

Влияние Трубы ПНД на Качество Воды в Системе Водораспределения

Беата Ковальска, Дариус Ковальски, Мариэн Квитниевски и Анна Мусз

Факультет окружающей среды, Люблинский технологический университет, Люблин,
Польша

Факультет Окружающей среды, Варшавский технологический университет, Варшава,
Польша

Рецензент: Беата Ковальска, факультет окружающей среды, Люблинский
технологический университет, 40B Nadbystrzycka Str, Люблин 20-618B, Польша. E-mail:
B.kowalska@pollub.pl

Получено: 14 Ноября 2012

Принято: 3 Января 2013

Онлайн Публикация: 9 Января 2013

doi:10.5539/jsd.v6n2p1

Ссылка: <http://dx.doi.org/10.5539/jsd.v6n2p1>

Аннотация

В последние десятилетия по экономическим соображениям и из-за очень хороших механических параметров, полиэтиленовые трубы стали все чаще использоваться при строительстве и при замене водораспределительных систем. Данное исследование представляет собой результаты исследования параметров воды, которая была получена из полиэтиленового водопровода. Данный водопровод являлся частью сети водоснабжения. Мы выявили общее количество углерода (ОКУ) и органических веществ в водных образцах, используя многоканальный газовый хроматограф в паре со спектрометром. Мы обнаружили в образцах воды органические соединения с антиоксидантами, добавленными в материалы трубы при производстве.

Ключевые слова и фразы: качество воды, система распределения, трубы из полиэтилена

1. Введение

Полиэтиленовые трубы, которые используются для конструкции водных сетей и систем, обычно легкие, стойкие к коррозии, а также легко монтируемые. Более того,

они предполагают высокую надежность при эксплуатации. В Польше, начиная с 2008 года, примерно 15 % всех труб выполнены из полиэтилена, кроме того, их использование в системе водораспределения стремительно растет. Международная Ассоциация воды рассмотрела эту тенденцию, как в Европе, так и по всему миру (Вребург и Боксал, 2007; 2004).

Как и большинство полимеров, полиэтилен подвержен влиянию некоторых химических и физических факторов, например, ультрафиолетовая радиация, температура, механическая нагрузка, а также кислотные реагенты. Поэтому при производстве в этот материал добавляют различные добавки, которые предназначены для того, чтобы защитить полимер от разрушений, от понижения качества, а также для того, чтобы продлить срок службы (Хассинен, 2004). С другой стороны, эти вещества способствуют образованию отходов, включая ароматические составляющие, например, фенолы и хиноны, которые попадают в воду, что отражается на ее качестве (Посписил et al., 2002). Микроорганизмы используют органические составляющие как питательную среду, мигрируя в воду. Рост количества микроорганизмов влияет на характеристики воды. Существуют два способа миграции: вещества могут попадать в воду при помощи диффузии химических составляющих в воду, или продукты обмена веществ микроорганизмов могут загрязнить внутреннюю поверхность трубы.

Исследования, проведенные Скиевраком (2003), Кохом(2004) И Брокком(2002) подтверждают, что трубы из полиэтилена являются источником появления в воде около 100 различных химических веществ. Денберг (2007) классифицирует эти вещества на антиоксиданты, продукты распада антиоксидантов, продукты обмена веществ микроорганизмов, которые развиваются на внутренних поверхностях трубы, а также сложные различные вещества из разряда углеводов с молекулами кислорода (например, эфир или альдегиды), которые появляются из поврежденных полиэтиленовых связей молекул. Наиболее часто обнаруживаемые вещества: 2,4 бис-трет-бутилфенол и 2,6 ди-трет-бутилхенон. Эти вещества являются продуктами распада антиоксидантов, обычно их называют Иргифос 168, ирганокс 1010 и ирганокс 1076 (Скиеврак 2003). Другие обнаруженные вещества включают в себя углеводородные соединения, алифатические углеводороды, алкилензолы, кетоны, эфиры и бутилгидрокситолуолы (Скиеврак, 2003, Летола и Миетиннен 2004). Степень загрязнения органическими соединениями постоянно изменяется и зависит, в большей степени, от структуры полимера, его температуры,

затвердевания и химического построения антиоксидантов (Посписил 2007).

Предыдущие исследования выявили, что летучие органические соединения, появляющиеся из материала трубы, являются результатом разрушения органолептических характеристик воды, а также ее запаха и вкуса (Брокка 2002, Скиеврак и Лунд 2005, Роджерс 2005, Ригал и Данжоу 1990). Продукты окисления антиоксиданта, такие как альдегиды, кетоны или хиноны могут придать воде привкус нефти или отработанного масла (Швейцер 2004, Тумболиан 2004). 2,4 бис-трет-бутилфенол, бензол, бензотиазол, диметилбензол, циклогексанон, циклопентанон, деметилгексанон, гидрометилфенол, изобутилен, т-бутаноловый спирт, тетрагидрофуран, трихлорэтилен – всего лишь некоторые вещества, которые могут попасть в воды из полиэтилена, а также повлиять на запах и вкусовые качества питьевой воды. (Тумболиан 2007). Хайм и Дитрих (2007) и Швейцер (2004) также провели исследование проблемы запаха и вкуса хлорированной воды. Их исследование показало, что помимо изменения органолептических свойств, в воде, которая протекала в полиэтиленовой трубе, также был обнаружен низкий уровень дезинфицирующих веществ (Швейцер 2004). Исчезновение хлора могло стать результатом реакции между хлором и антиоксидантами. Кроме того, материал трубы может влиять не только на уровень концентрации хлора, но и на образование биопленки внутри труб, что имеет огромное влияние на рост микроорганизмов и понижения уровня эффективности антиоксидантов (Летола и Миэтиннен 1971).

Полиэтилен, как и все материалы, используемые в системах водораспределения, подвержен росту микроорганизмов и формированию биопленки на внутренней поверхности труб (Захиус 2000, Никитте 2000). Факторы, влияющие на интенсивность образования биопленки включают в себя: фактор содержания органических веществ в воде, тип и свойства материала трубы, фактор дезинфицирующих веществ, количество дезинфицирующих веществ, состояние гидравлики в системах водораспределения. Количественное распространение микроорганизмов является причиной разрушения биологических свойств воды, которое приводит к возникновению специфичного запаха и цвета воды, что ускоряет процесс коррозии внутри трубы (Грабинска – Лониевска, 2005, Летола 2006). Более того, присутствие биопленки на внутренней поверхности трубы может стать причиной появления гетеротрофных бактерий, что будет негативно влиять на здоровье живых организмов (Шевзик 2000, Летола и Миэтиннен 2004). Исследования причин увеличения количества гетеротрофных бактерий в биопленке на

внутренней поверхности трубы показали, что присутствие воды с содержанием озона также является фактором, ускоряющим появление биопленки (Захиус, 2000).

Целью данного исследования является анализ на первичной основе качества воды, которая находится в контакте с трубой из полиэтилена (ПНД) из работающей системы водораспределения, на предмет выявления попадания органических веществ из материала трубы в воду и сравнения полученных результатов с анализом, проведенным в лабораторных условиях, принимая во внимания новые материалы ПНД с свойствами идентичными свойствами материалов, взятых из рабочей среды. *Дальнейшее и более комплексное исследование будет возможно при исследовании отрезка трубы, выкопанной из грунта и подвергнутой структурному исследованию относительно материала трубы и остатка биопленки. Мы получили разрешение компании на получении нескольких образцов в течение следующей секции работы.*

2. Метод

2.1 объект исследования

Исследование было проведено на водопроводной системе, которая функционирует в городе с население 50 000 человек. Исследуемый фрагмент водопровода был длиной в 3.5 километра и имел диаметр 160 x 7.7 мм. Труба была выполнена из полиэтилена высокой плотности низкого давления (ПНД). Труба функционировала в течение 5 лет. Фрагмент трубы находился в окрестностях города в бывшей промышленной зоне (фабрика по производству желатина, которая функционировала с 1970 по 1995 год и имела 3 маленькие заправочные колонки и железнодорожную станцию) и транспортировал воду для завода по обработке сточных вод, а также для нескольких промышленных заводов и обслуживающих организаций. Завод закрылся до того момента, когда трубопровод был проложен. Дистанция между заправочной станцией и водопроводом варьировалась от 95 до 250 метров. Железнодорожная станция и автомобильные парки фабрики были оснащены дренажными системами, которые были напрямую соединены с канализацией в течение последних 10 лет. Система распределения воды состояла из стальных труб (25,7%), труб из серого чугуна (49,9%), труб из ковкого чугуна с цементным покрытием(8,9%), труб из ПВХ (2,7%) и полиэтилена (9,0%). Вода подавалась из подземной скважины в меловой породе на глубине 55 метров. Она не требовала очищения или дезинфекции, более того, она имела параметры, которые соответствовали своду правил, одобренных министром здравоохранения от 29 марта 2007, а также консульской директивой 98/83/ЕС 1998.

Методология исследования 2.2

Анализируемая секция представляет собой типичную проблему системы водообеспечения после периода политической трансформации. После закрытия соседнего промышленного завода, уровень потока воды значительно уменьшился. Он варьировался от 0.01 до 0.2 м/сек, самый сильный напор был примерно в течение 20 минут в день. Скорость потока и его изменения были определены при помощи гидравлической модели, созданной компанией Ипонет, которая охватывала всю сеть. Модель была проверена и откалибрована. Вода в системе, о которой идет речь, находилась там, согласно системе расчетов, максимум несколько дней.

Мы проводили исследования в период с 12 по 17 августа 2010 года, каждый день, забирая образцы в 10. 00 и в 12.00., мы выбрали подземные гидранты, соединяющие начало и конец полиэтиленовой трубы. Мы присоединили к гидрантам дополнительную трубу и постоянно их промывали. Образцы под буквой «А» получены из начальной секции трубы, образцы под буквой «В» из конечной. Мы перелили образцы воды в стеклянные бутылки, плотно закупорили и отвезли на экспертизу в лабораторию по изучению окружающей среды на факультет окружающей среды в Люблинский технический университет, где провели анализ полученных образцов. В течение исследования мы выделили ключевые индикаторы качества воды, а именно показатель водорода, общая жесткость, общая щелочность, также как и общее содержание углеводорода. Мы применяли потенциометрический компенсационный метод (СРС – 551 измеритель кол-ва водорода Элметрона), чтобы выявить индикатор количества водорода, тетриметрический анализ, динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты для определения общей жесткости воды и колориметрический метод с метиловым оранжевым красителем для определения щелочности.

Мы выявили уровень содержания углеводородов, используя аппарат SHIMADZU ТОС-5050А, который автоматически исследует необходимый объем образца для анализа. Мы исследовали органические вещества, используя газовый многоканальный хроматограф Ультра термо в паре со спектрометром Полярис, которые есть в наличие на факультете окружающей среды технического университета в Люблине. Параметры аппарата были настроены следующим образом: Ультра Термо: дозатор, ПТВ, режим фиксации температуры, без разделения потока, температура 320°C, расчетное парение RTx 5 (Restek) 60m x 0.25 mm df=0.25 цт, температурное программирование 75°C (2 мин),

прирост 5°/мин до 300°C(5 мин), несущий газ: He (99.9996%) при постоянной скорости 40см/сек; Полярис: температура источника неона: 250°C, температура трансфертной линии 275°C. Мониторинг всех ионов с 50.0 до 370 U (режим полного сканирования). Продолжительность микровыделения твердой фазы 30 минут. Мы транспортировали выявленные вещества в дозатор хроматографа и оставили там на 10 минут при температуре 270°C для распада на ткани. Идентификация органических соединений состояла в сравнении полученных результатов с данными из спектрального хранилища NIST-2005, а также 8-е издание Вилей.

2.3 Лабораторный тест на проникновение.

Мы сравнили результаты теста с результатами, полученными из лабораторных условий. Лабораторные тесты проводились в статичном состоянии на базе стандарта PN-EN 12873-1:2005 (2005), который ориентирован на проникновение в воду органических соединений, которые входили в состав добавок в полимер в процессе производства и синтеза. Мы приготовили участок трубы примерно 50 см с внешним диаметром 160x7.7 мм и разрезали его пополам по оси. До проведения теста труба промывалась струей воды из водопровода (вода для промышленных нужд) в течение 60 минут. После чего мы наполнили трубу этой водой (на половину) и плотно запечатали самоклеющейся пленкой из термопластика (парафильм). Пленка очень чистая и содержит только углеводороды (парафины) и немного олефина. В нашем анализе мы не упоминали об этих веществах, потому что они не мешают процессу проведения теста. Мы оставили трубу в темной комнате на 3 дня (72 часа) при постоянной температуре 20±2°C. После этого перелили воду в стеклянные бутылки и повторили процедуру три раза. После каждого теста мы промаркировали образцы под номерами N1, N2 и N3. Ученые провели два хроматографических теста с каждым образцом. Рабочие параметры аппарата были такими же, как и для теста с водой, взятой прямо из полиэтиленового участка водопровода. исследователи промаркировали воду, взятую со станции, как «вода для промышленных нужд».

2. Результат и обсуждение.

Таблица 1 показывает порядок отбора образцов, ключевые физические и химические свойства, а также общее количество органических веществ.

Изменения в уровне кислотности, показанные анализом воды, были незначительны,

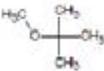
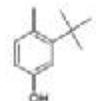
они варьировались от 7.40 до 7.56. Общая жесткость воды варьировалась от 6.78 до 7.50 мг-экв/дм³, общая щелочность была на отметке 5.80 – 6.55 мг-экв/дм³. Ни один из индикаторов качества воды не был сильно изменен в течение всего цикла экспериментов.

Таблица 1. Параметры качества воды, образцы которой взяты из полиэтиленовой трубы водопровода, находящегося в эксплуатации.

Дата	Общая жесткость мг/дм ³		Общая щелочность мг/дм ³		Уровень водорода		Общее содержание углеводородов	
	А	В	А	В	А	В	А	В
12/07/2010	7.35	7.03	6.10	6.00	7.54	7.52	3.38	4.13
13/07/2010	7.08	7.03	6.05	6.10	7.52	7.49	3.50	4.15
14/07/2010	7.15	7.13	6.05	6.20	7.56	7.46	3.57	3.73
15/07/2010	7.10	6.93	6.05	6.20	7.40	7.39	3.98	4.04
16/07/2010	7.23	6.78	6.05	6.15	7.45	7.49	3.51	4.42
17/07/2010	7.33	7.15	6.45	6.55	7.46	7.43	3.79	4.46

Общая концентрация углеводородов была от 3.38 до 4.46 мг/дм³. Мы обнаружили небольшое превышение общего количества органических углеродов, которое было вызвано, возможно, из-за материала трубы или биопленки, которая, несмотря на то, что труба находилась в эксплуатации несколько лет, все же могла остаться на поверхности трубы. Таблица 2 ниже показывает органические вещества, обнаруженные газовым хроматографом.

Таблица 2. Органические вещества, обнаруженные в образцах А и В, собранных из полиэтиленовой трубы, которая являлась частью находящегося в эксплуатации

Дата забора пробы	Маркировка образца	Бензол	Метил-трет-бутиловый эфир	Толуол	Стирол	Метил-стирол	t-бутил-метил-фенол						
Формула													
Хим. реферативная служба	71-43-2	1634-04-4	108-88-3	100-42-5	98-83-9	2409-55-4							
Время в установке	5.76	6.77	7.83	11.65	14.50	17.71							
Вода для пром. нужд	ND ¹	-	ND	-	0.13	0.12	ND	-	ND	-	ND	-	
	ND	-	ND	-	0.11	±0.02	ND	-	ND	-	ND	-	
1.	A	0.17	0.15	9.11	8.72	3.69	3.60	0.78	0.70	0.63	0.60	0.49	0.45
12/07	B	0.13	±0.028	8.33	0.919	3.52	0.12	0.63	0.100	0.58	0.073	0.42	0.049
2.	A	0.11	0.10	4.11	4.45	2.59	2.67	0.59	0.55	0.58	0.5	0.51	0.47
13/07	B	0.09	±0.014	4.79	0.780	2.72	0.09	0.52	0.049	0.42	0.110	0.44	0.049
3.	A	0.24	0.20	6.13	23.2	3.41	3.65	0.83	0.89	0.61	0.65	0.31	0.27
14/07	B	0.17	±0.049	8.42	1.980	3.89	0.34	0.97	0.110	0.69	0.056	0.24	0.049
4.	A	0.33	0.32	6.13	7.27	4.11	4.21	0.54	0.63	0.37	0.39	0.31	0.34
15/07	B	0.31	±0.014	8.42	1.620	4.32	0.15	0.72	0.120	0.42	0.030	0.38	0.049
5.	A	0.22	0.24	4.83	4.40	5.63	5.53	0.79	0.82	1.14	1.23	0.62	0.60
16/07	B	0.27	±0.035	3.97	0.600	5.51	0.08	0.86	0.049	1.33	0.140	0.59	0.029
6.	A	0.19	0.23	2.72	2.51	7.16	7.62	0.67	0.63	0.79	0.85	0.27	0.30
17/07	B	0.28	±0.062	2.31	0.280	8.09	0.65	0.59	0.080	0.92	0.090	0.34	0.490

водопровода, мг/дм³.

Наше исследование обнаружило органические соединения вместе с антиоксидантами, продуктами их распада или продуктами распада полимера. Как бы то ни было, полученная концентрация оставалась всего минуту в течение всего цикла исследования. Тот факт, что исследуемый водопровод не передает хлорированную воду, мог внести свой вклад в полученный результат

Рисунок 1 показывает пример работы хроматографа для образцов воды, взятых из полиэтиленового водопровода.

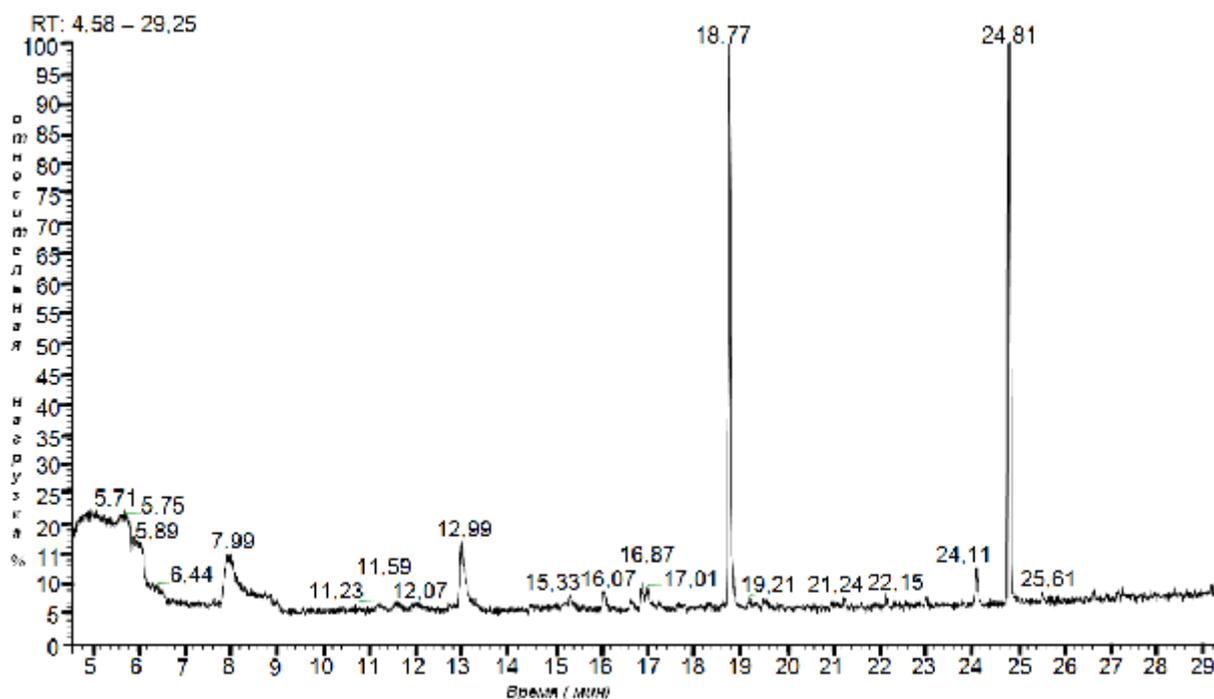


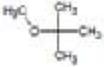
Рисунок 1. Пример показания хроматографа по исследованию органических веществ, обнаруженных в водопроводе из полиэтилена.

Тест на проникновение в воду веществ, проведенный в лабораторных условиях согласно стандарту PN-EN 12873-1:2005 (2005)(при тесте использовалась труба идентичная той, которая находится в работающем водопроводе), показал присутствие органических соединений, идентичных тем, которые были найдены во время исследований в естественных условиях. Тест выявил некоторые расхождения в уровне концентрации: в большинстве случаев тест показал более высокий уровень концентрации органических веществ в воде. Трет-мит-бутилфенол стал исключением, так как мы не выявили его присутствие в воде вообще. Таблица 3 ниже обобщает все результаты.

На рисунке 2 показан образец хроматографического исследования после теста на выявление проникновения веществ в воду. Мы обнаружили в воде, как в естественных, так и в лабораторных условиях вещества, вступившие в реакцию с антиоксидантами, ароматические углеводороды, такие как толуол, бензол, стирол. А также фенолы, такие

как тет-мит—бутилфенол, то есть продукт распада часто используемых бутилгидрокситолуоловых антиоксидантов. В одном из случаев мы нашли толуол в воде для промышленных нужд, но его концентрация была примерно 0.12 мг/дм^3 , что значительно меньше, чем его концентрация, найденная в воде из полиэтиленовых труб. После теста на проникновение веществ в воду, его концентрация составила от 6.66 до 8.97 мг/дм^3 , в то время как в образцах воды, взятых из водопровода, его концентрация составляла от 2.67 до 7.62 мг/дм^3 . Мы не обнаружили т-бутилфенол после теста на проникновение, но в воде, взятой из водопровода, его концентрация составила от 0.27 до 0.60 мг/дм^3 . Результаты говорят, что разрушение антиоксидантов происходило довольно долго. Мы зафиксировали высокие уровни концентрации, по сравнению с уровнем концентрации в воде из водопровода: от 2.51 до 23.2 мг/дм^3 , после теста на проникновение бензола от 1.82 до 4.23 мг/дм^3 . Но уровень концентрации метил-трет-бутил- эфира был выше в воде из водопровода. Мы не исключаем вероятности того, что этот углеводород проник в воду через стенку трубы из грунта, но тот факт, что труба лежит под землей в постиндустриальной зоне делает это предположение более вероятным. Как бы то ни было, этот вывод должен быть подтвержден анализом грунта, который нами не проводился. Также мы нашли концентрации стирола и метилстирола, и после теста на проникновение веществ, и в воде, образцы которой были взяты из водопровода

Таблица 3. Органические соединения, найденные в образцах воды после теста на проникновение, выполненного в соответствии со стандартом PN-EN 12837-1 (2005).

Маркировка образца	Бензол	метил-трет-бутиловый-эфир	Бензол	Стирол	Метил-стирол	п-бутил-метил-фенол						
Формула												
Хим. реферат. служ.	71-43-2	1634-04-4	108-88-3	100-42-5	98-83-9	2409-55-4						
Время в установке	5.76	6.77	7.83	11.65	14.50	17.71						
N1	3.17	3.25	1.13	1.17	8.61	8.97	0.89	0.90	0.35	0.39	ND	-
	3.24	±0.49	1.22	±0.06	9.33	±0.50	0.92	±0.02	0.44	0.06	ND	-
N2	1.89	1.82	2.78	2.56	6.78	6.66	0.78	0.71	0.26	0.29	ND	-
	1.76	±0.09	2.35	±0.30	6.54	±0.17	0.64	±0.09	0.32	0.04	ND	-
N3	4.11	4.23	1.14	1.39	8.23	8.07	1.01	0.95	0.54	0.45	ND	-
	4.35	±0.17	1.64	±0.32	7.91	±0.22	0.89	±0.08	0.37	0.12	ND	-

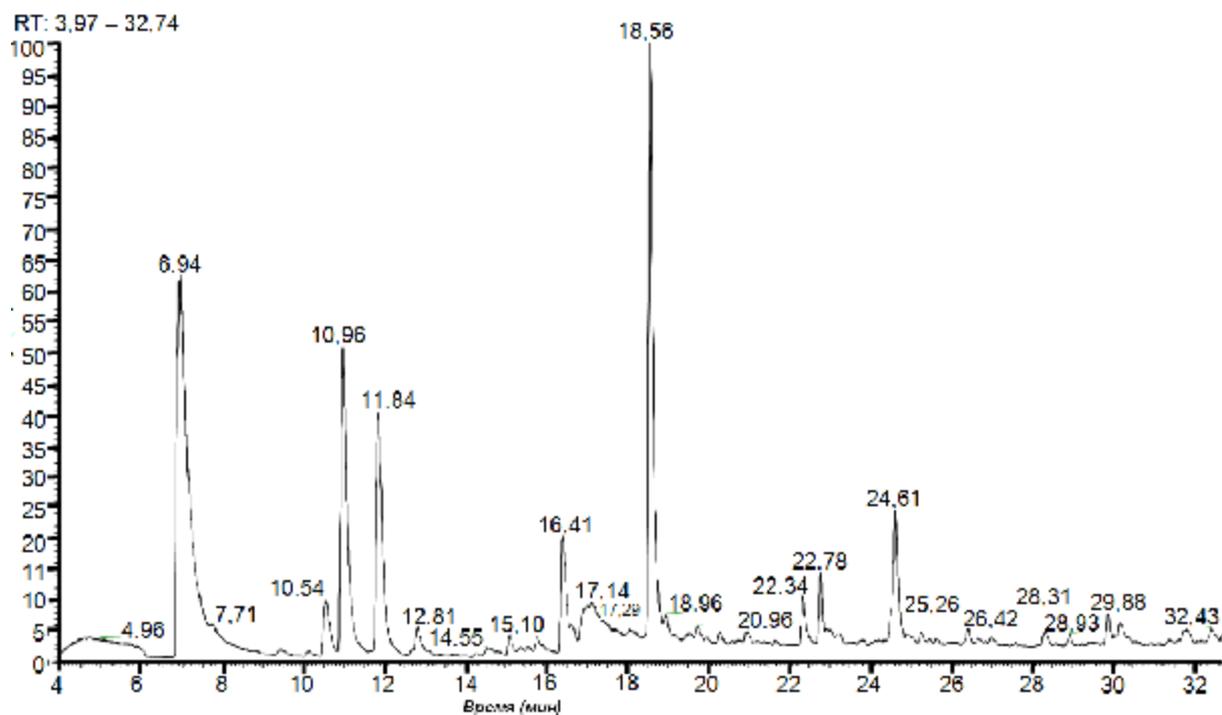


Рисунок 2. Показания хроматографа по исследованию органических веществ после теста на проникновение веществ.

4. Выводы

Первичное исследование позволяет сделать следующие выводы:

Исследование выявило наличие в воде внутри полиэтиленовой трубы веществ, которые

использовались при производстве полиэтилена и антиоксидантов. Данный факт подтверждает проникновение органических соединений из материала трубы в воду, которая с ним постоянно соприкасается. Зафиксированные уровни концентрации не превышали предельно допустимых концентраций, но все же накапливались в трубе после 5 лет эксплуатации. Уровень концентрации был очень высоким для бензола 4.23 мг/дм^3 . Данные вещества никак не регулируются польскими законами. Единственным веществом, которое находит отражение в Своде Правил по качеству воды Потребляемой Человеком, одобренном министром здравоохранения Польши от 29 марта 2007 года и обновленном 20 апреля 2010 года, является бензол, предельно допустимая концентрация в воде которого не должна превышать 1 мг/дм^3 .

Исследование также обнаружило высокий уровень концентрации бутилгидрокситолуола 23.2 мг/дм^3 в естественных условиях, по сравнению с лабораторными 2.56 мг/дм^3 . Полученные расхождения в результатах могут свидетельствовать о загрязнении грунта в местности расположения водопровода, но это должно быть подтверждено анализом грунта, который мы не проводили. Кроме того, огромное количество труб, даже от одного и того же производителя могут сильно различаться по способу создания. Следовательно, очень сложно вывести недвусмысленный вывод на данной стадии исследования. Как бы то ни было, данное исследование позволило нам проинформировать компанию, которая отвечает за данный водопровод, а также Ассоциацию Инженеров Польши по поводу потенциального снижения качества воды, которая течет по полиэтиленовым трубам, в частности в зараженных постиндустриальных зонах.

Тот факт, что вода, текущая в исследуемом водопроводе не хлорирована, мог повлиять на результаты исследования. Недавние публикации (Лундбак 2005), говорили о разрушительном влиянии воды с содержанием хлора на внутренние части трубы ПНД, хлор также может влиять на понижение молярной массы, кроме того, он может стать причиной формирования трещин. Проникновение веществ в воду с содержанием хлора и реакции, которые происходят на внутренней поверхности полиэтиленовой трубы, приводят к быстрому износу материалов трубы. Антиоксиданты разрушаются, они проникают в воду и оказывают разрушительное воздействие на полимеры. Следовательно, простые тесты необходимы в сетях, где вода протекает с содержанием хлора.

Рассмотренные органические соединения, относимые к антиоксидантам, используемые

для термической обработки (стабилизации) ПНД могут влиять не только на качество воды, но и понизить прочностные характеристики материала трубы. В добавление ко всему, присутствие органических соединений является главным фактором развития микроорганизмов, и, как результат, образования биопленки на внутренней стороне трубы. Будущие исследования мы намереваемся посвятить именно этим вопросам. Получение образца трубы будет необходимым условием для дальнейших исследований, это также требует согласия со стороны компании, отвечающей за трубу. Согласно обещанию компании, это будет возможно в течение следующей секции работ в данной местности.

Благодарность

Авторы выражают огромную признательность дирекции водоканала города Пулавы за помощь и сотрудничество.

Список Литературы

- Brocca, D., Arvin, E., & Mosbask, H. (2002). Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipes into drinking water. *Water Research*, 36, 3675-3680. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00084-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00084-2)
- Council Directive 98/83/EC of November 1998 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*. L 330/32 5.12.98.
- Denberg, M., Arvin, E., & Hassager, O. (2007). Modelling of the release of organic compounds from polyethylene pipes to water. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 56, 435-443. <http://dx.doi.org/10.2166/aqua.2007.020>
- Grabinska-Loniewska, A. (2005). *Microbial contamination of drinking water distribution systems: problems and solutions*. European Centre of Excellence CEMERA, Warsaw.
- Hassinen, J., Lundback, M., Ifwarson, M., & Gedde, U. W. (2004). Deterioration of polyethylene pipes exposed to chlorinated water. *Polymer Degradation and Stability*, 84, 261-267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2003.10.019>
- Heim, T. H., & Dietrich, A. M. (2007). Sensory aspects and water quality impacts of chlorinated and chloraminated drinking water in contact with HDPE and cPVC pipe. *Water Research*, 41, 757-764. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.11.028>
- Koch, A. (2004). *Gas Chromatographic Methods for Detecting the Release of Organic Compounds from Polymeric Materials in Contact with Drinking Water*. Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen Germany.
- Lethola, M. J., Laxander, M., Miettinen, I. T., Hirvonen, A., Vartiainen, T., & Martikainen, P. J. (2006). The effects of changing water flow velocity on the formation of biofilms and water quality in pilot distribution system consisting of copper or polyethylene pipes. *Water Research*, 40, 2151-2160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.04.010>
- Lethola, M., J., Miettinen, I. T., Lampola, T., Hironen, A., Vartiainen, T., & Martikainen, P. J. (2005). Pipeline materials modify the effectiveness of disinfectants in drinking water distribution systems. *Water Research*, 39, 1962-1971. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.009>
- Lethola M., J., Miettinen I. T., Keinänen, M. M., Kekki, T. K., Laine, O., Hirvonen, A., ... Martikainen, P. J. (2004). Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes. *Water Research*, 38, 3769-3779. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.024>
- Lundback, M. (2005). Long-term performance of polyolefins in different environments including chlorinated water: Antioxidants consumption and migration, and polymer degradation. KTH Fibre and Polymer Technology, Stockholm.
- Niquette, P., Servais, P., & Savoie, R. (2000). Impacts of pipe materials on densities of fixed bacterial biomass in a drinking water distribution system. *Water Research*, 34(6), 1635-1640. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00307-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00307-3)
- PN-EN 12873-1:2005 *Influence of materials on water to be used for human consumption. Influence caused by migration. Part 1: Method employed to test factory manufactured products made of materials other than cement*.
- Pospisil, J., Habicher, W.-D., Pila, J., Nesperek, S., Kuthan, J., Piringer, G.-O., & Zweifel, H. (2002). Discoloration of polymers by phenolic antioxidants. *Polymer Degradation and Stability*, 77, 531-538. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(02\)00112-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00112-X)
- Regulation on the Quality of Water to Be Used for Human Consumption* issued by Polish Minister of Health on 29 March 2007, as amended on 20 April 2010 (Official Journal No 72, Item 466).
- Rigal, S., & Danjou, J. (1990). Tastes and odours in drinking water distribution systems related to the use of synthetic materials. *Water Science and Technology*, 40, 203-208. [http://dx.doi.org/10.1016/80273-1223\(99\)00558-2](http://dx.doi.org/10.1016/80273-1223(99)00558-2)
- Rogers, H. R., Norris, M. W., & James, H. A. (2004). Effects of materials of construction on tastes and odours in drinking water. *Reviews in Environmental Science & Bio/Technology*, 3, 23-32. <http://dx.doi.org/10.1023/B:RESB.0000040010.64651.f9>
- Schewzyk, U., Schewzyk, R., Manz, W., & Schleifer, K. H. (2000). Microbiological safety of drinking water. *Annual Review of Microbiology*, 54, 81-127.
- Schweitzer, L., Tomboulian, P., Atasi, K., Chen, T., & Khiari, D. (2004). Utility quick test for analyzing materials for drinking water distribution systems for effect on taste-and-odour. *Water Science and Technology*, 49, 75-80.

- Seth, A., Bachmann, R., Boxall, J., Saul, A., & Edyvean R. (2004). Characterisation of materials causing discolouration in potable water systems. *Water Science and Technology*, 49,27-32.
- Skjjevrak, I., Due, A., Gjerstad, K. O., & Herikstad, H. (2003). Volatile organic components migrating from plastic pipes (HOPE, PEX and PVC) into drinking water. *Water Research*, 37, 1912-1920. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00576-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00576-6)
- Skjjevrak, I., Lund, V., Ormerod, K., & Herikstad, H. (2005). Volatile organic compounds in natural biofilm in polyethylene pipes supplied with lake water and treated water from the distribution network. *Water Research*, 39,4133-4141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.07.033>
- Tombouliau, P., Schweitzer, L., Mullin, K., Wilson, J., & Khiari, D. (2004). Materials used in drinking water distribution systems: contribution to taste-and-odour. *Water Science and Technology*, 49,219-226.
- Vreeburg, J. H. G., & Boxall, J. B. (2007). Discolouration in potable water distribution systems: A review. *Water Research*, 41, 519-529. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.09.028>
- Zacheus, O. M., Iivanainen, E. K., Nissinen, T. K., Lehtola, M. J., & Martikainen, P. J. (2000). Bacterial biofilm formation on polyvinyl chloride, polyethylene and stainless steel exposed to ozonised water. *Water Research*, 34(1), 63-70. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00113-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00113-X)