

Определение физико-химических и микробиологических параметров сточных вод

А.Олейник¹, Ф.Е. Ерегно², И. Трилан², А. Хейстад²

¹ Национальный технический университет Украины, «Киевский политехнический институт», oleynik_n@i.ua

² Норвежский университет естественных наук, Ос, Норвегия, fasil.eregno@nmbu.no

Реферат

На сегодняшний день большой интерес представляет изучение микробиологических показателей Норвежских городских сточных вод, как из комбинированных канализационных систем, так и систем с разделением стоков. Важным является знание об изменении концентраций фекальных индикаторных бактерий в городских сточных водах. Эта информация используется для моделирования влияния разливов сточной воды со станций водоочистки, вследствие их переполнения во время сильных дождей, на гигиенические показатели качества воды на внутренней территории Осло-фьорда, где выделены зоны для купания. Для оценки качества воды, согласно Директиве ЕС 2006/7/ЕС, используются такие параметры как концентрация *E.coli* и фекальных стрептококков.

Исследования серой воды из общежитий «Каја» в Норвежском университете естественных наук показало, что большое количество *E.coli* и общих колиформных бактерий вызвано не фекальным загрязнением, а, скорее всего, их источником являются кухонные стоки.

Ключевые слова: энзимная активность, фекальные индикаторные бактерии, «серая» вода, городские сточные воды.

Введение

Канализационную систему в Норвегии построили уже очень давно, например, канализации в Осло уже более 150 лет. Изначально станции очистки сточных вод сооружались для того, чтобы снизить концентрацию органики, взвешенных веществ и биогенных элементов, таких как фосфор и азот, вызывающих эвтрофикацию водоемов.

Сейчас же недостаточно учитывать только физические и химические параметры сточных вод. Необходимо также изучить концентрацию фекальных патогенных микроорганизмов, которые, в случае аварий и разливов, могут привести к заболеванию большого количества людей.

Проект Water Quality Tools проводит моделирование влияния вытекания сточных вод из комбинированных канализационных систем (во время ливней) на гигиенические показатели качества воды в купальных зонах на внутренней территории Осло-фьорда. Для этого необходима информация об изменении концентрации фекальных индикаторных бактерий (ФИБ) в сточных водах, поступающих на станции очистки, в течение короткого (день) и длительного (несколько дней) периодов времени. В соответствии с Директивой ЕС относительно качества вод, пригодных для купания, параметрами контроля качества воды выбраны концентрация *E.coli* и фекальных стрептококков (EU Directive 2006/7/ЕС)

Ожидается снижение концентрации обоих этих параметров утром, по сравнению с их концентрацией в дневное время. Вечером их концентрация должна быть ниже, чем в послеобеденное время. Пик обусловлен утренним процессом дефекации, а время его наблюдения зависит от времени пребывания в системе и места отбора проб (Lucas, 2014).

В Норвегии всё больше внедряются канализационные системы с разделением стоков. Их применение актуально для небольших удаленных поселений, ж/д станций, общежитий и т.д. Так как туалетные стоки (черная вода) собираются отдельно от всех остальных (серая вода), то большая часть патогенных микроорганизмов собирается там. Тогда серая вода должна быть более безопасной, чем городские сточные воды из комбинированной канализации.

Однако, микробиологический анализ серой воды из общежитий «Каја» Норвежского университета естественных наук (NMBU) показал высокие концентрации общих колиформных бактерий (ОКБ) $2,98 \cdot 10^5$ – $2,42 \cdot 10^7$ /100 см³ и E.coli $1 \cdot 10^5$ – $4 \cdot 10^6$ /100 см³. Это может быть обусловлено фекальным загрязнением, привычками проживающих там людей или ростом бактерий в трубопроводах (Ecomotive, 2014)

В результате литературного поиска установлено, что количество бактерий в серой воде значительным образом зависит от её источника. В зависимости от источника серую воду можно разделить на «светло-серую» – стоки из ванной комнаты – и «тёмно-серую» – более загрязненные стоки из прачечной, посудомоечной машины и, в некоторых случаях, кухонной раковины. «Светло-серая» вода может содержать до $2,4 \cdot 10^6$ /100 см³ E.coli и $2 \cdot 10^4$ /100 см³ фекальных стрептококков (Birks, 2007).

Особенно высокие концентрации ФИБ в кухонной серой воде: до $7,4 \log_{10}$ /100 см³ для E.coli и $7,7 \log_{10}$ /100 см³ для фекальных стрептококков (Ottosson J, 2003). Концентрация E.coli может даже достигать значений $2,5 \cdot 10^8$ /100 см³ (Eriksson, 2002).

В течение дня концентрация ФИБ может значительно изменяться, так как люди пользуются ванной, душем и умывальником только утром и вечером, тогда как кухонные приборы, в основном, используются в дневное время (Matos, 2004).

Проводя анализ на фекальные загрязнения, чаще всего результат необходимо получить как можно быстрее. Минимизация времени анализа позволяет оценивать качество воды в реальном времени, что, в свою очередь, позволяет предотвращать эпидемии людей и животных.

Быстрый метод для качественного и количественного определения колиформных бактерий основывается на прямом измерении энзимной активности: β-D-галактозидазы для ОКБ и β -D-глюкуронидазы для E.coli. Этот метод простой и быстрый (1-2 часа против 18-24 часов стандартным методом), но имеет низкую избирательность. Однако он может быть использован для приблизительной оценки концентрации ФИБ (Fiksdal, 2008).

Цели исследования:

- Изучить изменение концентрации фекальных индикаторных бактерий в городских сточных водах в течение короткого и длительного периодов
- Определить причины высокой концентрации бактерий в серой воде из общежитий «Каја»
- проверить наличие зависимости между энзимной активностью и концентрацией ФИБ в городских сточных водах.

Методы и материалы

Отбор проб

Все пробы сточных вод отбирались и анализировались на территории Норвежского университета естественных наук (NMBU).

Образцы городской сточной воды из комбинированной канализации отбирались из трубы-коллектора возле учебного корпуса «Sørhellinga».

Образцы серой воды отбирались из двух точек: из трубы-коллектора после общежитий «Каја» перед первым сборником и из второго сборника, установленного в лаборатории Fløy 4. Образцы черной воды отбирались из сборника черной воды, находящегося в лаборатории Fløy 4.

Для изучения изменения концентрации ФИБ в сточных водах образцы отбирались три раза в день (утром, днём и вечером) в течение нескольких дней. Чтобы изучить зависимость между энзимной активностью и концентрацией ФИБ образцы отбирались три раза в день с минимальным промежутком времени между отборами проб 1 час.

Микробиологические анализы

Образцы воды анализировали на содержание ОКБ и E.coli используя метод Colilert®-18 Quanti Tray® в соответствии со стандартом ISO 9308-2, 2012. Результаты приводятся в виде: наиболее вероятное число бактерий на 100 см³.

Определение концентрации фекальных стрептококков и термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) в образцах воды проводилось методом мембранной фильтрации согласно стандартам ISO 7899-2, 2000 и NS 479, 1990. Результаты приводятся в виде: колониеобразующие единицы (КОЕ) на 100 см³.

Энзимную активность в образцах измеряли, используя Colifast-метод, согласно инструкциям производителя.

Физико-химические анализы

Для получения более полной характеристики сточных вод измерялись такие физико-химические параметры: электропроводимость (ЭП), pH, общий фосфор (ОФ), химическое потребление кислорода (ХПК), общие взвешенные вещества (ОВВ), мутность и цветность

ОВВ определялись в соответствии со стандартной методикой с использованием стекловолоконных фильтров GF/C 1.2 µm (APHA, 2005; SINTEF, 2004). Объем фильтруемого образца был 5 – 50 см³ в зависимости от визуальной оценки.

Общий фосфор определялся в не фильтрованных образцах с помощью кюветных тестов Nach Lange LCK350 и LCK349 в соответствии со стандартной методикой (APHA, 2005). Образцы с высокими концентрациями разводили в 10 раз.

ХПК определяли в не фильтрованных образцах с помощью кюветных тестов Nach Lange LCK114 и LCK314 в соответствии со стандартной методикой (ISO 15705:2002).

ЭП, pH, мутность и цветность измерялись в соответствии со стандартной методикой (APHA, 2005).

Результаты

Сточная вода из комбинированной канализации

Образцы воды отбирали в течение одного дня и изменение концентраций ФИБ показано на Рис. 1. Как и ожидалось, концентрация бактерий утром ниже за счет разбавления водой из душа, хотя концентрация фекальных стрептококков утром выше.

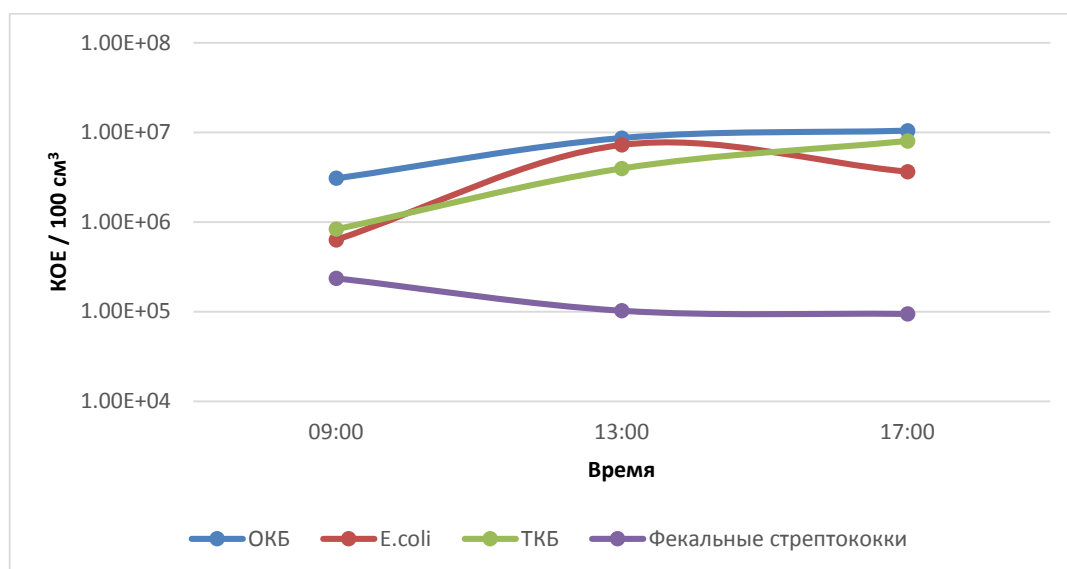


Рисунок 1 Изменение концентрации ФИБ в течение дня для сточной воды из комбинированной канализации на территории NMBU.

Физико-химические показатели образцов соответствуют литературным данным для данного типа сточных вод (Таблица 1).

Таблица 1 Физико-химические и микробиологические параметры сточной воды из комбинированной канализации на территории NMBU.

Физико-химические параметры				Микробиологические параметры / 100 см ³			
Время	9:00	13:00	17:00	Время	9:00	13:00	17:00
ЭП, мкСм/см	322	830	820	ОКБ	3,08E+06	8,66E+06	1,05E+07
pH	8,71	9,17	9,08	E.coli	6,31E+05	7,27E+06	3,65E+06
ОФ, мг P/дм ³	7,76	13,8	17,4	ТКБ	8,33E+05	3,97E+06	8,03E+06
ХПК, мг/дм ³	480	2261	1343	Ст.откл.	4,16E+05	4,51E+05	1,67E+06
ОВВ, г/дм ³	0,21	0,84	0,58	Стрептококки	2,35E+05	1,03E+05	9,45E+04
Мутность, ЕМФ	172	971	581	Ст.откл.		6,01E+04	7,07E+02
Цветность, мг/дм ³ Pt	157	467	302				

Серая вода

Было выдвинуто предположение, что высокий уровень ФИБ в серой воде вызван активным ростом бактерий в баках-сборниках. В течение трёх дней по утрам отбирались пробы воды из обеих точек – «Каја» и «Fløy 4». Сравнение концентраций ФИБ в образцах указывает на снижение количества колиформных бактерий после попадания воды в бак и увеличение количества стрептококков (Рис. 2).

Если говорить о физико-химических показателях, то уровень pH и общего фосфора в «свежей» серой воде из «Каја» ниже, чем образцах из «Fløy 4» (Таблица 2). В то же время уровень ХПК выше в образцах из «Каја».

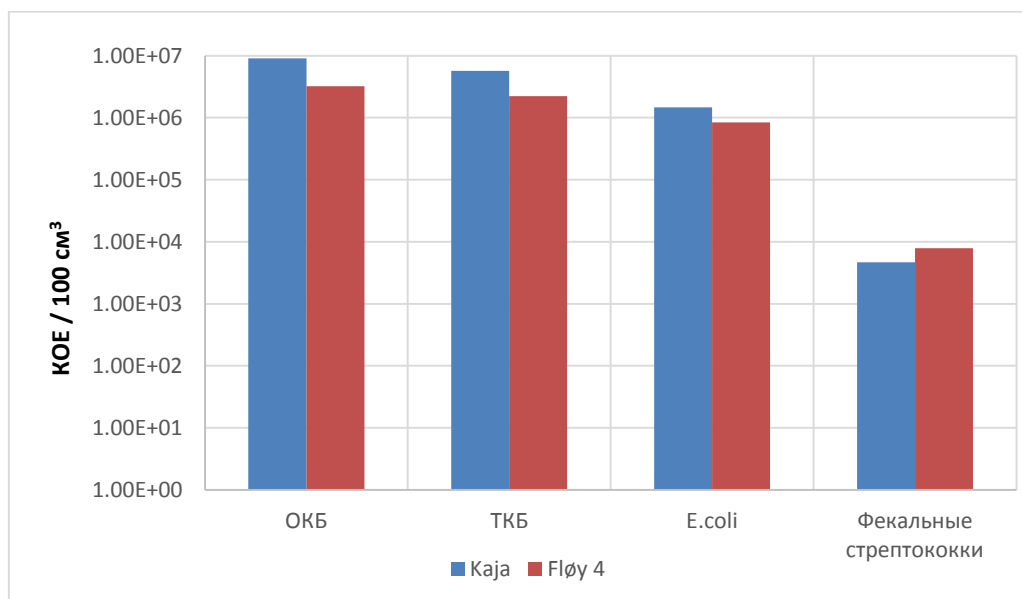


Рисунок 2 Концентрации ФИБ в серой воде из «Каја» и «Fløy 4».

Таблица 2 Физико-химические и микробиологические параметры серой воды из NMBU.

Физико-химические параметры	Каја	Fløy 4	Микробиологические параметры, КОЕ/100 см³	Каја		Fløy 4	
				Среднее	Ст.откл.	Среднее	Ст.откл.
ЭП, мкСм/см	270±23	259±17	ОКБ	9,01E+0 6	3,12E+0 6	3,22E+0 6	4,50E+0 5
pH	6,82±0,20	7,23±0,09	E.coli	1,46E+0 6	6,98E+0 5	8,38E+0 5	5,05E+0 5
ОФ, мг P/дм³	1,16±0,16	1,44±0,24	ТКБ	5,69E+0 6	4,58E+0 6	2,24E+0 6	1,06E+0 6
ХПК, мг/дм³	262±75	231±53	Стрептококки	4,65E+0 3	2,56E+0 3	7,85E+0 3	5,08E+0 3
ОВВ, мг/дм³	61±17	131±91					
Мутность, ЕМФ	114±59	122±64					
Цветность, мг/дм³ Pt	193±132	97±59					

Так как первое предположение не подтвердилось, было предложено провести анализы для определения происхождения бактерий. Был проведен тест для определения потенциала роста бактерий в серой воде. После этого использовали методику количественной ПЦР (полимеразная цепная реакция) для подсчета *Bacteroides* человеческого происхождения и фекальных стрептококков.

Результаты теста на потенциал роста соответствуют ожиданиям: при комнатной температуре количество бактерий увеличивается в течение первого дня, а потом начинает уменьшаться (Рис. 3). Количество фекальных стрептококков начинает уменьшаться сразу же. Так как начальное количество бактерий уже слишком высокое, то, наиболее вероятно, что они имеют не фекальное происхождение.

Последнее предположение подтвердили с помощью ПЦР анализа. Его выполняли в Норвежском Институте Водных Исследований (NIVA). Было отобрано по три пробы

чёрной и серой вод, и воды из комбинированной канализации, которые также проанализировали на ОКБ и E.coli (Таблица 3). В то время как концентрация ФИБ в серой воде очень высока, количество копий Bacteroides в ней в 10^5 раз меньше, чем в образце комбинированных стоков, а количество фекальных стрептококков – в 10 раз.

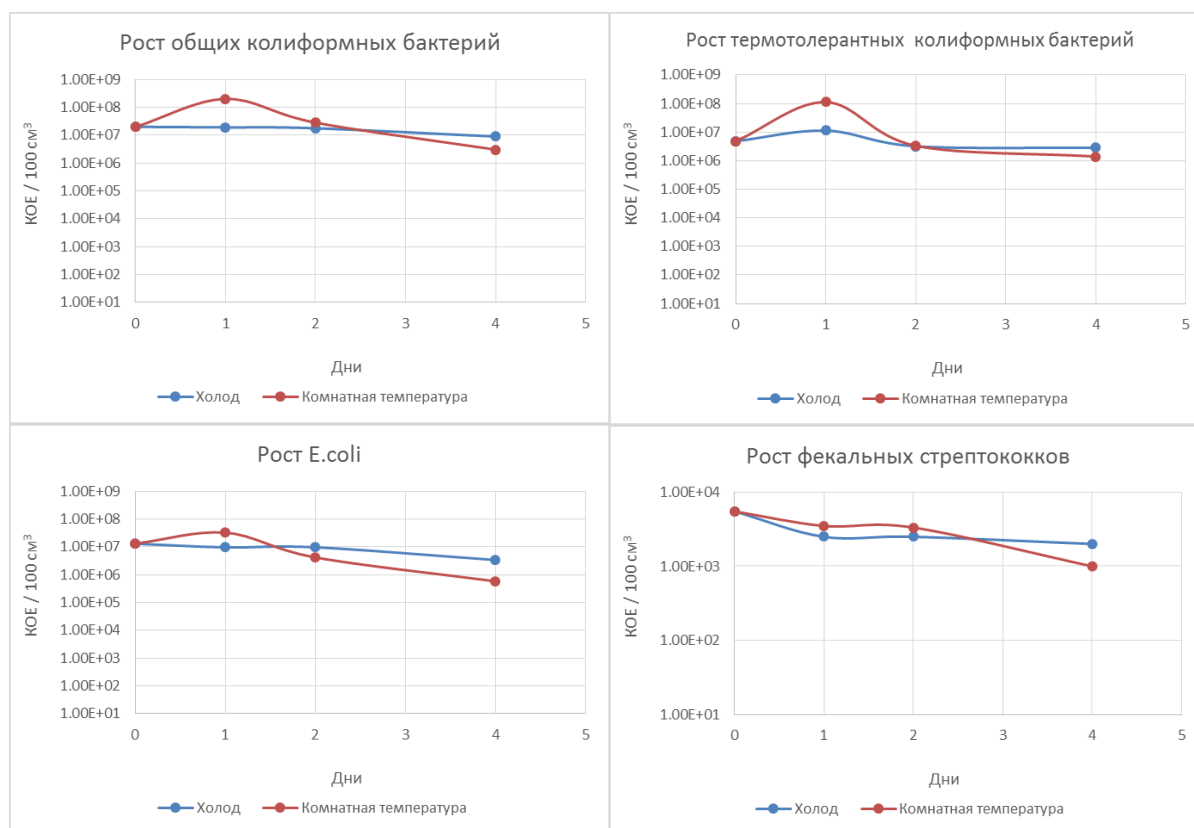


Рисунок 3 Результаты определения потенциала роста бактерий в серой воде из NMBU.

Таблица 3 Результаты количественной ПЦР.

Параметры	Чёрная вода		Смешанные стоки		Серая вода	
	Среднее	Ст.откл.	Среднее	Ст.откл.	Среднее	Ст.откл.
ОКБ/100 см ³	4,78E+07	9,6E+06	8,77E+06	6,3E+06	1,43E+07	9,7E+06
E.coli /100 см ³	8,99E+06	1,3E+06	4,49E+06	3,1E+06	1,55E+06	3,8E+05
Bacteroides копий/см ³	1,20E+09	1,1E+08	1,10E+09	1,1E+09	1,30E+04	4,8E+03
Стрептококки КОЕ/см ³	1,87E+08	5,5E+07	8,20E+06	3,0E+06	3,70E+05	5,6E+05

Энзимная активность

Проверялась взаимосвязь между энзимной активностью в сточных водах и концентрацией ФИБ. Видно, что этот параметр может быть использован для предварительной оценки количества ФИБ в различных сточных водах: черной воде, серой воде и воде из комбинированной канализации (Рис. 4)

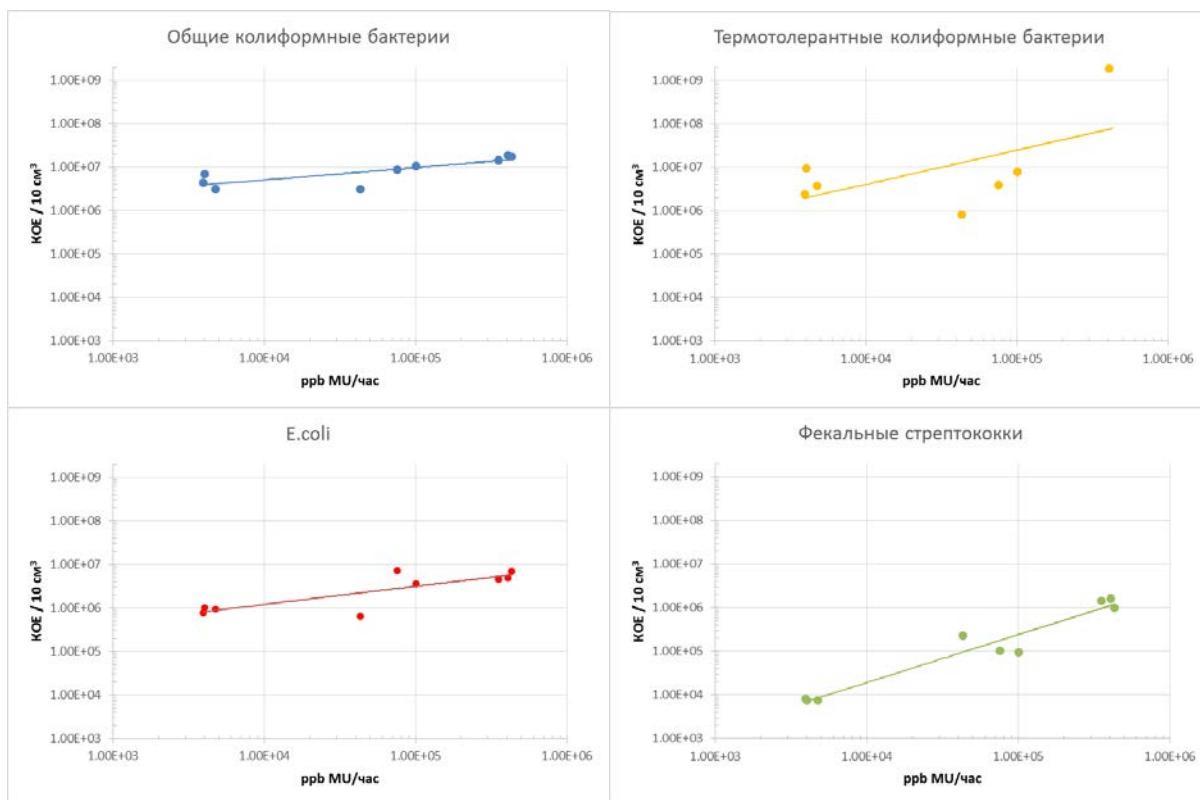


Рисунок 4 Зависимость концентрации ФИБ от энзимной активности.

Выводы

Параметры сточной воды из комбинированной канализации на территории NMBU соответствуют литературным данным для данного типа вод. Концентрация колиформных бактерий утром ниже и увеличивается в течение дня. Для фекальных стрептококков всё наоборот.

Согласно результатам теста потенциала роста бактерий в серой воде, она содержит достаточное количество питательных веществ для обеспечения роста колиформных бактерий и *E.coli* в течение одного дня.

Серая вода из общежитий «Каја» содержит большое количество ОКБ и *E.coli*, что согласуется с предыдущими исследованиями. В то же время только небольшая их часть имеет фекальное происхождение, тогда как остальные, наиболее вероятно, попадают в воду из кухни.

Быстрый метод измерения энзимной активности может быть использован для предварительной и приблизительной оценки концентрации ФИБ в различных сточных водах.

Литература

- Council Directive 2006/7/EC of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC
- Lucas, F. S., Thierial, C., Gonçalves, A., Servais, P., Rocher, V., & Mouchel, J.-M. (2014). Variation of raw wastewater microbiological quality in dry and wet weather conditions. *Environmental Science and Pollution Research International*, 21(8), 5318–28. doi:10.1007/s11356-013-2361-y
- Eshetu, M., Kozminykh, P., Heistad, A. (2014) Ecomotive final test report. Ecomotive A02 Greywater Treatment Plant
- Birks, R., & Hills, S. (2007). Characterisation of indicator organisms and pathogens in domestic greywater for recycling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1-3), 61–9. doi:10.1007/s10661-006-9427-y
- Ottosson, J. (2003). *Hygiene Aspects of Greywater and Greywater Reuse*
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater, 4, 85–104.
- Matos, C., Sampaio, A., Duarte, A. S., & Bentes, I. (2004). Characterization of greywater by appliance- Pattern of discharge along the day Cristina Matos *, Ana Sampaio , António Sampaio Duarte , Isabel Bentes ,, (2005).
- Fiksdal, L., & Tryland, I. (2008). Application of rapid enzyme assay techniques for monitoring of microbial water quality. *Current Opinion in Biotechnology*, 19(3), 289–94. doi:10.1016/j.copbio.2008.03.004
- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association, Washington.
- Henze, M., & Comeau, Y. (2008). Wastewater Characterization.
- Metcalf & Eddy (1991) Wastewater engineering: Treatment and reuse. 3 edition. McGraw-Hill Education
www.hach-lange.co.uk/