

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE
ÚSTAV CHEMICKÉHO A BIOCHEMICKÉHO INŽINIERSTVA**

Parné spotrebiče, kondenzáty, odpadové vody a ich recyklácia

Elaborát na predmet Riešenie procesových problémov v praxi

Bc. Lőrincz Réka

Ak. rok: 2016/2017

2016

Obsah

Zoznam literatúry.....	3
Abstrakty z článkov.....	4
Abstrakt.....	6
Elaborát.....	7
Doplňkový zoznam literatúry.....	9

Zoznam literatúry

- [1] Kralj, A. K.: *Industrial wastewater collection using a separation technique*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry 18 (2012), 1320-1325
- [2] Alkaya, E. – Demirer, G. N.: *Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A case study for sustainable industrial water management in Turkey*, Resources, Conservation and Recycling (2015), 3092
- [3] Zhao, S. et al: *Recycling of high temperature steam condensed water from petroleum refinery by thermostable PPESK ultrafiltration membrane*, Chemical Engineering Journal 219 (2013), 419-428
- [4] Bhatt, M. S.: *Energy audit case studies I -steam systems*, Applied Thermal Engineering 20 (2000) 285-296
- [5] Ruiz-Rosa, I. – García-Rodríguez, F. – Mendoza-Jiménez, J.: *Development and application of a cost management model for wastewater treatment and reuse processes*, Journal of Cleaner Production xxx (2015) 1-12
- [6] Götz, G. et al: *Adjustment of the wastewater matrix for optimization of membrane systems applied for water reuse in breweries*, Journal of Membrane Science (2014), 1-33

Abstrakty z článkov

1) Kralj, A. K.: *Industrial wastewater collection using a separation technique*

Water is an essential element within normal functioning throughout the chemical industry. The reuse of water, or more precisely water condensate collection, is very important during real chemical processes because it can reduce raw materials, energy losses, and costs, and can improve the operations of energy and process systems.

The effect of industrial activity on the environment has attracted considerable attention over the past few decades. Industry, therefore, has started looking at methods of reducing the volumes of produced wastewater. This paper presents the industrial separation of lower and higher temperature condensates' collection using the heating utility of steam production, by separation techniques. The existing condensate collection regarding utilities' preparation for steam-generation may no longer be optimal; the basic intention is that minimal changes in the system can produce an efficient improvement by using separate collections of low and high-temperature condensates, and the use of available heat with little heat flow rate loss. This separated water condensate collection preparation for the utility of steam production by using a separation technique and MINLP (mixed-integer nonlinear programming) was tested on an existing methanol process, which allowed for an efficient and additional 7% water condensate collection system for steam-generation.

2) Alkaya, E. – Demirer, G. N.: *Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A case study for sustainable industrial water management in Turkey*

The aim of this study was to investigate water conservation and reuse opportunities in a softdrink/beverage manufacturing company. Water use analysis and benchmarking were carried out to determine the areas and processes where significant water saving potential is present. Based on evaluations, water recycling and reuse practices were realized in cooling systems. As a result of applying these practices, the total specific cooling water demand of the company was reduced from 14.4 to 1.2 m³/m³productor by 91.8%. Moreover, the total specific water intensity of the company was decreased 55.0%. Thus, the achieved total annual water saving was 503,893 m³. After applications, specific wastewater generation of the company was reduced by 57.4% and hydraulic overload issues in wastewater treatment plant of Kayseri organized industrial zone were resolved. During the implementation of water saving measures/techniques 56,960 \$ was spent for equipments. Annual cost saving of the company were 97,000 \$. So, the payback period of the implementations was approximately 7 months. This study proved that water recycling and reuse can successfully be implemented in soft drink/beverage industry as a sustainable industrial water management approach. If successfully replicated in other manufacturing sectors besides soft drink/beverage sector, outcomes of this study can be a solution for excessive cooling water consumption in Turkey as well as other parts of the world where similar processes are employed

3) Zhao, S. et al: *Recycling of high temperature steam condensed water from petroleum refinery by thermostable PPESK ultrafiltration membrane*

The purification and reclaiming of synthetic and industrial high temperature condensed water containing excess oil and iron is investigated in this study using thermostable poly (phthalazine ether sulfone ketone) (PPESK) ultrafiltration membranes. The results show operation parameters such as transmembrane

pressure, temperature and pH of feed solution, initial oil and iron concentration each play important roles in the permeate flux and oil/iron removal efficiencies. Membrane performance is almost recovered after washing with a combination of NaOH and ethanol. High temperature condensed water

from Daqing petroleum refinery can be consecutively purified using a PPESK ultrafiltration membrane. The turbidity of the solutions is almost removed. Oil and iron concentrations in the permeate solutions are below 1 mg/L and 50 lg/L, respectively, which satisfy the Quality Criterion of Water and Steam for Steam Power Equipment in China. UF process shows a promising alternative to existing technology in the Daqing petroleum refinery in terms of cost and environmental protection as well as energy recovery. For future possible combination of UF and NF process application, both economic cost and saving are evaluated, and the breakeven time is about 11 months.

4) Bhatt, M. S.: *Energy audit case studies I -steam systems*

This paper presents an analytical diagnostic tool for energy audit of steam systems. The circuit efficiency is determined as a product of the segment efficiencies. The analysis is applied to a few industrial cases. These will provide clear indication on the pattern of energy losses and will aid in decision support for evolution of energy conservation measures. The results indicate that contrary to the popular thrust areas, the steam lines and the condensate loss are the major causes of fuel energy wastage and these offer considerable potential for conservation.

5) Ruiz-Rosa, I. – García-Rodríguez, F. – Mendoza-Jiménez, J.: *Development and application of a cost management model for wastewater treatment and reuse processes*

The treatment of wastewater and its further reuse is an essential part of an efficient rationalization of water within the field of Environmental Management Initiatives. Opting for the regeneration of this resource will lead to an important increase in water supply. Few studies have specifically calculated the economic costs of wastewater treatment and reuse using cost accounting and management techniques. In this paper, a cost management model is designed and adapted to the wastewater treatment process. The model quantifies, in economic terms, the change of water state from treated to regenerated water, favoring more efficient decision making regarding this resource. A practical application of this model was carried out at the Wastewater Treatment Plant of Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands e Spain). The costs of the resources consumed by the treatment plant were calculated, as well as the costs for the different activities identified in treatment and reuse processes. As a result of our calculation process, it can be noted that the reuse of wastewater is an interesting option in terms of costs compared to other existing sources of water: surface water, underground water or desalination

6) Götz, G. et al: *Adjustment of the wastewater matrix for optimization of membrane systems applied for water reuse in breweries*

The objective of this study was to optimize membrane systems applied for wastewater reuse in breweries in consideration of economic efficiency and safety of operation by defining and adjusting the wastewater matrix. With the help of extensive quantitative and qualitative analyses of relevant process water flows from several breweries with similar product ranges and different wastewater treatment concepts, the following process water flows were identified as critical regarding to the membrane filtration: Polyvinyl polypyrrolidone regeneration lye, cleaning and rinsing lyes from cleaning in place systems as well as effluents from the bottle washing machine and conveyor belts. Their negative effects on the filtration performance of low pressure membranes were shown in laboratory-scale tests. In addition, treatment concepts of recycling the alkaline process water flows (Polyvinyl polypyrrolidone regeneration lye, cleaning in places lyes) were developed and investigated regarding to technical, ecological and economic aspects. As secondary objectives, the reduction of inert organic substances, the recovery of valuables (polyphenols, sodium hydroxide solution) and the substitution of critical substances (conveyor belts) were pursued.

Abstrakt

Voda je základnou a neoddeliteľnou súčasťou života na Zemi. Je univerzálne rozpúšťadlo a vďaka dobrým vlastnostiam sa veľmi často používa v priemysle na výrobu pary, chladenie, prípravu roztokov, umývanie a pod.

V dnešnej dobe prioritným cieľom ľudstva je zachovať vodné zdroje. Sú krajiny, oblasti, kde ľudia trpia nedostatkom pitnej vody. Tento stav ešte ďalej zhoršuje stály nárast populácie, industrializácia a globálne otepľovanie.

V priemysle sa snažia znížiť množstvo vyprodukovanej odpadovej vody, ďalej ju upraviť rôznymi separačnými technikami, ktorými sú aj membránové separácie ako ultrafiltrácia, nanofiltrácia, reverzná osmóza a recirkulovať ju. Pri návrhu týchto procesov je potrebné správne vybrať membránový modul na separáciu určitých kontaminantov. Pri optimalizácii treba uvažovať s vlastnosťami suroviny, faktormi, ktoré ovplyvňujú priebeh procesu, ako teplota, transmembránový tlak a hlavne začiatočná koncentrácia suroviny.

Z energetického a ekonomického hľadiska, ako aj z hľadiska šetrenia vody je dôležité analyzovať účinnosť kotla, zistiť straty z parných rozvodov, straty kondenzátov, čiže vykonať energetický audit.

Úprava a zber vysoko- a nízkoteplotného kondenzátu je tiež prvoradé, ak vodu chceme vrátiť naspäť do procesu alebo len vypustiť do recipientu. Sledovanie a odstránenie znečisťujúcich látok z kondenzátov a odpadových vôd tiež nemôžeme zanedbať, keďže sú prísne legislatívne požiadavky.

Snahou je minimalizovať spotrebu úžitkovej vody a následne aj vyprodukovaný odpad, znížiť energetické straty a náklady na úpravu odpadovej vody, či už kondenzátov.

Elaborát

Neoddeliteľnou súčasťou chemického priemyslu je voda. Znovu použitie tejto suroviny je veľmi dôležité. Môže zredukovať množstvo surových materiálov, energetické a ekonomické straty a zlepšiť chod systémov.

V poslednej dobe, a nielen v chemickom priemysle, je snaha znížiť množstvo vyprodukovanej odpadovej vody. Minimalizácia spotreby vody a produkcie odpadu obmedzuje spotrebu energie a pomocných látok a zároveň môže zvyšovať účinnosť procesov. V dôsledku prísnych legislatívnych požiadaviek na ochranu životného prostredia potreba zníženia spotreby úžitkovej vody sa zvyšuje. Vznikajú rozsiahle práce, v ktorých sa autori zaoberajú minimalizáciou spotreby vody v nepretržitých procesoch, ako aj vyvinutím metód na zníženie produkcie odpadovej vody (napr. pinch analýza).

V Turecku za posledných 20 rokov spotreba úžitkovej vody narástla o 50% v dôsledku rýchleho vývoja priemyslu- hlavne potravinárskeho. Po vyhodnotení a analýze, kde všade (umývanie surovín, filtrácia, separácia, chladenie) a koľko vody sa použije vo firme, kde vyrábajú ovocné džúsy a nápoje, prišli k záveru, že z hľadiska šetrenia vody treba nahradiť prietochný systém chladienia cirkulačným chladením. Takéto opatrenia môžu byť použité aj v iných potravinárskych firmách.

Voda je jednou z najdôležitejších foriem energie v priemysle, preto zber kondenzátu je pochopiteľný. Separačná technika založená na rozdelení kondenzátov do nízkoteplotného a vysokoteplotného zásobníka bola porovnaná s inými metódami na minimalizáciu spotreby vody a produkciu odpadovej vody. Zistilo sa, že táto metóda je najjednoduchšou metódou poskytujúca rýchle a dobré riešenie, ktoré však nie sú globálne.

Kondenzácia je dôležitou časťou procesov v laboratóriách a v chemickom priemysle. Kondenzát vyprodukovaný v procesoch môže byť zbieraný za účelom výroby pary a prípravy surových materiálov. Základom separačných techník je oddelenie a zber nízko- a vysokoteplotného kondenzátu do nízko- (do 90°C) a vysokoteplotného (okolo 120°C) zásobníka. Pri ohreve nízkoteplotného kondenzátu a následnom zmiešaní s vysokoteplotným kondenzátom sa použije na ohrev menej energie ako pri zmiešaní všetkých kondenzátov a následnom spoločnom ohreve na tú istú teplotu.

Vysokoteplotný kondenzát vzniká kondenzáciou vysokotlakovej pary a obsahuje 20-30% z množstva tepla pary. Vypustený kondenzát z rafinérie spôsobuje energetické straty a zbytočné poplatky za vypustené odpadové vody. Priame vypustenie kondenzátu do recipientu môže viesť k zahriatiu teploty vody a negatívnemu vplyvu na kvalitu vody a hlavne na rast a život organizmov. Znovuzískanie vysokoteplotného kondenzátu má veľký význam z hľadiska konzervácie vody ako aj zníženia energetických strát.

Kondenzát po úprave sa používa ako napájacia voda do kotla a ako horúca voda na kúrenie v obytných častiach mesta. Avšak kondenzovaná voda vyprodukovaná v rafinérii často obsahuje kontaminanty: ropné látky, oleje, železo. Tieto znečisťujúce látky sa dostávajú do kondenzátu v dôsledku únikov z korodovaných zariadení a ak nie sú dobre upravené pred opätovným použitím, môžu zničiť kotol s rôznymi spôsobmi. Ak sa olej nalepí na stenu rúrok v kotli, dochádza k lokálnemu prehriatiu a k zníženiu prestupu tepla. Ďalšou možnosťou je, že dôjde k čiastočnej korózii rúrok kvôli prítomnosti železa vo vode a následne k perforácii v dôsledku usadzovania železa na povrchu týchto rúrok.

Množstvo prác sa venuje technológiám a metodikám odstránenia kontaminantov z kondenzátov. Zvyčajne sa to zrealizuje adsorpciou aktívnym uhlím, mixbedovou iónovou výmenou alebo pomocou vláknových membrán. Tieto procesy sú sprevádzané aj s problémami, ktoré vyplývajú z prevádzky jednotlivých zariadení, ako vysoké prevádzkové náklady a vznik sekundárnych odpadov.

Použitie membránových technológií má viacero výhod. Ich prevádzkovanie je jednoduchšie, majú vysokú účinnosť separácie a nižšiu potrebu energie. V súčasnosti sa membránové separácie dostávajú do popredia a čím ďalej, tým sú lacnejšie (ako napr. pred 20 rokmi), keďže záujem o ich použitie v praxi sa zvýšil. V poslednom čase ultrafiltrácia (UF), nanofiltrácia (NF) a reverzná osmóza (RO) sa s vysokou efektívnosťou používa na odstránenie nečistôt z kondenzátu a úžitkovej vody.

Yi et al. predstavil RSM metódu na optimalizáciu prevádzkových parametrov na zníženie znečisťovania ultrafiltračných membrán a Chakrabarty et al. úspešne použil niekoľko typov polysulfónových membrán na odstránenie oleja z vody v ropnom priemysle. Obsah olejov a nečistôt vo vode - permeáte nepresahuje maximálnu hodnotu stanovenú legislatívou. UF systémy boli úspešne aplikované na odstránenie rozpusteného železa vo vode aj v jadrovej elektrárni v Coloráde.

V práci Zhao et al. sa autori zaoberali čistením a recykláciou vysokoteplotného kondenzátu pomocou termostabilných PPESK UF membrán. Efektívnosť odstránenia olejov a železa z vysokoteplotného kondenzátu sledovali ako zmenu transmembránového tlaku (TMP), teploty, pH hodnoty od vstupujúceho roztoku a začiatočnej koncentrácie oleja a železa v surovine.

Bolo uskutočnené aj vyčistenie UF membrán rôznymi spôsobmi. Po ukončení UF, membrána bola premývaná deionizovanou (DI) vodou. Na vyčistenie membrány použili aj 0,1M roztok NaOH, 50%-ný roztok etanolu, 0,1M roztok kyseliny šťaveľovej a nakoniec prepláchnutie DI vodou po dobu 5min.

Je zrejmé, že účinnosť membrán ovplyvňuje transmembránový tlak, koncentračná polarizácia, teplota privádzanej suroviny (vody, ktorú chceme upraviť, vyčistiť), koncentrácia oleja a železa v surovine ako aj pH. Pri optimalizácii separačného procesu na odstránenie kontaminantov z vysokoteplotného kondenzátu treba uvažovať parametrami (popísanými vyššie), aby sme zabezpečili určitú efektívnosť. Tok permeátu sa zvyšuje s narastajúcou teplotou suroviny (vysokoteplotný kondenzát), ale ak koncentrácia kontaminantov v surovine je vyššia, tok permeátu sa zníži. Na odstránenie iných kovov (Ca, Mg, Na) z kondenzátu nestačí použiť len UF membrány, následne permeát by sa mal upraviť NF a RO membránami ako v rafinérii Daqing v Číne. V tejto rafinérii používajú PPESK membrány na úpravu kondenzátu. Ich prevádzkové náklady sú 0,16\$/tona vody.

Energetický audit parných systémov pozostáva z čiastkových analýz účinností jednotlivých segmentov. Analýza bola aplikovaná pre niekoľko priemyselných prípadov. Poskytuje jasný obraz o stratách energií a pomáha pri rozhodnutiach o šetrení energie. Parné rozvody a straty kondenzátov predstavujú hlavné straty energií.

Energetický audit je metóda na identifikáciu straty energie, na ich kvantifikovanie, odhadnutie možností jej zachovania. Vzhľadom na to, že neexistuje štandardizovaná metóda na výkon energetického auditu, tento článok sa snaží poskytnúť vodidlo ako najst' miesta kde sa dá zvýšiť účinnosť systému.

Parný systém pozostáva z vyvíjača pary alebo z kotla a parných rozvodov. Faktory ovplyvňujúce účinnosť parných systémov pre kotol sú podtlak v peci, pomer vzduch/palivo, účinnosť atomizácie, turbulencia, teplota v peci, účinnosť riadenia, zloženie vody, odpor na strane spalín, geometria, teplovýmenná plocha; pre parné rozvody: teplovýmenná plocha, odpor na strane pary, kvalita pary, únik po trase, tepelná disperzia, strata tlaku, straty v odvádzačoch kondenzátov a v odplyňovači, straty pri filtrovaní vratného kondenzátu.

Celková účinnosť parného systému je daná účinnosťou kotla, parného potrubia, spotrebičov a využitia kondenzátu. Účinnosť kotla je ovplyvňovaná účinnosťou spaľovania a odovzdávania tepla. Na účinnosť rozvodu majú vplyv straty tepla z povrchu potrubí, straty vody (odvádzače kondenzátu), straty pary (úniky, odplyňovanie). Účinnosť využitia pary v spotrebičoch je daná ako pomer teoreticky potrebnej energie pre dané spotrebiče a nimi reálne spotrebovanou parou. Faktor nevyužitého kondenzátu zohľadňuje straty, ktoré vznikajú pri odvádzaní kondenzátu.

Výkon kotla je charakterizovaná účinnosťou kotla, pomerom para/palivo a špecifickou spotrebou pary. Regulovateľné straty vznikajú v dôsledku stratám v spalínach (vysoké teploty a nadbytok vzduchu), nekonvertovaným alebo čiastočne nekonvertovaným palivom v popoli alebo radiáciou z povrchu pece.

Úprava kondenzátov ako aj odpadovej vody z procesov a ich znovu použitie je nevyhnutnou časťou každej jednej firmy. Ruiz-Rosa, I. a kol. vytvorili model na zhodnotenie úpravy odpadovej vody a jej znovu použitie.

V prvej fáze sa identifikujú konečné produkty. Podľa Estevan and Naredo (2004) voda z miest a priemyslu by nemala byť považovaná ako odpad, ale ako nový zdroj, ktorý musí byť regenerovaný a znova použitý. V druhej časti sa definujú procesy, ktorými získame dva typy vôd (1. voda neohrožujúca životné prostredie, 2. voda na recirkuláciu späť do procesov). Tretia fáza zahŕňa faktory, ktoré ovplyvňujú aktivity/činnosti spojené s úpravou vody. Sú rozdelené do 9 skupín: Prvá je pracovná sila (fixné a variabilné ohodnotenie, platy stálych a dočasných pracovníkov). Druhá skupina sú energie, ktoré sú spotrebované pri čerpaní purifikovanej/čistenej alebo regenerovanej vody. Ďalšími skupinami sú chemikálie potrebné na úpravu, náklady spojené s údržbou, náklady na administratívu (služby pre zákazníkov), zásobovanie a externé služby (elektrina, osvetlenie, vykurovanie, technické a právne služby, externá dopravná služba, bezpečnosť a okrem týchto ešte: nájom, údržba počítačov), dane, odpisy, všeobecné náklady (nájom, poistenia, transport, propagácia, práca s verejnosťou, celospoločenské náklady). V štvrtej fáze vystupuje rozvoj, rozumné riadenie jednotlivých procesov pri úprave vody, logistika a výpočty pre rôzne typy procesov.

Doplňkový zoznam literatúry

1. M.J. Bagajewicz, M.J.: *Comput. Chem. Eng.* 24 (2000) 2093
2. Foo, D.C.Y.: *Ind. Eng. Chem. Res.* 48 (2009) 5125
3. Krauss, M. - Longree, P. - Dorusch, F.: *Water Res.* 43 (1) (2009) 4381
4. Melero, J.A. - Martinez, F. - Botas, J.A.: *Water Res.* 43 (16) (2009) 4010
5. Leng, C.Y.: *The best solution for removal of iron and oil from hot condensed water*, *Adv. Mater. Res.* 399–401 (2012) 1079–1083
6. Li, S.: *A process study on energy-saving and economization of steam condensate water system*, Master thesis, Tianjing University, Tianjin, 2006
7. Siddhartha Bhatt, M.: *Industrial energy analysis Part I (Fuel conversion chain model)*, *Industrial Engg. Journal (India)* 13 (2) (1984) 8±16

8. Siddhartha Bhatt, M.: *Industrial energy analysis Part II (Gross energy conversion chain model)*, Industrial Engg. Journal (India) 13 (5) (1984) 19±23
9. O'Callaghan, P.W.: *Energy Management*, McGraw±Hill Co, Berkshire, 1993
10. Eastop, T.D. - Croft, D.R.: *Energy Efficiency*, Longman Scientific and Technical, Essex, 1990
11. Babcock and Wilcox Co, *Steam: Its Generation and Use*, B & W, New York, 1978
12. Varley, M.E.: *British Freshwater Fishes: Factors Affecting Their Distribution*, Fishing News, London, 1967
13. Caissie, D.: *The thermal regime of rivers: a review*, Freshw. Biol. 51 (2006), 1389–1406.
14. Verones, F. et al: *Characterization factors for thermal pollution in freshwater aquatic environments*, Environ. Sci. Technol. 44 (2010) 9364–9369
15. Arieli, R.N. et al: *The effect of thermal pollution on benthic foraminiferal assemblages in the mediterranean shoreface adjacent to Hadera power plant (Israel)*, Mar. Pollut. Bull. 62 (2011) 1002–1012
16. Zhai, J.W. et al: *Application of high-temperature tolerance membrane in condensation water deep purification and treatment*, Chem. Ind. Eng. Prog. 28 (2009) 69–71
17. Estevan, A., Naredo, J.M., 2004. *Ideas and Proposals for a New Water Policy in Spain (Ideas y propuestas para una nueva política del agua en España. Bakeaz y Fundaci_ on Nueva Cultura del Agua)*. Bakeaz and NewWater Culture Foundation, Bilbao
18. K.H. Yeon, K.H. - Song, J.H. - Moon, S.H.: *A study on stack configuration of continuous electrodeionization for removal of heavy metal ions from the primary coolant of a nuclear power plant*, Water Res. 38 (2004) 1911–1921
19. Lim, T.T. - Huang, X.F.: *Evaluation of hydrophobicity/oleophilicity of kapok and its performance in oily water filtration: Comparison of raw and solvent treated fibers*, Ind. Crops Prod. 26 (2007) 125–134
20. Strathmann, H.: *Synthetic membranes and their preparation*, Noyes Publications, New Jersey, 1990
21. Coutinho, C.M. et al: *State of art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review*, Food Res. Int. 42 (2009) 536–550
22. Gutiérrez, G. et al: *Treatment of a waste oil-in-water emulsion from a copper-rolling process by ultrafiltration and vacuum evaporation*, J. Hazard. Mater. 185 (2011) 1569–1574
23. Bader, M.S.H.: *Nanofiltration for oil-fields water injection operations: analysis of concentration polarization*, Desalination 201 (2006) 106–113
24. Norouzbahari, S. - Roostaazad, R. - Hesampour, M.: *Crude oil desalter effluent treatment by a hybrid UF/RO membrane separation process*, Desalination 238 (2009) 174–182
25. Yi, X.S. et al: *Optimization of complex conditions by response surface methodology for APAM–oil/water emulsion removal from aqua solutions using nano-sized TiO₂/Al₂O₃ PVDF ultrafiltration membrane*, J. Hazard. Mater. 193 (2011) 37–44
26. Chakrabarty, B. - Ghoshal, A.K. - Purkait, M.K.: *Ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion by polysulfone membrane*, J. Membr. Sci. 325 (2008) 427–437
27. Chakrabarty, B. - Ghoshal, A.K. - Purkait, M.K.: *Cross-flow ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion using polysulfone membranes*, Chem. Eng. J. 165 (2010) 447–456
28. Products and techniques manual of separation membranes, GE power and water, water and process technologies, <http://www.ge.com/cn/energy/products_and_services/Materials/Process%20Membrane%20Technique%20Bochure.pdf> 2007