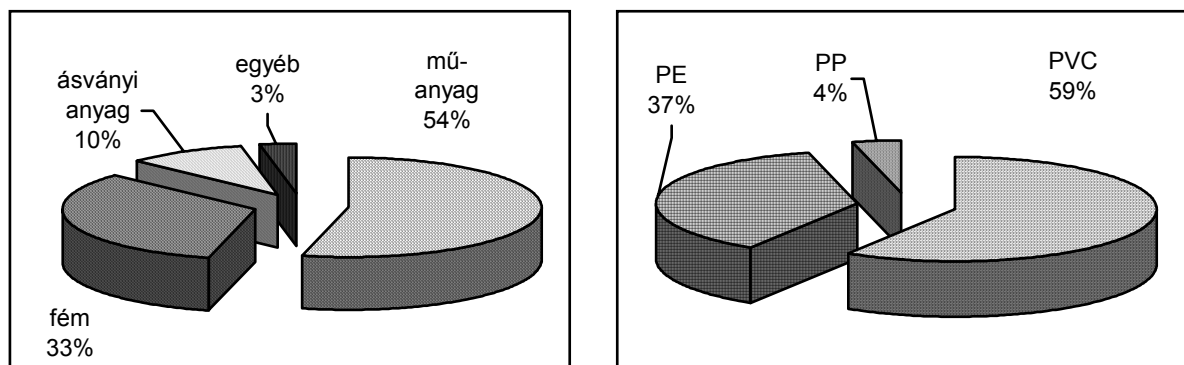


PE-HD csövek a vízellátásban

Tárgyszavak: statisztika; jövedelmezőség; jövőbeni kilátások; fejlődő országok; ellátás; vezetékrendszer élettartama.

Európában ma már a csövek többségét hőre lágyuló műanyagokból gyártják, és ez az anyagcsoport világszerte is 54%-os részesedést képvisel (1988-ban még csak 44% volt). 2003-ban mintegy 2500 E t műanyagot használtak fel csőgyártásra, amelynek mintegy 62%-a PVC volt, 33,5%-a PE, kb. 4,5%-a PP. (Néhány 2004-es európai adatot az 1. ábra összegez). A felhasznált műanyag típusok piaconkénti megoszlását inkább a műanyagok műszaki, semmint gazdaságossági jellemzői határozzák meg. *Műanyag csöveket leginkább nyomásmentes vezetékhez használnak, a felhasznált műanyag mintegy 2/3-a ilyen területre kerül. A PE-HD csövek kivételt képeznek, ezek mintegy 57%-át nyomás alatti víz- és gázcsövek céljára alkalmazzák.*



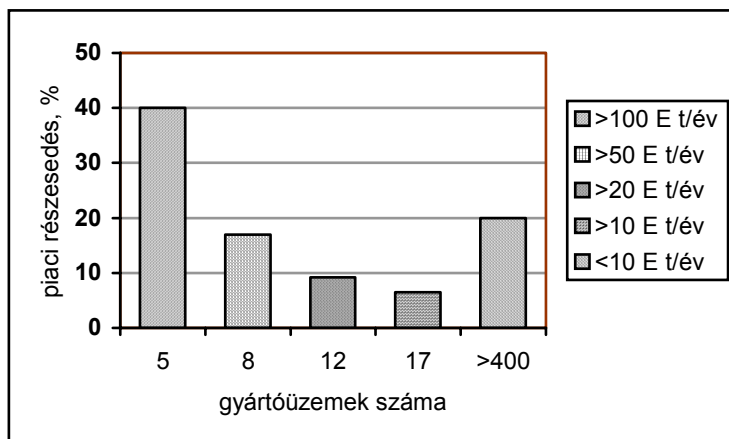
1. ábra Az európai csőgyártási piac megoszlása anyagtípusok szerint (balra), ill. a műanyagcsőpiac megoszlása műanyag típusok szerint (jobbra). (Az utóbbi adatok a 2004. januári EU adatokat, Norvégiát és Svájcot tartalmazzák).

A nagynyomású csövek piaca

A polietilént (különösen a PE-HD-t) nagy mennyiségben (kb. 450 E t/év) használják fel nyomás alatti csövek gyártására. A növekedési ütem mintegy kétszerese a GDP növekedésének, de a piac helyzete némileg bizonytalan.

Ennek oka az, hogy a befektetések mértéke a gázpiacon csökken, és egyes nagyobb cégek inkább a meglévő hálózat felújításába fektetnek be, mint új hálózat építésébe. Olyan nagy piacokon, mint Németország vagy Olaszország, a hálózat nagyrészt kiépült, nagy léptékű PE csőhálózat fejlesztése egyedül Spanyolországban folyik. A vízellátásban kevés a befektethető közpénz, viszonylag alacsonyak a tarifák, ami ugyancsak megnehezíti a fejlesztést. A tagállamok inkább csatornázásra költenek többet, hogy megfeleljenek az EU előírásainak.

Az elmúlt években az ajánlati piac konszolidációja ment végbe, ma 5 vállalat tartja kézben a nyugat-európai piac 87%-át, és további felvásárlások várhatók. Összeolvadások következtek be a csőgyártás piacán is, tucatnyi 50 E t/év feletti feldolgozási kapacitású európai cég tartja kézben a világpiacnak több mint felét. Van azonban számos kis feldolgozó is, az olasz piacon pl. kb. 100 cég osztozik. (A csőgyártók feldolgozási kapacitás szerinti eloszlását a 2. ábra mutatja). A gyártási folyamat jellege olyan, hogy kisebb tőkeerejű cégek is be tudnak lépni a piacra, ami azonban nem egyértelmű előny; a kisebb cégek lenyomják az árat – de sokszor a műszaki színvonalat is. Ez megrendítheti az egész piac megbízhatóságába vetett hitet.



2. ábra
A PVC, PE és PP csöveket gyártó cégek megoszlása az EU-ban feldolgozási kapacitás szerint

Az utóbbi 15 évben a PE-HD árára két oldalról is nyomás nehezedett: egyrészt az instabil etilénárak miatt (amelyet a kőolajfeldolgozók azon törekvése okozott, hogy növeljék a krakkolók nyereségességét), másrészt a csőgyártás oldaláról, ahol a piac megosztottsága és a végfelhasználó alacsony árak iránti erős igénye miatt szinte lehetetlen az árnövelés.

A jövő lehetőségei

A PE csőanyagokon belül nő az ún. PE100 anyagok szerepe. A PE 100 egy ISO szabvány szerinti jelölés, amely azt érzékelteti, hogy az anyag tartós

nyomásállósága eléri a 10 MPa értéket 20 °C-on, 50 évre extrapolálva. A PE 80 jelölésű anyagoknál ez az érték csak 8 MPa. Mivel a PE100 anyagok gyártási üteme meghaladja a PE egészének növekedését, nő a magas minőségi követelményeknek eleget tevő anyagok részaránya, egyszerűsödik a kínálati oldal, de azt is jelzi, hogy egyre inkább a „tömegműanyagok” irányba csúszik el a PE-HD csőpiac is. A csőgyártáshoz használt PE típusok ára csökkent a néhány évvel ezelőttihez képest – annak ellenére, hogy a kőolaj és a belőle gyártott nyersanyagok ára nőtt. Ez nyilvánvalóan hozzájárult a PE-HD-t gyártók számának csökkenéséhez. *Ma túl kicsi a nyereség a polietilén csőanyagokon ahhoz, hogy stabil, hosszú távú jövőt jósolhassanak a csőgyártásnak. Ha bekövetkezik a csőpiac elértéktelenedése, és tömegessé válik a gyengébb minőségű anyagok és gyártók behatolása, az igen komoly kockázatot jelent a gáz- és vízszállítás biztonságára nézve.* Hogy ez mégse következzen be, bizonyos intézkedések megtétele látszik szükségesnek.

Be kell vezetni a szigorú minőségellenőrzést, és a követelményeknek eleget tevő színezett típusokat kell bevezetni (pl. sárgát/narancssárgát a gázcsövekhez és kéket a vízcsövekhez). Folyamatosan fejleszteni kell az anyagokat és technológiákat is. A csővezetékek létesítésekor a cső ára alig 10%-a a teljes üzembe helyezett rendszerének, ezért ha a csövek minősége javítható, olcsóbbá tehető a csőfektetés is (pl. nincs szükség homokágyra vagy árokásás nélküli technológiák is alkalmazhatók.) A nagyobb méretű csövekre való átállást ösztönzi az extrúziós technológiák fejlődése és az acél árának növekedése is.

Az ivóvízelosztó rendszerek fejlődése

Annak ellenére, hogy Spanyolország és Olaszország kivételével az Európai Unió országai nem tartoznak a vízellátás szempontjából kritikus országok közé, az elérhető vízmennyiség hálózati veszteségei már nem mutatnak ilyen kedvező képet (különösen tekintettel a frissen csatlakozott vagy csatlakozásra váró államokat). Az egyik (rövid távú) megoldás a javításokra adott közpénz, és az is jól ismert, hogy nagyon nehéz olyan beruházásokra pénzt szerezni, amelyek megtérülési ideje hosszabb, mint a politikusok újraválasztási ciklusa. A magántőke sem szívesen áldoz olyan befektetésre, ahol nem gyors a megtérülés, és *a vízárak jelenleg olyanok, hogy a befektetések nem nagyon térülnek meg.* Az 1. táblázatban néhány ország aktuális vízárak láthatók – összehasonlítva azzal az értékkel, amire szükség lenne a tőke, a működési költség és a befektetés megtérüléséhez. Európában egyre több helyen privatizálják a vízellátást, és ez talán reményt ad arra, hogy elő fogják keríteni a befektetéshez szükséges tőkét is. A hatékonyság és a profit iránti igény talán jobban fogja hívni a figyelmet a műanyag csövek előnyeire. Ma még a 300 mm fölötti átmérőjű csövekhez főleg vasat alkalmaznak, és noha ez kilométerben csak a teljes hálózat 10%-át teszi ki, tonnában jelentős részesedést képvisel.

Az érvényes és a valóságos költségeket tartalmazó
vízdíjak aránya néhány országban

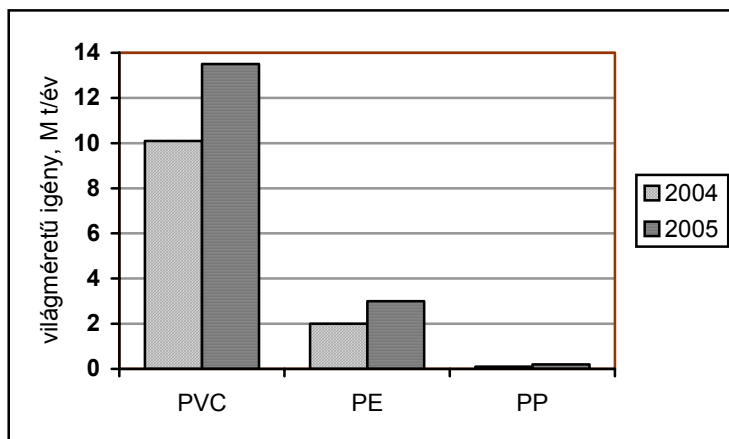
Ország	Érvényes vízdíj, EUR/m ³	Valódi költség, EUR/m ³
Németország	1,6	1,4
Egyesült Királyság	1,0	1,0
Franciaország	1,0	1,2
Belgium	0,9	1,5
Olaszország	0,6	1,3
Spanyolország	0,6	1,3
Kanada	0,4	0,6
Brazília	0,5	0,6
Japán	0,9	1,5
USA	0,6	1,5
Kína (Peking)	0,3	0,8
Szaúd-Arábia	0,15	2,2

A műanyagipar számára óriási lehetőséget rejt a közműpiac globalizálódása. A hálózatok bővítése során bebizonyosodott, hogy a műanyag csövek rendkívül jó teljesítményt nyújtanak és korróziós szempontból jóval kedvezőbbek, mint a vascsövek. A világpiacot nézve a vízzel összefüggő üzlet értéke mintegy 800 Mrd USD, amelyből kb. 200 Mrd USD a városi vízellátás. A piac óriási értéke ellenére a világ lakosságának jó része számára a tiszta ivóvíz elérhetetlen vágyálom. A 6 Mrd emberből 1,1 Mrd nem jut vízhez, 2,4 Mrd pedig nem megfelelően tisztított vízhez. A szennyvízzel még rosszabb a helyzet, mintegy 4 Mrd ember számára nincs megfelelő szennyvízelvezetés. Ennek megvan az ára: évente kb. 3,5 M gyermek hal meg víztől kapott fertőzés miatt. Az ENSZ célként tűzte ki, hogy 2015-re csökkentsék felére a vízhez nem jutó vagy nem tisztított vízhez jutó lakosság számát. Tekintetbe véve a lakosság gyarapodását ez azt jelentené, hogy 2015-re csak a városi lakosságot figyelembe véve mintegy 1,6 Mrd embernek kellene tiszta vízhez jutnia, vagyis évente kb. 100 M embernek. A projekt megvalósításának kiszámított költségei óriásiak. A Világbank az utóbbi 12 évben mintegy 20 milliárd USD kölcsönt adott vízellátásra és víztisztításra, és a következő 12 évben ennek kb. a duplájára lenne szükség. A Világbank és más fejlesztési bankok sokat fektetnek be a vízellátásba, de a magánszektornak is egyre nagyobb szerepet kell játszania. A beruházások kb. a fele fejlődő gazdaságokra fog jutni (elsősorban Ázsiában és Afrikában), de az EU országokban (28%, beleértve a frissen csatlakozott országokat is) és az USA-ban is (11%) további hatalmas befektetésekre lesz szükség.

Nagy lehetőség ez a műanyag csőgyártók számára – annak ellenére, hogy ez a hatalmas összeg természetesen nem mind csővásárlásra fordítódik. A vízellátásnak rengeteg technológiai lépése van: a forrás megtalálása, kiépítése, a vízkiemelés, a továbbítás, a tisztítás, az elosztás, a felhasználás, a begyűjtés, a szennyvíztisztítás, az újrafelhasználás stb. A nem nyomás alatt működő csövek hálózata is fejlődni fog, ami a PVC és PP csövek számára is lehetőséget biztosít (3. ábra). A globális piacot tekintve tehát van kilátás, de annak kiaknázásához valóban globálisan kell gondolkodni és cselekedni. A helyi piacokat helyi vállalatok fogják kiszolgálni, de a globális igényeket csak globálisan jelen levő cégek tudják kielégíteni, bárhol legyen is a székhelyük.

Mennyi ideig használható egy polietilén vízvezeték-hálózat?

A vízellátásban az 1950-es évek vége óta egyre szélesebb körben használják a polietilént, az utóbbi időben elsősorban az ún. PE100 típusokat. A német **Gelsenwasser AG** először a 63 mm alatti átmérőtartományokban, bekötésekhez használta sikerrel a PE csöveket, majd 2001 után a vízellátó rendszerekben a 150 mm-nél kisebb átmérőtartományban is elkezdtek alkalmazni őket. Az esetek 90%-ában PE100 minőségű alapanyagot használnak. 2004 elejétől engedélyezték a 200 mm-es PE csövek alkalmazását. A bekötéseket nem számítva a cég által telepített, PE-ből készült vízellátó rendszer hossza 635 km-re nőtt, ami az egész hálózat kb. 11%-a.



3. ábra
A csőgyártás világpiacának várható alakulása műanyag típusok szerint

A használhatóság várható időtartama nagyon fontos szempont az alapanyag kiválasztásakor, hiszen a nyersanyagár mellett ez határozza meg az egész rendszer jövedelmezőségét. Nem elég a gyártási költségeket számítani, ismerni kell a javítási, helyreállítási költségeket és azt, hogy hány év alatt amortizálódik a befektetés. Nagyon fontos megtudni, hogy reális cél-e a PE

csövek esetében pl. egy 100 éves élettartam. A Gelsenwasser cég azért döntött a PE100-as alapanyag mellett, mert egyrészt ennek nagyon jók az anyagjellemzői, másrészt kiváló a tartós belső nyomással szembeni ellenállása. A műanyagok fizikai tulajdonságai azonban időben változnak, és a PE csövek egyelőre még csak kb. 40 éve vannak üzemben, az alkalmazhatóság felső határa még nem ismert. Az élettartamot magasabb hőmérsékleten mért gyorsított öregítési adatokból állapítják meg úgy, hogy az eredményeket szobahőmérsékletre extrapolálják. Ezen az alapon a PE100 csövek mintegy 100 éves élettartama prognosztizálható.

Az első és másodgenerációs PE-csövek várható élettartamát is extrapolációval állapították meg. Az akkori lehetőségek és elvárások természetesen jóval alatta maradtak a maiaknak, de már akkor is 50 éves élettartamot jósoltak.

A SABIC Polyolefine GmbH részletes vizsgálatokat végzett közel 40 éves PE csöveken, amelyeket korábban helyeztek üzembe. A vizsgálatok célja annak felmérése volt, hogy milyen állapotban vannak ma a műanyag csövek, illetve mennyit veszítettek eredeti tulajdonságaikból öregedés, degradáció stb. következtében. Ezeknek az adatoknak birtokában, azokat extrapolálva a ma elérhető nyersanyagok várható élettartamát pontosabban meg lehet becsülni.

A kiemelt, hosszú ideig használt csöveken végzett vizsgálatok

Összesen hét mintát vizsgáltak meg részletesebben, amelyek közül három esetben meghibásodás lépett fel. Egyes esetekben azt találták, hogy a beépítési körülmények nem voltak megfelelőek, pl. a homokágy nem volt megfelelő. A minták adatait a 2. táblázat foglalja össze. A következő kérdések merültek fel a mintákkal kapcsolatban:

- Milyen PE-alapanyagról van szó?
- Milyen követelményeket elégítettek ki ezek a korábbi nyersanyagok?
- Mitől hibásodtak meg?
- Milyen állapotban vannak a beépítés után?
- Milyen következtetések vonhatók le a maradék élettartamra vonatkozóan?

Az 1960-as évek óta jelentős fejlődés következett be a csőgyártáshoz használt polietiléntípusokban. Az első generációs polietilének homopolimerek voltak, ma már inkább kopolimereket alkalmaznak, jobb tulajdonságprofillal. Az első két generációra a monomodális molekulatömeg-eloszlás volt jellemző, a harmadik generációra a bimodális. Kérdéses, hogy a javulások alapján várható-e, hogy a jelenlegi nyersanyagokra 100 éves üzemidőt garantáljanak?

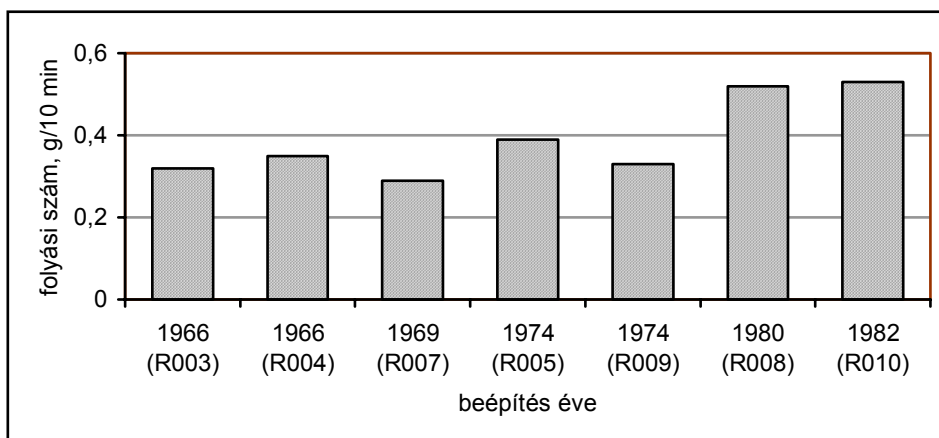
Hosszabb ideje beépített, majd vizsgálat céljából kiemelt
PE minták adatai

Kód	Minta	Beépítés idő- pontja	Kiemelés idő- pontja	Kor év	Ok
R003	vízellátó vezeték 90 x 8,2 mm	1966	2002	36	meghibásodás
R004	házi bekötés 40 x 3,7 mm	1966	2002	36	meghibásodás
R007	házi bekötés 40 x 3,6 mm	1969	2004	35	megtekintés
R005	házi bekötés 63 x 5,8 mm	1974	2003	29	meghibásodás
R008	vízellátó vezeték 63 x 10 mm	1980	2004	24	megtekintés
R009	házi bekötés 40 x 3,6 mm	1974	2004	30	megtekintés
R010	házi bekötés 40 x 5,6 mm	1982	2004	22	megtekintés

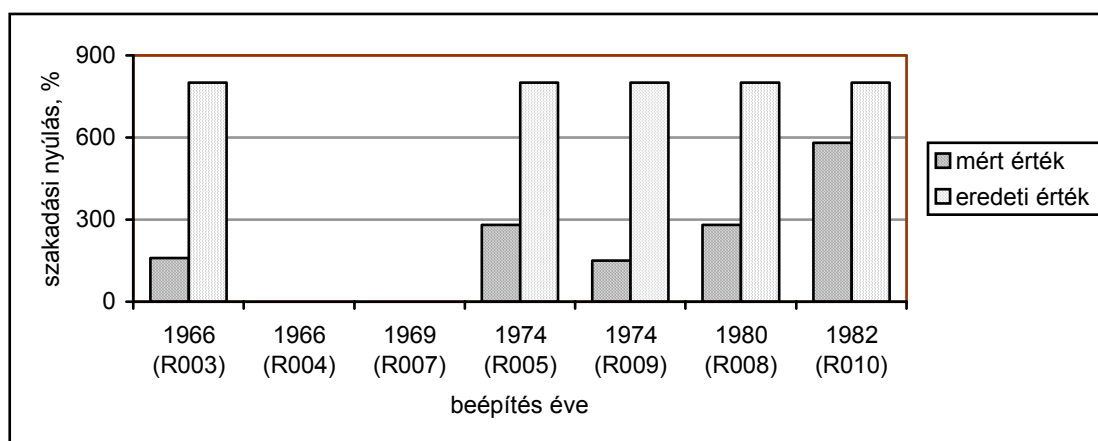
A mérések elvégzésekor problémát jelentett az, hogy kevés anyagminta állt rendelkezésre, és az is csak cső formában. Ezért bizonyos esetekben a csőanyagot megőrölték, és az őrleményből készített próbatesteken végeztek méréseket, de voltak olyan esetek is, amikor bizonyos vizsgálatokat nem tudtak elvégezni anyagiánny miatt.

A legalapvetőbb adatok a *sűrűség* és a *folyási szám* (MFI), az utóbbit a 4. ábra mutatja. A sűrűségek $0,955 \text{ g/cm}^3$ körüliek voltak, amelyek a mai PE80 minősítésű anyagok esetében is gyakoriak. A PE100 típusokra $0,958\text{--}0,960 \text{ g/cm}^3$ közti sűrűségek jellemzők. A korai PE-HD-típusok MFI értéke $0,3 \text{ g/10 min}$ körül volt, azonos a mai PE100 típusokéval, de az 1980-as évek elején valamivel nagyobb, $0,5 \text{ g/10 min}$ folyási számú kopolimereket használtak. A változás oka az, hogy eleinte a hosszabb élettartam érdekében nagyobb átlagos molekulatömeget kellett beállítani, később ezt megfelelő komonomerekkel érték el, a harmadik generációban pedig inkább bimodális mint monomodális molekulatömeg-eloszlású polimereket használnak a tartósság javítására.

Az 1970-es években használt PE-típusok nagyobb E-modulust mutattak, mint a maiak, a húzószilárdságok a csőfektetés évétől függetlenül 23 MPa körül voltak. Nagyobb eltérések adódtak viszont a *szakadási nyúlásban* (5. ábra). A gyártók által a friss anyagra egységesen megadott 800%-os szakadási nyúlás az öregedés során jelentősen lecsökkent.



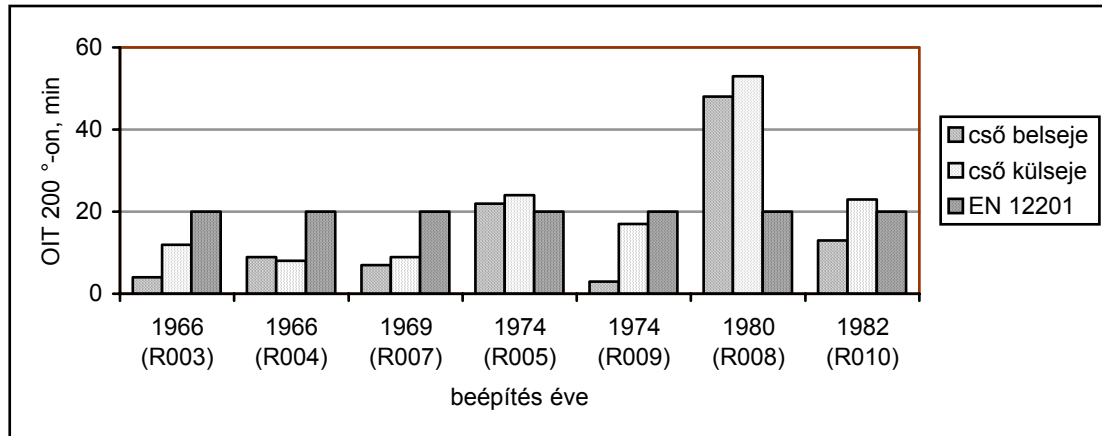
4. ábra A különböző ideig használt PE-HD csövek anyagának folyási száma (MFI, 190 °C, 5 kg)



5. ábra A csőminták kiemelés után mért és a gyártó által megadott eredeti szakadási nyúlása

Egy másik paraméter, amelyből a maradék élettartamra következtetni lehet, az *oxidációs indukciós idő (OIT)*. Ez azt mutatja, hogy adott hőmérsékleten (itt 200 °C-on) mennyi idő alatt használódnak fel tiszta oxigénatmoszférában a stabilizátorok. A cső külső részében általában legalább 10 perces OIT érték adódott, a cső belső részén azonban, különösen az idősebb csövek esetében, igen alacsony értéket kaptak, néha az észlelhetőség határán (6. ábra). Ez részben a stabilizátor feldolgozás során fellépő elhasználódásából, részben a stabilizátorok migrációjából származhat. A mai új anyagoktól minimum 20 perces OIT értéket várnak el EN 12201 szabvány szerint. Az anyag lebomlását méri az ún. viszkozitásszám is, amely akkor nagyobb, ha az anyag átlagos molekulatömege is nagyobb. Mivel itt az eredeti anyagok viszkozi-

táaszámai nem álltak rendelkezésre, csak a csövek külső és belső részéből vett minták jellemzőit lehetett összehasonlítani. Az 1966-ban lefektetett csövekben a különbség jelentős volt (ami talán részben a kevésbé fejlett extrúziós technológiának tudható be), a többi esetben elhanyagolható.



6. ábra A használt csőmintákon mért oxigénindukációs idő (OIT)

Az anyagok összehasonlítására alkalmas még az ún. *feszültségrepedési ellenállás* (ESCR, amelyet az *ASTM D 5397* szabvány szerint meghatározott vizes detergensoldattal mérnek 60 °C-on, 5,5 MPa feszültség mellett. Az első jelentősebb javulás ebben a vonatkozásban az 1982-ben fektetett csőnél mutatható ki, ahol 20 óra körüli ellenállási értéket mértek, az összes többi esetben 10 órát vagy annál kevesebbet. Feltételezhető, hogy az 1982-es cső már egy másodgenerációs PE-HD-ből készült. A harmadik generációs csőanyagok azonos körülmények között több mint 1000 órát is kiállnak.

Tartós terhelési vizsgálat

A legérdekesebb kérdés természetesen az volt, hogy mennyi ideig terhelhetők még ezek a régi csövek. A SABIC Polyolefin GmbH-nál ezért ahol lehetett, 80 °C-on tartós belső nyomásnak tették ki a csőmintákat a DIN 8075 szabványnak megfelelő terheléssel. *Azt az érdekes eredményt kapták, hogy ha nem tudnának előzetes „szolgáltatukról”, ezeket a csöveket a szabvány alapján újabb 50 évre engedélyezni lehetne.* Az 1982-ben üzembe helyezett, feltehetően legmodernebb anyagból készült cső különösen kiemelkedő várható élettartamot mutatott, pedig már ez is 22 éve használatban volt. Mindössze két mintánál (R005 és R009) nem teljesültek volna a kibocsátási kritériumok. Az R005 minta esetében jelentkeztek is problémák, amelyikről kiderült, hogy erősen térhálósodott. Mivel itt nem szándékos térhálósításról volt szó, az átalakulás a mintát rideggé tette. Az R009 minta is térhálósodott, és mindkét

mintánál a törési felületek elektronmikroszkópos analízise idegen zárványok jelenlétét mutatta ki, ami hozzájárulhatott a minták töréséhez. Ez a vizsgálat szerint a nem megfelelő extrúziós technológia következménye volt.

Néhány esetben azért vettek mintát a csőből, mert az meghibásodott, és így nem érte el a tervezett élettartamot. Az R003 minta esetében pl. egy külső, pontszerű terhelés hatására alakult ki repedés, majd törés. Itt nem lehet anyaghibáról beszélni: itt olyan terhelésnek kellett volna ellenállni, amelyre a cső nem volt méretezve. Az R004 csőnél is mutatkoztak a belső felület rideggé válásának jelei, amit feltehetőleg az öregedés okozott, de ezt nem lehetett egyértelműen igazolni. Az R005 mintán, amely egy oldalbekötő cső volt, egyértelműen kihajlás okozta a meghibásodást, amely mechanikus túlterhelésből származott. A túlterhelést a szakszerűtlen beépítés okozta – és a cső így is 29 évet kibírt, mielőtt tönkrement volna.

Az eredmények értékelése

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a korábban beépített PE csövek között sokféle anyag megtalálható, és az idők során egyértelmű javulás mutatkozott a csövek/csőanyagok szívósságában, feszültségpedezéssel szembeni ellenállásában és tartamszilárdságában. Ahol konkrét meghibásodás lépett fel, ott soha nem anyagjellemzők, hanem bizonyíthatóan feldolgozási vagy beépítési hibák okozták azt. Nagyon sok 1966-ban elhelyezett cső még ma is működik, és a próbanyomást minden további nélkül kibírják. Már az első generációs PE csövek esetében bizonyítottan látható, hogy az 50 éves időtartamot ki tudják szolgálni, sőt megfelelő felülvizsgálat esetén valószínűleg még annál jóval többet is. Tekintettel arra, hogy ezen a területen folyamatos volt az anyagfejlesztés, és ma már a nyersanyagok harmadik generációját használják, egyáltalán nem tűnik lehetetlennek a 100 éves várható élettartam elérése.

Dr. Bánhegyi György

Raynaud, M.; Lasson, P.: A view of the European plastics pipes market in a global scenario. = 3R International, 43. k. 8/9. sz. 2004. p. 474–477.

Krietenbrink, H.; Kloth, R.: 100 Jahre Nutzungsdauer von PE-Rohrsystemen in der Wasserversorgung – Anspruch oder Realität? = 3R International, 43. k. 10. sz. 2004. p. 576–582.