] FERSON S., TUCKER W. T., Sensitivity analysis using probability bounding, Reliability Engineering and System Safety 91 (2006) 1435-1442.

[2] JUHÁSZ J., Hidrogeológia, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002., pp. 1176.

[3] KORN, G.A., KORN T.M., Matematikai kézikönyv műszakiaknak, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975., p. 995.

[4] M. CSIZMADIA B., NÁNDORI E., Modellalkotás, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2003, p. 579.

[5] MAHDAVI, A., Buildings, People, Climate: On Sources of Uncertainty in Building Performance Simulation, Proceedings of the Central European Regional I IBPSA Conference Bratislava, June 5, 2008. p. 4-13.

[6] MÖLLER, B., BEER, M., Engineering computation under uncertainty - Capabilities of non-traditional models, Computers & Structures 86 (2008) 10, p. 1024-1041, (doi:10.1016/j.compstruc.2007.05.041)

[7] POKORÁDI L., SZABOLCSI R., Mathematical Models Applied to Investigate Aircraft Systems", nomográfia, Monographical Booklets in Applied and Computer Mathematics, MB-12, PAMM, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1999., p. 146.

[8] POKORÁDI, L., Rendszerek és folyamatok modellezése Campus Kiadó, Debrecen, 2008., pp. 242.

[9] POKORÁDI, L., The Uncertainty Analysis of the Pipeline System UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering, Volume 73, Issue. 3, 2011 (ISSN 1454-2358) p. 201-214.

[10] POKORÁDI L., MOLNÁR B., Monte-Carlo Simulation of the Pipeline System to Investigate Water Temperature's Effects, U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 73, Iss. 4, 2011 (ISSN 1454-2358) p. 223-236.

[11] POKORÁDI L., MOLNÁR B., Hidraulikus rendszerek parametrikus bizonytalanságának Monte-Carlo szimulációs elemzése, In: Pokorádi László (szerk.) Műszaki Tudomány az Észak-kelet magyarországi régióban 2013, Debrecen, 2013.06.04, pp. 171-180. (ISBN:978-963-7064-30-2)

[12] POKORÁDI, L., Hálózatok moduláris érzékenység-, és bizonytalanság elemzése Irodalom-feldolgozó, és témaismertető tanulmány, 37 p. (elektronikus Műszaki Füzetek XII.), ISBN 978-963-7064-29-6, http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/AAAABCHF/doc/mf_xii_2013.05.14-08.32.37.pdf

[13] RÁC T., Repülőgépgázturbinák üzemvitelének termikus kérdései, doktori értekezés, BME Közlekedésmérnöki Kar., 1974.

[14] RÁC T., Gázturbinás repülőgép hajtóművek üzemszerű elhasználódási törvényszerűségeinek vizsgálati módszerei, kandidátusi értekezés, MTA, 1978.

[15] ROHÁCS J, ROHÁLY G., POKORÁDI L., Исследования возможости диагностирования авиационных гидравлических и воздушных систем по данным, регистрированных во время нормального функционирования, „Доклады третей конференции по авиации, 22-24 ноября 1988 г. Будапешт”, СЭВ, Отраслевое бюро Но 16. IV-я секция, стр. 4.10-4.36.
[16] ROHÁCS J., SIMON I., Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1989.
[17] SZABOLCSI R., Korszerű szabályozási rendszerek számítógépes tervezése, egyetemi tankönyv, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2011.
[18] SZŰCS E., Hasonlóság és modell, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1972., p. 299.