

## Polietiléncsövek várható élettartamának előrejelzése

A korszerű polietilén csőanyagok várható élettartamának meghatározása a szokásos tartós hidrosztatikai nyomás alatti vizsgálattal olyan hosszú időt vesz igénybe, amely elfogadhatatlan a csőgyártók és felhasználók számára. Ezért olyan eljárások kifejlesztésén dolgoznak, amelyek olcsóbbak és gyorsabbak, mégis megbízhatóak. A következőkben két teljesen eltérő elképzelést mutatunk be. Az egyik a stabilizátorok fogyását, a másik egy matematikai modellt próbál felhasználni a csövek tartósságának előrejelzésére.

*Tárgyszavak: polietiléncsövek; élettartam; vizsgálat; előrejelzés; tartós hidrosztatikai nyomás; stabilizátorok lebomlása; matematikai modell.*

A nyomás alatt üzemelő műanyag gáz- és vízvezetékeltől elvárják, hogy legalább 50 évig ellássák feladatukat. Valószínűsíthető élettartamukat tartós hidrosztatikai nyomással becsülik meg. Ehhez nagyszámú csövet hosszú ideig, némelyiküket több évig különböző hőmérsékleten különböző nyomás alatt tartanak, és azt vizsgálják, hogy az adott körülmények között mennyi idő múlva következik be a cső törése. A külső és a nyomást kifejtő belső közeg legtöbbször víz. Az eredmény egy görbesereg, amelyben az egyes görbéken három szakasz figyelhető meg. Az I. szakasz enyhén lejtő egyenes, ezen a szakaszon a csövek rugalmasan törnek. A II. szakaszban a görbe fokozatosan a függőleges irány felé hajlik, itt a tönkremenetel mikrorepedésekkel kezdődik, amelyekből kiindulva kialakul a törés. A III. szakasz a függőlegeshez közelít, itt rideg törés következik be, aminek oka elsősorban a cső anyagának megöregedése, kémiai degradálódása. Az általában 20 °C és 80 °C közötti hőmérsékletű vízzel és vízben kapott görbékkel extrapolálással következtetnek az üzemi hőmérséklet és nyomás mellett várható élettartamra.

Az élettartam függ a cső anyagától, a cső környezetétől és a terheléstől. A cső anyagának tulajdonságait az alapanyag, a hozzákevert adalékok és a gyártástechnológia határozza meg. A környezeti hatásokat a csővel érintkező gázok vagy folyadékok, az UV-sugárzás, az esetleges radioaktív sugárzás, a mikrobiológiai tevékenység okozza. Azt tapasztalták pl., hogy klórmentes vízzel végezve a tartós hidrosztatikai nyomást a csövek élettartama 10–30-szor hosszabb, mintha erre a célra klóros vizet használnak. A csövekre ható terhelés lehet váltakozó hőmérséklet, statikus vagy dinamikus erő, mechanikai sérülés stb.

A csövek hidrosztatikus nyomással előre jelzett élettartama erősen megrövidülhet, ha a cső falában helyi feszültségcsúcsok lépnek fel (pl. meghajlás következtében). Ilyenkor a cső falában mikrorepedések képződnek, amelyek kisebb-nagyobb sebességgel növekednek, végül a cső idő előtti töréséhez vezetnek. A korszerű csőanyagok ún.

lassú repedésterjedése sokszorosán kisebb, mint a 20–30 évvel ezelőtt gyártott csőanyagoké volt. Ennek a tulajdonságnak a vizsgálata ugyancsak fontos a csövek élettartamának becslésében.

A hidrosztatikus terheléssel végzett vizsgálat rendkívül munkaigényes, időigényes és nagyon drága. Ezért erőteljes kutatások folynak olyan vizsgálati eljárás kifejlesztésére, amellyel egyszerűbben és gyorsabban lehet egy cső várható élettartamát meghatározni. Egy nagy-britanniai csoport azt kutatja, hogy milyen összefüggés van a csőanyag stabilizátortartalma és törési hajlama között. Feltevésük szerint a cső élettartamát az anyagába kevert stabilizátor elfogyása határozza meg. Egy ausztráliai kutatócsoport pedig a lassú repedésterjedést vizsgálta és hasonlította össze egy matematikai modell alapján számított értékekkel.

### **Egy PE100 típusú csőanyag élettartamának becslése a stabilizátortartalom csökkenése alapján**

A **Bodycoat PLD** (Manchester, Egyesült Királyság) kutatócsoportja egy vízvezetékhez ajánlott kék színű PE100 csőanyagot vizsgált. Ezt a PE-HD-t a jelenlegi **Basell Polyolefine GmbH** elődje 1994-ben gyártotta. Sűrűsége  $0,949 \text{ g/cm}^3$ , folyási száma ( $190 \text{ °C}/5 \text{ kg}$  mellett)  $0,20 \text{ g}/10 \text{ min}$ . A belőle készített cső külső átmérője  $32 \text{ mm}$ , falvastagsága  $3 \text{ mm}$  volt. A csőanyag termooxidatív degradáció ellen védő primer stabilizátora sztérikusan gátolt fenolos antioxidáns, szekunder stabilizátora foszfit antioxidáns (a kétféle stabilizátor szinergetikus hatású), emellett tartalmaz HALS típusú (sztérikusan gátolt amin) fénystabilizátort és UV-abszorbert a szabadtéri fotooxidáció megelőzésére.

A tartós hidrosztatikus nyomás hatásának vizsgálatát *ISO 1167-1973* szabvány szerint végezték. A  $350 \text{ mm}$  hosszú csőszakaszokat két végükön lezárták, és nyomás alatti ionmentes vízzel töltötték meg őket. A  $20$ ,  $40$ ,  $60$  és  $80 \text{ °C}$ -os fürdő ugyanilyen víz volt. A  $80 \text{ °C}$ -os méréseket max.  $79\,000$  óráig (kb.  $9$  év) folytatták, az alacsonyabb hőmérsékleteken  $20\,000$  óra után (kb.  $2$  év) megszakították a kísérleteket.

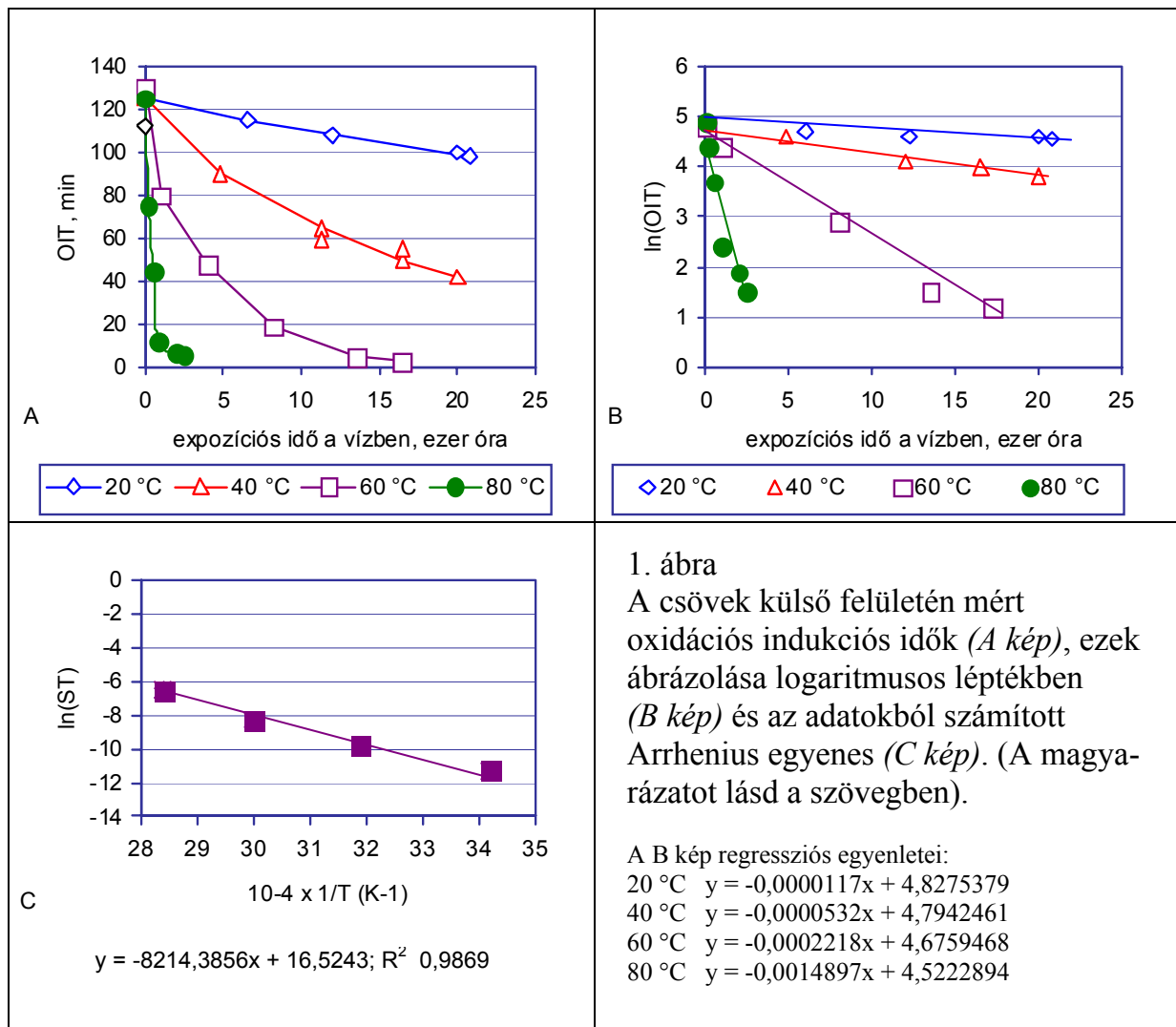
A stabilizátorok fogyását az *oxidatív indukciós idő (OIT, oxidative induction time)* mérésével követték pásztázó differenciál kaloriméterben (DSC) *ISO/TR 10837* szabvány szerint. Ilyen méréseket végeztek a cső külső, középső és belső rétegéből vett mintákkal. Ez a módszer nem ad abszolút eredményeket, de jól tükrözi a változásokat, ami a célnak tökéletesen megfelelt. A nyomás alatt tartott csövek mindhárom rétegéből lehántott fóliákban ecetsav és propanol keverékével extrahált oldatból jodometriás eljárással, *kolorimetriásan határozták meg a stabilizátorok bomlástermékeként képződő hidroperoxidokat és Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával (FTIR)* mérték csak a  $80 \text{ °C}$ -on nyomás alatt tartott csövek anyagában a karbonilcsoportokat.

Tartós hidrosztatikai nyomás alatt  $20$ ,  $40$  és  $60 \text{ °C}$ -on  $20\,000$  óra alatt egyetlen cső sem tört el.  $80 \text{ °C}$ -on kb.  $30\,000$  óra után jelentkeztek az első rideg törések, azaz a görbe II szakasza.

Az oxidatív indukciós idő mérésekor azt észlelték, hogy 2500 óra után eltűnt a stabilizátorok 95%-a, a cső mégis csak 30 000 óra után vált törékennyé. Ez igazolja azt a feltevést, hogy a fizikai tulajdonságok degradáció okozta erőteljes csökkenése csak akkor következik be, ha az összes antioxidáns lebomlik. Ez vízben sokkal gyorsabban megy végbe, mint levegőben. A különböző hőmérsékleten vizsgált csövek külső felületéről vett minták OIT értékét az idő függvényében az 1/A ábra mutatja. A görbék lefutásához exponenciális regressziós egyenleteket lehetett illeszteni, és amint várható volt, logaritmikus skálával felrajzolva ezek egyeneseket eredményeztek (1/B ábra). A lineáris regressziós egyenlet a következő:

$$\ln(OIT) = S_T x t + \ln(OIT_0),$$

ahol  $OIT$  a mért oxidációs indukciós idő  $T$  hőmérsékleten  $t$  idő után,  $S_T$  az antioxidáns fogyásának sebessége (reakciósebesség),  $OIT_0$  a kezdeti OIT érték, amikor  $t = 0$ .



Az antioxidánsok eltűnése ugyan összetett folyamatok eredménye, alapvetően azonban elsőrendű reakciónak tekinthető, hasonló a polietilén adalékainak migrálásához, amelyet többen és alaposan tanulmányoztak. Erre alkalmazható az *Arrhenius-egyenlet*, amellyel az antioxidánsok fogyásának sebessége a következőképpen írható le:

$$\ln(S_T) = -\frac{E_a}{R} \times \frac{1}{T} + \ln C,$$

ahol  $S_T$  a reakciósebesség (az antioxidáns fogyásának sebessége)  $T$  hőmérsékleten;  $T$  a vizsgálati hőmérséklet K-ben;  $E_a$  az aktiválási energia kJ/molban;  $R$  a gázállandó, 8,31 J/K.mol;  $C$  hőmérséklettől függő állandó.

A kísérleti adatokat behelyettesítve az egyenletbe a következő Arrhenius egyenletet kapták a cső külső felületére, amelynek az egyenese az *1/C ábrán* látható:

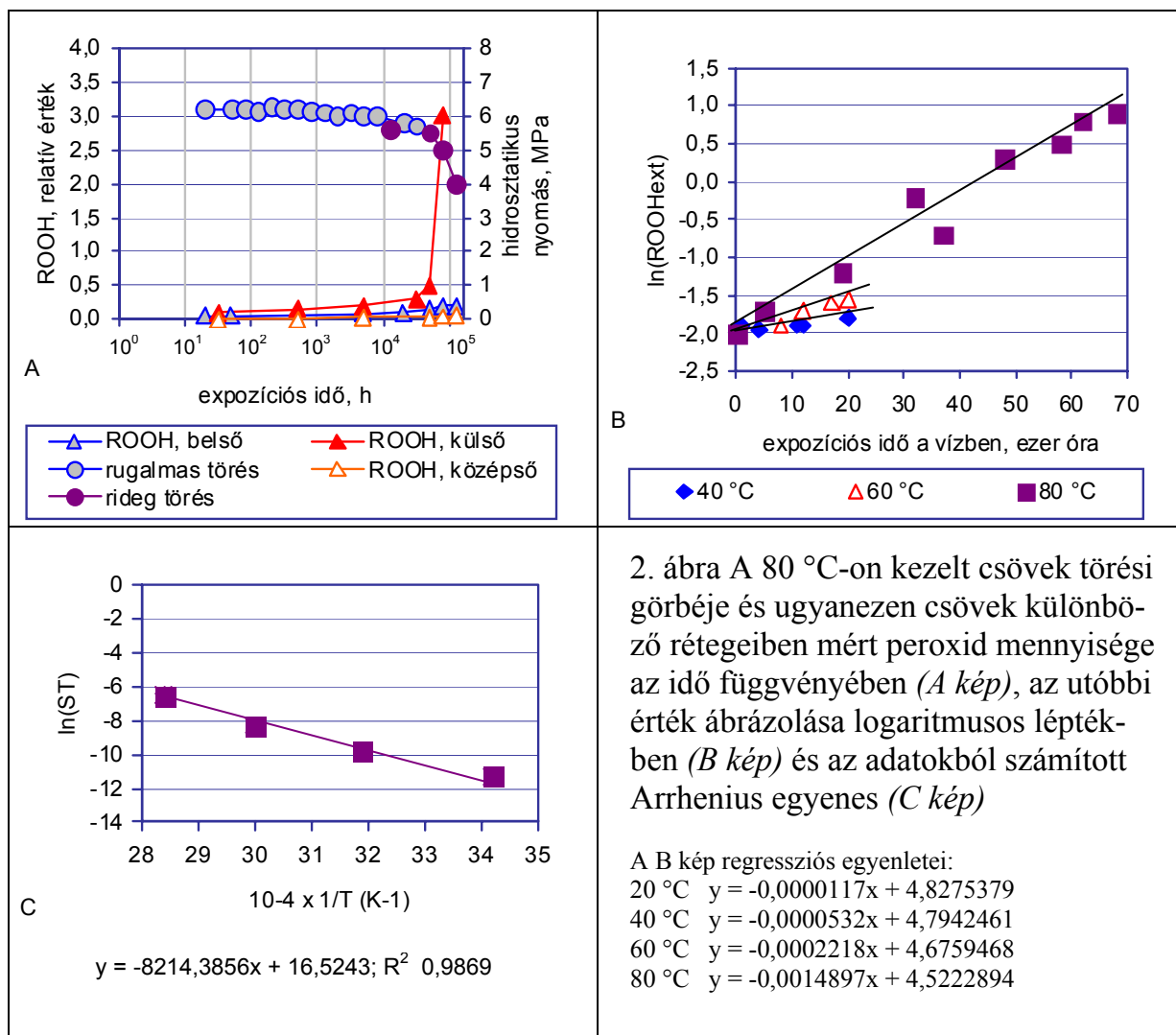
$$\ln(S_T) = -8214,3856 \times \frac{1}{T} + 16,5243$$

Az aktiválási energia (az egyenes meredeksége) 68 kJ/mol. Az egyenlet segítségével az adatokat extrapolálták az üzemi hőmérsékletre, 10 °C-ra, amikor ugyan kiderült, hogy cső külső felületéről 1 percen belül eltűnik a stabilizátor, a cső teljes anyagában viszont csak 1 304 491 óra, azaz 150 év alatt fogy el. A cső belső felületéről vett minták vizsgálatai alapján ott az aktiválási energia,  $E_a$  72 kJ/mol, és a cső anyagában 195 évig mutatható ki stabilizátor.

*A stabilizátorok bomlástermékei közül a hidroperoxidokat (ROOH) a tartós hidrosztatikus nyomás alatt eltört csövek külső, középső és belső felületéről lehántott vékony fóliákban mérték.* A 80 °C-on kezelt csövek ROOH-tartalmának növekedését (relatív értékekben) az idő függvényében a *2/A ábra* mutatja. Ugyanezen az ábrán látható a csövek törési görbéje is a hidrosztatikus nyomás és az idő függvényében. A belső és a középső rétegben csak jelentéktelen mennyiségű peroxidot lehetett kimutatni, a külső rétegben azonban 30 ezer óra körül ugrásszerűen megnövekedett a peroxid mennyisége. Ugyanezkor kezdett a törési görbe függőleges irányba hajolni, és a csövek addigi rugalmas törése helyett rideg töréseket figyeltek meg. Úgy tűnik, hogy ha a peroxid koncentrációja a külső paláston elér egy kritikus értéket, az olyan folyamatokat tud elindítani, amelyek a cső rideg töréséhez vezetnek. Meg kell jegyezni, hogy az eredetileg kék színű csövek kb. 2000 óra után (tehát a törési görbe I. szakaszában) elszíneződtek (a csövek zöld színűek lettek), aminek oka valószínűleg a fenolos antioxidánsok kinodiális átalakulása, sárga színű konjugált kinon-metid képződése.

A *2/A ábra* a 40, 60 és 80 °C-on kezelt csövek külső felületén mért ROOH logaritmusát mutatja az idő függvényében. (20 °C-on a peroxidtartalom a kimutathatóság határa alatt volt.) Az összefüggés lineáris, ezért meghatározható belőle az Arrhenius-egyenlet (*2/C ábra*):

$$\ln(S_T) = -5735,2 \times \frac{1}{T} + 6,2622$$



Az aktiválási energia ebben az esetben 48 kJ/mol. Ennek alapján a peroxidképződés sebességét az üzemi hőmérsékletre, 10 °C-ra extrapolálták, hogy ki tudják számítani, mennyi idő múlva alakul ki a cső külső felületén a kritikus koncentráció. A számítást a következő egyenlettel végezték:

$$\ln(ROOH) = S_T \times t + \ln(ROOH_0)$$

ahol  $ROOH$  a  $T$  hőmérsékleten  $t$  idő alatt eltört csövek külső felületének peroxidtartalma,  $S_T$  az ROOH képződési sebessége  $T$  hőmérsékleten,  $ROOH_0$  a kezdeti peroxidtartalom ( $t = 0$ ).

A kritikus ROOH szint, amelyen a csövek törékennyé válnak, 0,5 (abszorbancia 420 nm-nél). Ezt a szint a számítások szerint 10 °C-on 2 019 595 óra, azaz kb. 235 év alatt alakul ki.

A számításokat kiterjesztették 20 és 30 °C üzemi hőmérsékletre is. Az eredményeket az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

A tartós hidrosztatikus nyomás alatt álló csövek antioxidánsainak teljes lebomlásáig, ill. a kritikus ROOH koncentráció megjelenéséig szükséges idő különböző üzemi hőmérsékleten

Üzemi hőmérséklet °C	Antioxidánsok teljes elfogyása év		Kritikus ROOH-koncentráció kialakulása, év
	belső felület	külső felület	külső felület
10	194	151	234
20	69	56	117
25	42	35	84

A karbonilcsoportok megjelenését csak a 80 °C-on kezelt csöveken vizsgálták. Ilyen csoportokat csak ridegen tört csövek belső felületén, 62 000 óra után találtak jelentősebb mennyiségben. Ezért ezt az időt tekintették a törési görbe III. szakasza kezdetének.

Az oxidációs indukciós időre és a peroxidszint növekedésére alapozott két Arrhenius-modell jó egyezést mutatott. Mindkét jellemző vizsgálata az bizonyította, hogy a cső külső felületén fogynak el a stabilizátorok, ami rideg töréshez vezethet. Másrészt azonban az OIT és az ROOH szint alapján meghatározott kritikus állapot fellépéséig szükséges időtartamban kb. 85 év különbség mutatkozott.

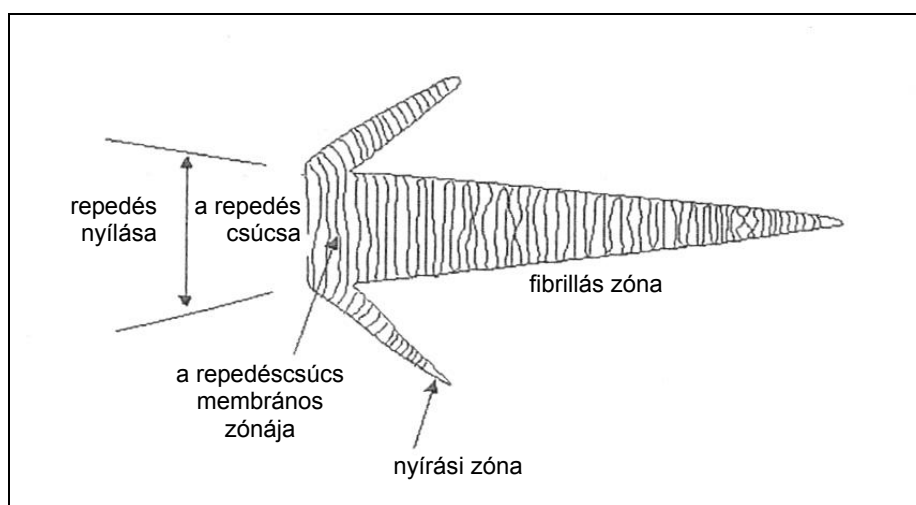
Ez abból adódhat, hogy az oxidatív degradációt megelőző indukciós periódust meghosszabbíthatják a HALS vegyületek, amelyek akkor is védelmet nyújthatnak a tartós termooxidatív folyamatokkal szemben, amikor a fenolos és a foszfittartalmú antioxidánsok már elfogytak. Ilyen hatásuk alacsonyabb hőmérsékleten fokozottan érvényesül. Stabilizáló hatásuk azonban nem mutatkozik az OIT értékében, amely a fenolos stabilizátorok fogyását jelzi. Korábbi vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy a HALS vegyületek nem akadályozzák meg a polimer folyamatos oxidációját, de lelassítják azt. Az is ismert, hogy a HALS vegyületek reakcióba lépnek a peroxi- és hidroperoxigyökökkel. Ha emiatt elfogynak, felgyorsul az oxidáció és gyorsan növekszik a hidroperoxidok szintje. 20 °C-on azonban az OIT értékek is 50 évnél hosszabb élettartamot jósolnak a csövek számára. 25 °C-on a fenol- és foszfittípusú antioxidánsok 36 év alatt bomlanak le, de a csövek várhatóan csak 85 év után válnak törékennyé. Ezért joggal feltételezhető, hogy a vizsgált PE100-as csőanyagból gyártott csövek a melegebb éghajlatú dél-európai és közel-keleti országokban is megbízhatóan fognak működni.

Azt is figyelembe kell venni, hogy a vizsgálatokat a lehető legszigorúbb körülmények között végezték. A valódi körülmények között a csövek külső felülete nem lesz folyamatosan vízben, és különösen nem ionmentesített vízben, amelyben gyorsabb a degradáció, mint a természetes vízben. Azt is meg kell jegyezni, hogy az

Arrhenius egyenleteket empirikus adatok alapján határozták meg, és ezért nem alkalmasak a bomlás és a migrálás mechanizmusának tanulmányozására.

### Lassú repedésterjedés a nyomás alatti PE csövek falában

Ma már általánosan elfogadott nézet, hogy a feszültség hatására a polietilénben képződő mikrorepedések, ill. az azokban lévő speciális szerkezetű repedés csúcsok miatt a hagyományos törésmechanikai elvek nem alkalmazhatók a PE csövek törésének előrejelzésére. Ezeket a mikrorepedéseket ugyan sokan és nagyon alaposan tanulmányozták, eddig nem volt olyan egyszerű módszer, amellyel a mikrorepedések tulajdonságai alapján következtetni lehetne a belőlük kiinduló lassú repedésterjedés sebességére, ill. a PE-csövek ebből levezethető élettartamára.

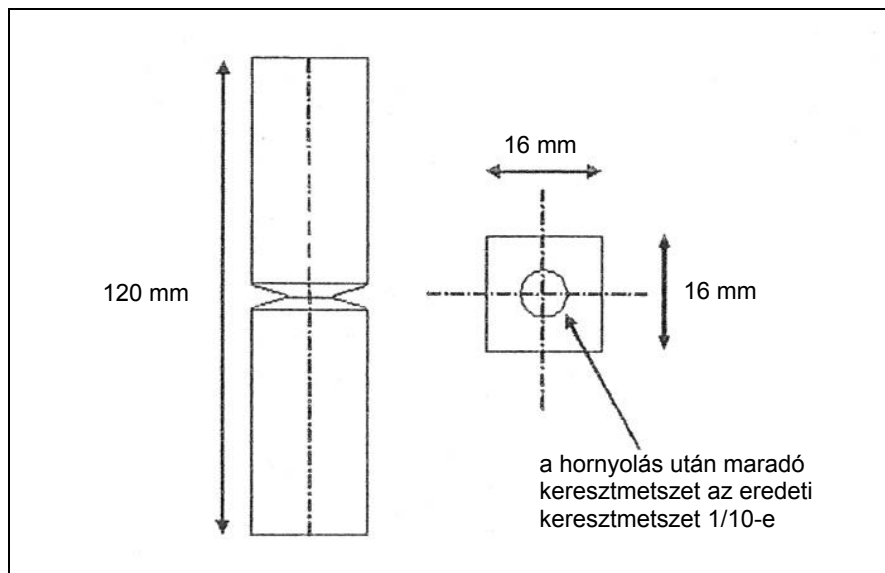


3. ábra A repedés csúcsának szerkezete a repedés terjedésekor

A polietilén csövek falában a hibahelyeken vagy a sérülések környezetében az üzemeltetés okozta terhelés hatására feszültségkoncentráció lép fel, ettől a kezdeti repedés lassan tágulni, terjedni kezd. A különböző típusú polietilének különböző mértékben állnak ellen a repedésterjedésnek, ami erősen befolyásolja a csövek élettartamát. A korai csőanyagok repedésterjedéssel szembeni ellenállása gyenge volt, a mai szívós csőanyagokban a repedés már nagyon lassan terjed. Ezt a mikrorepedések csúcsában képződő fibrilláknak tulajdonítják (3. ábra), amelyek a repedés tágulásakor megnyúlnak, mielőtt elszakadnának, és ezáltal energiát nyelnek el, ill. oszlatnak szét. *A fibrillás zónát plasztikusan deformált „membrános zóna” választja el a már szétvált polimertől.* Amikor a feszültség hatására kialakult a repedés csúcsa hossza, az anyag repedésterjedéssel szembeni ellenállásától függő sebességgel felnyílik a repedés csúcs, azaz terjed a repedés. A jelenség tehát szakaszos, a repedés kisebb-nagyobb „ugrásokkal” halad előre. Ez megfigyelhető a meghibásodás miatt idő előtt eltört csöveken is. A törési munka a repedés csúcs elmozdulásának és a mikrorepedés szilárdságának (craze

strength) szorzata, ezért a szívós PE-típusok, amelyekben nagyobb a mikrorepedések szilárdsága, kevésbé hajlamosak a repedésterjedésre. A lineáris elasztikus törésmechanikai elmélet nem tudja figyelembe venni a polietilénben fellépő bonyolult energiaelnyelő és elosztó mechanizmust, ezért új vizsgálati és előjelzési eljárásokat kell keresni a polietilén-csövek élettartamának becslésére. Ausztráliai kutatók egy olyan matematikai modellt próbáltak meg felállítani, amely alkalmas lehet erre a célra.

A kutatócsoport egy korábban más kutatók (Duan és Williams) által javasolt modelltől indultak ki, amely empirikus összefüggést tartalmaz a mikrorepedés szilárdsága és a törési idő között. Ezt a modellt az ún. *CDNT (circumferentially deep-notched tensile, körkörösén mélyen hornyolt) próbatestek* (4. ábra) húzóvizsgálatai alapján állították fel. A négyzet keresztmetszetű, középen körkörösén hornyolt rúd elvékonyított része statikus húzóterhelés hatására a kezdeti szakaszban nem nyúlik, hanem fibrillák és apró üregek képződnek benne, majd a fibrillák meggyúlása révén következik be a szakadás. A jelenség nagyon hasonlít a csövekben lejátszódó folyamatokhoz.



4. ábra A CDNT próbatest formája és méretei

Az ausztráliai kutatócsoport hasonló módon vizsgálta három Ausztráliában és két USA-ban gyártott polietilén-cső anyagát. Az előzőek átmérője 110 mm, az utóbbiaké kb. 150 mm volt. A csőanyagok közül a PE1(AUS) viszonylag nagy molekulatömegű, komonomerje révén hosszú oldalláncokat tartalmazó bimodális típus. A PE2(AUS) kisebb molekulatömegű unimodális polimer, amelyben a komonomer a kisebb molekulatömegű frakcióban koncentrált. A PE3(AUS) morfológiája ismeretlen volt. A PE1(US) az USA-ban jelenleg csőgyártásra alkalmazott korszerű típus. A PE2(US) egy olyan vízvezetékéből származó cső volt, amelyet az USA-ban 1973–1975 között fektettek le, és 2004-ben a földben tört el. Részletesebb információt nem kaptak róla. A vizsgált csőanyagok kielégítették a repedésterjedésre vonatkozó hatályos nemzeti



szabványok követelményeit. (2. táblázat). A törött csőről ilyen információt nem kaptak.

2. táblázat

A vizsgált csőanyagok nemzeti szabványok alapján vizsgált repedésterjedése

Csőanyag jele	Nemzeti szabvány	Vizsgálati módszer szabványa	Ellenállás legkisebb időtartama repedésterjedéssel szemben, h
PE1(AUS)	AS/NZS 4131	ISO 13479, hornyolt cső	500
PE2(AUS)	AS/NZS 4131	ISO 13479, hornyolt cső	500
PE3(AUS)	AS/NZS 4131	ISO 13479, hornyolt cső	500
PE1(US)	ASTM 3350	ESCR-teszt, ASTM D 1693	192 (a minták max. 20%-a törhet)

A CDNT próbatesteket a csövek őrleményéből sajtolással állították elő. A sztatikus terhelést levegőben, 20 °C-os környezetben végezték. A modell felépítéséhez a már említett Duan-Williams-féle modellből indultak ki, amely szerint

$$\sigma_c = At_f^{-m}$$

ahol  $\sigma_c$  a mikrorepedést kiváltó feszültség (a statikus terhelés és a hornyolt keresztmetszet hányadosa),  $t_f$  a törésig eltelt idő,  $A$  és  $m$  anyagra jellemző állandó. Az állandók meghatározásához célszerűbb az egyenletet a következő formában felírni:

$$t_f = \left( \frac{\sigma_c}{A} \right)^{-1/m}$$

Az utóbbi egyenletben  $A$  úgy definiálható, mint az a feszültség, amely egységnyi idő (1 óra) alatt vált ki törést, és *általános terhelhetőségi kapacitásnak* nevezhető;  $m$  az anyag viselkedésének időfüggését fejezi ki, és a *sérüléskifejlődés indexének* tekinthető.

3. táblázat

A vizsgált csőanyagok repedésterjedéssel szemben kifejtett ellenállásának jellemzői rövid időtartamú terhelés mellett

Csőanyag jele	Általános terhelhetőségi kapacitás, $A$ , MPa	A sérüléskifejlődés indexe, $m$	Regressziós tényező, $R^2$
PE1(AUS)	24,1	0,05	0,91
PE2(AUS)	21,7	0,05	0,88
PE3(AUS)	21,2	0,06	0,80
PE1(US)	24,4	0,06	0,93
PE2(US)	16,4	0,07	0,90

A mérési eredményekből és a hozzájuk rendelt regressziós egyenletekből kiszámított értékeket a 3. táblázat tartalmazza. A nagyobb  $A$ - és kisebb  $m$ -értékű anyagoktól várható a hosszabb időtartamú repedési ellenállás. Ennek megfelelően a korszerű mai csőanyag [PE1(US)] adta a legjobb, a több mint 30 évvel ezelőtt gyártott és közben eltört cső anyaga [PE2(US)] pedig a leggyengébb értékeket.

Statikus terhelés alatt a fibrillák elszakadásához az kell, hogy az összegabalyodott molekulaláncok szétesússzanak, és/vagy az amorf fázisból a kristályos fázisba beépülő molekuláriszerek kihúzódnak a kristályokból. Ezért a nagy molekulatömegű és hosszú, elágazó oldalláncokat tartalmazó polimerekben lassabban terjed a repedés, különösen ha az oldalláncok nem csak egy, hanem több kristályos területbe is beépülnek. Az ilyen molekulák mellett kis molekulatömegű frakciót is tartalmazó bimodális polimerekben viszont ezek a rövidebb láncú molekulák a hosszú molekulákhoz tapadva mintegy horgonyként rögzítik azokat, és megnehezítik a láncok szétválását. Nem meglepő tehát, hogy a bimodális PE1(US) csőanyag adta a legjobb eredményt.

Ezután arra a kérdésre kellett megkeresni a választ, hogy hogyan vihetők át a CDNT próbatesteken mért értékek a más geometriájú testekre. Ehhez Duan és Williams korábbi megfigyeléseit használták fel, amelyek szerint a polimerek szívósságának vizsgálatára alkalmazott, sajtolt lapokból kivágott és egy oldalon pengével hornyolt, ún. *SENB* (*single edge notch bending*) próbatestek hajlításakor is fellép a repedéscsúcs hosszának lépcsőzetes növekedése. Azt is megfigyelték, hogy a rövid idő alatt bekövetkező növekedés és feszültségeloszlás után a repedéscsúcs hossza nem változik addig, amíg a fibrillák el nem szakadnak, és a teljes hossz mentén azonos húzófeszültség alakul ki. Egy adott geometriájú próbatestben fellépő feszültség megbecsülhető az ún. *referenciafeszültség* segítségével, amelynek fogalmát az 1970-es években vezették be, és azóta alkalmazzák repedést tartalmazó szerkezetek törésének előrejelzésére. A referenciafeszültséget meg lehet határozni a következő egyenlettel:

$$\sigma_{ref} = \frac{P\sigma_y}{P_U}$$

ahol  $P$  a próbatestre ható aktuális terhelés,  $P_U$  a hornyolatlan próbatest töréséhez szükséges terhelés,  $\sigma_y$  a feszültség a nyúláshatáron. A referenciafeszültség időfüggése feltételezhetően ugyanolyan, mint a CDNT próbatest repedéscsúcsában lévő feszültség időfüggése. Duan és Williams ezért az *SENB* próbatestek törési idejének előrejelzéséhez a CDNT próbatesteken mért állandókat használta fel.

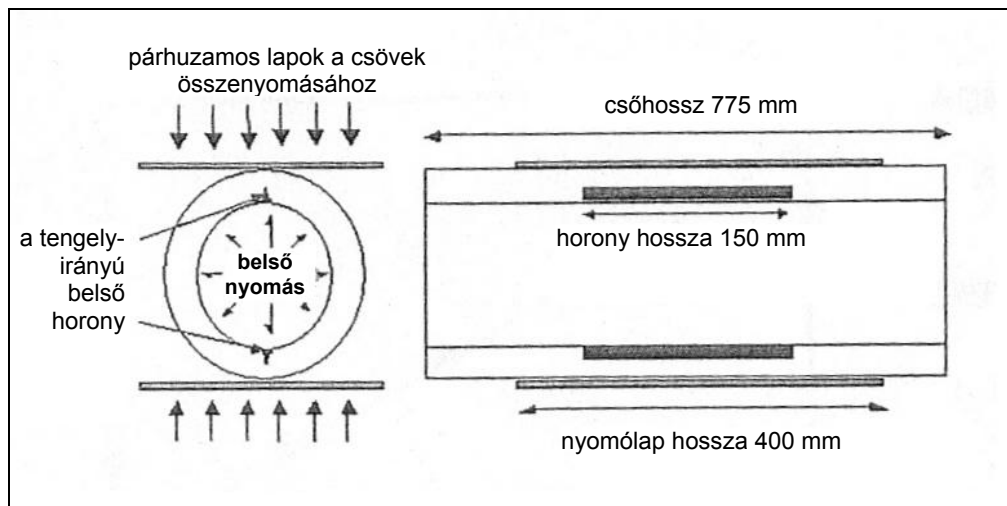
A csövek esetében bonyolultabb a helyzet, mert ott a tengelyirányú hajlítás hatására keletkező mikrorepedések mellett sugárirányú sztatikus terhelés is hat a vezeték falára. Az ausztráliai kutatócsoport a szakirodalomban olyan adatokat is talált (közvetőjük Goodall és Webster), amelyeket tengelyirányú hibahelyet tartalmazó és erőmerőlegesen hajlított lap alakú minta vizsgálataiból származtak. Ezeket felhasználva

kiszámították a csövek feltételezhető referenciafeszültségét, amelynek felhasználásával a polietilén csövek törésének előrejelzésére a következő összefüggést ajánlják:

$$t_f = \left( \frac{\sigma_{ref}}{A} \right)^{-1/m}$$

ahol  $A$  és  $m$  azonos a CDNT próbatesteken mért és a 3. táblázatban található értékekkel.

Az ajánlott matematikai modell helyességének ellenőrzésére, az ún. validáláshoz a 110 mm átmérőjű PE2(AUS) polietilén cső 775 mm hosszú darabjait egy kijelölt 150 mm hosszú szakaszon belső oldalukon pengével hornyolták, majd a cső két végére fedőlapot hegesztettek. A cső belsejében vízzel hidrosztatikus nyomást hoztak létre, a cső palástjára pedig 400 mm hosszú lapokat helyeztek, amelyeken keresztül külső nyomást fejtettek ki a csövekre. A vizsgálati elrendezést az 5. ábra mutatja. Különböző hidrosztatikus nyomás és külső nyomóerő mellett vizsgálták a csövek töréséhez szükséges időt, és ezt összehasonlították a modellel kiszámított idővel. A vizsgálati paramétereket és az eredményeket a 4. táblázat tartalmazza. Bár a matematikai modellel számított értékek alábecsülik a várható élettartamot, az eredmények összevetethetők és biztatóak. Az eltérések a modell egyszerűségéből adódnak. A töréskor ugyanis minden egyes esetben megállapítható volt, hogy az a hajlításkor képződő repedésből indult ki, megfigyelhető volt a repedésen kívüli fal anyagának nyúlása és kúszása is. A modell finomításakor ezeket is figyelembe kell venni.



5. ábra A csövek törésének előrejelzésére ajánlott matematikai modell ellenőrzéséhez használt kísérleti elrendezés

A PE2(AUS) csövek mért és számított törési ideje kísérleti körülmények között

Sorszám	Külső átmérő	Cső falvastagsága	Belső nyomás	Cső behajlása	Kezdeti repedés hossza	Törési idő h	
	mm	mm	MPa	mm	mm	mért	számított
1	110,6	10,3	3,54	0,3	2,6	0,1	0,02
2	110,7	10,3	2,40	1,0	2,8	7,2	3,1
3	110,6	10,2	2,10	1,2	1,9	173,2	152,6

Összeállította: Pál Károlyné

Hoang, E. M.; Lowe, D.: Lifetime prediction of a blue PE100 water pipe. = Polymer Degradation and Stability, 93. k. 2008. p. 1496–1503.

Davis, P.; Burn, S.; Gould, S.: Fracture prediction in tough polyethylene pipes using measured craze strength. = Polymer Engineering and Science, 48. k. 5. sz. 2008. p. 843–852.

<b>MŰANYAG ÉS GUMI</b>	
a Gépipari Tudományos Egyesület, a Magyar Kémikusok Egyesülete és a magyar műanyag- és gumiipari vállalatok havi műszaki folyóirata	
<b>2009. szeptember: fröccsöntés</b>	<b>2009. október: műszaki műanyagok</b>
<p><i>A jubileumi Mechanoplast konferencia programja</i>  <i>Buzási L-né.: Fröccsöntés helyzete Magyarországon</i>  <i>Dr. Lehoczki L.: A fröccsöntés helyzete Közép-és Kelet-Európában</i>  <i>Juhász L. A.: Moldex3D alkalmazása a gyakorlatban</i>  <i>Falk Gy., Farkas A., Sebők R., Solymossy B.: Fejlesztéstől a fröccsöntésig</i>  <i>Kmetty Á., Kovács N. K., dr. Kovács J. G.: 3D nyomtatással készült termékek légáteresztő képességének vizsgálata</i>  <i>Dr. Orbán S.: Egészségesen fejlődik Közép-Kelet-Európa műanyag piaca VIII. Szerbia műanyagipara</i>  <i>Hirsch H.: REACH – megbirkózni a kihívásokkal</i>  <i>Hírek; iparjogvédelmi hírek; műanyagipari hírek; műanyagipari újdonságok; zöld szemmel a nagyvilágban.</i></p>	<p><i>Dr. Lehoczki L.: Műszaki műanyagok feldolgozása</i>  <i>Toroczkay K., dr. Macskási L.: Méretre szabott megoldások műszaki műanyagokkal I. Poliamidok alkalmazásai</i>  <i>Eriksson, H.: POLYfill PP HC – Ultra-nagy teljesítményű, üvegszál erősítésű polipropilén</i>  <i>Dr. Macskási L.: A világ műanyag alapanyag piaca – előrejelzés 2015-ig</i>  <i>Varga C., dr. Miskolczi N., dr. Bartha L., dr. Falussy L.: Szénszállal erősített polipropilén kompozitok tulajdonságainak javítása a szálak felületének módosításával</i>  <i>Hári J., Dominkovics Z., dr. Fekete E., dr. Pukánszky B.: Polipropilén/rétegszilikát nanokompozitok termooxidatív stabilitása</i>  <i>Egyesületi hírek</i>  <i>Hírek; iparjogvédelmi hírek; kiállítások, konferenciák; műanyagipari hírek; műanyagipari újdonságok; zöld szemmel a nagyvilágban.</i></p>
<p>Szerkesztőség: 1371 Budapest, Pf. 433.            Telefon: +36 1 201-7818, 201-7580 Fax: +36 1 202-0252</p>	

## Hírek új anyagokról

### Új PE-HD típusok csavaros kupakok gyártásához

A **Borealis** három új, multimodális PE-HD típust ajánl kupakok gyártásához. A kiváló organoleptikus tulajdonság mellett az új anyagokkal nagyobb termelékenységre érhető el, ami csökkenti a gyártási költségeket. A *BorPure* márkanévű polietilénből csendes, szénsvartartalmú vizek és gyümölcslevek palackjaihoz egyaránt kiváló minőségű kupakok gyárthatók.

Plastverarbeiter, 60. k. 5. sz. 2009. p. 61.

O. S.

---

---

### Szemüveglencsék poliamidból

Az **Evonik Trogamid myCX** jelű mikrokristályos poliamid típusát kifejezetten sport- és napszemüvegek lencséinek gyártására fejlesztette ki. Átlátszó fóliák is készíthetők belőle optikai elemek laminálása, dekorálása céljára. Tulajdonságai közül kiemelendő tisztasága és jó feldolgozhatósága. A lencsék utólagosan fűréssel, csiszolással, marással megmunkálhatók. Átlátszóságát tartósan megőrzi, fényáteresztő képessége 92%. Alacsony sűrűsége előnyös az üveggel szemben és töréssel, karcolással szembeni ellenálló képessége kellő biztonságot ad a szemüveg viselőjének sportolás közben.

Plastverarbeiter, 60. k. 8. sz. p. 45.

O. S.

---

---

### Új polimer család az Arkematól

Az **Arkema** egy új kopolimer családot fejlesztett ki, amely a poliamidok és a poliolefin tulajdonságait kombinálja, nevezetesen hőállóságuk nagyobb (150 °C-ig), mint a poliolefiné, viszont rugalmasabbak a hagyományos poliamidoknál, ütésállóak. Kombinált kopolimerekről van szó, amelyek komonomerként különböző mennyiségű etilént tartalmaznak. A kopolimerek szerkezete nanométeres szintig egységes, aminek köszönhetően az anyagok átlátszóak.

Az *Apolhya* családot fröccsöntéssel, extrudálással, fűréssel feldolgozható típusok alkotják. Egy extrúziós típust már alkalmaztak az autóiparban. Az anyag könnyű feldolgozhatóságával, kiváló termooxidatív stabilitásával és jó olajállóságával tűnt ki.

www.plasticstoday.com 2009. 09. 25.

O. S.

[www.quattroplast.hu](http://www.quattroplast.hu)