

Nyúlásértékek átszámítása

Conversion of elongation values

BOCZ ANDRÁS¹, KISS BALÁZS², MÁRKUS DÉNES³,
NARANCSIK ZSOLT⁴, VAINEL VIKTOR⁵

DUNAFERR LABOR NKft., 2400 Dunaújváros, Vasmű tér 1–3.

¹ügyvezető, bocz.andras@dlabor.hu

²anyagvizsgáló mérnök, kiss.balazs@dlabor.hu

³anyagvizsgáló mérnök, markus.denes@dlabor.hu

⁴főosztályvezető, narancsik.zsolt@dlabor.hu

⁵anyagvizsgáló, vainel.viktor@dlabor.hu

A szakítóvizsgálatban meghatározott nyúlásérték valóban átváltható egy másik jeltávolságon meghatározott, nem mért nyúlásra? Milyen pontosan lehet egy mért szakadási nyúlást átváltani? A téma aktualitását az ISO 2566-1 szabvány 2021-ben bekövetkezett és 2022-ben korrigált változásai adják, amelyek a nyúlásértékek átváltásával foglalkoznak. Ebben a cikkben összehasonlítjuk a különböző jeltávolságok – mérőhosszok – esetén mért szakadási nyúlás eredményeit az ISO 2566-1 szabványban szereplő képletek alapján számított nyúlásértékekkel.

Anyagvizsgálóként idegenkedünk attól, hogy a mérhető anyagtulajdonságokat valamilyen módon képzett eredményekkel helyettesítsük. Az anyagvizsgálat eredményei az anyag adott pillanatban mért tulajdonságait rögzítik, ez az adott körülmények között vizsgált anyagra és csak arra az anyagra igaz.

A vizsgálati eredményeken alapuló modellek természetesen olyan összefüggéseket eredményezhetnek, amelyek iránymutatásként használhatók, mint például az acélok keménysége és szakítószilárdsága közötti összefüggés.

Ebben a cikkben azt vizsgáljuk, hogy a szabványban szereplő képletek alapján újrászámított szakadási nyúlásértékek, mennyire felelnek meg a tényleges vizsgálati eredményeknek.

Kulcsszavak: nyúlás, törés utáni nyúlás, mérőhossz, ISO 2566-1

Can an elongation value determined in a tensile test really be converted to an unmeasured elongation of a different signal distance? How accurately can a measured elongation at break be converted? The actuality of the topic is due to changes in the ISO 2566-1 standard in 2021 and corrected in 2022, which deals with the conversion of elongation values. In this article, we compare the results of measured elongation at break at different signal distances – gauge lengths – with the elongation values calculated using the formulae in ISO 2566-1.

As materials testers, we are averse to replacing measurable material properties with somehow trained results. The results of a material test capture the properties of the material at that moment in time, this is true for the material tested under the given conditions and only for that material.

Models based on test results can of course produce relationships that can be used as a guide, a “rule of thumb”, such as the relationship between hardness and tensile strength of steels.

In this article, we examine the extent to which the elongation at break values recalculated using the formulae in the standard correspond to the results from actual testing.

Keywords: elongation, elongation after fracture, gauge length, ISO 2566-1

1. Szabványváltozás

A cikk témája a szakadási nyúlásértékek szabvány által előírt átszámítása, a leírt módszerek összefüggésének összehasonlítása tényleges mérési eredményekkel. A téma aktualitását az MSZ EN ISO 2566-1 [1]

szabvány 2021. és 2022. években történő módosítása adja. Az 1999-es kiadású dokumentumot a 2021-ben kiadott verzió váltotta fel, a régi szabványt több mint húsz évig nem módosította a szabványalkotó. A 2021-ben kiadott szabványt az ISO egy helyesbített verzióval korrigálta 2022 júniusában.

A szabvány az alábbi bevezetéssel határozza meg a felhasználási területét:

- Az acélok százalékos nyúlásának meghatározására szakítóvizsgálat során többféle jeltávolságot használnak. Az 50 mm-es, 80 mm-es, 100 mm-es és 200 mm-es rögzített jeltávolságok mellett a $k\sqrt{S_0}$ arányos mérőhosszúság is járatos a lapos és hengeres próbatestekhez, ahol a k értéke lehet például 4, 5,65, 8,16 vagy 11,3.
- A fentiek közül az $5,65\sqrt{S_0}$ érték az általánosan elfogadott arányos mérőhossz.

A különböző jeltávolságokra előírt minimális százalékos nyúlásokból adódóan egyre nagyobb szükség mutatkozott egy olyan nemzetközi szabványra, amely alkalmazható a vizsgálati eredmények különböző jeltávolságokra történő átalakítására. Ennek megfelelően ez a dokumentum tartalmazza a leggyakrabban használt jeltávolságokra vonatkozó átszámítási értékeket, valamint az átváltási táblázatokat [1, 4].

Az ISO 2566-1 szabvány használatának érvényeségi területe:

- A 300 N/mm² és 700 N/mm² közötti szakítószilárdsági tartományba eső, melegen hengerelt, melegen hengerelt és normalizált vagy lágyított állapotban levő szén-, szén-mangán-, molibdén- és króm-molibdén-acélokra alkalmazható.
- Az átszámítás nem alkalmazható, ha a próbatest eredeti jeltávolsága – mérőhossza – meghaladja a $25\sqrt{S_0}$ -t, vagy ha a próbatest jeltávolságon belüli szélesség–vastagság aránya meghaladja a 20-at.
- Nem alkalmazható hidegen hengerelt, edzett és ausztenites acélok nyúlásértékeinek átszámításához.

A szabvány szerint az átalakítások a megadott feltetelek mellett megbízhatónak tekinthetők, de alkalmazásuk csak a megrendelő és a szállító közötti megállapodás alapján történhet.

Vitás esetben a szakadási nyúlást a vonatkozó termékszabványban megadott jeltávolságon kell meghatározni [1].

2. Szakadási nyúlás meghatározása

A különböző acélipari termékek fizikai-kémiai tulajdonságait és az ellenőrzésükre szolgáló vizsgálatokat a vonatkozó termékszabványok tartalmazzák.

Hidegen és melegen hengerelt, 3 mm-nél vékonyabb lemezekenél az A_{80} , 3 mm-nél vastagabb termékeknél az A_5 szakadási nyúlás előírása a jellemző. Az A_5 szakadási nyúlás a próbatest keresztmetszetével arányos érték, az ISO 6892-1 szabvány [2] szerint az alsó index nélküli A jelölés az A_5 nyúlásértéket jelenti.

Cikkünkben minden esetben az arányos nyúlás megjelenítésére az A_5 jelölést használjuk.

A két nyúlásérték eltér egymástól, hiszen az A_{80} eredeti jeltávolsága mindig $L_0 = 80$ mm, míg az A_5 nyúlás L_0 eredeti jeltávolságát a próbatest keresztmetszete határozza meg, ezért hívják az A_5 értéket a próbatest keresztmetszetével arányos nyúlásnak [2].

Az L_0 eredeti jeltávolság értéke A_5 szakadási nyúlásnál:

$$L_0 = 5,65\sqrt{S_0}. \quad (1)$$

Az S_0 keresztmetszet értékét lapos termékek vizsgálatánál a próbatest vastagságának és szélességének szorzata adja. Az L_0 az az érték, amelyet vizsgálat előtt a próbatestre feljelölnek. A szakadás utáni méretét L_u szakadási jeltávolsággal jelölik, a két értékből számítható a százalékos szakadási nyúlás:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%]. \quad (2)$$

Ha a vizsgálandó lemez *névtelen* vastagsága 3,2 mm, és az ebből elkészített szakító próbatest szélessége 20 mm, akkor az L_0 eredeti jeltávolság értéke egész 5 mm-re kerekítve 45 mm. Ha a próbatest *tényleges* vastagsága viszont kisebb 3 mm-nél, például a negatív tűrűsű hengerlés miatt, akkor már az A_{80} szakadási nyúlást kell az $L_0 = 80$ mm eredeti jeltávolságon meghatározni. Az acélokra jellemező szakadáskori lokális befűződés miatt az eltérő eredeti jeltávolságon mért szakadási nyúlások várhatóan el fognak térni egymástól. Ha vizsgálatkor csak az egyik szakadási nyúlást határozzuk meg, akkor lenne/lehetne használható a szabványos segítség a nyúlásértékek egymásba való átszámolására.

Laboratóriumunkban az elmúlt időszakban nagy mennyiségű vizsgálati eredmény keletkezett, amelyeknél a vizsgált próbatesteken A_5 és A_{80} nyúlást is meghatároztunk. A jelentős számú vizsgálati eredmény utólagos feldolgozásával lehetőségünk adódott az ISO 2566-1 szabvány szerinti, konverzióval képzett nyúlásértékeknek a tényleges mérésből származó eredményekkel történő összehasonlítására.

3. Az ISO 2566-1 szerinti átszámítási képletek [1]

Az ISO 2566-1 szabvány Oliver-képletéből származó előírása:

$$A_5 = 2A \left(\frac{\sqrt{S_0}}{L_0} \right)^{0,4}, \quad (3)$$

ahol az A az $5,65\sqrt{S_0}$ -hoz tartozó nyúlás.

Abban az esetben, ha az átszámítást a próbatest keresztmetszetével arányos (A_5) és azzal nem arányos nyúlások között végeznénk (A_{80}), a szabvány a konverziós faktor képletére az alábbi összefüggést adja:

$$2 \left(\frac{\sqrt{S_0}}{L_0} \right)^{0,4} \quad (4)$$

Az A₅-ből A₈₀-ba történő számításnál az A₅ nyúlásértéket szorozni, az A₈₀-ból A₅-be történő számításnál az A₈₀ nyúlásértéket osztani kell a (4) képletben szereplő faktor értékével.

4. Mérések és számítások

Az ISO 2566-1 szabvány alkalmazhatóságát a 2. pontban tárgyaltuk. Az 1 mm-nél vékonyabb lemezek vizsgálati eredményét nem vettük figyelembe a szélesség–vastagság arány miatt.

Az $L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$ és $L_0 = 80$ mm jeltávolsággal meghatározott szakadási nyúlások és a konvertált „számolt” több mint 3000 érték közül néhányat szerepeltetünk az 1. táblázatban. A próbatestek a megren-

delők mintáiból származnak, névleges anyagminőségüket a megrendelők adták meg.

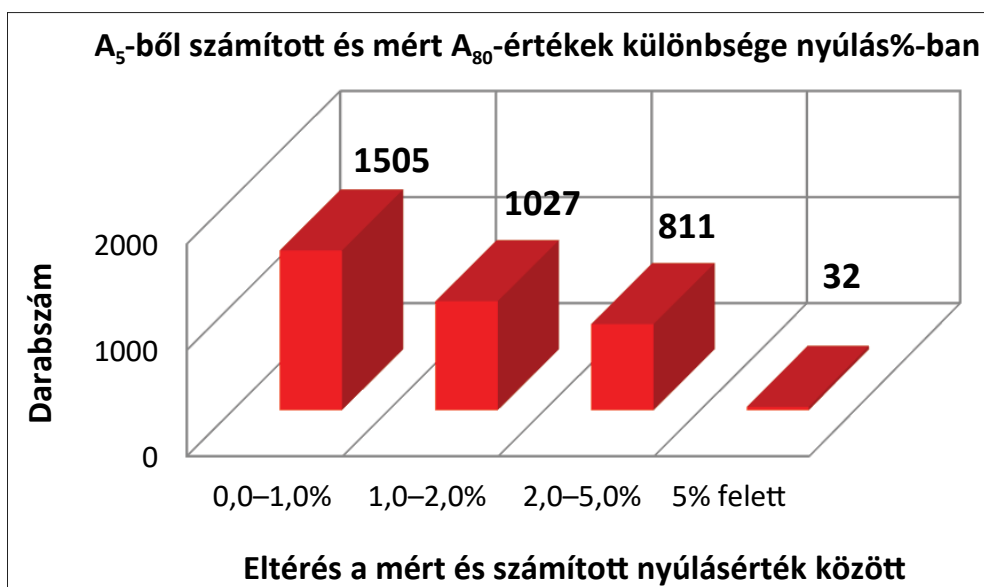
Az 1. ábrán láthatjuk az A₅-ből A₈₀-ba történő átszámítás/mérés eredményének különbségét bemutató diagramot. A mért és számított A₈₀ szakadási nyúláskülönbségeket ábrázoltuk.

Melegen hengerelt lemezekből 3375 vizsgálatot dolgoztunk fel:

- Az átszámítási eltérés 1505 darabnál az 1 nyúlásszázalékot nem haladta meg, ez a vizsgált darabszám 45%-a.
- Az 1–2 nyúlásszázalék eltérés tartományába 1027 eredmény esett, ez a vizsgált darabszám 30%-a.
- A 2–5 tartomány 811 vizsgálatot tartalmaz, ez a vizsgált darabszám 24%-a. Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés a vizsgált eredmények 1%-ánál jelentkezett.

1. táblázat: Néhány mért és számított A₈₀ szakadási nyúlásérték

Minőség	Vastagság [mm]	Szélesség [mm]	Terület [mm ²]	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	A ₅ L ₀ [mm]	Mért A ₈₀ [%]	Számított A ₈₀ [%]	Eltérés [ny. %]
S235JR +N	1,49	20,4	30,4	328	427	43,3	30	28,4	29,7	1,3
S235JR +N	1,49	20,1	29,9	325	415	38,9	30	24,2	26,6	2,4
DD11	1,50	20,3	30,5	279	371	48,1	30	30,6	33,0	2,4
DD11	1,50	20,3	30,5	308	386	40,2	30	25,7	27,6	1,9
DD11	1,50	20,2	30,3	278	371	45,3	30	33,1	31,1	2,0
DD11	1,50	20,2	30,3	292	390	38,9	30	25,9	26,7	0,8
DD11	1,50	20,2	30,3	332	403	36,2	30	18,8	24,8	6,0
S235JR +N	1,50	20,1	30,2	331	421	42,7	30	29,1	29,3	0,2
S235JR +N	1,50	20,1	30,2	327	425	41,7	30	27,0	28,6	1,6
S235JR +N	1,50	20,0	30,0	369	465	41,0	30	27,2	28,1	0,9
S235JR +N	1,51	20,4	30,8	340	437	44,7	30	29,3	30,7	1,4
DD11	1,51	20,2	30,5	284	372	47,7	30	32,0	32,7	0,7
S235JR +N	1,51	20,1	30,4	333	419	37,4	30	27,1	25,7	1,4
DD11	1,51	19,9	30,1	319	400	36,6	30	22,4	25,1	2,7
S235JR +N	1,52	20,1	30,6	322	417	45,6	30	30,7	31,3	0,6
S235JR +N	1,52	20,1	30,6	330	419	40,9	30	27,5	28,1	0,6
S235JR +N	3,56	20,1	71,6	332	411	38,4	50	30,4	31,3	0,9
S355J2 +N	3,56	19,9	70,8	378	523	33,0	50	25,4	26,8	1,4
S235JR +N	3,60	19,8	71,3	306	411	34,2	50	27,9	27,8	0,1
S235JR +N	3,61	19,8	71,5	317	420	33,8	50	29,2	27,5	1,7
S235JR +N	3,71	19,9	73,8	299	404	37,6	50	32,6	30,8	1,8
S235JR +N	4,10	19,7	80,8	370	463	33,0	50	25,3	27,5	2,2
S235JR +N	5,80	20,0	116,0	309	417	39,2	60	32,9	35,2	2,3



1. ábra. Átszámítás A₅-ből A₈₀-ba melegen hengerelt lemezeknél

A 2. ábra mutatja az A₈₀-ból A₅-be történő átszámítás/mérés eredményének a különbségét ábrázoló diagramot. Az utólagos kiértékelésbe bevont vizsgálati darabszámok – értelemszerűen – megegyeznek az előzőekben leírtakkal.

Melegen hengerelt lemezeknél

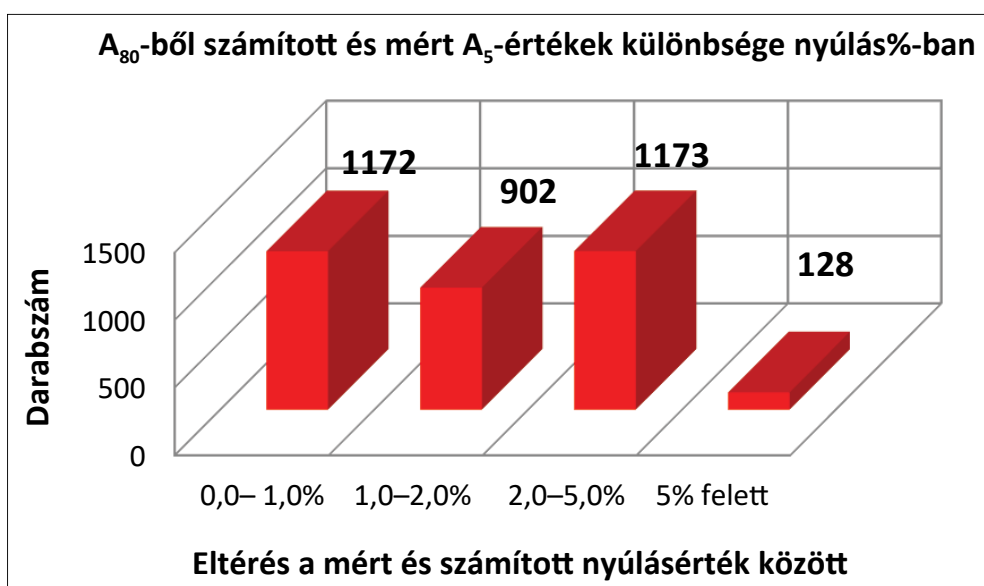
- ❑ a 0–1 nyúlás százalék eltérés tartományba 1172 darab 35%,
- ❑ az 1–2 eltérés tartományba 902 eredmény 27%-a,
- ❑ a 2–5 tartomány 1173 darab, az összes vizsgálat 35%-a esett.
- ❑ Az 5 nyúlás százalék vagy ennél nagyobb eltérés a vizsgált eredmények 4%-ánál jelentkezett.

Melegen hengerelt termékek mellett hidegen hengerelt lemezek és zártszelvények nyúlási eredményeit is bevontuk elemzéseinkbe a Megrendelőink kérésére. E termékekre azonban az ISO 2566-1 szabvány hatálya nem terjed ki, így ezek csak tájékoztató értékek.

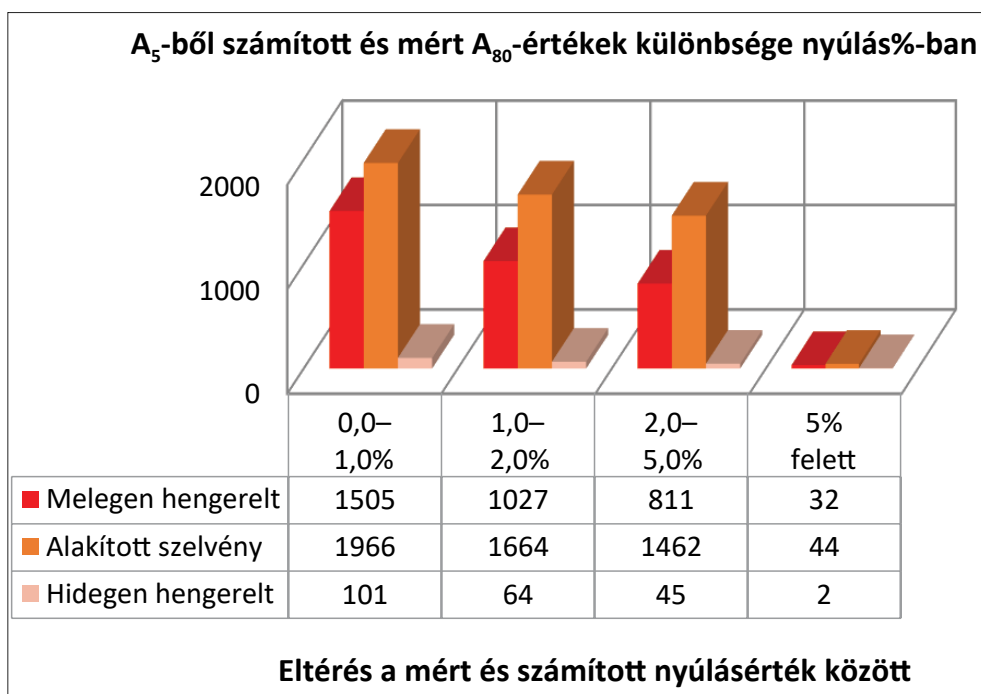
A 3. ábrán látható az A₅-ből A₈₀-ba történő átszámítás/mérés eredményének a különbségét bemutató diagram. A mért és számított A₈₀ szakadási nyúláskülönbségeket ábrázoltuk.

A továbbalakított termékeknel, profiloknál az összes utólag kiértékelt darabszám 5136 volt:

- ❑ a 0–1 nyúlásszázalék eltérés tartományba 1966 darab, 38%,
- ❑ az 1–2 tartományba 1664 darab, 32%,
- ❑ a 2–5 tartományba 1462 darab, az összes darabszám 28%-a esett.



2. ábra. Átszámítás A₈₀-ból A₅-be melegen hengerelt lemezeknél



3. ábra. Átszámítás A₅-ből A₈₀-ba

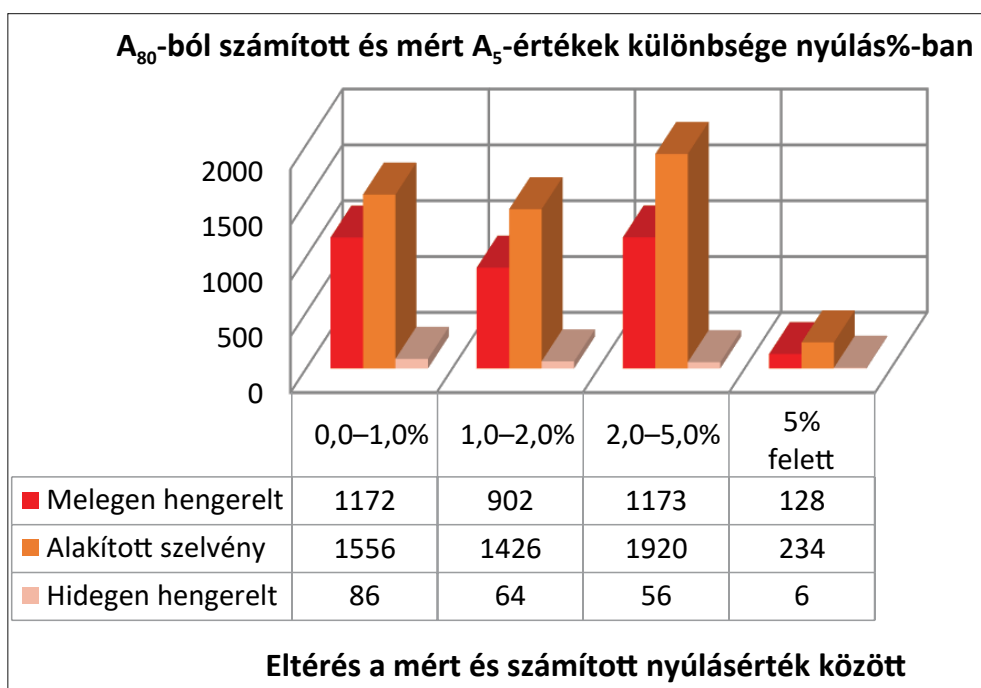
- Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés itt is a vizsgált eredmények 1%-ánál jelentkezett.

Hidegen hengerelt termékek vizsgálatának feldolgozásába 212 vizsgálatot vontunk be. Az eltérések az alábbiak szerint alakultak:

- 0–1 tartomány; 101 darab; 48 %,
- 1–2 tartomány; 64 darab; 30%,

- 2–5 tartomány; 45 darab; 21%.
- Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés itt is csak a vizsgált eredmények 1%-ánál jelentkezett.

A 4. ábra diagramja az A₈₀-ból A₅-be történő átszámítás/mérés eredményének különbségét ábrázolja. Az utólagos kiértékelésbe bevont vizsgálati darabszámok megegyeznek az előzőekkel.



4. ábra. Átszámítás A₈₀-ból A₅-be

Továbbalakított termékeknel

- a 0–1 tartományba 1556 darab, 30%,
- az 1–2 tartományba 1426 darab, 28%,
- a 2–5 tartományba 1920 darab, az összes darabszám 37%-a tartozott.
- Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés a vizsgált eredmények 5%-ánál jelentkezett.

Hidegen hengerelt termékeknel az eltérések az alábbiak szerint alakultak:

- 0–1 tartomány; 86 darab; 41%,
- 1–2 tartomány; 64 darab; 30%,
- 2–5 tartomány; 56 darab; 26%.
- Az 5 nyúlásszázalék vagy ennél nagyobb eltérés a vizsgált eredmények 3%-ánál jelentkezett.

5. Értékelés

A 4. pontban bemutatott diagramok és darabszámok azt mutatták, hogy a 80 mm-nél kisebb jeltávolságon mért A_5 -nyúlások A_{80} -ba történt átszámítása a vizsgált darabszám 75%-ánál a ± 2 nyúlásszázalék eltérés tartományába esett, de a vizsgált darabszám 99%-ánál a mért és számolt nyúlás eltérése is csak ± 5 nyúlásszázalék. Adódott 32 vizsgálat, ahol a ténylegesen mért és számolt szakadási nyúlás eltérése meghaladta az 5 nyúlásszázalékot. Az A_5 -nyúlások A_{80} -ba átszámítása jó közelítést ad.

Az A_{80} -ból történő átszámítás kisebb jeltávolságú szakadási nyúlásba nagyobb eltérést eredményezett. Ebben az esetben a vizsgált darabszám 62%-a esett a ± 2 nyúlásszázalék eltérés tartományába, és hozzávetőleg 96%-a esetén volt kisebb az eltérés $\pm 5\%$ -nál. Az 5 nyúlásszázaléknál nagyobb eltérés a melegen hengerelt lemezeknél 128 vizsgálatnál (a vizsgálatok 3,8%-a) jelentkezett, ahol a ténylegesen mért és számolt szakadási nyúlás eltérése meghaladta az 5 nyúlásszázalékot. Megállapítható, hogy az A_{80} nyúlások kisebb jeltávolságú nyúlásba számítása *nagyobb hibát eredményez, mint az előző konverzió.*

Hidegen hengerelt lemezek és zártszelvények vizsgálatának nyúlásátszámítása nem az ISO 2566-1 szabvány témája, de jól látható, hogy a konverzió hiába aránya a melegen hengerelt termékekhez hasonlóan alakul.

A mért és átszámolt nyúlásértékek eltéréseinek okai az alábbiak lehetnek.

- Egyik előző cikkünkben [3] bemutattuk a szakadás helyének hatását a szakadási nyúlás értékére, ami jó kiegészítést ad a szakadási nyúlások konverziójára.
- A próbatestek szakadási helyei az MSZ EN ISO 6892-1:2020 20.1 pontja szerint megfeleltek, ezért a szabvány I melléklete szerinti „A szakadás utáni százalékos nyúlás mérése az eredeti mérőhossz felosztása alapján” módszerrel nem alkalmaztuk vizsgálatok közben. Az utólagosan kiértékelt mérési eredmények esetén nem volt alkalmunk összefüggést találni az Oliver-féle képlet és az I mellékletben leírt „jeltávohelyezési” eljárás között. A CNC marógépen elkészített próbatestek párhuzamosságának hibája a szabványos tőrés töredéke, ezért a próbatestek nagy számban közepesen szakadtak el.
- Vizsgálatainknál az ISO 6892-1 vizsgálati szabvány 8.2 pontja [2] szerint az eredeti jeltávolság L_0 értékét a legközelebbi 5 mm-re kerekítjük, ez is eredményezhet eltéréseket a mért és számolt szakadási nyúlások értékeiben.

6. Összefoglalás

Ha a próbatest szakadásának helye ideális, azaz a szakadás a próbatest közepén és a jeltávolság két jele között közepesen történik, akkor az A_5 – A_{80} matematikai konverzió megfelelő pontosságú értéket adhat. Egyéb esetben a számítás csak jó közelítés lehet a mért eredményhez képest.

HIVATKOZÁSOK

- [1] MSZ EN ISO 2566-1: 2022 Az Sz. K. 2022. évi 8. számában közzétett, az ISO által 2022. júniusban kiadott helyesbített változat. Acélok. A nyúlásértékek átszámítása
- [2] MSZ EN ISO 6892-1: 2020 Fémek. Szakítóvizsgálat 1. rész: Vizsgálati módszer szobahőmérsékleten
- [3] Bocz András, Kiss Balázs, Márkus Dénes, Narancsik Zsolt, Vainel Viktor (2021): Nyúlásmérés rejtelmű lágyacéloknaál. *Anyagvizsgálók Lapja*, 2021/III, 25–29. https://avilap.hu/view_article.jsp?article=1211
- [4] D. A. Oliver (1928): Proposed new criteria of ductility from a new law connecting the percentage elongation with size of test-piece. *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 115/1, 1–38. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1928_115_019_02