

Műanyag csővezetékek tönkremenetelének mechanizmusa

Az ivóvíz-nyomóvezetékek nagy sűrűségű polietilén csövei néha a tervezett élettartamuknál jóval rövidebb idő alatt megrepednek, ami szivárgáshoz és/vagy csőtöréshez vezet. A meghibásodásnak számos oka lehet, így pl. a csőgyártás hibái, a polietilén alapanyag nem kielégítő antioxidánsadalékolása, az ivóvíz fertőtlenítésére szolgáló vegyszerek okozta korrózió, nem tervezett mechanikai feszültségek, és néha ezek kombinációja is előfordul.

A forró vizes fűtési rendszereknél az erre a célra elterjedten használatos CPVC csővezetékeknél fellépő tipikus, feszültségkorróziós hatást közepesen poláros szénhidrogén származékok, legtöbbször a hőcserélők kenőanyagaként alkalmazott poliol-észterek (POE) okozzák, amelyek a hőcserélő szivárgása során kerülnek a forró vizes rendszerbe.

Tárgyszavak: polietilén; CPVC; cső; fitting; ivóvíz; forró víz; vizsgálat; tönkremenetel; korrózió; erózió; oxidatív degradáció; feszültségkorróziós repedezés.

PE-HD ivóvíz nyomóvezetékek idő előtti tönkremenetelének okai

Az ivóvíz továbbítására az utóbbi 50 évben (a gerincvezetékek kivételével) legtöbbször nagy sűrűségű polietilén (PE-HD) csöveket és fittingeket alkalmaznak. A vezetékek tervezett élettartama 50–100 év, azonban gyakran ennél jóval hamarabb bekövetkezik a vezeték tönkremenetele. Tekintettel a kérdés jelentőségére, már korábban is igyekeztek feltárni a meghibásodások okait, és az ilyen jellegű vizsgálatok ma is aktuálisak.

A szakirodalomban *a hidrosztatikai nyomáspróba során fellépő tönkremenetel három alapesetét szokás megkülönböztetni*. Az elsőben a meghibásodás oka az egyszerű mechanikai túlterhelés, azaz a csővezeték a hőre lágyuló műanyagok jellegzetes viselkedési görbéjét mutatja a terhelés/deformáció diagramon. A második esetben szintén előáll a szokásos jelleggörbe, de emellett megfigyelhető rideg jellegű repedések, tűhegynyi lyukak megjelenése is, ami szivárgást okoz. A harmadik alapesetben már a másodikhoz képest alacsonyabb nyomáson is megjelenik a rideg repedezés okozta szivárgás, és kimutatható a cső anyagának oxidatív degradációja. A degradáció legtöbbször nem a csőfal teljes keresztmetszetét érinti, elegendő ehhez egy mindössze 50–60 mikronos degradált, törékennyé vált réteg a csőfelszínen.

Az USA számos területén már évtizedekkel ezelőtt is elemezték a PE-HD csővezetékek tönkremenetelét. A különböző gyártók különböző időpontban és eltérő alap-

anyagokból készített vezetékeit tanulmányozták. Egyes esetekben kimutatható volt, hogy a nem megfelelő antioxidáns adalékolása okozta az oxidatív degradációt, ami a csöveket rideggé, törékennyé tette, azaz harmadik típusú tönkremenetelt idézett elő. Hasonló degradációhoz vezethet, ha a csövek extrudálásánál túl magas ömledék-hőmérsékletet és/vagy extrém nyírási erőket alkalmaznak.

Más esetekben kimutatható volt, hogy túl nagy hajlító igénybevételnek tették ki a csöveket, elsősorban a gerincvezeték csatlakozásainál, illetve a vízóra bekötésénél. Ezekben az esetekben a fittingek hibás tervezése (az itt alkalmazott betétmerevítők túl intenzív hajlítást igényeltek) okozta a problémát. A vezetékek betemetésénél a nagy kódarabok vagy más éles tárgyak is okoztak helyi, pontszerű mechanikai feszültséget és ezáltal korai tönkremenetelt. Az ilyen meghibásodások általában a második kategóriába voltak sorolhatók.

Az előzőekben ismertetett megállapítások alapján javították a PE-HD alapanyagokat, illetve a csövek és fittingek gyártását és a csőfektetés gyakorlatát.

A meghibásodott csővezetékek legújabb vizsgálatai során a „klasszikusnak” számítóak mellett több, korábban nem közismert meghibásodási mechanizmust is feltártak.

Az USA délnyugati, sivatagos területén elhelyezkedő egyik 25 éves vezetéknél erős szivárgást észleltek. A helyreállítás után megvizsgálták a meghibásodott (és ezért kivágott) csőszakaszt. *Jelentős oxidatív degradációt észleltek a csövek felületén, kb. 0,125 mm-es rétegben.* A rideggé vált cső belső felületén hosszirányú repedések jelentek meg, külső felületén pedig egy kb. 13 mm-es, szintén hosszirányú hasadás volt látható. A kivágott csőszakaszon összenyomásra utaló jeleket találtak, ami a javítási munkák során kifejtett erőhatások következménye is lehetett. Az összenyomó erőhatás megszűnte után az azzal ellentétes oldalon repedezés indult meg. A cső belső felülete ún. iszaprepedezést mutatott, ami az erősen eloxidálódott műanyagokra jellemző. Jelen esetben a polietilén már olyan mértékben degradálódott, hogy a mechanikai feszültség minden irányban repedezést indított meg. A 0,125 mm vastag degradált rétegben megindult a repedezésképződés és az ezt követő lassú repedés-tovaterjedés folyamata. Mindez azt jelentette, hogy *a vezetékszakasz az oxidatív degradáció miatt elérte életciklusa végét.* Az ilyen mértékű degradáció esetén ugyanis már az üzemi nyomás során fellépő mechanikai feszültségek is repedésterjedéshez, illetve ezáltal csőtöréshez vezetnek.

A másodikként megvizsgált, 5–30 éves használat után meghibásodott vezetékszakaszok Közép-Kaliforniából származtak. Ezek közül kettő kódarabok okozta sérülésekre volt visszavezethető, egy pedig erős erózióra utaló jeleket mutatott, ami a meghibásodott csőszakasz felületét részben lepusztította. *Az ilyen eróziós hatás tipikus a vízvezetékek meghibásodásakor.* A repedésen át nagy sebességgel kiáramló víz felkavarja a talajt, erősen koptató zagyot hoz létre, ami azután lemarja a cső felületét. A 32 éves használat után tönkrement cső belső felületének 0,05 mm-es rétegében itt is kimutatható volt a jelentős oxidatív degradáció, ami a repedezés beindulását okozta.

A harmadik esetben a tönkremenetel után bevizsgált csőszakaszok egy középnyugati vízmű területéről származtak. A vízmű az ivóvíz fertőtlenítésére *klór-dioxidot*

is használt, aminek következtében jelentős mértékben *oxidálódott a csövek belseje*. A különböző szakaszokon feltárt meghibásodások 1–12 év használat után jelentkeztek. A degradálódott réteg csak 0,05 mm mélységig volt kimutatható, de már ez is számos esetben a repedezés megindulásához vezetett. Egyes bevizsgált minták kövek okozta tönkremenetelre, illetve erózióra utaló nyomokat mutattak. A felmérés során ez volt az egyetlen olyan vízműtársaság, amely a víz másodlagos fertőtlenítése során klór-dioxidot alkalmazott.

A negyedik esetben, az USA délkeleti részéből származó, meghibásodott csőszakaszokon a probléma a csőgyártó hibájára volt visszavezethető. A megvizsgált csőszakaszok egyes részein a cső falvastagsága ugyanis elmaradt a szabványban (*AWWA C906*) előírt minimális értéktől. A repedések környékén nem volt kimutatható káros mértékű oxidatív degradáció.

A fenti vizsgálat sorozat kimutatta, hogy az évtizedekkel korábban már feltárt tipikus hibaokok egy része még ma is gyakran előfordul. Ezek közül az árkok visszatemetése során a csőre dobott nagyobb, éles kődarabok okozta lokális mechanikai túlterhelés, illetve a fémcsővek fittingjeinek csatlakoztatásánál alkalmazott túlzott hajlító igénybevétel a leggyakoribb. Ritkán, de előfordul a csövek gyártási hibája is. Az oxidatív degradáció is gyakran vezet a polietilén elridedéséhez és ezt követően a repedezés kialakulásához. Fontos megfigyelés, hogy ha a degradáció mértéke csekély, vagy ha a degradált réteg vastagsága nem éri el az 50 µm-t, nem következik be szivárgást okozó repedezés. A meleg klíma és az oxidációt elősegítő vízfertőtlenítő adalékok használata felgyorsítja a csövek tönkremeneteli folyamatait. Ha viszont olyan polietilén alapanyagot használnak a csőgyártásnál, amelyet megfelelő antioxidán-sokkal adalékoltak, és az extrúzió során kerülnek a túl magas hőmérsékletek és nyíróerők fellépését, az oxidáció veszélye csökkenthető.

CPVC csővezetékek meghibásodásának oka

A klórozott PVC (CPVC) csőrendszereket évtizedek óta sikeresen használják forró vizes fűtési (és más) rendszerekben, mivel a korábban alkalmazott acélcsövekhez képest előnyük a könnyű összeszerelés és a korrózióállóság. Noha a CPVC jól ellenáll magas hőmérsékleten is a talajban és az épületek belsejében található szokványos korróziós igénybevételeknek, bizonyos körülmények között érintkezésbe kerülhet olyan vegyszerekkel, amelyek megtámadják, és amelyek még viszonylag kis koncentráció esetén is feszültségkorróziós repedezést okoznak, azaz a vezeték tönkremenetelét idézik elő.

Az ivóvízrendszerektől eltérően a vízfűtések csőrendszereiben a víz nem cserélődik folyamatosan, ezért a rendszerbe bekerülő szennyeződések nem távoznak el, és ha van utánpótlásuk, feldúsulnak. A CPVC csöveket forró víz szállítására tervezték. A szénhidrogének, különösen az olyanok, amelyek szénen és hidrogéneken kívül más elem (pl. oxigén) atomjait is tartalmazzák és vízben nem oldódnak, megtámadják a csöveket. Ha az ilyen vegyszerek abszorbeálódnak a CPVC csövek és fittingek falában, a nyomás alatti vezetékben keletkező mechanikai feszültség hatására feszültségkorróziós

repedezés lép fel. Az abszorbeálódó vegyület hatására a rugalmas polimer rideggé, törékennyé válik és megindul a mikrorepedések képződése. A mikrorepedések találkozáva makroszkopikus hasadásokat hoznak létre.

A CPVC jól ellenáll a nagyon poláros szénhidrogéneknek (pl. glicerin) és az apolárosoknak (pl. kőolaj), de a kettő közötti polaritásúak, (azaz túlnyomó többségük) megtámadják. A CPVC csövek és fittingek ragasztásához használt tetrahidrofurán (THF) önmagában agresszívan megtámadja a CPVC-t, de mégis jól alkalmazható, ugyanis maradéka – még ha be is kerül a csőrendszerbe – kis koncentrációban vízben oldható, és ezért nem abszorbeálódik a csőfalban. Hasonló a helyzet a tömitésekben lágyítóként alkalmazott dioktil-ftalát (DOP) esetében, amelynek nyomai szinte minden CPVC forró vizes rendszerben kimutathatóak. Természetesen, ha a THF vagy a DOP koncentrációja annyira megnő, hogy már nem oldódik teljes mértékben a vízben, ezek is gondot okozhatnak. A különböző gyártmányú CPVC alapanyagok eltérő molekula-tömeg-eloszlással és adalékanyag-rendszerrel rendelkeznek, ezért a belőlük (ráadásul eltérő paraméterekkel) gyártott csövek vegyszerállósága is némileg eltérő.

Legtöbbször a hőcserélők szokványos kenőanyagai jutnak be a CPVC csőrendszerbe. Noha a hőcserélők szivárgása ritkán fordul elő, de ha mégis megtörténik, ez gyorsan a CPVC vezeték tönkremenetelét eredményezi. Az *általánosan alkalmazott kenőanyag a poliolszter (POE)*. A meghibásodott vezetékek esetében kimutatható volt a csőfal POE szennyezettsége. A legtöbb tönkremenetel a fittingeknél lépett fel, ahol a repedezés megindulása a ragasztott (cementált) rétegből indult ki, amely pórusos szerkezete révén gyorsabban tudta abszorbeálni a POE-t és innen terjedt tovább a fitting falába. A tönkrement részek optikai (mikroszkópos és pásztázó elektronmikroszkópos) vizsgálata tipikus, a hüvelykujjkörömrre emlékeztető, törési felületeket mutatott ki.

A feszültségkorróziós repedezés laboratóriumi vizsgálata során megállapították, hogy

- a tiszta POE 24 órán belül feszültségkorróziós repedezést okozott, az alternatív kenőanyagként alkalmazható PVE viszont 72 óra elteltével sem,
- a POE-val telített vízbe merített, mechanikai feszültség alatt tartott próbatestek esetén is megindult a repedezés, ami a próbatestek mechanikai szilárdságának lecsökkenését eredményezte. Ha viszont PVE-vel [poli(vinil-éter)] telített vizet alkalmaztak, nem észleltek hasonló tönkremenetelt.

Összeállította Dr. Füzes László

Duvall D. E.; Edwards D. B.: Field failure mechanisms in HDPE potable water pipe = *Plastics Engineering*, 68. k. 3. sz. 2012. p. 12–19.

Priddy D.; Arnold B.; Battjes K.: When CPVC pipes and fittings fail in hydronic heating systems = *Plastics Engineering*, 68. k. 4. sz. 2012. p. 24–29.