

## A CEN új normatív dokumentuma: a Workshop Agreement

A CEN (Európai Szabványosítási Bizottság; Comité Européen de Normalisation) újabb keletű normatív dokumentumával immár a magyar műszaki életben is találkozhatunk. A Workshop Agreement magyar elnevezése a szószerinti fordítás alapján Műhelymegállapodás lehetne, de ennél találóbb megoldásra jutunk, ha megismerjük ennek a dokumentumtípusnak néhány tulajdonságát. Addig feltételesen nevezzük Megállapodásnak.

A mechanikai vizsgálatok körében a közelmúltban több európai szabvány és néhány Megállapodás is született. Ezt az utóbbi dokumentumtípust a CWA 15261-2 „Measurement uncertainties in mechanical tests on metallic materials – Part 2: The evaluation of uncertainties in tensile testing” (Mérési bizonytalanságok a fémek mechanikai vizsgálataiban - 2. Rész: A szakítószilárdság-vizsgálat bizonytalanságának értékelése) alapján mutatjuk be.

A Megállapodás tervezetét az érdekelt felek képviselőinek értekezlete készíti el és hagyja jóvá, amelynek összetételét az Előszó ismerteti. A Megállapodás kidolgozása során az értekezlet által követett hivatalos eljárást a CEN tagállamai hagyják jóvá, de sem a tagállamok bármelyike, sem a CEN Irányító Központja (CEN Management Centre) nem tekinthető felelősnek a Megállapodás műszaki tartalmáért, vagy a szabványokkal illetve jogszabályokkal való esetleges ütközéseiről. A Megállapodás semmiképpen sem tekinthető a CEN és tagállamai által kidolgozott hivatalos szabványnak. Mint referencia-dokumentum, a CEN tagállamok nemzeti szabványügyi testületeitől – köztük az MSZT-től – szerezhető be.

A Megállapodásban megvalósított szakmai konszenzust támogató személyek és szervezetek felsorolását a Megállapodás igénylői a CEN Irányító Központjától szerezhetik be. A szervezeteket a gazdaság különféle szektoraiból választják ki, többek között az egyetemek, az akkreditáló szervezetek, az úrkutatás, az automatizálás, a nyersanyagtermelés, az anyagvizsgáló laboratóriumok, a nemzeti szabványügyi szervezetek és az energiaszolgáltatók területéről. A Megállapodásra vonatkozó felhasználói észrevételeket és javaslatokat a CEN Irányító Központja fogadja.

A Megállapodások egy jelentős hányada a mérési bizonytalanság kérdéssel foglalkozik. Ennek az oka feltehetően az, hogy a mérési bizonytalanságot tárgyaló ISO útmutató (Guide to the expression of uncertainty in measurement; **GUM**) a gyakorlati alkalmazásnak csak néhány tipikus példáját mutatja be. A GUM 3.4.8. pontjában írtak arra hívják fel a figyelmet, hogy „az Útmutató nem helyettesítheti a kritikus gondolkodást, az intellektuális tisztességet és a szakmai hozzáértést. A bizonytalanság értékelése nem rutinfeladat, nem tisztán matematikai probléma, hanem függ a mérendő mennyiség természetére és a mérésekre vonatkozó részletes ismeretektől.” A mérési bizonytalanság értékelésekor bizonyos fokig szabad kezünk van, de ezzel arányosan nő a felelősségünk a közölt bizonytalanság értékének helyességéért. A gyakorlati mérések sokfélesége a számítási módszerek sokféleségét igényli, és amíg a célhoz nem

mindig vezet kitaposott út, addig a számítási eljárásokat célszerű a szabványnál kevésbé szigorú, de az érdekelt felek egyetértését tükröző dokumentumban lefektetni.

Ez a megoldás a metrológia más területén is hasznosnak bizonyult. A törvényes metrológiai szótár például egy workshop résztvevőinek közös munkájaként öltött olyan formát, hogy azt a Nemzetközi Mérésügyi Szervezet (OIML) tagállamai elfogadták.

A példaként kiválasztott CWA 15261-2 alapja a GUM. A Megállapodásban alkalmazott szakkifejezések meghatározása esetenként kissé eltér a Nemzetközi Metrológiai Értelmező Szótárban (International Vocabulary of basic and general terms in metrology, **VIM**) olvashatótól, és a mindennapi laboratóriumi munka igényeihez igazodik. A különféle mérési és vizsgálati eljárásokra vonatkozó Megállapodások mérési bizonytalanságot tárgyaló része csak kis mértékben tér el egymástól.

A mérési bizonytalansággal foglalkozó Megállapodások felépítése a következő:

- Előszó
- Értelmezés és a használat módja
- Bevezetés
- Hatály
- Szakkifejezések, meghatározások és jelölések
- A bizonytalanság értékelésének eljárása
- Az eredmények közzlése
- Matematikai képletek a bizonytalanság kiszámításához
- A bizonytalanság kiszámításának kidolgozott példái
- Irodalom

Az **Előszó** tájékoztat a dokumentum keletkezésének körülményeiről és időpontjáról, jóváhagyásának dátumáról és a beszerezhetőségéről.

Az **Értelmezés és a használat módja** fejezetben adott meghatározás szerint a bizonytalanság paraméter, amely azt a mérés vagy a vizsgálat eredménye körüli tartományt jellemzi, amelyről feltételezhető, hogy magába foglalja a mérendő mennyiség értékét. A bizonytalanság mennyiségileg meghatározza a vizsgálati eredmény precizitását, visszatükrözi a vizsgálórendszer és a vizsgálati eljárás korlátozásait, valamint a vizsgálat eredményét befolyásoló paraméterek szabályozásának szintjét.

A CEN Műszaki Testületének (CEN Technical Board) BT 21/2003 határozata szerint minden új európai szabványnak foglalkoznia kell a mérési bizonytalansággal. Minden szabványnak tartalmaznia kell a mérési bizonytalanság értékelését és/vagy a precizitás értékeit (azaz a megismételhetőséget és a reprodukálhatóságot).

A Megállapodás minden egyes része önálló dokumentumként használható. Használható a megfelelő vizsgálati szabvánnyal együtt is, attól függően, hogy a vizsgálati szabványért felelős műszaki bizottság miképpen dönt a használat módjáról.

Hacsak a vizsgálati szabvány másképpen nem rendelkezik, a Megállapodásban leírt eljárásnak a következő követelmények közül egyet vagy többet ki kell elégítenie:

- Ki kell elégíteni az adott felhasználói igényeket. [Ilyen esetekben a vizsgálati program végrehajtása *előtt* egyeztetni kell a következőket: (i) azt a vizsgálatot vagy azokat a vizsgálatokat, amelyeknek ki kell értékelni a bizonytalanságát, (ii) a Megállapodásban foglalt eljárásoktól való megengedett eltéréseket, ha vannak ilyenek, és (iii) a bizonytalanságelemzések elvégzésének többletmunka- és költségigényét, valamint azt, hogy ezt a költséget kinek kell fedeznie.]
- Bizonyítani kell egy akkreditáló szerv előtt a laboratórium képességét a bizonytalanságelemzés elvégzésére.
- Rendezni kell a vizsgálati eredmények precizitásával kapcsolatos vitákat.
- A vizsgálólaboratóriumnak meg kell határoznia, hogy a vizsgálati eljárás melyik eleme befolyásolja leginkább az eredményeket, és így melyiket kell javítani vagy folyamatosan felügyelni.

A forgalomba hozatali vizsgálatoknál az elemzések elvégzésére rendszerint nincs szükség akkor, ha a bizonytalanságokat már a specifikációs értékekben figyelembe vették.

A mértékadó bizonytalanságelemzésnél ügyelni kell annak a biztosítására, hogy legalább az elsődleges bizonytalanságforrásokat bevonják az elemzésbe, és hogy azok hatását mennyiségileg megfelelően vegyék számításba. Ugyancsak ügyelni kell a számítások eredményeinek közzlésére és értelmezésére.

A **Bevezetés** hangsúlyozza, hogy a vizsgálólaboratóriumokat akkreditáló szervezetek megkövetelik a mérési bizonytalanság értékelését és közzlését. Ezt a követelményt a vevő is támaszthatja, aki tudni kívánja, hogy a közzlöt eredmény milyen határok között tekinthető megbízhatónak. Az is lehetséges, hogy maga a laboratórium akarja jobban tudni, hogy a vizsgálati eljárás melyik eleme befolyásolja leginkább a vizsgálat eredményét, hogy azt tökéletesítse, vagy szorosabban szemmel tartsa. A Megállapodás olyan általános eljárásokat szándékozik nyújtani, amelyek egyrészt összhangban vannak a GUM-mal, másrészt olyanokat, amelyeket a vevők, a vizsgálólaboratóriumok és az akkreditáló szervek könnyen tudnak értelmezni.

A „hatály” szónak a Megállapodások esetében inkább a „témakör” vagy a „tárgy” felelne meg, mert az **1. Hatály** fejezet azt a vizsgálati módszert körvonalazza, amelynek a bizonytalanságát kell értékelni, és tömören megadja a vizsgálati feltételeket.

A **Szakkifejezések, meghatározások és jelölések** fejezet tartalma többé-kevésbé összhangban van a GUM-mal, de megállapítja, hogy a vizsgálati szabványok és a

**GUM** között bizonyos eltérések állnak fenn, és ilyen esetekben a vizsgálati szabványok szóhasználatát részesíti előnyben.

A 3. fejezet a **bizonytalanság értékelésének eljárását** a következőképpen tárgyalja:

Az eljárás a következő 5 lépésből áll: (1) azoknak a mérendő mennyiségeknek a meghatározása, amelyeknek a bizonytalanságát értékelni kell, (2) a vizsgálatban fellépő valamennyi bizonytalanságforrás azonosítása, (3) a standard bizonytalanság mennyiségi meghatározása (és a társított valószínűségeloszlás meghatározása) minden bizonytalanságforrásra, (4) az eredő standard bizonytalanság kiszámítása, és végül (5) a kiterjesztett bizonytalanság meghatározása (95%-os konfidenciaszint mellett).

Egy másik Megállapodás, a CWA 15261-3, amely a kúszásvizsgálat bizonytalanságával foglalkozik, ugyancsak 5 lépésből álló eljárást ír elő, de a 3. lépés külön említi az érzékenységi tényezők becslését, a 4. lépés összevonja az eredő és a kiterjesztett bizonytalanság meghatározását, az 5. lépés pedig már az eredmények megadásának módját írja le.

Az **1. lépésben** fel kell sorolni minden olyan mérendő mennyiséget, amelyekre ki kell számítani a bizonytalanságot. A mérendő mennyiségek mérése általában nem közvetlenül, hanem közvetve történik, más mennyiségek mérése útján.

A CWA 15261-3 azokat tekinti mérendő mennyiségeknek, amelyek értékét a vizsgálat eredményeként meg kell adni.

A **2. lépésben** azonosítani kell azokat a bizonytalanságforrásokat, amelyek (közvetlenül vagy közvetve) befolyásolhatják a vizsgálatot. Ezek felsorolásának az azonosítását nem lehet előzetesen elvégezni, mert a bizonytalanságjegyzék egyedülállóan az adott vizsgálati eljárásra és vizsgálóeszközökre vonatkozik. Minden alkalommal új bizonytalanságjegyzéket kell összeállítani, ha valamelyik vizsgálati paraméter megváltozik. Annak érdekében, hogy a felhasználót segítsék a lista összeállításában, a bizonytalanságforrásokat négy csoportba sorolják: 1. vizsgálati tárgy, 2. vizsgálóberendezés, 3. környezet, 4. vizsgálati eljárás. A négy csoporton belül további finomabb felsorolás is lehetséges.

A CWA 15261-3 hangsúlyozza, hogy a bizonytalanságforrások bemutatott felsorolása nem teljes, mert az egyes befolyásoló mennyiségek hatásának mértéke függ a vizsgálat konkrét feltételeitől. Felhívja a figyelmet arra, hogy egyes mennyiségek egyaránt lehetnek mérendő mennyiségek és bizonytalanságforrások is.

A **3. lépés** a standard bizonytalanság becslése valamennyi bizonytalanságforrásra. A bizonytalanságforrásokat, attól függően, hogyan lehet a hatásukat mennyiségileg meghatározni, a GUM-mal összhangban *A-típusúként* és *B-típusúként* sorolják be. Ha a bizonytalanságot statisztikai eszközökkel értékelik nagy számú, ismételt észlelésből, akkor *A-típusú*. Ha az értékelése más módon történik, akkor *B-típusú*. A B-típusú bizonytalanságokhoz társított értékek több forrásból származhatnak, úgymint a

kalibrálási bizonyítványból, a gyártótól kapott tájékoztatásból, vagy szakértői véleményből. A B típusú bizonytalanságok esetében a felhasználónak mindegyik forrás esetén meg kell becsülnie a leginkább megfelelő valószínűségeloszlást.

A CWA 15261-3 henger alakú próbadarab példáján mutatja be, hogy az átmérő, ha egyszer mérik, vagy ha a műszaki leírásból veszik az értékét, akkor B-típusú, de ha tíz ismételt mérésének az átlagát fogadják el, akkor A-típusú értékelés tárgya.

A mérési folyamat általában a becsült bemenő mennyiségek és a kimenő mennyiség közötti függvénykapcsolattal modellezhető, amelynek a formája:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m).$$

A standard bizonytalanság értékeléséhez meg kell határozni a kapcsolódó  $c_i$  érzékenységi tényezőket, amelyek a kimenő mennyiség (a mérendő mennyiség) és a bemenő mennyiségek közötti függvénykapcsolat parciális deriváltjaiként állíthatók elő. Ez a számítás néha hosszadalmas lehet. Ha nem ismert egy adott mérés esetében a fenti függvénykapcsolat, akkor az érzékenységi tényezőket kísérleti úton kell meghatározni. Az is előfordulhat, hogy némelyik bemenő mennyiség nem a kimenő mennyiség egységében van kifejezve. Ilyen esetben egy  $c_T$  érzékenységi tényezőt (például a hőmérsékleti együtthatót) kell bevezetni, amely a bemenő mennyiséget megfelelő módon konvertálja.

A standard bizonytalanságot egyszeres szórásként kell meghatározni, és ez a bemenő mennyiség bizonytalanságának és egy  $d_v$  osztótényezőnek a hányadosaként állítható elő. Az osztótényezők a feltételezett valószínűségeloszlásnak felelnek meg, értékük a laboratóriumi gyakorlatban leggyakrabban előforduló eloszlások esetén a következő:

#### A $d_v$ osztótényező tipikus értékei,

| Valószínűségeloszlás         | $D_v$      |
|------------------------------|------------|
| Normális eloszlás            | 1          |
| Egyenletes eloszlás          | $\sqrt{3}$ |
| Háromszög (Simpson) eloszlás | $\sqrt{6}$ |

A standard bizonytalanság A-típusú értékelése  $n$  ismételt észlelésből álló sorozattal történik. Az

$\bar{x}$   
számtani közép  $u$  bizonytalansága

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

ahol

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

a minta, vagyis az észlelési sorozat szórása.

A standard bizonytalanság B-típusú értékelésekor egy olyan bemenő mennyiség standard bizonytalanságát, amely nem az észlelési sorozatból származik, az összes rendelkezésre álló információ alapján kell megbecsülni. Ilyen információ származhat:

- kalibrálási vagy egyéb bizonyítványból;
- a gyártó által adott specifikációból;
- korábbi mérések adataiból;
- a megfelelő anyagok és eszközök tulajdonságaival kapcsolatos tapasztalatból vagy általános ismeretből;
- az anyagminták bizonytalanságaiból;
- a kézikönyvi adatok bizonytalanságaiból.

A B-típusú értékelés eseteinek többségében csak arra van lehetőség, hogy

- (i) a bizonytalanság alsó és felső határait becsüljük, és
- (ii) egyenletes eloszlást tételezzünk fel. (azaz az érték a két határ között bárhova ugyanakkora valószínűséggel eshet.) Az egyenletes eloszlás standard bizonytalansága:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

ahol  $a$  a felső és az alsó határ közötti távolság fele. Az egyenletes eloszlás elég gyakori, de előfordulhatnak más eloszlások is. Az U eredő bizonytalanság például, ami gyakran szerepel a mérőeszközök kalibrálási bizonyítványában, rendszerint normális eloszlású. Ebben az esetben a standard bizonytalanság:

$$u = \frac{U}{k}$$

ahol  $k$  a kiterjesztési tényező.

A mérések korlátozott megismételhetősége egy olyan összetevőt okoz, amit szinte mindig be kell venni a bizonytalanságszámításba. A megismételhetőség váltja ki az egyedülálló laboratóriumban fellépő ingadozásokat (az ilyen vizsgálatokat laboratóriumon belüli vizsgálatoknak is nevezik). A gyakorlatban ez egy vagy több mérőszemély bevonását jelenti (akik ugyanazt a vizsgálati eljárást alkalmazzák), egy vagy több mérőelrendezést használnak viszonylag rövid időtartamig, ami alatt sem a mérőkészülék, sem a környezet nem változik meg jelentős mértékben. Az ingadozások véletlenszerűek, okuk a készülékben, a kalibrálásban, a környezetben és a mérőszemélyek által alkalmazott eljárásokban bekövetkező kis változásokra vezethető vissza. Az anyagtól függő roncsolásos vizsgálatoknál, amilyen például a szakítószilárdság vizsgálata, az ingadozásokat az anyag inhomogenitása is okozhatja.

Ezt a lehető legkisebb értéken kell tartani, például azzal, hogy a vizsgálati anyagot gondosan választják ki.

Ha a mérés megismételhetőségéről az adott esetben nincs információ, akkor egy hasonló anyagnál vagy tételnél meghatározott megismételhetőség becslésével kell a bizonytalanságot kiszámítani. Ezt a tényt viszont közölni kell a vizsgálati jegyzőkönyvben.

Ha az adatkészlet viszonylag nagy (például 10 vagy több), akkor a megismételhetőséget mint  $s$  egyszeres szórásnak kell kifejezni. Az  $n$  mérés átlagához társított bizonytalanság:

$$u_{rep} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

A **4. lépés** az eredő standard bizonytalanság kiszámítása. Feltéve, hogy az egyes bizonytalanságforrások korrelálatlanok, a mérés  $u_c(y)$  eredő bizonytalansága a négyzetek összegéből vont négyzetgyök, azaz:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2}$$

ahol  $c_i$  az  $x_i$ -hez társított érzékenységi tényező.

Az eredő bizonytalanság a vizsgált mennyiséget reprezentáló normális eloszlásnak megfelelő  $\pm$  egyszeres szórás. Az eredő bizonytalanság konfidenciaszintje 68,27%.

Az **5. lépés** az  $U$  kiterjesztett bizonytalanság meghatározása. A GUM szerint a kiterjesztett bizonytalanság a mérési eredmény körüli tartomány, amelyről feltételezhető, hogy a mérendő mennyiségnek indokoltan tulajdonítható értékek eloszlásának nagy hányadát magába foglalja. Kiszámítása úgy történik, hogy az  $u_c$  eredő bizonytalanságot megszorozzuk a kívánt konfidenciaszintnek megfelelően kiválasztott  $k$  vagy  $k_p$  kiterjesztési tényezővel. Normális valószínűségeloszlás esetén leggyakrabban a  $k = 2$  értéket használják, ami 95,4 %-os konfidenciaszintnek felel meg. Ha a vevőnek nagyobb konfidenciaszintre van szüksége (ilyen például az űrkutatás vagy az elektronikai ipar), akkor gyakran használják a  $k = 3$  értéket, amelynek 99,73% konfidenciaszint felel meg.

Abban az esetben, ha az  $u_c$  valószínűségeloszlása nem normális, vagy ha az A-típusú értékeléshez felhasznált adatok száma kicsi, akkor a Welsh-Satterthwaite módszerrel kiszámított  $v_{eff}$  szabadságfoknak megfelelően meghatározott  $k_p$  kiterjesztési tényezőt kell alkalmazni (a módszer részleteit lásd a GUM[1]- G Függelékében), ahol:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

A következő táblázat a  $k_p$  kiterjesztési tényező értékeit mutatja be 95%-os konfidenciaszint esetére.

### A Student t-eloszlás táblázata

|           |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |          |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| $v_{eff}$ | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16       |
| $k_p$     | 13,97 | 4,53 | 3,31 | 2,87 | 2,65 | 2,52 | 2,43 | 2,37 | 2,28 | 2,23 | 2,20 | 2,17     |
| $v_{eff}$ | 18    | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 60   | 80   | 100  | $\infty$ |
| $k_p$     | 2,15  | 2,13 | 2,11 | 2,09 | 2,07 | 2,06 | 2,06 | 2,05 | 2,04 | 2,03 | 2,02 | 2,00     |

A CWA 15261-3 felhívja a figyelmet arra, hogy bizonyos esetekben a bemenő mennyiség bizonytalansága maga is a számítások egy korábbi szakaszában kapott eredő bizonytalanság.

A CWA 15261-3 a 3.5 táblázatban az egyes konfidenciaszintekhez tartozó kiterjesztési tényező értékeket normális eloszlás esetére részletesen adja meg:

| Konfidenciaszint, % | Kiterjesztési tényező, $k$ |
|---------------------|----------------------------|
| 68,27               | 1                          |
| 90                  | 1,645                      |
| 95                  | 1,960                      |
| 95,45               | 2                          |
| 99                  | 2,576                      |
| 99,73               | 3                          |

Miután a kiterjesztett bizonytalanságot meghatároztuk, **az eredményeket a következő formában kell közölni:**

$$Y = y \pm U$$

ahol

- $Y$  a mérendő mennyiség kiszámított értéke;
- $y$  a vizsgálat (vagy a mérés) átlagolt eredménye,
- $U$  az  $y$ -hoz társított kiterjesztett bizonytalanság.

A következő példában bemutatott magyarázó megjegyzés egészítheti ki a megadott eredményt:



„A közölt kiterjesztett bizonytalanság a standard bizonytalanság és a  $k = 2$  kiterjesztési tényező szorzata, amely normális eloszlás esetén közelítőleg 95% konfidenciaszintnek felel meg.”

A bizonytalanság kiszámításának részletei csatolhatók a vizsgálati jegyzőkönyvhöz. A részletek mértékét a vevővel kell egyeztetni, és a leírás olyan részletes legyen, hogy annak alapján a vevő képes legyen ismételt elvégezni a bizonytalanságszámítást.

A rendkívül részletes **matematikai képletek a bizonytalanság kiszámításához** a tájékoztató jellegű **A Függelékben** kaptak helyet. A **B Függelék** bemutatja a bizonytalanság kiszámításának kidolgozott példáit. A dokumentum 33 forrást (!) felsoroló irodalomjegyzékkel egészül ki.

## Összefoglalás

Az új normatív dokumentum fontosabb jellemzőinek megismerése után megkísérelhetjük, hogy a tartalmat és a formát kifejező elnevezést javasoljunk a Workshop Agreement-re. Kínálkozik az Értekezleti Megállapodás vagy a Szakértői Egyezés, hogy elkerüljük a „szerződés” szó alkalmazásával járó esetleges bonyodalmakat. Olyan mindenképpen hasznos *előzetes anyagról* van szó, ami az adott időpontban már nem nélkülözhető, amelynek témája megérett a szakmai konszenzus kialakítására és lerögzítésére, és amely később még szabvánnyá alakítható.

A mérési bizonytalanság értékelésének eljárásával foglalkozó újfajta dokumentum megjelenése a mechanikai mérések szakmailag sokszínű területén kétségtelenül jelentős lépés a **GUM** széles körű elterjesztésében még akkor is, ha fennállnak bizonyos felfogásbeli különbségek. Nem kétséges, hogy a részletproblémák megoldása során olyan tapasztalatok halmozódnak fel, amelyek a későbbiekben visszahathatnak a **GUM** további tökéletesítésére.

**BL**