

Ipari áramlásmérés

Anyagáramlás-, mennyiségmérési igények meghatározásának szempontjai

Mielőtt megtervezünk bármilyen anyagáramlást (mennyiséget) mérő rendszert, és kiválasztjuk a hozzá szükséges mérőeszközöket, tisztában kell lennünk azzal a feladattal és azokkal az igényekkel, amelyeknek kielégítésére a mennyiségmérő rendszer hivatott.

Az igény meghatározásának nagyon sokféle szempontja lehet, ám úgy tartjuk, hogy a mérés **pontosságának és megbízhatóságának** ismérvei azok a legfontosabb jellemzők, amelyek alapján csoportosítani lehet az áramlásmérési igényeket. Az itt bemutatott csoportosítás egyúttal a mérés megvalósításához szükséges költségszinteket is elég jól meghatározza.



Etalonok:

Az úgynevezett etalon mérések állnak a hierarchia csúcsán. Ezek a mérési eljárások és mérőberendezések valósítják meg az adott mérési terület legfejlettebb technikai színvonalát. Ilyen mérőberendezésekkel rendelkeznek az áramlásmérő eszközöket gyártó világcégek, a nemzeti kalibráló laboratóriumok, a nemzetközileg elismert és feljogosított mérőállomások, esetleg némely kiemelt oktatási intézmény vagy kutatóhely. Általában a folyadék- és gázáramlások etalon mérő állomásai külön-külön szerveződnek, továbbá az olaj- és gázipar szintén külön tart fenn magának világszerte ilyen mérőállomásokat. Az etalon mérések, illetve mérőeszközök osztályozására jó példát találunk az **ISO/TR 5168:1998** (E) kiadványban.

A fizikai módszereket tekintve mérőetalonként használhatók:

- golyós kalibráló berendezések (proverek),
- precíziós mérlegek
- köböző edények,
- szonikus mérőtorkok,
- precíziós mérőturbinák,
- ultrahangos mestermérők stb.

Ezek a berendezések és az ezekkel megépült mérőállomások természetesen rendkívül drágák.

Elszámolási mérések:

A pénzügyi elszámolás alapmérési jelentik a következő csoportot. Ilyen elszámolási mérőállomásokat szoktak építeni nagy anyag- és energia mennyiségek átadásakor vagy átvételkor, energiatermelő és nagy fogyasztó létesítmények ki- és bemeneti pontjain. Ide tartoznak például az országhatárokon áthaladó olaj- és földgáz vezetékek mérőállomásai, vagy a fűtőerőművek ún. "kapumérései" stb. Az angol, amerikai szakirodalom "**custody transfer**" méréseknek nevezi ezt a kategóriát.

A legismertebb eljárások és eszközök:

- mérőperemes mérőszakaszok, - turbinás mérőállomások, - több sugárutas ultrahangos folyadék- és gázmérők, - újabban közvetlen tömegárammérők.

Az ilyen elszámolási mérések alapvető tartozékai a nagyon pontos érzékelők, távadók és hozamszámító (flow-computer) készülékek. Földgáz elszámolási mérések esetében a mérőállomások gyakran gázkromatográfot is tartalmaznak.

Példaként említjük, hogy egy DN 400, PN 40 méretű földgáz átadó mérőállomás hozzávetőleges költsége jelenleg 12...20 millió Ft!

Üzemviteli mérések:

Az ipari technológiák minden területén fontos a különféle csővezetékeken áthaladó anyagmennyiségek meghatározása. Ezt a típusú anyagmennyiség-számlálást a fentiekhez képest már olcsóbb mérőeszközökkel is gazdaságosan meg lehet valósítani. Ilyen méréseket tartalmaznak a különféle technológiai részlegek közötti vezetékrendszerek, valamely üzemek vagy üzemrészek energia-betáplálási helyei, adagolási- és kimérési folyamatok mérőpontjai stb. Erre a feladatra folyadékok esetében kiválóan alkalmasak a **térfogat-kiszorításos** mérőeszközök (oválkerekes, bolygódugattyús, lapátkerekes stb mérők). Folyadékokra, gőzökre és gázokra egyaránt jól használhatóak a **mérőperemek**, az **örvénymérők**, a **turbinás** áramlásmérők stb. A fogyasztásméréshez itt is elengedhetetlen a megbízható hozamszámító készülék alkalmazása. Az ilyen mérések tervezésekor és kiépítésekor különösen nagy tere van a gazdaságossági elemzéseknek, a beruházási, üzemeltetési, karbantartási költségek, valamint a megtérülés józan felméréseinek. Ugyanarra a feladatra gyakorlatilag ugyanolyan jó lehet két különböző típusú és gyártmányú készülék, amelyek között viszont 4-5-szörös árkülönbség lehet!

Egyéb mérések:

Külön csoportba oszthatók az anyagmozgások figyelésére és anyagáramlások jelzésére szolgáló módszerek és eszközök. Ide tartoznak a tájékoztató jellegű technológiai mérések, amelyek többnyire csupán valamilyen átlagos mennyiségi érték becslésére, fogyasztások szélső értékeinek megállapítására szolgálnak. Ugyancsak ide sorolhatók az áramlásjelző és áramláskapcsoló eszközök amelyeknek feladata, valamely határértékek figyelése, vezérlési, üzembiztonsági, esetleg részjelzési háttér-funkciók megvalósítása. Az ilyen eszközökkel szemben a legfontosabb követelmény a megbízható **ismétlőképesség** és másodlagos az abszolút értelemben vett pontosság. A fizikai elvek és eszközök közül kiemeljük a **torlótárcsás**, **torlórugós** áramláskapcsolókat, valamint a **hőelvonásos** (termikus diszperziós) tömegáram jelző készülékeket. Természetesen bármely üzembiztosan működő áramlásmérő eszköz használható erre a célra, amennyiben a folyamatos jelet szolgáltató jelképzőhöz vagy távadóhoz határérték kapcsoló (komparátor) egységet illesztünk. Az önálló áramláskapcsoló eszközök ma már elég olcsón kaphatók és ahol a folyamatos mérés nem igény, ott ezek alkalmazása ajánlott.

Az előzőekben felsorolt mérésfajták képezik mind az iparban, mind a kommunális szolgáltató hálózatokban alkalmazott áramlásmérések zömét. Külön kell említést tennünk a gyógyászatban és az **orvostechikában** alkalmazott speciális áramlásmérő berendezésekről, amelyek minősítése és kezelése teljesen elkülönült az ipari eszközökétől. Ezek az oldalakon a továbbiakban ilyen mérésekkel nem foglalkozunk.

Ismét csak külön csoportba oszthatók a kísérleti kutatási mérések. Ebben a kategóriában az eddig említett bármely mérési mód vagy mérőeszköz előfordulhat és alkalmas lehet, sőt bizonyos kísérletek esetében a legmeglepőbb kombinációban állítják össze a kísérletek idejére a mérőrendszert.

Az ipari áramlásmérési módszerek és eszközök választékának áttekintése

A választékot a működés alapvető fizikai elve és módszere, valamint az ezeket alkalmazó eszközök megkülönböztethetősége alapján állítottuk össze. Minden más rendező elv (a mérendő anyag halmazállapota, a szerkezeti jellemzők, pontosság, gyártmány-típus stb.) kevésbé alkalmas a mérés/mérő működési lényegének megértésére, ezáltal az alkalmazás előnyeinek és korlátainak felelős mérlegelésére.

Az alábbiakban az iparban használatos legelterjedtebb mérési elveket és a

készülékfeleségeket soroljuk fel. A tudományos kutatás és a nagy kalibráló laboratóriumok ezeken kívül is használnak eszközöket, melyeket most nem tárgyalunk.

Áramlási sebességet mérő eszközök:

- Turbinás mérők
- Szárnykerekű mérők
- Örvényleválást és örvényhaladást mérők
- Elektromágneses folyadékmérők
- Ultrahangos áramlásmérők
- Különböző nyomjelző mérőberendezések



Ezekkel az eszközökkel közvetlenül mindig csak a tényleges térfogatáramot mérjük, a tömegáram meghatározásához még sűrűségszámításra vagy közvetlen mérésre is szükség van. Az elektromágneses, a turbinás és az ultrahangos mérők másodlagos és használati etalonokként is jól alkalmazhatóak.

Fenti képünkön a Mexico melletti Guadalupe sziget által keltett felhőörvények láthatóak, illusztrálандó az örvényleválásos mérők elvét.

Térfogat-kiszorításos mérők:

- Forgódugattyús mérők
- Bolygódugattyús mérők
- Oválkerekű átfolyásmérők
- Fogaskerekű átfolyásmérők
- Bolygótárcsás mérők
- Forgódobos térfogat-számlálók
- Membrános gázmérő(óra)k



Jellemzőjük a finoman illesztett mechanikus mérőművel végrehajtott térfogat(adag)számlálás megvalósítása. Legtöbbször önálló, kompakt mérőként gyártják, helyi kijelző és számlálószervezettel. Opcióként távadóval, távszámlálásra alkalmas impulzusadóval stb. is szállítják ezeket a típusokat.

Az oválkerekű, a forgó- és bolygódugattyús átfolyásmérők a legpontosabb folyadékmérőknek számítanak (0,1...0,25% !)

Tömegáram-mérő eszközök:

Ezek jellemzője, hogy a mérőmű és/vagy mérőjelképző szerkezet kimenőjele közvetlenül az áthaladó tömegárammal arányos.

- Termometriás (hőelvonásos, DT-szenzoros stb.) áramlásmérők
- Coriolis erő hatását használó mérők
- Giroszkópos mérők
- Hangsebességű (szónikus) mérőtorok és Venturi -fúvóka
- Hidraulikus Wheatstone híd



A giroszkópos mérő és a hidraulikus Wheatstone híd nálunk (és általában Európában) a ritkán használatos eszközök közé tartozik. Folyadékok tömegáramának mérésére használják. A hidraulikus Wheatstone híddal 50...100-szoros átfogás is megvalósítható, és elérhető a 0,5 % relatív mérési hiba.

Közvetett vagy összetett működésű mérők:

Az elnevezés onnan adódik, hogy az ide sorolt jelképző eszközök legalább kétféle fizikai, pontosabban áramlástanai jellemző együttes hatásából képződő kimenőjelet szolgáltatnak. Általában összetett hidromechanikai és kinematikai jelenségek illetve folyamatok zajlanak le a primer eszközben és annak áramlástechnikailag mérvadó környezetében. Ilyenek:

- Mérőperem, mérőtorkok, Venturi cső
- Torlócsövek (átlagoló Pitot-cső)
- Rotaméter (változó keresztmetszetű mérő)
- Torlórugós mérők
- Céltáblás áramlásjelző, -mérő



Az első három típusba tartozó eszközök az iparban eléggé elterjedtek, nagy hagyománnyal rendelkező, kipróbált és bevált áramlásmérőknek számítanak. A mérőperemet, mérőtorkot, Venturi csövet és torlócsövet D_p (nyomáskülönbség) elvű mérőknek is nevezik. A velük kiépített mérőkörök dp -távadót és intelligens hozamszámító készüléket igényelnek. Az ilyen típusú mérőrendszerek képezik az elszámolási mennyiségmérések 65...80%-át szerte a világon!

Áramló folyadékok mennyiségének mérése

Az áramló közegek mérései közül a folyadékok mérésére jöttek létre a legrégebbi technikák. Ókori tárgyi és írásos leletek bizonyítják, hogy a nyitott és zárt csatornában már egészen szellemes eszközökkel mérték a víz hozamát. Érdeemes először a folyadék halmazállapotának korszerű meghatározását felidéznünk: folyadékállapotnak tekintjük azt az anyagállapotot, amelyben az alkotórészek mozgási energiája nagyobb, mint a részecskék közötti kötési energia, de kisebb, mint a molekulák közötti kohéziós erők energiája. Természetesen igaz a hagyományos és szemléletes leírás is, miszerint az a folyadék, amely úgy tölti ki az őt befogadó edényt, hogy annak alakját torzítatlanul felveszi.

Reynolds-szám

A mozgó folyadékok áramlástanai viselkedésének és hasonlóságának leírására szolgáló, általánosan érvényes összefüggést Osborne Reynolds angol fizikus (1842-1912) állította fel. Az ő nevét viseli az úgynevezett Reynolds szám, amely mindmáig a legfontosabb jellemzője a csőben mozgó anyagok kinematikai viselkedésének. A Reynolds szám az áramló anyagban fellépő tehetetlenségi erők és belső súrlódási erők hányadosa:



$$Re_D = (v \cdot D) / \nu = (4 \cdot q_m) / (\pi \cdot \mu \cdot D) \quad \text{és} \quad \nu = \mu / \rho$$

v : áramlási sebesség, D : csőátmérő, ν : kinematikai viszkozitás,
 q_m : tömegáram, μ : dinamikai (abszolút) viszkozitás, ρ : sűrűség.

Lamináris vagy turbulens ?

Fontos megkülönböztetnünk a lamináris és turbulens áramlást. Lamináris az áramlás akkor, ha a közegben a súrlódási erők nagyobbak a tehetetlenségi erőkhez képest, - ilyenkor az áramvonalak egymás mellett, **rétegesen** futnak a csőtengellyel párhuzamosan. Turbulens az áramlás akkor, ha az áramló anyagban a tehetetlenségi erők nagyobbak, mint a súrlódási erők, ilyenkor az áramvonalak teljesen szabálytalanul egymásba fonódnak.

Az ipari gyakorlatban csaknem kizárólag turbulens áramlásokat kell mérni. A turbulens áramlási tartományt jól jellemzi a Reynolds szám értéke: turbulensnek mondjuk az áramlást, ha a **Re_D kisebb mint 4000**. Általában ez az érték szabja meg az áramlásmérő eszközök alkalmazhatóságának alsó határát.

Mivel mérjük folyadékot?

A folyadékok térfogatáramának vagy tömegáramának mérésével és számításokkal való meghatározása sokkal egyszerűbb mint a gázoké vagy gőzöké, mert a gyakorlatban a folyadékok összenyomhatatlan anyagként kezelhetők, sűrűségük és viszkozitásuk csak a hőmérséklettől függ.

A mérőrendszerek tervezésekor és a mérőeszközök kiválasztásakor fontos szempont a várható áramlási **sebességhatárok** ismerete. A legkisebb mérhető sebesség a műszer "megszólalási" küszöbértékéről és a minimálisan szükséges Reynolds szám értékétől függ, a legnagyobb sebességet a mérőeszköz konstrukciós adatai és a kavitációs határ szabja meg.

Folyadékot a 2. részben felsorolt csaknem minden áramlásmérő eszközzel jól lehet mérni, kivéve természetesen a kifejezetten gázokra kifejlesztett műszereket.

- A lamináris tartományba tartozó **igen kicsiny** anyagáramok mérésére a hidraulikus Ohm törvény alkalmazásán vagy termometriás elven alapuló speciális mérőeszközöket szoktak használni.

- A legnagyobb múltjuk a térfogat kiszorításos mérőknek van, pontosságuk és megbízhatóságuk okán ezek nagyon elterjedtek és népszerűek.

- Az áramlási **sebességet mérő** eszközök közül mindegyik alkalmas folyadékok mérésére. Ezek közül, mint korszerű és legjobban fejlődő műszercsaládokat kiemeljük az elektromágneses átfolyásmérőket és az ultrahangos mennyiségmérőket.

Az **elektromágneses** mérőket már igen kis vezetőképességű folyadékok mérésére, imponálóan széles méretválasztékban (DN5...DN3000) gyárt a műszeripar. A műszerekkel akár 100-szoros átfogás is megvalósítható. Tipikus pontosság: 0,5%.

Az **ultrahangos** áramlásmérők ma még elég drágák, de egyre pontosabb és megbízhatóbb gyártmányok jelennek meg a piacon. Ezekkel is elérhető az 50- 100-szoros átfogás. Jellemző pontosságuk: 0,75...1% (több sugárutas készülékkel elérhető a 0,25% !)

Alkalmazási előnyök:

Sem az elektromágneses, sem az ultrahangos mérő nem okoz áramlási (nyomás) veszteséget a csővezetékben. Mindkét műszerfajta alkalmas kétirányú mérésre is. Alkalmazási hőmérséklet határuk: +250 °C.

Számítómű

A folyadékáramlást mérő rendszerekben nem szükséges bonyolult hozamszámító

készülék (Flow Computer) alkalmazása. Sokszor csak egyszerű összegzőművel, igényesebb esetekben hőmérséklet-korrekciós taggal kiegészítve dolgozzák fel a közvetlen áramlásmérő térfogatáram-arányos jelét. Kritikus technológiai mérésekhez, elszámolási alpmérésekhez valamint többfázisú folyadékok (pl. olaj-víz keverék) méréséhez természetesen korszerű, intelligens hozamszámító készülékek szükségesek.

Áramló gázok mennyiségének mérése

Ez a mérési terület igényli a legtöbb fizikai-kémiai megfontolást, rész-mérést és a legnagyobb eszköztárat is. Ez a gáznemű anyagok mechanikai, kinematikai viselkedéséből, és a leírásukra rendelkezésre álló matematikai eljárások viszonylagos bonyolultságából következik.



Az ideális gázokra érvényes a Boyle-Mariotte törvény, a valós gázok megközelítőleg pontos leírását pedig 1873 óta ismerjük, amikor - a jobboldali képünkön látható - Nobel-díjas tudós, **Van der Waals** (1837-1923) publikálta egyenleteit. A számítások finomítása, továbbfejlesztése az un. viriál egyenletek kidolgozásához vezetett az 1930-as években. A közelítések tökéletesítése, a leírás finomítása ma is folyik.

Gáznak tekintjük azt az anyagot, amelyben a molekulák mozgási energiája nagyobb, mint a belső kötési energia, és a kohéziós erők elhanyagolhatóak. Az ilyen anyagok hőmérséklete a kritikus hőmérsékletnél nagyobb, azaz hiába nyomjuk össze, soha nem lesz belőlük folyadék. Az alapvető gáztörvények részletezése nélkül induljunk ki abból, hogy a gázok nyomás- és hőmérsékletfüggő sűrűségét a következő összefüggés írja le:

$$\rho = \rho_0 \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T} \cdot \frac{Z_0}{Z} = \rho_0 \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T} \cdot \frac{1}{K}$$

Az egyenletben szereplő tényezők jelentése:

- ρ : a gáz sűrűsége a mérendő üzemi állapotban (kg/m^3)
- ρ_0 : a gáz normál sűrűsége (szabványokban meghatározott nyomáson és hőmérsékleten mért érték)
- p, p_0 : az abszolút nyomás üzemi és normál értékei (bar)
- T, T_0 : az abszolút hőmérséklet üzemi értéke és 273,15 (K)
- Z, Z_0 : a reális gáz kompressziós tényezője üzemi és normál állapotban
- $K=Z/Z_0$: a kompresszibilitási tényező

Az áramlástanban számításokban általánosan használatos jellemző az anyagok sűrűsége, ezért lényeges a fenti egyenlet ismerete és megoldásának beépítése a korszerű hozamszámító készülékekbe (Flow Computer-ekbe).

ρ_0 , Z_0 értékei a gáz molekuláris összetételétől és a választott normál állapot rögzített adataitól függenek. Z (és így K) értéke minden egyes gáz és gázkeverék esetében **más-más módon** függ a nyomás és hőmérséklet változásától. Ez az alapja annak, hogy igen pontos gázmennyiség-mérést csak úgy valósíthatunk meg, ha az **ismert összetételű** gáznak a nyomását és hőmérsékletét is folyamatosan mérjük és ezekből számítjuk a tényleges sűrűséget.

Szabványok

Ezeket a számítási eljárásokat és az ajánlott algoritmusokat az **ISO 12213-1,-2,-3** valamint az ebben hivatkozott **ISO 6976** és **(MSZ) ISO 13443** dokumentumok tartalmazzák. Ezek magukban foglalják az **AGA 8-92DC** és a **GERG-88** ajánlásokat is, amelyeket ezen az önálló néven is ismer a szakirodalom.

Egyszerűbb esetekben, kis nyomásokon és az átlagos környezeti hőmérsékleteken a gázokat ideálisnak is vehetjük, ami azt jelenti, hogy a fenti egyenletekben $K=1$, és ezzel a klasszikus Boyle-Mariotte törvény alakjához jutunk. Egyéb áramlástanai vonatkozásban a gázok mérésekor is érvényesek a folyadékok fejezetben tett általános megállapítások. Itt is ugyanaz pl. a Reynolds szám jelentése és szerepe, mint a folyadékok esetében.

Mérőműszerek

Az áramlásmérő eszközök működésének alapját ugyanúgy a Bernoulli és kontinuitási egyenletek, illetve egyéb mechanikai és termodinamikai törvények képezik és határozzák meg.

Klasszikus gázmennyiség-mérő eszközök:

- a membrános gázmérő ("gázóra")
- a forgódugattyús térfogatszámoló
- a mérőperem, a mérőtorok és a Venturi csöves mérő
- a torlócsöves szondák (átlagoló Pitot-cső)
- a turbinás gázmérők
- a rotaméter

Újabb, korszerű eszközök (kb. 1985-től):

- az örvényleválásos (Vortex) mérő
- az ultrahangos gázáramlás-mérő (Ultrasonic Flow Meter= UFM)
- a hőelvonásos (termál-diszperziós) tömegárammérő
- a Coriolis erőt használó tömegárammérő

Természetesen vannak a fentiekén kívül egyéb, rendkívül bonyolult vagy éppen primitíven egyszerű áramlásjelző, -mérő eszközök is, hiszen a gázmérés piaca mind igény, mind kínálat szempontjából szinte áttekinthetetlenül nagy.

Hozam-számítómű

A korszerű - főleg az elszámolás alapját képező - mérőrendszerek elengedhetetlen része az intelligens hozam-számítómű (flow computer), amelynek egyik legfontosabb feladata a fent érintett sűrűségszámítás elvégzése minden időpillanatban.

Gázkeverékek (pl. földgáz) esetében, amikor akár 10-15 komponens mol%-ának folyamatos változásával kell számolnunk, igen intelligens készülékre van szükségünk ha az alapvető átfolyási egyenleteken kívül a már említett viriál egyenleteket megoldva, a **kompresszibilitás** mindenkori értékét is elfogadható pontossággal akarjuk meghatározni.

Pontosság

A legkorszerűbb gázmennyiség mérőállomásokon ma már a **0,75...1,25%** -os eredő térfogatáram-mérési- és 1,5...2,5%-os tömegáram-mérési bizonytalanság érhető el. Erre a pontosságra tartós üzemben elsősorban a **mérőperemes** és az **UFM** rendszerek képesek.

Amennyiben a gáz nem túl szennyezett és a mérőállomás gépészeti, hidromechanikai kialakítása ezt lehetővé teszi, továbbá igen fejlett az üzemeltetési és karbantartási **kultúra**, akkor a mai turbinákkal is igen jó eredmények érhetőek el. A turbinagyártók katalógusaiban újabban találunk olyan specifikációt, amely 0,15...0,25%-os pontosságot ígér. Ilyenkor mindig figyelembe kell venni, hogy az ilyen turbinával megvalósított teljes mérőrendszer térfogatáramra vonatkoztatott eredő bizonytalansága a valóságban legjobb esetben is **1...1,5%** lehet!

Hőteljesítmény és hőmennyiség mérése

Az áramlásmérés egyik gyakori célja a folyadékok és gőzök által szállított hőmennyiség mérése. A hőszállító és hőközlő anyag az ipari gyakorlatban csaknem kizárólag a víz és a vízgőz.

A hőteljesítményt a tömegáram és a fajlagos entalpia pillanatértékeinek szorzataként határozhatjuk meg, a szállított hőmennyiséget pedig a hőteljesítmény időbeli integrálásával (folyamatos összegzésével) kapjuk. A mérőrendszer két, jól megkülönböztethető részből áll:

- folyamatos tömegáram-mérésből és
- folyamatos hőmérséklet(különbség) -mérésből

A tömegáram-méréssel az előző részekben már foglalkoztunk. Itt csupán azt kívánjuk hangsúlyozni, hogy minden egyes feladat esetében tudni kell, hogy az alkalmazott primer jelképző és távadó eszköz térfogat- vagy tömegáramot mér. A térfogatáramot minden esetben át kell számítani tömegárammá ahhoz, hogy a hőteljesítményhez, mint mérendő részadathoz jussunk!

A hőmérsékletmérés

A hőmérsékletnek a hőmennyiségmérésben kettőzött szerepe van, mert egyrészt a **tömegáram** meghatározásában, másrészt az **entalpia** (belső energiatartalom) számításában van szükség az abszolút hőmérséklet Kelvinben kifejezett értékére. Ezért az alkalmazott hőmérsékletérzékelők (távadók) valamint az egész hőmérsékletmérő kör **pontossága** nagyon érzékenyen befolyásolja a hőmennyiség-mérés eredő pontosságát. Különösen a hőmennyiség-különbség közvetlen mérőkörében fontos az "előremenő" és a "visszatérő" ágak hőmérsékletének **lehető legpontosabb** mérése. Ezt a hőmérő pár együttfutásának biztosításával, (válogatással, többpontos kalibrálással) valamint gondos beépítéssel és hatásos hőszigeteléssel kell biztosítani. Ipari körülmények között azonban a legszerencsésebb esetben sem lehet ezen értékeket 0,25 K-nél kisebb hibával meghatározni, a biztonságosan mérhető hőmérséklet-különbség pedig 1 K-nél nem lehet kevesebb!

A víz és egyéb folyadék

Az itt használt hőmennyiség-mérők legtöbbször a következő, egyszerű összefüggést használják:

$$Q = q_m \times c \times \Delta t$$

ahol Q = hőteljesítmény, q_m = tömegáram, c = fajlagos hőkapacitás és delta t = a hőmérséklet-különbség.

A "c" értékét egyszerűbb esetben egyetlen állandóval, vagy (komolyabb méréseknél) **hőmérsékletfüggő** táblázatos adatokkal veszik figyelembe, attól függően, hogy mekkora a pontossági igény. Így működnek a háztartási vagy kisüzemi (kompakt) melegvizes hőmennyiség-mérők is, amelyek általában egy forgóelemes térfogatáram-mérőből és egy hőmérő-párból állnak.

Vízgőz

A vízgőz hőmennyiségének mérésekor **jóval bonyolultabb** számításokat kell végrehajtani. Szükség van a fajtérfogat és fajlagos entalpia folyamatos és egyidejű számítására. A számításokat a mindenkori nyomás- és hőmérsékletértékekből, valamint a tömegsebességre jellemző mennyiségi jelből, a kritikus nyomás- és hőmérséklet-értékek és egyéb termodinamikai állandók felhasználásával tudjuk elvégezni. Ezekhez a műveletekhez mindig intelligens hozamszámító eszközökre van szükség.

Mivel mérjük?

A primer mérőeszközök közül a következők használata a legelterjedtebb:

- Szárnykerekű melegvízmérők (kisüzemi kompakt eszközök)
- Turbinás mérővel működő rendszerek - csak vízre!
- Elektromágneses áramlásmérő/távadók - csak vízre!
- Mérőperemes jelképzők dp/i távadókkal - vízre és vízgőzre
- Ultrahangos mennyiségmérők - csak vízre!

Természetesen minden tömegáram-mérővel lehet hőmennyiségmérő kört építeni. Mindezek alapján azt lehet mondani, hogy a tömegárammérés hibahatárait is figyelembe véve, a különféle mérési módszerekre a következő eredő **mérési bizonytalanságok** a jellemzők (a +30... +150 °C tipikus tartományban):

- kisüzemi kompakt hőfogyasztásmérők: 3%
- turbinás mérőrendszerek: (1,5...1,75)%
- mérőperemes mérőkörök: (0,9...1,25)%
- elektromágneses mérővel működő mérések: (0,75...1)%
- ultrahangos mérőrendszerek: (0,6...1,1)%

A korszerű hőtéljesítmény- és hőmennyiség-mérő rendszereknek fentiek miatt elengedhetetlen része az összetett és folyamatos termodinamikai számítási algoritmus. Elszámolási mérés esetében garantálni kell az algoritmus (és a mérőberendezés) megváltoztathatatlanágát és OMH hitelesíthetőségét. Ez legkönnyebben kompakt, **intelligens hozamszámító** készülékekkel valósítható meg.