

Декември 2014 г.



Европейска асоциация на производителите на
пластмасови тръби и фитинги

**100 години експлоатационен живот на полипропиленовите
и полиетиленовите гравитачно-канализационни тръби**

Проект на TEPPFA в сътрудничество с Borealis и LyondellBasell

Обобщителен технически доклад

(въз основа на извлечения от пълния технически доклад)

Членове на Проектния екип:

Тийм Майеринг

Ръководител на проекта, Teppfa

Жанет Мулдер

Wavin

Гюнтер Драйлинг

Borealis

Хайнц Фогт

LyondellBasell

Рецензент на Проекта:

Проф. Хайнц Драгаун, TGM

*Докладът е собственост на TEPPFA, Borealis и
LyondellBasell. Резултатите, пълният доклад или
извлечения от доклада могат да се публикуват само
с разрешението и писменото съгласие на
партньорите по проекта.*

Предвиждане за 100-годишен експлоатационен живот на полиолефиновите гравитачно-канализационни системи

- обобщение на проучване [1] проведено от Terrpfa в сътрудничество с Borealis и LyondellBasell

Тийм Майеринг¹, Ж.Мулдер-Гроотоонк², Г.Драйлинг³, Х.Фогт⁴

1 Terrpfa, Брюксел, Белгия

2 Wavin Technology & Innovation, Дедемсваарт, Нидерландия

3 Borealis, Виена, Австрия

4 LyondellBasell, Франкфурт, Германия

РЕЗЮМЕ

Събрани са много материали относно предвижданията за експлоатационния живот на пластмасовите тръбни системи с напорно приложение, но за безнапорното им приложение в канализационни и отводнителни системи липсва научен подход, чрез който да се предвиди експлоатационния им живот. Настоящото проучване цели да осигури достатъчно валидирани данни, за да може да се декларира очаквана продължителност на експлоатацията им от поне 100 години за полиолефиновите (полиетилен и полипропилен) канализационни тръби, произведени съгласно EN 1852-1 [2], EN 12666-1 [3] и тръби тип В по EN 13476-3 [4].

За да се демонстрират дълготрайните експлоатационни качества на канализационните тръби от PE и PP-B, както с плътна, така и със сложно структурирана конструкция на стената, бяха изследвани техния термично-окислителен разпад, максимално допустимо напрежение, дългосрочно поведение при постоянен опън и влиянието на нечистотите и температурата. За проучването са използвани неупотребявани материали, но също така бяха включени и засилено изследвани изкопани тръби, експлоатирани в продължение на 38 години.

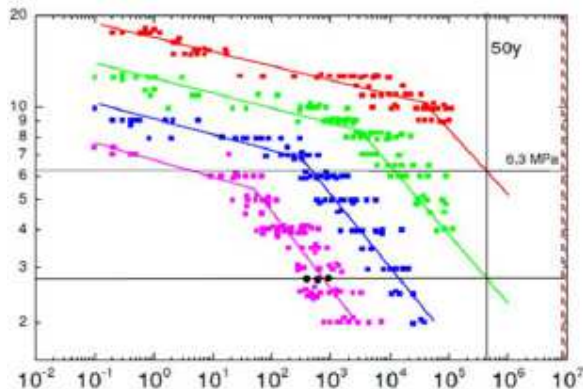
Проучването показва, че експлоатационният живот на полиолефиновите канализационни системи е поне сто години, ако материалите, продуктите и монтажните практики отговарят на съответните изисквания (за подробности, виж точка 4 Заключение)

Проектът е независимо валидиран от проф.Х.Драгаун, от SV für Polymertechnologie, Австрия.

1. УВОД

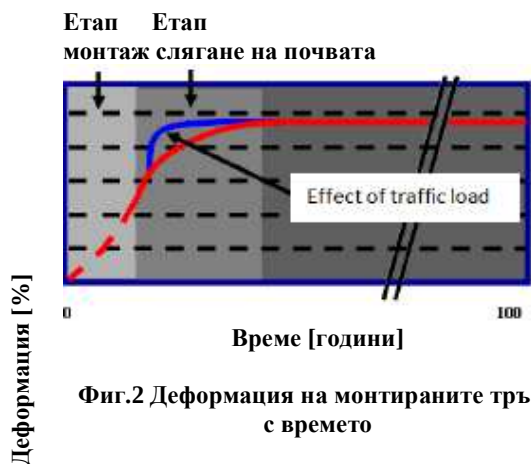
Събрани са много материали за предвижданата продължителност за експлоатацията на пластмасовите тръбни системи с напорно приложение, където се упражнява постоянно напрежение върху стените на тръбите. Хидростатичните изпитвания при различни температури ни позволяват, чрез екстраполации по Арениус, да изчислим надеждно приблизителната стойност на очаквания експлоатационен живот при конкретно налягане и температури (Фиг.1).

Тангенциално напрежение, МПа



Време до разрушаване в часове

Фиг.1 Предвиждана продължителност за експлоатацията чрез хидростатични изпитвания



При приложения в канализационни и отводнителни системи, където тръбите се монтират и работят без вътрешно налягане, действат постоянни сили на деформация и вследствие на това се създава постоянно натоварване от опън (Фиг.2). Също така, за такива приложения има много литература за проведени научни изследвания относно експлоатационните качества на полиолефиновите тръби [1], но няма научен подход за оценяване на експлоатационния живот на тези тръби и материали при приложението им в безнапорни системи, като и досега не са определени подходящи методи за тяхното изпитване. Ето защо, в действащите международни продуктови стандарти за безнапорни канализационни тръби произведени от РЕ или РР не се споменава нищо за предвиждания експлоатационен живот на тези тръби.

В ежедневната практика става все по-важно да се осигурят по-точни доказателства за предвижданата продължителност на експлоатация.

Проучването си поставя за цел да осигури достатъчно проверени данни, за да може да се декларира поне 100 години експлоатационен живот на полиолефиновите (РЕ и РР) канализационни тръби. Проучването обхваща РЕ и РР тръби, произведени съгласно EN 1852-1 [2], EN 12666-1 [3] и тръби тип В по EN 13476-3 [4].

Гранични условия

Изследванията и заключенията са направени въз основа на следните предположения:

- Тръбите да са произведени в съответствие с приетото високо ниво на производствени практики и да отговарят на изискванията на Европейските стандарти за продукти и системи (EN 1852 за РР, EN 12666 за РЕ и EN 13476 за РЕ и РР тръби със сложно структурирана конструкция на стената). Изпитването за 30% напречна гъвкавост заедно с изпитването на ударна жилавост, така както са описани в стандартите, са подходящи и избирателни изпитвания за избягване на прекомерно високите струпвания на напрежение и лошите заваръчни линии между 2-та слоя на тръбите със сложно структурирана стена, тип В.
- Анализът и предвижданията са направени само въз основа на използването на неупотребявани материали.
- Видоизменени материали и материали с минерален пълнеж не са обхванати в доклада.

2. ПОДХОД

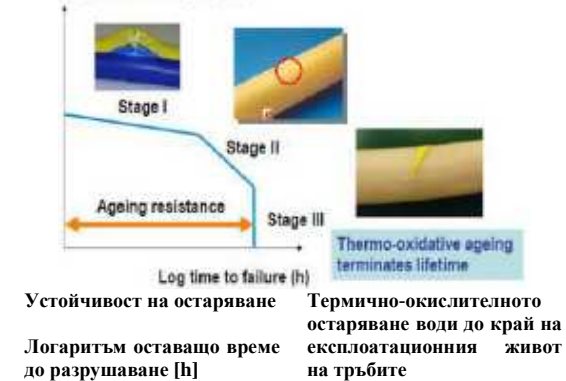
За да се демонстрират дълготрайните експлоатационни качества на канализационните тръби от РЕ и РР-В, както с плътна, така и със сложно структурирана конструкция на стената, се изследваха следните показатели:

а. Термично-окислителен разпад и допустими напрежения

Термично-окислителен разпад

За постигането на 100-годишен експлоатационен живот трябва да се докаже, че безнапорните тръби издържат на преждевременно разрушаване поради чупливост, причинявано при термично-окислителен разпад. За да се докаже това, трябва да се предложи изпитателен метод и резултати за материалите, използвани за изследваните тръби.

Логаритъм от приложено усилие – $\log \sigma$ (MPa)



Фиг. 3 Поведение на РЕ тръбите при хидростатично налягане

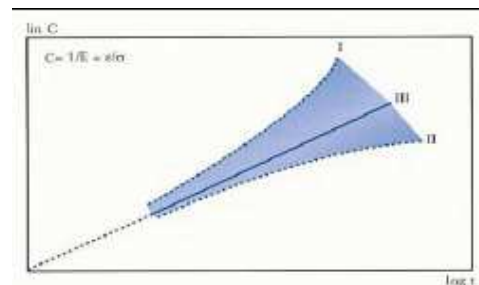
Максимално допустими напрежения

Смолите от които са направени тръбите трябва да отговарят на основните изисквания, така както са определени в продуктите стандарти, за да се покаже устойчивостта им на бавно пълзящи пукнатини. С проверяването на това се доказва, че материалът отговаря на референтните граници, посочени в ISO15494 [5].

Максимално допустимите напрежения в безнапорни тръбопроводи за гарантиране на 100-годишен експлоатационен живот, особено за тръбите със сложно структурирана конструкция на стената, се взимат от референтните граници при 23°C, 30°C и 45°C екстраполирани за 100 години.

б. Дългосрочно поведение при постоянен опън

Дългосрочното поведение при натоварване с постоянен опън на безнапорните канализационни тръбопроводи се анализира чрез изпитвания на релаксация, измерващо модул на релаксация като функция на времето на натоварване. Изпитванията на релаксация са оценени въз основа на 3 възможни основни форми на кривата на релаксация (съответствие) (виж фигура 4) съгласно определението на Янсон [6]. Данните са използвани за изчисляване на очакваните дългосрочни напрежения чрез екстраполиране за 100 години. Получените стойности трябва да са по-ниски от допустимите напрежения, съгласно определението дадено в точка 2.а. за да се избегне риска от разрушаване на тръбата при постоянна дълготрайна деформация. Тези изпитвания са проведени с тръби от неупотребяван материал и с изкопани тръби (виж точка d.)



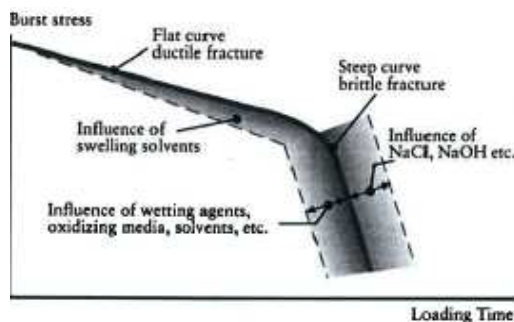
Фиг. 4 Криви на съответствието на Янсон

Постоянният товар упражняван по време на изпитването е 15%, което е много над максимално допустимото натоварване за 8% деформация, съгласно посоченото в изискванията за монтаж [7].

в. Влияние на нечистотите и температурата

EN 476 [8] допуска продължителна температура на отвеждащия поток 45°C за диаметри ≤ 200 mm и 35°C за диаметри > 200 mm.

В този доклад се оценява поведението при продължителна максимална температура 45°C. Въпреки това е проведено проучване за да се установи доколко тези стойности отговарят на действителността.



Продължителност на упражнявания товар

Забележка: Диаметрите ≤ 200 mm се използват най-често в сградни връзки, докато диаметрите > 200 mm се използват в канализационната мрежа, където на практика температурата е дори по-ниска.

Фиг. 5 Влияние на химикалите

Burst stress – разрушаващо напрежение

Flat curve ductile fracture – плавна крива на еластичното разрушение

Influence of swelling solvents – влияние на набухватели

Steep curve brittle fracture - стръмна крива на разрушението поради чупливост

Influence of NaCl, NaOH etc. - влияние на NaCl, NaOH и др.

Influence of wetting agents, oxidizing media, solvents, etc. – влияние на овлажнители, окислителни, разтворители и др.

В допълнение, предвижданият експлоатационен живот може също така да бъде повлиян от състава на химикалите в отвеждащия поток от нечистотии. За анализиране на критичното състояние на каналната вода и за да се прецени дали може да се очаква евентуално скъсяване на експлоатационния живот поради състава на каналната вода се използваха входящи данни [9] от задълбочено проучване, проведено в Австрия.

г. Проекти за изкопни работи

За анализиране на остатъчното качество на канализационните тръби след известен период на тяхната експлоатация и за предвиждане на остатъчния експлоатационен живот на тези тръби в проучването бяха включени проекти за изкопни работи.

От 5 места бяха изкопани и анализирани тръби, експлоатирани в продължение на много години.

- Полиетиленови тръби с плътна стена, 200 mm SN8, изкопани във Финландия след 38 години експлоатация (фигура 6.1);
- Полиетиленови тръби с плътна стена, 280 mm и 355 mm SN8, изкопани в Германия след 16-18 години експлоатация (фигура 6.2);
- Полипропиленови тръби с плътна стена, 110 mm SN8, изкопани в Норвегия след 23 години експлоатация (фигура 6.3);
- Полипропиленови тръби със сложно структурирана стена, 160 mm SN8 (двуслойна тръба), изкопани в Норвегия след 20 години експлоатация (фигура 6.4);
- Полипропиленови тръби със сложно структурирана стена, 200 mm SN6 (гофрирана тръба), изкопани в Дания след 12 години експлоатация (фигура 6.5).



Фиг.6.1



Фиг.6.2



Фиг.6.3



Фиг.6.4



Фиг.6.5

Анализът е завършен със снемане на физични характеристики, полимерен разпад, изпитвания на налягане съгласно действащите стандарти, деформация след изкопаване като мярка за вътрешните напрежения, остатъчно съпротивление на остаряване (PE), гъвкавост на пръстена и изпитване на ударна жилавост.

3. РЕЗУЛТАТИ

а. Термично-окислителен разпад и допустими напрежения

Чрез екстраполациите на Арениус и стойностите на активираща енергия за PE и PP, в доклада се заключава, че PE и PP тръбите с приложение в безнапорни тръбопроводни системи доказват устойчивостта си на термично-окислителен разпад, като изпълнят изискванията изложени в Таблица 1.

Таблица 1 Изискване за термично-окисляване и изпитателни условия

Материал	Условия за провеждане на изпитването	Изисквания	Изпитателен метод
PE	95°C, $\sigma = 1,0$ MPa, вода във вода	> 8760 часа	ISO 1167
PP	110°C, $\sigma = 1,0$ MPa, вода във въздух	> 8760 часа	ISO 1167

Експерименталните данни доказват, че неупотребяваните материали за безнапорни тръбопроводи могат да задоволят това ниво.

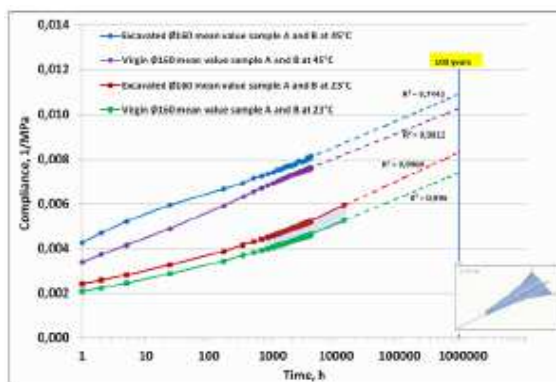
Допустимите напрежения за 100 години се изчисляват по референтните граници, посочени в ISO 15494 [5] и представени в Таблица 2.

Таблица 2 Максимални допустими напрежения за 100 години експлоатация, изчислени по [5]

Материал	Напрежение в MPa (45°C/100 години)	Напрежение в MPa (30°C/100 години)	Напрежение в MPa (23°C/100 години)
PE	5,2	6,6	7,4
PP	3,9	6,9	7,9

Смолите, от които са направени тръбите, са преминали изпитване и отговарят на основните изисквания на хидростатичното изпитване при повишена температура в продължение на 1000 часа, както е определено в продуктовите стандарти за доказване устойчивостта на бавно пълзене на пукнатините.

Изпитани са също така и изкопани тръби с плътна стена, виж точка d.



Фиг. 7 Данни за пълзенето на пукнатините по крива III на съответствието на Янсон (виж фиг. 4)

б. Дългосрочно поведение при постоянен опън

В хода на изследването се установи, че във всички случаи както неупотребяваните, така и изкопаните тръби следват права линия на съответствието спрямо логаритъма на кривите на времето, при продължителност на изпитване до 13270 часа, което показва стабилност на материала, от който са произведени тръбите и на тръбната стена. Това означава също, че може да се очаква поведение на праволинейна релаксация, позволяващо данните да се екстраполират за 100 годишен период.

В Таблица 3 са показани изчислените напрежения за тръби с SN8 след релаксация дългосрочно, с 8% и 15% деформация при 23°C.

Таблица 3 Изчислени напрежения за тръби с SN8, с 8% и 15% деформация

	T (°C)	Напрежение след 4000 часа		Напрежение след 13270 часа		Напрежение след 100 години	
		8%	15%	8%	15%	8%	15%
При деформация							
PP 110 mm тръба с плътна стена	20	3,37	4,87	2,88	4,15	2,05	2,95
PP 160 mm тръба със сложно структурирана стена	20	4,79	6,91	4,21	6,06	3,17	4,57
PE 200 mm тръба с плътна стена	20	3,74	5,40	3,47	5,01	3,01	4,34
PP 160 mm тръба със сложно структурирана стена при 45°C	45		4,74				3,29

При максимална деформация 8% дългосрочните напрежения са доста под критичните стойности (виж таблица 2).

При максимална деформация 15% за тръбите със сложно структурирана стена положението е по-критично. Въпреки това, изпитванията на релаксация проведени при 15% деформация за 13270 часа показват, че тръбите релаксират нормално, без отклонения в стабилността, което показва, че не може да се очаква разрушаване. Установи се и се докладва [1], че при 15% деформация, (релаксираното) напрежение е вече по-ниско от дългосрочното допустимо напрежение за 24 часов период на релаксация за тръби с плътна стена и 1000-часов период на релаксация за тръби със сложно структурирана стена. При 8% деформация напреженията в сложно структурираната стена след 24-часов период на релаксация също са под допустимото напрежение.

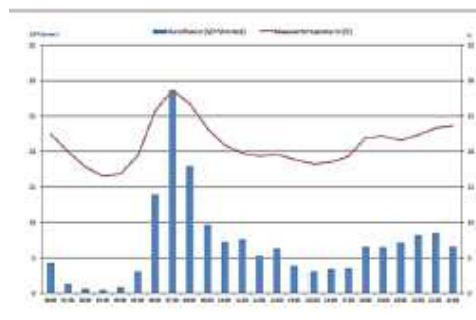
В обобщение

- С оглед на остатъчните напрежения, препоръчва се да се избягват деформациите над 8%. Тръбите трябва да се полагат в съответствие със стандарта (CEN/TR1046) [21] и с препоръките, представени в проучването на Terrafa - [15], които са упоменати за справка в настоящия доклад.
- Както е посочено, трябва да се отбележи, че допустимите дългосрочни напрежения не са непрекъснато по-високи от определените нива при (работна) температура на експлоатация. Затова при този подход вече има осигурена известна безопасност.

в. Влияние на нечистотиите и температурата

Проучването на температурата в канализационната система показва, че на практика в различните ситуации температурата не надвишава 30°C. Това означава, че в подхода ни е залегнал значително по-висок марж за безопасността спрямо достиганата в действителност температура, затова напреженията в тръбопровода са доста под критичните стойности.

Анализът на състава на каналните води доведе до заключението, че не може да се очаква той да повлияе на експлоатационния живот на тръбопровода. Концентрациите на евентуални вредни химикали е прекалено ниска, за да окаже някакво влияние.



Фиг. 8 Температурата в канализационната система

г. Проекти за изкопни работи

Всички изкопани тръби, РЕ и РР-В, не показват никакво отклонение в качеството.

- Физичните характеристики (интензитет на мириса, собствен вискозитет, масов поток, плътност, точка на топене, свойства при разтягане, удължаване при счупване) - всички са в границите на стария информационен лист РЕ63.
- При хроматография с гел-инфилтрация - не се установи ускорен полимерен разпад от разяждане с канална вода
- При изпитванията на налягане, σ 2,8 МПа при 80°C за РЕ тръба с диаметър 200 mm, установено време за разрушаване (съответно 584 часа, 417 часа, 1034 часа) резултатите са подобни на тези, които бяха публикувани за първоначалните РЕ 63 тръби от първо поколение.
- При изпитванията на налягане, σ 2,5 МПа при 95°C за РР-В тръба с диаметър 110 mm, установено време за разрушаване (съответно 1260 часа и $2 \times > 2800$ часа) резултатите за време са много по-дълги от първоначалните изисквания (> 1000 часа).
- Деформацията след изкопаване бе $\sim 1,5\%$ за РЕ тръбите с диаметър 200, 280 и 355 mm, и 1,6 – 2,0% за РР-В тръбите с плътна и със сложно структурирана стена.
- При изпитванията на топлинно остаряване се изчисли остатъчен живот над 50 години.
- Напрежната гъвкавост (на пръстена) и изпитването на ударна жилавост при -10°C за РР-В тръбите с плътна и със сложно структурирана стена, отговарят на съвременните изисквания.

В обобщение

С използването на добре екструдирани и монтирани съгласно добрата практика полиолефинови материали и тръби, резултатите от изпитванията на 5 изкопани РЕ и РР тръби показват, че полиолефиновите тръби са напълно способни да достигнат 100 години експлоатационен живот.

Дори за първо поколение РЕ се демонстрира, че след 38 години експлоатация, може да се очаква общият експлоатационен живот да достигне 100 години. РР материалите експлоатирани в продължение на 23 години не показаха никакво значително понижаване на механичните си свойства и стабилност.

		Unit	Structured wall DN110mm Norway		Solid wall DN110mm Norway		Ultra-thin DN125 Denmark	
			Outer layer	Inner layer	Outer layer	Inner layer	Outer layer	Inner layer
ODC	Melting temperature	°C	150.5	156.8	161.5	166.6	157.7	165.7
	Crystallisation temperature		113.5	111.9	111.3	112.2	126.1	122.5
OD	20°C	mm	6	5	7	5	17	25
WFR	250°C/2.1kg	g/10mm	0.38	0.47	0.64	0.65	0.51	0.34
	logarith 10%	open	1308	1258	9136	850	1798	3193
HPIC	logarith 10%	open	106	8	8	8	1349	1064
	logarith 100%	open	X	X	X	X	506	374
GC	D-TOP	open	3456	3448	2582	2429	9431	8
Spectroscopy	IR		PP-B (0.85wt% I Fe2O3)	PP-B (0.72wt% I Fe2O3)	PP-B (0.87wt% I Carbon black)	PP-B (0.87wt% I Carbon black)	PP-B (4.49wt% I Carbon black)	PP-B (4.49wt% I Carbon black)
Mechanical	Rigidity	MPa	7.39	7.39	5.67	5.67	56.14	56.14
	Rigidity	%	43.82	43.82	36.37	36.37	45.07	45.07
	Failure weight - 30°C / HSD	mm	964 (8kg)	964 (8kg)	2820 (8kg)	2820 (8kg)	3325 (10kg)	3325 (10kg)

Фиг. 9 Примерни данни от изпитвания на тръбите

4. ЗАКЛЮЧЕНИЯ

С настоящото проучване се показва, че може да се очаква 100 годишен експлоатационен живот на безнапорните канализационни тръби от РЕ и РР-В, при условие че са спазени следните условия:

а. Тръбите да отговарят на изискванията на Европейските продуктови и системни стандарти, съответно EN 1852 за РЗ, EN 12666 за РЕ и EN 13476 за тръби от РЕ и РР със сложно структурирана стена, и

б. материалът, тръбите и монтажът да отговарят на изискванията, изложени в таблица 4.

Таблица 4 Изисквания за канализационни тръби и материали за доказване на 100-годишния им експлоатационен живот

Категория	Експлоатационни качества	Условия	Изисквания
Изисквания за материалите	Термично-окислителен разпад ¹⁾	PE: 95°C, $\sigma = 1,0$ MPa PP: 110°C, $\sigma = 1,0$ MPa	> 8760 часа > 8760 часа
	Макс.допустими напрежения, получени от наличните референтни криви [5] ²⁾	45°C: PE, $\sigma = 5,3$ MPa ³⁾ PP, $\sigma = 3,9$ MPa ⁵⁾ 23°C: PE, $\sigma = 7,4$ MPa ³⁾ PP, $\sigma = 7,9$ MPa ⁴⁾	100 години 100 години 100 години 100 години
Изисквания за тръбите	Хидростатични изпитвания по EN 12666 и EN 1852	PE: 80°C, $\sigma = 2,8$ MPa PP: 95°C, $\sigma = 2,5$ MPa	1000 часа 1000 часа
	Изисквания за продукта по EN 13476	(напречна) гъвкавост на пръстена	30%
	Изпитвания на релаксация	PE и PP по Янсон [6]	≥ 4000 часа при 15% деформация
	Микроскопски анализ на проби от тръби под опън	PE и PP: След ≥ 4000 часа изпитване по Янсон	да не са се появили никакви пукнатини, или други повреди
Изисквания за монтажа	Монтаж на тръбите	Съгл.CEN/TR 1046 [7] Съгл.проучване на Terrpfa [10]	Умерено или добро слягане Стандартно слягане по Проктор > 87%
	Макс. деформация на тръбата при пускане в експлоатация	Съгл.CEN/TR 1046 [7]	Макс. 8%
¹⁾ При посочените изпитателни условия и въз основа на горепосочените експериментални данни, предвиждането за 100 години експлоатационен живот по отношение на устойчивостта на термично-окислителен разпад може да се гарантира. ²⁾ Изчислените напрежения при 45°C за 100 години експлоатационен живот се предполага, че - за PE, няма да се появи второ разклонение след 50 години - за PP, няма да се появи трето разклонение (термично-окислителен разпад) след 50 години ³⁾ Тангенциално напрежение изчислено по ISO 15494 [5], Анекс В, точка В.1.2, Уравнение В.2 за PE 80 ⁴⁾ Тангенциално напрежение изчислено по ISO 15494 [5], Анекс Е, точка Е.1.2, Уравнение Е.6 за PP-B (първо разклонение) ⁵⁾ Тангенциално напрежение изчислено по ISO 15494 [5], Анекс Е, точка Е.1.2, Уравнение Е.6 за PP-B (второ разклонение)			

Резултатите се подкрепят от други сходни изследвания, показващи че безнапорните канализационни тръбопроводи не се държат по-различно от напорните тръбопроводи за същия период [11], при което се заключава, че след 30 години експлоатационен живот се предвижда оставащ живот от поне 50 години.

5. ЗА НАПРЕД

Допълнителните изисквания на настоящото проучване, описани в Таблица 4 ще бъдат добавени при следващите редакции на съответните продуктови стандарти, за да се докаже дълготрайната стабилност на материала и на конструкцията на стената, както и дълготрайната устойчивост на пукнатини предизвиквани от напрежение.

6. ВАЛИДИРАНЕ (ПРОВЕРКА) ОТ ТРЕТА СТРАНА

Цялата изпитателна програма и резултатите от проведените изпитвания са проверени и валидирани от независима трета страна – проф. д-р Хайнц Драгаун, SV für Polymertechnologie, Brunnengasse 10 3424 Wolfpassing, Austria.

„Предвиждане за 100 години експлоатационен живот на полиолефиновите гравитачни канализационни системи“

Смятам този проект за много полезен с оглед задълбочаване на познания за експлоатационния живот и експлоатационните качества на полиолефиновите канализационни системи в целия свят.

Като човек с опит в областта на изпитването на пластмасови тръби в „TGM-Versuchsanstalt – Federal Institute of Technology, Department Plastics Technology and Environmental Engineering“, Виена, от 1975 г., бях поканен като независим експерт да рецензирам и коментирам извършената по проекта работа през последните 3 години.

Като цяло може да се каже, че са проведени доста изследвания, както за добиване на данни за материала, така и в областта на функционалната им ефективност при експлоатация, като са използвани не само новопроизведени тръби, но също така и други материали, изкопани след дългогодишната им практическа употреба от различни европейски страни (някои от които са били в употреба над 40 години).

Всички тези методи са изпълнени в съответствие с валидните международни стандарти (ISO) и натрупаните познания от науката за полимерни материали.

Изследванията са извършени със тръби с класическата плътна стена (еднослойна и многослойна), а също и с тръби с геометрично структурирана конструкция на стената, които представляват най-скорошна иновация. Според мен, проектът е проведен по правилен и научно достоверен начин в тясно сътрудничество между производителите на материали и производителите на тръби и фитинги с цел да се покаже каква продължителност на качествена експлоатация на полиетиленови (PE) и полипропиленови (PP) безнапорни канализационни системи може да се постигне.

7. БИБЛИОГРАФИЯ

(следва списък на ползвана литература)

Брюксел, декември 2014