

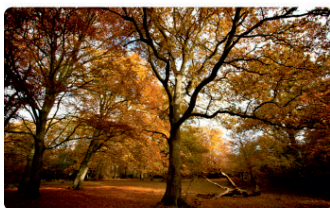
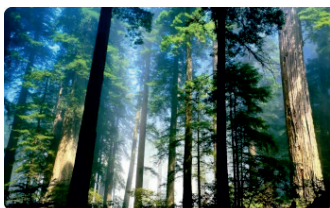
## MCsSz füzetek

### A polipropilén és polietilén gravitációs csatornacsövek 100 éves üzemelési élettartama

TEPPFA Projekt a Borealis és a LyondellBasell együttműködésével

Teljes körű műszaki jelentés

*Ez a dokumentum a Teppfa, a Borealis és a LyondellBasell tulajdonát képező belső jelentés. A jelentés eredményeinek, a szöveg egészének vagy részleteinek publikálása csak a projekt tulajdonosainak írásbeli hozzájárulásával engedélyezett.*



## 100 év üzemi élettartam előrejelzés a poliolefin gravitációs szennyvízcsatorna rendszerekre

### Előszó

A poliolefin műanyagokból gyártott gravitációs csatornacsövek üzemi élettartamának előrejelzése sok éven át volt vita tárgya, anélkül, hogy egyértelmű válasz született volna. Ezért a projekt eredménye elengedhetetlenül fontos az alpanyaggyártók, a csőgyártók, valamint a szennyvízelvezető rendszerek tervezői és működtetői számára.

Ez a projekt a The European Plastic Pipes and Fittings Association (TEPPFA) (Európai Műanyag Cső és Csőidom Szövetség) és az alpanyag-gyártók, a LyondellBasell és a Borealis, együttműködésében, Professzor Heinz Dragaun független külső szakértő felülvizsgálata mellett valósult meg.

A projekt eredménye, amelyeket hosszú távú kiegészítő vizsgálatok és megfelelő építési követelmények támasztanak alá az, hogy 100 éves üzemelési élettartam megbízhatóan előrejelezhető azokra a termékekre, amelyek megfelelnek a vonatkozó (MSz) EN termékszabványok követelményeinek.

A projektben résztvevő felek elismerésüket kívánják kifejezni Heinz Dragaun professzornak a projektben való kiváló közreműködéséért, és a jelentéshez való támogató hozzájárulásáért.

### A projektcsoport tagjai:

Tiem Meijering,  
Jeannette Mulder,  
Günter Dreiling,  
Heinz Vogt,

Project manager, TEPPFA  
Wavin  
Borealis  
LyondellBasell

### Projektellenőr:

Heinz Dragaun,

TGM

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés és összefoglaló</b>	<b>5</b>
1.1. Bevezetés	5
1.2. Összefoglaló és következtetések Heinz Dragaun professzor projektellenőr zárónyilatkozata	5
<b>2. Elméleti megfontolások az üzemi körülmények közötti 100 éves élettartam előrejelzésére</b>	<b>10</b>
2.1. A hőoxidációs lebomlásnak való hosszú távú ellenállás	11
2.2. Hosszú távú mechanikai integritás	12
2.2.1. Az élettartam becslése állandó feszültség mellett	13
2.2.2. Élettartam becslése állandó alakváltozás mellett	13
2.2.3. Előrejelezhető összenyomódások	14
2.2.4. Alakváltozás számítások	15
2.2.5. Alakváltozási képesség és meghiúsodás	17
2.2.6. Relaxációs viselkedés	17
2.2.7. Relaxációs mérések	20
2.2.8. Számított alakváltozások az összenyomott csőben, és a maradó feszültségek	23
2.2.9. Az alakváltozás- és feszültség számítások értelmezése	26
2.3. Feszültség-koncentrációk, elemzés véges elem módszerrel, szemrevételezés, csőfal kialakítása	27
2.4. Záró megjegyzések	28
<b>3. A szennyvíz hatása</b>	<b>30</b>
3.1. Bevezetés	30
3.2. Megközelítés	30
3.3. Eredmények	31
3.4. A szennyvíz lehetséges hatására vonatkozó következtetés	32
3.5. A csatornacső rendszer hőmérséklete	32
3.5.1. Bevezetés	32
3.5.2. Megközelítés	32
3.5.3. Eredmények	32
3.5.4. A csatornacső rendszerek hőmérsékleteire vonatkozó következtetés	33
<b>4. Feltérési projektek</b>	<b>34</b>
4.1. Feltárt tömör és szerkezeti falú csatornacsövek	34
4.2. A feltérési projektek általános ismertetése	34
4.2.1. Tömör falú PE csatornacsövek Finnországból. Cső kód: F1	34
4.2.2. Tömör falú PE csatornacsövek Németországból. Cső kódok: G1, G2 és G3	37
4.2.3. Tömör falú PP csatornacsövek Norvégiából. Cső kód: N1	38
4.2.4. Szerkezeti falú PP-B csatornacsövek Norvégiából. Cső kód: N2	40
4.2.5. Szerkezeti falú PP-B csatornacsövek Dániából. Cső kód: D1	41
4.3. Vizsgálati módszerek	42
4.3.1. Anyag-jellemzés	42
4.3.2. Belső nyomás vizsgálatok	42
4.3.3. MFR	42
4.3.4. A PE csövek belső viszkozitása (IV)	42
4.3.5. Gél permeációs kromatográfia (GPC)	43
4.3.6. FT-IR spektroszkópia	43
4.3.7. Differenciál pásztázó kalorimetria (DSC)	43
4.3.8. Teljes bemetszéses kúszás vizsgálat (FNTC) a PE csöveken	43
4.3.9. Oxidációs stabilitás (OIT)	43
4.3.10. A PE csövek hosszanti zsugorodása	43

4.3.11. A PE csövek maradvány feszültségei	43
4.3.12. A PE csövek hajlítási kúszási modulusa	44
4.3.13. A PE csövek hőregjtése	44
4.3.14. A PP-B csövek gyűrűmerekvségi, gyűrűrugalmassági és törésvizsgálatai	44
<b>5. Eredmények</b>	<b>45</b>
5.1. Tömör falú PE csatornacsövek. Cső kód: F1	45
5.1.1. Anyag-jellemzés	45
5.1.2. Gél permeációs kromatográfia (GPC)	45
5.1.3. FT-IR spektroszkópia	46
5.1.4. OIT/belső viszkozitás	46
5.1.5. Csőméret	47
5.1.6. Cső összenyomódás	48
5.1.7. Hosszirányú zsugorodás	48
5.1.8. Maradék feszültségek	48
5.1.9. Nyomásvizsgálatok	49
5.1.10. Maradék öregedési stabilitás	49
5.2. Tömör falú PE csatornacsövek. Cső kódok: G1, G2 és G3	50
5.2.1. Anyag-jellemzés	50
5.2.1.1. Natúr (belső) és fekete gyanta a kétrétegű csövekből	50
5.2.1.2. Fekete gyanták az egyrétegű csövekből	51
5.2.2. OIT/belső viszkozitás	51
5.2.3. FT-IR spektroszkópia	52
5.2.4. Csőméretek	52
5.2.5. Összenyomódás	53
5.2.6. Maradék feszültségek	53
5.3. Tömör falú 110 x 3,8 mm-es PP csatornacsövek. Cső kód: N1	54
5.3.1. Anyag-jellemzés	54
5.3.2. Csőméretek	54
5.3.3. Cső összenyomódás	55
5.3.4. OIT és adalékanyag elemzés	55
5.3.5. Gyűrűmerekvség és gyűrűrugalmasság	55
5.3.6. Ejtő súlyos vizsgálat	55
5.3.7. Belső nyomás vizsgálatok	55
5.4. Szerkezeti falú PP-B csatornacsövek, DN/OD 160 mm. Cső kód: N2	56
5.4.1. Anyag-jellemzés	56
5.4.2. Csőméretek	56
5.4.3. OIT és adalékanyag elemzés	57
5.4.4. Cső összenyomódás	57
5.4.5. Gyűrűmerekvség és gyűrűrugalmasság	57
5.4.6. Ejtő súlyos vizsgálat	58
5.5. PP-B szerkezeti falú csatornacsövek, DN/OD 200 mm. Cső kód: D1	58
5.5.1. Anyag-jellemzés	58
5.5.2. Csőméretek	58
5.5.3. OIT és adalékanyag elemzés	59
5.5.4. Gyűrűmerekvség és gyűrűrugalmasság	59
5.5.5. Ejtő súlyos vizsgálat	59
5.6. A kiásott PP-csövek vizsgálatainak összefoglalása	59
5.7. Záró megjegyzések	60
<b>Mellékletek: A projekt keretében végzett vizsgálatok vizsgálati jelentései</b>	<b>61</b>
<b>Hivatkozások</b>	<b>62</b>



# 1. Bevezetés és összefoglaló

## 1.1. Bevezetés

A műanyag csőrendszerek várható élettartamának előrejelzése a nyomás alatti alkalmazások esetében, ahol a cső fala folyamatosan feszültségeknek van kitéve, jól dokumentált. A különböző hőmérsékleteken történő hidrosztatikai vizsgálatok lehetővé teszik számunkra, hogy az Arrhenius extrapolációk segítségével megbízhatóan megbecsüljük a várható élettartamot meghatározott nyomás és hőmérséklet tartományokban.

A földbefektetett gravitációs szennyvízelvezetés és csatornázás esetében, ahol a csövek belső nyomás nélkül működnek, a csövek folyamatos külső nyomásnak vannak kitéve, és ennek következtében állandó alakváltozás jelentkezik. Erre az alkalmazásra vonatkozóan is sok irodalom áll rendelkezésre, amelyekben a poliolefin csövekkel kapcsolatos tapasztalatokat és teljesítményt vizsgálták. A PE és PP gravitációs (nyomás nélküli) szennyvízelvezető csövekre vonatkozó jelenlegi nemzetközi termékszabványokban azonban nincs hivatkozás e csövek várható élettartamára. E csövek és anyagok nyomás nélküli alkalmazásokban való élettartambecslésének tudományos megközelítése nem áll rendelkezésre, és nincsenek megfelelő vizsgálati módszerek kidolgozva. A napi gyakorlatban egyre fontosabb hiteles bizonyítékot szolgáltatni az előre jelzett élettartamra vonatkozóan. Ennek a tanulmánynak az a célja, hogy megfelelő számú hiteles adattal tegye lehetővé annak kinyilatkoztatását, hogy a PE és PP szennyvízelvezető csövek üzemi élettartama legalább 100 év. A tanulmány az EN 1852 [5], az EN 12666 [4] szabványnak megfelelően gyártott PE és PP csövekre, és az EN 13476-3 [6] szabvány B típusú csöveire vonatkozik.

## 1.2. Összefoglaló és következtetések

A PE és PP alapanyagokból gyártott tömör és szerkezeti falú szennyvízelvezető csövek hosszú távú teljesítményének igazolásához a következő tételeket elemeztük és vizsgáltuk:

- Bizonyítékok gyűjtése, és a feltételek meghatározása a felhasznált anyagok hőoxidációs lebomlással szembeni megfelelően hosszú távú ellenállásához. A megengedett feszültségek és a vonatkozó vizsgálati követelmények a hidrosztatikai nyomásvizsgálatokból, az MRS (legkisebb elvárt szilárdság) kiértékeléséből és az Arrhenius extrapolációból nyert adatokra alapozva kerültek értékelésre.
- A nyomás nélküli szennyvízelvezető csövek hosszú távú viselkedését állandó alakváltozás mellett elemezték, a relaxációs vizsgálatok alapján számításokat végeztek a hosszú távú feszültségek előrejelzésére, valamint becsléseket végeztek a cső meghibásodásának kockázatára vonatkozóan, állandó, hosszú távú összenyomódás mellett.
- Értékeltek a szennyvíz összetételének és hőmérsékletének az előre jelzett élettartamra gyakorolt lehetséges hatását.
- Csőket tártak fel, hogy elemezzék a szennyvízelvezető csövek megmaradó minőségét egy bizonyos működési időtartam után, és hogy előre jelezzék e csövek hátra levő élettartamát.
- Az egész vizsgálati programot és az eredményeket egy független, külső tudományos munkatárs felülvizsgálta, és hitelesítette.

Ez a tanulmány azt igazolja, hogy a PE és PP nyomás nélküli szennyvízcsatornacsövek esetében 100 éves élettartam várható, amennyiben az alábbi alapvető feltételek teljesülnek:

- Az alkalmazott cső alapanyagok (gyanták) hőoxidációs lebomlással szembeni ellenállása bizonyított az ebben a jelentésben leírt körülmények között.
- A csőfalban a megengedett feszültségek hosszú távon nem haladják meg folyamatosan a működési hőmérsékleteken meghatározott szinteket.
- Az alapanyagok, amelyekből a csövek készülnek, kielégítik a termékszabványokban meghatározott alapvető követelményeket; azaz 1000 órás, emelt hőmérsékleteken végzett hidrosztatikai vizsgálatokkal igazolt a lassú repedésterjedésnek való ellenállásuk.

- A csöveket az elfogadott, magas szintű termelési gyakorlat szerint kell gyártani, és a termékszabványok összes követelményeit ki kell elégíteniük.
- A csöveket a vonatkozó szabványnak (CEN/TR 1046) [21], és az ebben a jelentésben hivatkozott „Földbe fektetett csövek” (Buried Pipes)- [15] című TEPFPA tanulmány ajánlásainak megfelelően kell beépíteni.
- A PE és PP csövek hosszú távú összenyomódásának az üzemelés során 8% alatt kell lennie
- A szerkezeti falú csövek kialakításakor a túlzott mértékű feszültség koncentrációt el kell kerülni. Ajánlatos a szerkezeti falú csövekre vonatkozó termékszabványok 30%-os gyűrűrugalmassági vizsgálatának való megfelelés a falszerkezet rövid távú teljesítményének és stabilitásának bemutatása érdekében. A termékszabványokban meghatározott 30%-os gyűrűrugalmassági vizsgálat a törésvizsgálattal együtt megfelelő és szelektív vizsgálati módszerek a túl magas feszültségkoncentráció és a B típusú strukturált falú csövek 2 rétege közötti rossz hegedési vonalak elkerüléséhez.
- Az ebben a tanulmányban leírt relaxációs vizsgálatokkal a vonatkozó termékszabványok jövőbeli változatait ki kell egészíteni, az anyag és a falszerkezet hosszú távú stabilitásának, valamint a feszültségrepedéssel szembeni hosszú távú ellenállásának bizonyítása érdekében.

Ez a tanulmány azt igazolja, hogy a nyomás nélküli (gravitációs) PE és PP-B csatornacsövek várható élettartama 100 év, ha az alábbi feltételek teljesülnek:

- A csöveknek meg kell felelniük a PP csövekre vonatkozó EN1852, a PE csövekre vonatkozó EN12666 illetve a PE és PP szerkezeti falú csövekre vonatkozó EN13476 európai termék- és rendszerszabványok követelményeinek, és
- Az anyagnak, a csöveknek és a beépítésnek meg kell felelnie az 1.1. táblázatban előírt követelményeknek.

### 1.1. táblázat: A csatornacsövekre és anyagaira vonatkozó követelmények a 100 éves élettartam bizonyításához

Anyag követelmények	Hőoxidációs lebomlás <sup>1)</sup>	PE: 95°C, $\sigma = 1,0$ MPa PP: 110°C, $\sigma = 1,0$ MPa	> 8760 óra > 8760 óra
	A rendelkezésre álló referenciagörbékből származtatott legnagyobb megengedett feszültségek <sup>2)</sup>	45°C-on PE, $\sigma = 5,3$ MPa <sup>3)</sup> PP, $\sigma = 3,9$ MPa <sup>5)</sup> 23°C-on PE, $\sigma = 7,4$ MPa <sup>3)</sup> PP, $\sigma = 7,9$ MPa <sup>4)</sup>	100 év 100 év  100 év 100 év
A csővel szembeni követelmények	Hidrosztatikai vizsgálatok EN 12666 és EN 1852 szerint	PE: 80°C, $\sigma = 2,8$ MPa PP: 95°C, $\sigma = 2,5$ MPa	1000 óra (h) 1000 óra (h)
	Az EN 13476-nak megfelelő termék-követelmények	Gyűrűrugalmasság	30%
	Relaxációs vizsgálatok	PE és PP: Janson szerint [14]	> 4000 óra (h) 15%-os összenyomás (deformáció) mellett
Beépítési követelmények	Alakváltozáson átmert csőminták mikroszkópos elemzése	PE és PP: a Janson-teszt végén, > 4000 óra után	Nem lehet kezdődő repedés, vagy egyéb sérülés
	A cső beépítése	A CEN/TR 1046-nak [21], és a TEPFPA tanulmánynak megfelelően [15]	Mérsékelt vagy erős tömörítés Szabványos Proctor tömörség > 87%
	A cső legnagyobb összenyomódása (deformációja) az üzembe helyezéskor	A CEN/TR 1046-nak megfelelően [21]	Legfeljebb 8%

**Jelmagyarázat:**

- 1) Ezek a kísérleti adatokon alapuló vizsgálati feltételek a 100 éves működési élettartam előrejelzését a hőoxidációs lebomlásnak való ellenállás tekintetében biztosíthatja.
- 2) 45°C-on a 100 éves élettartamra számított feszültségek alapján feltételezzük, hogy
  - PE esetében nem jelenik meg második ág 50 év után.
  - PP-B esetében nem jelenik meg harmadik ág (hőoxidációs lebomlás) 50 év után.
- 3) Az ISO 15494 [12], B melléklet, B.1.2 szakasz, PE 80-ra vonatkozó B.2 egyenlet alapján számított gyűrűfeszültség
- 4) Az ISO 15494, E melléklet, E.1.2 szakasz, PP-B-re (első ág) vonatkozó E. 6 egyenlet alapján számított gyűrűfeszültség
- 5) Az ISO 15494, E melléklet, E.1.2 szakasz, PP-B-re (második ág) vonatkozó egyenlet alapján számított gyűrűfeszültség

Hosszú távú üzemelés után elemeztük a maradékfeszültségeket.

E célból, egy sor relaxációs vizsgálatot végeztünk, amelynek során megmértük a relaxációs modulust a terhelési idő függvényében. Ezeknek az adatoknak 100 évre való előrejelzése információt nyújt a relaxáció utáni maradékfeszültségről.

A vizsgálati eredményekből [1,5 melléklet] látható, hogy minden esetben, a szűz és a kiásott csövekre vonatkozóan egyaránt, a relaxációs modulus inverz értékei (Compliance line) a logaritmus idő ellenében egyenes vonalat mutatnak a 13270 órás vizsgálat során, ami igazolja a csőanyag és a csőfal stabilitását, ahol lineáris relaxációs viselkedés várható, amely lehetővé teszi ezeknek az adatoknak 100 évre való extrapolációját.

Az 1.2. táblázat az SN8-as csövek számított feszültségét mutatja hosszú távú (100 év) relaxáció után, 8 és 15%-os összenyomás mellett, 23°C-on.

## 1.2. táblázat: Az SN8-as csövek számított feszültsége (MPa) 8 és 15%-os összenyomás mellett

	Feszültség 4000 óra után		Feszültség 13270 óra után		Feszültség 100 év után	
	8%	15%	8%	15%	8%	15%
Összenyomás mértéke						
110 mm-es tömör falú PP-cső	3.37	4.87	2.88	4.15	2.05	2.95
160 mm-es szerkezeti falú PP-cső	4.79	6.91	4.21	6.06	3.17	4.57
200 mm-es tömör falú PE-cső	3.74	5.40	3.47	5.01	3.01	4.34

A 8%-os legnagyobb összenyomásnál a hosszú távú feszültségek jóval a kritikus értékek alatt vannak. A 15%-os legnagyobb összenyomásnál a szerkezeti falú csöveknél a feszültség mértéke kritikusabbá válik. Azonban a 15%-os összenyomás mellett, 13270 órán (1,51 év a szerk.) át végzett relaxációs vizsgálatok azt igazolták, hogy a csövek szabályosan, instabil alakváltozások nélkül ernyednek el, relaxálnak, ami azt jelzi, hogy meghibásodás nem várható. Azt tapasztaltuk, hogy a tömör falú csövekben 15%-os összenyomásnál a (relaxált) feszültség már 24 órán belüli alacsonyabb, mint a hosszú távú megengedett feszültség, és ugyanez a helyzet a szerkezeti falú csöveknél is 1000 óra relaxációs idő után. A szerkezeti falú csövek 8%-os összenyomásakor a feszültségek már 24 órás relaxációs idő után ugyancsak a megengedett feszültség alatt vannak.

A feltárt csöveken elvégzett relaxációs vizsgálatok is folyamatos relaxációs mintát mutatnak. A jegyzőkönyvezett vizsgálati eredményekben a 100 éves előrejelzés érvényesnek bizonyult. A maradékfeszültség tekintetében a 8%-nál nagyobb összenyomódást el kell kerülni.

A vizsgálati program végrehajtásához a csőminták 5 olyan helyről származnak, ahol már hosszú idő óta üzemelnek.

- Átmérő 200 mm-es, SN8-as tömör falú PE csövek: Finnországból,
- Átmérő 280 és 355 mm-es, SN8-as tömör falú PE csövek: Németországból,
- Átmérő 110 mm-es, SN8-as tömör falú PP-B csövek: Norvégiából,
- Átmérő 160 mm-es, SN 6.3-as PP-B szerkezeti (kettős) falú csövek: Norvégiából és
- Átmérő 200 mm-es, SN8-as PP-B szerkezeti (bordázott) falú csövek Dániából.

Még az első generációs PE esetében is igazolták az adatok, hogy 38 éves használat után a teljes élettartamra 100 év várható. Ezt a következtetést más, újabb keletű vizsgálatok is alátámasztják, amelyek jelzik, hogy a nyomás nélküli szennyvízelvezető csövek nem viselkednek eltérően az életperiódusban levő nyomott csövek-

től [16], ahol megállapították, hogy 30 éves működési időtartam után még legalább 50 éves maradék élettartam előrejelezhető.

Más feltárásból származó (PP-B) csövek használati ideje 10-23 év között volt.

Minden feltárt PE és PP-B cső nagyon jó vizsgálati eredményt mutat, a minőségi szempontok csökkentése nélkül.

- Fizikai jellemzők (OIT, belső viszkozitás, MFR, sűrűség, olvadáspont, nyúlási tulajdonságok, szakadási nyúlás): minden érték az eredeti PE63 adatlapok tartományában van.
- GPC: nem találtak a szennyvíz által okozott felgyorsult polimer lebomlást.
- Nyomásvizsgálatok: az átm. 200 mm-es, PE csöveken, 80°C-on,  $\sigma = 2.8$  MPa mellett, 584, 417 és 1034 óra meghibásodási időket mértek, amelyek megegyeznek az első generációs PE63 eredeti csöveknél közzétett eredményekkel.
- Nyomásvizsgálatok: az átm. 110 mm-es, PP-B csöveken, 95°C-on,  $\sigma = 2.5$  MPa mellett, 1260 és  $2 \times >2800$  óra meghibásodási időket mértek, ami sokkal hosszabb, mint az eredeti követelmények (>1000 óra).
- Összenyomódás kiásás után: ~1.5% az átm. 200, 280 és 355 mm-es PE csövek esetén.
- Összenyomódás kiásás után: 1.6 - 2.0% a PP-B tömör és a szerkezeti falú csövek esetén.
- Maradék öregedési ellenállás: (PE), a számított maradék élettartam több mint 50 év
- Gyűrűrugalmasság: a tömör és a szerkezeti falú PP-B csöveken végzett vizsgálatok kielégítik a jelenlegi követelményeket.
- Törésvizsgálat: a tömör és a szerkezeti falú PP-B csöveken a -10°C-on végzett vizsgálatok kielégítik a jelenlegi követelményeket.

A szennyvíz összetételének elemzése arra a következtetésre vezetett, hogy az nincs hatással a csövek várható élettartamára. Ebben a jelentésben folyamatos 45°C-os maximális hőmérsékleten való viselkedést értékelték. Ezt az (MSz) EN 476 útmutatására alapozták, amely szerint a megfelelőségi követelmény a 200 mm és annál kisebb átmérőjű csövekre folyamatos 45°C-os szennyvízkibocsátási hőmérséklet, a 200 mm-nél nagyobb átmérőkre pedig 35°C. Vizsgálataink azt mutatják, hogy a gyakorlatban, különböző körülmények között, a szennyvízcsatornában szállított közeg hőmérséklete nem haladja meg a 30°C-ot. Ez azt jelenti, hogy a megközelítésünk lényegesen nagyobb biztonságot eredményez. Tekintettel a tényleges hőmérsékletre, a csövekben levő feszültségek messze a kritikus értékek alatt vannak.

*(Jegyzet: a  $DN \leq 200$  mm átmérőket leginkább házak bekötésére, a  $DN > 200$  mm átmérőket pedig csatorna gerincvezetéként használják, ahol a hőmérséklet a gyakorlatban még alacsonyabb)*

**Megjegyzés:** Az elemzések és előrejelzések eredeti formában alkalmazott és nem módosított anyagokra vonatkoznak. A módosított anyagokra, mint a habosított, és az ásványokkal töltött anyagokra ennek a jelentésnek a megállapításai nem alkalmazhatók.

## Heinz Dragaun professzor projekt ellenőr zárónyilatkozata

### 100 év üzemi élettartam előrejelzés a poliolefin gravitációs szennyvízcsatorna rendszerekre

Ezt a projektet nagyon lényegesnek tartom a világszerte alkalmazott poliolefin szennyvíz-elvezető rendszerek üzemelési teljesítményével kapcsolatos ismeretek fejlesztésben.

A bécsi "TGM-Versuchsanstalt - Federal Institute of Technology, Department Plastics Technology and Environmental Engineering"-nél 1975 óta dolgozó, a műanyag vizsgálatok területén tapasztalt személyként hívtak meg, hogy független szakértőként felülvizsgáljam, és megjegyzésekkel lássam el azt a munkát, amelyet az elmúlt 3 évben ennek a projektnek a keretében elvégeztek.

Összegezve azt kell mondanom, hogy számos vizsgálat végrehajtására került sor – mind az anyagok adataira, mind a működési teljesítményre vonatkozóan – nemcsak új termelésből származó csőmintákon, hanem régi anyagokon is, amelyeket hosszú működés után különböző európai országokban ástak ki (olyanokat is, amelyek már majdnem 40 éve vannak használatban).

Minden alkalmazott vizsgálati módszer az érvényes nemzetközi szabványoknak (ISO), és a polimer anyagokra vonatkozó legújabb tudományos ismereteknek megfelelően került végrehajtásra.

A vizsgálatokat a klasszikus tömör falú csöveken (egyrétegű és többrétegű), és egy újabb fejlesztésű úgynevezett geometrikus, szerkezeti falú csöveken végezték.

Véleményem szerint a projektet megfelelő és tudományosan megbízható módon hajtották végre, az alapanyag-gyártók és a cső- és csőidom gyártók szoros együttműködésével, azzal a céllal, hogy igazolják, hogy milyen hosszú távú üzemelési minőséget lehet elérni a gravitációs polietilén (PE) és polipropilén (PP) szennyvíz-elvezető rendszerek esetében.

Prof. Dr. Heinz Dragaun  
SV für Polymertechnologie  
Brunnengasse 10  
3424 Wolfpassing  
AUSTRIA

## 2. Elméleti megfontolások az üzemi körülmények közötti 100 éves élettartam előrejelzésére

A nyomás nélküli, tömör és szerkezeti falú polietilén (PE) vagy polipropilén (PP) csövekre vonatkozó előírások különböző nemzeti és nemzetközi szabványokban vannak lefektetve [1,2,3,4,5,6]. Ezek azonban nem tartalmaznak olyan extrapolációs módszert, amellyel a nyomás nélküli csövek működési körülmények közötti hosszú távú viselkedése gyorsított öregedési vizsgálatokkal meghatározható lenne.

Széles körben elfogadott, hogy a polimer kémiai lebomlásának köszönhetően, a nyomás nélküli csövekben a domináns törési mechanizmus a ridegtörés. A 100 éves működési élettartam eléréséhez annak egyértelműnek kell lennie, hogy a nyomás nélküli csövek ellenállnak a hőoxidációs lebomlás okozta idő előtti meghibásodásnak.

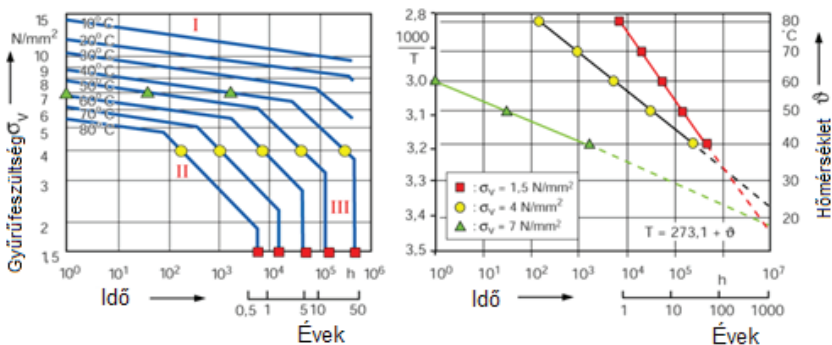
### 2.1. A hőoxidációs lebomlásnak való hosszú távú ellenállás

A PE és PP auto-oxidációja jól ismert [7,8]. Inicialás után a meghatározó lépés a szabad gyökök kialakulása a polimer láncon hidrogén leszakítás következtében, vagy lánc szakadás lehet. Bizonyított, hogy az öregedési folyamat kinetikája követi az Arrhenius egyenletet, amely mennyiségileg írja le a bomlási reakció sebessége és a hőmérséklet közötti kapcsolatot.

$$\text{Arrhenius egyenlet: } K = \text{const} \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)$$

Ahol  $k$  a lebomlási reakció sebessége  $T$  hőmérsékleten,  $E_A$  az energiakörlát, amit le kell küzdeni, és az öregedési folyamat úgynevezett aktiválási energiája,  $T$  az abszolút hőmérséklet Kelvin fokban és  $R$  a gázállandó.

Mióta a PE és PP műanyag csöveket bevezették a nyomás alatti alkalmazásokba, szükség volt megfelelő gyorsított vizsgálati módszerekre, a csövek legnagyobb élettartamának előrejelzésére többszörös igénybevétel körülményei között (pl. hőmérséklet, nyomás, folyadék- és/vagy hó-lebomlás). Nagyon korán felismerték, hogy a csövek hidrosztatikai nyomásvizsgálatait különböző belső feszültségterhelések és hőmérsékletek között megbízható és bevált módszerként lehet alkalmazni a működési élettartam becslésére grafikus [9], vagy manapság az ISO 9080-ban [10] leírt Arrhenius egyenleten alapuló matematikai extrapolációval. A poliolefin csövek ISO 9080-nak megfelelő kúszási szakítási görbéi jelzik a különböző meghibásodási módokat: Az I. szakaszban képlékeny törés következhet be, míg a II. szakaszban a ridegtörések vannak túlsúlyban, amelyek főleg a lassú repedésterjedéssel állnak kapcsolatban. A III. szakasz még alacsony feszültség szintek (2.1. ábra) mellett is korlátozza a csövek élettartamát a lebomló polimernek szélsőséges törékenysége miatt.



- I. fázis: kúszás által okozott képlékeny törések ▲
- II. fázis: lassú repedésterjedés által okozott vegyes törések ●
- III. fázis: hőoxidációs öregedés által okozott rideg törések ■

2.1. ábra: A kúszási törés diagram elve, és az Arrhenius értékelés

Az  $E_A$  aktiválási energia minden fázisra meghatározható az Arrhenius egyenlet lejtéséből az egyenértékű feszültség terhelés mellett kísérletileg kapott törési időknél az öregítési hőmérséklet reciproka függvényében, ahogy az 2.1. ábra mutatja, vagy az Arrhenius egyenlet logaritmikus formájából:

$$E_A = 1,9152 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\log \frac{t_1}{t_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$E_A$       Aktiválási energia [kJ/mol]  
 $t_1, t_2$     Meghibásodási idő  $T_1, T_2$  hőmérsékleten  
 $T_1, T_2$     Abszolút hőmérséklet [°K]

Általánosan bevett gyakorlat tartóssági vizsgálatokat végezni emelt hőmérsékleten gyorsított öregedéssel azért, hogy megbecsüljük az üzemelési feltételek között várható elméleti élettartamot az Arrhenius egyenlet alkalmazásával. A nyomócsövekre az ISO 9080 az 5.1.4 és 5.2 pontokban ad példát egy ilyen elméleti élettartambecslésre. Használhatónak tűnik az ISO 9080 extrapolációs szabályainak alkalmazása a nyomás nélküli csövek 100 éves élettartamának előrejelzésére. Ennek következményeként a nyomás nélküli csövek esetében a gyorsított öregedésvizsgálatokat legalább 50°C-al az üzemi hőmérséklet fölött kell elvégezni, és legalább 8760 órán át (= 1 év) rideg törések nélkül, a 100 éves extrapolációs időtényező, ke, eléréséhez az ISO 9080 5.2. pontban leírtakat alapul véve. Az EN 476-ban [1] előírtak szerint a csatornacső rendszereknek alkalmasnak kell lenniük a legfeljebb 45°C-os (DN ≤ 200 mm csőátmérő) vagy a 35°C-os (DN > 200 mm csőátmérő) hőmérsékletű víz (közeg) folyamatos szállítására. A TEPPFA úgy döntött, hogy a 100 éves működési élettartam előrejelzést állandó 45°C-os vízhőmérsékletre kell igazolni minden csőméret esetében, ezzel a legszigorúbb feltételnek téve eleget. Ezért a legalacsonyabb alkalmazandó öregítési hőmérséklet a nyomás nélküli poliolefin csövek esetében 95°C. Az öregedési folyamat látszólagos aktiválási energiája,  $E_A$  nagyobb, mint 90 kJ, ami kísérletileg igazolt! Ezt bizonyítja ez a tanulmány a javasolt PE osztályokra vonatkozóan.

A legkisebb aktiválási energia  $E_A = 90$  kJ/mol az Arrhenius egyenlet logaritmikus formájának a következő paraméterekkel való megoldásának eredménye: törési idő  $t_1 = 1$  év;  $T_1 = 368$  K (95°C) fokon, és  $t_2 = 100$  év;  $T_2 = 318$  K (45°C) fokon.

$$E_A = 1,9152 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\log \frac{t_1}{t_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = 1,9152 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\log \frac{1}{100}}{\frac{1}{368} - \frac{1}{318}} = 89,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Ha a látszólagos aktiválási energia,  $E_A$  alacsonyabb, mint 90 kJ/mol, ahogy várható a PP alapanyagoknál, akkor magasabb öregítési hőmérsékletek szükségesek (lásd a 2.1 táblázatot) a hosszabb öregítési idő elkerüléséhez. Az előzetes kísérleti eredmények azt jelzik, hogy a látszólagos aktiválási energia,  $E_A$ , a PP-B anyagok esetében a 75 – 85 kJ/mol tartományon belül van.

## 2.1. táblázat: A számított legkisebb aktiválási energiák, $E_A$ , a 100 éves élettartam eléréséhez $T = 45$ °C-on

$\Delta T = T_{\text{Öregítési}} - T_{\text{Működési}}$ , °C-ban	Legkisebb $E_A$ kJ/mol-ban
40	109
50	89.6
60	76.7
70	67.5

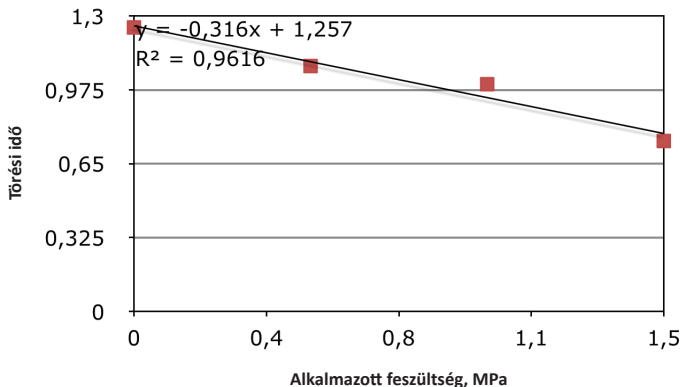
Ennek következtében a poliolefin anyagoknak a következő vizsgálati körülmények között kell igazolniuk a csövek hőoxidációs lebomlásnak való ellenállását:

PE: 8760 óra (1 év) / 95°C 1.0 MPa mellett. A vizsgálat típusa: Víz-vízben (belső/külső)

PP: 8760 óra (1 év) / 110°C 1.0 MPa mellett. A vizsgálat típusa: Víz-levegőben (belső/külső)

*A csövek hidrosztatikus nyomásvizsgálatai jól megalapozottak, és a meghibásodási idő könnyen meghatározható a rideg törésekkor bekövetkező vízvízvárgásnak és nyomásesésnek köszönhetően. A csövek nyomásvizsgálatait a nyomás nélküli PE és PP-B csövekre vonatkozó szabványokba már bevezették. A cső nyomáspróba vizsgálatokat már bevezették a nyomás nélküli PE és PP csövekre vonatkozó szabványokba. Ezen felül a polimer degradációja miatt a rideg törésig eltelt idő eléggé független az alkalmazott belső feszültség szintjétől, ahogy a 2.2. ábra mutatja. A PE és PP-B*

anyagok esetében látható, hogy az 1,0 MPa feszültséghez tartozó meghibásodási idő kissé rövidebb a 0,0 MPa extrapolált feszültséghez tartozó meghibásodási időhöz viszonyítva. Ez egyfajta biztonsági tényezőnek tekinthető, ami ugyancsak az előrejelzés megbízhatóságát szolgálja



**2.2. ábra: Normalizált meghibásodási idő az alkalmazott feszültség függvényében**

A nyomás nélküli alkalmazásokhoz javasolt PE és PP osztályoknak felül kell múlniuk a 2.2. táblázat követelményeit. Egy viszonylag alacsony feszültség szint,  $\sigma = 1.0$  MPa, elegendő a hőoxidációs lebomlásnak való ellenállás meghatározásához, és az elvárt 100 éves élettartam extrapolálásához.

**2.2. táblázat: A hőoxidációs lebomlás követelményei és vizsgálati feltételei**

Anyag	Vizsgálati feltételek	Követelmények
PE	Hőmérséklet: 95°C Gyűrűfeszültség: 1.0 MPa Vizsgálat típusa: Víz-vízben	> 8760 óra
PP-B	Hőmérséklet: 110°C Gyűrű feszültség: 1.0 MPa Vizsgálat típusa: Víz-levegőben	> 8760 óra

## 2.2. Hosszú távú mechanikai integritás

Egy másik fontos szempont, amit figyelembe kell venni, a nyomás nélküli tömör és szerkezeti falú csövek hosszú távú mechanikai viselkedése. Az összenyomott, földbe fektetett csöveken a feszültségek és a felületi sérülések hatásait normál talajviszonyok között, és a cső extrudálási folyamatból származó maradó feszültségeket meg kell becsülni. A hidrosztatikai vizsgálatok eredményein alapuló regressziós görbék jól ismertek, és kiértékeltek, és ezek alapján a csövek hosszú távú viselkedése állandó feszültség mellett megbecsülhető. Azonban, ezeket a meglevő adatokat állandó összenyomás mellett kell értelmezni, ami a tényleges helyzet a szennyvíz-elvezető csövek esetében. Az állandó összenyomásnak és a lassú repedésterjedésnek való megfelelő ellenállást kell igazolni. A nyomás nélküli csövekben az állandó összenyomódás alakváltozást generál, amely hosszú távon állandó. Ez a tanulmány ennek a terhelési rendszernek és az élettartamnak ilyen feltételek mellett való becslésével foglalkozik.

A beépített csatornacső rendszer minőségét és várható teljesítményét tekintve, az egész termelési láncnak, a nyersanyagtól a beépítésig és üzemeltetésig, meg kell felelnie a jó kivitelezés követelményeinek. Ez fontos alapfeltétele a megbízható élettartam előrejelzésnek.

Ennek a tanulmánynak az eredményei csak jól stabilizált, minősített alapanyagokra vonatkoznak, amelyek megfelelnek az 1. fejezet követelményeinek.

Az is fontos feltétel, hogy a cső kialakításának (design) és gyártási folyamatainak meg kell felelnie a legmagya-



sabb színvonalnak, ami lehetővé teszi a felhasznált alapanyag belső, lényegi és tervezett teljesítmény szintjének kihasználását. Ez azt jelenti, hogy a csőfal kialakítása, különösen a szerkezeti falú csövek esetében, nem idézhet elő túl magas feszültségeket és nyúlásokat, amelyek repedéseket és idő előtti meghibásodást okozhatnak. A csőgyártási folyamatot optimálisnak feltételezzük. A csöveknek meg kell felelniük a vonatkozó termékszabványok követelményeinek.

Ha a belső feszültségek és nyúlások meghaladnak egy bizonyos szintet, a lassú repedésterjedés (SCG) következtében felmerül a rideg törések kockázata. Nyilvánvaló, hogy a kezdeti feszültségek az idő múlásával leépülnek, de azt még bizonyítani kell, hogy a maradó feszültségek és nyúlások nem okoznak idő előtti rideg töréseket. Végül, a csövek jó teljesítménye csak gondos beépítési gyakorlattal érhető el, amely megfelel a CEN/TR 1046 követelményeinek [21] és a TEPPFA tanulmány ajánlásainak [15]. Ennek a tanulmánynak az eredménye nem vonatkozik azokra a beépített csövekre, amelyek nem felelnek meg az itt rögzített követelményeknek.

### 2.2.1. Az élettartam becslése állandó feszültség mellett

A 100 éves működési élettartam biztosításához a nyomás nélküli csövekben fel kell mérni a legnagyobb megengedett feszültségeket, különösen fontos ez a szerkezeti falú csövek esetében.

A tömör és a szerkezeti falú, nyomás nélküli poliolefin csövekre vonatkozó szabványok nem tartalmaznak számításokat a legnagyobb megengedett feszültségekre 45°C-on és a 100 éves élettartamra, mert azok nem határozzák meg a hosszú távú hőmérséklet/feszültség viselkedést. A PE és PP nyomócső szabványokban megadott referencia görbékből azonban kiszámíthatók a 100 éves élettartamnak megfelelő legnagyobb megengedhető feszültségek (lásd a 2.3. táblázatot).

### 2.3. táblázat: Az ISO 15494 [12] szabványban megadott referencia görbékből számított, 100 éves élettartamra vonatkozó legnagyobb megengedett feszültségek

Anyag	Feszültség MPa-ban (45°C / 100 év)	Feszültség MPa-ban (30°C / 100 év)	Feszültség MPa-ban (23°C / 100 év)
PE	5.2	6.6	7.4
PP	3.9	6.9	7.9

A számított legnagyobb megengedett feszültségek világosan jelzik, hogy az 1.1. táblázatban megadott követelményeknek megfelelő PE és PP anyagok a legjobb teljesítményt kínálják a lassú repedésterjedéssel szembeni ellenállás tekintetében. A lassú repedésterjedéssel szembeni ellenállás a 100 éves működési élettartamon belül biztosítható.

### 2.2.2. Élettartam becslése állandó alakváltozás mellett

A gyakorlatban a nyomás nélküli csatornacsövek terhelési rendszere nem „állandó feszültség”, hanem „állandó alakváltozás”. A földre fektetett cső összenyomódása – a talajkonszolidáció következtében – egy korlátozott idő (legfeljebb 2 év) után állandó marad, ennek következtében a csőfalnak az alakváltozása is állandó lesz.

Ebben a jelentésben, az L-E Janson megközelítését és tapasztalatát [14] értékeltük és ez lesz az élettartam becslés alapja a nyomás nélküli szennyvízelvezető rendszereknél, ahol a csövek összenyomódása állandó, ennek következtében az alakváltozás is állandó, és ahol a vonatkozó feszültségek csökkenni fognak a relaxációs folyamat következtében.

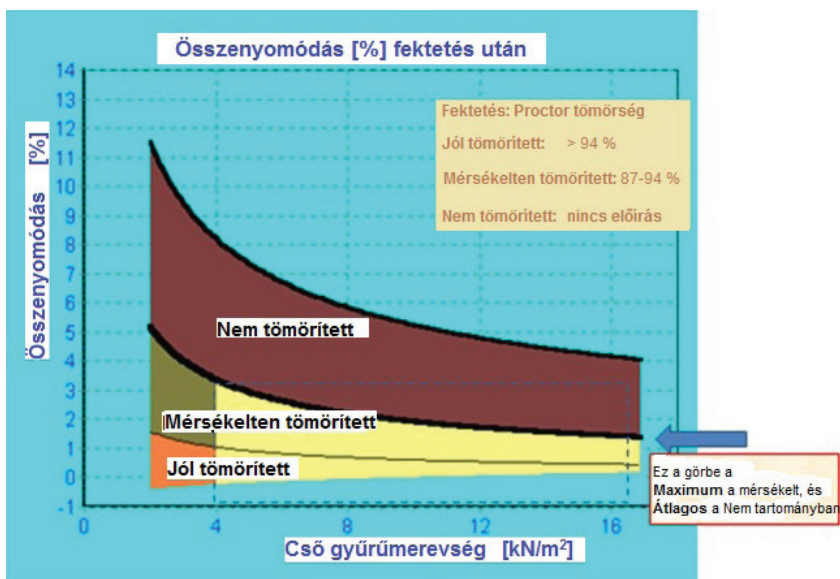
A CEN/TR 1046-ban [21] a csővezeték-rendszerek beépítésére javasolt gyakorlat és megengedett összenyomódások szintén alapul szolgálnak megközelítésünkhöz.

A használt anyagjellemzők a CEN/TS 15223-ban találhatók [22].

A csövek üzemi körülmények közötti teljesítményére vonatkozóan a TEPPFA tanulmány tartalmaz utalásokat [15]. A tanulmányban közölt tervezési grafikon az un. "dízájn gráf" (2.3. ábra) a gyakorlatban több évtized alatt összegyűjtött tapasztalatokat és méréseket jeleníti meg, és jelzés értékűnek tekintendő a tényleges összenyomódást illetően a gyakorlatban.

### 2.2.3. Előre jelezhető összenyomódások

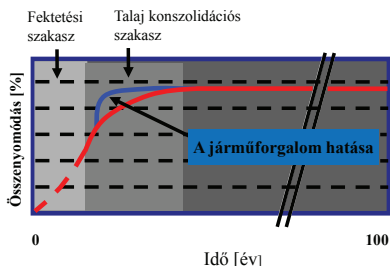
A Teppfa [15] projekt azt igazolja, hogy a javasolt SN4 és SN8 merevségi osztályokkal a 100 évre előre jelzett összenyomódás jóval 8% alatt marad abban az esetben, ha a munkaárok visszatöltése – különös tekintettel a csőzónára – jól vagy mérsékelten tömörített (2.3. ábra). A beépítésnek ez a minőségi szintje a legtöbb esetben általános gyakorlat, és nem jár túlzott vagy extra beépítési költségekkel.



2.3. ábra: TEPPFA tervezési grafikon „dízájn gráf” a beépített rugalmas csövekhez

A beépítés során, a munkaárokban elvégzett talajtömörítéstől függően (lásd a 2.4 ábrát), egy bizonyos kezdeti összenyomódás alakul ki. A cső beépítése után talaj ülepedik / konszolidálódik, ami folyamatos összenyomódást okoz; a rugalmas cső egyszerűen követi a talaj mozgását. Ez a talaj átrendeződés –konszolidáció- általában maximum 2 év után befejeződik. Az ábra mutatja a járulékos forgalom okozta terhelés hatását is, amely felgyorsítja a talaj ülepedését, így az összenyomódás a végleges mértékét korábban éri el. Ezután a további összenyomódás 100 évig elhanyagolható. A korábban már említett TEPPFA projektben [15] látható, hogy a beépítés során „jól” tömörített ágyazatú cső végső összenyomódása már néhány hetes vagy hónapos időszak alatt kialakul. Ez azt jelenti, hogy ettől az időponttól a csőfal összenyomódása, következőképpen alakváltozása állandó. A relaxációnak köszönhetően a feszültségek időben csökkennek egy előre jelezhető minta szerint.

## Az összenyomódás az idő függvényében



## További összenyomódás a talaj ülepedése során

- „Jól” tömörített beépítés + 1 %
- „Mérsékelten” tömörített beépítés + 2 %
- „Nem” tömörített beépítés (nincs tömörítés)
- Szemcsés talaj + 3 %
- Kötött talaj + 4 %

### 2.4. ábra: A cső összenyomódása a beépítés és a talaj konszolidációja során

A beépítési szakaszban a kezdeti összenyomódás úgy alakul, ahogy a 2.3. ábrán a tervezési grafikon mutatja. Ez a tervezési grafikon a beépítés utáni kezdeti összenyomódás mértékét adja meg különböző minőségű talajtömörítés esetében.

Feltételezzük, hogy a beépítési gyakorlatban legalább a mérsékelt tömörítési módot alkalmazzák (lásd a tervezési grafikon, 2.3. ábra). A grafikonon egy tartomány felső vonala az adott tömörítési osztály maximumát és a következő, eggyel rosszabb tömörítési osztály átlagát mutatja; például a mérsékelt tömörített beépítés legnagyobb összenyomódás vonala azonos a „nem tömörített” beépítési osztály átlagával (barna terület).

A TEPPFA „Földbe fektetett csövek” című tanulmányában [15] bemutatták, hogy ezt a tervezési grafikonot más projektekből származó nagyszámú adatbázis is alátámasztotta, igazolva, hogy a tervezési grafikon megbízhatósága nagyon jó.

Ebből a tervezési grafikonból megállapítható az előre jelzett összenyomódás, amelynek értékei mérsékelt tömörített talaj mellett a következők:

Gyűrűmerekesség	Összenyomódás	
	Beépítés után	Talaj konszolidáció után
SN4	3.5%	5.5%
SN8	2.5%	4.5%

A 2.4. grafikonból ugyancsak látható, hogy a megfelelő (jó és mérsékelt tömörítettségű) beépítési gyakorlatok esetében a kezdeti összenyomódás nem lesz nagyobb 2-4%-nál, és a talaj ülepedése után is legfeljebb 6%-ot ér el. Egy 8%-os hosszú távú összenyomódást feltételezve, számításaink jelentős biztonsági tényezőt tartalmaznak; a számított relaxáció utáni feszültségadatok (lásd a 2.2.8. fejezetet) legalább 40%-kal magasabb értékeket mutatnak, mint a valóságos gyakorlatban.

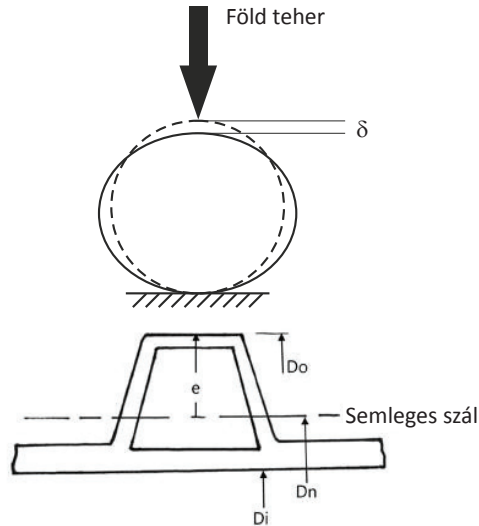
Két ok van, amiért hosszú távon (100 év) a cső legnagyobb megengedett összenyomódására 8 %-ot feltételeztünk. Először is ezt írja elő a CEN/TR 1046. Másodsor ez egy jó alap a jó fektetéshez a kivitelező számára a pontszerű terhelések és ennek következtében a magas helyi feszültségek és alakváltozások elkerülésére, amelyek idő előtti tönkremenetelt okozhatnak.

### 2.2.4. Alakváltozás – nyúlás – számítások

A hosszú távú maradó feszültségek kiszámításához ismerni kell a csőfál tényleges alakváltozásait és a relaxációs modulus. Egy adott összenyomódással (deformációval) rendelkező cső külső rétegében az alakváltozás (nyúlás),  $\varepsilon$ , a következő módon számítható ki:

$$\varepsilon = F_d \cdot \frac{\delta}{D_n} \cdot \frac{2 \cdot e}{D_n} \text{ és a feszültség: } \sigma(t) = \varepsilon \cdot E(t)$$

ahol 'Fd' a terhelési körülményekkel kapcsolatos állandó tényező (lásd később), 'δ' az átmérő összenyomódása és 'Dn' a cső átmérője a semleges tengely mentén, 'e' a külső szál és a csőfal keresztmetszet semleges tengelyének távolsága (lásd: 2.5. ábra). A relaxációs folyamatnak köszönhetően a csövekben a tényleges feszültségek időfüggőek. Így 'σ (t)' a tényleges feszültség 't' időpontban, és 'E (t)' a relaxációs modulus ugyanabban az időpontban. A cső összenyomódását főleg a tényleges talajterhelés, a csövet körülvevő talaj –ágyazat- megtámasztó hatása, a visszatöltés minősége (a talaj minősége és tömörítettsége), valamint a cső ellenhatása, amely a cső méreteitől és merevségétől függ, határozza meg.



**2.5. ábra: A cső összenyomódása a külső terhelések hatására**

Általában, a rugalmas műanyag csövek a beépítés után követik a talaj ülepedését.

Az 'Fd' tényező meghatározása önkényesen történik, és a terhelés típusától függ.

$F_d = 3$ -as tényezőt abban az esetben alkalmazunk, ha a cső ovális összenyomódást szenved. Ez az alakváltozási minta várható, ha a cső beépítését a javasolt módon végzik el, ahol jó vagy mérsékelt tömörítést alkalmaznak, és a cső jó megtámasztást kap a talajtól.

$F_d = 4,28$ -as tényezőt általában akkor alkalmazzák, ha „tiszta összenyomódás” jön létre két síkmező között, mint például a laboratóriumi vizsgálatban előforduló esetekben.

$F_d = 6$ -os tényező néha javasolt az alakváltozás (nyúlás) kiszámításához, sajátos pontszerű terhelés esetében, amit jó beépítési gyakorlatok alkalmazásával el kell kerülni.

Az „e” paraméter a külső szál semleges tengelytől való távolsága. Tömör falú cső esetében a semleges tengely megegyezik a közepes átmérővel, és 'e' a falvastagság fele. A szerkezeti falú csövekben az 'e' értéke sokkal nagyobb. Ebben a tanulmányban a nyúlásokat a legszélsőségesebb körülményekre számították ki: a korrugált cső (vagy a bordázat) külső átmérőjére.

Az alakváltozás bármely ponton való számításának ez a módja szintén megmagyarázza, hogy a cső ugyanolyan összenyomódása esetén, az alakváltozás –a csőfal megnyúlása- és a feszültség magasabb az ugyanakkora átmérőjű, de vastagabb falú csövek esetében.

## 2.2.5. Alakváltozási képesség és meghibásodás

Míg a csőanyagok élettartama állandó feszültség terhelés mellett elismert elméletek alapján megbízhatóan kiszámítható, addig állandó alakváltozás terhelés mellett nem olyan egyszerű.

Sok tudományos adat, és szakirodalomban feljegyzett tapasztalat áll azonban rendelkezésre az anyag és a cső állandó alakváltozás melletti viselkedésére vonatkozóan. A megbízható élettartam előrejelzése érdekében a Janson-féle megközelítést [14] alkalmaztuk, mint alapelvet.

Minden részlet ismételése nélkül, az ő munkájának és az állandó alakváltozás terhelés és ezt követő relaxációs viselkedéssel kapcsolatos elméleteinek értelmezése a következőkben foglalható össze:

- Az állandó alakváltozás feltétele mellett a maradék feszültség nem meghatározó tényezője a meghibásodásnak, de a (cső-) anyag alakváltozási képességét meghibásodási kritériumnak kell tekinteni.
- A feszültség-relaxációs folyamat, mint olyan, hozzájárul ahhoz a tényhez, hogy a meghibásodás előfordulása nem valószínű.
- Ha rövid időn belül (pl. 4000 órán belül) nem fordul elő meghibásodás, akkor nem valószínű, hogy valaha is előfordul.
- A javasolt hosszú távú megengedett alakváltozás: a PE és a PP esetében 5%.

### **Janson megjegyzése:**

*A fenti megállapítások azon a tényen alapulnak, hogy csak jól feldolgozott csöveket, és magas minőségű műanyag alapanyagokat használnak (pl. az 1.1. táblázat követelményeit kielégítő anyagokat), és a csöveket a szabványoknak megfelelő jó beépítési gyakorlatok alkalmazásával építik be. Ez azt jelenti, hogy ezek az anyagok sikeresen teljesítik a vonatkozó hosszú távú vizsgálatokat és a vegyi stabilizációs rendszer még ép. E jelentés összefoglalója áttekintést ad az összes szükséges minőségi követelményről.*

Arra a tényre alapozva, hogy viszonylag magas helyi feszültségek lehetnek jelen a csőfal profiljában a szerelés utáni első hónapokban a talaj körülményeknek köszönhetően, hasonlítsa össze a 2.2.8; 2.2.9 és a 2.3 bekezdéseket, a repedésekre és meghibásodásokra szemrevételezéses ellenőrzést vezettek be a vizsgálati követelmények közé.

A szemrevételezést az alakváltoztatásnak kitett csőmintán kell elvégezni az 1.1 táblázat előírása szerint elvégzett Janson teszt végén, azaz 4000 óra, vagy hosszabb vizsgálati idő után.

Ez a Janson féle alakváltozási képesség megközelítéshez egy szükséges kiegészítés [14] azért, hogy bizonyítsa, főleg a szerkezeti falú csövek kritikus feszültséggyűjtő pontjaiban (lásd 2.3. ábrát), hogy a helyi feszültség a megengedett legnagyobb feszültség alá csökken a relaxációs folyamat révén, minden idő előtti meghibásodás, repedés kialakulása, vagy a csőfal szerkezetének bármilyen más típusú meghibásodása nélkül.

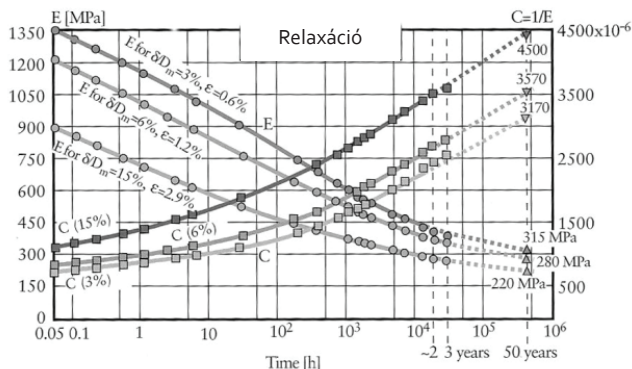
A vizsgálati eljárás szintén fontos a B típusú csövek két rétege közötti hegedés jó minőségének bizonyításához is.

## 2.2.6. Relaxációs viselkedés

Amikor a csövet betemetik, ami rendszerint a cső állandó összenyomódását okozza, a hajlító alakváltozások a csőben állandóak, és ennek következtében a feszültségek idővel csökkenni fognak. Ez a műanyag csövek jól ismert feszültség relaxációs viselkedése.

A nyomás nélküli csövek hosszú távú viselkedésének bemutatásához Janson hangsúlyozza a relaxációs viselkedés – idő összefüggés elemzésének fontosságát.

Példaként szolgálnak a Janson által használt relaxációs görbék, amelyeket a 2.6.1 ábra mutat be.



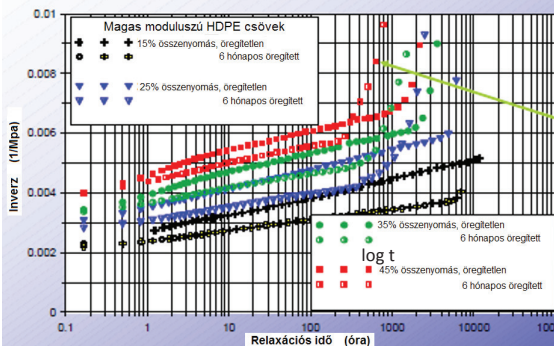
2.6.1. ábra: Janson-féle relaxációs görbék [14]

Tanulmányaiban ezekből a görbékkel megállapítható, hogy az inverz görbék (az időtől függő relaxációs modulus fordított értéke  $1/E(t)$ ) egy bizonyos vizsgálati idő után egyenes vonalat követnek, és ezután ez az egyenes lineárisan extrapolálható a lineáris  $C/\log t$  diagramban. A lineáris görbék irányát a csőanyag fizikai öregedésével magyarázzák, és hasonló törvényszerűségek tapasztalhatók az állandó terhelés melletti kúszás vizsgálatok során is. Az inverz görbék egyenes része időben viszonylag korán következik be, és a lineáris viselkedés kialakulása függ az anyag típusától, és a terhelési körülményektől is; a PE esetében az egyenes rész gyakran előfordul már 1000 órás vizsgálati idő előtt, míg a PP esetében ez a rész az 1000 órás vizsgálati idő körül, vagy az után tapasztalható.

Korábbi tapasztalatokból tudjuk, hogy a PE esetében az inverz görbék egyenes szakasza nagyon korán kezdődik a nagymértékű, és 10-100 óra után a kisebb alakváltozást szenvedett anyagnál [14]. Ez azt jelenti, hogy a hosszú távú E-értékek (50-100 év) a legtöbb PE anyagnál körülbelül 1000 órás és annál hosszabb vizsgálati idő után határozhatók meg. Az irodalomból az is ismert, hogy adatok extrapolációját 2 - 3 évtizedes időszak alatt lehet megbízhatóan elvégezni [14].

Ebből következően, a PE esetében egy 2000-4000 órás vizsgálati idő általában elegendőnek tekinthető. A PP esetében az egyenes rész általában körülbelül 1000 óránál kezdődik, és ennek következtében valamivel hosszabb vizsgálati időre lenne szükség. Arra lehet számítani, hogy a PP esetében, az anyagtól és a terhelési körülményektől függően, minimum 4000 órás vizsgálati idő lenne kielégítő a helyálló extrapolációs eljárásához. Gyakorlatilag tehát, mintegy egy éves vizsgálati idő lenne javasolt a PE, és a PP alapanyagok esetében is.

## Magas moduluszú HDPE csövek Compliance Diagram



Korábbi törés a hat hónapos oregített csövön

[23]. G. Bergström, S. Nilsson, K.Thörnblom, C.-G. Ek, H. Herbst, A. Stenström, *Plastics Pipes XIII, Washington DC, 1-5 Oktober 2006.*

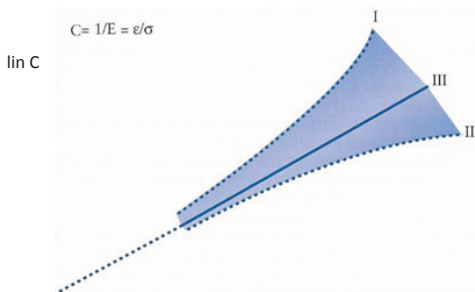
Plastics Pipes XIII Washington DC 2nd-5th October 2006 / SP and Borealis

23

**2.6.2. ábra: Relaxációs görbék [23]**

A 2.6.1. ábra görbéiből az is látható, hogy a relaxációs modulus rövid idő alatt nagyon gyorsan csökken. Például, 200 órán belül, az E- modulus a kiindulási érték kevesebb, mint felére csökkent. A 2.6.2. ábra szerint a gyengébb minőségű csövek eltérhetnek ettől a lineáris relaxációs viselkedéstől [23]. Egy bizonyos időtartam után a relaxációs viselkedés eltér az egyenes vonalától, a gyenge anyagból vagy csőgyártási gyakorlatból, a túl nagy terhelésből, vagy ezek együttes hatásából adódóan. A bemutatott példában, a nem a nyomás nélküli, föld alatti alkalmazásokra tervezett anyagban repedések alakultak ki, és az inverz görbék eltérnek a célnak megfelelő termékek elvárt viselkedésétől. Következésképpen, a hosszú távú stabilitás és a (cső) anyag állandó alakváltozása melletti stabilitásának megbízható előrejelzése érdekében a hosszú távú relaxációs vizsgálatok (valamint az inverz görbe extrapolációja  $C=1/E(t)$ ) és az alakváltozást szenvedett mintákon levő potenciális repedések megfelelő szemrevételezése kulcsfontosságú tényezők.

A mért relaxációs görbék jó elemzése és minősítése érdekében, Janson megadja a relaxációs görbék alapvető lefutásának magyarázatát [14]:



Janson szematikusan meghatározta a relaxációs (inverz) görbék 3 lehetséges alapvető formáját.

**2.7. ábra: A C inverz alapvető görbéi a log idővel szemben, Janson professzor szerint, 106. oldal [14]**

**I. görbe:** A C idő előtt eléri a végtelent, azaz E eléri a nullát egy korlátozott időn belül, tehát a terhelés túl nagy, vagy az anyag túl gyenge. A 2.6.2. ábra megad egy példát (piros és kék pontozott vonalak), ahol egy bizonyos idő után repedések kezdődnek.

**II. görbe:** A C viszonylag hamar megközelít egy állandó értéket. Így a feszültség nem, vagy nem teljesen ernyed el, hanem egy állandó értéken marad, és a relaxáció megáll. A csőanyag rugalmasan viselkedik, amihez állandó feszültség tartozik.

**III. görbe:** A C akkor éri el a végtelent, amikor a terhelési idő. Ez a görbe típus a jó csőanyag és csőszerkezet stabil relaxációs viselkedését mutatja be, ahol az extrapoláció hosszú távon lehetséges. A feszültség nem csökken nullára a végtelennél.

Nyilvánvaló, hogy a relaxációs görbének olyan egyenes vonalat kell mutatnia, mint a III. görbe, ahol a terhelési körülmények következtében kialakuló sérüléstől vagy meghibásodástól mentes, stabil cső várható a számított élettartam során. A 2.6.1. ábra ezt a csőviselkedést mutatja be 3, 6 és 15%-os összenyomódás mellett. Az inverz görbék egyenes vonalai a logaritmikus idővel szemben stabil relaxációs viselkedést mutatnak, ami lehetővé teszi a megbízható hosszú távú extrapolációt.

A 2.6.2. ábra azt mutatja, hogy bizonyos feltételek mellett az összenyomódás instabillá válik, és eltér az egyenes vonaltól. Ez vagy a rossz minőséget, vagy a cső tulajdonságait meghaladó terhelést mutatja, amit gyakran kísér helyi repedés (I. görbe szerinti viselkedés).

Ebben a projektben a relaxációs vizsgálatokat Janson ajánlásainak megfelelően végezték el. [14]

## 2.2.7. Relaxációs mérések

Az állandó összenyomódás mellett hosszú távú viselkedés bemutatására 13270 órás vizsgálatokat végeztünk 15%-os állandó összenyomáson, 23 és 45°C-on. [1, 5 melléklet]

A 15%-os összenyomást, mint szélsőséges helyzetet választottuk, amellyel egyértelművé tesszük, hogy a csövek kielégítően működhetnek, és ezzel következképpen bemutatjuk a megközelítésünk biztonságosságát is. (Az (MSz) EN termékszabványok: MSz EN 1852; MSz EN 12666; MSz EN14758; MSz EN 13476; stb. 8%-os végső összenyomódást engednek meg, amelyekben az is megállapítást nyert, hogy az eseti és helyi összenyomódások egészen 15%-ig nem okoznak problémát).

Három feltárt csőmintát választottunk, és azokat a nyomás nélküli alkalmazásokban használt korszerű cső alapanyagokból gyártott szűz csövekkel hasonlítottuk össze.

Az alábbi átmérőjű mintákat választottuk ki:

### Tömör falú csövek 23°C-on

200 mm	szűz PE	SDR17		
200 mm	kiásott PE	SDR17	38 éves	Cső kód: F1
110 mm	szűz PP-B	S 6.3		
110 mm	kiásott PP-B	S 6.3	23 éves	Cső kód: N1

### Szerkezeti falú csövek (kívül korrugált) 23 és 45°C -on (EN 13476-3, B típus)

160 mm	szűz PP-B	SN 8		
160 mm	kiásott PP-B	SN 8	21 éves	Cső kód: N2

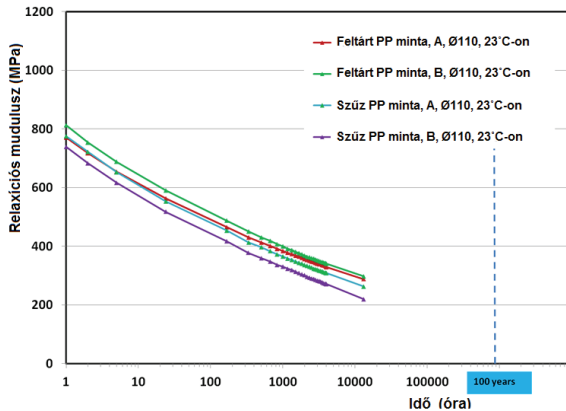
Minden vizsgálatot csőmintánként vett 2-2 próbatesten végeztük el. 13270 órás vizsgálatokat végeztünk, amelyek jó lehetőséget nyújtottak a megbízható extrapolációra (45°C-on csak 4000 órás vizsgálat volt). Mint korábban megállapítottuk, a gyakorlatban 100 évre 8 %-os legnagyobb összenyomódást (deformációt) feltételeztünk. A relaxációs vizsgálatokat azért 15%-os összenyomódás mellett végeztük, hogy igazoljuk a megközelítésünk, és a rendkívüli körülmények között végzett mérések biztonságát. A 15%-os összenyomást a belső átmérőre számítottuk.

A vizsgálati eredményeket a 2.8.1. – 2.8.3. ábrák mutatják, amelyek a mért relaxációs modulusokat az idő logaritmikus függvényeként adják meg, az összes vizsgált minta esetében. A 2.8.4. - 2.8.6. ábrák ugyanezen mérések inverz görbéit tartalmazzák, de ebben az esetben a két minta középértékét, és a 100 évre extrapolált értékeket

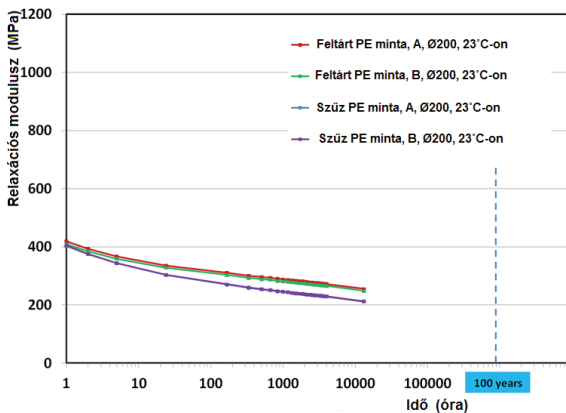


mutatják (pontozott vonal). Az extrapolációt az utolsó 12 mérésből számolták. A grafikonon az egyenes szakasz kezdetét a színezett terület mutatja. A referencia görbéket [14] is bemásoltuk a grafikonba, a mért vonalakkal való összehasonlításhoz. A korrelációs tényezőt is megkapjuk, ami 0,99-nél nagyobb értéket mutat, ami nagyon jó illeszkedést jelez. Csak egy 45°C-on végzett vizsgálat mutat eltérést, ennek oka nem tisztázott.

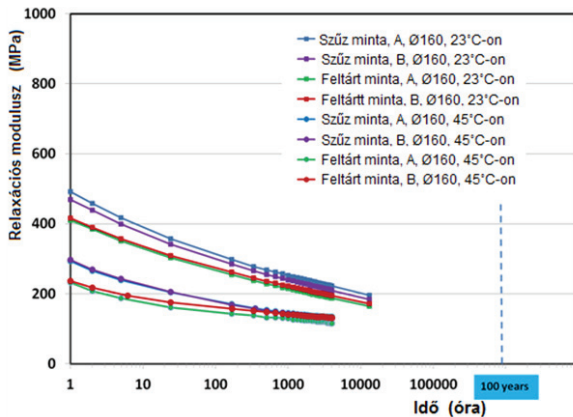
A vizsgálati eredményekből minden esetben látható, hogy mind a szűz, mind a kiásott csövek esetében az inverz görbe a logaritmusos idővel szemben egyenes. A referenciával összehasonlítva ez nyilvánvalóan III. típusú görbére utal, amely stabil csőanyagot és csőfalat jelent, ahol egyenes relaxációs vonal várható 100 évre.



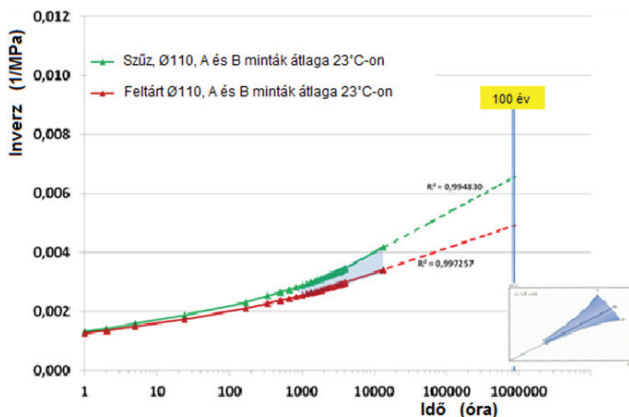
2.8.1. ábra: az átmérő 110 mm-es tömör falú PP cső relaxációs modulusa 23°C-on



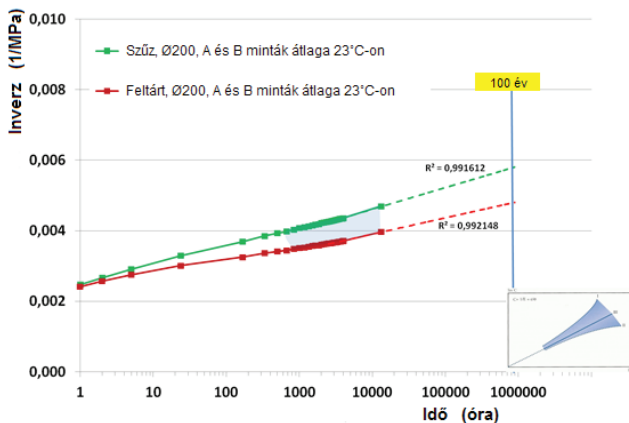
2.8.2. ábra: az átmérő 200 mm-es tömör falú PE-cső relaxációs modulusa 23°C-on



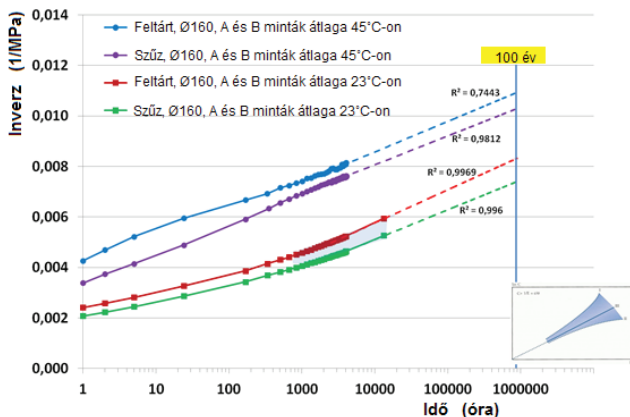
2.8.3. ábra: az átmérő 160 mm-es szerkezeti falú PP-cső relaxációs modulusza 23 és 45°C-on



2.8.4. ábra: az átmérő 110 mm-es tömör falú PP-cső inverz görbéi 23°C-on



2.8.5. ábra: az átmérő 200 mm-es tömör falú PP-cső inverz görbéi 23°C-on



2.8.6. ábra: az átmérő 160 mm-es szerkezeti falú PP-cső inverz görbéi 23 és 45°C-on

A 100 évre extrapolált inverz és relaxációs modulusokat a 2.4. táblázat mutatja. Meg kell jegyezni, hogy a tömör falú csövek extrapolált relaxációs értékei alacsonyabbak a szűz csövek esetében, mint a kiásott csöveknél. Azt is meg kell jegyezni, hogy a kiásott csövek már bizonyos mértékben előregedett csövek, ami nagyobb merevséget eredményez. Ez azonban nem fordul elő a szerkezeti falú csőminták esetében, ahol a szűz csövek magasabb relaxációs értékeket mutatnak. Egyelőre erre nincs magyarázat.

2.4. táblázat: A 13270 óráig végzett relaxációs méréseken alapuló 100 évre extrapolált relaxációs modulusok (MPa) és inverz értékek (1/MPa)

Vizsgált minták **)	Relaxációs modulus [MPa]	Korreláció R tényező *)	Inverz [1/MPa]
Ø 200mm, Kiásott SW PE-cső 23°C-on, kód: F1	208	0.996	0.0048
Ø 200mm, Szűz SW PE cső 23°C-on	172	0.996	0.0058
Ø 110mm, Kiásott SW PP-B cső 23°C-on, kód: N1,	203	0.999	0.0049
Ø 110mm, Szűz SW PP cső 23°C-on	153	0.997	0.0066
Ø 160mm, Kiásott SWP PP-B cső 23°C-on, kód: N2	120	0.998	0.0083
Ø 160mm, Szűz SWP PP-B cső 23°C-on	135	0.998	0.0074
Ø 160mm, Kiásott SWP PP-B cső 45°C-on, kód: N1,	92	0.863	0.0109
Ø 160mm, Szűz SWP PP-B cső 45°C-on	97	0.991	0.0103

(SW = egyrétegű tömör falú cső; SWP = az EN 13476-3-nak megfelelő, B típusú, szerkezeti falú cső)

\*) Az R korrelációs tényezőt 12 mérés alapján számítoták ki. Az  $R > 0,99$  érték a görbék nagyon jó korrelációját és egyenességét mutatják.

\*\*) A táblázatban közölt értékek 2 minta átlagértékei

## 2.2.8. Számított alakváltozások az összenyomott csőben, és a maradó feszültségek

A fentebb ismertetett vizsgálati eredmények alapján, a gyakorlatban előforduló alakváltozások és feszültségek megbecsülhetők és elemezhetők. Ismétlésképpen, a vizsgálatokban 15%-os összenyomódást választottunk a szélsőséges körülmények közötti viselkedés bemutatására. Ez a szélsőséges érték következik a korábban említett TEPPFA tervezési görbéből is, amiről leolvasható, hogy egy SN8-as cső esetében a kezdeti összenyomódás a nem tömörített ágyazat (legrosszabb körülmény) esetében 6%, a végleges, hosszú távú összenyomódás pedig 10%.

A vizsgálatokat és a számításokat 50%-kal magasabb összenyomódásra végeztük. A 15%-os összenyomódáshoz tartozó relaxációs görbék alapján, a maradó feszültségeket a 2.2.4. pontban található képletek szerint lehet kiszámítani. A számított feszültségek a külső szál feszültségei. A szerkezeti falú csövek esetében ez a profilos külső fal „teteje”.

## 2.5. táblázat: Az SN8-as csövek feszültségei és nyúlási alakváltozásai relaxáció után 15%-os összenyomás (deformáció) mellett

**Átmérő 110 mm-es, SN8-as, tömör falú PP-cső 23°C-on**

**15% összenyomódás**

**1,55% alakváltozás**

	1 óra (h)	24 óra (h)	4000 óra (h)	13270 óra (h)	100 év
Relaxációs modulus, MPa	774	556	313	267	190
Feszültség, MPa	12.03	8.64	4.87	4.15	2.95

**Átmérő 160 mm-es, SN8-as, szerkezeti falú PP-cső 23°C-on**

**15% összenyomódás**

**3,39% alakváltozás**

	1 óra (h)	24 óra (h)	4000 óra (h)	13270 óra (h)	100 év
Relaxációs modulus, MPa	447	328	204	179	135
Feszültség, MPa	15.15	11.11	6.91	6.06	4.57

**Átmérő 200 mm-es, SN8-as, tömör falú PE-cső 23 °C-on**

**15% összenyomódás**

**2,16% alakváltozás**

	1 óra (h)	24 óra (h)	4000 óra (h)	13270 óra (h)	100 év
Relaxációs modulus, MPa	409	318	250	232	201
Feszültség, MPa	8.83	6.87	5.40	5.01	4.34

Ugyanezt tették a szerkezeti falú csövekkel 45 °C hőmérsékleten.

**Átmérő 160 mm-es, SN8-as, szerkezeti falú PP csövek 45°C-on**

**15% összenyomódás**

**3,39% alakváltozás**

	1 óra (h)	24 óra (h)	4000 óra (h)	100 év
Relaxációs modulus, MPa	265	200	140	97
Feszültség, MPa	8.98	6.78	4.74	3.29

Első megjegyzésként elmondható, hogy a szerkezeti falú csövekben a maximális alakváltozások még 15%-os összenyomódás mellett is lényegesen alacsonyabbak, mint az ajánlott, maximális 5%-os nyúlási alakváltozási képesség. A maradék feszültségek 23°C-on, különösen a szerkezeti falú csövek esetében, még mindig meglehetősen magasak.

Látható, hogy az összes cső esetében a kezdeti feszültségek 15%-os összenyomódásnál valóban elég magasak, de ezek rövid időn belül erősen elernyednek. A 160 mm átmérőjű PP-B szerkezeti falú csövek relaxációs görbéiből látható, hogy 1 óra után 15,2 MPa feszültséget mértek, de 1000 órás relaxációs idő után a feszültség már alacsonyabb, mint a megengedett 7,9 MPa (lásd 2.2.1 szakaszt). Sőt, szintén megjegyezhető, hogy a relaxációs vizsgálatok ilyen „magas feszültségű” időszakában nem észleltek meghibásodást, vagy instabilitást a csőben, és a görbe ettől a pillanattól egyenesen megy tovább.

A vizsgálati eredmények 45°C -on azt mutatják, hogy a relaxációs folyamat felgyorsult, és sokkal alacsonyabb feszültségeket, még a 100 évre kritikus értéknél is alacsonyabbat, eredményezett. A 3. fejezetben bemutatjuk, hogy a gyakorlatban a működési hőmérséklet sokkal alacsonyabb, mint 45°C. Ez azt jelenti, hogy a szabványokban meghatározott hőmérsékleti korlátok nem jelentenek veszélyt a cső anyagára, felgyorsítja azonban a relaxációt, és csökkenti a feszültségeket. Ebben a helyzetben a teljes csőrendszer funkcionalitása még stabilabb.

Szintén megjegyezhető, hogy az egyenes görbék 4000 óráig igazolják, hogy nincs meghibásodásra való hajlam, így a relaxációs vizsgálatok a potenciális repedések vagy megromlások azonosítására irányuló megfelelő vizuális/mikroszkópos elemzésekkel kombinálva igazolták, hogy a kezdetben fennálló (magas) feszültségek nem okoznak instabilitást vagy meghibásodásra való hajlamot.

Meg kell jegyezni továbbá, hogy az azonos, SN8-as merevségi osztályú PE cső 23°C-on ugyanolyan összenyomódási mértéknél magasabb alakváltozást mutat, a vastagabb csőfal miatt, mint egy PP-B cső (a PE cső SDR 21, míg a PP-B cső SDR 29 méretarányú). Miközben a kezdeti feszültség a PE esetén alacsonyabb (az alacsonyabb kezdeti E-modulusnak köszönhetően), mint a PP-B esetében, a 100 évre előrejelzett végső feszültség érték magasabb a PE esetében (3.95 MPa), mint a PP-B esetében (2.60 MPa).

**Megjegyzés:** A relaxációs vizsgálatokban állandó összenyomódást alkalmaznak, ebben az esetben 15%-ot. A gyakorlathoz kapcsolódva kijelenthető, hogy a számított feszültségek igencsak pesszimista értékek, azaz a ténylegesnél magasabbak.

A gyakorlatban a csövek terhelése sokkal összetettebb. Ha a csöveket a "jó" kivitelezési osztálynak megfelelően építik be, akkor például az SN4-es csövek összenyomódása közvetlenül a beépítés után nem nagyobb, mint 3,5%, és a körülbelül 2 éves talajkonszolidációs periódus után, a végső összenyomódás várhatóan 5,5% lesz (lásd a 2.2.3. szakaszt). A 2 éves növekvő összenyomódás során azonban a feszültség relaxációja is megtörténik. Így a csőben jelen levő tényleges feszültség mindig alacsonyabb, mint a számított.

Ha a gyakorlatban véletlen 15%-os összenyomódás jön létre hosszú távon (100 év), akkor feltételezni lehet, hogy a kezdeti összenyomódás körülbelül 10 % volt. Következésképpen, a gyakorlatban a csőben keletkező feszültségek soha nem érik el azokat a magas szinteket, amelyekkel a vizsgálatokat és a számításokat végezték. Amikor a szennyvízelvezető csőrendszer használatban van, a hőmérséklet is megnövekszik 30°C-ra vagy annál magasabb hőmérsékletre, ami ugyancsak segíti/gyorsítja a csövekben a feszültségek csökkenését.

Ez azt jelenti, hogy a tömör falú csövekben a feszültségek messze a megengedett feszültség alatt maradnak. A szerkezeti falú csövekben a becsült feszültségek ugyancsak nem kritikusak. Továbbra is fontos azonban annak biztosítása, hogy a kezdeti terhelésnél (beépítéskor), a feszültségek ne épüljenek fel túl gyorsan, és ne okozzanak jelentős kezdeti megfolyást, vagy repedéseket. Ezért a rövid távú 30 %-os gyűrűrugalmassági vizsgálat és a hosszú távú relaxációs vizsgálat kombinációja (legalább 4000 óra), amely során repedést és nem folyamatos relaxációs viselkedést sem észleltek, nyújtja a legnagyobb biztosítékot arra, hogy a csövek több mint 100 éven át működésben maradjanak meghibásodás nélkül.

Ezekre az eredményekre alapozva készült egy elemzés a hosszú távú 8%-os összenyomódás reális korlátjára vonatkozóan, a CEN/TR 1046-nak megfelelően.

Itt figyelembe kell venni, hogy az alacsonyabb összenyomódásra vonatkozó relaxációs modulusok magasabbak, lásd a 2. mellékletet. A 8%-os összenyomódáskor a számításokhoz 30%-kal nagyobb relaxációs modulusot becsültünk a 15%-os összenyomódás esetén alkalmazottnál.

## 2.6. táblázat: Az SN8-as csövek relaxáció utáni feszültségei és – nyúlási - alakváltozásai 8%-os összenyomódásnál

**Átmérő 110 mm-es, SN8-as, tömör falú PP cső 23°C-on**

**8% összenyomódás**

**0,83% alakváltozás**

	1 h	24 h	4000 h	13270 h	100 év
Relaxációs modulus, MPa	1006	723	407	347	247
Feszültség, MPa	8.34	5.99	3.37	2.88	2.05

**Átmérő 160 mm-es, SN8-as, szerkezeti falú PP cső 23°C-on**

**8% összenyomódás**

**1,81% alakváltozás**

	1 óra (h)	24 óra (h)	4000 óra (h)	13270 óra (h)	100 év
Relaxációs modulus, MPa	581	426	265	233	176
Feszültség, MPa	10.50	7.71	4.79	4.21	3.17

## Átmérő 200 mm-es, SN8-as, tömör falú PE cső 23°C -on

### 8% összenyomódás

### 1,15% alakváltozás

	1 h	24 h	4000 h	13270 h	100 év
Relaxációs modulus, MPa	532	413	325	302	261
Feszültség, MPa	6.13	4.76	3.74	3.47	3.01

## Átmérő 160 mm-es, SN8-as, szerkezeti falú PP cső 45°C -on

### 8% összenyomódás

### 1,81% alakváltozás

	1 óra (h)	24 óra (h)	4000 óra (h)	100 év
SWP SN8				
Relaxációs modulus, MPa	345	260	182	126
Feszültség, MPa	6.23	4.70	3.29	2.28

Itt látható, hogy 24 órás működés után 8 %-os összenyomódásnál a relaxációs feszültségek már minden vizsgálati mintában alacsonyabbak, mint a korábbiakban említett, megengedett 7,4 illetve 7,9 MPa feszültség szint (lásd a 2.3. táblázatot). A szerkezeti falú csövek esetében a feszültség szint kissé magasabb, mint a tömör falú csöveknél, de nem kritikus, és a 45°C -os legnagyobb elvárt hőmérséklet esetében a feszültség sokkal alacsonyabb lesz, mint a 4,0 MPa megengedett feszültség. A 2.6 táblázat 45°C-on csak az (MSz) EN13476-3-nak [6] megfelelő, átmérő 160 mm-es, B típusú szerkezeti falú cső számítási eredményeit mutatja.

Minden más átmérőjű és eltérő típusú profilok maximális alakváltozási értékeit is ellenőrizték, amelyek a gyakorlatban igen-igen kevésbé különböznek, úgy hogy a bemutatott adatok meglehetősen reprezentatívak.

A tömör, vagy szerkezeti falú PE csövek esetében a számítások alacsonyabb kiinduló értékeket mutatnak, mint a PP-B csövek esetében, és bár hosszú távon az értékek magasabbak, a magasabb megengedett feszültségeknek köszönhetően soha nem érik el a kritikus értéket. Az is egyértelmű, hogy az SN4 és SN2 csövek esetében a feszültségek sokkal alacsonyabbak lesznek, úgy hogy ezek szintén biztonságosak.

*Megjegyzés: 8%-os végső összenyomódásnál a kezdeti összenyomódás normális esetben nem magasabb 6%-nál. Ebben az esetben a legnagyobb kezdeti feszültségek messze alatta maradnak a folyási határfeszültségnek, még a szerkezeti falú csöveknél is. Ezért egy 8%-os maximális hosszú távú összenyomódás feltételezése biztonságos megközelítés.*

## 2.2.9. Az alakváltozás- és feszültségszámítások értelmezése

Az (MSZ) EN 476 [1] előírásai szerint a csöveknek alkalmasnak kell lenniük bizonyos szennyvíz hőmérsékletek folyamatos elviselésére. Ez a hőmérséklet a  $D_n \leq 200$  mm átmérőjű szennyvízelvezető csöveknél (ezek főleg házi bekötővezetékek) 45°C, a  $D_n > 200$  mm átmérőjű csöveknél (főleg gyűjtő – gerinc - vezetékek) pedig 35°C.

Jól ismert, hogy a gyakorlatban egy cső nem áll folyamatosan ilyen maximális hőmérséklet-terhelés alatt. A TGM tanulmányból látható (lásd a 3. fejezetet), hogy a legnagyobb hőmérséklet soha nem haladja meg a 30°C-ot és rendszerint 15 és 20°C között változik.

Mindez azt jelenti, hogy egy korlátozott, hosszú távú 8 %-os összenyomódással a feszültségek nem fogják meghaladni a kritikus értéket. A 45 és a 30°C-os hőmérséklet mellett számított relaxációs modulus sem éri el a kritikus értékeket (lásd a 2.4 és 2.7 táblázatokat), még olyan szélsőséges körülmények között sem, ahol az összenyomódás 15%-ig emelkedik.

Érdemes figyelembe venni a tényt, hogy a PP-B esetében a 45°C-on számított 4,0 MPa hosszú távú szilárdság (lásd a 2.2.1 szakaszt) az ezen a hőmérsékleten alkalmazott állandó feszültségen alapul. Mint a TGM jelentésben látható, a gyakorlatban a hőmérsékletek rendszerint 20°C alatt vannak. Ebben az esetben a megengedett (állandó) feszültség 100 éven át 8,4 MPa, és a 30°C-hoz közelítő csúcshőmérsékletek esetében a megengedett feszültség még mindig 7,0 MPa (lásd a 2.7. táblázatot).

**2.7. táblázat: A PP-B szerkezeti falú csövek 100 évre megengedett és számított feszültségei az SP-tanulmány alapján [1. melléklet]**

Hőmérséklet	Megengedett feszültség MPa	Feszültségek MPa-ban, különböző összenyomódás mellett		Relaxációs modulus *)
		8%	15%	
20°C	8.4	3.2	4.6	176/135
30°C	7.0	2.6	4.1	**)
45°C	4.0	2.3	3.3	126/97

\*) 8%-os összenyomódásnál feltételezték, hogy a modulus 30%-kal magasabb, mint 15%-os összenyomódásnál

\*\*\*) A feszültség értékeket 30°C-on interpolációval határozták meg.

Ez a táblázat azt mutatja, hogy ha 23 és 45°C -on is állandó feszültséget feltételezünk, és az ezekre a hőmérsékletekre vonatkozó relaxációs modulussal végezzük a számításokat, a számított feszültség egyik esetben sem haladja meg a megengedett feszültséget. Abban az esetben sem éri el a kritikus korlátot, ha 30°C -os hőmérsékletet veszünk figyelembe. Meg kell azonban jegyezni, hogy ez az összehasonlítás úgy készült, hogy egy olyan szerkezeti falú csőben lévő feszültség szintet vettek figyelembe, amely a feltételezések szerint már elérte a 100 évet. Természetesen rövidebb ideig magasabb feszültségek tapasztalhatók, ezek az alábbiakban kerülnek tárgyalásra. Azt is hangsúlyozni kell, hogy a 45°C-on megengedett feszültség és a 23°C-on számított feszültségek összehasonlítása nem reális.

Mindazonáltal a 15%-os összenyomódás által kiváltott kezdeti feszültségek meglehetősen magasak lehetnek, és rövid távon meghibásodást okozhatnak.

Ha:

- a) föld alatti szennyvízelvezető alkalmazásokra magas minőségű alapanyagokat használnak, amelyek kielégítik az 1.1. táblázat követelményeit,
- b) a Janson-féle feszültség-relaxációs vizsgálatok [14] eredménye 15%-os összenyomódásnál és legalább 4000 óras vizsgálati időnél megfelelő, lehetővé téve, hogy a feszültségek a legnagyobb megengedett szintek alá csökkenjenek,
- c) a Janson-féle vizsgálat végén, az alakváltozást szenvedett csőminták kiegészítő mikroszkópos vizsgálata bizonyítja, hogy repedés vagy sérülés nem történt, akkor Janson állítása [14] teljesen igazoltnak tekintendő. Ha rövid távon (pl. 4000 óra) nem fordul elő meghibásodás, akkor nem valószínű, hogy valaha is előfordul.

Ha a maximális nyúlási alakváltozás a meghatározó kritérium, abból arra lehet következtetni, hogy a szerkezeti falú csövek külső rétegében, az alakváltozás (3,4%) a kritikus 5% alatt marad.

Ezek a gyakorlatok azt bizonyítják, hogy a javasolt 8%-os legnagyobb megengedett összenyomódásnál a nagyon biztonságos tartományban vagyunk, és ha véletlenül 15%-os összenyomódás előfordulna, a maradó feszültségek még mindig nem érik el a kritikus szintet, és nem várható, hogy meghibásodást okozza az előre jelzett élettartamon belül.

**2.3. Feszültség-koncentrációk, elemzés véges elemes módszerrel, szemrevételezés, csőfal kialakítása**

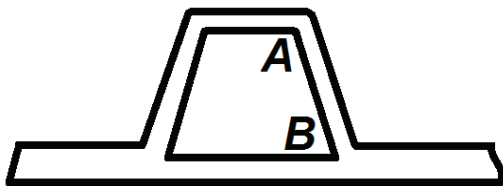
Az anyag típusától függetlenül felismertük, hogy a szerkezeti falú csövekben a falszerkezet néhány kritikus pontján feszültség koncentrációk tapasztalhatók, amelyek meghaladhatják a számított értékeket.

Ezért a kritikus feszültség koncentrációk helyének azonosításához véges elemes elemzést végeztek egy szerkezeti falú PP csövön, azaz egy Dn = 300 mm-es kettős falú cső falszerkezetén (kívül korrugált) 6 és 15%-os összenyomódás mellett [2. melléklet].

Azt látták, hogy adott helyeken, a korrugált réteg A és B pontján (lásd: 2.8 ábra), magasabb feszültségek adódtak. Ezért fontos azt elemezni, hogy azokon a helyeken előfordul-e megfolyás vagy kezdődő repedés. Ez is egy olyan

eljárás, amely szerepel a 100 éves várható élettartam becslésére vonatkozó követelmények között (lásd az 1.1. táblázatot).

A minták szemrevételezése azt mutatta, hogy nem történt feszültség okozta kiféhéredés, és semmi jele sem volt kezdődő repedésnek.



## 2.8. ábra: Példa egy, az EN13476-3-nak megfelelő, B típusú falszerkezet elemzésére

Hangsúlyozni kell, hogy a relaxációs görbék elemzése a relaxációban semmilyen szakadozottságot nem mutat. A repedésnek a relaxációs görbe egyenestől való eltérését kellene okozni, ami nem fordult elő, azaz alátámasztja a szemrevételezéssel nyert eredményeket.

Másrészt, a termékszabványokban meghatározott 30 %-os összenyomásig végzett rövid idejű gyűrűrugalmassági vizsgálat és a törésvizsgálatok kétségtelenül alkalmasak a gyenge csőfal szerkezet és a gyenge minőségű anyagok kiválogatására.

Ugyanakkor továbbra is kiemelten fontos szempont, és a szerkezeti falú cső tervezésénél a lehetséges feszültség koncentrációkat körültekintően kell mérlegelni, és amennyire csak lehet, csökkenteni kell. A szerkezeti falú cső-szerkezetben a magasabb feszültségű helyek azonosításához ismertetett alapelvek a mikroszkópos vizsgálatokhoz is fontosak, amelyeket a Janson-féle vizsgálat végén végeznek a csöveken a repedések és károsodások elemzéséhez, lásd az 1.1. táblázatot.

## 2.4. Záró megjegyzések

**2.4.1.** E jelentés 2. fejezetében a maximális megengedett feszültségeket számítottuk ki, amelyekkel biztosítható a 100 éves működési élettartam 45°C-on. Ezek között a legszélsőségesebb körülmények között a PP-B 45°C-on 4,0 MPa, a PE 80 pedig 5,5 MPa feszültséget visel el. A gyakorlatban, a valós hőmérsékletek nem magasabbak 30°C-nál, ugyanakkor a megengedett feszültségek magasabbak. Ez azt jelenti, hogy a gyakorlatban van egy jelentős járulékos biztonsági tényező a feltételezéseinkhez viszonyítva.

**2.4.2.** Ennek a tanulmánynak az az eredménye, hogy a cső 8%-os legnagyobb megengedett összenyomódása mellett legalább 100 éves működési élettartam várható. A korábban említett „Földbe temetett csövek” című TEPPFA tanulmányban [15] az összenyomódásnak ez a korlátja bizonyított, mint a gyakorlatban jellemző korlát, és egyben követelmény a vonatkozó CEN szabványokban.

**2.4.3.** A relaxációs vizsgálatok alapján, a feszültségeket (relaxáció után) a csőprofil külső szálára számították ki. A viszonylag magas feszültségek ellenére, amelyek 8%-os összenyomódásnál a terhelés kezdetekor fordulnak elő, a relaxációnak köszönhetően ezek a feszültségek a PP és a PE szerkezeti falú csövekben is általában 24 órán belül a megengedett feszültség alá csökkennek. 15%-os alakváltozásnál a feszültségek 1000 órán belül a megengedett feszültség alá csökkennek. PE csövek esetén ez már 1 órán belül bekövetkezik. A relaxációs modulus 100 évre való extrapolációja alapján a maradék feszültségek a cső 8 vagy 15%-os megengedett összenyomódása esetében messze a kritikus feszültség szintek alatt maradnak.



**2.4.4.** Ebben a tanulmányban a relaxációs vizsgálatokat 15%-os összenyomódásnál végezték el. A rövid és a hosszú távú feszültségeket egy 15%-os állandó összenyomódás mellett számították ki, ahol a maradó feszültségek hosszú távon a határok közelében vannak. A csőfalban az alakváltozások az 5%-os kritikus határ alatt maradnak.

**2.4.5.** A szűz és feltárt tömör falú PP-B, szerkezeti falú PP-B és tömör falú PE csőminták esetében 15%-os állandó összenyomódás mellett 13270 órán át (1,5 év) végzett relaxációs mérések nem mutatnak semmilyen szakadást az inverz görbében. Nincsenek látható repedések sem, ezért ezeknek a görbéknek az extrapolációja 100 évre megbízhatónak tekinthető. Ez körülbelül 2-es biztonsági tényezőt jelent a 8 %-os megengedett legnagyobb összenyomódás esetén.

**2.4.6.** A cső 8 vagy 15%-os összenyomása által előidézett belső feszültségek várhatóan nagyok lesznek, és rövid távon meghibásodást okozhatnak.

Ha azonban:

- a) a föld alatti szennyvízelvezető alkalmazásokra magas minőségű alapanyagokat használnak, amelyek kielégítik az 1.1. táblázat követelményeit,
- b) a Janson-féle feszültség-relaxációs vizsgálatok [14] eredménye 15%-os összenyomódásnál és legalább 4000 órás vizsgálati időnél megfelelő, lehetővé téve, hogy a feszültségek a legnagyobb megengedett szintek alá csökkenjenek,
- c) a Janson-féle vizsgálat végén, az alakváltozást szenvedett csőminták kiegészítő mikroszkopikus vizsgálata bizonyítja, hogy repedés vagy sérülés nem történt, akkor Janson állítása [14] teljesen igazoltnak tekintendő: ha rövid távon (pl. 4000 óra) nem fordul elő meghibásodás, akkor nem valószínű, hogy valaha is előfordul. Következésképpen 100 éves működés alatt meghibásodás nem várható.

**2.4.7.** Az EN 13476-3-nak [6] megfelelő B típusú szerkezeti falú csőben a feszültség koncentrációkat végeselemes analízissel állapították meg. Ezek a megfigyelések megerősítik, hogy hosszú távon 8%-os maximális összenyomódás az elvárható. Annak biztosítására, hogy a falszerkezet ilyen körülmények között elég stabil és erős legyen, hogy ellenálljon a külső terhelésnek, egy 30%-os összenyomásig végzett rövid idejű gyűrűrugalmassági vizsgálat és ütésvizsgálat előírása a termékszabványokban döntő fontosságú. Ezek a vizsgálatok a falszerkezet rövid távú stabilitását igazolják. A szerkezeti falú csőveken a jelen tanulmány szerint végzett relaxációs vizsgálatokkal, kiegészítve a csővek repedéseinek és megrongálódásának szemrevételezéses ellenőrzésével, igazolni lehet a stabil és folyamatos relaxációs folyamatot. Ezek a vizsgálatok fontosak a csőszerkezet hosszú távú megbízhatóságának és stabilitásának igazolásához. Ezek a vizsgálatok a B típusú csővek két rétege közötti hegedés jó minőségének bizonyításához is fontosak.

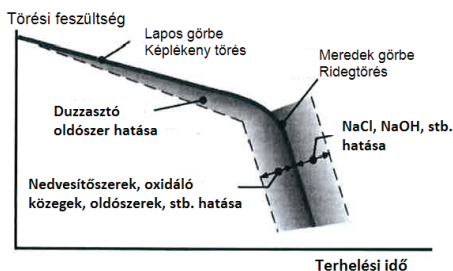
**2.4.8.** A 45°C-on végzett relaxációs mérések szintén egyenes vonalat mutatnak. Abban az esetben, ha a szennyvízvezeték hőmérséklete folyamatosan 45°C, a cső hosszú távon jól teljesít, a feszültségek alacsonyabb szintekre csökkennek, ezáltal csökkennek a kockázatok.

## 3. A szennyvíz hatása

### 3.1. Bevezetés

A meghibásodási módok III. szakasza az úgynevezett elhasználódás szakasza, ahol a stabilizátorok már teljesen felhasználódtak, és az anyag elveszíti az integritását. Annak meghatározásához, hogy a víz minősége, esetünkben a szennyvízé, hatással van-e a stabilizátor felhasználódására, vizsgálatokat kell végezni.

Ismert, hogy a tiszta vagy magas koncentrációjú vegyszerek hatással vannak a poliolefinek élettartamára. A hatás függ a vegyszer típusától és annak az anyagnak a típusától, amire a hatását kifejti, azaz a betonnal összehasonlítva, a poliolefinek bizonyos körülmények között hosszabb élettartammal rendelkeznek, mint például a savas talajvíz (kívül), vagy hidrogén-szulfid/kénsav (belül) [1].



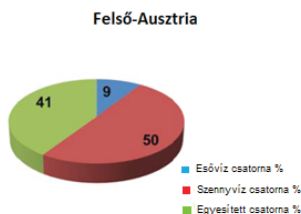
**3.1. ábra: A különböző közegek hatása a feszültség/idő görbék helyzetére a belső hidrosztatikai nyomásnak kitétt PE csövek esetében [17]**

A legtöbb laboratóriumi vizsgálatban azonban olyan magas koncentrációjú vegyszereket használnak, ahogyan azok a szennyvízben rendszerint nem fordulnak elő. A szennyvíz összetételének és koncentrációjának jobb megismerése segítséget nyújthat a korábbi hibák kockázatának becsléséhez.

### 3.2. Megközelítés

A szennyvízben a koncentrációk viszonylag alacsony szintjének bizonyítása érdekében, a TEPPFA munkacsoport felkérésére a TGM intenzív irodalmi kutatásokat folytatott. Ennek célja, hogy jobb képet kapjunk a szennyvíz összetételéről (4. melléklet).

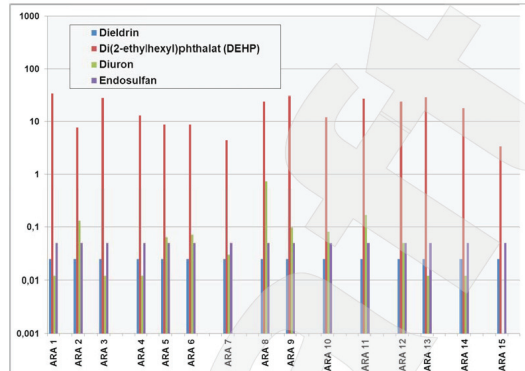
Ebben a munkában 15 ausztriai szennyvíztisztító létesítményt vizsgáltak, a víz összetételének meghatározására, összehasonlítva az ország érvényes irányelveivel. A befolyó víz 3 különböző forrásból jön, és víztisztítónként változhat. A megközelítő összetétele: 10% esővíz, 50-70% szennyvíz és 20-40% vegyes (szenny- és esővíz).



**3.2. ábra: A szennyvíz jellemző összetétele a felső-ausztriai régióban (9% esővíz, 50% szennyvíz, 41% vegyes összetételű víz). [4-es melléklet].**

A szennyvíz összetételében több mint 100 vegyi anyag jelenlétét mutatták ki.

Abbild 5: Inhaltstoffe [ $\mu\text{g/l}$ ] der beprobten Kläranlagenzulaufe (ARA 1bis ARA 15)



5. kép: A szennyvíztisztító telepeken vizsgált minták alkotóelemei [ $\mu\text{g/l}$ ] (ARA 1-től ARA 15-ig)

### 3.3. ábra: A 15 vizsgált, ARA-nak hívott, szennyvíz-tisztító létesítményben jelen levő 4 vegyianyag jellemző adatai

A PE és PP esetén rendelkezésre álló vegyi anyagokkal szembeni ellenállásra vonatkozó táblázatokat a fenti vizsgálatban említett szennyvíz-összetétellel összefüggésben elemezve megbecsülték a rövidebb élettartamra várható kockázatokat.

## 3.3. Eredmények

A TGM megállapította, hogy valamennyi fellelt vegyi anyag mennyisége teljesíti az érvényes helyi irányelveket. Ez azt jelzi, hogy a szennyvíz nem jelenthet veszélyt, különben a piac jelzéseket adna a csőgyártók felé. Eddig semmilyen igény nem ismert [17], ami azzal lenne kapcsolatos, hogy a szennyvíz károsította volna a PE és PP csöveket. Továbbá, néhány vegyszer eredete a hálózatokra csatlakoztatott ipari szennyvízvezetékekkel közvetlenül kapcsolatba hozható.

A legmagasabb koncentrációban előforduló anyagokat tekintve 4 típust különböztethetünk meg:

- Benzol: körülbelül 1 mg/ml koncentrációban.
- Abszorbeálható szerves klór vegyületek (AOX): 1 – 10 mg/l koncentrációban
- Fluorid: 10 – 100 mg/l koncentrációban
- Lineáris alkil-benzolszulfát, anionos felületaktív anyagok, szappanok és tisztítószeres (LAS): 10 – 100 mg/l koncentrációban

Ezek közül a vegyszerállóság adatai alapján várhatóan a benzoloknak (általában aromás vegyületek) és az LAS-nek van a legagresszívabb hatása a PE és a PP anyagokra.

A fluoridok szeretlenek, és nem jelentenek problémát. Végül az AOX anyagok koncentrációja olyan alacsony, hogy semmilyen várható hatása nincs.

#### *Benzolok és aromás anyagok*

Az aromás anyagok vízoldhatósága általában korlátozott. Koncentrációjuk típusától függően 200 – 1800 mg/liter. A KIWA intenzív vizsgálatokat folytatott az átteresztőképességre (permeabilitás) vonatkozóan, és 25%-os oldhatóság fölött nem javasolja a csövek alkalmazását. Ennek a vizsgálatnak az értékei sokkal alacsonyabbak. A vizsgálatok kimutatták, hogy az aromás anyagok telített keverékei nincsenek hatással a hidrosztatikai vizsgálatok eredményeire. A telített toluolt 80°C-on, a hexán naftalint és a toluolt 20°C-on vizsgálták. Ebből az a következtetés vonható le, hogy a szennyvízben található vegyi anyag tartalom várhatóan nem okoz problémát.

LAS (felületaktív anyagok, szappanok és tisztítószerek).

A tisztítószerek ezen csoportjánál tapasztalt koncentráció is nagyon alacsony. Ismeretes azonban, hogy hogyan lehet gyorsítani a rideg töréseket. Az LAS anyagokat, lényegesen magas koncentrációban, azért használják, hogy jelentősen csökkentsek a vizsgálati időket. Az alacsony koncentrációnak semmilyen hatása nem ismert. Eddig nem ismerünk olyan megállapításokat, amelyek azt állítanák, hogy a szennyvízben levő szappanok káros hatással lennének a PE és PP csövekre. [17]

### 3.4. A szennyvíz lehetséges hatására vonatkozó következtetés

Az elvégzett vizsgálatok alapján, a mért alacsony koncentrációk miatt, nem várhatók a szennyvíz által kiváltott gyorsított cső öregedési problémák. Még akkor sem várható káros hatás, ha a házhoz közeli csatlakozásoknál átmenetileg magasabb koncentrációk (rövid ideg tartó sokkszerű terhelések) fordulnak elő.

#### Megjegyzés

Amennyiben a felszíni vizek összetételére vonatkozó európai irányelvek megváltoznak, a szabványosítási bizottságoknak figyelembe kell venniük az új és a már használatban levő csövekre gyakorolt hatásokat.

### 3.5. A csatornacső rendszer hőmérséklete

#### 3.5.1. Bevezetés

A tanulmány koncepciója szerint a 100 éves élettartam folyamatos 45°C-os hőmérsékletű közeg szállításán alapul az (MSz) EN 476-ban leírtaknak megfelelően [1],  $D_n \leq DN 200$  átmérőjű, épületeken kívüli gravitációs szennyvíz-csatornára vonatkozóan. (A  $D_n > DN 200$  nagyobb átmérő esetében a maximális hőmérsékletnek 35°C-osnak kell lennie). Annak érdekében, hogy reális képünk legyen arról, hogy ezek az értékek valóságosak-e, a tényleges hőmérsékleteket fel kell térképezni.

#### 3.5.2. Megközelítés

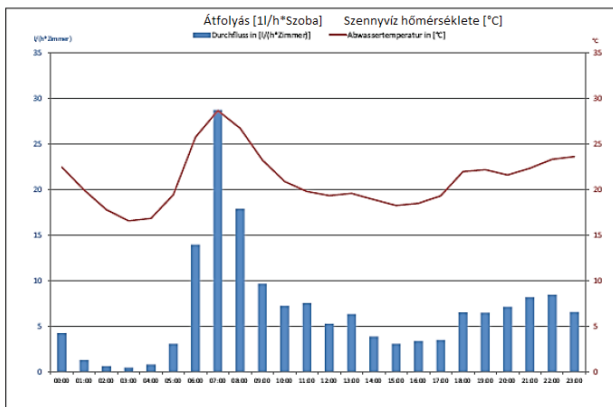
A szabványban referenciaként jelzett szennyvíz-hőmérséklet ellenőrzésére [1] a TEPPFA munkacsoport felkérésére a TGM készített egy tanulmányt. Négy különböző objektumban gyűjtöttek adatokat (3.1. táblázat). A hőmérsékletet egy munkanapon át figyelték.

#### 3.5.3. Eredmények

A TGM a tanulmányban azt állapította meg, hogy a nap folyamán az átlagos hőmérséklet körülbelül 25°C volt, ebben az elemzésben a hőmérséklet nem haladta meg a 30°C-ot.

#### 3.1. táblázat: A TGM vizsgálatban jelzett hőmérsékletek

	Átlagos [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Megjegyzés
1. Diákszálló	25	27	19	Éjszaka alacsonyabb
2. Diákszálló	25	27	23	Éjszaka alacsonyabb
Szálloda	22	28	17	Csúcsérték délelőtt 6-9 óra között
Kórház	26	27	25	Állandó éjjel/nappal



**3.4. ábra: Példa a hőmérséklet alakulására (piros) egy szállodában 24 órán át az ivóvíz használat (kék) függvényében [4-es melléklet].**

A mért hőmérséklet tartományok hasonlóak a berlini hálózatokról szóló jelentés információival [4. melléklet].

### 3.2. táblázat: A berlini hálózatban jelzett hőmérsékletek

Hőforrások		
		Hőmérséklet [°C]
Szennyvíz	Épületen belül (házak)	+15 től + 25-ig
	A csőrendszerben (szennyvíztisztító üzemek)	+10 től +15-ig
	Ipari szennyvíz	60-ig

#### 3.5.4. Következtetés a csatornacső rendszerekben uralkodó hőmérsékletekre

Az elvégzett vizsgálatokból azt láthatjuk, hogy a berlini adatok hasonlóak az ausztriai adatokhoz. Továbbá az is kiderült, hogy a gyakorlatban a hőmérsékletek alacsonyabbak (15 - 20°C), mint a szabványban jelzett 45°C (vagy 35°C), ami azt mutatja, hogy biztonsági tartalékkal rendelkezünk.

#### Megjegyzés

Az ipari szennyvizek hőmérséklete magasabb lehet, ezért más előírások alkalmazására lehet szükség.

## 4. Feltérési projektek

### 4.1. Kiásott tömör és szerkezeti falú csatornacsövek

A csatornarendszerekben hosszú idő óta üzemelő csövek minőségének, és hátralevő élettartamának előrejelzése nagyon fontos, annak érdekében, hogy 100 évnél hosszabb várható élettartamról nyilatkozhatunk. Ezért elengedhetetlen, hogy megértsük a csövek használat közben való tönkremenetelét, illetve előre jelezhessük a már használatban levő csövek maradék élettartamát. Ezeknek a szempontoknak a meghatározásához különböző típusú csöveket ástak ki öt különböző helyszínen. A kiásott csöveken számos vizsgálatot végeztek, egyrészt olyanokat, amelyeket a vonatkozó szabványok írnak elő, másrészt olyan elemzéseket, amelyek a használt anyagokról és stabilizáltságukról nyújtanak információkat.

### 4.2. A feltérési projektek általános ismertetése

Ebben a projektben a vizsgálatokhoz a csöveket öt különböző helyszínen ásták ki.

Ezek a következők:

Cső kód: F1	Finnország, Vaasa	PE63, átm. 200 mm-es tömör falú, SDR17
Cső kód: G1	Németország, Göttingen	PE80, átm. 355 mm-es tömör falú, több rétegű, SDR17,6 *)
Cső kód: G2	Németország, Göttingen	PE80, átm. 280 mm-es tömör falú, több rétegű, SDR17,6 *)
Cső kód: G3	Németország, Göttingen	PE80, átm. 280 mm-es tömör falú, SDR17,6
Cső kód: N1	Norvégia, Vanvikan	PP-B, átm. 110 mm-es tömör falú, S14
Cső kód: N2	Norvégia, Surnadal	PP-B, átm. 160 mm-es szerkezeti falú cső, SN8 **)
Cső kód: D1	Dánia, Skyve	PP-B, átm. 200 mm-es szerkezeti falú cső, SN8 **)

\*) Az EN13476-2-nek megfelelő A típusú cső [19]

\*\*\*) Az EN13476-3-nak megfelelő B típusú cső [6]

#### 4.2.1. Tömör falú PE csatornacsövek Finnországból, cső kód: F1

Cső kód:	F1
Helyszín:	Vaasa
Talajtípus:	agyag, homok ágyazat
Ősszenyomódás visszaalakulás után:	2%
Rendszer:	települési szennyvíz-csatorna
Beépítési mélység:	2,0 m, talajvízszint 1,6-re a talajszint alatt
Csőanyag:	PE (első generáció)
Cső típusa:	DN/OD 200 mm-es tömör falú, SDR17, PN6
A cső beépítésének éve:	1974 (38 év működésben)

A csatornacsöveket 1974-ben fektették Vaasa-ban, Finnországban, és körülbelül 38 éve működnek. A csöveket első generációs HDPE –kemény polietilén- csőanyagból gyártották, ami 1978-ig általánosan használt csőanyag volt. Ezek az első generációs HDPE alapanyagok homopolimerek voltak, amelyeket a 20°C-on, 6.3 MPa feszültség mellett 50 évre extrapolált nyomásállóságuk alapján PE63 osztályba soroltak. A vizsgálatokhoz használt csövek külső felszínén hosszanti karcolások voltak, amelyek valószínűleg a kiásás során keletkeztek (lásd a 4.4. ábrát)

A csövek belső felszínén előforduló lerakódások azt jelzik, hogy a csöveket csak részben árasztotta el szennyvíz (lásd a 4.5. ábrát). A részleges teltségű áramlást a cső teljes keresztmetszetének 40%-ára becsülték.



4.1. ábra: A kiásás területe: Finnország, Vaasa. Cső kód: F1



4.2. ábra: Kiásási munka. Cső kód: F1



4.2.1. ábra: Kiásott csőkötés.





**4.2.2. ábra: Kiásott cső.**



**4.3. ábra: Kiásott csőkötés közelről, átm. 200 mm-es kiásott csövek Finnországban. Cső kód: F1**



**4.4. ábra: Karcolások a külső felszínen. Cső kód: F1**





**4.5. ábra: A szennyvízből származó lerakódások a cső belső felszínén jelzik a csatornacső elárasztott területét (folyásfenék). Cső kód: F1**

#### **4.2.2. Tömör falú PE csatornacsövek Németországból. Cső kódok: G1, G2 és G3**

Helyszín: Göttingen

Csőanyag: PE80

Cső kódok: G1: DN 300, SDR17,6, méret: 355x20,1 mm

Több rétegű: natúr belső réteg, fekete külső réteg

G2: DN 250, SDR17,6, méret: 280x15,9 mm

Többrétegű, tömör falú PE80

G3: DN 250, SDR 17,6, méret: 280x15,9mm,

Egyrétegű, tömör falú, PE 80

A csövek beépítésének éve: 1994-1996 (üzemben 16-18 éve)

A németországi Göttingeni Városi Művektől (Stadtwerke) származó kiásott csöveket 1994-1996-ban gyártották és fektették, azaz 16-18-éve üzemelnek. A csatornacsövek közül három koextrudált, natúr HDPE anyagból készült belső réteggel, és feketére színezett anyagból készült külső réteggel (lásd a 4.6. ábrát). A másik két cső (G3) egyrétegű, barna csíkokkal jelölt fekete HDPE cső (lásd a 4.7. ábrát). A csöveken levő jelölések alapján PE80-as alapanyagokat használtak. Egy csőminta tokos, a többi csak sima végű.



**4.6. ábra: Koextrudált csövek natúr PE belső réteggel. Cső kód: G1**



**4.7. ábra: Fekete csövek barna csikkokkal. Cső kód: G3**

#### 4.1. táblázat: A Németországban kiásott csövek méretei

Csövek száma	Szerkezet	DN/ID	SDR	Méreték (mm)	Cső kód
1 és 2	Koextrudált cső: Belső réteg: natúr PE Külső réteg: fekete PE	300	17.6	355x20.1	G1
3	Koextrudált cső: Belső réteg: natúr PE Külső réteg: fekete PE	250	17.6	280x15.9	G2
4 és 5	Egyrétegű cső: Fekete PE	250	17.6	280x15.9	G3

Az 1 méter hosszú csöveken a következő feliratok voltak:

1. Koextrudált fekete cső fényes belső réteggel, DN 280, SDR17,6.  
Szignálás: Egeplast – 45 – SL PE-HD005 COEX DIN8044/75 PE80 SDR17,6 DIN19537 R4 DN250 280x15,9  
Kézírással: Göttinger Königsalle Auslauf 52250, 21.8.2012 mit Friafit Schachteinbindung (Göttingeni Königsalle 52250 csatlakozás 2012. 8. 21. Friafit csatornaaknával)
2. Koextrudált fekete cső fényes belső réteggel, D355, SDR17,6.  
Szignálás: Egeplast – 45 – SL PE- D005 COEX DIN8044/75 PE80 SDR17,6 DIN19537 R4 DN300 355x20,1 129 m 21.8.00  
Kézírással: Auslauf 12016, 28.8.2012 mit Friafit Schachteinbindung (12016. csatlakozás, 2012. 8. 28., Friafit csatornaaknával.)
3. Koextrudált fekete cső fényes belső réteggel, D355, SDR17,6.  
Szignálás: Egeplast – 45 – SL PE-D005 COEX DIN8044/75 PE80 SDR17,6 DIN19537 R4 DN300 355x20,1 128 m 21.8.00  
Kézírással: Auslauf 12016, 28.8.2012 (12016. csatlakozás, 2012. 8. 28.)

#### 4.2.3. Tömör falú PP csatornacsövek Norvégiából, cső kód N1

A 110 mm átmérőjű tömör falú csatornacsövet 1989-ben Vanvikan faluban építették be. A cső anyaga fekete PP-B blokk kopolimer. A cső a 4.8. és a 4.9.3. ábrán látható.

A cső tetején látható vöröses elszíneződés a föld, leginkább agyag okozta szennyeződés. A külső felszínen levő karcolások a beépítés vagy a kiásás során keletkeztek. A cső belső felszínén volt néhány feszültség okozta fehér csík: egy csík folyamatosan futott végig az extrudálási tengely mentén, mások lokalizáltak és szakaszosan fordultak elő.

Cső kód:

Helyszín:

Talajtípus:

Összenyomódás visszaalakulás után:

Rendszer:

Beépítési mélység:

A cső beépítésének éve:

Cső anyaga:

Cső típusa:

N1

Vanvikan

homok, valamennyi kővel a visszatöltött anyagban, ami pontszerű terhelést okoz

1,5-2,0%

szennyvíz-elvezetés családi házból

1,2 m

1989 (23 éve működik)

PP-B mesterkeverékkel/szín

110 x 3,8mm, S14-es csőosztály



**4.8. ábra: átm. 110 mm-es tömör falú PP cső. Cső kód: N1**



**4.9.1. ábra: Kiásott átm. 160 mm-es, szerkezeti falú csövek. Norvégia, Surnadal. Cső kód: N2**



**4.9.2. ábra: Átm. 160 mm-es szerkezeti falú, kiásott PP cső, Surnadal. Cső kód: N2**



**4.9.3. ábra: Átm. 110 mm-es tömör falú, kiásott PP cső Norvégia, Vanvikan. Cső kód: N1**

#### 4.2.4. Szerkezeti falú PP-B csatornacsövek Norvégiából. Cső kód N2

A 160 mm átmérőjű csövet 1991-ben építették be a norvégiai Surnadalban. A cső PP blokk kopolimerből készült. A cső külső felszíne korrugált, belső felszíne sima, és mindkettő terrakotta színű. A cső a 4.9.1. és a 4.9.2. ábrán látható.

A külső felszínen található fehér és narancsszínű „jelek” festéknnyomok, lásd a 4.10. ábrát. Csak kisebb karcok vannak a bordákon, amelyek a csövek beépítése vagy kiásása során keletkeztek. A cső egyik oldalán, a belső felületen, több barnás terület található. Úgy tűnik, hogy ezt a szennyvíz okozta.

A barnás terület 8-1 méresi pozíciók között látható, lásd a 4.11. ábrát.

Cső kód:	N2
Helyszín:	Surnadal, egy 15%-os lejtőn
Talajtípus:	0,5 m finomszemcsés kavicsos visszatöltés
Összenyomódás visszaalakulás után:	0,4-2,1%
Rendszer:	szennyvíz-elvezetés 20 háztartásból
Beépítési mélység:	1,3 m
A cső beépítésének éve:	1991 (20 éve működik)
Csőanyag:	PP-B
Cső típusa:	DN/OD 160, 140 mm belső átmérő



**4.10. ábra: Szerkezeti falú csövek**



**4.11. ábra: Barnás felszínű cső**



#### 4.2.5. Szerkezeti falú PP-B csatornacsövek Dániából. Cső kód: D1

A 200 mm átmérőjű szerkezeti falú csövek külső, bordázott felszíne terrakotta színű, a sima belső felszíne pedig fehér. A csövet 2004-ben kezdték használni, tehát 8 éve működik. A cső a 4.12. és a 4.13. képen látható. A külső felszínen látható fekete csík valamilyen festéknek látszik. A külső felszínen, a bordákon csak kevés nyomott hagyott a beépítés vagy a kiásás. A belső felszíne nem mutatja kopás jeleit.

Cső kód:

Helyszín:

Talajtípus:

Összenyomódás visszaalakulás után:

Beépítési mélység:

A cső beépítésének éve:

Cső típusa:

D1

Skyve

Agyag/homok, homok visszatöltéssel

Nincs

2,5 m

2004 (8 éve működik)

DN 200 mm-es, SN8-as szerkezeti falú cső



4.12. ábra: Dániában kiásott csövek



4.12.1. ábra: Összegyűjtött csőminták



4.12.2. ábra: Szerkezeti falú cső az árokban



4.13. ábra: A kiásás helyszíne Skyve, Dánia

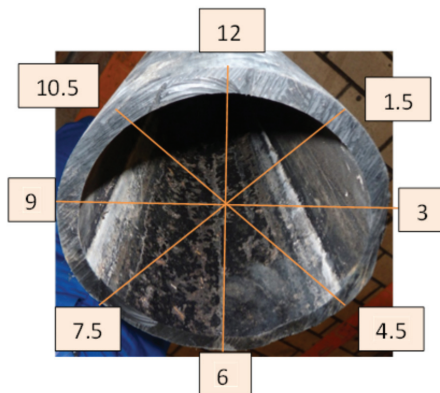
### 4.3. Vizsgálati módszerek

A kiásott csövek tulajdonságainak jellemzéséhez különböző vizsgálati módszereket alkalmaztak. Többek között a hőoxidációs lebomlásnak való ellenállást, a maradék feszültségeket, a hosszirányú zsugorodást és az összenyomódást is meghatározták. A PE csövek élettartam előrejelzését a törési idő diagramból az Arrhenius modellre alapozták.

Az alkalmazott vizsgálati módszereket a következő fejezetek tartalmazzák.

#### 4.3.1. Anyag-jellemzés

A leírt vizsgálatok elvégzéséhez a csőből különböző pontokon vettek mintákat, a 4.14. ábrán látható módon. Az alsó és felső pontokat könnyen meg lehetett határozni, mivel a lerakódások a csőben világosan mutatták a folyásfeneket.



4.14. ábra: A meghatározott pontok a kerület mentén

#### 4.3.2. Belső nyomásvizsgálatok

A maradék élettartam előrejelzéséhez a lassú repedésterjedéssel (SGC) szembeni ellenálláshoz társuló nyomásvizsgálatokat a PE csövek esetében 80°C-on,  $\sigma = 2,8$  MPa, a PP-B csövek esetében 95°C-on,  $\sigma = 2,5$  MPa feszültséggel, az ISO 1167-1:2006-nak [24] megfelelően végezték el.

#### 4.3.3. MFR

Az ömledék folyási sebességet (MFR) az ISO 1133-nak [25] megfelelően határozták meg a csövekből vett mintákon. A PE csövek esetében 190°C-on és 5 és 21,6 kg, a PP-B csövek esetében pedig 230°C-on 2,16 kg terheléssel.

#### 4.3.4. A PE csövek belső viszkozitása (IV)

A csövek külső és belső felszínéről, valamint a csőfal közepéből körülbelül 100  $\mu\text{m}$  vastagságú mintákat vettek a viszkozitás meghatározásához. A viszkozitás mérést az ISO 1628-3:2010-nek [26] megfelelően végezték. A viszkozitást 0,1%-os dekahidronaftalin oldaton határozták meg, 135°C-on.

### 4.3.5. Gél permeációs kromatográfia (GPC)

A polimer összetételének azonosítása érdekében, a csőanyagok molekuláris tömegeloszlásának jellemzésére gél permeációs kromatográfiát (GPC) alkalmaztak. A polimerek átlagos molekula tömegének és tömegeloszlásának meghatározását gél permeációs kromatográfia alkalmazásával az ISO 16014-1 [27] írja le.

### 4.3.6. FT-IR spektroszkópia

A csövek belső felszínén a hőoxidációs lebomlás vizsgálatához az ATR technikát (Attenuated Total Reflectance) alkalmazták. Ezen kívül az FT-IR (Fourier Transform Infrared) spektroszkópiát alkalmazták a csőanyagban jelen levő komonomer meghatározására is.

### 4.3.7. Differenciál pásztázó kalorimetria (DSC)

A differenciál pásztázó kalorimetriát (DSC) alkalmazták a hő hatására bekövetkező átalakulások mérésére, úgymint az olvadás, a visszakristályosodás és ezen átalakulások entalpiája. A DSC méréseket az EN ISO 11357-1:2010-nek [28] megfelelően végezték, 10 K/perc melegítési sebességgel, és körülbelül 6 mg súlyú mintával.

### 4.3.8. Teljes bemetszéses kúszásvizsgálat (FNCT) a PE csöveken

Az FNCT-t az ISO 16770:2004-ben [29] leírtak határozták meg

### 4.3.9. Oxidációs stabilitás (OIT)

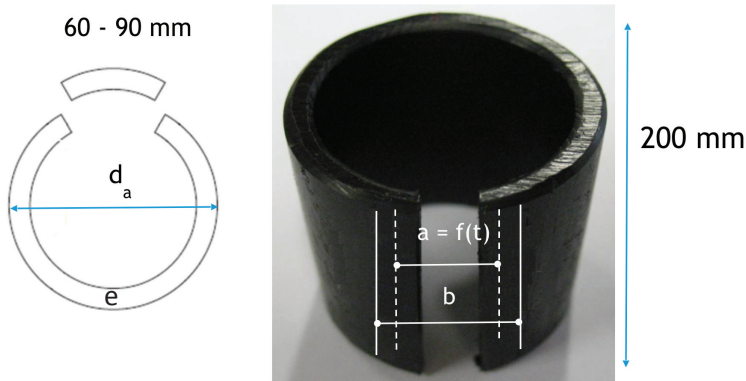
Az oxidációs stabilitást az oxidációs indukciós idővel (OIT) értékelték. A PE mintákat 200°C-on, a PP mintákat 210°C-on vizsgálták oxigén átfolyás mellett, a differenciál pásztázó kalorimetria (DSC) segítségével, az ISO 11357-6 [30] szerint. A mérésekhez a csőfal különböző pontjairól vettek mintákat, és az OIT-t izotermikusan határozták meg. A méréseket automatikus gázkapcsoló alkalmazásával végezték.

### 4.3.10. A PE csövek hosszanti zsugorodása

A hosszirányú zsugorodást az (MSz) EN 12666-1:2011 [4] szerint 110°C -on végezték el az EN 743:1994 szabvány B módszerének megfelelően [31].

### 4.3.11. A PE csövek maradvány feszültségei

A befagyott maradvány feszültségeket a jól ismert gyűrűzáródás vizsgálattal értékelték, 23°C -on. A vizsgálat során, miután kivágták a cső egy 30 – 60 fokos szegmensét, mérik a csőgyűrű összehúzódását az idő függvényében. A kiásvott csőben a maradék feszültségek meghatározása a [14]-ben leírt módszerrel történt. A 4.15. ábrán bemutatott módon egy (200 mm hosszúságú) csőszakaszból kivágtak egy 60 mm-es cikket, és az így bekövetkező alakváltozást határozták meg 3; 60 (1 óra) és 1440 perc (24 óra) után.



#### 4.15. ábra: A maradvány feszültségek meghatározásának elve

A cső szegmensét a vizsgálat alatt állandó körülmények között tartottuk (23°C; 50% relatív páratartalom). A jelzések közötti távolságot, ami a vágási vonalaktól 10 milliméterre volt bejelölve a csőszegmens hosszán, a kivágott cikk eltávolítása előtt és után is mérték. A csőben a maradék feszültségeket a következő egyenlet alkalmazásával lehet megbecsülni:

$$\sigma_E = \frac{b - a}{\pi \cdot (d_a - e) - b + a} \cdot \frac{e}{d_a - e} \cdot E \text{ [MPa]}$$

Ahol:

- b a jelölések közötti távolság a kivágás előtt
- a adott idő után meghatározott távolság a jelölések között
- $d_a$  külső csőátmérő
- e falvastagság
- E adott idő után meghatározott kúszási modulus

#### 4.3.12. A PE csövek hajlítási kúszási modulusa

A hajlító kúszási modulusokat az ISO 899-2:2003-nak megfelelően határozták meg [32].

#### 4.3.13. A PE csövek hőöregítése

A hőöregítést a csőből kivágott (20 x 200 mm-es) mintákkal végezték 100 és 120°C-on, szellőztetett kemencében, mindaddig, amíg a minta meghajlítása után rideg repedések meg nem jelentek.

#### 4.3.14. A PP-B csövek gyűrűmerevségi, gyűrűrugalmassági és törésvizsgálatai

A vizsgálatokat az EN1852-1-ben [5] és az EN13476-3-ban [6] leírt eljárások alapján végezték el.



## 5. Eredmények

### 5.1 Tömör falú PE csatornacsövek. Cső kód: F1

#### 5.1.1. Anyag-jellemzés

A csövek valószínűleg PE63 HDPE csőanyagból készültek, amely 1978-ig általánosan használt csőanyag volt. A körülbelül 38 éve működő csövek anyagának jellemzésére különböző módszereket használtak. Az 5.1. táblázat tartalmazza az OIT, MFR, sűrűség, és egyéb vizsgálati eredményeket. Az MFR (190°C; 5 kg) a 6. és 12. pontban (lásd a 4.14 ábrát) 0,39 g/10 perc, kissé magasabb, mint az első generációs HDPE csőanyagokra vonatkozó előírás 0,3 g/10 perc (190°C; 5 kg) volt. Az OIT és a belső viszkozitás értékei alapján megállapítható, hogy ez a kissé magasabb MFR nincs összefüggésben a polimer lebomlásával. A sűrűség 0,957 g/cm<sup>3</sup> volt, ami összhangban van az eredeti anyagra előírt 0,955 g/cm<sup>3</sup> sűrűséggel, figyelembe véve az akkoriban használt különböző temperálási eljárásokat is.

#### 5.1. táblázat: A PE cső vizsgálati eredményei. Cső kód: F1

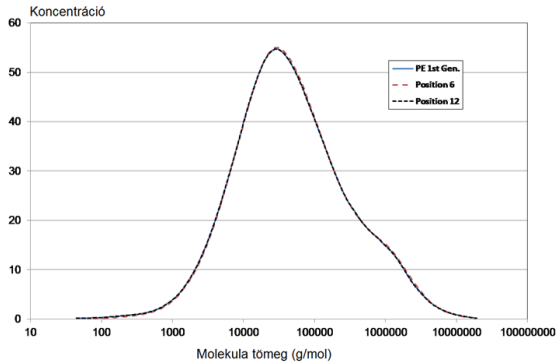
Tulajdonságok	Mértékegység	Módszer	12. pont			6. pont		
			E	M	I	E	M	I
Belső viszkozitás (IV)	dl/g	ISO 1628	3	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
OIT (200 °C)	min	EN 728	21	29.5	23	37	26	18
MFR (190 °C/5 kg)	g/10 min	ISO 1133	0.39			0.39		
Sűrűség	g/10 min	ISO 1133	0.957			0.957		
Olvadáspont <sup>1)</sup>	°C	ISO 11357-1	129			127		
Olvadáshő <sup>1)</sup>	J/g	ISO 11357-1	180			181		
FNCT (4 MPa, 80°C, 2 % Arkopal)	h	ISO 16770	1.8			2.1		
Rugalmassági modulus	MPa	ISO 527	821			979		
Húzófeszültség a folyáshatárnál	MPa	ISO 527	23.7			23.8		
Szakadási nyúlás	%	ISO 527	580			670		
Koromtartalom	%	ISO 6964	2.35			2.35		

Jelmagyarázat: 1) az első fűtési ciklustól

E = Külső felület  
M = Csőfal közepe  
I = Belső felület

#### 5.1.2. Gél permeációs kromatográfia (GPC)

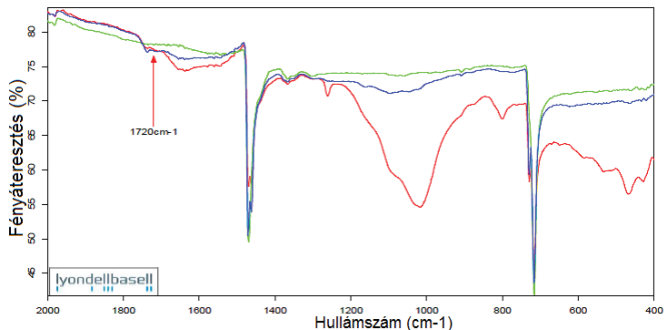
A cső belső felszínének különböző pontjairól vett mintákból a molekulatömeg-eloszlást a GPC-vel határozták meg. Ahogy az 5.1. ábrán látható, a 6. és a 12. pontból vett mintákból nyert GPC görbék egészen hasonlóak, és megfelelnek az eredeti anyagból nyert görbének. Mivel a 6. és a 12. pontból vett mintákból nyert GPC görbék nem különböznek, nyilvánvaló, hogy a szennyvízzel való érintkezés nem gyorsítja a polimer lebomlását. Ezt a megállapítást támasztják alá az 5.1.4. szakaszban közölt OIT és belső viszkozitási értékek is.



**5.1 ábra: A cső belső felszínéről, és az eredeti, első generációs, PE típusból vett mintákból nyert GPC adatok**

### 5.1.3. FT-IR spektroszkópia

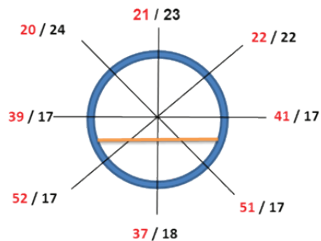
Az FT-IR spektrum nem mutat az oxidált PE molekula láncre jellemző karbonil abszorpciót az 1720  $\text{cm}^{-1}$  hullám-számon (lásd az 5.2.-es ábrát). Bár a belső felületet megtisztították, a belső felület 6. pontjában készített ATR spektrum a visszamaradó szennyezések eredményeként mutat néhány eltérő fényelnyelést az ugyanabban a pozícióban vett, falközei és külső felületről származó mintákhoz képest.



**5.2. ábra: A 6. ponton vett minták FT-IR spektrumai (ATR technikával): külső felszín (piros), csőfal közepe (zöld) és belső felszín (kék)**

### 5.1.4. OIT / Belső viszkozitás

Az 5.2. táblázatban fel vannak sorolva a kerület mentén mért OIT és belső viszkozitás (IV) értékek. A felszínről vagy a csőfal közepéből vett minták belső viszkozitása egészen hasonló, következésképpen a működés során a szennyvízzel érintkező területen nem bomlott le a polimer. Ezzel szemben, az OIT értékek a cső kerületén és a csőfalban elfoglalt helyek szerint is különbözőek. A kb. 20 perces mért OIT értékek azt mutatják, hogy a 38 éve működő kiásott cső még megfelelő stabilitással bír. Az OIT értékek a külső felszínen 17 és 24 perc között vannak a kerület mentén. A belső felszínen a szórás 20 és 52 perc között van, olyan eloszlásban, hogy a szennyvízzel érintkező területen a legmagasabb az OIT érték.



5.3. ábra: OIT értékek a belső (piros) és a külső felületen (fekete)

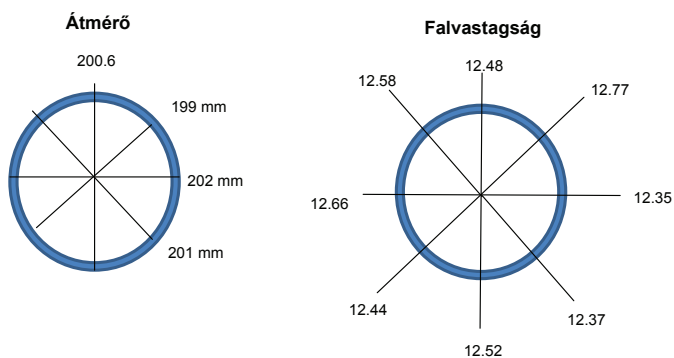
5.2. táblázat: A cső különböző pontjain vett minták OIT és viszkozitás (IV) értékei

Pozíció az óra járásának megfelelően	OIT 200°C-onm [min]			Viszkozitás (IV) [dl/g]		
	E	M	I	E	M	I
12	23	29	21	3	2,8	2,8
1.5	22	41	22	3	2,8	2,8
3	17	33	41	2,9	3	3
4.5	17	25	51	2,9	2,9	2,7
6	18	26	37	2,8	2,8	2,8
7.5	17	26	52	2,9	2,9	2,8
9	17	30	39	2,9	3,1	2,8
10.5	24	30	20	3,1	3	2,9

E = Külső felület, M = Csőfal közepe, I = Belső felület

### 5.1.5. Csőméret

Az átmérő és a falvastagság mérése előtt a cső felületeit megtisztították a szennyeződésektől. Az átmérőt 200,65 ± 1,25 mm-ben, a falvastagságot 12,52 ± 0,14 mm-ben határozták meg. Az óralap szerinti különböző pozíciókban mért falvastagságot az 5.4. ábra mutatja. Az értékek azt mutatják, hogy a falvastagság a kerület mentén 38 éves működés után még mindig eléggé egyenletes és ezért a szennyvíz áramlása által okozott kopás elhanyagolható.



5.4. ábra: A cső falvastagsága és átmérője különböző pontokon a kerület mentén

### 5.1.6. Cső összenyomódás

A cső átmérőjét különböző pontokon mérték, ahogy az 5.4. ábra mutatja. Mindössze 3 mm-es az az 1,5%-os összenyomódást mérték, ami kiváló beágyazási körülményeket jelent.

### 5.1.7. Hosszirányú zsugorodás

A hosszirányú zsugorodást egy 300 mm hosszúságú cső darabon határozták meg 120 perces hőntartással, 110 °C-on, szellőztetett kemencében.

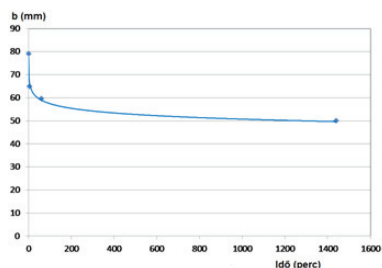
### 5.1.8. Maradék feszültségek

A maradék feszültségeket a 4.3.11. szakaszban leírtaknak megfelelően határozták meg. A csőszakaszból kivágott szegmens eltávolítása megindítja a csőszakasz gyors összeháródását, azaz a b (a jelzések közötti távolság) és a külső kerület, C csökken (5.3. táblázat), ami idővel lelassul, ahogy azt az 5.5. ábra a b érték alakulásával mutatja.

### 5.3. táblázat: A b és a C csökkenése a feszültség kioldása után

Idő <sup>1)</sup> [min]	A „b” értéke az idő függvényében [mm]	A kerület, C, értéke az idő függvényében [mm]
0	79,05	200,5
3	65,01	197,0
60	59,67	194,5
1440	50,12	190,6

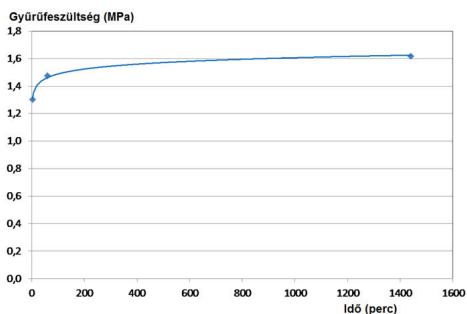
1) A cső szegmens eltávolításától eltelt idő.



5.5. ábra: A b időbeni csökkenése

A b és a C változásai igazolják, hogy a csőfalban még 38 éves működési élettartam után is vannak a gyártásból visszamaradt nyomófeszültségek. Jól ismert, hogy a belső feszültségek lassú repedésterjedést okozhatnak, ezért biztosítani kell, hogy a csövek ellenálljanak az ilyen gyűrű irányú feszültségeknek a 100 éves élettartam során.

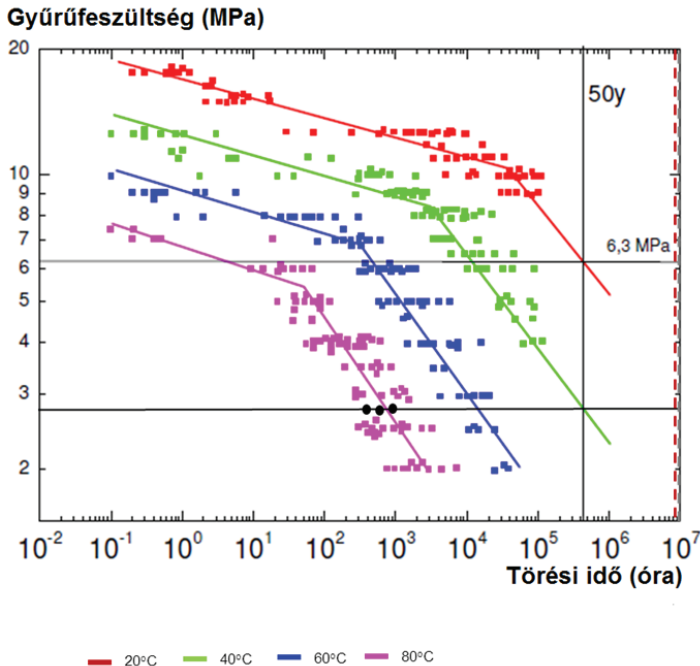
A PE tökéletes elasztikus viselkedését feltételezve, a maradék feszültségek becslése a 2.4. fejezetben megadott egyenlet alkalmazásával végezhető el. Ezért a rugalmassági nyúlási modulust az ISO 899-2:2003 szerint [32] 23°C-on, 24 órás időtartamra húzó kúszási vizsgálatokkal határozták meg. A számított nyomó gyűrűfeszültség értékeit 23°C-on az 5.6. ábra mutatja be. 24 óra (1440 perc) után a gyűrűfeszültség körülbelül 1,6 MPa értéket ér el, ami megfelel a szakirodalom adatainak.



5.6. ábra: A gyűrűzáró vizsgálatból számított nyomó gyűrűfeszültség

### 5.1.9. Nyomásvizsgálatok

A kiásott csöveken 80°C / 2,8 MPa értékekkel az ISO 1167-1:2006 [24] szerint hidrosztatikai nyomásvizsgálatokat végeztek. A csövek 417, 584 és 1034 óra után lassú repedésnövekedéssel hibásodtak meg, II típusú, rideg töréssel. Ahogy az 5.7. ábra mutatja, ezek a meghibásodási idők (fekete pontok) nagyon hasonlóak azokhoz, amiket az első generációs (PE 63) HDPE csöveknél publikáltak [9]. Érthető módon ezek az eredmények nem teszik lehetővé az élettartam előrejelzést a kiásott csöveknél, mert ezek nem felelnek meg az ISO 9080-ban [10] megkövetelt statisztikai adatállománynak. Azonban azt sugallják, hogy a 38 éves működés során a csőanyag fizikai tulajdonságai nem romlanak.



5.7. ábra: Hidrosztatikai nyomásvizsgálat eredményei az első generációs HDPE csőanyagból, és 3 tényleges eredmény a kiásott csövekből. Cső kód: F1 (fekete pontok 2,8 MPa-nál)

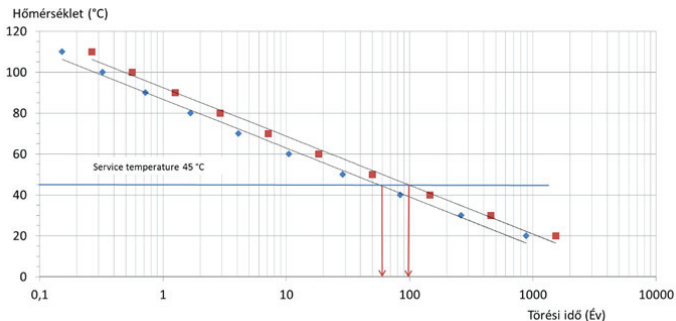
### 5.1.10. Maradék öregedési stabilitás

A hőregítést 100 és 120°C-on végezték a csövekből előkészített mintadarabokon, a 4.3.13. szakaszban leírtaknak megfelelően. A hőregítést azért végezték, hogy megbecsüljék a maradék hőoxidációs élettartamot. Az öregítési eredményeket az 5.4. táblázat tartalmazza.

### 5.4. táblázat: A gyorsított hőregítési vizsgálat eredményei

Öregítési hőmérséklet °C-ban	Meghibásodási idő, napokban
120°C	27
100°C	>205

Mivel a stabilizáció még megfelelő volt, amit a magas OIT értékek jeleztek, 27 napot vett igénybe, hogy a mintadarab 120°C-on törékennyé váljon. A 100°C-on öregített mintadarabon több mint 205 napon át nem jelentkezett törékenység. A lebomlási folyamat mechanizmusa tisztázott. A PE esetében az aktiválási energia, EA, 90 - 95 kJ/mol között van. Az Arrhenius görbéből levezethető, hogy a 45°C-os üzemi hőmérsékleten elméletileg hátra levő élettartam több, mint 50 év, ahogy az 5.8. ábra mutatja. A számításhoz 90 kJ/mol aktiválási energiát és az 5.4. táblázatból vett meghibásodási időt használták.



**5.8. ábra: Az élettartam becslése az öregítéssel 120°C-on (kék) és 100°C-on (piros) hőmérsékleten az Arrhenius egyenlet alkalmazásával**

## 5.2. Tömör falú PE csatornacsövek. Cső kódok: G1, G2 és G3

### 5.2.1. Anyag-jellemzés

#### 5.2.1.1. Natúr (belső) és fekete alapanyag a kétrétegű csövekből

A kétrétegű csövek natúr HDPE belső rétegből, és fekete, színezett külső rétegből állnak. A cső mérete 355 x 20,1 és 280 x 15,9 mm. Mindkét méret esetében a natúr belső réteg falvastagsága körülbelül 3 mm. Mindkét méret esetében a csövek anyaga PE80-as alapanyag. A natúr réteghez használt alapanyag tulajdonságai főleg azért érdekesek, mert ez érintkezik a szennyvízzel. A mért tulajdonságok azt sugallják, hogy ugyanazt az alapanyagot használták (lásd az 5.5. táblázatot). A polimerláncban a nagy mennyiségű záró C=C kettős kötés miatt valószínű, hogy a natúr gyanták króm katalizátorral készültek.

## 5.5. táblázat: A kétrétegű csövekből származó natúr alapanyag tulajdonságai

A kétrétegű csövekben levő natúr gyanta tulajdonságai	Mértékegység	Módszer	Cső 355 x 20.1 mm		Cső 280 x 15.9 mm	
			12. pozíció	6. pozíció	12. pozíció	6. pozíció
Belső viszkozitás (IV)	dl/g	ISO 1628	2.87	2.9	3.07	2.92
OIT (200°C)	min	EN 728	> 120	> 120	82,3	17.1
MFR (190°C/5 kg)	g/10 min	ISO 1133		0.48		0.47
MFR (190°C/21.6 kg)	g/10 min	ISO 1133		9.36		9.32
Folyási sebesség arány (FRR)				19.5		20
Olvadáspont <sup>1)</sup>	°C	ISO 11357-1		132		130
Olvadáshő <sup>1)</sup>	J/g	ISO 11357-1		205		194
Lánc záró C = C kötések						
(1/1000C)	%	LBI		1.24		1.22
Komonomer		LBI		C <sub>6</sub>		C <sub>6</sub>

### 5.2.1.2. Fekete alapanyagok az egy rétegű csövekből

A fekete csőanyagok tulajdonságait az 5.6. táblázat sorolja fel. Láthatóan két különböző anyagot használtak. A kétrétegű csövek fekete csőanyagának tulajdonságai megegyeznek egy modern, lépcsős reaktorban készült, harmadik generációs HDPE csőszálynak, míg az egyrétegű cső egy 2. generációs HDPE csőanyagból készült.

## 5.6. táblázat: A fekete, színezett gyanták tulajdonságai

A fekete színezett gyanták tulajdonságai	Mértékegység	Módszer	Fekete gyanta	Fekete gyanta Kétrétegű cső	
				355 x 20,1 mm	280 x 15,9 mm
Belső viszkozitás (IV)	dl/g	EN ISO 1628	2.6	3.1	3
OIT (200°C)	min	EN 728	53	> 120	> 120
MFR (190°C/5 kg)	g/10 min	ISO 1133	0.38	0.47	0.48
MFR (190°C/21.6 kg)	g/10 min	ISO 1133	8.9	9.4	9.3
Folyási sebesség arány (FRR)			23.5	20	19
Sűrűség	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183	0.955	0.958	0.958
Olvadáspont <sub>1)</sub> (2. felfűtés)	°C	EN ISO 11357-1	128	129	129
Olvadáshő (2. felfűtés)	J/g	EN ISO 11357-1	183	195	197
Korom	%	ISO 6964	2.1	2.2	1.9

### 5.2.2. OIT / belső viszkozitás

A kerület mentén a belső viszkozitás értékek (IV) mindkét csőméret natúr rétegeiben nagyon hasonlóak, és nem változnak jelentősen a mintavételi pontok között. Különösen a szennyvízzel érintkező területek mutatnak hasonló

IV értékeket, ami arra utal, hogy nincs kezdődő lebomlás. A nagyobb cső OIT értékei még mindig nagyon magasak, és eléggé egyenletesek a kerület mentén (5.7. táblázat). A csövek még jól védettek a hőoxidációs lebomlás ellen. Ez nem érvényes a kisebb átmérőjű kétrétegű csőre. Szemben a nagyobb csőmérettel, a kapott OIT értékek lényegesen alacsonyabbak, és nem egyenletesek a kerület mentén. Különösen a 6. mintavételi ponton, az OIT nagyságrendekkel kisebb, mint az összes többi mintavételi ponton. Ezt a szennyvíz eltérő folyási sebessége, és/vagy hőmérséklete okozhatja. A mechanikai integritásra azonban nincs hatással, és ezek az értékek még jók. Mivel mindkét csőméretet egymáshoz közeli helyszínen ásták ki, nyilvánvalóan tűnik, hogy a szennyvíz összetétele azonos volt.

Az OIT és IV értékeket a kerület mentén, az egyrétegű cső falának különböző rétegeiből (5.7. táblázat) határozták meg. A cső külső felszínén mért OIT értékek hasonlóak a csőfal közepéből nyert értékekhez, míg a cső belső felszínén mért értékek lényegesen alacsonyabbak, különösen az óramutató járása szerinti 4,5 és 6. pozíciókban.

### 5.7. táblázat: Belső viszkozitás (IV) és OIT értékek a csövek kerülete mentén

Mintavételi pont	Kétrétegű cső Méret: 355 x 20,1 mm		Kétrétegű cső Méret: 280 x 15,9 mm		Egyrétegű cső Méret: 280 x 15,9 mm					
	OIT 200°C-on [min.]	IV [dl/g]	OIT 200°C-on [min.]	IV [dl/g]	OIT 200°C-on [min]			IV [dl/g]		
	I	I	I	I	E	M	I	E	M	I
12	> 120	2.9	82	3	55	57	37	2.6	2.6	2.6
1.5	> 120	2.85	86	3	55	57	40	2.8	2.7	2.5
3	> 120	2.8	68.5	2.9	54	56	38	2.4	2.4	2.5
4.5	117	2.9	47	2.9	51	50	26	2.4	2.5	2.5
6	> 120	2.9	17	2.9	44	45	24	2.6	2.6	2.6
7.5	> 120	2.85	60	3	49	49	32	2.6	2.6	2.6
9	> 120	2.9	55.5	3	52	53	35	2.6	2.6	2.6
10.5	> 120	2.9	70	3.1	55	55	35	2.6	2.5	2.4

E = Külső felszín  
M = Csőfal közepe  
I = Belső felület

### 5.2.3. FT-IR spektroszkópia

Az FT-IR spektrumok nem mutatják az oxidálódott PE láncok karbonil abszorpciós tulajdonságait az 1720 cm<sup>-1</sup> hullámszámon (lásd az 5.2. ábrát). Ez nyilvánvaló a mért OIT értékek ismeretében, amelyek igazolják a hőoxidációs lebomlás elleni megfelelő védelmet.

### 5.2.4. Csőméretek

Az átmérő és a falvastagság meghatározása előtt a csövek felszínét mindig megtisztították a szennyeződésektől. A mért átmérőket és falvastagságokat az 5.8. táblázat sorolja fel. A falvastagságok meghaladják a megkövetelt 20,1 vagy 15,9 mm-es szabványos értékeket. Az eltérések a kerület mentén kicsik.



## 5.8. táblázat: A kiásott csövek átmérője és falvastagsága. Cső kódok: G1, G2 és G3

Falszerkezet	Cső kód	Méret * (mm)	Átmérő (mm)	Falvastagság (mm)
Koextrudált cső	G1	355x20.1	355 ± 1	21.18 ± 0.13
Koextrudált cső	G2	280x15.9	280 ± 1	16.81 ± 0.37
Tömör falú cső	G3	280x15.9	281 ± 2	16.48 ± 0.24

\*) a csövek szignálása szerint

### 5.2.5. Összenyomódás

A csőátmérőt különböző pontokon mérték, ahogy az 5.9. táblázat mutatja. A kétrétegű csöveknél 2 mm-es, azaz 0,6-0,7%-os, az egyrétegű csöveknél 4 mm-es, azaz 1,4%-os maximális összenyomódást mértek.

## 5.9. táblázat: A kiásott csövek összenyomódása. Cső kódok: G1, G2 és G3

Szerkezet	Cső kód	Méret (mm)	Falvastagság (mm)
Koextrudált cső	G1	355x20.1	0.6
Koextrudált cső	G2	280x15.9	0.7
Egyrétegű cső	G3	280x15.9	1.4

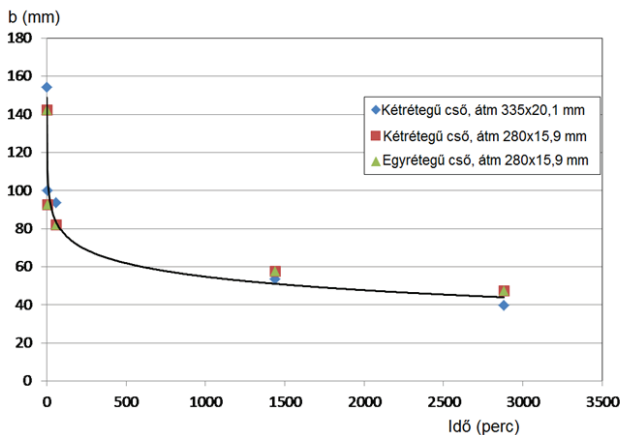
### 5.2.6. Maradó feszültségek

A maradó feszültségeket a 4.3.11. szakaszban leírtak szerint határozták meg. A csőszakasz egy szegmensének kivágása a csőszakasz gyors gyűrűzáródását, vagyis a „b” (a két jelzés közötti távolság) rövidülését okozza. A szegmens záródása idővel lassul, lásd az 5.10 táblázatot és az 5.9. ábrát.

## 5.10. táblázat: A „b” távolság rövidülése a feszültség feloldása után

Idő <sup>1)</sup> [min]	Dupla falú cső		Egyrétegű cső
	Átmérő 355 x 20,1 mm b mm-ben	Átmérő 280 x 15,9 mm b mm-ben	Átmérő 280 x 15,9 mm b mm-ben
0,1	146,42	146,42	142,47
3	100,2	99,76	92,75
60	93,84	87,57	82,25
1440	53,6	64,32	57,73
2880	39,7	54,89	47,4

1) A cső szegmens eltávolításától eltelt idő.



5.9. ábra: b rövidülése az idő függvényében

A 'b' változásai megmutatják, hogy a csőfalban még 16-18 éves működési élettartam után is van maradó nyomófeszültség. A nyomó gyűrűfeszültséget 23°C-ra 470 MPa kúszási moduluszal számították. 24 óra (1440 perc) után a 280 x 15,9 mm méretű kiásott csövek gyűrűfeszültségei 4,1 és 4,2 MPa, a 335x20,1 mm méretű kiásott cső gyűrűfeszültsége pedig 2,0 MPa volt. Ez lehetségesnek tűnik, hiszen a gyártás során a nagyobb méretű csövekben nagyobb feszültség relaxáció megy végbe.

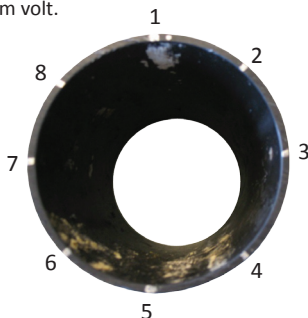
## 5.3. Tömör falú 110 x 3.8 mm-es PP csatornacsövek. Cső kód: N1

### 5.3.1. Anyag-jellemzés

Az egyrétegű tömör falú csövek 6,81 súly%-os etilén tartalmú PP-B-ből készültek. Az MFR (230°C és 2,16 kg) 0,64 g/10 perc volt a külső felszínen, és 0,61 g/10 perc a belső felszínen. A külső felszín olvadási hőmérséklete 161,5°C, a kristályosodási hőmérséklete 111,3°C volt, a belső felszín olvadási hőmérséklete 160,6°C, a kristályosodási hőmérséklete 112,2°C volt.

### 5.3.2. Csőméretek

Az átmérő és a falvastagság meghatározása előtt a csövek felszínét megtisztították a szennyeződésektől. A falvastagság mérési pontjait az 5.10. ábra mutatja. A csőátmérőket az 1. és 5. pont között mérték: a belső átmérő 103,57 mm, a külső átmérő 111,44 mm volt.



5.10. ábra: A falvastagság mérési pontjai

A cső különböző pontjain mért falvastagságokat az 5.11. táblázat tartalmazza.

### 5.11. táblázat: A fekete színű PP cső falvastagsága a különböző pozíciókban

Falvastagság, mm	
1	4.10
2	4.11
3	4.24
4	4.08
5	4.03
6	4.07
7	4.01
8	4.02

A falvastagságok alapján úgy tűnik, hogy a falvastagság eltérése nincs kapcsolatban a használatból eredő kopással, mivel a 4. és 5. mérési pontokban a csőfal vastagabb (4,08 mm és 4,03 mm), mint a szemben lévő 7. és 8. pontoknál (ahol 4,01 mm és 4,02 mm). Úgy tűnik, hogy a szennyeződés leginkább a 4. és 6. mérési pont között van, ezért, ha a kopás alakult volna ki a használat miatt, a csőnek a 7. és 8. pontok alatti pozíciókban vastagabbnak kellene lenni. Nyilvánvalóan az extrudálási eljárás okozta az falvastagság eltéréseket.

### 5.3.3. Cső összenyomódás

A csövek kiásás után mért összenyomódása 1,6 – 2,0%.

### 5.3.4. OIT és adalékanyag elemzés

Az OIT (210°C/O<sub>2</sub>) a külső felszínen 7 perc, a belső felszínen 3 perc. Az adalékanyag elemzés (HPLC) alapján csak Irganox 1010 volt jelen, a koncentráció a külső felszíni rétegben 1135 ppm, a belső felszíni rétegben 850 ppm volt. A gázkromatográfia alapján 2392 ppm DSTSP volt a külső, és 2429 ppm a belső felszíni rétegben.

### 5.3.5. Gyűrűmerevség és gyűrűrugalmasság

A gyűrűmerevség 5,7 kN/m<sup>2</sup>, a gyűrűrugalmasság pedig 36,4% volt.

### 5.3.6. Ejtősúlyos vizsgálat

Az ejtősúlyos vizsgálatban a legnagyobb magasság 2820 mm volt 8 kg-mal, - 10°C-on.

### 5.3.7. Belső nyomás vizsgálatok

A 95°C / 2,5 MPa paraméterekkel végzett belső nyomás vizsgálatok eredményeit az 5.12. táblázat tartalmazza.

## 5.12. táblázat: Belső hidrosztatikus vizsgálatok, 95°C / 2,5 MPa

Minta száma	Átlagos külső- átmérő mm	Legkisebb falvastagság mm	Gyűrűfeszül- ség MPa	Belső nyomás MPa	Törési idő óra	Törési kép
1	110,1	3,95	2,5	0,186	1260	Rideg
2	110,1	3,95	2,5	0,186	2800	Megszakítva
3	110,1	3,95	2,5	0,186	2800	Megszakítva

Cső méret szignálás szerint: átmérő 110 x 3,8 mm,

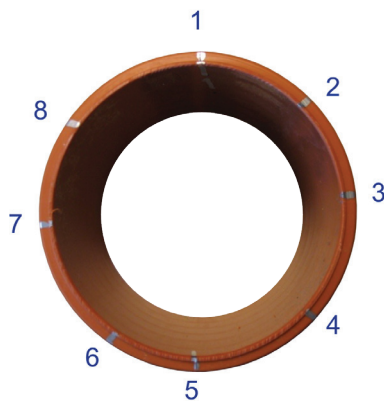
## 5.4. Szerkezeti falú PP-B csatornacsövek, DN/OD 160 mm. Cső kód: N2

### 5.4.1. Anyag-jellemzés

A csövek külső, geometrikus korrugált rétege 8,85 súly%, a sima felszínű belső rétege pedig 9,22 súly% etiléntartalmú PP-B-ből készült. A külső réteg anyagának MFR (230°C / 2,16 kg) értéke 0,39, a belső rétege pedig 0,47 g/10 min volt. A külső réteg olvadási hőmérséklete 159,2°C, a kristályosodási hőmérséklete 113,5°C, míg a belső réteg olvadási hőmérséklete 159,8°C, és a kristályosodási hőmérséklete 112,9°C volt.

### 5.4.2. Csőméretek

Az átmérő és a falvastagság mérése előtt a cső felszínét megtisztították a szennyeződésektől. A falvastagság mérési pontjait az 5.11. ábra mutatja. A csőátmérőket az 1. és 5. mérési pont között mérték (hasonlóan az 5.10. ábrához), a belső átmérő 140,37 mm, a külső átmérő 160,21 mm volt.



5.11. ábra Falvastagság mérési pontok

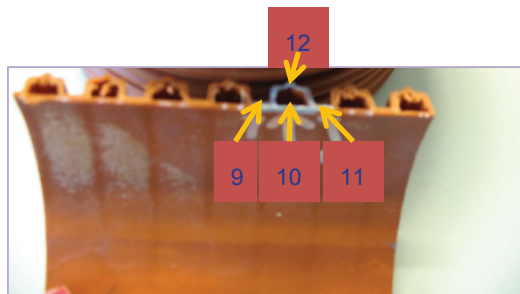
A cső különböző pozíciójában mért falvastagságokat az 5.13. táblázat tartalmazza.

### 5.13. táblázat: A köpeny (belső) cső falvastagsága különböző pontokon

Falvastagság mm	
1	2,15
2	2,55
3	2,43
4	2,27
5	2,63
6	2,60
7	2,25
8	2,42

Mint az 5.11. ábrán látható, a belső felszínen nincsenek használatra utaló nyomok. Ugyanezt mutatja az 5.13. táblázat, nincs világos falvastagság csökkenés.

A profil külső magassága 9,77 mm, a belső magassága 6,82 mm, a falvastagság pedig 1,75 mm volt (12. pont). A bordák falvastagsága 2,18 mm (9. pont) és 2,20 mm (11. pont), a bordán belül a belső cső falvastagsága 1,20 mm (10. pont). A mérési pontokat az 5.12. ábra mutatja.



5.12. ábra: A cső falszerkezet vastagságának mérési pontjai a profil mentén

### 5.4.3. OIT és adalékanyag elemzés

A külső réteg anyagának OIT-je (210°C/O<sub>2</sub>) 6, a belső rétege 5 perc. Az adalékanyag elemzés (HPLC) alapján Irganox 1010 van a belső (1258 ppm), és a külső rétegben (1300 ppm) egyaránt, de Irgafos 168 csak a belső rétegben (106 ppm) található. A gáz-kromatográfia alapján 2450 ppm DSTDP (tioészter kiegészítő antioxidáns) stabilizátor van a külső, és 2449 ppm a belső rétegben.

### 5.4.4. Cső összenyomódás

A csövek kiásás után mért összenyomódása 0,4 – 2,1%.

### 5.4.5. Gyűrűmerevség és gyűrűrugalmasság

A gyűrűmerevség 7,9 kN/m<sup>2</sup>, a gyűrűrugalmasság 43,8% volt.

## 5.4.6. Ejtősúlyos vizsgálat

Az ejtősúlyos vizsgálatban a legnagyobb magasság 984 mm volt 8 kg-mal, -10°C-on.

## 5.5. PP-B szerkezeti falú csatornacsövek, DN/OD 200 mm. Cső kód: D1

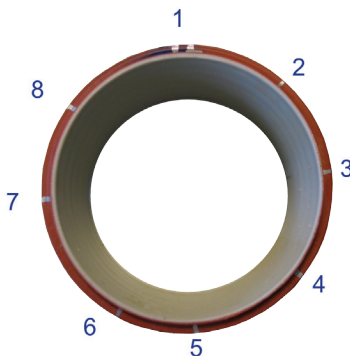
### 5.5.1. Anyag-jellemzés

A csövek külső rétege 4,48 súly%, a belső rétege pedig 12,65 súly% etiléntartalmú PP-B-ből készült. A külső réteg MFR (230°C és 2,16 kg) értéke 0,51, a belső rétegé pedig 0,34 g/10 min volt.

A külső réteg olvadási hőmérséklete 167,7°C, a kristályosodási hőmérséklete 128,1°C, a belső réteg olvadási hőmérséklete 165,7°C, a kristályosodási hőmérséklete 122,5°C volt.

### 5.5.2. Csőméretek

Az átmérő és a falvastagság mérése előtt a cső felszínét megtisztították a szennyeződésektől. A falvastagság mérési pontjait az 5.13. ábra mutatja. A csőátmérőket az 1. és 5. pont között mérték: a belső átmérő 103,57 mm, a külső átmérő 111,44 mm volt.



5.13. ábra: A cső falvastagságának mérési pontjai. Cső kód: D1

A cső különböző pontjain mért falvastagságokat az 5.14. táblázat tartalmazza.

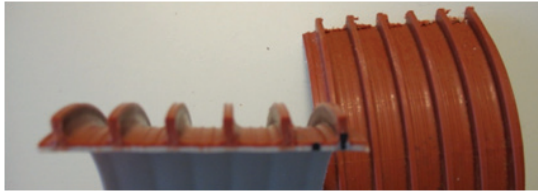
### 5.14. táblázat: Szerkezeti falú csövek falvastagságai különböző pontokon. Cső kód: D1

Falvastagság mm	
1	3,90
2	3,76
3	3,57
4	3,46
5	3,92
6	3,88
7	3,73
8	3,91

A szerkezeti falú belső felszínén nincsenek használatra utaló nyomok, és ezt a falvastagság mérési adatai is megerősítik. Nincs falvastagság csökkenés az adott csőszakaszban.

A szerkezeti fal (borda) vastagsága 3,32 mm, a magassága 11,33 mm, a bordák közötti falvastagság 3,41 mm volt.

A mérési pontokat az 5.12. ábra mutatja. A csőfelszín szerkezetét az 5.14. ábra mutatja.



**5.14. ábra: A szerkezeti falú csövek bordái. Cső kód: D1**

### 5.5.3. OIT és adalékanyag elemzés

A külső réteg OIT (210°C/O<sub>2</sub>) értéke 17, a belső rétege 25 perc volt, ami lényegesen magasabb, mint amit az N1 és N2 mintáknál mértek. Az adalékanyag elemzés (HPLC) alapján Irganox 1010, Irgafos 168 és Irgafos 186OX van a külső, és a belső rétegben is. A külső rétegben 1708 ppm Irganox 1010; 1249 ppm Irgafos 168 és 309 ppm Irgafos 186OX volt. A belső rétegben pedig 3183 ppm Irganox 1010, 1004 ppm Irgafos 168 és 574 ppm Irgafos 186OX volt. A gáz-kromatográfia alapján csak a külső rétegben van DSTDP stabilizátor 1938 ppm koncentrációban.

### 5.5.4. Gyűrűmerevség és gyűrűrugalmasság

A gyűrűmerevség 10,4 kN/m<sup>2</sup>, a gyűrűrugalmasság 45,1%.

### 5.5.5. Ejtősúlyos vizsgálat

Az ejtősúlyos vizsgálatban a legnagyobb magasság 3325 mm volt 10 kg-mal, - 10°C-on.

## 5.6. A kiásott PP csövek vizsgálatainak összefoglalása

A használt anyagok 4 – 13 súly% etilén tartalmú, több fázisú PP kopolimerek. A szerkezeti falú csövekhez használt anyagok erősebben nukleáltak, mint a többi anyag. A kiásott csövekben talált maradék antioxidáns tartalom kiugróan magas, ez azt jelzi, hogy az idő múlásával nem következett be nagyobb veszteség a stabilizációs adalékanyagok mennyiségében. Ezt a különböző rétegekben mért OIT értékek is jelzik. A mechanikai vizsgálatok azt mutatják, hogy az N2 szerkezeti falú cső (SN8) és az N1 tömör falú cső (S6,3 kN/m<sup>2</sup>) gyűrűmerevsége a megkövetelt szint alatt van, de ez a méretezéssel és az alacsony merevségű anyagok használatával van összefüggésben, míg a D1 szerkezeti falú cső merevsége S10 kN/m<sup>2</sup> fölött van, a gyűrűrugalmasság az összes csőnél 30% fölött van. A csövek ejtősúlyos vizsgálata azt mutatja, hogy az elvárt ütési teljesítményt alacsony hőmérsékleteken is hozzák.

Minden vizsgált cső megfelelt az 1000 órás belső hidrosztatikai nyomásvizsgálaton 95°C-on, 2,5 MPa gyűrűfeszültséggel.

Ez alapján azt mondhatjuk, hogy a használt anyagok még mindig megfelelnek a nyomás nélküli csatornacsövekre vonatkozó szabványoknak.

A PP csövekre vonatkozó összes vizsgálati eredményt az 5.15. táblázat foglalja össze.

## 5.15. táblázat: A PP-B csövek vizsgálati eredményeinek összefoglalása

		Mértékegység	Szerkezeti fal DN 160 mm Cső kód: N2		Tömör fal DN 110 mm Cső kód: N1		Szerkezeti fal DN 200 mm Cső kód: D1	
			Külső réteg	Belső réteg	Külső réteg	Belső réteg	Külső réteg	Belső réteg
DSC	Olvadás-pont	°C	159,2	159,8	161,5	160,6	167,7	165,7
	Kristályosodás		113,5	112,9	111,3	112,2	128,1	122,5
OIT	210°C / O <sup>2</sup>	perc	6	5	7	3	17	25
MFR	230°C / 2,16kg	g/10min	0,39	0,47	0,64	0,61	0,51	0,34
HPLC	AO 1	ppm	1300	1258	1135	850	1708	3183
	AO 2	ppm	106	X	X	X	1249	1004
	AO 3	ppm	X	X	X	X	309	574
Gáz-kromatográfia	DSTDP	ppm	2450	2449	2392	2429	1938	X
Spektroszkópia	IR		PP-B (8,85 súly-%) Fe2O3	PP-B (9,22súly-%) Fe2O3	PP-B (6,81 súly-%) Korom		PP-B (4,48 súly-%)	PP-B (12,65 súly-%)
Mechanikai jellemzők	Gyűrűmevség	kN/m <sup>2</sup>	7,9		5,7		10,1	
	Gyűrűrugalmasság	%	43,8		36,4		45,1	
	Ejtősúlyos vizsgálat -10°C / H50	mm	984 (8kg)		2820 (8kg)		3325 (10kg)	

## 5.7. Záró megjegyzések

A minősített poliolefin anyagokból megfelelően extrudált, és jó kivitelezési gyakorlat szerint beépített csövek esetében, az 5 feltárt PE és PP-B csővel végzett vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a poliolefin csövek alkalmasak a 100 éves élettartam elérésére.

Még az első generációs PE csövek esetében is nyilvánvaló, hogy 38 éves működés után várható a teljes 100 éves élettartam elérése. A PP-B anyagok mechanikai tulajdonságai és stabilizáltsága a vizsgált 23 éves működési ideig nem mutatnak lényeges romlást.

Javasolt, hogy az 1.2. fejezetben adott feltételeket és következtetéseket tartsák tiszteletben.



## Mellékletek: A projekt keretében végzett vizsgálatok vizsgálati jelentései

1. SP report „Stress relaxation tests”, Sven-Erik Sallberg, SP Structural and Solid Mechanics, ref. PX25917B, 2013-04-30
2. SP report „Finite element analysis of double walled pipe- plastic material model”, Daniel Vennetti, SP Structural and Solid Mechanics”, ref. PX26221-1, 2013-04-17
3. SP report „Determination of resistance to internal pressure test on old excavated PP-pipes according to ISO1167-1: 2006, Lars-Gosta Petersson, SP Structural and Solid Mechanics, ref. FX21736A and FX21736B, Dec 2012.
4. TGM study „Literaturrecherche über die Inhaltstoffe von Abwasser und Untersuchung bzw. Recherche über die Temperaturprofile des häuslichen Abwassers”, Dipl. Ing Edith Grüner, TGM Report VA KU 24585, (2013).
5. SP report „Stress relaxation tests - additional measurements”, Sven-Erik Sallberg, Structural and Solid Mechanics, ref. 4P02438, 2014-04-03

*Megjegyzés: A mellékletek kérésre a TEPPFA eseti, pozitív döntése alapján érhetők el.*

## Hivatkozások

1. EN 476:2011-04, "General requirements for components used in drains and sewers "
2. ISO 8772:2006, "Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Polyethylene (PE)"
3. ISO 8773:2006, "Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Polypropylene (PP)"
4. EN 12666-1:2011-11, "Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Polyethylene (PE) - Part 1: Specifications for pipes, fittings and the system"
5. EN 1852-1:2009-07, "Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Polypropylene (PP) - Part 1: Specifications for pipes and fittings and the system"
6. EN 13476-3:2007-05, "Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Structured-wall piping systems of non-plasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) - Part 3: Specifications for pipes and fittings with smooth internal and profiled external surface and the system, Type B
7. F. Gugumus, "Thermo-oxidative degradation of polyolefins in the solid state", Polymer Degradation and Stability. 1996, 52, 131 ff
8. J.D. Peterson, S. Vyazovkin, C. A. Wight, "Kinetics of the thermal and thermo-oxidative degradation of polystyrene, polyethylene and polypropylene", Macromol. Chem. Phys. 2001, 202, 775–784
9. E. Gaube, Kunststoffe, 49 (1959)
10. ISO 9080:2012-10 "Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation"
11. ISO 3213: 2009-09, Polypropylene (PP) pipes – Effect on time and temperature on the expected strength
12. ISO 15494:2003, Plastics piping systems for industrial applications -- Polybutene (PB), polyethylene (PE) and polypropylene (PP) – Specifications for components and the system - Metric series
13. DIN 8075:2011-12, Polyethylene (PE) pipes: General quality requirements, testing
14. Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal, by Lars-Eric Janson, Stockholm 2003, 4th edition
15. Design of Buried Thermoplastic Pipes, Results of a European research project by APME and TEPPFA, March 1999
16. Structural integrity of PE gas/water pipes of the first generation, by Frans Scholten et. al.
17. Plastic pipes – how long can they last, L.E. Janson, report no 4 KP Council, (1996).
18. Prüfmethoden zur Ermittlung des Verhaltens von Polyolefinen bei der Einwirkung von Chemikalien, B. Kempe, Z. Werkstofftech. 15, 157-172 (1984).
19. EN 13476-2:2007-05 "Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage – Structured-wall piping systems of non-plasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) - Part 2: Specifications for pipes and fittings with smooth internal and external surface and the system, Type A
20. DIN 8078, Polypropylene (PP) pipes - PP-H, PP-B, PP-R, PP-RCT - General quality requirements and testing
21. CEN/TR 1046, Thermoplastics piping and ducting systems - Systems outside building structures for the conveyance of water or sewage - Practices for underground installation
22. CEN/TS 15223, Plastics piping systems - Validated design parameters of buried thermoplastics piping systems
23. "Durability testing for 100 year lifetime for buried non-pressure plastic pipes", G. Bergström, S. Nilsson, K.Thörnblom, C.-G. Ek, H. Herbst, A. Stenström, Plastics Pipes XIII, Washington DC, 1-5 October 2006.
24. ISO 1167-1: 2006, Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids - Determination of the resistance to internal pressure -Part 1: General method
25. ISO 1133, Plastics – Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics
26. ISO 1628-3: 2010, Plastics - Determination of the viscosity of polymers in dilute solution using capillary viscometers - Part 1: General principles
27. ISO 16014-1, Plastics -- Determination of average molecular mass and molecular mass distribution of polymers using size-exclusion chromatography -- Part 1: General principles
28. ISO 11357-1: 2010, Plastics -- Differential scanning calorimetry (DSC) -- Part 1: General principles
29. ISO 16770: 2004, Plastics -- Determination of environmental stress cracking (ESC) of polyethylene -- Full-notch creep test (FNCT)
30. ISO 11357-6, Plastics – differential scanning calorimetry (DSC) – Part 6: Determination of oxidation induction time (Isothermal OIT) and oxidation temperature (Dynamic OIT)
31. EN 743: 1994, Plastics piping and ducting systems. Thermoplastics pipes. Determination of the longitudinal reversion
32. ISO 899-2: 2003, Plastics -- Determination of creep behaviour -- Part 2: Flexural creep by three-point loading



MCsSz székhely: 1036, Budapest, Lajos utca 74 - 76. sz.