

Opracowanie technologii podczyszczania ścieków przemysłowych pochodzących z produkcji płyt wiórowych

Tadeusz Piecuch, Jacek Piekarski
Politechnika Koszalińska

Recenzent: Andrzej Królikowski
Politechnika Białostocka

1. Wstęp

Zakłady przetwórstwa drewna w Polsce zlokalizowane są w większości nad małymi odbiornikami o przepływach miarodajnych. Wielkość odbiornika, nad którym umiejscowiony jest zakład jest istotna o tyle, że polskie ustawodawstwo w tej dziedzinie przewiduje określenie limitów dopuszczalnych ładunków zanieczyszczeń, jakie wytwórnia może odprowadzić ze swoimi ściekami, na podstawie rezerw chłonnych odbiornika. Ścieki wprowadzone do wód powierzchniowych nie mogą, po wymieszaniu się z nimi, spowodować wzrostu zanieczyszczenia ponad normy przewidziane dla tej klasy czystości, do której dane wody są zaliczane. Ogólnie rzecz biorąc, wymagania (stopniowo zaostrzane) ustanowione przez władze wodne nakazują obecnie przemysłowi przetwarzającemu drewno w Polsce 81% redukcję zawiesiny powstającej w ściekach i 66% redukcję substancji organicznych oznaczonych jako biochemiczne zapotrzebowanie tlenu. Niedotrzymanie ustalonych przez władze wodne limitów pociąga za sobą represje finansowe, proporcjonalne do rozmiarów stwierdzonych przekroczeń. W przemyśle drzewnym zużywane są znaczne ilości wody, szczególnie przy produkcji płyt pilśniowych metodą „mokrą”. Dawniej wody zużyte podczas procesu produkcyjnego opuszczały zakład jako zanieczyszczone ścieki, które odprowadzone były bezpośrednio do odbiornika. Jednak na skutek stosunkowo dużego zużycia wód, coraz bardziej uwidaczniał się kryzys wodny. Zagadnienia oszczędności wody i oczyszczania ścieków stały się czynnikami wpływającymi na intensywność, swobodę i tempo produkcji.

Woda zużywana do produkcji płyt wiórowych jest silnie zanieczysz-

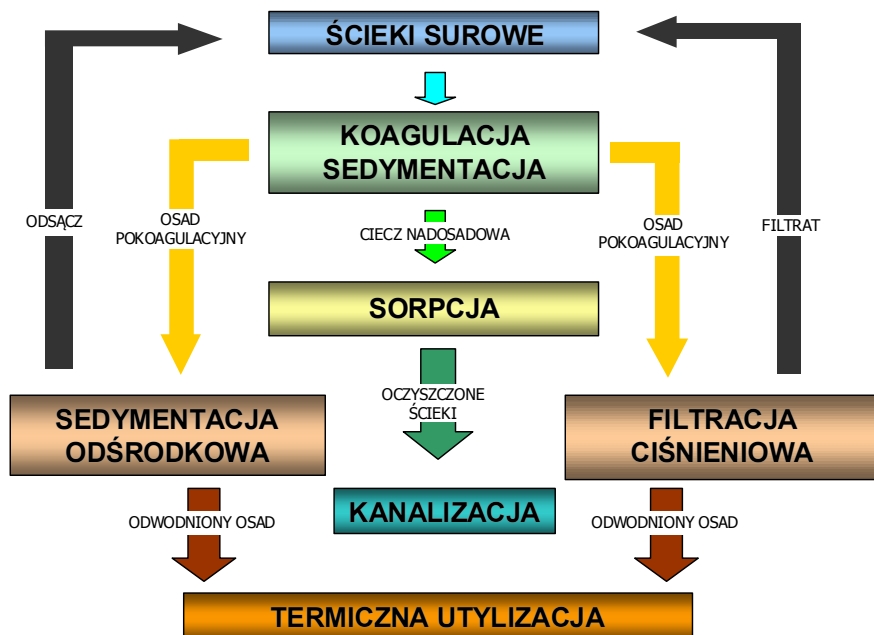
czona substancjami wypłukanymi z rozwłóknionego surowca. W wyniku podgrzewania w procesie defibracji odszczepiają się od składników drewna grupy acetylowe, a powstający w rezultacie tego kwas octowy zmienia środowisko na silnie kwaśne. Powoduje to przyspieszenie hydrolitycznego rozpadu węglowodanów (pentozanów, pektyn), a w dalszej kolejności i innych składników drewna, tj. heksozanów i celulozy oraz następuje niszczenie wiązań pomiędzy ligniną a węglowodanami i degradacja ligniny. Rozpad hemiceluloz prowadzi do powstawania furfurołu, a przebiegające prawdopodobnie równolegle procesy oksydacyjne powodują powstawanie nowych grup karboksylowych, powodujących dalsze zakwaszanie środowiska defibracji, a końcowym produktem rozpadu może być pewna ilość związków lotnych. Ponadto w skład ścieków wchodzi również pozostałości z klejów, smarów oraz z fekali. Zawiesiny, koloidy i ogół związków organicznych wpływają szkodliwie na odbiorniki ścieków. Zawiesiny zamulają koryta rzek, duszą organizmy denne, powodują mętność wody, co utrudnia życie roślinom wodnym oraz osadzają się na powierzchni ciał organizmów żywych, co może powodować ich choroby i śmierć. Podobnie, lecz na dłuższym odcinku rzeki działają koloidy. Substancje organiczne stanowią pożywkę dla licznych mikroorganizmów, które rozwijają się bujnie w zanieczyszczonej wodzie, powodując ubytek tlenu, czego następstwem może być duszenie organizmów wyższych. W przypadkach skrajnych, przy bardzo dużej zawartości tych związków w wodzie, może dojść do całkowitego zaniku tlenu. Następuje wtedy śmierć wszystkich organizmów oddychających tlenem, a więc także mikroorganizmów, które zanik ten spowodowały. Na ich miejscu rozwijają się beztlenowce. Produkty ich przemian życiowych są cuchnące, często trujące i silnie barwią wodę.

W przemyśle drzewnym często stosuje się lokalne urządzenia oczyszczające ścieki. W podczyszczalniach lokalnych odzyskuje się cenne substancje.

Ogólnie do metod oczyszczania ścieków pochodzących z przetwórstwa drewna można zaliczyć metodę: mechaniczną, chemiczną, biologiczną, termiczną oraz mieszaną. Jeżeli uzyskuje się wysoki stopień oczyszczania, ścieki mogą być powtórnie wykorzystane.

Metody mechaniczne mają głównie na celu usunięcie zawiesiny ogólnej i realizowane są poprzez: sedymentacyjne wyławiacze włókien (odwłókniacze), filtracyjne wyławiacze włókien (filtry typu Waco lub FL-24) oraz osadniki. Biologiczne oczyszczanie ścieków z przetwórstwa drewna wykorzystuje głównie: tlenową metodę osadu czynnego, beztlenową fermentacji gnilnej metanowej, metodę oparta na błonie biologicznej (reaktora z ruchomym złożem) oraz metodę rolniczej oczyszczalni ścieków (zalewania szerokoprzestrzennego). Chemiczne oczyszczanie ścieków (zawierających często duże ilości kleju) z przetwórstwa drewna polega na: obróbce mocznikiem w środowisku kwaśnym oraz następnie neutralizacją, destylacji z końcowym wysalaniem, zestalaniem poprzez dodawanie kwasu siarkowego,

stosowaniu jako wypełniacz do klejów mocznikowych, neutralizacji defibracyjnych. Wysokotemperaturowe unieszkodliwianie termiczne i unieszkodliwianie termokatalityczne są metodami wysokoefektywnymi. Podstawowe parametry procesu są takie same jak przy unieszkodliwianiu termicznym ścieków z produkcji żywic fenolowo-formaldehydowych. W praktyce unieszkodliwianie termiczne prowadzi się w piecu szybowym o wydajności 10 m³/d.



Rys. 1. Schemat blokowy układu technologicznego oczyszczania ścieków i utylizacji odpadów poprodukcyjnych z Zakładu POLSPAN-KRONOSPAN w Szczecinku [8]

Fig. 1. Block diagram of technological system of wastewater treatment and post-production wastes utilisation from POLSPAN-KRONOSPAN Plant in Szczecinek [8]

Proces spalania prowadzi się w temperaturze 1273÷1373K. Przy niższych temperaturach spalania, rzędu 1073÷1173K stężenie substancji toksycznych (formaldehydu, fenolu) w gazach odlotowych jest wyższe od dopuszczalnych. Gazy kominowe z produktami spalania substancji organicznych kieruje się do rekuperatora, gdzie ulegają ochłodzeniu do około 673K.

Przy katalitycznym utlenianiu w fazie paro-gazowej wysokie efekty usunięcia substancji organicznych (99,9÷100%) uzyskuje się przy temperaturze 573K. Uniesz-

kodliwianie termiczne może też być prowadzone w procesie pirolizy, czyli podczas termicznej degradacji bez dostępu powietrza. W konsekwencji prowadzi to do termicznego rozpadu cząstek chemicznych o większym ciężarze cząsteczkowym na cząstki o mniejszym ciężarze cząsteczkowym a następnie rozszczepienie dużych cząstek węglowodorów na mniejsze. W praktyce wykorzystuje się często kombinację opisanych metod, czyli tzw. układy mieszane (np. najczęściej spotykane mechaniczno-biologiczne). Są to wysokosprawne metody oczyszczania ścieków, są również kosztowne i dlatego nie zawsze względy technologiczne, techniczne i ekonomiczne uzasadniają ich zastosowanie.

W niniejszej publikacji przedstawiono fizyczno-chemiczną metodę podczyszczania ścieków pochodzących z przetwórstwa drewna Zakładu Polspan-Kronospan w Szczecinku. Ogólny schemat blokowy technologii podczyszczania przedstawiono na rysunku 1. W pierwszym węźle technologicznym zastosowano proces koagulacji. Wykorzystano trzy różne, najczęściej spotykane tu odczynniki tj.: wodorotlenek wapnia, siarczan glinowy oraz chlorek żelazowy. Przeprowadzono badania wpływu pojedynczego oraz równoczesnego dozowania przedstawionych reagentów. Wykorzystano układ bloków kompletnie zrandomizowanych w czynnikowej analizie wariancyjnej. W drugim węźle technologicznym, w którym odbywał się proces sorpcji, zastosowano węgiel aktywny ziarnisty. Eluat po procesie sorpcji, spełniający w większości warunki umowy oraz normy odprowadzono do kanalizacji miejskiej. Natomiast osad po procesie koagulacji skierowano do kolejnego węzła technologicznego, tj. sedymentacji odśrodkowej lub alternatywnie filtracji ciśnieniowej.

Odwodniony osad podano do procesu pirolizy, natomiast, aby zamknąć obieg ściekowy w układzie technologicznym, odsącz z procesu sedymentacji odśrodkowej oraz filtrat z filtracji ciśnieniowej zawrócono do zbiornika ścieków surowych. Dla całości przedstawionego układu technologicznego sformułowano końcowe aproksymacyjne równania matematyczne analityczno-empiryczne metodą punktu centralnego [1,5]. Przeprowadzono również statystyczne badania weryfikacyjne w skali ułamkowo technicznej otrzymanych równań matematycznych analityczno-empirycznych.

2. Charakterystyka ścieku użytego do badań

W tabeli 1 przedstawiono ogólną charakterystykę poprodukcyjnego ścieku z Wydziału Myjki Zrębków Zakładu Polspan-Kronospan w Szczecinku [8].

Ścieki surowe cechuje barwa szaro-brązowo-mleczna, jak również zapach kwasów żywicznych i związków terpenowych, które działają toksycznie lub bakteriostatycznie na mikroorganizmy. Obciążone są dużą ilością zawiesiny organicznej oraz mineralnej – łatwo opadającej oraz koloidalnej, mającej wpływ na wielkość wartości chemicznego zapotrzebowania tlenu oraz biochemicznego

zapotrzebowania tlenu. Iloraz chemicznego zapotrzebowania tlenu i biochemicznego zapotrzebowania tlenu będący wykładnikiem podatności substancji organicznej zawartej w ściekach na procesy biodegradacji, wynosi około 2,56 i oznacza, że ścieki pochodzące z Myjki Zrębków Fabryki Polspan-Kronospan w Szczecinku są słabo podatne na procesy biodegradacji, podobnie jak ścieki pochodzące z Zakładu Przetwórstwa Drewna Alpex w Karlinie, analizowane przez Maleja [4], który otrzymał wartość omawianego ilorazu chemicznego zapotrzebowania tlenu i biochemicznego zapotrzebowania tlenu po zastosowaniu zintegrowanych procesów podczyszczania około 2,5.

Ścieki surowe charakteryzuje stabilność ładunku zanieczyszczeń, wynikająca z automatyzacji procesu mycia zrębków, stanowiących określonej wielkości wióry oraz włókna drzewne. Ścieki poprodukcyjne wprowadzane są do zbiornika buforowego, w którym ulegają uśrednieniu poprzez naturalną turbulencję. Przed pobraniem każdej próby (po wypełnieniu zbiornika) ścieki dodatkowo mieszano przy pomocy pompy wirowej. Każda pobrana próba była analizowana, a otrzymane wartości będące średnią arytmetyczną przedstawiono w tabeli 1.

3. Badania własne

3.1. Koagulacja i sedymentacja

Parametrami zmiennymi niezależnymi w badanym procesie koagulacji były: dawka koagulantu D [g/L] oraz temperatura początkowa ścieków nadanych do procesu T [°C]. Parametrami zmiennymi wynikowymi były: odczyn pH, chemiczne zapotrzebowanie tlenu $ChZT$ [mg O_2 /L], biochemiczne zapotrzebowanie tlenu BZT_5 [mg O_2 /L], zawiesina ogólna Z [mg/L], substancje rozpuszczone S_R [mg/L], sucha pozostałość S_P [mg/L], ekstrakt eterowy E_E [mg/L] oraz ogólny węgiel organiczny OWO [mg/L].

W pierwszej serii badań parametrem niezależnym stałym była temperatura początkowa ścieków nadanych do procesu koagulacji wynosząca 20°C (wartość ta stanowiła jednocześnie centralny punkt aproksymacji). Pierwszy rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. dawkę koagulantu zmieniano w przedziale od 0,00 do 4,00 g/L, ze stopniowaniem, co 0,50 g/L - umożliwiającym w miarę dokładne zaobserwowanie i następnie odzwierciedlenie zmian parametrów wynikowych – tabela 1.

Tabela 1. Charakterystyka ścieków poprodukcyjnych z Wydziału Myjki Zrębków Zakładu POLSPAN-KRONOSPAN w Szczecinku podczyszczonych w procesie koagulacji i sedymentacji [8]

Table 1. Characteristics of post-production wastewater from Division of Chip Washer in POLSPAN-KRONOSPAN Plant in Szczecinek pre-treated using coagulation and sedimentation processes [8]

Lp.	Wskaźnik	Jednostka	Ścieki Surowe	Dawka wodorotlenku wapnia D [g/L] (Temperatura T = const = 20°C)								Temperatura T [°C] (Dawka D = const = 2,0 g/L)					Norma *	Umowa**
				0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	10	15	20	25	30		
1	Odczyn	pH	5,7	7,7	9,68	11,5	12,3	12,7	12,7	13,3	13,5	9,5	10,9	12,3	12,6	12,9	6,5÷9,0	6,5÷9,0
2	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	mg O ₂ /L	12300	8746	5456	3008	1604	910	625	580	562	2416	1843	1604	1487	1281	150	350
3	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu	mg O ₂ /L	4800	3400	1700	950	580	540	500	500	490	689	624	580	562	527	30	200
4	Zawiesina ogólna	mg/L	23520	16770	9812	4347	1276	545	265	227	207	2874	1984	1276	670	420	50	150
5	Substancje rozpuszczone	mg/L	2830	2810	2795	2784	2780	2770	2766	2761	2760	2854	2814	2780	2742	2710	2000	1200
6	Sucha pozostałość	mg/L	26350	19580	12607	7131	4056	3315	3031	2988	2967	5728	4798	4056	3412	3130	2050	1350
7	Ekstrakt eterowy	mg/L	426	390	370	340	320	315	310	305	300	420	361	320	295	287	30	40
8	Ogólny węgiel organiczny	mg/L	14830	9500	6500	3540	1400	1395	1380	1365	1360	1800	1560	1400	1300	1250	40	40

(*) - Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 05.11.91 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i do ziemi. (Dz. U. nr 116, poz. 503)

(**) – Umowa z Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji na dostawę wody i odprowadzanie ścieków do kanalizacji miejskiej nr 19/95 z dnia 09.06.95 r.

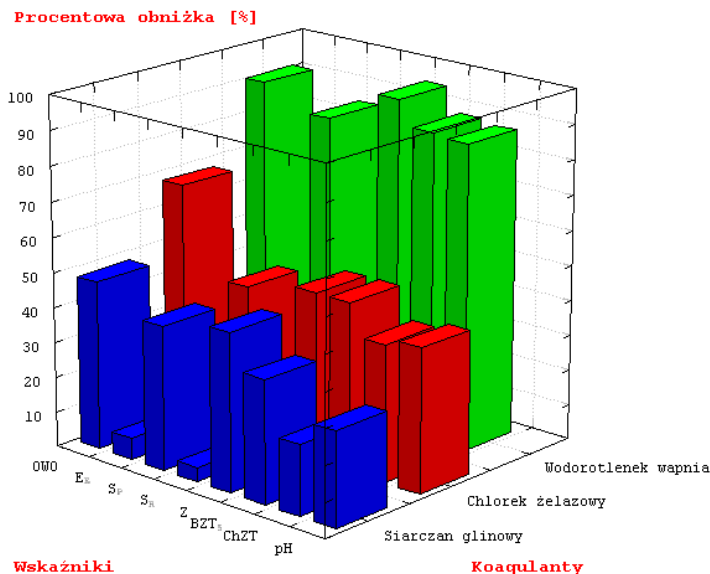
Tabela 1. cd. Charakterystyka ścieków poprodukcyjnych z Wydziału Myjki Zrębków Zakładu POLSPAN-KRONOSPAN w Szczecinku podczyszczonych w procesie koagulacji i sedymentacji [8]

Table 1. cont. Characteristics of post-production wastewater from Division of Chip Washer in POLSPAN-KRONOSPAN Plant in Szczecinek pre-treated using coagulation and sedimentation processes [8]

9	Azot	mg/L	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30
10	Fosfor	mg/L	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5
11	Chrom	mg/L	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2
12	Ołów	mg/L	0,0035	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5
13	Cynk	mg/L	0,245	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
14	Kadm	mg/L	0,15	-	-	-	0,085	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100

(*) - Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 05.11.91 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i do ziemi. (Dz. U. nr 116, poz. 503)

(**) – Umowa z Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji na dostawę wody i odprowadzanie ścieków do kanalizacji miejskiej nr 19/95 z dnia 09.06.95 r.



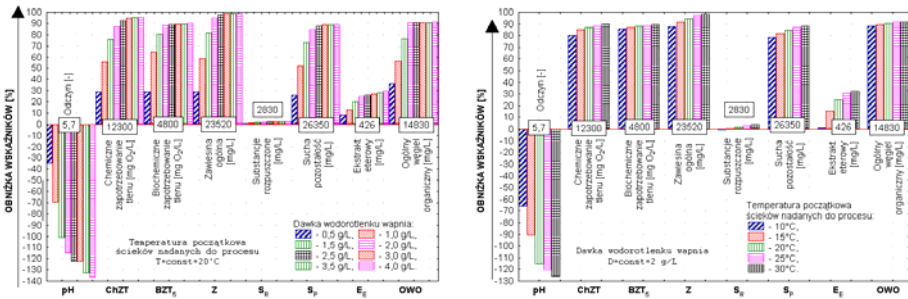
Rys. 2. Zbiorczy wykres procentowej wartości obniżki rozpatrywanych wskaźników przy zastosowaniu różnych koagulantów

Fig. 2. Summary diagram of percentage values reduction of considered indexes using different coagulants

W drugiej serii badań parametrem stałym niezależnym była dawka koagulantu wynosząca 2,00 g/L (wartość ta również stanowiła centralny punkt aproksymacji). Drugi rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. temperaturę początkową ścieków nadanych do procesu koagulacji zmieniano w przedziale od 10 do 30°C, ze stopniowaniem, co 5°C. Proces koagulacji prowadzony był z wykorzystaniem mieszadła mechanicznego. Pierwsza faza koagulacji tj. szybkie mieszanie prowadzone było w czasie 30 sekund od momentu dodania odczynników chemicznych. Podczas szybkiego mieszania ilość obrotów wynosiła 30 min⁻¹. W drugiej fazie koagulacji tj. podczas wolnego mieszania trwającego 20 minut ilość obrotów wynosiła 4 min⁻¹. Czas sedymentacji wynosił 2 godziny [8]. Jak wcześniej wspomniano wykorzystano trzy różne, najczęściej spotykane odczynniki koagulacyjne tj.: wodorotlenek wapnia, siarczan glinowy oraz chlorek żelazowy.

Analiza wyników badań wskazuje, że najbardziej efektywnym jakościowo reagentem i automatycznie stanowiącym bazę dla kolejnego węzła technologicznego tj. procesu sorpcji okazał się wodorotlenek wapnia – rysunek 2. Optymalną dawką obniżki wybranych wskaźników zmiennych wynikowych jest wartość wynosząca 2,00 g/L oraz temperatura początkowa ścieków nadanych do procesu koagulacji wynosząca 20°C - tabela 1. Wartości takich wskaźników jak: chemiczne zapotrzebowanie tlenu, biochemiczne zapotrzebo-

wanie tlenu, zawiesina ogólna, sucha pozostałość oraz ogólny węgiel organiczny uległy obniżeniu średnio o około 85%÷91%.



Rys. 3. Diagram procentowej obniżki wartości podstawowych wskaźników chemicznych po koagulacji wodorotlenkiem wapnia ścieków z przetwórstwa drewna Zakładu Polspan-Kronospan w Szczecinku [8]

Fig. 3. Diagram of percentage values reduction of basic chemical indexes after coagulation with calcium hydroxide of wastewater from wood processing in Polspan-Kronospan Plant in Szczecinek [8]

Istota oczyszczania ścieków w środowisku alkalicznym, polega głównie na wykorzystaniu koagulacyjnych i adsorpcyjnych właściwości wodorotlenku magnezowego, wytrąconego w postaci galaretowatego osadu. Mechanizm procesu polega na tym, iż w miarę wzrostu dawki wapna do odczynu około 10,4, ma miejsce wiązanie wolnego dwutlenku węgla oraz związanego w postaci wodorowęglanów – czyli tzw. dekarbonizacja, efektem której jest drobnokrystaliczny węgiel wapniowy. Dalsze dozowanie wapna, oprócz wzrostu stężenia jonów wodorotlenkowych powoduje powstanie wodorotlenku magnezowego. Optymalny odczyn dla wytrącenia wodorotlenku magnezu zależy od stężenia jonów magnezu w roztworze w stanie równowagi oraz temperatury ścieków. Dla uzyskania szybkiego wytrącania wodorotlenku magnezu konieczna jest obecność nadmiaru jonów wodorotlenkowych. Znaczące wytrącanie wodorotlenku magnezu następuje powyżej pH 10,5 i wraz ze wzrostem odczynu maleje jego rozpuszczalność. Istnieje zależność pomiędzy stopniem klarowania ścieków a ilością węglanu wapnia i wodorotlenku magnezowego, wytrączanych w procesie koagulacji wapnem [3]. Klarowanie ścieków o niskiej twardości i zasadowości przebiegało dopiero przy odczynie większym, od 11, co tłumaczy się flokulującym wpływem wodorotlenku magnezowego. Efektywność przebiegu procesu koagulacji zależy w znacznym stopniu od temperatury początkowej ścieków nadanych do procesu. Zarówno, jak wspomniano, wzrost odczynu oraz temperatury powoduje zmniejszenie rozpuszczalności magnezu.

Tabela 2. Wyniki badań wpływu zmian wysokości złoza sorpcyjnego H [m] oraz średniej wielkości frakcji ziarnowej ϕ [mm] na zmianę wartości podstawowych wskaźników w eluacie [8]

Table 2. Results of research on influence of bed height changes H [m] and average grain fraction size ϕ [mm] on change of values of basic indexes in eluat [8]

Lp.	Zmienne Niezależne	Wartość	Zmienne wynikowe***							
			Odczyn	ChZT	BZT ₅	Z	S _R	S _P	E _E	OWO
			pH	[mg O ₂ /L]	[mg O ₂ /L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
1	Ścieki surowe		5,7	12300	4800	23520	2830	26350	426	14830
2	Koagulacja wodorotlenkiem wapnia		12,30	1604	580	1276	2780	4056	320	1400
3	Wysokość złoza H [m] ($\phi = \text{const} = 2,5 \text{ mm}$)	0,50	11,50	268	230	94	2010	2104	215	544
		1,00	10,50	109	101	44	1500	1544	70	315
		1,50	9,00	98	40	35	1010	1045	30	180
		2,00	8,98	97	30	34	1000	1034	20	156

(*) - Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 05.11.91 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i do ziemi. (Dz. U. nr 116, poz. 503)

(**) – Umowa z Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji na dostawę wody i odprowadzanie ścieków do kanalizacji miejskiej nr 19/95 z dnia 09.06.95 r

(***) – Zmienne wynikowe: odczyn - pH, ChZT – chemiczne zapotrzebowanie tlenu, BZT₅ - biochemiczne zapotrzebowanie tlenu, Z – zawiesina ogólna, S_R – substancje rozpuszczone, S_P – sucha pozostałość, E_E – ekstrakt eterowy, OWO – ogólny węgiel organiczny

(****) – Wartości otrzymane w urzędzeniu typu filtrosorbent wykonanym w skali ułamkowo-technicznej

Tabela 2. Wyniki badań wpływu zmian wysokości złoża sorpcyjnego H [m] oraz średniej wielkości frakcji ziarnowej ϕ [mm] na zmianę wartości podstawowych wskaźników w eluacie [8]

Table 2. Results of research on influence of bed height changes H [m] and average grain fraction size ϕ [mm] on change of values of basic indexes in eluate [8]

4	Frakcja Ziarnowa ϕ [mm] (H = const = 2,0 m)	2,50	8,98	97	30	34	1000	1034	20	156
		6,00	9,61	162	70	48	1210	1258	58	325
		14,00	10,20	184	105	90	2420	2510	110	544
5	Urządzenie****	8,93	85,5	25,5	38	1230	1268	29,5	122	
6	Norma*	6,5÷9,0	150	30	50	2000	2050	30	40	
7	Norma**	6,5÷9,0	350	200	150	1200	1350	40	40	

(*) - Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 05.11.91 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i do ziemi. (Dz. U. nr 116, poz. 503)

(**) – Umowa z Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji na dostawę wody i odprowadzanie ścieków do kanalizacji miejskiej nr 19/95 z dnia 09.06.95 r

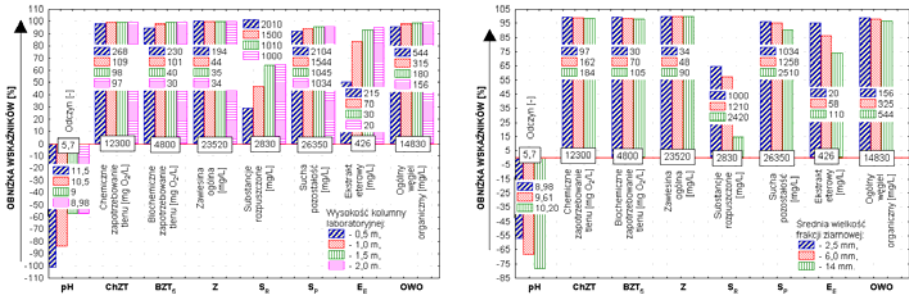
(***) – Zmienne wynikowe: odczyn - pH, ChZT – chemiczne zapotrzebowanie tlenu, BZT₅ - biochemiczne zapotrzebowanie tlenu, Z – zawiesina ogólna, S_R – substancje rozpuszczone, S_P – sucha pozostałość, E_E – ekstrakt eterowy, OWO – ogólny węgiel organiczny

(****) – Wartości otrzymane w urządzeniu typu filtrisorbent wykonanym w skali ułamkowo-technicznej

Pomimo stosunkowo dużych dawek wodorotlenku wapnia, w przypadku wskaźnika substancji rozpuszczonych oraz ekstraktu eterowego zaobserwowano, co jest oczywiste, niewielką zależną od rodzaju odczynnika, obniżkę o około 2÷25% - rysunek 3. W ramach niniejszych badań sprawdzono również, czy istnieje współzależność oddziaływania przy równoczesnym dawkowaniu omawianych odczynników. W związku z powyższym przeprowadzono serię badań przy jednoczesnym dawkowaniu wodorotlenku wapnia i siarczanu glinowego a następnie wodorotlenku wapnia i chlorku żelazowego zgodnie z zasadami planowania doświadczeń w blokach kompletnie zrandomizowanych obliczając efekty główne oraz interakcje wyżej wymienionych odczynników koagulacyjnych metodą Yatesa dla ścieków przemysłowych pochodzących z przetwórstwa drewna Zakładu Polspan-Kronospan w Szczecinku. Ich istotność oceniano porównując wartość funkcji granicznej z wartością funkcji testowej. Analiza wyników badań dla tego typu ścieków, przy założonych poziomach zmian wskazuje, że interakcje nie tylko dla 5% poziomu istotności określonego testem t-studenta, ale nawet dla 1% poziomu istotności nie są znaczące, a zatem pomijalne przy tych założonych granicach i dopuszczalnym błędzie.

3.2. Sorpcja

Parametrami zmiennymi niezależnymi w procesie sorpcji były: wysokość złoża H [m] oraz średnia wielkość frakcji ziarnowej węgla aktywnego ϕ [mm]. Parametrami zmiennymi wynikowymi, podobnie jak w przypadku węgla koagulacji były: odczyn pH [-], chemiczne zapotrzebowanie tlenu $ChZT$ [mg O_2/L], biochemiczne zapotrzebowanie tlenu BZT_5 [mg O_2/L], zawiesina ogólna Z [mg/L], substancje rozpuszczone S_R [mg/L], sucha pozostałość S_P [mg/L], ekstrakt eterowy E_E [mg/L] oraz ogólny węgiel organiczny OWO [mg/L]. W pierwszej serii badań parametrem niezależnym stałym była średnia wielkość frakcji ziarnowej węgla aktywnego ϕ [mm] wynosząca 2,5 mm (wartość ta stanowiła jednocześnie centralny punkt aproksymacji). Pierwszy rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. wysokość złożeń H [m] zmieniano w przedziale od 0,00 do 2,00 m, ze stopniowaniem, co 0,5 m. W drugiej serii badań parametrem stałym niezależnym była wysokość złożeń H [m] wynosząca 2,0 m (wartość ta stanowiła jednocześnie centralny punkt aproksymacji).



Rys. 4. Diagram procentowej obniżki wartości podstawowych wskaźników chemicznych po koagulacji wodorotlenkiem wapnia i sorpcji w kolumnie o różnej wysokości i różnej średniej wielkości frakcji ziarnowej złoża węgla aktywnego, ścieków z przetwórstwa drewna Zakładu Polspan-Kronospan w Szczecinku [8]

Fig. 4. Diagram of percentage values reduction of basic chemical indexes after coagulation with calcium hydroxide and sorption in a column of different height and different grain fraction size of active carbon bed, of wastewater from wood processing in Polspan-Kronospan Plant in Szczecinek [8]

Drugi rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. frakcję ziarnową węgla aktywnego ϕ [mm] zmieniający w przedziale od 2,5 do 14,0 mm. Następnie odzwierciedlono zaobserwowane zmiany parametrów zmiennych wynikowych równaniami matematycznymi analityczno-empirycznymi metodą punktu centralnego. Proces sorpcji prowadzony był z wykorzystaniem szklanej kolumny, o średnicy 12 cm wypełnionej w zależności od etapu prowadzonych badań – węglem aktywnym o różnym uziarnieniu i wysokości złoża. Pomiar badanych wskaźników zmiennych wynikowych wykonano po uzyskaniu eluatu w ilości 5,00 L. Każde doświadczenie wykonano na świeżym wsadzie węgla aktywnego. Dlatego też, wszystkie otrzymane wyniki, ich analizę i opis równaniami matematycznymi analityczno-empirycznymi należy odnieść do takich właśnie warunków. Zwraca się uwagę – tabela 2, iż ilość zawiesiny ogólnej w ścieku podanym do procesu sorpcji, a uprzednio poddanym procesowi koagulacji i sedymentacji grawitacyjnej – wynosi około 1276 mg/L – co nie jest wartością stosunkowo małą. Dla dobrze i w miarę długo pracującej kolumny sorpcyjnej, wartość ta powinna być wyraźnie mniejsza. Dlatego proces sorpcji stanowiącej węzeł układu technologicznego podczyszczania ścieków (rysunek 1) jest doprecyzowującą filtrosorpcją i tak też nazwano zbudowane dla sprawdzenia rezultatów badań laboratoryjnych, wspomniane urządzenie w skali ułamkowo technicznej, tzn. filtrosorbent. Zwraca się uwagę, że w pierwszym węźle technologicznym (rysunek 1) podczas koagulacji i następnie sedymentacji grawitacyjnej uzyskano znaczne obniżenie ładunku zawiesiny w ściekach surowych z wartości około 23520 mg/L do wartości około 1276 mg/L – tabela 2, a to oznacza

spadek ponad 18 razy. Oczywiście, nawet przy wartości zawiesiny ogólnej około 1276 mg/L nadanej w ściekach do procesu filtrosorpcji należy liczyć się z tym, iż czas efektywnej sorpcji będzie krótszy a niżeli wówczas, gdyby ta wartość była wyraźnie niższa (np. około 300 mg/L). Zatem, wymiana sorbentu w tym układzie musi być częstsza. Gdyby przed kolumnę sorpcyjną wprowadzić piaszkowy filtr grawitacyjny (złożowy) to czas wydłużenia pracy kolumny sorpcyjnej będzie wyraźny i różny dla różnych wskaźników składu zanieczyszczeń. Przykładowo czas pracy kolumny sorpcyjnej najbardziej wydłuży się dla wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu – aż o około 2,7 razy (tu z wymiany sorbentu po 9 dniach na wymianę po około 27 dniach). Dla wskaźnika substancji rozpuszczonych tylko o około 1,3 razy (tu z wymiany sorbentu po 10 dniach na wymianę po około 13 dniach) [2]. Wprowadzenie dodatkowego węzła filtracji przed procesem sorpcji, spowoduje dodatkowe problemy natury technicznej (urządzenie periodycznego działania) i zwiększy nie tylko koszty inwestycyjne (które nie są tu znaczne) lecz zwiększy głównie koszty eksploatacyjne obiegu. Ilość ścieków poprodukcyjnych nie jest na tyle duża (rzędu 100 m³/d) aby Zakład Przetwórstwa Drewna Polspan-Kronospan obawiał się częstszej wymiany sorbentu w relacji zwiększenia kosztów eksploatacyjnych. Ważniejsza jest tu zasada – jak najmniej problemów technicznej obsługi układu technologicznego. Analiza wyników badań w przypadku rozpatrywanego węzła sorpcji wskazuje, że najlepszy efekt jakościowy uzyskano stosując węgiel aktywny ziarnisty o średniej wielkości frakcji ziarnowej wynoszącej 2,5 mm oraz wysokości złoża równej 2,00 m – tabela 1 oraz rysunek 4. Wartości normatywne otrzymano dla wszystkich wskaźników, za wyjątkiem całkowitego węgla organicznego, który osiągnął wartość 156 mg/L.

3.3. Sedymentacja odśrodkowa

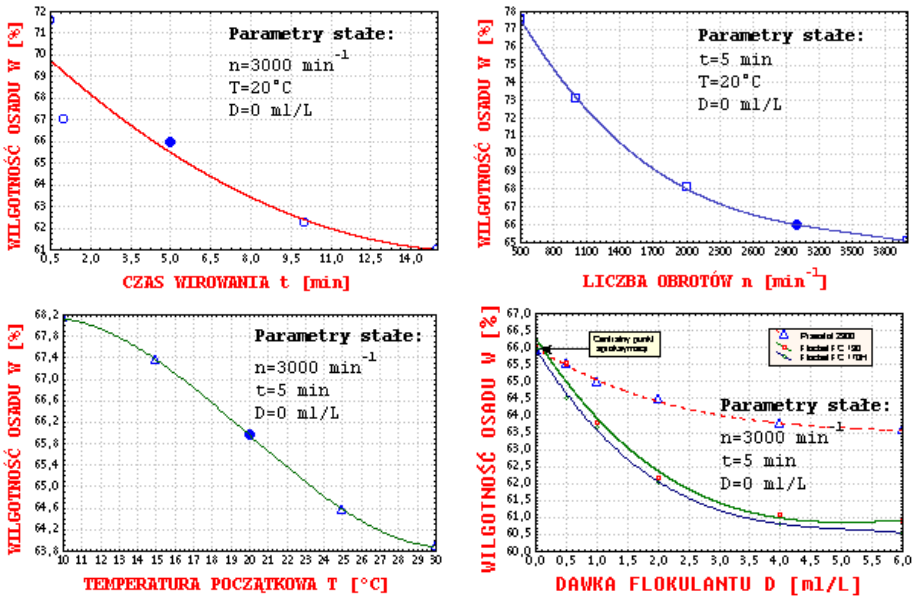
Zawiesina użyta do badań procesu odwirowania, o wartości zagęszczenia fazy stałej w ciekłej rzędu około 66,4 g/dm³, stanowi produkt zagęszczony ścieków przemysłowych o charakterystyce jak w tabeli 1 na którym, jak wspomniano, przeprowadzono proces sedymentacji grawitacyjnej wspomagany wodorotlenkiem wapniowym Ca(OH)₂ – rysunek 1, dawkowanym w ilości 2,0 g/L poprodukcyjnych ścieków przy temperaturze początkowej rzędu 20°C.

W badanym procesie odwirowania parametrami zmiennymi niezależnymi były: czas wirowania t [min], liczba obrotów wirówki sedymentacyjnej n [min⁻¹], temperatura początkowa zawiesiny nadanej do procesu T [°C], dawka flokulanta typu Floccel FC 170 [ml/L].

Tabela 3. Wyniki badań wpływu zmian czasu wirowania t [min], liczby obrotów n [min^{-1}], temperatury początkowej T [$^{\circ}\text{C}$] oraz dawki flokulanta typu Floccel 170H D [ml/L] na zmianę wartości wilgotności osadu W [%] oraz zagęszczenia fazy stałej w odsączu β [g/L] [8]

Table 3. Results of research on influence of whirling time changes t [min], rotation number n [min^{-1}], initial temperature T [$^{\circ}\text{C}$] and Floccel 170H flocculent dose D [ml/L] on change of humidity value of sediment W [%] and concentration of solid phase in eluate β [g/L] [8]

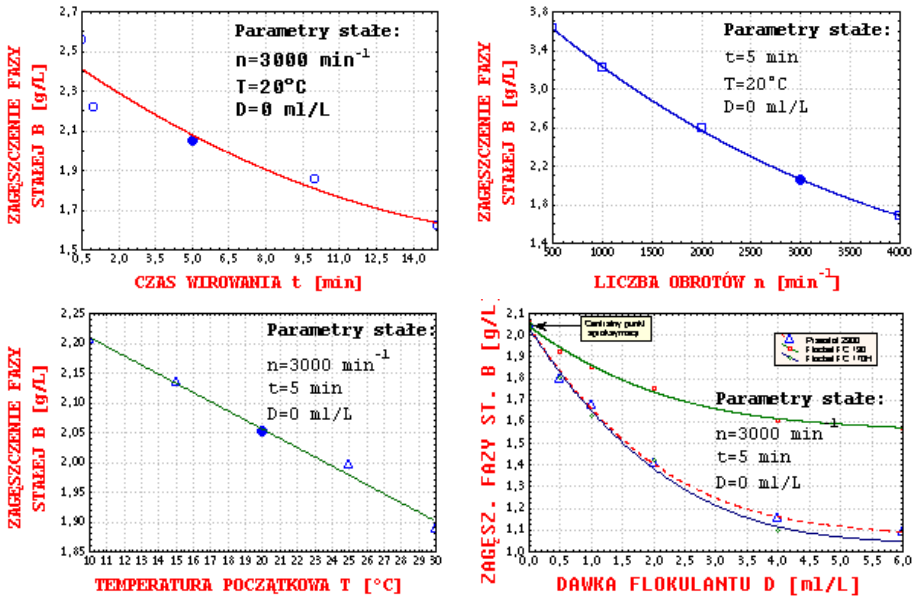
Zmienne niezależne	Wartość	Zmienne wynikowe	
		Wilgotność osadu	Zagęszczenie fazy stałej w odsączu
		W [%]	β [g/L]
Czas wirowania t [min] ($n = \text{const} = 3000 \text{ min}^{-1}$, $T = \text{const} = 20^{\circ}\text{C}$, $D = \text{const} = 0 \text{ ml/L}$)	0,5	71,6	2,559
	1	67,0	2,217
	5	66,0	2,052
	10	62,2	1,856
	15	61,0	1,618
Ilość obrotów n [min^{-1}] ($t = \text{const} = 5 \text{ min}$, $T = \text{const} = 20^{\circ}\text{C}$, $D = \text{const} = 0 \text{ ml/L}$)	500	77,6	3,634
	1000	73,1	3,214
	2000	68,1	2,587
	3000	66,0	2,052
	4000	65,1	1,687
Temperatura początkowa T [$^{\circ}\text{C}$] ($t = \text{const} = 5 \text{ min}$, $n = \text{const} = 3000 \text{ min}^{-1}$, $D = \text{const} = 0 \text{ ml/L}$)	10	68,1	2,206
	15	67,3	2,134
	20	66,0	2,052
	25	64,6	1,997
	30	63,9	1,889
Dawka flokulanta D [ml/L] ($t = \text{const} = 5 \text{ min}$, $n = \text{const} = 3000 \text{ min}^{-1}$, $T = \text{const} = 20^{\circ}\text{C}$)	0,00	66,0	2,052
	0,05	64,5	1,802
	1,00	63,7	1,625
	2,00	62,0	1,421
	4,00	60,8	1,102
	6,00	60,5	1,051



Rys. 5. Wykres zbiorczy wpływu czasu wirowania t [min], liczby obrotów n [min⁻¹], temperatury początkowej T [°C] oraz dawki flokulantów typu Praestol 2900, Flocbel FC 190 oraz Flocbel 170H na zawartość wilgoci W [%] w osadzie [6,7,8]

Fig. 5. Summary diagram of influence of whirling time t [min], rotation number n [min⁻¹], initial temperature T [°C] and Praestol 2900, Flocbel FC 190, Flocbel 170H flocculents dose on change of humidity value of sediment W [%] [6,7,8]

Zmiennymi wynikowymi były: zawartość wilgotności w osadzie W [%], oraz zagęszczenie fazy stałej w odcieku β [g/L]. Badania przeprowadzono w wirówce laboratoryjnej typu MPW-360 produkcji polskiej). W pierwszej serii badań parametrami niezależnymi stałymi były: ilość obrotów $n = 3000 \text{ min}^{-1}$, temperatura $T = 20^\circ\text{C}$ oraz dawka flokulanta typu Flocbel 170H $D = 0 \text{ ml/L}$ (wartości te stanowiły jednocześnie centralny punkt aproksymacji). Pierwszy rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. czas wirowania t [min] zmieniano w przedziale od 0,5 do 15,0 min. W drugiej serii badań parametrami niezależnymi stałymi były: czas wirowania $t = 5,0 \text{ min}$, temperatura $T = 20^\circ\text{C}$ oraz dawka flokulanta typu Flocbel 170H $D = 0 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$. Drugi rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. ilość obrotów n [min⁻¹] zmieniano w przedziale od 500 do 4000 min⁻¹. W trzeciej serii badań parametrami niezależnymi stałymi były: czas wirowania $t = 5,0 \text{ min}$, ilość obrotów n [min⁻¹] oraz dawka flokulanta typu Flocbel 170H $D = 0 \text{ ml/L}$. Trzeci rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. temperaturę początkową ścieków nadanych do procesu T [°C] zmieniano w przedziale od 10 do 30°C.



Rys. 6. Wykresy zbiorcze wpływu czasu wirowania t [min], liczby obrotów n [min^{-1}], temperatury procesu T [$^\circ\text{C}$] oraz dawki flokulantów typu Praestol 2900, Flocbel FC 190 oraz Flocbel 170H na wartość zagęszczenia fazy stałej w odcieku β [g/dm^3] [6, 7, 8]

Fig. 6. Summary charts of influence of whirling time t [min], rotation number n [min^{-1}], process temperature T [$^\circ\text{C}$] and Praestol 2900, Flocbel FC 190, Flocbel 170H flocculent dose on value of solid phase concentration in eluate β [g/L] [6, 7, 8]

W czwartej serii badań parametrami niezależnymi stałymi były: czas wirowania $t = 5,0$ min, ilość obrotów n [min^{-1}] oraz temperatura $T = 20^\circ\text{C}$ (wartości te stanowiły jednocześnie centralny punkt aproksymacji). Czwarty rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. dawkę flokulantu typu Flocbel 170H D [ml/L], zmieniano w przedziale od 0,00 do 6,00 ml/L.

Dobór anionowego flokulantu przygotowanego na bazie poliakryloamidu typu Flocbel 170H wynikał z przeprowadzonych wcześniej badań, w których wykorzystano Flocbel FC 190 [6] oraz Praestol 2900 [7] oraz informacji producenta odnośnie stosowności ww. flokulantów. Flokulant Flocbel 170H przeznaczony jest do odwadniania zawiesin z przemysłu papierniczego oraz do odwadniania ścieków poddanych wapnowaniu. Flokulant przygotowany jest w postaci roztworu o stężeniu 0,1%. Całkowity czas mieszania mieszadłem łopatkowym flokulanta z wodą wynosił 60 minut, przy zachowaniu około 70 obrotów na minutę. Analiza wyników badań wskazuje, że wartości optymalne pod względem jakości rozpatrywanych zmiennych wynikowych (wilgotność

W = 66% oraz zagęszczenie fazy stałej w odcieku $\beta = 2,1$ mg/L), otrzymano dla wartości parametrów zmiennych niezależnych charakteryzujących centralny punkt aproksymacji (czas wirowania $t = 5$ min, ilość obrotów $n = 2000$ min⁻¹, temperatura początkowa $T = 20^\circ\text{C}$ oraz dawki flokulanta typu Floccel 170H $D = 0$ ml/L).

3.4. Filtracja ciśnieniowa

Do procesu filtracji ciśnieniowej nadawany był osad pokoagulacyjny o parametrach identycznych jak w przypadku procesu sedymentacji grawitacyjnej – tabela 1.

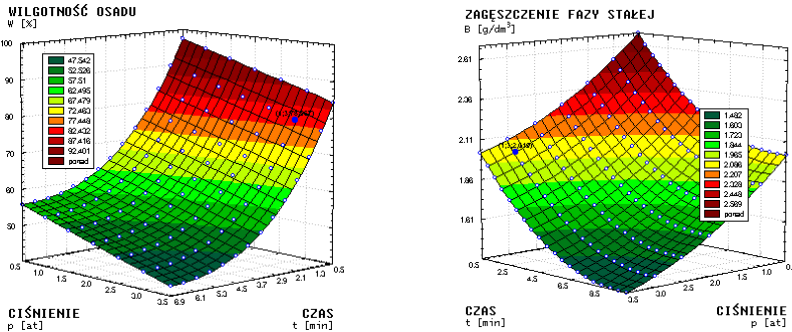
Tabela 4. Wyniki badań wpływu zmian czasu filtracji t [min] oraz ciśnienia filtracji p [at] na zmianę wartości wilgotności osadu W [%] oraz zagęszczenia fazy stałej w odsączu β [g/L] [8]

Table 4. Results of research on influence of filtration time t [min] changes and filtration pressure p [at] on change of sediment humidity value W [%] and solid phase concentration in eluate β [g/L] [8]

Zmienne niezależne	Wartość	Zmienne wynikowe	
		Wilgotność osadu	Zagęszczenie fazy stałej w odsączu
		W [%]	β [g/L]
Czas filtracji t [min] ($p = \text{const} = 3$ at)	0,5	87,0	2,331
	1,0	78,8	2,049
	2,0	68,6	1,904
	3,0	57,0	1,884
	5,0	48,3	1,785
	10,0	46,8	1,537
Ciśnienie filtracji p [at] ($t = \text{const} = 1$ min)	0,5	90,2	2,621
	1,0	87,5	2,461
	1,5	85,1	2,323
	2,0	84,2	2,204
	2,5	80,5	2,089
	3,0	78,8	2,049
	3,5	77,1	1,951

Parametrami zmiennymi niezależnymi w badanym procesie filtracji ciśnieniowej były: czas filtracji t [min] oraz ciśnienie filtracji p [at]. Parametrami zmiennymi zależnymi tzw. wynikowymi były: wilgotność W [%] oraz zagęsz-

czenie fazy stałej β [g/L]. Parametr zmienny niezależny tj. temperaturę ścieków nadanych do procesu pominięto, ponieważ wpływ temperatury w procesie sedymentacji odśrodkowej w badanym przedziale zmian od 10°C do 30°C był stosunkowo niewielki, odnotowano obniżkę wskaźnika wilgotności osadu około 3,2% oraz wskaźnika zagęszczenia fazy stałej w odcieku około 7,0%. W pierwszej serii badań parametrem stałym niezależnym było ciśnienie filtracji $p = 3$ at. Pierwszy rozpatrywany parametr zmienny niezależny tj. czas filtracji t [min] zmieniano w przedziale od 0,5 do 10,0 min. Na podstawie badań sporządzono tabelę 4. Wilgotność osadu, podczas zmiany wartości pierwszej zmiennej niezależnej tj. czasu filtracji, uległa obniżeniu, co jest oczywiste, z 87% do około 47%. Zagęszczenie fazy stałej w odsączu, przy zachowaniu powyższych warunków eksperymentu, obniżyło swą wartość z około 2,3 g/L do około 1,5 g/L. W wyniku zmiany wartości drugiej zmiennej niezależnej tj. ciśnienia filtracji, wilgotność osadu uległa obniżeniu z około 90% do około 77%, natomiast zagęszczenie fazy stałej w odsączu z około 2,6 g/L do około 2,0 g/L – tabela 4 oraz wykres 7.



Rys. 7. Wykres przestrzenny wpływu zmian wartości ciśnienia p [at] i czasu filtracji t [min] na wartość wskaźnika wilgotności osadu W [%] zagęszczenia fazy stałej w odsączu β [g/L] [8]

Fig. 7. 3-D chart of influence of pressure p [at] value changes and filtration time t [min] on value of sediment humidity index W [%] and solid phase concentration in eluate β [g/L] [8]

4. Kompendium matematyczne

Badanie związków pomiędzy wieloma zmiennymi niezależnymi a zmienną zależną dokonano stosując aproksymacyjną metodę punktu centralnego [1]. Wcześniej, w roku 1975 metodę opracował i zastosował w swej pracy habilitacyjnej T. Piecuch. Następnie A. M. Anielak rozwinęła tę metodę do aproksymacji wobec prostej. Ogólny problem obliczeniowy, jaki należy rozwiązać w takiej analizie, polega na dopasowaniu krzywej będącej wielomianem n -tego stopnia do zbioru punktów otrzymanych podczas analitycznych badań laboratoryjnych. Zależności funkcyjne pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi określone są wstępnie poprzez aproksymację metodą najmniejszych kwadratów, polegającą na takim doborze równania będącego najczęściej wielomianem, że suma kwadratów odległości punktów na wykresie rozrzutu od krzywej aproksymacyjnej będzie minimalna. Po zakończonej pełnej serii badań otrzymujemy pewną abstrakcyjną przestrzeń matematyczną pęku krzywych [1]:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

gdzie:

- y_n – wielomian na n -tym stopniu aproksymacji,
- c_n – wartość stałej na n -tym stopniu aproksymacji,
- x_1, x_2, x_n - wielkości wejściowe niezależne (czynniki).

Charakterystyczną cechą tej metody jest to, że wszystkie krzywe przebiegają zawsze przez jeden wspólny centralny punkt. Oczywiście poszczególne krzywe mają swój początek i koniec ograniczony przedziałami zmian (od ÷ do) w których poszczególne zmienne niezależne x_1, x_2, \dots, x_n były zadawane. Można zatem przyjąć, że te poszczególne przebiegi tworzą między sobą pewną przestrzeń w której otrzymane w konsekwencji takiej aproksymacji równania są często wystarczająco dokładne [1]. W metodzie aproksymacji wobec centralnego punktu, przyjęto upraszczające założenie, zakładające, że badane parametry zmienne niezależne x_1, x_2, x_3 oraz x_n nie posiadają między sobą interakcji, bądź też ewentualne interakcje ich między sobą są tak dalece mało istotne w stosunku do efektu zmian na wynik procesu pojedynczego czynnika x_i – iż nie popełniając dużego błędu można te ewentualne interakcje pominąć.

Koagulacja wodorotlenkiem wapnia – *coagulation with calcium hydroxide*

- Odczyn – *reaction*

$$\text{pH}_{\text{DT}}(D, T) = 5,438D - 1,257D^2 + 0,098D^3 + 0,551T - 0,01T^2 - 1,714$$

- Chemiczne zapotrzebowanie tlenu – *COD*

$$\text{ChZT}_{\text{DT}}(D, T) = -7796,57D + 514,577D^2 + 519,666D^3 - 86,41D^4 - 150,349T + 2,446T^2 + 14392,66$$

- Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu – *BOD*

$$\text{BZT}_{5\text{DT}}(D, T) = -4316,23D + 1361,717D^2 - 139,731D^3 - 17,549T + 0,246T^2 + 5140,24$$

- Zawiesina ogólna – *total suspension*

$$\text{Z}_{\text{DT}}(D, T) = -39309,74D + 25901,9D^2 - 8126,7D^3 + 1199,97D^4 - 66,021 \cdot D^5 - 282,383T + 3,949T^2 + 28226,10$$

- Substancje rozpuszczone – *dissolved substances*

$$\text{S}_{\text{RDT}}(D, T) = -42,306D + 9,791D^2 - 0,902D^3 - 7,2T + 2976,66$$

- Sucha pozostałość – *dry residue*

$$\text{S}_{\text{PDT}}(D, T) = -10163,37D - 9894,664D^2 + 8040,993D^3 - 1994,36D^4 + 167,508D^5 - 290,954T + 3,983T^2 + 30378,56$$

- Ekstrakt eterowy – *ether extract*

$$\text{E}_{\text{EDT}}(D, T) = -78,535D + 16,228D^2 - 1,104D^3 - 20,126T + 0,337T^2 + 688,39$$

- Ogólny węgiel organiczny – *TOC*

$$\text{OWO}_{\text{DT}}(D, T) = -11949,17D + 3383,665D^2 - 308,215D^3 - 77,486T + 1,257T^2 + 15275,40$$

- **D** - dawka koagulantu [g/L] – (zakres zmian: 0÷4 g/L),
coagulant dose [g/L] – (range: 0÷4 g/L),

- **T** - temperatura początkowa ścieków nadanych do procesu [°C] – (zakres zmian: 10÷30°C).

initial temperature of sewage before process [°C] – (range: 10÷30°C).

Sorpcja

- Odczyn – *reaction*

$$\text{pH}(H, \phi) = -0,906H - 1,497H^2 + 0,56H^3 + 0,259\phi - 0,009\phi^2 + 11,711$$

- Chemiczne zapotrzebowanie tlenu – *COD*

$$\text{ChZT}(H, \phi) = -4980,5H + 6045,5H^2 - 3154H^3 + 594H^4 + 20,248\phi - 0,769\phi^2 + 1558,185$$

- Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu – *BOD*

$$\text{BZT}_5(H, \phi) = -929,095H + 553,714H^2 - 113,333H^3 + 16,642\phi - 0,613\phi^2 + 542,226$$

- Zawiesina ogólna – *total suspension*

$$\text{Z}(H, \phi) = -1921,57H + 1106,285H^2 - 228H^3 + 4,935\phi + 1262,319$$

- Substancje rozpuszczone – *dissolved substances*

$$\text{S}_{R,H,\phi}(H, \phi) = -1792H + 440H^2 - 7,446\phi + 7,935\phi^2 + 2793,022$$

- Sucha pozostałość – *dry residue*

$$\text{S}_{P,H,\phi}(H, \phi) = -4969,476H + 2934,57H^2 - 602,667H^3 - 4,37\phi + 8,043\phi^2 + 4016,657$$

- Ekstrakt eterowy – *ether extract*

$$\text{E}_E(H, \phi) = -325,571H + 84,286H^2 + 14,078\phi - 0,379\phi^2 + 301,172$$

- Ogólny węgiel organiczny – *TOC*

$$\text{OWO}(H, \phi) = -2314,57H + 1534,285H^2 - 344H^3 + 63,741\phi - 1,818\phi^2 + 1252,011$$

gdzie:

H - wysokość złoża sorpcyjnego [m] – (zakres zmian: 0÷2 m),

height of sorption bed [m] – (range: 0÷2 m),

φ - średnia wielkość frakcji ziarnowej [mm] – (zakres zmian: 2,5÷14 mm).

average grain fraction size [mm] – (range: 2,5÷14 mm).

Sedymentacja odśrodkowa

- Wilgotność osadu – *humidity of sediment*

$$W(t,n,T,D) = 0,0348t^2 - 1,134t - 3,377 \cdot 10^{-10}n^3 + \\ + 3,586 \cdot 10^{-6}n^2 - 0,0014n + 8,874 \cdot 10^{-4}T^3 - 0,052T^2 + \\ + 0,731T - 0,034D^3 + 0,535D^2 - 2,873D + 88,791$$

- Zagęszczenie fazy stałej w odsączu – *concentration of solid phase in eluate*

$$\beta(t,n,T,D) = 0,002t^2 - 0,084t - 3,852 \cdot 10^{-12}n^3 + 9,974 \cdot 10^{-8}n^2 - \\ - 9,333 \cdot 10^{-4}n - 0,015T - 0,002D^3 + 0,034D^2 - 0,212D + 4,707$$

gdzie:

t – czas wirowania [min] – (zakres zmian: 0,5÷15 min),

whirling time [min] – (range: 0,5÷15 min),

n – ilość obrotów [min^{-1}] – (zakres zmian: 500÷4000 min^{-1}),

rotation number [min^{-1}] – (range: 500÷4000 min^{-1}),

T – temperatura początkowa [$^{\circ}\text{C}$] – (zakres zmian: 10÷30 $^{\circ}\text{C}$),

initial temperature [$^{\circ}\text{C}$] – (range: 10÷30 $^{\circ}\text{C}$),

D – dawka flokulanta typu Floccel 170H [ml/L] – (zakres zmian: 0÷6 ml/L).

flocculent Floccel 170H dose [ml/L] – (range: 0÷6 ml/L).

Filtracja ciśnieniowa

- Wilgotność osadu – *humidity of sediment*

$$W(t,p) = -0,079t^3 + 2,099t^2 - 17,991t - 4,375p + 108,053$$

- Zagęszczenie fazy stałej w odsączu – *concentration of solid phase in eluate*

$$\beta(t,p) = -0,154t + 0,008t^2 - 0,373p + 0,038p^2 + 2,942$$

gdzie:

t – czas filtracji [min] – (zakres zmian: 0,5÷10 min),

filtration time [min] – (range: 0,5÷10 min),

p – ciśnienie filtracji [at] – (zakres zmian: 0,5÷3,5 at).

filtration pressure [at] – (range: 0,5÷3,5 at).

5. Wnioski

1. W przypadku braku powierzchni, na której można byłoby zainstalować urządzenia wykorzystujące biologiczne metody oczyszczania ścieków, jak również w związku z okresowym cyklem pracy fabryki przetwórstwa drewna Polspan-Kronospan w Szczecinku istnieje skuteczna możliwość oczyszczenia ścieków poprodukcyjnych pochodzących z Wydziału Myjki Zrębków w procesach fi-

zyczno-chemicznych i mechanicznych rozdziału fazy stałej od ciekłej według zaproponowanego układu technologicznego – rysunek 1.

2. Pracę układu technologicznego oczyszczania ścieków poprodukcyjnych – rysunek 1, można opisać prostymi do rozwiązania równaniami analityczno-empirycznymi – które mogą znaleźć zastosowanie w projektowaniu podobnych układów technologicznych pracujących na tego samego rodzaju ściekach.
3. Oddzielnych badań wymaga proces termicznej likwidacji i utylizacji odzyskanych osadów – który jest ujęty jako węzeł technologiczny w układzie przedstawionym na rysunku 1.

Literatura

1. **Anielak A. M., Piecuch T.:** *Analityczno-empiryczne kryterium filtracji ciśnieniowej i odśrodkowej zawiesiny poflotacyjnych odpadów cynku i ołowiu*, Zeszyty Naukowe Archiwum Ochrony Środowiska PAN nr 3 i 4, 1985
2. **Bartkiewicz B., Piecuch T., Piekarski J.:** *Praktyczne aspekty wydłużenia czasu pracy kolumny sorpcyjnej bez wspomaganie oraz z wspomaganie z poprzedzającym złożem filtracyjnym*, Rocznik Ochrony Środowiska, Tom 2, 2000,
3. **Dziubek M. A.:** *Oczyszczanie wody i ścieków w środowisku alkalicznym*, Ochrona Środowiska, PZiTS, Wrocław, 1984
4. **Malej J.:** *Usuwanie zawiesin ziarnistych i trudno opadających ze ścieków przemysłu drzewnego*, III Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt.: „Kompleksowe i Szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska”, Organizator Politechnika Koszalińska, Koszalin, 1997
5. **Piecuch T., Piekarski J.:** *Metodyka określania zanieczyszczeń w odciekach ze składowisk wiórów i pyłów drzewnych*, Ogólnopolskie Sympozjum na temat: „Metody badań powietrza, wody i gleby wokół składowisk odpadów”, Instytut Fizyki Jądrowej, AGH Kraków oraz Komisja Analizy Odpadów Komitetu Chemii Analitycznej PAN, Kraków, 1996
6. **Piecuch T., Piekarski J.:** *Badania procesu sedimentacji rotacyjnej zawiesiny ścieków przemysłowych zakładu POLSPAN-KRONOSPAN przy zastosowaniu flokulanta typu Flocbel FC 190*, X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu “Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Organizator Politechnika Białostocka, Augustów, 1999
7. **Piecuch T., Piekarski J.:** *Badania procesu odwirowania zawiesiny poprodukcyjnej zakładu przetwórstwa drewna POLSPAN-KRONOSPAN*, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa na temat: “Kompleksowe i Szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska”, Koszalin-Ustronie Morskie 28+30 maj 1999
8. **Piekarski J.:** *Opracowanie technologii oczyszczania ścieków przemysłowych pochodzących z produkcji płyt wiórowych*, Praca doktorska, **Promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch**, Politechnika Warszawska, 17.10.2000

Working out Pre-treatment Technology of Industrial Wastewater Coming From Production of Chipboards

Abstract

Physico-chemical method of wastewater coming from wood processing Plant Polspan-Kronospan in Szczecinek pre-treatment is presented in this paper. General block diagram of the pre-treatment technology is presented in Figure 1.

In the first technological node coagulation process is used. Three of the most common reagents were used here. They are: calcium hydroxide, aluminium sulphate and iron chloride. Research was carried out on influence of dosing individual presented reagents as well as simultaneous dosing of reagents. In the variational factor the analysis system of completely randomized blocks was used.

In the second technological node, in which sorption process was carried out, granular active carbon was used. Eluate from the sorption process, meeting in most cases conditions of agreement as well as standards, was discharged to the municipal sewage system.

However, sediments from the coagulation process were directed to the next technological node – centrifugal sedimentation or alternatively pressure filtration.

Dewatered sediment is directed to the pyrolysis process and, in order to close the wastewater circulation in the technological system, effluent from centrifugal sedimentation as well as filtrate from pressure filtration were recycled to the raw wastewater tank.

For the whole presented technological system final analytical-empirical approximal equations were formulated using method of central point. Statistical research on verification of gained mathematical analytical-empirical equations under conditions of partly technical scale was also carried out.

Final conclusions are:

1. There is a effective possibility of wastewater from Chip Washing Division treatment in physico-chemical and mechanical processes according to proposed technological system – Figure 1.
2. The work of technological system of wastewater treatment – Figure 1, may be described using, simple to solve, analytical and empirical equations, which may be applied in designing similar technological systems treating the same kind of wastewater.
3. Process of thermal liquidation and utilisation of sediments requires separate research.