

## **Az ipari nyomásmérés tipikus véletlen hibáinak áttekintése és értékeinek becslése**

Reményi Tibor\*

A GUM 1995-ös megjelenése óta vitatottá vált a "véletlen hiba" és a "véletlen bizonytalanság" fogalmának használata is. Azóta is folynak az elvi és az alkalmazástechnikai viták tulajdonképpen az egész GUM-ról, ezen belül a rendszeres és véletlen hibák elkülönített kezeléséről valamint a belőlük származtatott mérési bizonytalanságok számítási módjáról.

Mindenesetre a legújabb külföldi szakirodalom valamint az ISO és CEN szakbizottságai teljes határozottsággal és egyértelműséggel használják a hibák természetének fenti osztályozását, és a megjelenő dokumentumokban világosan szerepel a rendszeres és véletlen hibák megkülönböztetése. Elég csak utalni az ISO/TR 5168: 1998(E) - nálunk is ismert - kiadványra, amely az anyagáram-mérések bizonytalansági elemzéséről és ajánlott számítási eljárásáról szól.

Kétségtelen, hogy alapos létjogosultsága van az ipari mérésekben és a folyamatműszerezésben is a véletlen hibák és bizonytalanságok figyelembe vételének.

A jelen cikkben azokat a fizikai és technológiai okokat és jelenségeket foglaljuk össze, amelyek nagy valószínűséggel a nyomásmérések véletlen jellegű hibáinak létrejöttéhez vezetnek.

### A fogalmak tisztázása

A VIM (Nemzetközi metrológiai értelmező szótár 1998-as magyar szövege) szerint: "véletlen hiba = a mérési eredmény mínusz az az átlagérték, amely ugyanazon mérendő mennyiség megismételhetőségi feltételek között végzett végtelen sok mérésének eredményeül adódna".

Az MSZ EN 24006:2002 (Folyadékáram mérése zárt csővezetékben. Fogalmak és jelölések) 5.19. bekezdése szerint:

"Véletlen hiba: a mérési hibának az az összetevője, amely ugyanannak a mennyiségnek többszöri mérése során előre nem látható módon változik."

Az ISO/TR 5168:1998 dokumentum 4.2 fejezete a következőket mondja a véletlen hibákról:

"A véletlen hibákat sokféle, általában kicsiny és egymástól független hatás okozza, amelyek megakadályozzák, hogy a mérendő mennyiség ugyanazon értékeiről minden esetben ugyanazt a leolvasási (kijelzési, kimeneti) értéket kapjuk. A leolvasási értékek egy átlagérték körül szóródnak a véletlen eseményekre érvényes statisztikai algebra törvényszerűségei szerint. A véletlen hibákat gyakran a pontossági (precíziós) hibákkal azonosítják. ... "

Ugyanezen dokumentum 5.2 fejezetében, többek között, az áll, hogy:

"A véletlen bizonytalanság értékét az ismételt mérések adatainak statisztikai elemzéséből származtatjuk, míg a rendszeres bizonytalanság becslése nem statisztikai módszerekkel történik."

Több forrást nem idézek, csak hangsúlyozom, hogy a tárgyra vonatkozó egyéb nemzetközi kiadványok, valamint a műszergyártó és rendszerszállító nagy cégek és kalibráló állomások hasonló módon kezelik a véletlen és rendszeres hibákat.

\* Flow-Cont Kft.

## A véletlen hibák eredete

Fizikai származásukat tekintve a nyomásmérés véletlen hibáinak forrásai a következők lehetnek:

1. Természetes technológiai ingadozások
2. Meteorológiai jellegű barometrikus ingadozások
3. A mérendő anyag mozgására visszavezethető nyomásváltozások
4. A mérendő anyag helyi inhomogenitásából származó bizonytalanságok
5. A nyomásmérő eszközből eredő járulékos hibák és zajok
6. A nyomástéren belüli átlagolás hibái
7. A nyomásvételi hely kialakításából jövő hidrosztatikai ingadozások

A fenti hibaforrások némelyikének hatása nyilvánvaló és könnyen belátható, vannak azonban olyan rejtett folyamatok, amelyeknek eredőjeként jöhet létre nem elhanyagolható véletlen hiba, és ezek feltárása és azonosítása nem mindig egyszerű feladat.

A számításba veendő véletlen hibák nagyságának meghatározása még nehezebb feladat. Általában csak valamilyen becslés jöhet szóba, amit hosszú idejű megfigyelésekre, esetleg közelítő elméleti számításokra lehet alapozni.

Tényleges mérésre igen ritkán van lehetőség, legtöbbször azért, mert nem áll rendelkezésre olyan érzékeny és gyorsműködésű nyomásmérő-analizátor, amellyel rögzíteni tudnánk a kis mértékű ingadozásokat. Arra kell itt gondolni, hogy pl. egy 6 bar-os vízhálózaton kellene kimutatni 200 ...500 Pa vagy egy 1,2 bar-os kisnyomású gázvezetékben 50...150 Pa nagyságú nyomásváltozásokat.

Ahol az ilyen kutatás jellegű feltáró mérésekből komoly gazdasági haszon remélhető és van is rá elég pénz, ott végeznek ilyen méréseket. Szakirodalomból ismert például a nagy észak-amerikai gázszállító hálózatokon lefolytatott olyan mérés-sorozat, amelyet a mérőperemes mérőhidakon 0,005 mbar (0,5 Pa!) felbontású érzékelőkkel és digitális gyorsregisztrálóval végeztek annak érdekében, hogy adatokat gyűjtsenek az úgynevezett "négyzetgyökvonási hiba" természetére és nagyságára vonatkozóan. [1]

## A véletlen hibák fajtáinak elemzése

### 1. Természetes technológiai ingadozás

Ez a hibanem lényegében a mérendő nyomástér természetes változásainak olyan ingadozásait hívatott valamilyen módon kifejezni, amelyeket az iparban általában alkalmazott nyomásmérők és nyomástávadók nem tudnak pontosan követni. Minden nyomástávadónak van egy érzéketlenségi sávja, holtideje és jelkövetési sebességhatára. Ezek az eszköztulajdonságok teljesen normálisak és a gyakorlatban nem szüntethetők meg. Ennek a hibakomponensnek az értéke a korszerű p/i távadók esetében nagyon kicsiny, a gyakorlati számításokhoz irányadónak lehet elfogadni a 10...20 Pa (= 0,0001...0,0002 bar) adatot.

A természetes ingadozás lehet olyan jellegű, hogy valami miatt nem jelenik meg a nyomástérnek azon a pontján, ahol a nyomásmérő elvételi pontja van. Ilyen eset, például akkor áll elő, amikor olyan nyomáshullám keletkezik a mérendő térben, amely a mérési

célfüggvényt befolyásolja, de a  $p/i$  távadó beépítési pontjához érve már annyira lecsillapodik, hogy biztonságosan nem érzékelhető.

Az ebből a jelenségből származó hibát csak a kimutatott lengések térbeli kiterjedésének és időtartamának ismeretében lehet becsülni.

## 2. A légköri nyomás ingadozása

Ennek a véletlen hibának akkor van jelentősége, amikor a mérőrendszerekben nem abszolút nyomástávadót használunk.

A túlnyomást mérő eszközök mindig a külső (mindenkori légköri) vonatkoztatási nyomáshoz képest mérik a technológiai nyomástér nyomását.

A gáztechnikai és termodinamikai számításokban általában mindig az abszolút nyomás számértékét kell használni. Ebből következik, hogy - amennyiben csak a túlnyomást mérjük - akkor az ehhez állandóként hozzáadott légköri nyomás értékének természetes ingadozása véletlen hibaként jelenik meg a teljes mérőrendszerben. Most attól az esettől eltekintünk, amikor valamilyen meteorológiai megfigyelés alapján az adott földrajzi helyen időszakos korrekciót alkalmaznak, és így gyakorlatilag nem számolnak ilyen jellegű egyéb hibával.

Közép-európai meteorológiai adatok alapján a 95 ...120 m tengerszint feletti magasságokon átlagosan  $\pm 15$  hPa (mbar) lehet a mérvadó ingadozás, amiből származtathatjuk a véletlen hibáknak ezt az összetevőjét . [2]

## 3. Az anyagmozgásokból eredő nyomásingadozások

Áramló és/vagy örvénylő anyagokban a helyi nyomás különbözik a vizsgált térrész átlagos nyomásától, illetve a névleges állandósult (statikus) nyomástól.

A lamináris áramlások tartományában az áramlás irányában mérhető nyomásesés lineárisan függ az áramlási sebességtől, a turbulens tartományban ez az összefüggés négyzetessé válik [ $\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho/2) \cdot \zeta \cdot v^2$ ].

Természetesen a mérési célfüggvény és a mérőrendszer felépítése szempontjából mérvadó nyomást igyekszünk mindig azon a helyen (ponton) mérni, amely a lehető legközelebb van ahhoz a térrészhez, amelynek fizikai mennyiségeit mérni kívánjuk. Gondoljunk csak a mérőperemes mérés nyomásvételi helyeinek kialakítására vagy egy folyadéktartály oldalán elhelyezett nyomásmérőre!

A hibáknak itt azokról az eseteiről beszélünk, amelyek valószínűleg **megmaradnak** az ismert korrekciók elvégzése után is. (Pl. ha már figyelembe vettük, hogy egy kis átmérőjű csövön a vizsgálandó helytől csak nagyobb távolságra van módunk nyomásmérőt elhelyezni, és ismerjük a csőben áramló anyag átlagsebességét, amiből már megbecsülhetjük a kívánt pontban uralkodó nyomást.)

A "maradék" véletlen hiba abból adódik, hogy pontosan sem a csősúrlódási tényezőket, sem a helyi sebesség pontos értékét nem ismerjük, ráadásul a mozgó anyag aktuális sűrűsége magának a nyomásnak is függvénye, így többszörös függvénykapcsolatról van szó.

Ezek közelítő megoldása is elég bonyolult fokozatos közelítési (iterációs) eljárással lehetséges. Mindenesetre ennek a hibaösszetevőnek a becslése alapos megfontolást igényel,

és tipikusan olyan feladat, amelyhez a helyi technológiai folyamat részletes ismerete szükséges.

Tájékoztató példaként megadom, hogy mekkora nyomásváltozás áll elő egy DN 25 méretű acélcsőből épült hálózat 1,5 m hosszú egyenes szakaszán, amelyen belül 1 db teljesen nyitott túszelep van, a csőben levegő áramlik ~25 m/s sebességgel, a vezetékszakasz belépő pontján pedig a nyomás 6 bar<sub>g</sub>. Hőmérsékleti változással nem kell számolni.

Az gázkinetikai áramcső elméletből ismert összefüggés alapján számolhatjuk a nyomáscsökkenést. Eszerint

$$\Delta p = \left(\frac{\rho}{2}\right) * v^2 * \left[\zeta + \left(\frac{L}{d}\right) * \lambda\right],$$

ahol

$\Delta p$  = a nyomáscsökkenés

$\rho$  = a gáz aktuális sűrűsége az áramlásban

$v$  = a gáz átlagsebessége

$\zeta$  = a veszteségi tényező

$L$  = a csőszakasz hossza, amelyben az anyag áramlik

$d$  = a cső átmérője

$\lambda$  = cső súrlódási (vagy hidraulikus ellenállási) tényező

Behelyettesítve a megfelelő értékeket (a származtatást ezúttal mellőzve):

$$\Delta p = 4,5 * 25^2 * \left[6,8 + \frac{1,5}{0,025} * 0,015\right] = 21656 \text{ Pa} \approx 0,22 \text{ bar}$$

Talán meglepő, de ez bizony nem is olyan kicsiny nyomáscsökkenés! Ha ebben az esetben véletlen hibaként ennek csak 10%-át vesszük fel, akkor is 2000 Pa körüli értéket kapunk!

Az anyag mozgásából adódó másik véletlen jellegű nyomásbizonytalanság az örvénylő térrészekben keletkezhet. Ha a mérőhely közelében bármilyen technológiai ok miatt az áramlásban helyi perdületesség vagy egyéb örvényleválás keletkezik, akkor ez bizonyosan megzavarja a közelében lévő nyomásmérő értékmutatását és/vagy kimenőjelét.

Természetesen az ilyen eseteket lehetőleg el kell kerülni, ha azonban az elkerülhetetlen, akkor akár 500...1500 Pa -os véletlen hibákkal is számolni kell.

#### 4. Az anyag inhomogenitásából származó véletlen hibák

Az ipari gyakorlatban nem ritka eset, hogy a tisztán folyadéknak feltételezett közegben lég- vagy egyéb gáznemű zárványok, buborékos részek fordulnak elő, ezek esetleg vándorolnak a mérendő nyomástérben.

Ugyanígy az sem ritka, hogy a tisztán gáz halmazállapotúnak feltételezett technológia térbe folyadékrészek és/vagy szilárd szennyeződések kerülnek. Erős hőmérsékletváltozásnak kitett gázokból lehűléskor kicsapódik, kondenzálódik a "folyadéktartalom".

Leggyakrabban a **gőzök** - általában a vízgőz - mérésekor fordul elő, hogy a nyomásmérőhöz, távadóhoz csatlakozó mintavételi vezetékben lévő kondenzátum légzárványos és/vagy még egyéb szennyezést is tartalmaz. Az ún. vízszák-csővekben vagy kondenzedényekben és az ahhoz csatlakozó nyomásközlő vezetékben bennmaradó légszákok vagy légrétegek megváltoztatják a nyomásvételi hely kialakításából (geometriájából) következő és jól számítható járulékos hidrosztatikus nyomás értékét. A hidrosztatikai korrekció a vízoszlop (vagy egyéb folyadékoszlop) magasságából egyértelműen számítható, ez nem tekinthető ezek után hibának, de bezárt és esetleg vándorló légrétegek vagy gágrétegek nem elhanyagolható véletlen nyomásingadozást okozhatnak. A hiba jellege azért "véletlen", mert egyrészt nehezen mérhető meg, másrészt magának a mérendő statikus nyomás függvényében változhat, sőt bizonyos elnyelődési és vegyi reakciós folyamatok következtében bizonytalanul csökkenhet vagy növekedhet.

Ez a hiba különösen függ a szakszerű tervezéstől, felszereléstől és üzemeltetéstől illetve a karbantartás minőségétől. A tisztítások, lefűvatások alkalmával – és utánuk – ellenőrizni kell a kondenzvíz-oszlopok hőmérsékletét, tisztaságát és egyneműségét. Ha ezeket a műveleteket elmulasztják, a hiba jelentős nagyságúvá válhat.

Például, ha egy 2,5 m magas kondenzvíz csőben ~2 mm-es légzárvány réteg van, akkor ebből 20 Pa nyomáseltérés adódik, és ennek legalább a felét véletlen hibának tekinthetjük.

Érdekes eset: a vízgőzméréseknél alkalmazott kondenz- vagy nívóedényben lévő kondenzált víz felületének hullámzásából és a felületét érő gőzsugár lökésekből származó nyomásingadozások kérdése. Gömb alakú kondenzedényben a vízszint maradé bizonytalansága  $\pm 1,5$  mm -nek vehető.

Mindenesetre a gyakorlatban ezt a hibaösszetevőt 10...50 Pa között vehetjük fel.

Más a helyzet, amikor a gáznemű anyagok nyomásközlő vezetékbe tisztán folyadékfázisú csapadék vagy zagyyszerű üledék kerül. Az ebből adódó hiba sokkal nagyobb lehet, mint a légzárványok okozta hiba, hiszen ilyenkor a bizonytalan magasságú és sűrűségű folyadék- vagy zagyoszlop nem kívánatos járulékos nyomás akár 200...500 Pa is lehet. Pl. mindössze 3 cm-nyi homokos víz kiválása kb. 400 Pa-al változtatja meg a fölötte lévő technológiai gáztér átlagos nyomását.

Természetesen a jó gyakorlat itt is az, hogy lehetőleg mindig a gáztér fölé helyezzük a nyomásvételi csatlakozás helyét, ám ha ez nem lehetséges vagy egyéb okból mégis bejuthatnak a folyadék és zagyyszennyezések a nyomás-tavadóba, akkor az imént tárgyalt hibával számolni kell.

## 5. A nyomásmérő eszközből eredő zavarok és zajok

Ez a hibaforrás gyakorlatilag és legtöbbször csak **hibás mérőeszközben** jelentkezik.

Tapasztaltunk olyan eseteket, amikor a korszerű, smart mikroprocesszoros p/i távadóban ilyen hiba keletkezett. Csak gondos és megismételt laboratóriumi mérések során derült ki, hogy a mérőcellához kapcsolódó elektronika belső zaja okozta a hibát, ami úgy jelentkezett, mint durva inkrementálási hiba (~25 - 40 mbar-nak megfelelő ugrásokkal állt be, pl. a 2 bar-hoz tartozó 16 mA-es kimenőjel).

Külső vagy belső **mechanikai rezgések** is okozhatnak hasonló hibát. Előfordulhat, hogy a felszerelés helyén valamilyen idegen rezgés áterjed az érzékelőre és statisztikus ingadozásként jelentkezik a kimenőjelben (akár úgy is, hogy a nagyobb frekvenciás rezgések interferenciája és szuperpozíciója révén már a távadó által követhető lassúbb "vadjelek" rakódnak a kimenetre).

Szerelési hibából is adódhatnak furcsa jelenségek, amelyet könnyen a távadó hibájának tulajdonítunk. Például egészen kis mértékű tömítetlenség okozhat olyan anyagkiáramlásokat, amelyek mint egy "síp", hallható vagy nem hallható rezgést eredményeznek, és az így létrejövő nyomáshullámzást felveszi, továbbadja a távadó.

Rossz, azaz szüretlen, zajos, **villamos tápegység** is okozhat zajt a p/i távadó kimenetén. Ez ismét csak a javítás, karbantartás kategóriájába tartozik, és nem kell felvenni a véletlen hibák csoportjába.

A távadóhoz csatlakozó kábelszakasz is felvehet akkora zavarokat és zajokat, amelyek a kimenőjelet befolyásolják, eltolják vagy bizonytalanná teszik. Az idevonatkozó tőréseket az EMC szabványok írják elő.

Erről a hibánemről még csak közelítő becslést sem tudunk adni. Hasznosabb a hibaforrást megszüntetni, és ezt a fajta véletlen hibát 0-nak tekinteni.

## 6. Az átlagolás hibái

Az edényeket kitöltő folyadékok nyomásáról az iskolákban azt tanultuk, hogy az "minden irányban gyengítetlenül továbbterjed", amit úgy is szoktunk értelmezni, hogy az edény minden pontjában ugyanakkora nyomás uralkodik. Ez nagyjából így is van, ha az edényben nem áramlik, nem örvénylik és nem párolog a folyadék, illetve a gázból nem válik ki vagy nem keletkezik egyéb nem gáznemű anyag.

Az ipari valóságban azonban gyakorlatilag ilyen edény nincs! Egy tartály általában állandó vagy szakaszos összeköttetésben van a környező technológiai rendszerrel. Töltés vagy ürítés közben a benne lévő nyomás nem oszlik el teljesen egyenletesen. Amennyiben kémiai reakciók is létrejönnek az edényben még bonyolultabbá válik a nyomástér állapota.

A csővezetékekben történő anyagáramlás mindig nyomáseséssel jár, erről az előző 3. fejezetben részletesen írtam.

A lényeg az, hogy amit a nyomásmérőnkkel mérünk, az mindig valamilyen időbeli és **térbeli átlagérték**, és itt most a térbeliségen van a hangsúly. A nyomásmérőt nyilván arra helyre (pontra) kell helyezni, ahol ez az átlagérték a lehető legjobban jellemzi azt a folyamatot, amiről a méréssel információt kívánunk kapni.

Az átlag körüli szórásból végezhetjük el a véletlen hiba becslését. Minél nagyobb és minél tagoltabb a technológiai tér és minél kevesebb ponton mérjük annak nyomását, annál nagyobb lesz ez a fajta véletlen hibaösszetevő. Az időtől is függ ennek a hibának a mértéke, hiszen hol rövidebb, hol hosszabb idő kell az átlagérték beállításához, a belső mozgások és anyagátalakulások "befejeződéséhez", valamiféle nyugalmi állapot beállításához (találó az elnevezés: "statikus" nyomás).

Óvatos becslésként az átlagolási hibát 50...200 Pa között vehetjük fel. Amennyiben tudomásunk van a nyomástér inhomogenitásáról, akkor ennél jóval nagyobb értékek felvétele indokolt.

## 7. A nyomásvételi hely kialakításából származó hibák

Ide sorolhatóak azok a telepítésből és beszerelésből következő hibák, amelyeket a 4. fejezetben nem tárgyaltunk. Vannak-e egyáltalán ilyenek?

Feltétlenül ide tartoznak azok a durva szerelési hibák, amelyek pl. a beszerelés után "láthatatlanokká" válnak.

Ha például egy csővezetékbe úgy hegesztik be a nyomásmérő csatlakozó csőcsonkját, hogy annak vége belenyúlik a csőszelvény szabad keresztmetszetébe (azaz nincs egy síkban a belső palástartal), akkor ennek környékén zavaró örvénylések (turbulenciák) keletkeznek, amelyek hibát okoznak a nyomásmérésben.

Másik csoportba például azok a mérések tartoznak, amelyekben **elválasztó folyadék**-tölteteket kell alkalmazni a mérendő közeg agresszivitása miatt. Ilyenkor az egymás feletti folyadékrétegek hidrosztatikus magasságának pontatlan meghatározása, a párolgás, anyagkiválás és elnyelődés valamint a meniszkuszok alaktorzulásai vezetnek véletlen hibákhoz.

A külső **hősugárzás** is okozhat észrevehető hibát akkor, amikor a viszonylag hosszú (pl. 1 m-nél hosszabb) folyadékkal telt nyomásközlő vezeték felülről csatlakozik a nyomásmérőhöz, és ezt a csőszálat erő napsugárzás vagy egyéb külső hő éri. Ekkor ugyanis a vízoszlop magassága ugyan nem változik, de a csőben lévő víz (vagy más folyadék) sűrűsége - és így a járulékos hidrosztatikus nyomás is - igen. Ha ismerjük és alkalmazzuk is a hidrosztatikus korrekciót, a hőmérsékleti ingadozásokból származó véletlen nyomásmérési hiba megmarad.

A számszerű becsléseket egyenként kell elvégezni, lehetőleg minél jobban figyelembe véve a mérés helyének valós viszonyait, a környezeti állapotokat, a rendszeres ellenőrzés hatékonyságát stb.

### Egy példa a közelítő számításra

**Vízgőz** áramló mennyiségét örvényleválásos jelképző-távadóval mérik. A mérőkör szerves része a nyomástávadó és a hőmérsékletmérő, mert ezek is kellene ahhoz, hogy a vízgőz tömegáramát meg lehessen határozni.

A 12 bar<sub>g</sub> méréshatárú, 0,25 osztályú p/i távadó az **örvénymérő** előtt méri a vízgőz nyomását. A technológiai csatlakozás és a p/i távadó között a hővédelem céljából a szokásos vízszák-cső van beépítve. A csatlakozási pontok közel egy magasságban vannak, így a beépítésből nem származik járulékos hidrosztatikai hiba.

A mérés DN 100-as csőben történik, az átlagos üzemi nyomás: 9 bar<sub>g</sub>, a hőmérséklet 200 °C, a jellemző tömegáram 5...8 t/h, amiből a hőmérsékleti és nyomásadatok ismeretében számítható átlagsebesség 36...58 m/s között változik.

A fenti technológiai alapadatok ismeretében most rendre határozzuk meg (becsüljük meg) a számításba veendő véletlen hibák nagyságát, amelyekből majd származtatjuk az eredő standard szórás és a véletlen bizonytalanság adatát.

1. A természetes technológiai ingadozás:  $S_1 \approx 250 \text{ Pa}$

2. A légköri nyomás ingadozása:  $S_2 = 1000 \text{ Pa}$

3. Az anyagáramlás okozta eltérés:  $S_3 \approx 300 \text{ Pa}$

4. Inhomogenitási véletlen hiba:  $S_4 = 25 \text{ Pa}$

5. A nyomásmérőből származó zajok:  $S_5 = 0 \text{ Pa}$

6. Az átlagolás véletlen hibája:  $S_6 \approx 150 \text{ Pa}$

7. A nyomásvételi helyből jövő hiba:  $S_7 = 0 \text{ Pa}$

Hogyan "összegezzük" most már ezeket a hibakomponenseket? Egyéb mérvadó kísérleti mérések, tapasztalati adatok vagy kutatási eredmények híján, maradjunk a normális eloszlás szerinti szórásnégyzet összegezésnél. Ne becsüljük le ezt a hagyományos módszert, hiszen a legújabb szakirodalmi adatok, kiterjedt és alapos elméleti munkák és vitaanyagok tanúskodnak arról, hogy a normális eloszlás valóban erősen jellemző az anyagi folyamatokban végbemenő változások jellemzőihez rendelhető mérési adatok viselkedésére. [3,6]

Tehát:

$$S_e = [S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_6^2]^{1/2}$$

Behelyettesítve a számértékeket:

$$S_e = [250^2 + 1000^2 + 300^2 + 25^2 + 150^2]^{1/2} = 1084,26 \text{ Pa} = 0,01084 \text{ bar}$$

Az eredő standard szórás relatív értékben kifejezve, a 10 bar<sub>a</sub> névleges üzemi munkapontban:

$$S_e' = 0,01084/0,1 = 0,1084\%$$

A teljes eredő mérési bizonytalanság számítása során figyelembe veendő kiterjesztett véletlen bizonytalanság pedig:

$$U_S' = 2 * 0,1084 = 0,217\%$$

Első látásra ez az érték nagynak tűnik, ám ha áttekintjük a forrásbizonytalanságokat, akkor láthatjuk, hogy egyik érték felvétele sem volt túlzó vagy irreális. Azt is azonnal láthatjuk,



hogy a légköri nyomás ingadozása okozza messze a legnagyobb hibát, amiből az következik, hogy még a 10 bar körüli üzemi nyomásokon is érdemes abszolút nyomástávadót használni, ha fontos, hogy a lehető legkisebb legyen az eredő bizonytalanság.

Nem szabad elfelejteni, hogy ez az egész dolgozat **csupán a véletlen** bizonytalanságokról szól, és nem érintette a nyomásmérésekben mindig jelenlévő - és számértéke szerint mindig nagyobb - rendszeres bizonytalanságokat. A példabeli esetben a nyomásmérés eredő rendszeres bizonytalansága 0,3...0,5% -ra adódik, ha jó minőségű korszerű p/i távadót használunk.

## Irodalom

1. Clance Doelling: Pulsation effects on orifice measurement, Pipe Line Industry, February 1992.
2. Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatközlése, Bp. 2002. szeptember
3. Dieck, Ronald H. : Measurement uncertainty, Instrument Society of America, R.T.P., NC USA, 1997.
4. D.W.Spitzer: Flow Measurement, ISA Publication, NC USA, 2001.
5. Reményi T.: Kerekasztal a metrológiáról 1-2., MTA Műszerügyi és Méréstechnikai Közlemények, 69.-70. szám, 2002.
6. Monostory I.: Valószínűségelmélet és matematikai statisztika, Műegyetemi Kiadó, 2001.
7. A szövegben említett MSZ EN és ISO szabványok, ajánlások