

**Paweł GUZDEK, Michał ZIELINA**

*Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochronę Środowiska  
Politechnika Krakowska*

## **GOSPODARKA WODNO – ŚCIEKOWA W ZAKŁADACH PAPIERNICZYCH**

### **WATER AND WASTEWATER MANAGEMENT IN PAPER MILLS**

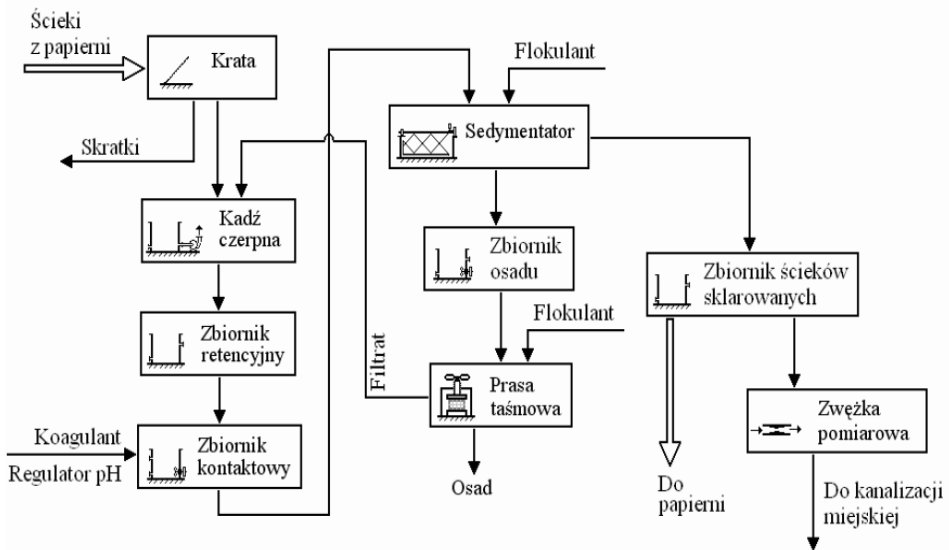
*The paper industry is one of the most water-intensive and at the same time producing highly contaminated wastewater. Commonly used in paper mills closed circuits allow to considerably reduce the consumption of raw water. Necessary, however, is the use of highly effective sewage treatment technology. The paper industry produces wastewater with very high concentrations of suspended loads, BOD, COD, characterized by a high tone and content of nitrogen and phosphorus compounds. The article describes the use of water circuits in paper mills, presents an overview of the process systems used to remove impurities and recovering the pulp fibers. The article presents the statistical data describing the current state of water and sewage implemented in polish paper mills. Discussed water and sewage on the example of one of the mills south of the Polish*

## **1. Wprowadzenie**

Woda jest najważniejszym surowcem na ziemi. Stanowi ona zarówno niezbędny składnik pokarmowy wszystkich organizmów, ale jest też niezbędnym komponentem wielu procesów technologicznych. Do najbardziej wodochłonnych gałęzi przemysłu należy papiernictwo. Mimo rozwijającej się techniki; ciągle wytwarzaniu papieru towarzyszy duże zużycie wody, której jakość zależy od produktu jakim specjalizuje się dane przedsiębiorstwo. Niezależnie od tego czy jest to papier biurowy powstający z celulozy o wysokich standardach jakości czy papier higieniczny do rąk powstający z makulatury; wodę do ich wytwarzania można pozyskać zarówno z ujęć rzecznych, podziemnych jak i z sieci wodociągowej. Tylko woda pobierana z sieci może być wykorzystana bezpośrednio do produkcji, pozostałe sposoby dostarczenia wody wymagają jej wcześniejszego podczyszczenia by móc ją wykorzystywać [1].

Uzdatniania wody można dokonać w oparciu o proces sedymentacji, filtracji jaki i wymiany jonowej stosowanej rzadko, bo tylko przy produkcji papierów specjalnych [1]. Proces sedymentacji zachodzi przy udziale siły ciężkości, która powoduje, że zawarte w cieczy zawiesiny opadają [2]. Filtracja przewiduje ruch cieczy przez materiał porowaty, najczęściej kamienie lub żwiry; mający na celu separację substancji stałej od płynnej [3]. Zarówno proces sedymentacji jak i filtracji jest najczęściej stosowany w przemyśle papierniczym, przy wykorzystaniu „stawów czy zbiorników osadczych” [1].





Rys.2. Przykładowy schemat blokowy oczyszczalni mechanicznej [1]

Fig.2. An exemplary block diagram of a mechanical treatment

Na rys.1 zamieszczony został schemat pracy oczyszczalni w zakładzie produkującym masę celulozową i papier. Układ jest rozwiązaniem mechaniczno – biologicznym opartym na reaktorze wysoko stężeniowym [1]. Rysunek drugi przedstawia proces podczyszczania ścieków w fabryce produkującej papier makulaturowy. Schemat technologiczny przewiduje tylko część mechaniczną oczyszczania [1].

Duża ilość płynnych odpadów potekologicznych jak i ich skład to nie tylko problem polskiego przemysłu papierniczego. Z podobnymi problemami borykają się także Anglicy. W artykule [5] oceniona została jakość ścieków w oczyszczalniach papierniczych. Wg informacje w nim zawartych na 1 t wyprodukowanego papieru przypada 60 m<sup>3</sup> ścieków, w których zawartość ChZT wynosi 11 000 mg·l<sup>-1</sup>. Polskie prawo określa ilość dopuszczalną wartości ChZT, BZT<sub>5</sub> a także zawiesin ogólnych w zależności od „dopuszczalnego obciążenia oczyszczalni ładunkiem tych zanieczyszczeń”[6]. W wielkiej Brytanii te wartości reguluje Zintegrowana Ochrona Zanieczyszczeń IPC.

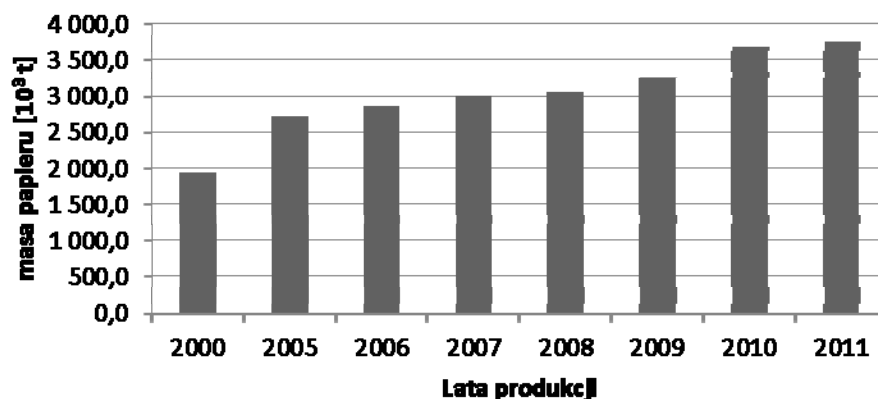
Obecnie prawie połowa oczyszczalni papierniczych opiera się na osadzie czynnym. Jednym z przykładów jest papiernia UK papermills. Organizmy działające w osadzie czynnym tej papierni wykazują wysoką skuteczność usuwania BZT i ChZT, których ładunki są redukowane o ponad 97% dla BZT i 72% dla ChZT. Sukces tkwi w kontroli ilości tlenu znajdującego się w osadzie jak i utrzymaniu osadu w dobrym stanie.

Sukces skuteczności działania osadu czynnego brytyjscy papiernicy przypisują bakterii *Haliscomenobacterhydroxissis*, która w sposób skuteczny zmniejszyła stężenie zanieczyszczeń nie tylko na wyspach ale także przemysłowych oczyszczalniach w Niemczech jak i Ameryce Północnej. Obecnie prowadzone prace kierowane są w celu zmniejszenia zużycia wody poprzez jak największe jej odzyskanie w zamkniętych obiegach wodnych. Względy ekonomiczne przemawiają za tym rozwiązaniem. Niestety

jednak obrany kierunek może wpłynąć negatywnie na proces technologiczny. W wyniku prowadzonych badań przez Olejnika i Kosińską [7] wartości głównych wskaźników takich jak ChZT jak i BZT rosną w sposób logarytmiczny wraz ze zmniejszeniem się zużycia wody świeżej [7].

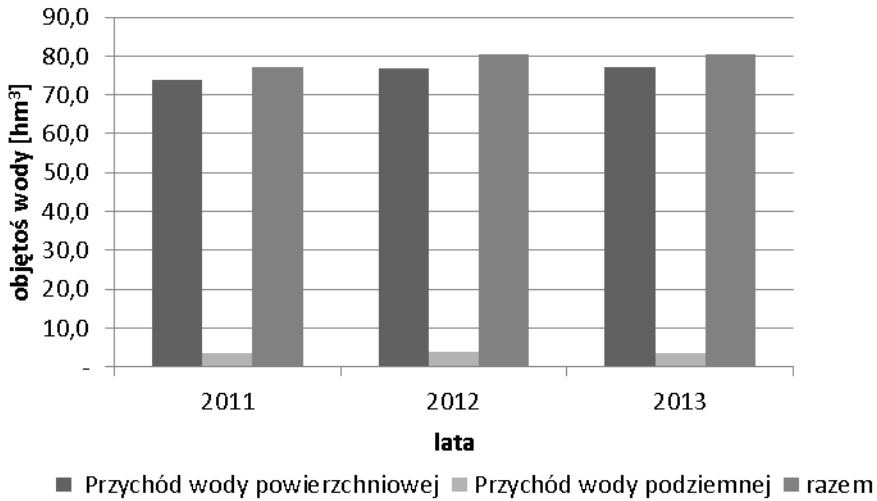
## 2. Przemysł papierniczy w Polsce

Papiernictwo to sektor handlowy intensywnie rozwijający się również w Polsce. Z danych GUS zamieszczonych na Rys. 3 widać rosnącą produkcję papieru i tektury. W roku 2000 wynosiła ona zaledwie 2 miliony ton a już w 2011 roku produkcja wzrosła do ponad 3,5 miliona ton.



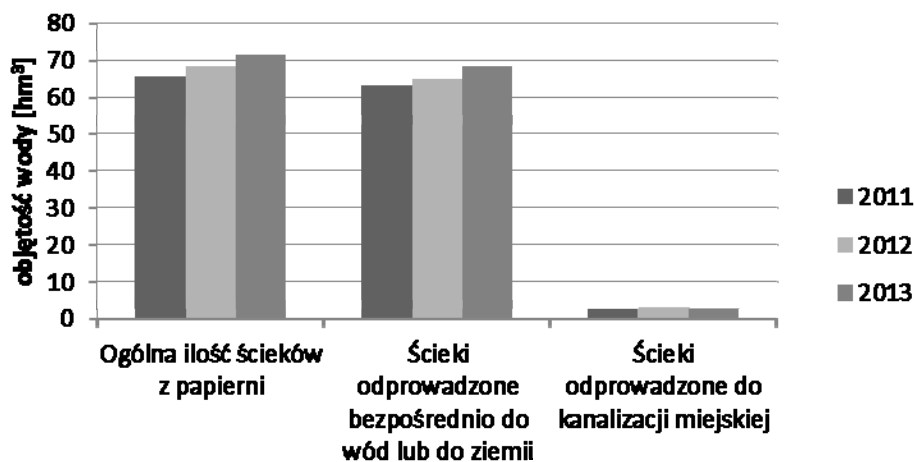
Rys. 3. Produkcja papieru i tektury w latach 2000 – 2011 [8]

Przemysł papierniczy pomimo upływu lat nie zmienia źródeł zaopatrywania w wodę. Rys. 4 przedstawia wielkości pozyskanej wody w zależności od miejsca ich pochodzenia. Jak widać dominującą rolę odgrywają wody powierzchniowe. Dużo mniejsze znaczenie stanowią wody podziemne, natomiast woda wodociągowa ze względów ekonomicznych jest używana w znikomych ilościach.



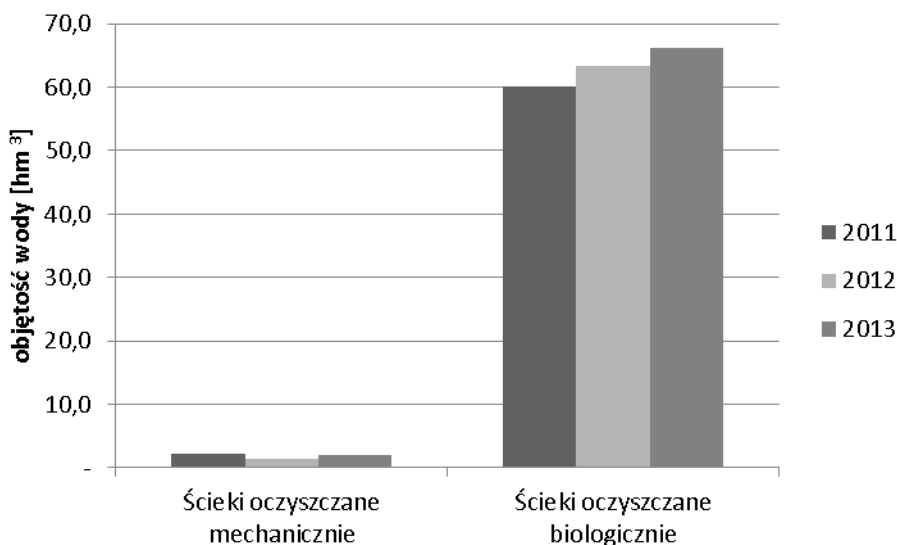
Rys. 4. Źródła zaopatrzenia Polskich papierni w wodę na przestrzeni lat 2011-2013 [9,10,11]

Wysokie koszty związane ze zużyciem dużej ilości wody w znacznej mierze ograniczono poprzez zastosowanie zamkniętych obiegów wody. Nie zmienia to jednak faktu, że przemysł papierniczy nadal generuje duże ilości ścieków co widać na Rys.5. Obecnie jednostkowe zużycie wody do produkcji papieru wynosi w Polsce około 21 m<sup>3</sup>/t [10,11].



Rys. 5. Ilość powstałych ścieków w zakładach papierniczych w latach 2011-2013 [9, 10, 11]

Duże zanieczyszczenie płynnych odpadów i konieczność poprawy ich jakości a co za tym idzie wysokie koszty utylizacji zanieczyszczonych cieczy w miejskich oczyszczalniach wymogły na przedsiębiorcach budowę własnych oczyszczalni. W wielu przypadkach papiernie podczyszczają płynne odpady w sposób mechaniczny, w przeważającej jednak ilości dąży się do uzyskania lepszej jakości ścieków. W tym celu stosuje się drugi stopień oczyszczania jakim jest oczyszczanie biologiczne co pokazuje Rys. 6. Dobrze dopasowany cykl technologiczny oczyszczalni biologicznych pozwala na uzyskanie wysokiej jakości parametrów podczyszczanego medium, które po przejściu przez zakładowe oczyszczalnie można bezpośrednio odprowadzić do wód lub do ziemi.

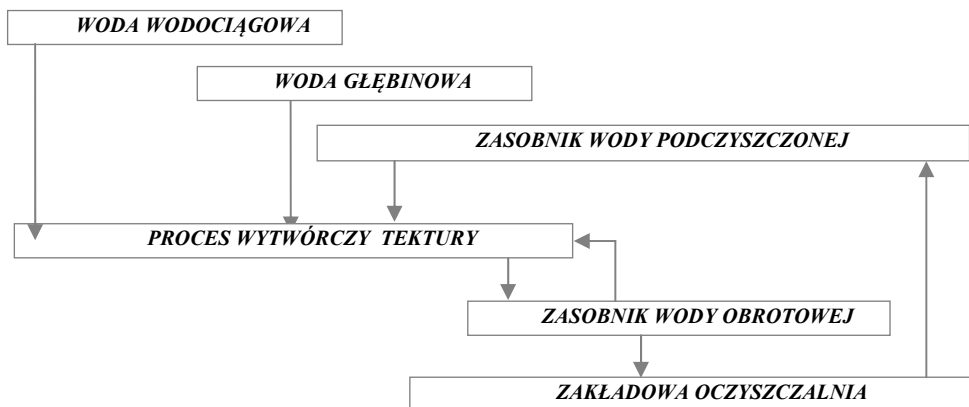


Rys. 6. Technologie oczyszczalni ścieków w zakładach papierniczych na przestrzeni lat 2011-2013 [9,10,11]

### 3. Gospodarka wodno – ściekowa wybranego zakładu papierniczego

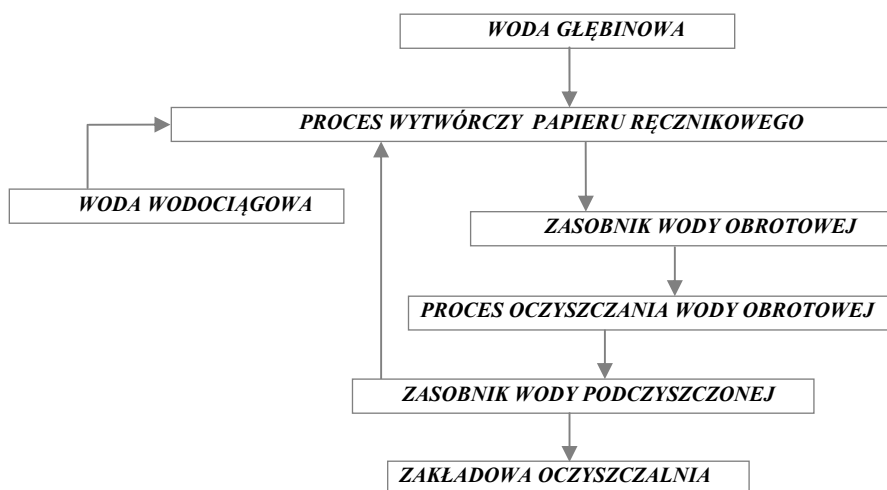
Wśród 42 zakładów papierniczych zlokalizowanych w Polsce tylko nieliczne z nich zajmują się wytwarzaniem wielu produktów. Jednym z przykładów takiego przedsiębiorstwa jest papiernia z południa polski, posiadająca dwa ciągi technologiczne wytwarzające papier i tekturę. Taka struktura produkcyjna stanowi duży problem w prowadzeniu gospodarki wodno- ściekowej. Różne produkty, powstające z różnych surowców w odmiennych technologiach sprawiają nie lada wyzwanie dla wewnątrz - zakładowej oczyszczalni ścieków ze względu na różne ładunki zanieczyszczeń.

Produkcja tektury bazuje na wodzie wodociągowej, głębinowej i wodzie pochodzącej z zakładowej oczyszczalni ścieków. Najważniejszym źródłem jest woda podczyszczona pozyskiwana dzięki zamkniętemu obiegowi, co przedstawia rys.7. Podczyszczona ciecz trafia do hydropulpera, gdzie powstaje masa papiernicza, która w dalszej kolejności kierowana jest na rafki, potem na sita pełniące funkcję separatora masy od wody. Tak powstaje woda podsitowa, która przekazywana jest do zasobnika wody obrotowej, skąd w przypadku zapotrzebowania przy pomocy zespołu pomp trafia do hydropulpera bądź gdy nastąpi jej nadmiar na oczyszczalnię zakładową. Ewentualne braki i zwiększone zapotrzebowanie uzupełniane zostaje przez wodę głębinową. W trakcie awarii czy przeglądów eksploatacyjnych zabezpieczenie stanowi sieć wodociągowa.



Rys.7. Schemat gospodarki wodno – ściekowej procesu wytwórczego tektury

Dominującym źródłem wody do produkcji papieru ręcznikowego są studnie głębinowe rozmieszczone na terenie fabryki. Woda z nich pozyskiwana trafia do obiegu w procesie wytwórczym masy papierniczej, która poddając się działaniu systemów separujących kierowana jest na wlew maszyny papierniczej. Tam pod wpływem wysokiego ciśnienia dostaje się na sito, którego zadaniem jest oddzielenie nadmiaru wody od masy. Część nadwyżki wody ze względu na dużą zawartość włókien papierniczych kierowana jest z powrotem bezpośrednio do obiegu technologicznego a pozostałość do zasobnika wody obrotowej. Stamtąd podawana zostaje na flotator pompą o stałym wydatku by nie zaburzyć procesów sedimentacji i flotacji. W ten sposób podczyszczoną ciecz magazynuje się w zbiorniku. Wykorzystuje się ją zarówno do produkcji jak i też do zabiegów technologicznych maszyny papierniczych niezbędnych w trakcie jej pracy. Takimi zabiegami jest nieprzerwane pranie sit i odzieży maszyny zespołami natrysków wachlarzowych. Nadmiar cieczy podczyszczonej trafia na oczyszczalnię..



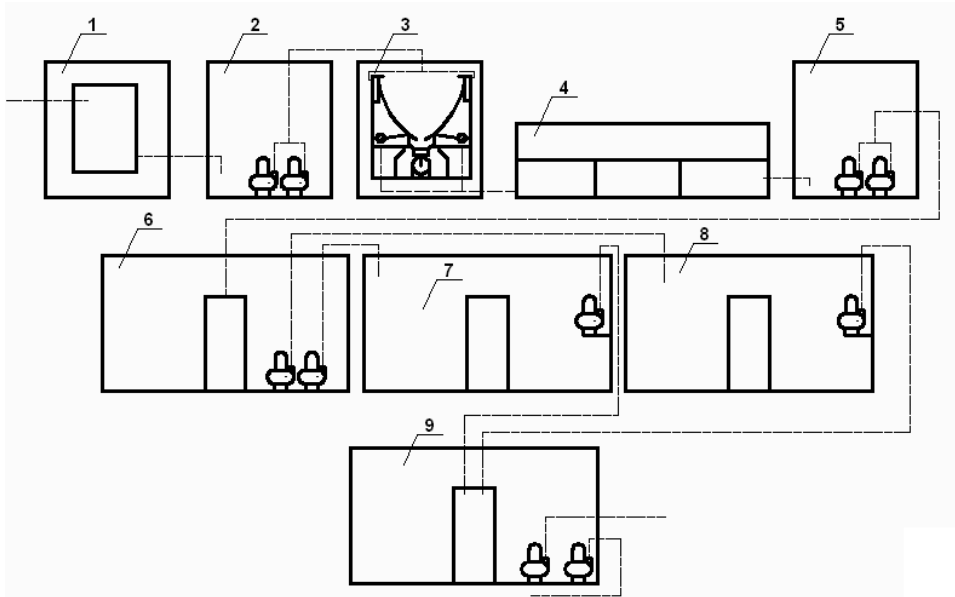
Rys.8. Schemat gospodarki wodno – ściekowej procesu wytwórczego papieru



Alternatywą dla wody głębinowej jest woda miejska, którą używa się stosunkowo rzadko w razie awarii czy okresów suszy. Rys.8. przedstawia schemat gospodarki wodno – ściekowej procesu produkcji papieru ręcznikowego

#### 4. Oczyszczalnia ścieków wybranego zakładu papirniczego

Nadwyżka wód poprodukcyjnych trafia do zakładowej oczyszczalni ścieków (Rys.9). Pierwszy stopień oczyszczenia przewiduje mechaniczne oddzielenie zanieczyszczeń przy pomocy krat. Następnie wykorzystując zestaw pomp P1 ścieki trafiają na sита łukowe a po nich na osadnik wstępny. Tak podczyszczone wody w wyniku pracy pompowni P2 dostają się do zbiornika retencyjnego, z którego płynne odpady zrzucane są do bioreaktora SBR1 i SBR2. Fazy napełniania, napowietrzania, sedymentacji i zrzutu z bioreaktorów odbywają się cyklicznie wg ściśle określonego harmonogramu. Oczyszczone wody potehnologiczne trafiają do zbiornika buforowego, skąd wracają ponownie do produkcji a ich nadmiar przejmuje miejska oczyszczalnia.



Ryc.9. Schemat oczyszczalni ścieków wybranego zakładu papirniczego  
 1- kraty, 2 - pompownia P1, 3 - sита łukowe, 4 - osadnik wstępny, 5- pompownia P2, 6 - zbiornik retencyjny, 7 - bioreaktor SBR1, 8 – bioreaktor SBR2, 9 - zbiornik buforowy.

## 5. Bilans wodno – ściekowy wybranego zakładu papierniczego

Z danych przedstawionych w Tab.1. widać dominujące zużycie wody do produkcji papieru ręcznikowego. Zarówno woda miejska jak i studzienna w większym stopniu jest zużywana przez ciąg technologiczny produkcji papieru. Wynika to przede wszystkim z produktu jakim jest papier i wymaganiach jakościowych jakim musi sprostać produkt.

Tab.1. Zużycie wody do celów produkcyjnych w roku 2012.

MIESIĄC	ILOŚĆ ZUŻYTEJ WODY W 2012 ROKU DO PRODUKCJI TEKSTURY I PAPIERU RĘCZNIKOWEGO			
	MIEJSKA		STUZIENNA	
	PAPIER RĘCZNIKOWY	TEKTURA	PAPIER RĘCZNIKOWY	TEKTURA
STYCZEŃ	1786	122	6264	5357
LUTY	645	53	9843	2692
MARZEC	732	239	5423	7794
KWIECIEŃ	2	146	8505	9175
MAJ	117	58	7282	10975
CZEREWEC	136	31	7770	22
LIPIEC	176	53	6813	4748
SIERPIEŃ	108	75	7872	5926
WRZESIEŃ	50	42	6800	8424
PAŹDZIERNIK	315	38	8251	150
LISTOPAD	276	50	6826	7257
GRUDZIEŃ	25	47	8505	3673

Gospodarka ściekowa przykładowego zakładu papierniczego przebiega poprawnie czego dowodem są wartości wskaźników zamieszczone w Tab.2. Są to wartości okresowe. Najbardziej zbliżone do dopuszczalnej granicy są wskaźnik BZT<sub>5</sub>. Jest to jednak zrozumiałe ponieważ wysoka wartość tego wskaźnika jest charakterystyczna dla przemysłu papierniczego.

Tab.2. Wartości wskaźników zanieczyszczeń 2012.

WSKAŹNIK	JEDNOSTKA	WARTOŚĆ WSKAŹNIKA PRZYKŁADOWEGO ZAKŁADU PAPIERNICZEGO	WARTOŚCI OKREŚLONE PRZEZ ROZP. MIN. BUD. DZ.U. NR 136 POZ.964 [12]
PH	[-]	7,3	6,5-9,5
BZT <sub>5</sub>	[MG·DM <sup>-3</sup> O <sub>2</sub> ]	180	700
CHZT(CR)	[MG·DM <sup>-3</sup> O <sub>2</sub> ]	772	1000
AZOT AMONOWY	[MG·DM <sup>-3</sup> N]	0,093	200
AZOT AZOTYNOWY	[MG·DM <sup>-3</sup> N]	<0,006	10
ZAWIESINA OG.	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	260	500
FENOLE LOTNE	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	0,012	15
CHROM	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	0,037	1
CHROM (VI)	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	0,03	0,2
CYNK	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	0,14	5
KOBALT	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	0,0076	1
MIEDŹ	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	0,013	1
OLÓW	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	0,0097	1
TRICHLOROMETAN	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	<0,4	1
TETRACHLOROMETAN	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	<0,4	1,5
INDEKS OLEJU MINERALNEGO	[MG·DM <sup>-3</sup> ]	0,4	15

## 6. Wnioski

Przemysł papierniczy cechuje się dużym zużyciem wody, której pochodzenie jest zróżnicowane. Dlatego w celu zmniejszenia jej poborów stosuje się zamknięte obiegi wodne. Przykładowa papiernia z południa polski opiera swoją gospodarkę wodną o źródła wód podziemnych jak i też wodociągowych. Dominującą rolę odgrywa jednak źródło wody studziennej, której zastosowanie jest zrozumiałe ze względów ekonomicznych. Gospodarka ściekowa przykładowego zakładu przebiega prawidłowo. Na uwagę zasługuje jednak wskaźnik BZT<sub>5</sub>. Jest on najbardziej zbliżony do wartości skrajnej. Przykładowy zakład papierniczy jest dynamicznym przedsiębiorstwem, który ciągle się rozwija i modernizuje ciągi technologiczne dlatego jest on ciekawym miejscem dla dalszych badań.

## Bibliografia

- [1] Michniewicz, M. Janiga, M. „SPRAWOZDANIE z pracy: Opis i analiza stanu eksploatowanych w Polsce instalacji przemysłu celulozowo-papierniczego w aspekcie stosowania technik BAT oraz osiągniętych efektów środowiskowych: zużycia zasobów oraz emisji zanieczyszczeń „STOWARZYSZENIE PAPIERNIKÓW POLSKICH ASSOCIATION OF POLISH PAPERMAKERS. Łódź: listopad 2009
- [2] <http://sjp.pl/sedymentacja>
- [3] [http://brasil.cel.agh.edu.pl/~12wgstec/przeplywy/PDF/filtracja\\_teoria.pdf](http://brasil.cel.agh.edu.pl/~12wgstec/przeplywy/PDF/filtracja_teoria.pdf)
- [4] Stępień J. „, Gospodarka wodna i ściekowa w zakładach przemysłowych”. Arkady, Warszawa:1973, Roz.8
- [5] Thompson, G. Swain, J. Kay. M, Forster. C.F. “The treatment of pulp and paper mill e.uent: a review” *Bioresource Technology* 77 (2001) 275±286
- [6] Dz.U.02.129.1108 - Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 20 lipca 2002 r. „w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych”
- [7] Olejnik, K. Kosińska, K. „Wpływ jednostkowego zużycia wody świeżej w procesie rozwłókniania i mielenia na ilość substancji stałych i rozpuszczonych w wodzie technologicznej” *Przegląd Papierniczy* · 67 · Lipiec 2011
- [8] <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/przemysl-budownictwo-srodko-trwale/przemysl/produkcja-wyrobow-przemyslowych-w-2011-r-,3,9.html>
- [9] *Rocznik Statystyczny Przemysłu*. Warszawa: 2013
- [10] *Rocznik Statystyczny Przemysłu*. Warszawa: 2012
- [11] <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-przemyslu-2011-wybrane-tablice,5,5.html>
- [12] Rozporządzenie Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych. *Dz.U.* 2006 nr 136 poz. 964