

Extrém körülmények között hosszú használatra szánt hőre lágyuló műanyag csövek vizsgálata, tervezése és minősítése. 2. rész

A publikáció 1. részét a kiadvány 4. száma tartalmazza. Ebben a kőolajiparban az acélból és a szálerősítésű hőre keményedő műanyagokból készített csövek helyett alkalmazható, szállal erősített hőre lágyuló műanyag csövek tervezéséről, minősítéséről számoltunk be. A 2. részben a többnyire földbe fektetett, nyomás alatt üzemelő, nagy átmérőjű, hosszú (100 év körüli) használatra szánt polietilén csövek egy ritka, de veszélyes és nagy kárt okozó meghibásodásának, a gyors repedésterjedésnek (rapid crack propagation, RCP) az elhárítására végzett kísérleteket ismertetjük.

Tárgyszavak: műanyag csövek; polietilén csövek; gyors repedésterjedés; vizsgálati módszerek; kritikus nyomás; kritikus hőmérséklet.

Nagy átmérőjű polietilén csöveket több mint 50 éve használnak földbe fektetett vezetékben gázok és folyadékok szállítására. Ezek előnye az ugyanilyen célokra alkalmazott öntöttvas, acél- vagy cementcsövekkel szemben a nagyobb szívósság és rugalmasság, a korróziómentesség, a hosszabb élettartam, a hegeszthetőség, a csekély karbantartás-szükséglet, a csövek könnyűsége, a szerelés egyszerűsége és nem utolsósorban a vezetékrendszer kiépítésének kisebb költsége. Van azonban az ilyen PE vezetékrendszernek egy kockázata, a gyors repedésterjedés, amely csak több környezeti hatás (nyomás, hőmérséklet) szerencsétlen kombinációja mellett, ritkán következik be, de ha igen, akkor ennek romboló hatása van, és nagy kárt okozhat. Az RCP sebessége elérheti a 100–300 m/s sebességet, hossza pedig a több száz vagy több ezer métert.

A csövek RCP vizsgálatára két módszert alkalmaznak. Az ISO 13477 szabvány írja le a kisebb csőszakaszokat alkalmazó módszert (small-scale, steady-state test, jele S4), amely szerint egy ráccsal felül védett vályúba (kalitkába) lazán elférő, két végén lezárt csőszakaszt (ennek hossza az átmérő legalább ötszöröse) gázzal (legtöbbször levegővel) vagy folyadékkal (lehetőleg a majdan vezetendő folyadékkal) töltönek fel, majd a cső egyik végének közelében egy keskeny és nem mély tengelyirányú horony bevágása után a csőben lévő közeget nyomás alá helyezik. Azonos hőmérsékleten különböző nyomásokkal végzett repesztésekkel meghatározzák a cső kiválasztott hőmérséklet melletti kritikus nyomását ($P_{c,S4}$), vagy ugyanolyan nyomás mellett, de különböző hőmérsékleten végzett repesztésekből a kritikus hőmérsékletet ($T_{c,S4}$). A másik, az ISO 13478 szabvány szerinti módszer (valódi méretű vizsgálat, full-scale, jele FS)

elve hasonló, de abban kötőelemet is tartalmazó, valódi hosszúságú csöveket repesztenek kavicssal fedve.

A Chevron Phillips Chemical Co. LP (CPChem) 2004-ben állított üzembe egy S4 típusú vizsgálatok végzésére alkalmas berendezést. Erre alapozva 2016-ig a cég kutatói több mint 350 $P_{c,S4}$ és $T_{c,S4}$ értéket határoztak meg különböző alapanyagú polietilén-csöveken, de végeztek valódi méretű csöveken is méréseket külső laboratóriumokban. Az 50 mm átmérőjű csöveket saját laboratóriumi extruderükön készítették el, a nagyobb átmérőjűeket (200 mm-ig) ipari gépeken extrudálták. A kutatások első szakaszában azt vizsgálták, hogy milyen módon viszonyulnak egymáshoz az S4 és az FS módszerrel meghatározott P_c és T_c értékek, a továbbiakban pedig azt, hogy hogyan hat a környezet hőmérséklete és a csőben lévő nyomás ezekre az értékekre, ill. hogy milyen körülmények között zárható ki az RCP lehetősége.

Az S4 típusú és a valódi méretekkel végzett vizsgálatok közötti korrelációs faktor

Ebben a kísérleti szakaszban a valódi méretű vizsgálatokban csak a kritikus nyomást, $P_{c,FS}$ értéket határozták meg konstans 0 °C-on, az S4 típusú vizsgálatokban pedig vagy a kritikus nyomást, $P_{c,S4}$ -et ugyancsak 0 °C állandó hőmérsékleten, vagy a kritikus hőmérsékletet, $T_{c,S4}$ -et 5 bar állandó nyomás mellett.

Egy másik kutatócsoport korábban 110 mm átmérőjű PE csöveken a következő összefüggést állította fel:

$$P_{c,FS} = 3,6(P_{c,S4}) + 2,6, \text{ ahol nyomást barban fejezték ki.}$$

Általános képletként elfogadható a következő összefüggés:

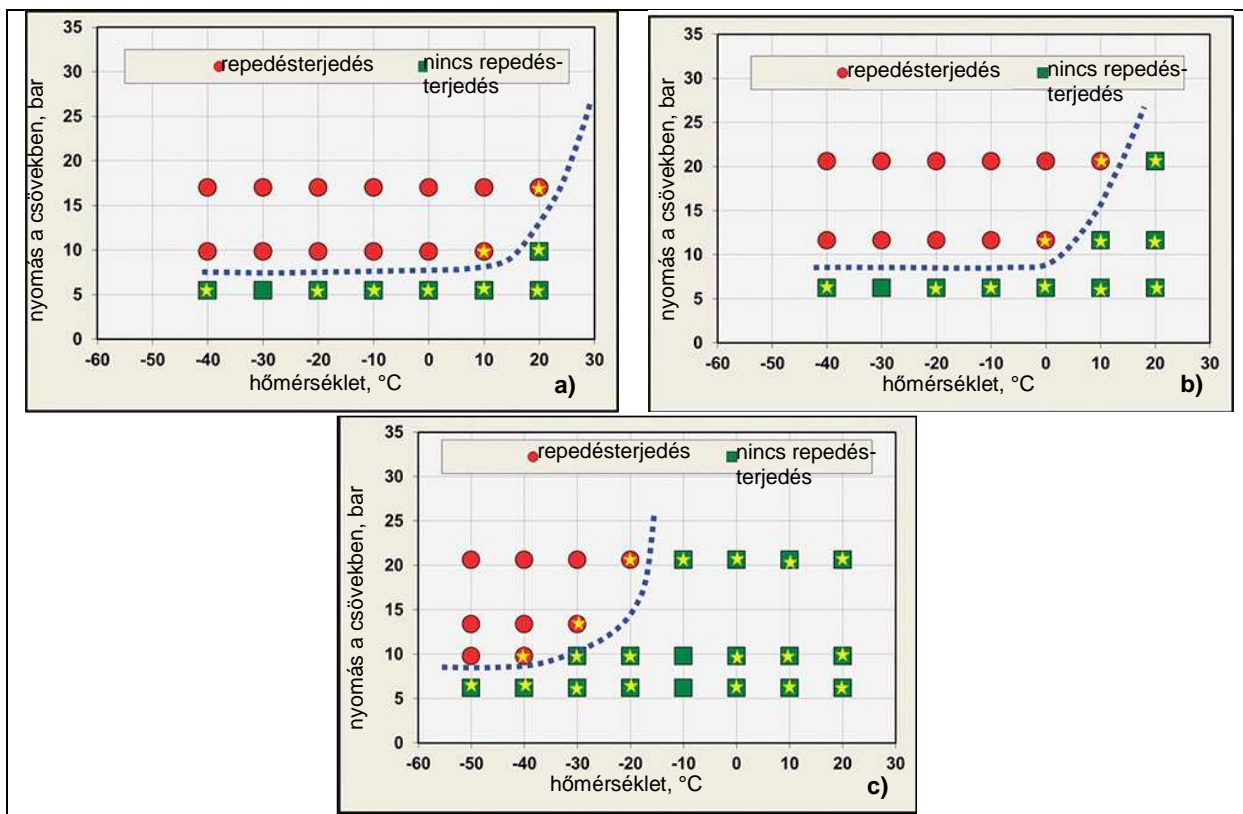
$$P_{c,FS} = F(P_{c,S4}) + (F-1), \text{ ahol } F \text{ a korrelációs faktor.}$$

A CPChem kutatói 5 csövet PE-MD-ből, 2 csövet PE-HD-ből extrudáltak, 5 cső átmérője 200 mm, 2 csőé 150 mm, 6 cső SDR értéke 11 (standard dimension rate, a külső átmérő és a legkisebb falvastagság hányadosa), 1 csőé 17 volt. Mérési eredményeik egyértelműen arra utalnak, hogy a korrelációs faktor helyes értéke inkább 4,5-5 közötti érték. A kutatók a nagyobb biztonság érdekében mégis azt javasolják, hogy a csövek minősítésekor a 3,6-os szorzófaktort használják. A csöveket ugyanis természetesen a valódi csövek kritikus nyomása alapján minősítik, de a vizsgálatok zömét csőszakaszokkal végzik, ezért nagyon kevés az FS típusú vizsgálati eredmény, és a magas költségek miatt ez a közeljövőben sem változik majd.

A gyors feszültségrepedés $P_{c,S4}$ - $T_{c,S4}$ tartományának vizsgálata

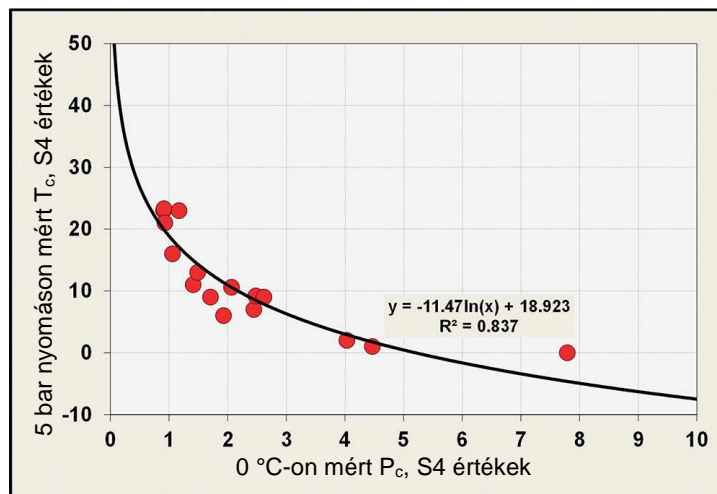
Ebben a kísérleti szakaszban a kutatók háromféle polietilénből (unimodális PE-MD, jele M; unimodális PE-HD, jele H; bimodális PE-HD, jele B-H) extrudáltak 200 mm átmérőjű, 11 SDR értékű csöveket. Ezeket S4 módszerrel vizsgálták az összetartozó P_c és T_c értékeket olyan módon, hogy a hőmérséklet függvényében mért kritikus nyomások mellett 5 bar állandó nyomást alkalmazva az RCP megjelenését a hőmérséklet függvényében is megfigyelték. Kritikus hőmérsékletnek azt a legalacsonyabb határhőmérsékletet tekintették, amelynél kicsit hidegebb környezetben már bekövetkezett a gyors repedésterjedés.

A vizsgálatokban a háromféle cső belső nyomását 0,5–5,0 bar között, a hőmérsékletet (10 °C-ként) –50 – +20 °C között változtatták. A kapott $P_{c,S4}$ értékeket 3,6-os szorzóval $P_{c,FS}$ értékekre számították át, és az 1/a-1/b ábrán látható módon ábrázolták. Ezek alapján könnyen meghatározható, hogy egy adott nyomás és hőmérséklet mellett valószínűsíthető-e egy adott cső gyors repedésterjedése. Látható, hogy az M polietilénből készült csövek sokkal nagyobb nyomás-hőmérséklet tartományban képesek a gyors repedésre, mint a B-H polietilénből gyártottak. (A H polietilén értékei a kettő között voltak.) Az ábrákon látható szaggatott vonal választja el egymástól a csőre jellemző repedésveszélyes és nagy valószínűséggel veszélymentes tartományt. Ennek a görbének az eleje a nagyon alacsony hőmérsékletek tartományában egy plató, ami azt jelzi, hogy az adott hőmérsékleten a nyomás csak kevésbé befolyásolja az RCP-t. 5 bar vagy annál alacsonyabb nyomás mellett a –40 és –50 °C-os tartományban egyetlen egyszer sem indult meg ez a hibaképződés.



1. ábra Az M (1/a) és a B-H (1/b) jelű polietilénből készített csövek gyors repedésterjedése a (valódi méretű csövekre átszámított) nyomás és a hőmérséklet függvényében. A körök a repedésterjedés megvalósulását, a négyzetek ennek a jelenségnek az elmaradását jelzik. A csillaggal jelölt pontok konkrét mérési eredmények, a csillag nélküliek becült értékek.

Csövek tulajdonságainak jellemzésekor az RCP-t gyakran a $P_c, S4$ vagy a $T_c, S4$ értéket (néha mindkettőt) adják meg, de nem lehet tudni, hogy ezek között milyen összefüggés van. A kutatók ezért 16 különböző PE csőnek (köztük unimodális, bimodális, PE80, PE100 típusú és PE 4710 jelzésű PE-ből készített 200 mm átmérőjű, 11 SDR arányú csöveknek) mérték a kritikus nyomását és hőmérsékletét S4 módszerrel 5 bar nyomáson és 0 °C-on, majd az eredményekből korrelációs összefüggést számítottak. Az eredményeket a 2. ábra mutatja. Ezek arra utalnak, hogy az azonos méretű PE csövek $P_c, S4$ és $T_c, S4$ értékei között kölcsönhatás van, amely matematikai függvénnyel is kifejezhető, és független az alapanyag szerkezeti tulajdonságaitól (molekulatömeg, sűrűség stb.). Az ábrán látható görbe „mestergörbének” tekinthető, és azt sugallja, hogy egy azonos méretű PE cső S4 módszerrel meghatározott $P_c, S4$ értékéből kiszámítható a $T_c, S4$ érték és ez fordítva is igaz.



2. ábra 16 különböző alapanyagú PE cső 5 bar nyomással és 0 °C-on S4 módszerrel meghatározott P_c és T_c értékei közötti korreláció.

Az extrudálás paramétereinek hatása az RCP-re

A CPCChem kutatói az extrúziós paraméterek hatását az RPC-re közepes sűrűségű PE-MP csőanyagból készített 50 mm átmérőjű, 11 SDR arányú csöveken mérték. Háromféle extrúziós sebességet (100–150–200 lb/h, azaz 45-68-90 kg/h) és kétféle (193, 250 °C) extrúziós hőmérsékletet alkalmaztak. Az extrúzió sebessége erősen, a hőmérséklet csak csekély mértékben hatott a gyors repedésterjedésre. Mind a magasabb, mind pedig az alacsonyabb hőmérsékleten extrudált csövek $T_c, S4$ értéke csökkent (azaz javult az RPC-vel szembeni ellenállás), ha növelték az extrudálás sebességét. Ennek pontos okát nem ismerik, de feltételezik, hogy a viszonylag nagyobb sűrűség, a kevesebb visszamaradó belső feszültség szab gátat a repedésnek.

Következtetések

A kutatók megállapították, hogy az S4 módszerrel mért kritikus nyomás értékének valódi méretű csövekre vonatkoztatásakor alkalmazott 3,6-os korrekciós faktor kicsit szigorú, a valódi korrekciós faktor valójában 4,5–5 között van. A nagyobb biztonság érdekében mégis egyelőre a 3,6-os faktor alkalmazását javasolják.

Alacsony hőmérsékleten, -20 °C alatt, a három vizsgált PE hasonló módon viselkedett, a belőlük készített csöveken nem észleltek gyors repedésterjedést. Az adatok mélyebb elemzésekor kiderült, hogy az azonos méretű PE csövek P_c és T_c értékei között a PE típusától független kölcsönviszony van, amely matematikai formában is kifejezhető.

A kísérletekből az is kiderült, hogy *a nagyobb sebességgel extrudált PE csövek alacsony hőmérsékleten jobban ellenállnak a gyors repedésnövekedésnek, mint a kisebb sebességgel gyártottak.*

Összeállította Pál Károlyné

Moslemian, M.: Thermoplastic pipe offers benefits in oil and gas sector = Pipe & profile extrusion, 2017 jan/febr, p. 13, 14, 16. www.pipeandprofile.com

DNV GL Safer Smarter Greener– It's time to take a broader view to address increased complexity = www.dnvgl.com/about/broader-view/index.html

Sukhadia, A.M.; Lamborn, M.J.; Maeger, P.L.: Polyethylene pipe performance – observations & insights from experimental investigations = *Plastics Engineering*, 72. k. 10. sz. 2016. p. 44–51.