

Polietiléncsövek az ivóvízellátásban

Egy német iparvidék vízellátásáról 120 év óta gondoskodó cég jó tapasztalatai alapján letette a voksát a PE csövek alkalmazása mellett, sőt a régi öntöttvas vezetékek felújítását is PE-csövek behúzásával végzi. A több évtizede a földbe fektetett csövek vizsgálata igazolta becslésen alapuló élettartamuk realitását. Az újabb csőanyagokból készített csövek élettartamának a szokásos tartós hidrosztatikai nyomás alapján végzett becslése már több évig tartó vizsgálatot igényelne, ezért újabb eljárásokat dolgoznak ki a várható élettartam előrejelzésére.

Tárgyszavak: polietiléncső; vízellátás; vezetékfelújítás; élettartam; vizsgálati módszer.

Egy német vízszolgáltató a hálózatbővítésben és a felújításban is a PE-re szavazott

A Gelsenwasser AG-t 120 évvel ezelőtt alapították azzal a céllal, hogy ivóvízzel lássa el a Ruhr-vidék szénbányáit, vaskohóit és acélgyártó üzemeit. A Gelsenwasser csoport ma hétmillió lakos és számos ipari üzem számára juttatja el az ivóvizet, vezeti el a szennyvizet és biztosítja az energiát. 2004-ben 410 millió m³ ivóvizet szolgáltatott a fogyasztók számára kb. 6000 km hosszú vezetékrendszerében, amelynek legnagyobb része még ma is öntöttvas és acélcsővekből áll. Az első polietiléncsőveket az 1960-as években használták fel épületbekötésként, 1978 óta pedig erre a célra kizárólag PE-HD csöveket alkalmaznak. Vízet szállító polietiléncsőveket a PE 100 megjelenése után, az 1990-es évek elején kezdtek vezetékrendszerbe építeni. *2001 óta öntöttvas csövek helyett – először 160 mm, később 225 mm átmérőig – kizárólag PE 100-as csöveket fektetnek le.* Ugyancsak PE 100-as csőanyagból készített SDR 11-es csövekkel kötik rá az épületeket a vízhálózatra. (SDR = a külső átmérő és a falvastagság hányadosa; a cső nyomásállóságát jelző besorolás.) Hálózatbővítéskor ma már a vezetékek 90%-a PE-cső, hosszuk összesen kb. 725 km, ami a teljes vezetékrendszer 12%-a. *A polietiléncsővek gyors elterjedésének fő oka nem csak a csövek olcsóbb ára, hanem a jóval kisebb fektetési költségek, különösen az előregedett vezetékek felújításakor.* A tervek szerint évente a vezetékrendszer 1%-át újítanak fel. Ez feltételezi, hogy a most lefektetett PE csövek is kitartanak 100 évig.

A cégen belül összegyűjtött tapasztalatok alapján irányelveket dolgoztak ki az alkalmazandó csövekről, a vezeték kiépítésének módjáról, a szakmunkások képzéséről és a minőségbiztosításról. Az irányelvek szerint a cég hatókörén belül az ivóvízellátásban alapvetően SDR 11 típusú PE 100-as csöveket alkalmaznak. Rögzítették a fel-

használandó kötőelemeket. A kötések elsősorban beépített fűtőspirállal ellátott elemekkel hozzák létre. A rugalmas öntöttvas csövek kötéséhez használt *Novo-sit* karmantyús kötés mintájára a PE-csöveket *Novo-Grip-II* kötőelemmel csatlakoztatják a vascsövekhez. Mivel a vezeték kiépítését általában a cég saját emberei végzik, és az épületek bekötésekor a PE-csöveket korábban csavarozott szorítókötéssel csatlakoztatták, a szerelőknek tanfolyamokon kellett a polietilén hegesztését elsajátítaniuk.

Az első öt év tapasztalatai alapján sikeresnek ítélték az áttérést a PE csövekre. Megállapították, hogy a polimer az ivóvíz minőségére (amelyet a DIN 8075 és az EN 12201 szabvány határoz meg) semmiféle hátrányt nem jelentett. Az ivóvíz klórozása nem befolyásolta a csövek tulajdonságait. Mikrobiológiai szennyeződést nem észleltek.

Mivel a polietilén csőfal nem tökéletesen diffúziómentes, szennyezett talajban (pl. ipari körzetekben, benzinkutak környékén) olaj, oldószer szivároghat az ivóvízbe. Ilyen területeken a csöveket záróréteggel kell ellátni, pl. alumíniumfóliával kell betekerni vagy kb. 2 mm falvastagságú poliolefin védőköpennyel kell körülvenni. A kötéseknel az alumíniumfólia a hegesztés után kézzel is felvihető.

Németországban az elmúlt években erősen csökkent a vízfogyasztás. A háztartások a Ruhr-vidéken 15%-kal, Németország keleti részén akár 50%-kal is kevesebb ivóvizet használnak fel. Ennél is nagyobb mértékben csökkent az ipar fogyasztása: a Gelsenwasser cég 1950-ben évente 80 millió m³ vizet adott a bányászatnak, amely ma már csak 5 millió m³-re tart igényt. *Emiatt megduplázódott a víz tartózkodási ideje a hálózatban.* A mikrobiológiai szennyeződés megelőzésére ezért átöblítési programot dolgoztak ki, de *terveikben szerepel a hálózat átteresztőképességének csökkentése is bélésűcsövek behúzásával.*

A vezetékrendszer kiépítéséhez használt és hegesztéssel összeköthető, viszonylag rövid PE csövek nehézkesen alkalmazhatók az öntöttvas vagy acélcsövekből álló vezeték bélelésére. A cégnél ezért *kifejlesztettek és szabadalmaztattak egy olyan eljárást, amelyben gyűrű alakban kötegelt vagy dobra tekercselt, „végtelenített” PE-csövet húznak be a vezetékrendszerbe.* A PE cső átmérője csak egy fokozattal kisebb a fémcsőénél. Ha pl. egy 100 mm névleges átmérőjű vascsőbe 90 mm névleges átmérőjű bélésűcsövet építenek be, kb. 2 mm-es gyűrű alakú rés marad a két cső között.

A bélésűcső behúzásakor azt tapasztalták, hogy az előregedett vascső durva felülete könnyen megkarcolja, megsérti a bélésűcső külső felületét. Ezért *kipróbáltak olyan csöveket, amelyekre karcálló védőköpenyt vittek rá.* Az ilyen csövek merevebbek, ezért a gyűrű alakú csökötegek nagyobb átmérőjűek, és maximális átmérőjük 160 mm. A szűkös csökötések spirálfűtéssel ellátott karmantyúkkal végzik. A nagyobb átmérőjű csőszakaszok bélelését egyenes csőszakaszokkal, kötésüket tompahegesztéssel végzik.

Az átteresztőképesség vizsgálatakor kiderült, hogy a kisebb átmérőjű bélelt csöveken több víz képes ugyanannyi idő alatt átfolyni, mint a nagyobb átmérőjű, de eldurvult felületű régi vascsöveken. Bebizonyosodott, hogy még a tűzoltáshoz szükséges, 48–96 m³/h vizet is könnyen ki lehet nyerni a bélelt vízvezetékrendszerből.

A Gelsenwasser cég a felújítandó vezetékrendszer 50%-ában a bélelést fogja alkalmazni. Ezzel az eljárással egy új PE vezeték lefektetéséhez képest 20–25%, új öntöttvas vezetékéhez képest 30–35% a megtakarítás.

A polietiléncsövek élettartama

A statisztikai adatok azt mutatják, hogy a német vízvezetékrendszerekben csökken a meghibásodások száma. A szívós (duktilis) és megfelelő korrózióvédelemmel ellátott öntöttvas csövek és a PE csövek meghibásodásának gyakorisága között nincs számottevő különbség (amihez hozzájárulhat a PE csövek fiatalabb volta is). A Gelsenwasser 30 évre visszamenő elemzése szerint a PE 63, PE 80 és PE 100 típusú csőanyagokból készített *csővezetékek meghibásodását 38%-ban tömítetlenség, 33%-ban repedés, 20%-ban kilyukadás okozta. A hibát 28%-ban szakszerűtlen fektetés, 15%-ban a mélyépítéskor elkövetett hiba, 8%-ban anyaghiba váltotta ki. A sérülések 44%-ában nem tudták egyértelműen kideríteni a hiba okát.* A tömítetlenség legtöbbször a szétnyírt csavarmenetnél jelentkezett – amely korábban az egyetlen kötőmód volt. *Hegesztett kötésnél alig fordult elő szivárgás.* A sűrűn előforduló repedés vagy kilyukadás arra vezethető vissza, hogy az 1960–1970-es években nem távolították el kellő gondossággal a fektetési árokból a köveket. Az ilyen hibák arra hívják fel a figyelmet, hogy milyen fontos a munkát végző emberek megfelelő betanítása, legyenek azok akár a megbízó vállalat, akár egy alvállalkozó alkalmazottai.

A PE 100 csőanyagból készített SDR 11 típusú csövektől elvárják, hogy az előírásokban megkövetelt 50 éves minimális élettartammal szemben 100 évig funkcióképesek maradjanak.

A polietilén mechanikai tulajdonságai időfüggőek. A csövek várható élettartamát a DIN 8075 szabvány szerinti tartós belsőnyomás-állósági vizsgálattal becsülik meg. Ezek alapján a korábban lefektetett PE 63 és PE 80 csőanyagból gyártott csövek élettartamát legalább 50 évre becsülték, a mai PE 100 csőanyagból készült csövektől pedig elvárható a 100 éves élettartam.

Annak vizsgálatára, hogy a becslések mennyire feleltek meg a valóságnak, *hét csőszakaszt (közülük három meghibásodottat) szedtek fel 1966 és 1982 között lefektetett és azóta használatban lévő ivóvízvezetékekből a Gelsenwasser cég területén. A legöregebb, 1966-ban lefektetett cső a PE 63 csőanyag első generációjából készült, de még mindig kielégítette a DIN 8075 szabvány akkori követelményeit. Az 1970-es évek közepén lefektetett két PE 63 anyagú cső nem felelt meg a követelményeknek. Meghibásodásukat a polimerben talált idegen zárványok okozták. Egy 1982 óta használt PE 80-as cső az akkor előírt 4 MPa vizsgálati nyomás alatt az előírt 1000 h helyett 2717 óra után tört el. A hét csőminta közül négy a mai követelményeknek is megfelelt, és közülük három túlteljesítette a „normát”. Ezek a csövek 30 éve szolgáltak, de további 50 évre megkaphatták volna a szolgálati engedélyt.* A rossz gyártástechnológia miatt zárványokat tartalmazó csövek is 30 évig voltak használatban. Nagyon meggyőző a mai csőanyagok teljesítménye. A PE 80-as (friss) csőanyag 4 MPa belső nyomás alatt 1000 óra helyett >10 000 órát, a PE 100-as 2600 óra helyett ugyancsak >10 000 órát viselt el.

Új vizsgálati módszer az élettartam becslésére

A korszerű műanyag csövek várható élettartamának tartós hidrosztatikai nyomással való vizsgálata akár több éves program is lehet. Ez elfogadhatatlanul hosszú

idő. Ezért keresik azokat a módszereket, amelyek rövidebb idő alatt teszik lehetővé az élettartam becslését. Ilyen javasolt módszert egy 41 éves üzemeltetés után a földből kiemelt polietilénvezeték további várható élettartamának becslése során próbálták ki.

Ipari méretekben 1954-ben gyártottak először csöveket nagy sűrűségű polietilénből (PE-HD). 1961-ben a **Hoechst** cég üzemi területén fektettek a földre ilyen polietilénből (márkanéve *Hostalen GM5010*) készített vízvezetékcsöveket, amelyeket 2002-ig üzemeltettek. Ekkor egy építkezés miatt szedték fel ezt a vezetékrendszert, ami lehetővé tette a 41 évig használt csövek állapotának alapos vizsgálatát. A 75 mm átmérőjű, SDR 11 típusú csövek egy üzemi fürdőt láttak el vízzel. A csövekben áramló víz hőmérséklete 20 °C volt, a nyomás 4,5 bar (ez a cső falában 2,25 MPa feszültséget okozott).

A Hostalen GM5010 típusú PE-HD tartós hidrosztatikus nyomás alatti viselkedését 80–20 °C-os hőmérséklet-tartományban nagyon alaposan tanulmányozták. Arra a következtetésre jutottak, hogy a tartós hidrosztatikai görbék első töréspontja utáni szakaszon (amely a kis alakváltozással járó, rideg törést jelzi) az aktiválási energia nem függ a vizsgálati feszültségtől. Ugyanezt a törvényszerűséget tapasztalták a DIN 8075, ill. az EN 1778 szabvány szerint PE 63, PE 80 és PE 100 típusú polietilénből gyártott csövek tartós hidrosztatikus szilárdságának vizsgálatakor. Eszerint egy anyag szilárdságának hőmérsékletfüggő viselkedése során joggal feltételezhető, hogy a törésmód különböző feszültségek mellett azonos lesz, ha a feszültség arányos az abszolút hőmérséklet reciprokával. Ez az ún. „MAC-elv” (modified Arrhenius concept).

A műanyagok vizsgálatában az *Arrhenius-törvény* segítségével lehet a magas hőmérsékleten rövid idő alatt bekövetkező törés időtartamát alacsony üzemi hőmérsékleten várható élettartamra extrapolálni. *Ha az Arrhenius diagramban – különböző feszültségek mellett is – lineáris összefüggés van az abszolút hőmérséklet reciproka és a törésig tartó idő logaritmusai között, a kérdéses hőmérséklet-tartományban az anyag aktiválási energiája, E_A konstans érték, amely a következő összefüggéssel számítható ki:*

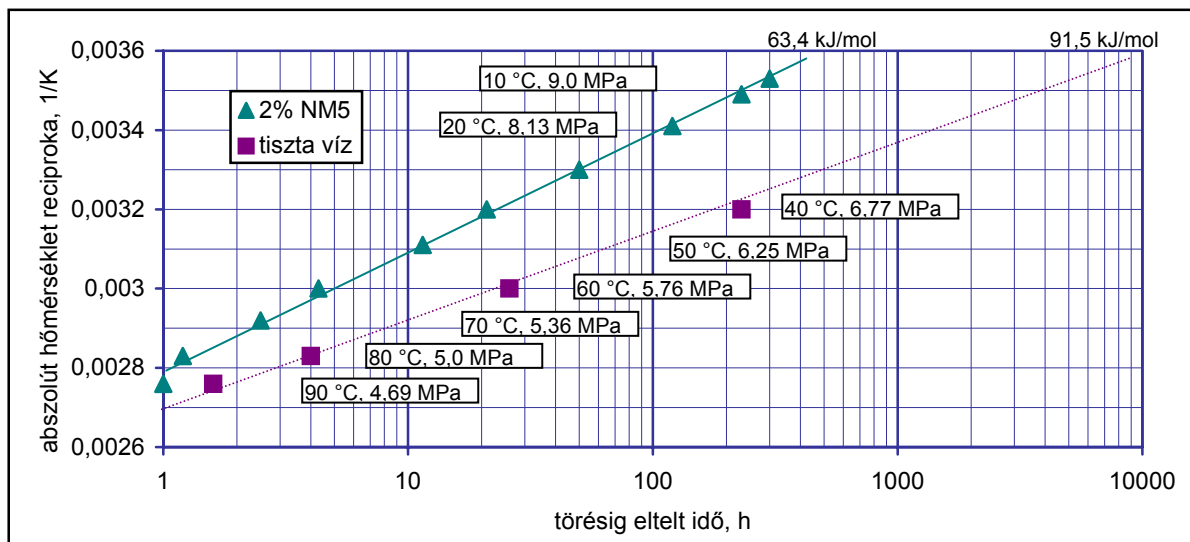
$$E_A = 1,9152 \cdot 10^{-2} \frac{\log t_{B1} - \log t_{B2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}, \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

ahol E_A = aktiválási energia, kJ/mol; t_{B1} = törésig tartó idő T_1 hőmérsékleten; t_{B2} = törésig tartó idő T_2 hőmérsékleten; T_1, T_2 = abszolút hőmérsékletek.

A csőanyagok fejlődése következtében a tartós hidrosztatikus nyomással végzett élettartam-vizsgálatok időigénye annyira megnőtt, hogy szükségessé vált olyan vizsgálati eljárások kifejlesztése, amelyekkel rövidebb idő alatt jutnak értékelhető eredményekhez. Ilyen az angolszász országokban használt *FNCT* vagy „full notch creep test”, amelyben a cső anyagából kimunkált négyzet keresztmetszetű próbatestet körkörös hornyolják, majd tenzidtartalmú vízben tartós húzófeszültségnek teszik ki. Németországban inkább a *2NCT* vagy „two notch creep test”-et részesítik előnyben. (A módszert a *DIN EN 12814-3, A.2.* függelék tartalmazza.) Ehhez két oldalán hornyolt próba-

testeket tesznek ki tartós feszültségnek. A MAC-elv szerint ezek töréséhez ugyanakkora aktiválási energia szükséges, mint a csövekéhez, feltéve, hogy fennáll a feszültség és az abszolút hőmérséklet reciproka között az előzőekben bemutatott összefüggés.

Az 1. ábra a Hostalen GM5010 csövekből kivágott próbatesteken 2NCT eljárással végzett tartós terhelési próbák eredményeit mutatja tiszta vízben és tenzidtartalmú vízben. A mért értékek és az Arrhenius-diagram közötti korrelációs együttható mindkét esetben $>0,99$. Elvégezték az ISO 1167 szabvány szerinti tartós hidrosztatikus nyomás alatti vizsgálatokat is, ahol a terhelést a 41 évig használt csövek MAC-elv alapján meghatározott szilárdságának megfelelően választották ki (20 °C-on 8,13 MPa). Az eredményeket a 2. ábra mutatja. Az ábrán látható az 1. ábrán már bemutatott, 2NCT eljárással kapott görbe is. (A mérési eredmények időbeli szórását a feszültségértékek 1,25-szörös szorzófaktorával vették figyelembe.) A két görbe párhuzamos futása azt igazolja, hogy a két vizsgálati módszerben hasonló aktiválási energiák működnek. Az aktiválási energia különbsége $<2\%$.

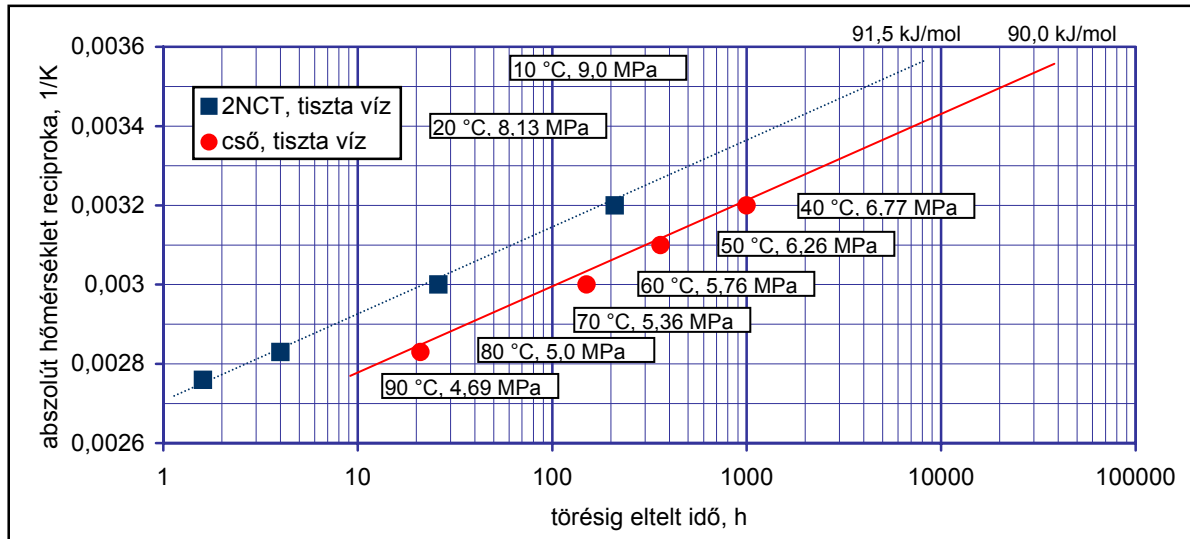


1. ábra Hostalen GM5010 csövekből kivágott hornyolt próbatesteken 2NCT eljárással tiszta vízben és tenzidtartalmú (NM5 2%) vízben végzett tartós terhelési vizsgálatok eredményei 10–90 °C hőmérséklet-tartományban. (Keretben: vizsgálati hőmérséklet, vizsgálati feszültség; a kereten kívül: aktiválási energiák)

Ez az egyezés lehetőséget ad arra, hogy a jövőben hosszadalmas hidrosztatikus mérések helyett 2NCT eljárással tudják megbecsülni a használatban lévő csőrendszerek csöveinek várható maradék élettartamát, ami különösen előnyös, ha csak rövid csőszakaszok állnak rendelkezésre a vizsgálatához vagy ha nagy átmérőjű csöveket kell vizsgálni.

A tartós hidrosztatikus nyomásvizsgálatból az következik, hogy ha a csöveket 20 °C-on 8,13 MPa (eredeti vizsgálati feszültség $6,5 \text{ MPa} \times 1,25 = 8,13$) feszültségnek

teszik ki, további várható élettartamuk 10947 óra (1,25 év). Az üzemi feszültség valójában 2,25 MPa. Ha az ehhez a terheléshez valószínűsíthető élettartamot a 80 °C-hoz és 5,0 MPa-hoz rendelhető 20,7 óras, ill. az 50 °C-hoz és 3,85 MPa-hoz rendelhető 2902,3 óras élettartamból (ahol az aktiválási energia 156 kJ/mol) extrapolálással számítják ki, 124 éves további élettartam várható – a hőöregedés figyelembevétele nélkül.



2. ábra Hostalen GM5010 csövek tartós hidrosztatikus nyomás alatt és 2NCT eljárással tiszta vízzel végzett tartós terhelési vizsgálatainak eredményei. (Keretben: a vizsgálati hőmérséklet és a vizsgálati feszültség; a kereten kívül: aktiválási energiák)

Régóta tudják, hogy a *polietilén hőöregedési folyamata* jól leírható az Arrhenius-egyenlettel. Ez igaz a mechanikai tulajdonságok változására (pl. a szakadási nyúlásra) és a polimerfizikai vizsgálatok eredményeire is. A polietilén felhasználási időtartamának határát az hőöregedés kezdete szabja meg. A csövek hőöregedésének megindulásáig eltelt idő hosszát a stabilizálás, a hőmérséklet, a környezet oxigéntartalma, a benne vezetett közeg áramlási sebessége befolyásolja. A német *DVS 2205 irányelvek 19. lapja* hozzávetőleges adatai szerint a polietilén hőöregedése 20 °C-on ~500 év, 50 °C-on ~18 év, 80 °C-on ~9 év után indul meg. *A hőöregedés Arrhenius egyenlet alapján számított aktiválási energiája 93 kJ/mol.*

A tartós hidrosztatikus nyomásnak kitett csövek hőöregedését a **Basell Polyolefine GmbH** polimerfizikai laboratóriumában az *ISO 1628-3* szabvány szerint, az ún. *viszkózitás szám* változásával jellemezték. (A viszkózitás szám az átlagos molekula-tömegre jellemző szám; korábban VZ-vel, jelenleg VN-nel jelölik.) A 41 évi használat után felszedett Hostalen GM5010 csöveken végzett néhány vizsgálat eredményeit az *1. táblázat* tartalmazza. Ha kiindulási értéknek a VN = 385 ml/g értéket veszük, és feltételezzük, hogy ennek 25%-os csökkenése jelzi a hőöregedés kezdetét, megállapítható, hogy valamennyi mért érték e felett a határérték felett van. A vizsgálati eredmények és

a 93 kJ/mol aktiválási energiából számítva a hőöregedés kezdete további 27 éves használat után várható.

1. táblázat

A 41 évig használt Hostalen GM5010 csöveken végzett VN-mérések eredményei

A minta jele	Vizsgálati hőmérséklet, °C	Vizsgálati feszültség, °C	Törésig tartó idő hidrosztatikus nyomás alatt, h	VN-érték, ml/g
B6	80		21,9	400
B4	60		144,67	385
B5	50	6,24	353,0	379
B18	50	3,85	2150,5	398
B10	40		1545,8	380
B11	40		862,2	394

Összeállította: Pál Károlyné

Schlicht, H.: PE-Rohre in der Wasserversorgung. = GWA, 86. k. 6. sz. 2006. p. 471–476.

Schulte, U.; Hessel, J.: Restlebensdauer von Kunststoffrohren nach einer Betriebszeit von 41 Jahren. = 3R international, 45. k. 9. sz. 2006. p. 482–485.