

## Fáradásból eredő repedésnövekedés polietilén csőanyagokban

*Tárgyszavak: polietiléncsövek; élettartam; lassú repedésterjedés; vizsgálati módszerek; FNCT módszer; PE80, PE100; összehasonlító vizsgálatok.*

### Eljárások a polietiléncsövek lassú repedésterjedésének vizsgálatára

*Ha a polietilénre hosszú ideig kis feszültséget kiváltó terhelés hat, a polymerben nagyon hosszú idő múlva rideg törés következhet be, amelyet lassú repedésterjedés előz meg. A repedésterjedéshez a repedésre merőleges húzóerőnek kell jelen lennie. A repedés növekedésében több lépést figyeltek meg. Első lépés a repedés létrejötte (iniciálás: horony, karc, felületi hiba keletkezése), amikor a repedés csúcsa előtt mikropórusok alakulnak ki. A második lépésben a repedés lassú növekedése mellett megnő a pórusok átmérője. A pórusok közötti anyag szálszerűen megnyúlik, és a szálak a repedésterjedés irányára merőlegesen erős rendeződést mutatnak. A továbbiakban a repedés növekedési sebessége a szálak szilárdságától és a hajlítással szembeni ellenállástól függ. A végponton bekövetkezik a törés.*

Egy csőrendszerben a belső nyomás, a gyártásból visszamaradó belső feszültségek, a szerelésből eredő feszültség és a földre fektetett csövekben a föld nyomása együttesen fejt ki a hatását. *A rugalmas polietiléncsövekben a relaxáció révén a feszültségek eloszlanak, de ha a cső megsérül, megindul a lassú repedésterjedés, ami erősen csökkentheti a cső élettartamát.*

Ennek a jelenségnek a vizsgálatára többféle módszert dolgoztak ki. Egy részüket levegőben vagy vízben végzik, egy részükben azonban nedvesítőszert (tenzidet) tartalmazó oldatot használnak, amellyel meggyorsítják a repedésterjedést.

*Nedvesítőszert nélkül, csövekkel végzik az ún. „notched-pipe-test”-et (NPT), amelyet a DIN EN ISO 13479 szabvány ír le részletesen. A cső kerülete mentén egymáshoz képest 90°-kal elforgatva a csőtengellyel párhuzamosan négy hornyot metszenek a felületre úgy, hogy a cső falvastagságának 80%-a ép maradjon. Ezután tartós nyomásállósági vizsgálatot végeznek. A PE80 típusú PE-ből gyártott csöveket 8,0 bar, a PE100-as anyagból extrudált*

csöveket 9,2 bar tartós belső nyomásnak teszik ki. Ezzel a vizsgálattal jól jellemezhető a csövek külső sérüléssel szembeni érzékenysége. Világszerte alkalmazzák. Hátránya, hogy nagyon időigényes.

Ugyancsak nedvesítőszer nélkül végzik a „polyethylene notch test”-et, amely az ASTM F 1473 és az ISO/DIS 16241 szabványban található meg. Itt sajtolt lapból kivágott szakítópróbatestet használnak, amelyen egy fő- és két mellékhornyt képeznek. A próbatestet 80 °C-os levegőben 2,4 MPa-lal terhelik. A törésig eltelt időt mérik. Európában ezt az eljárást kevésbé ismerik.

Nedvesítőszerrel alkalmaznak az ún. „Bell telefonteszt”-hez (ASTM D 1693), amelyben kisméretű próbatesteket vizsgálnak. Ez az eljárás inkább az alapanyag „feszültségrepedezése”-ről (néha „feszültségkorrózió”-nak is nevezik) ad képet, és kevésbé alkalmas csövek élettartamának becslésére.

A „notched constant tensile load test”-et (NCTL, ASTM D 5397) eredetileg geomembránok vizsgálatára fejlesztették ki. Vékony, hornyolt szakítópróbatesteken végzik, 60 °C-os tenzides oldatban, amelyben az alapanyag 20 °C-on mért húzószilárdságának 25%-ával terhelik a próbatestet.

A „cone test” (French virole test, DIN EN ISO 13480, NF 114) főképpen Franciaországban terjedt el. 5 mm-nél kisebb falvastagságú csövekhez ajánlják.

Az 1980-as években japán kutatók fejlesztették ki a „full notch creep test”-et (FNCT, ISO/DIS 16770, EN 12814-3, DVS Richtlinie 2204-4). Németországban is szívesen alkalmazzák. A vizsgálatot négyzet keresztmetszetű pálcán végzik, amelyet körkörösén 1,6 mm mély horonnyal látnak el. A pálcát 80 vagy 90 °C-os tenzides oldatban 4,4 MPa-lal vagy a ridegtöréshez szükséges erő 30%-ával terhelik. Egyes vélemények szerint ez a vizsgálat alkalmas arra, hogy elfogadható vizsgálati időtartamon belül megbecsüljék a csövek várható lassú repedésterjedését.

## **FNCT vizsgálatok ciklikus terheléssel**

Az anyagszerkezeti és polimerizációs technikai változtatások olyan új PE típusokat eredményeznek, amelyek egyre jobban ellenállnak a lassú repedésnövekedésnek, ami még jobban megnöveli a szükséges vizsgálati időt. Az európai laboratóriumokban különösen az eleinte sok vitát kiváltó FNCT módszer fejlesztésével foglalkoznak.

A ciklikus terheléssel végzett méréseket a rugalmas lineáris törésmechanika keretein belül értékelik ki. A ciklikus (fárasztási) vizsgálatokban a sztatikus vizsgálatokhoz képest megnő a kvázirideg tönkremenetel esélye, és ez szobahőmérsékleten is gyorsítja a repedés növekedését. Annak ellenére, hogy a sztatikus és a fárasztó igénybevétel mechanikailag eltérő, a tönkremeneteli mechanizmusok hasonlóak, és az anyagok közti rangsor a két vizsgálati módszerben azonos vagy hasonló volt.

## A fárasztási repedésvizsgálat alapjai

A lineáris törésmechanika szerint a kis plasztikus zónát mutató éles repedés növekedési sebessége kizárólag a *feszültségintenzitási faktortól* ( $K_I$ ) függ, ugyanis ez a mennyiség írja le a feszültségeloszlást a repedéscsúcsban. Ez teszi lehetővé, hogy az ismert geometriákra (pl. próbatestre, csőre) kiszámítható  $K_I$  tényezők segítségével az eredmények átvihetők legyenek a laboratóriumból a gyakorlatba. Az általánosan alkalmazott képlet a következő:

$$K_I = \sigma \sqrt{a} Y$$

ahol  $\sigma$  a globális feszültség,  $a$  a repedés hossza,  $Y$  pedig egy, a próbatest geometriájától függő mennyiség. A repedésnövekedés kinetikáját úgy jellemzik, hogy a ciklusonkénti repedésnövekedési sebesség logaritmusát ( $da/dN$ ) ábrázolják a feszültségintenzitási faktorok különbségének:

$$(\Delta K_I = K_I^{max} - K_I^{min})$$

(pontosabban annak logaritmusának) függvényében (1. ábra). A repedésiniciálás és a próbatest tönkremenetele között általában van egy lineáris tartomány (II. tartomány), amelyet az alábbi egyenlettel lehet leírni:

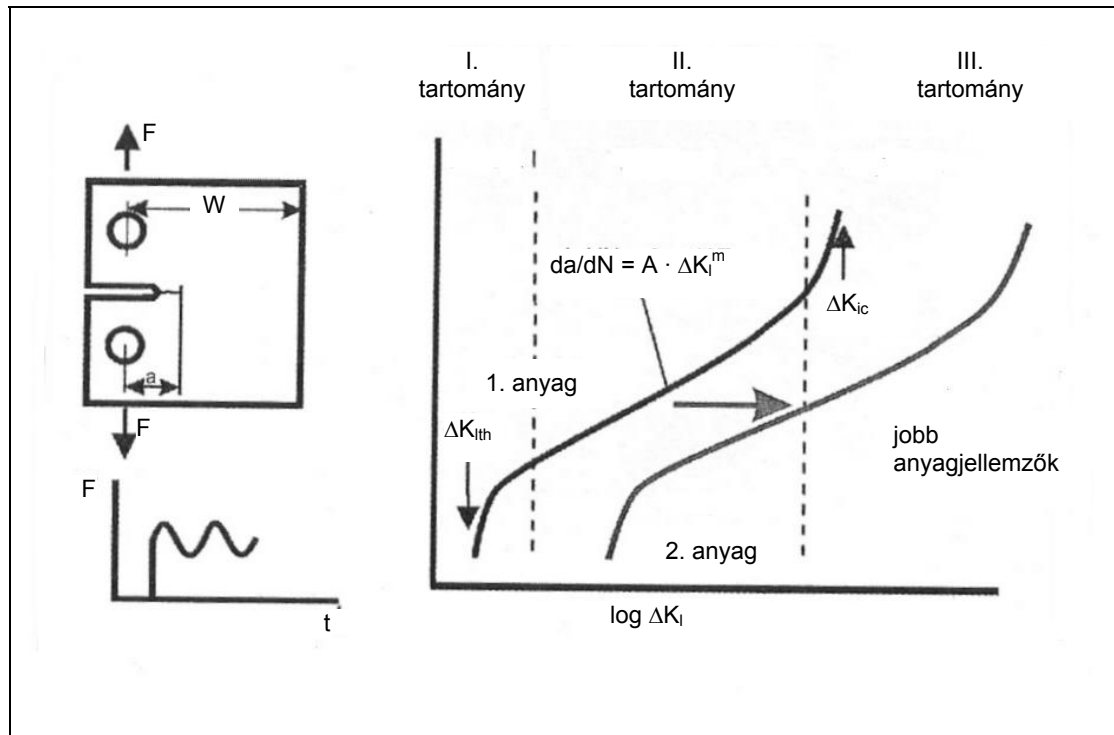
$$\frac{da}{dN} = A \Delta K_I^m$$

ahol  $A$  és  $m$  állandók, amelyek az anyagtulajdonságoktól és a mérés körülményeitől (pl. a hőmérséklettől) függenek. Ez a lineáris tartomány használható az anyagok összehasonlítására. Minél lejjebb és minél jobbra tolódik a görbe, annál kisebb, vagy annál később következik be a repedésnövekedés – vagyis annál később megy tönkre a cső.

## Különféle polietiléntípusok kísérleti összehasonlítása

Az 1. táblázatban bemutatott különféle PE80 és PE100 típusokra szisztematikus méréseket végeztek préselt lemezekből kivágott kompakt húzópróbatetek (compact tension, CT) alkalmazásával (szélesség,  $w = 40$  mm, vastagság 15 mm, ld. az 1. ábrát). A terhelést egy szervohidraulikus vizsgálóberendezésen adták a próbatetekre (szinuszos feszültség, 23 °C, 5 Hz). A minimális és maximális terhelés aránya 10 volt. A repedést a mérés előtt frissen, pengével vágták a mintába. A repedéshosszt rendszeresen mérték a vizsgálat során. Az eredményeket a 2. ábra foglalja össze. Jól látható, hogy a PE80 és PE100 típusok között jelentős eltérések vannak. Kis terhelések hatására (ami a gyakorlati alkalmazás szempontjából a legfontosabb tartomány) a PE100 típusokban sokkal lassúbb a repedésterjedés.

A PE80-1 és PE80-2 típusok között szinte semmi különbség nincs, de a PE80-3 már érzékelhetően jobb a másik kettőnél. A PE100 típusok (a PE100-5 kivételével) elég egyformán viselkednek. A PE80 és PE100 típusok felületi törésképe is jellegzetes eltéréseket mutat. A PE80 típusok kisebb folyási feszültsége és csekélyebb rugalmassági modulusa miatt erősebben jelentkeznek a nem-folytonos repedésterjedésre jellemző ún. leállási vonalak.



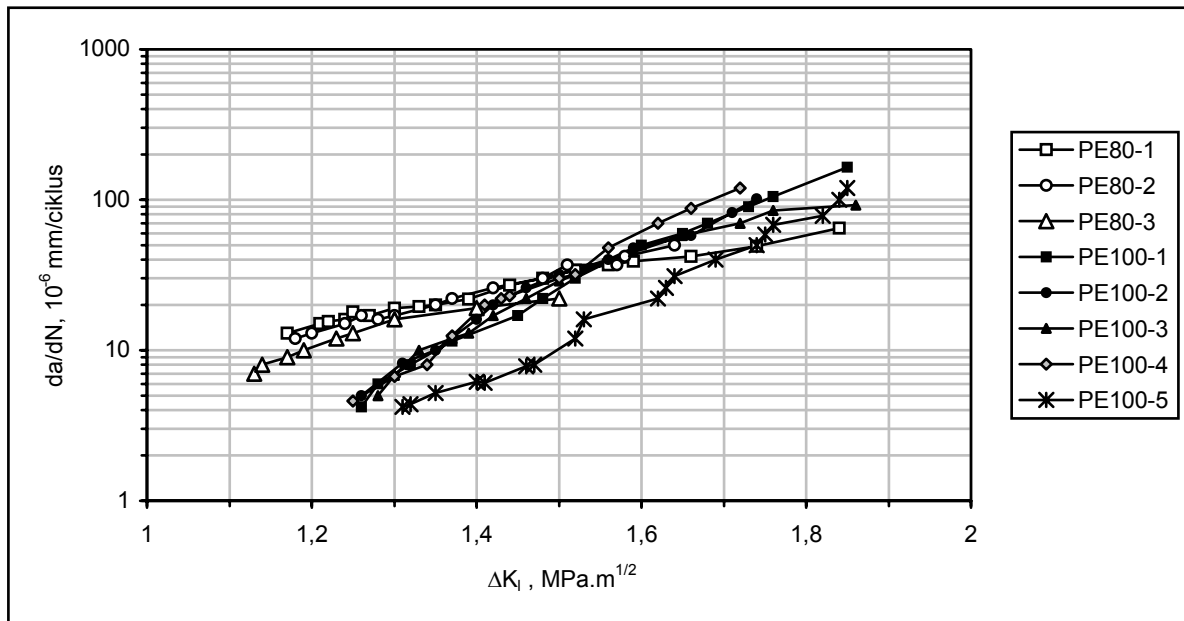
1. ábra A polietilén repedésnövekedésének sematikus ábrázolása a ciklikus terhelés alatt

1. táblázat

A vizsgált PE-típusok szerkezeti és fizikai jellemzői

Anyag	Szín	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	$X_c$ %	$M_n$ kg/mol	$M_w$ kg/mol	SCB 1/1000 C	Komonomer	E N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_Y$ N/mm <sup>2</sup>
PE80-1	fekete	0,955	64	16	290	4	hexén	1000	22
PE80-2	fekete	0,950	56	15	190	5,5	hexén	700	18
PE80-3	sárga	0,940	56	15	190	5,5	hexén	700	18
PE100-1	fekete	0,960	68	8	365	3,8	butén	1100	25
PE100-2	fekete	0,960	67	14	261	2,5	hexén	1100	26
PE100-3	fekete	0,960	68	7,5	230	–	butén	1400	26
PE100-4	fekete	0,959	68	8,5	240	–	butén	1050	23
PE100-5	natúr	0,949	68	8,5	240	–	butén	1100	25

( $\rho$  = sűrűség,  $X_c$  = kristályosság,  $M_n$  = számátlag molekulatömeg,  $M_w$  = tömegátlag molekulatömeg, SCB = rövid elágazások száma, E = E-modulus,  $\sigma_Y$  = húzószilárdság)



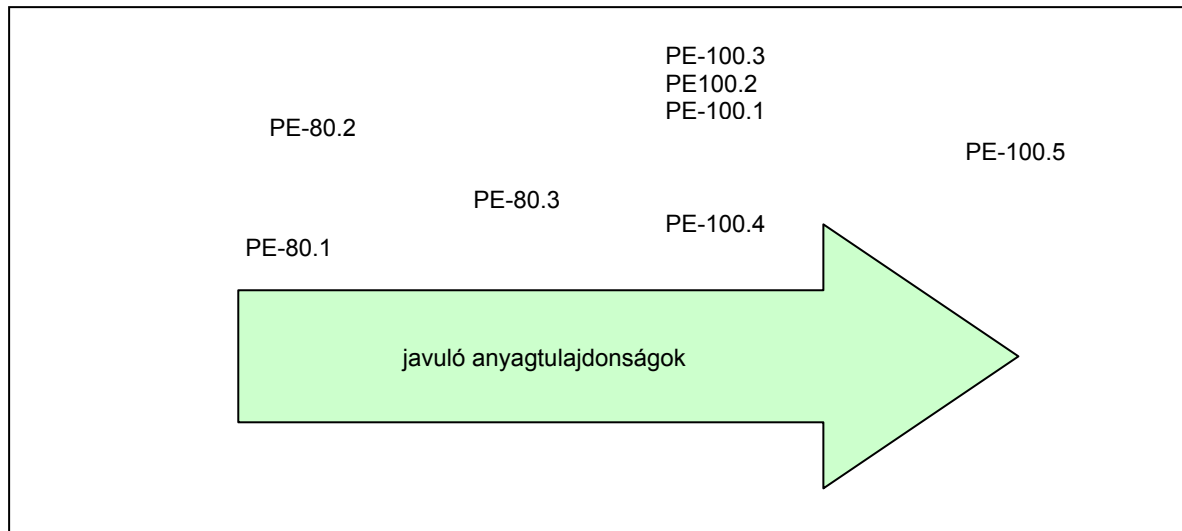
2. ábra A fáradási repedés növekedése a vizsgált anyagokban (CT-próbatestek, 5 Hz, 23 °C)

Polimer	$t_i$ , h	$t_f$ , h	$t_i/t_f$ , %
PE-80-1	4	34	11
PE-80-2	6	34	19
PE-80-3	8	45	18
PE-100-1	5,5	39	14
PE-100-2	6,5	36	18
PE-100-3	7	37	19
PE-100-4	3	26	11,5
PE-100-5	8	58	14

2. táblázat

A repedésiniciálás ( $t_i$ ) és a tönkremenetel ( $t_f$ ) időpontja a különböző mintákon (23 °C, 5 Hz, a  $\Delta K_I^{\text{start}}$  érték a PE80 típusokon  $1,0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ , a PE-100 típusoknál  $1,2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  volt)

A repedéskinetikai mérések mellett meghatározták a repedésiniciálás és a tönkremenetel idejét is (2. táblázat). Az adatok egymás között csak a PE80, ill. a PE100 típusokon belül hasonlíthatók össze, mert nem egyforma feszültségintenzitási faktorokat használtak a két típusnál (a  $\Delta K_I^{\text{start}}$  érték a PE80 típusoknál  $1,0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ , a PE-100 típusoknál  $1,2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  volt). A PE100 típusoknál meg kellett emelni a kezdeti terhelést, hogy beleférjenek a 3 napos mérési időbe. (Más mérési módszerek esetében 10-szer vagy 100-szor hosszabb vizsgálati időre lett volna szükség). Összefoglalásként a PE-típusok rangsorolását a gyorsított vizsgálat alapján a 3. ábra mutatja.



3. ábra A vizsgált anyagok rangsorolása a gyorsított vizsgálat eredményei alapján

A bemutatott vizsgálat alapján jó a lehetősége annak, hogy a csőgyártáshoz használt polietiléntípusokat ciklusos terheléssel rövid idő alatt hasonlítsák össze a repedésnövekedéssel szembeni ellenállás szempontjából.

**Dr. Bánhegyi György**

Grosse-Boes, R.; Kloth, R.: Das langsame Risswachstum von Polyethylen – Mythos und Wirklichkeit. = 3R International, 43. k. 4/5. sz. 2004. p. 233–236.

Haager, M.; Pinter, G.; Lang, R. W.: = Ermüdungsrisswachstum im PE-Rohrwerkstoffen. = 3R International, 43. k. 8/9. sz. 2004. p. 492–496.

## Röviden...

### Allergiamentes poliészter ágynemű

A 100%-os poliészterből szövött mikroszálás ágynemű a pamutnál jobban meggátolja a házi allergiakeltők belélegzését. A textil pórusainak mérete 3,2 µm, ez a szövött termékek között a legkisebb, és a vizsgálatok szerint a por és a macskaszőr ezen nem jut át. Az ágyneműt a **White Knight Engineered Products** cég dolgozta ki és a **National Allergy Supply** cég forgalmazza. (További információ: [www.natallergy.com](http://www.natallergy.com))

(*Plastics Engineering* 60. k. 12. sz. 2004. p. 28.)

## Hulladékhasznosítás Afrikában

A városlakó afrikaiak száma 2000-ben elérte a 260 milliót, a továbbiakban hasonló változást feltételezve, 2020-ban már az összlakosság 50%-át fogja kitenni. Ez sürgősen megoldandó költségvetési forráshiányt és egyéb problémákat okoz majd. Mindez a világ legszegényebb országaiban megy végbe, ahol az egy főre eső bevétel nem éri el a 300 EUR-t, és az átlagos élettartam 45–50 év. A déli városokban még fokozottabb az iparosítás és a szolgáltatások hiánya, és többek között a városi szemét és ezen belül a műanyaghulladék kezelése csak részleges problémát jelent. Ezekben az években a műanyaghulladék arányának növekedése a szemétben elszegényítette a helyi gazdaságokat, beleértve a mezőgazdaságot és szarvasmarhatartást. Hagyományosan ugyanis a városi hulladékkal trágyázzák a környező gazdaságok földjeit, mivel ennek nagy része szerves anyagból állt. Manapság Afrikában a városi szemét 10–15%-a műanyag, amely a környezetbe kerülve nem csak a lakosság egészségét veszélyezteti, hanem a helyi lakosság élelmiszerbiztonságát is. A szennyezett földek növelik a halandóságot.

Ezt a komoly problémát felismerve egy olasz szervezet létrehozta a LVIA-t (Lay Volunteers International Association – nem hivatalos önkéntes nemzetközi szövetség), amely elősegíti a műanyagok újrafeldolgozását és a lakossági tudatosság növelését Afrikában. Az LVIA 2003-ban sikeresen bekapcsolódott Szenegálban a Világbank által támogatott nemzetközi együttműködésbe. A világon összesen 3000 munkatervet segített a Világbank, ebből 47-et Afrikában. Burkinában felépítették az első műanyag-újrafeldolgozó központot. Az olasz és afrikai városok nemzetközi együttműködésének keretében a környezetvédelmi problémák megoldásába bevonták a helyi intézményeket, szervezeteket és üzleti kör résztvevőit, hogy létrehozzák a piaci alapon működő rendszert. A LVIA a hulladékfeldolgozás megteremtésével munkahelyek létesítése által egyidejűleg hozzájárul a szegénység enyhítéséhez is.

Ennek a központnak a létrehozása nagy kihívás; felvetődik, hogy ennél kevésbé törékeny, magasabb szintű iparral rendelkező országokban sikerül-e hasonló eredményeket elérni.

Az olasz LVIA már 40 éve segíti a legszegényebb 10 afrikai országot a hulladékok kezelésében. Ennek érdekében az LVIA részt vesz az Assocomplast (olasz műanyag-feldolgozó gépeket gyártók szövetsége) munkájában is, valamint a technológia átadásában és a műanyaggyártók által szervezett konzultációk és gyakorlatok tartásában.

*(Macplas International, 2004. 3. sz. aug. p. 16.)*