

Új módszerek a csövek élettartamának vizsgálatában

A műanyag csöveket általában hosszú időre építik be, alkalmazásuk során számos igénybevételnek kell ellenállniuk. Viselkedésüket különböző vizsgálati módszerekkel lehet előrejelezni, azonban ezek továbbfejlesztésével sok kutató foglalkozik.

Tárgyszavak: csővizsgálat; élettartam; polietilén; PVC; környezetvédelem; csatornacső; meleg vizet szállító cső; deformáció.

Számos módszer létezik a műanyag csövek élettartamának becslésére, de senki nem tudja a csövek tönkremeneteléig, hogy ezek mennyire pontosak. Ugyanakkor, számos kutatás vizsgálja azokat a módszereket – akár újakat, akár régieket – amelyeknél lehetőség van a becslések pontosságának javítására.

Amerikai és dél-koreai kutatók kidolgoztak egy módszert az *S4 vizsgálat* PVC vízcsőkre való alkalmazására. Ezt egyébként a PVC gázcsöveken gyors repedésterjedés (RCP) meghatározására használják. Az első vizsgálati próbákat az Underground Solutions (USA) mélyépítő vállalatnál és a Hannam University-nél (Dél-Korea) végezték.

Az *S4* módszert elsősorban földgázt szállító csövekhez fejlesztették ki, ahol egyik gond a gyors repedésterjedés, a szabvány azonban megengedi alkalmazását más közegek, pl. víz esetére is.

A 100–300 mm átmérőjű próbatestek közműhálózatokba épített csövekből származtak, amelyeket közvetlenül a csőgyártóktól kaptak. A próbatestek (csődarabok) hossza a külső átmérő 7–8-szorosa volt. A vizsgálatban egy ütőpenge haladt 10–20 m/s sebességgel a csővel szemben, hogy repedésterjedést indítson el. A sebesség pontos mérésére időzítőkaput használtak. A vizsgálati előírásnak megfelelően 6–8 vizsgálatot végeztek különböző nyomásokkal. A nyomást fokozatosan addig emelték, amíg a repedés hosszában éles ugrás nem következett be. Az a belső nyomás tekinthető kritikus nyomásnak, amely a cső belső átmérőjénél 4,7-szer hosszabb repedést tud létrehozni. Ezt az értéket tudják kalkulálni egy egyenlet segítségével a teljes beépítési hosszra. 175 mm átmérőjű cső esetében a kritikus nyomás a teljes csőhosszra 27,8 bar volt, amely jóval felette van az *AWWA szabvány* által előírtak (16,2 bar).

Kompozit csövek gyorsabb vizsgálata

A japán Kyoto Institute of Technology, az Osaka Gas Company és a Toyobo vállalatok kutatói kifejlesztettek egy gyűrűs húzási-kúszási vizsgálati módszert polietilén-alapú kompozit csövekhez. Ez a teszt egyszerűbben elvégezhető, mint az általános

törésellenállósági vizsgálat, mégis nagyon hasonló eredményeket ad. A húzási-kúszási vizsgálatot gyűrű alakú mintákkal végezték, hogy megbecsüljék a hosszú távú teljesítményt. *A módszer magában foglalja a gyors repedésterjedés és a határfelületi rétegelválás tanulmányozását is.*

Három különböző csövet vizsgáltak: egy egyrétegű PE csövet, amelyet jellemzően gázszállításra használnak; és két kompozit csövet – ezeknél az olajszállításban használt csöveknél a belső és a külső réteg PE volt, míg a középső réteg EVOH (mint olajzáró), illetve alumínium. A csöveket PE, EB és SMX betűkkel jelölték. Mindegyik csőből négyzet és gyűrű alakú próbatesteket vágtak ki, majd borotvapengékkel bevágást ejtettek rajtuk. Ezután a próbatesteket a húzási-kúszás berendezésen vizsgálták, és meghatározták a törésellenállóságukat is.

A PE csőminták az előbbi vizsgálatban gyorsabban tönkrementek, mint az utóbbiban, a bevágásnak köszönhetően. Az EB csövek tönkremenetele lassabb volt az olajzáró réteg miatt. Hasonló eredményt értek el az SMX csőnél is, amit az alumínium réteg jelenlétével magyaráztak. Az SMX cső húzószilárdsága erősen függ az alumínium rétegtől. A PE és EB csövek tönkremeneteli ideje majdnem azonos volt, tekintet nélkül a különböző típusú bevágásokra.

Meleg vizes csövek vizsgálata

Az Osaka Gas és a Kyoto Institute of Technology meleg víz szállítására és fűtéshez használt műanyag csöveket vizsgált. A kutatók max. 110 °C-os forró vizet cirkuláltattak 0,2 MPa nyomáson 7000 óráig vagy hosszabb ideig.

Meleg vizes csövekhez fokozott hőállóságú (PE-RT) és térhálósított polietilént (PEX) már régóta használnak. Az alapanyagot általában antioxidánsokkal keverik, hogy megelőzzék a termikus degradációt az extrudálás és a meleg víz szállítás során. Azonban az adalékanyagokat a meleg víz kioldhatja és deaktiválódhatnak. Hosszú távon cél azoknak az antioxidánsoknak a megtalálása, amelyek ellenállnak az extrakciónak.

Polimer elektrolit üzemanyagcellák (PEFC) Japánban már kb. 100 ezer rendszerben kerültek kereskedelmi forgalomba. A rendszerből származó hulladékot lehet használni a meleg víz előállításához vagy a központi fűtéshez, így a csövek csatlakozása a gázfejlesztő rendszerhez vízfűtéssel és szerelvényekkel együtt nagyon fontos tényező.

A PE-RT csövek a meleg víz cirkulációs és törésellenállósági vizsgálatokban párszor tönkrementek. A más vizsgálatok után a csövekből kimetszett próbatestek folyási feszültsége nőtt, míg szakadási nyúlásuk csökkent. Mindkettő az anyag megnövekedett kristályosságának volt köszönhető. Ezenkívül, a cső belső felületén és középső részen volt egy réteg, amely megrepedezett a meleg víz cirkulációt követően. A PE-RT cső tönkrement részei fémekeket és fémoxidokat tartalmaztak, amelyek felgyorsították a károsodást.

Csatornacsövekre vonatkozó szabványok

Az Uni-Bell PVC Pipe Association (PVCPA) az USA-ban közzétette a víz- és csatornacsövekre vonatkozó *First North American ipari környezetvédelmi termék nyilatkozatát (EPD)*, amelyet az NFS International tagja, az NFS Sustainability hagyott jóvá.

Az EPD-t az ISO 14025 nemzetközi környezetvédelmi irányelveknek megfelelően alakították ki, és hét PVC cső életciklusára tesztelték. Ez magában foglalta a PVC ivóvíz, regenerált víz és szennyvíz-nyomóvezetékeket, valamint PVC gravitációs esővíz elvezetőt és szennyvízvezetőket.

„A PVCPA környezetvédelmi termék nyilatkozat átlátható környezeti hatás adatokat nyújt, amely fontos mind az építőnek, mind a törvényhatóságnak, azok zöld építési céljainak megfelelően”, nyilatkozta az NFS International kereskedelmi egységének vezetője. „Egy független harmadik szervezet – mint pl. az NFS International – által jóváhagyott EPD hitelességet és bizalmat ad a jelentéseknek.”

Az EPD hajszálpontosan megállapítja a legnagyobb környezeti hatásterületeket, valamint a PVC cső használatának környezetvédelmi előnyeit. Például, az ivóvíz nyomócső használati szakasza, amely alatt a szivattyúk legyőzik a víz csövön keresztüli mozgathatóságkor fellépő súrlódóerőt, része a legnagyobb környezeti hatásoknak a cső életciklusa során. Az EPD azonosítja ennek a szakasznak az előnyeit is, ilyen pl. a PVC sima belső felülete, amely csökkenti a súrlódást, ezáltal az energiafelhasználást. A PVC cső korrózióálló és bizonyítottan tartós, ezért ritkábban kell cserélni.

A környezeti hatás kategóriák magukban foglalják többek között a globális felmelegedésre, az ózonréteg elvékonyodására, a savképződésre, az eutrofizálódásra, a szmog kialakulására és a kumulatív energiaigényre való hatás vizsgálatát.

Lokális hatások vizsgálata

Az Exponent Failure Analysis Associates munkatársai tanulmányt tettek közzé a PE csővezetékek helyi felmelegedésének hatásáról. A poliolefinnek hajlamosak az oxidálódásra, amelynek során az oxigén beépül a polimer vázszerkezetébe – kombinálva a lánchasadást a térhálósítással – elszíneződést, keményedést, törékenységet és repedezést eredményezve. Az 50 °C-os hőmérséklet már termikus oxidációt okozhat. Ezt gyorsíthatja a magas belső nyomás.

A gyakorlati példában egy 6,3 mm átmérőjű PE csövet használtak egy vízmelegítő és egy szárító összekötésére. Egy ponton ez a meleg vizet szállító cső egy nem szigetelt rézcsővel érintkezett. Három-négy hónap után repedést fedeztek fel a PE csövön, ezért mintát vettek a további vizsgálatokhoz. A hosszmentén három helyről kivágott mintákat FTIR (Fourier transzformációs infravörös) spekroszkópiával vizsgálták, hogy azonosítani tudják a kémiai csoportokat. Azonos időben DSC vizsgálatokat is végeztek a termikus átmenetek és az oxidatív indukciós idő (OIT) meghatározására. Első lépésben a mintákat vizuálisan – szemmel és optikai mikroszkóp használatával – is tanulmányozták. 5–6 mm-es repedéseket figyeltek meg a minták külső felületén. A

mikroszkóp alatt sötét elszíneződések látszódtak, amely azt jelezte, hogy a vízben lévő szennyeződések átfolytak a repedésen. Az elsődleges repedések közelében másodlagosakat is megfigyeltek. Az FTIR kimutatta a cső tönkrement belső részéből kivett mintákban a karbonil- és a hidroxilcsúcsokat – mindkettő oxidatív degradációt jelez. Mindez azt sugallja, hogy a csőben helyi kémiai változás jön létre. Ezek a csúcsok nem találhatók meg a cső külső felületéről kivett mintákban. Az OIT mérések azt mutatták, hogy az oxidációs támadás annál a pontnál volt a legnagyobb mértékű, ahol a két cső (réz és műanyag) egymással érintkezett. A meleg víz kihívást jelenthet a PE csővezetéknek. A tönkremenetel gyorsabban létrejött, mint az előre látható volt, de a beépítést követő pár hónapon belül nem fordult volna elő, ha nem áll fenn a rézcsővel való érintkezés helyi hatása.

Nukleáris biztonság

A nukleáris ipar úgy tekint a PE-HD csőre, mint a fém csővezetékek helyettesítőjére a technológiai víz szállításánál, részben annak köszönhetően, hogy korrózió- és kopásálló, könnyű, valamint kiválóak az áramlástani tulajdonságai. Ilyen csöveket már számos üzembe beépítettek, mint pl. az Ameren és a Duke Energy üzemegységeiben. Ugyanakkor az iparágban biztosnak kell lenni abban, hogy a PE-HD cső rendelkezik a szükséges biztonsági jellemzőkkel a hosszú működési élettartam alatt.

Az amerikai Engineering Mechanics Corporation of Columbus (EMC2) kutatói közzétették annak a projektnek a részleteit, amelyben ezeknek a csöveknek az élettartamát becsülik meg törésmechanikai megközelítéssel. „Jól tudjuk, hogy a PE-HD cső legismertebb meghibásodási módja a feszültségrepedés növekedése, amely hajszáltrepedésekkel indul hosszantartó feszültségterhelés alatt”, említették a kutatók. Az érdeklődés középpontjában a feszültségrepedés növekedéssel (SCG) szembeni ellenállás tanulmányozása állt tompahegesztett csatlakozásokban, amelyek a modern bimodális PE-HD polimerek fejlesztése ellenére gyenge pontként ismertek.

Géltartalom problémák

Észak-Amerikában a lakóházak PEX-Al-PEX meleg vizet szállítórendszereinek sorozatos meghibásodása arra készítette a Simpson Gumpertz & Heger mérnökeket, hogy megvizsgálják ennek okát és természetét. A használat során 10 éven belül bekövetkező tönkremenetel jellemzően a külső csőfal hólyagosodása és hasadása, valamint a külső PEX réteg sötétedése és horpadása volt. A külső helyszínekről összegyűjtött minták – szemmel látható és nem látható hibákkal – két gyártótól származtak, mindketten szilános térhálósítást használtak. A kontrollhoz még a nem beépített csövekből vették ki a mintákat.

A PEX-Al-PEX csövekre alkalmazott *ASTM F1281* szabvány szerint a szilánnal térhálósított PEX minimális géltartalma 65% kell, hogy legyen. *A géltartalom a polimer térhálósodásának egyik mérőszáma, ezért anyagminőségi jellemző.* A vizsgálatok kimutatták, hogy a problémás csőből a gyártótól származó minták általában a szüksé-

ges géltartalommal rendelkeztek, viszont az azonos forrásból származó, nem beépített csőminták géltartalma kisebb volt. Extra kondicionálással 80 °C-os vízben 7 nap után a probléma megszűnt.

Szabványos vizsgálatokkal (benne FTIR és mikroszkópia) kimutatták, hogy a meghibásodás során rideg mikrorepedések keletkeznek a belső PEX rétegen. Idővel és tartós feszültség hatására a repedések továbbterjednek az alumínium réteg felé, amely végül korrodeálódik, és átengedi a vizet a külső PEX réteg felé.

Az anyag kis géltartalma és az elégtelen térhálósodás volt a tönkremenetel meghatározó oka, de az antioxidánsok is idő előtt kimerültek, ami felgyorsította az oxidációt.

Röntgensugaras vizsgálat

A röntgensugarat hagyományosan csak korlátozott mértékben használják a műanyag termékek vizsgálatában. A digitális, számítógépes és feldolgozási technológiák fejlődésével azonban megjelentek a laboratóriumi méretű komputertomográfiai (CT) röntgen képalkotó eszközök, amelyekkel a műanyagok, köztük a csövek, roncsolásmentesen vizsgálhatók. A technika alkalmas repedések, üregek és idegen anyagok jelenlétének kimutatására.

CT berendezéseket többek között a Nikon is gyárt, az USA-ban pedig az Engineering Systems használ ilyeneket a különböző szerkezetek analizálására. A CT eszköz jellemzően egy ólombéléssel körülvett röntgenforrásból (amely körbe forog a vizsgált tárgy körül) és egy detektorból áll. Ahogy a röntgensugár áthalad a tárgyon, egy része abszorbeálódik, másik része pedig eljut a detektorhoz. Itt átalakul látható fénysugárrá és megalkotja a képet. Minél közelebb van a tárgy a forráshoz, annál részletesebb képet lehet készíteni. Számos deformáció mérete például csak 10 mikron nagyságrendű.

Az Engineering Systems által vizsgált egyik CPVC cső a hidrosztatikus nyomásteresztésen ment tönkre. Csak kismértékű repedés volt látható a cső külső részén, a röntgen vizsgálat viszont kimutatta, hogy a repedés az oldószeres cement ragasztási vonal mentén terjed a belső felületen, ott ahol a zárósapka fittinget oldószeresen hegesztették a csőhöz. Azt is megfigyelték, hogy a külső repedés valójában két repedésből áll össze.

Deformáció hatása a polietilén mechanikai tulajdonságaira

A polietilént széleskörűen használják cső alapanyagként, olyan hagyományos anyagokat helyettesít, mint az acél, a beton és az agyag. *Manapság az újonnan lefektetett gázcsövek több mint 90%-a polietilénből készül.* Mivel a cső működési élettartama legalább 50 év, szükség van a PE cső hosszú távú mechanikai tulajdonságainak ismeretére. Az erre a célra szolgáló jelenlegi szabványos vizsgálat (*ASTM D 1598*) több mint egy évet vesz igénybe és a teljes csőméretre ad eredményt. Az ezzel a vizsgálattal kapott eredmények viszont nem alkalmasak előzetes szűrésre, működés közbeni monitorozásra vagy utólagos tönkremeneteli analízisre. Ez utóbbiak indokolják, hogy kifejlesszenek egy rövid távú, összehasonlításra alapuló vizsgálati módszert.

A kutatóknak az a meggyőződése, hogy a cső hosszú távú tönkremenetelének az az oka, hogy még normál körülmények között is bizonyos károsodások felhalmozódnak. A normál működésre példa a cső javítására vagy karbantartására használt *ún. squeeze-off (összelapítás) eljárás*. Ezt az eljárást azért fejlesztették ki, hogy a cső összelapításával megállítsák vagy lassítsák benne a gázáramlást. Ehhez két fémrúddal addig lapítják a csövet, amíg a keresztmetszet ellentétes oldalainak belső felülete nem érintkezik egymással. Annak ellenére, hogy az eljárás nem okoz maradandó deformációt, mégis hatással lehet a cső közvetlen teljesítményére, ugyanis nagy valószínűséggel helyi feszültségek alakulnak ki, főleg azon a felületen, ahol az a fémrúddal érintkezik, illetve abban a tartományban, ahol a csőfal meghajlott. Kísérleti vizsgálatokkal kimutatták, hogy a squeeze-off eljárásnak alávetett csőszakaszok belső nyomás alatt hajlamosak a megrepedezésre.

Új vizsgálati módszer

Az új vizsgálati módszer két különálló vizsgálatból áll. Az elsőben deformálják a próbatestet, míg a másodikban ennek a deformációnak a mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásait vizsgálják. 6 mm átmérőjű, 20 mm hosszú, henger alakú PE-HD próbatesteket használtak. A hengeres próbatesteknek tengelyszimmetrikus geometriájuk van, amely könnyebbé teszi a változások meghatározását a keresztmetszetben. A vizsgálat során a terhelési és geometriai értékeket rögzítik, amelyekből a PE-HD cső valódi feszültségét és a területi alakváltozást (az eredeti átmérő és a deformáció utáni átmérő logaritmikus aránya) számolják. A maximális területi alakváltozás az első vizsgálatban 0,8 volt 1 mm/min, és 0,5 volt 5 μ m/min keresztfej sebességnél.

Az első vizsgálatból (deformációs szakasz) származó maradó deformációkat a vizsgálat után legalább egy hónappal később határozták meg, hogy biztosítsák a viszkózus alakváltozásból való teljes visszaalakulást. Az eredmények azt mutatták, hogy a maradó területi alakváltozás 1 mm/min keresztfej sebességnél nagyobb volt, mint 5 μ m/min értéknél. A terhelés megszüntetése után nem fedeztek fel látszólagos keresztmetszeti szűkülést (nagy mértékű deformáció kis területeken volt csak behatárolható) azokon a próbatesteken, amelyeken az alkalmazott deformáció 0,5 alatt volt (az első vizsgálatban).

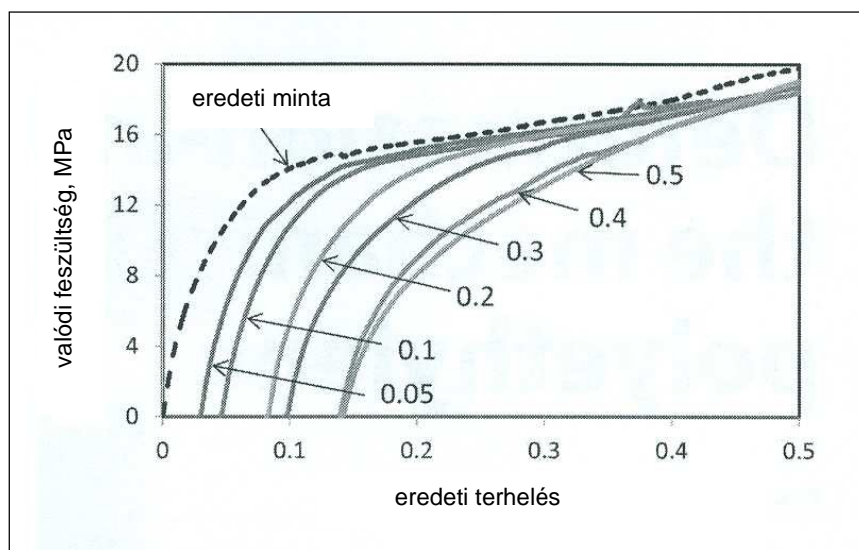
A második vizsgálatban a próbatestek tangens modulusát mérték ki 0,01 területi alakváltozásnál és 1 μ m/min keresztfej sebesség mellett. A kis keresztfej sebességre azért volt szükség, hogy csökkentsék a viszkózus tulajdonságok hatását a tangens modulus értékére, és hogy mérsékeljék a második vizsgálat által generált további károsodások lehetőségét.

A rugalmassági modulus változása az anyagban jelenlévő hibákra utalhat. A károsodott és az eredeti (összehasonlító) minták rugalmassági modulusainak arányából képzett *D károsodási paraméter* az adott károsodás mennyiségi jellemzésére szolgál. A D értéke 0-tól (nincs károsodás) 1-ig (teljes károsodás) terjed. Ezen elv alapján kimutatható az első vizsgálat által a próbatesteken okozott károsodás, és az, hogy ez utóbbi a folyáshatár előtt következik-e be. Az még nem ismert, hogy a rugalmassági

modulus csökkenése okozza-e a szakítószilárdság csökkenését. Tehát az ilyen típusú károsodások növekedése nem biztos, hogy további romlást okoz a mechanikai tulajdonságokban.

Az 1. ábra eredményei mutatják, hogy a területi alakváltozás növekedésével a deformációs fázisban eltolódnak (jobbra és lefelé) a feszültség-eredetű nyúlás görbék, amely a teherbíró-képesség csökkenését jelzi. A görbék nagy deformációs tartományában az eltolódás mértéke közel állandó, és független az első vizsgálat területi alakváltozás értékeitől. Ez azt mutatja, hogy a teherbíró képesség csökkenését az első vizsgálatban létrejövő deformáció okozza. Ciklikus terhelésnél szintén eltolódnak a feszültség-eredetű nyúlás görbék, ha más módon is, mint az előbbieken. Ciklikus terhelésnél valójában a görbe magasabban fut az eredeti minta görbénél. Ezért nem világos, hogy vajon a tangens modulusban bekövetkező változás jelzi-e hagyományos értelemben a károsodást, vagy egyszerűen a PE deformációval szembeni ellenállásának a változása annál a kis deformációnál, amelynél a tangens moduluszt mérték.

Összefoglalva: kifejlesztettek egy módszert, hogy megbecsüljék az elődeformáció hatását PE-HD próbatestek tangens modulusára 0,01 területi alakváltozásnál. Az eredmények azt mutatták, hogy a tangens modulus csökken, ahogy az elődeformációban a nyúlás nő. Jelenleg annak meghatározásán dolgoznak, hogy a mechanikai tulajdonságokra, pl. a szakítószilárdságra, hatással van-e az első vizsgálatban bekövetkező deformáció.



1. ábra A feszültség alakulása az eredeti terhelés függvényében 1 mm/min keresztfej sebességnél. A számok az első vizsgálatban a mintákat ért maximális területi terhelést mutatja

Összeállította: dr. Lehoczki László

Reade, L.: Fit not to burst: new methods in pipe service life testing = Pipe and Profile Extrusion, 2015. június, p. 23–28.

Ben Jar, P.Y.: Deformation-induced change to the mechanical properties of polyethylene =
Plastics Research Online (Society of Plastics Engineers), 10.2417/spepro.005821.