

---

## HEALTHCARE FACILITIES WASTEWATER TREATMENT - OPTIMIZATION OF OPERATING PARAMETERS

**Erhan Mustafa**

Inkohem D.O.O., Skopje, North Macedonia, erhanmustafa1978@gmail.com

**Katerina Atkovska**

Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Technology and Metallurgy, Skopje, North Macedonia

**Tanja Ristić**

Specialized Hospital for psychiatric disorders “Gornja Toponica”, Niš, Serbia

**Predrag Mišić**

Specialized Hospital for psychiatric disorders “Gornja Toponica”, Niš, Serbia

**Kiril Lisichkov**

Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Technology and Metallurgy, Skopje, North Macedonia

**Abstract:** Wastewater from healthcare facilities poses a major threat to the environment. It is important to protect water resources from the polluted water that is generated from the hospitals. There are many technologies for hospital wastewater treatment, however, because of the stricter regulations for the treated water quality and the availability of modern materials on the market, new technologies for wastewater treatment are constantly developed. Some of these new technologies are using the membrane for separating the active sludge from the treated water and are known as membrane separation processes. In this paper modeling of the permeability characteristics of a silicon carbide membrane (SiC) submerged in membrane bioreactor (MBR) and optimization of the operating parameters using the 3D response surface method, were done. For this purpose, Statgraphics Centurion software was used where the permeability characteristics of the membrane are optimized. The temperature, transmembrane pressure (TMP) and chemical oxygen demand (COD) of the effluent are the input parameters that are used for defining the optimal membrane permeability characteristics. Changing the values of the studied operating parameters, optimal response surfaces of the membrane permeability are obtained. From the results it can be seen that the decreasing of the temperature and decreasing of the COD, positively effects the permeability characteristics of the applied ceramic membrane.

**Keywords:** healthcare facilities, wastewater treatment, membrane bioreactor, permeability

## ТРЕТМАН НА ОТПАДНИ ВОДИ ОД ЗДРАВСТВЕНИ УСТАНОВИ. ОПТИМИЗАЦИЈА НА РАБОТНИТЕ ПАРАМЕТРИ

**Ерхан Мустафа**

Инкохем Д.О.О., Скопје, Северна Македонија, erhanmustafa1978@gmail.com

**Катерина Атковска**

Технолошко – металуршки факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија

**Тања Ристиќ**

Специјална болница за психијатриски болести “Горна Топоница”, Ниш, Србија

**Предраг Мишиќ**

Специјална болница за психијатриски болести “Горна Топоница”, Ниш, Србија

**Кирил Лисичков**

Технолошко – металуршки факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија

**Апстракт:** Отпадните води од здравствените установи претставуваат голема закана за животната средина. Затоа многу е важно да се заштитат водните ресурси од отпадните води што се создаваат од болниците. Постојат многу технологии за третман на отпадни води кои потекнуваат од болници, но поради построгите

прописи за квалитетот на пречистената вода и достапноста на современи материјали на пазарот, постојано се развиваат нова технологии. Некои од овие нови технологии користат мембрана за одвојување на активната мил од пречистената вода и се познати како мембрански сепарациони процеси. Во овој труд извршено е моделирање на пермеабилните карактеристики на мембрана од силициум карбид (SiC) потопена во мембрански биореактор (МБР) и оптимизирање на работните параметрите со примена на методот на 3D одзивна површина. За таа цел се користи софтверот Statgraphics Centurion со кој се оптимизирани карактеристиките на пропустливост на мембраната. Температурата, трансмембранскиот притисок (ТПП) и хемиската потрошувачка на кислород (ХПК) на ефлуентот, се влезните параметри кои се користат за дефинирање на оптималните пермеабилни карактеристики на мембраната. Со промена на вредностите на испитуваните работни параметри, се добиваат оптималните одзивни површини на пропустливоста на мембраната. Од резултатите може да се види дека зголемувањето на температурата, а намалувањето на ХПК, позитивно влијаат на пермеабилните карактеристиките на применетата керамичка мембраната.

**Клучни зборови:** здравствени установи, третман за отпадни води, мембрански биореактор, пермеабилност

## 1. ВОВЕД

Во последните децении, како резултат на развојот на медицинските услуги и производи, количеството на отпадните води од здравствените установи, се повеќе се зголемува (Amoeci et al., 2010). Во отпадните води кои се добиваат од болниците можат да се најдат разни полутанти, како што се детергентите, средствата за дезинфекција, остатоци од лекови односно фармацевтски активни соединенија, како и микроорганизми вклучувајќи бактерии и вируси (Escher et al., 2011; Dires et al., 2018). Со текот на годините, имплементирани се различни технологии за третман на отпадните води од здравствените установи, меѓу кои се и мембранските сепарациони процеси (мембрански биореактор, МБР) (Nielsen et al., 2013).

Мембранскиот биореактор (МБР) е технологија на пречистување на отпадни води каде со употреба на полупропустлива мембрана пречистената вода се одделува од активната мил (Sohail et al., 2020). Областа на употреба на мембраните и дизајнирањето на процесот, зависат од мембранските материјали и димензијата на порите. Мембраните можат да бидат од органско (полимерни) и неорганско потекло (керамички) (R.Weber et al., 2003). Поради механичката отпорност, одличната хемиска отпорност и хидрофилните карактеристики, керамичките мембрани се повеќе се користат во однос на полимерните мембрани (Lopez et al., 2020; Liu et al., 2019). Во зависност од процесот и димензиите на порите на површината на мембраните, во технологијата на МБР-и, се користат две основни конфигурации, односно конфигурација на МБР-и во која мембраните се поставени надвор од реакторот и конфигурација на субмерзен МБР во која мембраните се потопени во реакторот (Yamamoto et al., 1989). Моделите кои прецизно го дефинираат мембранскиот процес се потребни за дизајнирање, конструкција и контролирање на МБР. Пермеабилните карактеристики на мембранските елементи зависат од работните параметри кои го движат процесот (Cui et al., 2020). Хемиската потрошувачка на кислород (ХПК), температурата и трансмембранскиот притисок (ТПП) се едни од најбитните параметри кои влијаат на пропустливоста на мембраната. Температурата влијае на пермеабилните карактеристики на мембраната преку вискозноста на пермеатот (Mulder, 2000). Повисоките работни температури кои се во рамките на мезофилниот температурен опсег, исто така резултираат со поголема редукција на ХПК (Singh and Virarghavan, 2003). Количината на ефлуентот низ мембраната влијае на стапката на намалување на пропустливоста на мембраната, а со тоа и на промената на трансмембранскиот притисок, односно го определува временскиот период на филтрацијата и физичкото чистење на мембраната. Количината на добиен ефлуент не е подеднаква низ целата површина на мембраната. Како резултат на тоа, за одржување на стабилен флукс на мембраната настанува промена во трансмембранскиот притисок (Brookes et al., 2003). Моделирањето на пермеабилните карактеристики претставува основа за оптимизирање на ефикасноста на мембранскиот реактор (Xiong et al., 2019).

## 2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ

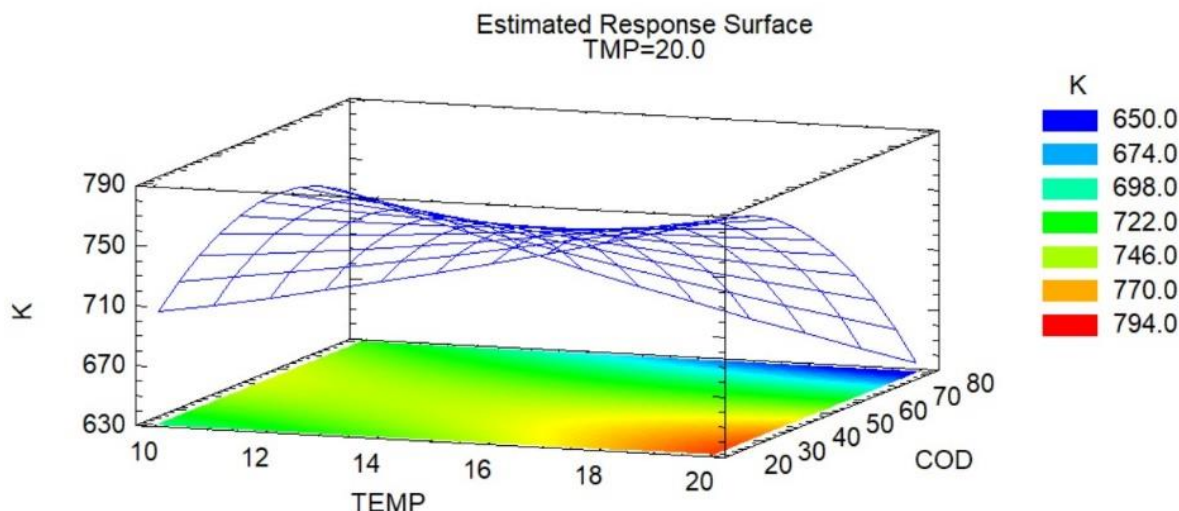
За потребите на овој труд испитувани се оптималните пермеабилни вредности на керамичка мембрана (SiC) со димензии на пори од 0,01 $\mu$ m. За оптимизација на работата на мембранскиот биореактор се применува методот на 3D одзивна површина (Response Surface Method) од софтверскиот пакет Statgraphics Centurion. Со овој метод се дефинира функционалната зависност на пермеабилноста на мембраните од вредностите на испитуваните работни параметри.

## 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

За оптимизирање на пермеабилните карактеристики на керамичката мембрана со употреба на софтверскиот пакет Statgraphics Centurion дефинирана е функционалната зависност на протокот од трансмембранскиот

притисок (ТМП), хемиската потрошувачка на кислород (ХПК) и температурата на ефлуентот. На слика 1 прикажан е 3D оптимизационен одзив на пермебилноста на керамичката мембрана во функција од температурата во мембранскиот реактор и концентрацијата на излезна ХПК од МБР при работен ТМП од 20 mbar.

Слика 1. Оптимизационен 3D дијаграм за SiC мембрана

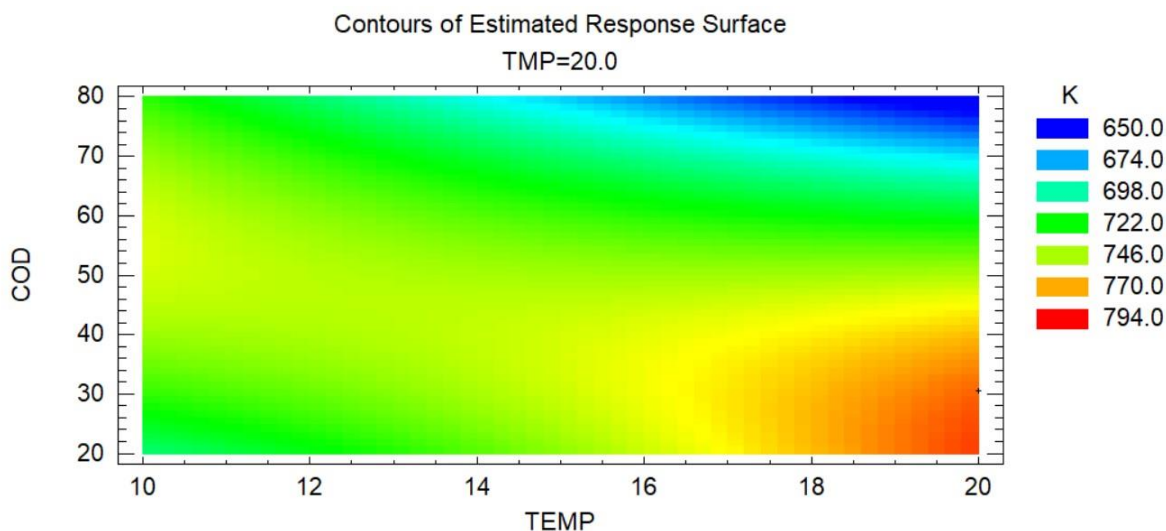


На сликата се гледа дека зголемувањето на температурата во мембранскиот реактор и ниските излезни концентрации на ХПК позитивно влијаат на големината на пермеабилноста на SiC мембраната. Високата излезна концентрација на ХПК ја намалува пропустливоста на мембраната. Притоа, добиените модели имаат коефициент на корелација  $R^2=0.9999$  за SiC мембраната.

На слика 2 е прикажан оптимизациониот дијаграм на главните ефекти за SiC мембраната, во која мембраната покажува најдобри пермеабилни карактеристики при работна температура на водата од 16°C до 20°C. Од добиените резултати и од графичкиот приказ може да се прикаже моделната равенка која софтверот ја користи за пресметките, односно :

$$K = 1693.47 + 21.1116 \cdot \text{TEMP} + 2.34819 \cdot \text{COD} - 80.0024 \cdot \text{TMP} + 0.167479 \cdot \text{TEMP}^2 - 0.284979 \cdot \text{TEMP} \cdot \text{COD} - 0.619907 \cdot \text{TEMP} \cdot \text{TMP} - 0.0388167 \cdot \text{COD}^2 + 0.237484 \cdot \text{COD} \cdot \text{TMP} + 1.0952 \cdot \text{TMP}^2$$

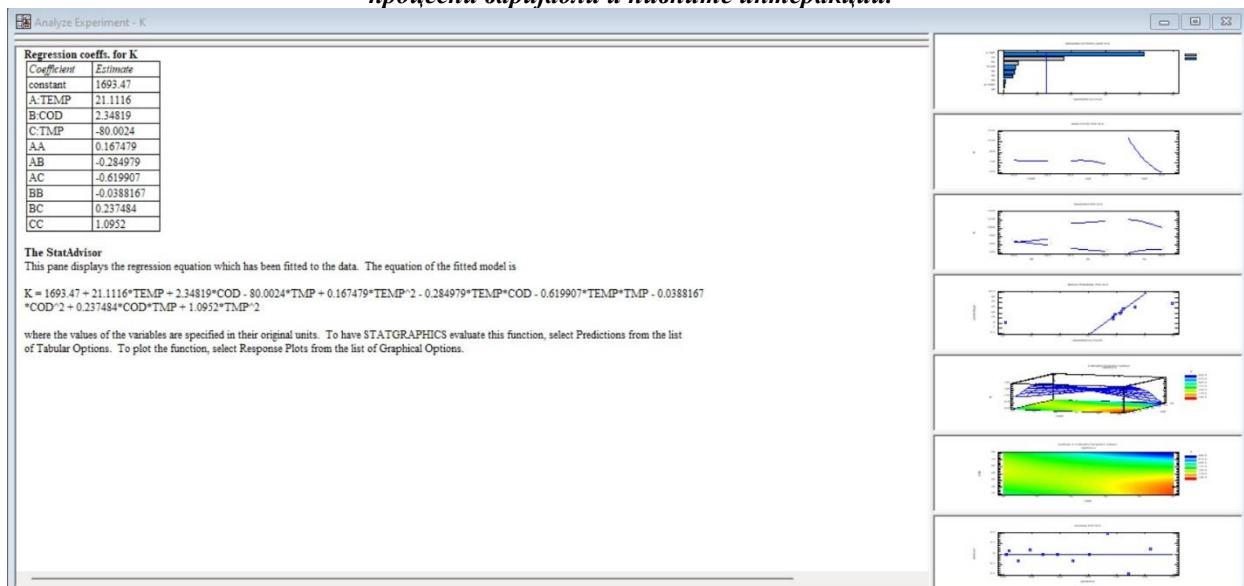
Слика 2. Оптимизационен дијаграм на главните ефекти за SiC мембрана



На слика 3 прикажана е конечната моделна равенка за функционалната зависност за добивање на

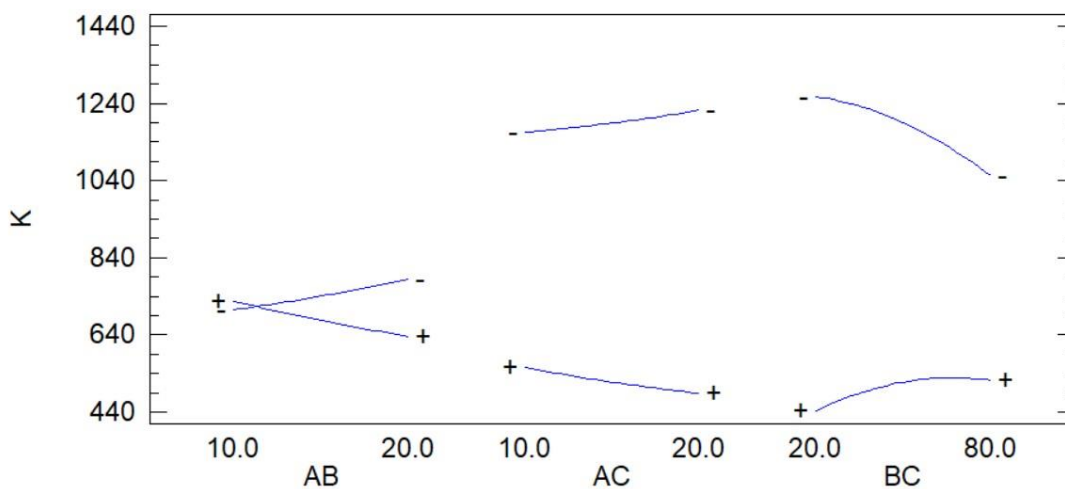
оптимизационите вредности за пермеабилноста на керамичката мембрана која ја користи софтверот за одредување на оптималните пермеабилни карактеристики на керамичката мембрана.

**Слика 3. Конечна моделна равенка за функционална зависност на пермеабилноста од испитуваните процесни варијабли и нивните интеракции.**



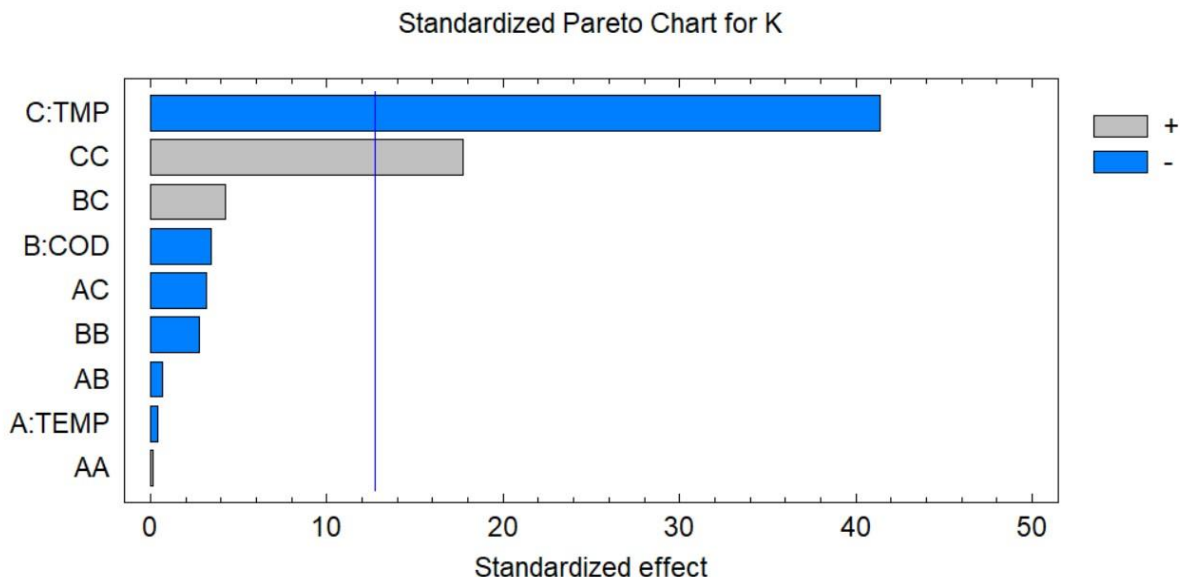
Во добиениот модел, интеракција помеѓу процесните варијабли за SiC мембраната е прикажана на слика 4, каде јасно се гледа дека со промена на температурата и ХПК се менува и пропусливоста на SiC мембраната.

**Слика 4. Интеракција помеѓу процесните варијабли за SiC**  
Interaction Plot for K



Во добиените модели за оптимизација на процесот, на слика 5, прикажано е статистичкото значење на главните процесни варијабли и нивните интеракции. Оваа анализа е статистичка процедура со која се добиваат извештаи за неправилности кои се одговорни за промени во пермеабилноста на мембраната.

Слика 5. Статистичкото значење на главните процесни варијабли и нивните интеракции за SiC мембраните



#### 4. ЗАКЛУЧОК

Од добиените дијаграми евидентно е дека пермеабилноста како фундаментален процесен параметар е во директна корелација со температурата во мембранскиот биореактор, трансмембранскиот работен притисок и ХПК на излезниот ефлуент. На оптимизациониот 3D дијаграм, јасно се разграничени, со линерана зависност, зоните на оптимален минимум и максимум, за случај кога се испитуваат влијанието на ТМП, температурата и ХПК врз пермеабилноста на мембраната. Со промена на вредностите на испитуваните работни параметри се добиваат оптимизациони одзивни површини на пропустливоста на мембраната кои се зголемуваат со намалување на концентрацијата на ХПК. Од добиените дијаграми може да се утврди дека зголемувањето на температурата во биореакторот позитивно влијае врз пермеабилните карактеристики на мембраните.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Amouei, A.A., Asgharnia, H.A., Goodarzi, J. & Salehi, A. (2010). Characteristic of Wastewater in the Hospitals of Babol Medical University (Iran). *Journal of Babol University of Medical Sciences*, 12(2), 77-82.
- Brookes, A., Judd, S., Reid, E., Germain, E., Smith, S., Alvarez-Vazquez, H., Le-Clech, P., Stephenson, T., Turra, E. & Jefferson, B. (2003). Biomass characterization in membrane bioreactors, *Proceedings of International Membrane Science and Technology Conference (IMSTEC)*, Sydney, Australia.
- Cui, Z., Ngo, H.H., Cheng, Z., Guo, W., Meng, X., Jia, H. & Wang, J. (2020). Hysteresis effect on backwashing process in a submerged hollow fiber membrane bioreactor (MBR) applied to membrane fouling mitigation. *Bioresource Technology*, 300
- Dires, S., Birhanu, T., Ambelu, A. & Sahilu G. (2018). Antibiotic resistant bacteria removal of subsurface flow constructed wetlands from hospital wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6, 4265–4272.
- Escher, B.I., Baumgartner, R., Koller, M., Treyer, K., Lienert, J. & Mc Ardell, C.S. (2011). Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater. *Water Research*, 45(1), 75 -92.
- Fu, M., Liu, J., Dong, X., Zhu, L., Dong, Y. & Hampshire, S. (2019). Waste recycling of coal fly ash for design of highly porous whisker-structured mullite ceramic membranes. *Journal of the European Ceramic Society*, 39(16), 5320-5331.
- López, J., Reig, M., Vecino, X., Gibert, O. & J.L. Cortina, J.L. (2020). Comparison of acid-resistant ceramic and polymeric nanofiltration membranes for acid mine waters treatment, *Chemical Engineering Journal*, 382, 122786.
- Mulder, M. (2000). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- Nielsen, U., Hastrup, C., Klausen, M.M., Pedersen, B.M., Kristensen, G.H., Jansen, J.L.C., Bak S.N. & Tuerk J. (2013). Removal of APIs and bacteria from hospital wastewater by MBR plus O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub> +H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, PAC or ClO<sub>2</sub>. *Water Science and Technology*, 67, 854–862.
- Ralph Weber, R., Horst Chmiel, H. & Valko Mavrov, V. (2003). Characteristics and application of new ceramic nanofiltration membranes, *Desalination*, 157(1–3), 113-125,
- Singh, K.S. & Viraraghavan, T. (2003) Impact of temperature on performance, microbial, and hydrodynamic aspect of USAB reactors treating municipal wastewater. *Water Science and Technology*., 48(6), 211.
- Sohail, N., Ahmed, S., Chung, S. & Nawaz, M.S. (2020). Performance comparison of three different reactors (MBBR, MBR and MBBMR) for municipal wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 174, 71–78.
- Xiong, J., Zuo, S., Liao, W. & Chen, Z. (2019). Model-based evaluation of fouling mechanisms in powdered activated carbon/membrane bioreactor system. *Water Science and Technology*, 79, 1844–1852.
- Yamamoto, K., Hiasa, M., Mahmood, T. & Matsuo, T. (1989). Direct solid–liquid separation using hollow fibre membrane in an activated sludge aeration tank. *Water Science and Technology*, 21(10), 43–54.