

Badania oraz projekt koncepcyjny technologii podczyszczania ścieków popłucznych z palarni kawy

*Barbara Kościelnik,
Józef Malej,
Tadeusz Piecuch,
Jacek Piekarski,
Grażyna Kościerzyńska – Siekan
Politechnika Koszalińska*

*Dariusz Chanulak
STOLREM - Koszalin*

*Henryk Wolski
EKOTECHNIKA – Koszalin*

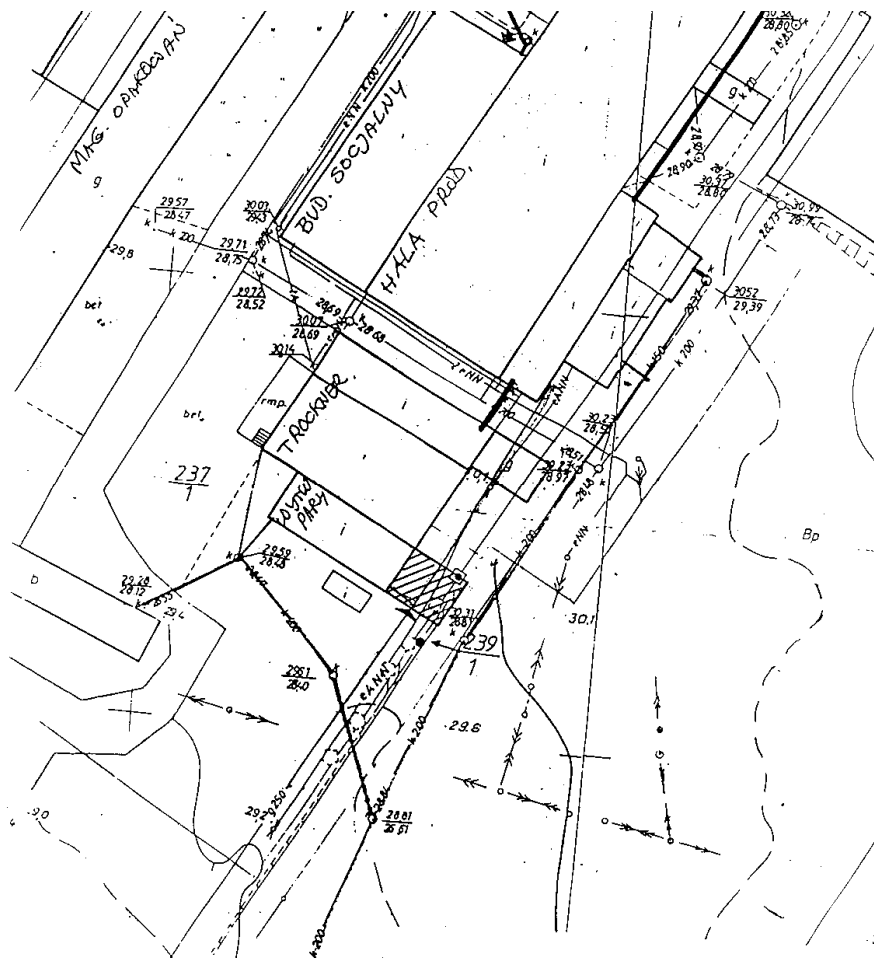
Recenzent: *Andrzej K. Biń
Politechnika Warszawska*

1. Wstęp

Jednym z większych przedsiębiorstw na terenie byłego województwa koszalińskiego, w regionie środkowopomorskim jest Przedsiębiorstwo MK-Cafe, (MK – czytaj Marek Kwaśnicki) zajmujące się produkcją kawy. Produkcja kawy na potrzeby rynku odbywa się w tzw. palarniach kawy. Jedną z takich palarni jest zlokalizowana w miejscowości Skibno koło Koszalina – rys. 1.

W wyniku procesu produkcyjnego zostają odprowadzane ścieki poprodukcyjne bez jakiegokolwiek podczyszczenia na zewnątrz zakładu do rowu ziemnego i dalej na pola (łąki). Ścieki te stanowią popłuczyny pochodzące bezpośrednio z produkcji kawy, a znajdujące się w nich zanieczyszczenia są zanieczyszczeniami organicznymi.

Celem niniejszej pracy jest rozpoznanie możliwości podczyszczenia tych ścieków z zastosowaniem procesów fizykochemicznych i w oparciu o wyniki badań zaproponowanie koncepcji podczyszczenia tych ścieków dla rzeczywistych warunków pracy instalacji (dotyczy to miejsca i ilości ścieków) w Skibnie, koło Koszalina gmina Sianów.



Rys. 1. Plan sytuacyjny podczyszczalni ścieków Palarni Kawy MK-Cafe w Skibnie
Fig. 1. Situational plan of the sewage pre-treatment plant in the Coffee Roasting Plant MK-Cafe in Skibno

2. Badania ścieku surowego - popłuczyn

Ściek surowy został pobrany dwukrotnie: w marcu 1999 r. (próbą pierwszą) oraz w kwietniu 1999 r. (druga próba) i dostarczony natychmiast jako próby: Nr 1 i Nr 2 do laboratorium Katedry Technologii Wody, Ścieków i Odpadów Politechniki Koszalińskiej. Czas rozpoczęcia badań w laboratorium od pobrania próby to około 45 minut.

Wyniki badań tych prób na określenie najważniejszych wskaźników zawiera tabela 1.

Tabela 1. Analiza fizykochemiczna ścieków surowych popłucznych z Palarni Kawy MK-Cafe – zakład w Skibnie. Próbę pierwszą pobrano 16.03.1999 r, a próbę drugą pobrano 12. 04.1999 r.

Table 1. Physico-chemical analysis of raw post-rinsing sewage from Coffee Roasting Plant MK-Cafe – plant in Skibno. The first sample was taken on 16.03.1999 and the second one was taken on 12. 04.1999

Lp.	Parametr - oznaczenie	Jednostka	Próba 1	Próba 2	Śr. arytmetyczna - wartość	Wartość normatywna
1.	pH	bzw.	4,38	4,50	4,44	6,50±9,0
2.	Zawiesina ogólna, Z _{og}	mg/dm ³	127,3	139	133,1	50
3.	Substancje rozpuszczone, S _R	mg/dm ³	1047,7	765	906,35	2000
4.	Sucha pozostałość S _P	mg/dm ³	1175	904	1039,5	2050
5.	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /dm ³	4350	3750	4050	150

Analiza wyników oznaczeń zawartych w tabeli 1 wskazuje na przekroczenie dopuszczalnej normy dla odprowadzania ścieków do zbiorników otwartych i wód gruntowych w odniesieniu do wartości pH, zawiesiny ogólnej Z_{og}, a przede wszystkim dla wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT (oznaczonego metodą dwuchromianową).

Analiza wyników w tabeli 1 wskazuje także, iż dwie próby ścieków surowych, tj. popłuczyn pobranych w różnym terminie, tzn. w marcu i kwietniu (1999 r.), wyraźnie różnią się jakościowo wartością oznaczonych składników, przykładowo; wykładnik stężenia jonów wodorowych pH wynosi od 4,38 (marzec) do 4,5 (kwiecień). Stwierdzono także istotną różnicę składu jakościowego popłuczyn dla wartości substancji rozpuszczonej S_R , która zmienna jest w zakresie wartości od 1047,7 mg/dm³ (marzec) do 765,0 mg/dm³ (kwiecień). Chemiczne zapotrzebowanie tlenu ChZT zmienia się w granicach od około 4350,0 mg O₂/dm³ do około 3750,0 mg O₂/dm³.

W niniejszej publikacji nie dokonywano szczegółowej analizy przyczyn zmienności ww. wartości oznaczeń, a więc analizy surowca oraz procesu produkcyjnego w Palarni Kawy. Wydaje się jednak, że powodem wahań wartości tych zanieczyszczeń, może być różny surowiec użyty do produkcji.

W tabeli 2 przedstawiono dodatkowe oznaczenia wartości niektórych wskaźników ścieków surowych, ale wykonane tylko dla pierwszej pobranej próby (z marca 1999).

Zwraca uwagę fakt, iż wyraźnie jest przekroczony wskaźnik biochemicznego zapotrzebowania tlenu BZT₅ wynoszący 800 mg O₂/dm³, podczas gdy norma dopuszcza tylko wartość 30 mg O₂/dm³.

Przekroczony jest także, w odniesieniu do normy, wyraźnie wskaźnik azotu amonowego N-NH₄ wynoszący 82 mgN/dm³, a norma dopuszcza 6 mgN/dm³. Przekroczony jest również wskaźnik zawartości fenoli wynoszący 2,59 mg/dm³, podczas gdy norma dopuszcza 0,5 mg/dm³.

Inne wskaźniki, m.in. chlorki, siarczany, azot ogólny - mieszczą się w granicach stężeń dopuszczalnych, to znaczy w normie. W próbach losowych wykonano oznaczenia na spektrofotometrze na obecność dwóch wysoce szkodliwych jonów metali w tych popłuczynach, tzn. chromu (+6) oraz ołowiu. Nie stwierdzono ich obecności w ściekach przy dokładności oznaczenia do 0,01 mg/dm³ chromu Cr⁺⁶ oraz do 0,003 mg/dm³ ołowiu (w granicach czułości urządzenia), co jest wyraźną pozytywną informacją (dot. m.in. zakupywanego do produkcji kawy surowca) dla producenta.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań procesu sedymentacji dla ścieku surowego, które stanowią ogólną informację dla projektanta osadnika buforowego przejmującego zrzuty popłuczyn i potem eksploatatora tego osadnika.

Na wykresie - rys. 2 przedstawiono graficznie wyniki badań ujęte w tabeli 3.

Wyniki badań zawarte w tabeli 3 i na rys.2 wskazują, iż jest to zawieszona trudno opadająca grawitacyjnie.

Tabela 2. Analiza fizykochemiczna ścieków surowych popłucznych z Palarni Kawy MK-Cafe – zakład w Skibnie. Analizy dodatkowe dla pobranej próby pierwszej. Ścieki pobrano 16. 03 1999 r.

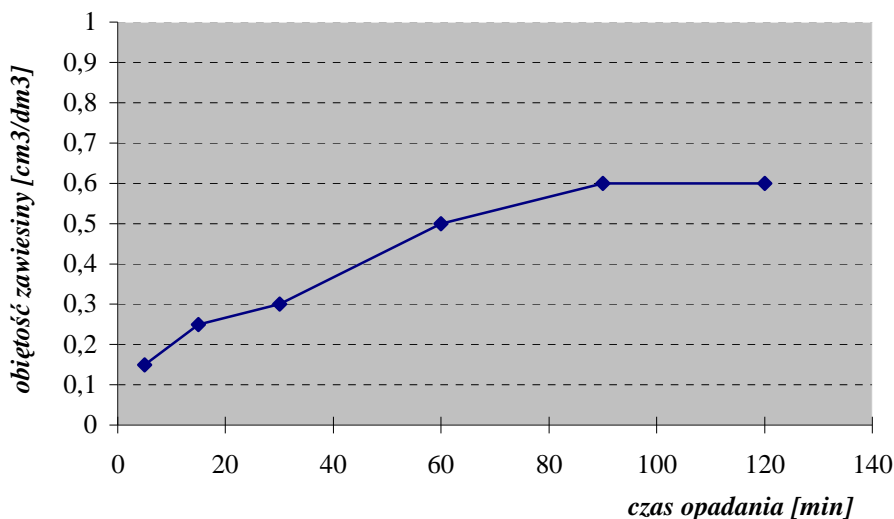
Table 2. Physico-chemical analysis of raw post-rinsing sewage from Coffee Roasting Plant MK-Cafe – plant in Skibno. Additional analysis of the first sample. The sample was taken on 16.03.1999

Lp.	Parametr - oznaczenie	Jednostka	Wartość oznaczenia	Wartość normatywna
1.	Pozostałość po prażeniu, P _P	mg/dm ³	169	-
2	Substancje lotne, S _L	mg/dm ³	1006	-
3.	Sucha pozostałość, Sp	mg/dm ³	1175	2050
4	Zawiesina mineralna, Z _M	mg/dm ³	5,2	-
5.	Zawiesina lotna, Z _L	mg/dm ³	122,1	-
6.	Zawiesina ogólna	mg/dm ³	127,3	50,0
7.	BZT ₅	mg O ₂ /dm ³	800	30
8	Kwasowość mineralna, K _M	mval/dm ³	3,5	-
9.	Siarczany jon SO ₄	mg/dm ³	24,3	500
10.	Chlorki jon Cl	mg/dm ³	28,3	1000
11.	Azot amonowy jon N-NH ₄	mgN/dm ³	82	6,0
12.	Azot ogólny N _{og}	mgN/dm ³	113	30
13.	Zapach	Z4S	zapach kawy	-
14.	Fenole F	mg/dm ³	2,6	0,5
15.	Fosfor	mg/dm ³	5,0	5,0
16.	Chrom Cr ⁺⁶	mg/dm ³	ilość nieoznaczalna do granicy 0,01 mg/dm ³	0,2
17.	Ołów Pb	mg/dm ³	Ilość nieoznaczalna do granicy 0,003 mg/dm ³	0,5

Tabela 3. Analiza sedymentacyjna – zawiesina łatwo opadająca w leju Imhoffa. Analiza dodatkowa dla pobranej próby pierwszej pobranej 16.03.1999 r.

Table 3. Sedimentation analysis – easily settling suspension in the Imhoff's crater. Additional analysis of the first sample taken on 16.03.1999

Lp.	Czas opadania [min]	Objętość zawiesiny po danym czasie w [cm^3/dm^3]
1.	5	0,15
2.	15	0,25
3.	30	0,3
4.	60	0,5
5.	90	0,6
6.	120	0,6



Rys. 2. Analiza sedymentacyjna

Fig. 2. Analysis of sedimentation

3 Badania procesowe

3.1. Zakres wstępnych badań

Przeprowadzone i opisane poniżej badania należy uznać za rozpoznawcze, a wynikające z nich propozycje jako wstępne. Badania rozpoznawcze obejmowały:

- koagulację ścieku surowego przy użyciu tlenku wapnia i bentonitu oraz wodorotlenku wapnia,
- sorpcję na złożach węgla aktywnego (przede wszystkim typu W_A 1-4), wraz z próbą określenia wysycania się kolumny sorpcyjnej,
- filtrację grawitacyjną osadu pokoagulacyjnego na złożu piaskowym.

3.2. Metodyka oraz ogólny opis i analiza wyników badań

Badania procesowe rozpoznawcze nad możliwością podczyszczenia ścieku surowego wykonano (próba pierwsza z marca 1999 r.) na węglu aktywnym o trzech różnych uziarnieniach:

- typ W_A 1-4 mm,
- typ W_A 4-8 mm,
- typ W_A 8-20 mm.

Wysokość kolumny sorpcyjnej wynosiła 0,5 m, zaś średnica 0,043 m. Poddano sorpcji jednorazowo porcję ścieku surowego w ilości 350 ml. Wyniki oznaczeń eluatu przedstawia tabela 4.

Stwierdzono, że przy drobniejszej frakcji węgla aktywnego (dłuższym czasie kontaktu ścieków ze sorbentem) uzyskano lepsze wyniki. Najlepsze rezultaty uzyskano przy zastosowaniu węgla aktywnego typu W_A 1-4 - i dlatego ten właśnie sorbent był potem używany do dalszych badań rozpoznawczych procesowych.

Biorąc pod uwagę wartości wskaźników zanieczyszczeń ścieku surowego pierwszej pobranej próby (marzec 1999) zawarte w tabeli 1 i porównując je z wartościami tych wskaźników po przepływie przez kolumnę sorpcyjną o wysokości 0,5 m zbudowaną z węgla aktywnego - można zauważyć, iż wartość pH z około 4,38 w ścieku surowym podwyższyła się i osiągnęła normę, bowiem wyniosła 6,65 (tabela 4). Także zanotowano wyraźną poprawę wskaźnika zawiesiny ogólnej, która w ścieku surowym wynosiła $127,3 \text{ mg/dm}^3$ (tabela 1), a po przejściu przez kolumnę sorpcyjną jw. wynosiła tylko $27,6 \text{ mg/dm}^3$ (tabela 4).

Wyraźnej poprawie uległ wskaźnik chemicznego zapotrzebowanie tlenu ChZT, który w ścieku surowym wynosił około $4350 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ (tabela 1), a po przejściu przez kolumnę sorpcyjną jw. zmalał do wartości $1550 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$. Pomimo bardzo wysokiej obniżki ChZT, nie osiągnięto normatywnej wartości tego wskaźnika, która wynosi poniżej $150 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$.

Tabela 4. Próba rozpoznawcza możliwości podczyszczania ścieku surowego z Palarni Kawy MK-Cafe – zakład w Skibnie – w procesie sorpcji na złożach węgla aktywnego. Badania wykonano na próbie pierwszej ścieku surowego pobranego 16.03.1999 r. Wysokość kolumny sorpcyjnej 0,5 m

Table 4. Test for the raw sewage from Coffee Roasting Plant – Skibno Plant pre-treatment during sorption on activated carbon beds. Research was done on the first sample of raw sewage taken on 16.03.1999. Sorptional column height 0.5 m

Lp.	Parametr – oznaczenie	Jednostka	Złoże węgla aktywnego $W_A 1÷4$	Złoże węgla aktywnego $W_A 4÷8$	Złoże węgla aktywnego $W_A 8÷20$	Wartość norma- tywna
1.	pH	bzw.	6,6	5,2	4,9	6,5÷9,0
2.	Zawiesina ogólna, Zog	mg/dm ³	27,6	38,9	83,6	50,0
3.	Substancje rozpuszczone, S_R	mg/dm ³	1080,4	1093,1	1095,4	2000
4.	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /dm ³	1550	3150	4250	150
5.	BZT ₅	mgO ₂ /dm ³	700	740	800	30

W niewielkim stopniu obniżyła się wartość wskaźnika pięciodobowego biochemicznego zapotrzebowania tlenu BZT₅, która w ściekach surowych wynosiła 800 mg O₂/dm³ (tabela 2), a po przejściu przez kolumnę sorpcyjną jej wartość zmalała do wartości 700 mg O₂/dm³ (tabela 4).

Eluat z kolumny sorpcyjnej o wysokości 0,5 m (zbudowanej z węgla aktywnego typu $W_A 1-4$) poddano procesowi sedymentacji w tzw. leju Imhoffa - wyniki przedstawia tabela 5.

Wyniki badań zawarte w tablicy 5 to także ogólna informacja, która może być wykorzystana dla zaprojektowania osadnika buforowego dla eluatu posorpcyjnego, a potem ta informacja może być przydatna dla eksploatatora tegoż osadnika.

Tabela 5. Analiza sedymentacyjna – zawiesina łatwo opadająca w leju Imhoffa. Analiza dodatkowa dla odcieku (z dnia 16.03.1999 r.) z procesu rozpoznawczego możliwości podczyszczania ścieku w procesie sorpcji na złożu węgla aktywnego typu W_A 1-4 o wysokości 0,5 m

Table 5. Sedimentation analysis – easily settling suspension in the Imhoff's crater. Additional analysis of the outflow (from 16.03.1999) from pre-treatment during sorption on activated carbon W_A 1-4, bed 0.5 m of height

Lp.	Czas opadania [min]	Objętość zawiesiny po danym czasie [cm ³ dm ³]
1.	5	0,05
2.	15	0,05
3.	30	0,1
4.	60	0,15
5.	90	0,2
6.	120	0,2

Następnie wykonano badania procesowe koagulacji z równoczesnym zastosowaniem dwóch reagentów (umownie w dalszej części artykułu nazywanych koagulantami), tzn. tlenku wapnia CaO oraz bentonitu (bentonit należy do grupy minerałów ilastych będących uwodnionymi glinokrzemianami zawierającymi sód, wapń i potas - czasami zwanymi potocznie gliną) [1]. Dozowano w/w reagenty w trzech seriach prób tj.

- 2 g/dm³ tlenku wapnia i 6 g/dm³ bentonitu,
- 4 g/dm³ tlenku wapnia i 6 g/dm³ bentonitu,
- 6 g/dm³ tlenku wapnia i 6 g/dm³ bentonitu,

a wyniki oznaczeń przedstawiono w tabeli 6.

Analiza wyników wskazuje, że najlepsze parametry cieczy nadosadowej wśród w/w trzech serii doświadczeń w porównaniu do norm daje seria pierwsza (dawki 2 g/dm³ tlenku wapnia i 6 g/dm³ bentonitu). Niemniej jednak w żadnym przypadku nie osiągnięto wartości normatywnych wskaźników. Dlatego proces koagulacji można traktować wyłącznie jako pierwszy stopień ewentualnego przyszłego układu technologicznego podczyszczania ścieków Palarni Kawy MK Cafe and Tea w Skibnie.

Tabela 6. Próba rozpoznawcza możliwości zastosowania procesu koagulacji do podczyszczenia ścieku surowego popłucznego z Palarni Kawy MK-Cafe – zakład w Skibnie. Badania wykonano na próbce drugiej ścieku surowego pobranej 12.04.1999 r. Oznaczenia parametrów po procesie koagulacji wykonano dla wody nadosadowej

Table 6. Test of coagulation usage possibility for pre-treatment of post-rinsing raw sewage from Coffee Roasting Plant – Skibno Plant. Research was done on the second sample of raw sewage taken on 12.04 1999. Parameters in the over sediment water were determined after coagulation

Lp.	Parametr - oznaczenie	Jednostka	Ściek surowy	Dawki koagulantów: tlenek wapnia i bentonit			Wartość normatywna
				2 g/dm ³ i 6 g/dm ³	4 g/dm ³ i 6 g/dm ³	6 g/dm ³ i 6 g/dm ³	
1.	pH	Bzw.	4,50	10,57	10,82	10,92	6,0÷9,5
2	Zawiesina ogólna, Zog	mg/dm ³	139	54	141	128	50
3.	Substancje rozpuszczone, SR	mg/dm ³	765	2710	3233	3497	2000
4.	Sucha pozostałość Sp	mg/dm ³	904	2764	3,74	3625	2050
5.	ChZT Cr	mg O ₂ /dm ³	3750	3140	3100	2980	150

Dodatkowo wykonano badania procesu koagulacji ścieku surowego, także na próbie drugiej, tzn. pobranej w kwietniu 1999 r., przy zastosowaniu jako koagulantu wodorotlenku wapnia. Podjęcie tej próby wynikało z zaobserwowanego w kolejnych badaniach faktu, iż osad pokoagulacyjny z zastosowaniem jako koagulantu także bentonitu, bardzo wolno filtruje (około 12 godzin) przez filtracyjne złożo piaskowe o wysokości 0,5 m, bowiem tworzący się na złożu piaskowym osad pokoagulacyjny zawierający bentonit blokuje przepływ, (bentonit wykazuje bardzo silne własności hydrofilne [2]).

Wyniki analiz cieczy nadosadowej po koagulacji ścieków przy pomocy $\text{Ca}(\text{OH})_2$ przedstawiono w tabeli 7.

W kolejnym etapie badań procesowych przeprowadzono próby podczyszczania ścieku surowego w układzie technologicznym procesowym; koagulacja – sorpcja [3]. Jako koagulant zastosowano tlenek wapnia (2 g/dm^3) i bentonit [4] (6 g/dm^3), a następnie ciecz nadosadową poddano sorpcji w kolumnie zawierającej węgiel aktywny typu W_A 1-4, ale o wysokości większej, tj. 1,2 m. Wyniki badań eluatu po koagulacji i sorpcji przedstawia tabela 8.

Analiza wyników, przedstawionych w tabeli 8 wskazuje, iż osiągnięto wartości normatywne dla wskaźników odczynu pH, zawiesiny ogólnej Z_{og} oraz substancji rozpuszczonej S_R . Wartości wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT przewyższyły poziom stężeń dopuszczalnych w normie. Wskaźnik ten został obniżony z wartości około $3750 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ ścieku surowym do około $760 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ w eluacie po kolumnie sorpcyjnej, lecz i tak znacznie przekracza on dopuszczalne stężenie $150 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ podane w normie. Można przypuszczać, że zwiększając wysokość kolumny sorpcyjnej (szacunkowo prognozując do około 1,5 m), będzie można obniżyć wielkość ChZT, zapewniając końcowe stężenie tego wskaźnika zbliżone do poziomu normatywnego. Określenie niezbędnej wysokości złoża w kolumnie sorpcyjnej oraz określenie żywotności pracy takiego złoża na skutek obniżania się chłonności sorpcyjnej w czasie wymaga oczywiście dodatkowych badań – najlepiej w skali ćwierćtechnicznej i takie badania będą przeprowadzone we wspomnianej skali po wybudowaniu instalacji. Orientacyjnie, dla oszacowania kosztów eksploatacyjnych, na podstawie dotychczasowych badań laboratoryjnych przyjęto wymianę sorbenta jeden raz w miesiącu.

Tabela 7. Próba rozpoznawcza możliwości zastosowania procesu koagulacji do podczyszczenia ścieku surowego popłucznego z Palarni Kawy MK-Cafe –zakład w Skibnie. Badania wykonano na próbce drugiej ścieku surowego, pobranego 12.04.1999 r dla koagulantu wodorotlenku wapnia o dawce 6 g/ dm³. Oznaczenia parametrów wykonano po procesie koagulacji dla wody nadosadowej

Table 7. Test of coagulation usage possibility for pre-treatment of post-rinsing raw sewage form Coffee Roasting Plant – Skibno Plant. Test was done on the second sample of raw sewage taken on 12.04 1999, using 6 g/dm³ of calcium hydroxide as a coagulant. Parameters in the over sediment water were determined after coagulation

Lp.	Parametr – oznaczenie	Jednostka	Koagulant – wodorotlenek wapnia, dawka 6 g/dm ³	Wartość normatywna
1.	pH	Bzw.	11,54	6,00÷9,50
2.	Zawiesina ogólna, Zog	mg/dm ³	146	50
3.	Substancje rozpuszczone, S _R	mg/dm ³	3892	2000
4.	Sucha pozostałość S _p	mg/dm ³	4038	2050
5.	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /dm ³	5670	150

Tabela 8. Próba rozpoznawcza możliwości zastosowania procesu koagulacji i sorpcji do podczyszczenia ścieku surowego popłucznego z Palarni Kawy MK-Cafe zakład w Skibnie. Badania wykonano na próbie drugiej ścieku surowego, pobranego 12.04.1999 r.
Table 8. Test of coagulation and sorption usage possibility for pre-treatment of post-rinsing raw sewage from Coffee Roasting Plant – Skibno Plant. Test was done on the second sample of raw sewage taken on 12.04 1999

Lp.	Parametr - oznaczenie	Jednostka	Ściek surowy	Woda nadosadowa po koagulacji tlenkiem wapnia i bentonitem w dawkach 2 g/dm ³ i 6 g/dm ³	Eluat (odciek) po kolumnie sorpcyjnej o wysokości 1,2 m z węglem aktywnym W _A 1-4	Wartość normatywna
1.	pH	bzw.	4,50	10,57	8,25	6,00÷9,50
2.	Zawiesina ogólna, Z _{og}	mg/dm ³	139	54	14	50
3.	Substancje rozpuszczone, S _R	mg/dm ³	765	2710,0	1049	2000
4.	Sucha pozostałość, S _p	mg/dm ³	904	2764	1063	2050
5.	ChZT _{cr}	mg O ₂ /dm ³	3750	3100	760	150
6.	BZT ₅	mg O ₂ /dm ³	200	nie oznaczano	Nie oznaczano	30
7.	Ekstrakt eterowy E _g	mg/dm ³	108	nie oznaczano	Nie oznaczano	50

W tabeli 9 przedstawiono wyniki badań filtratu ze złoża piaskowego, na które to złożo wprowadzono osad pokoagulacyjny. Badania wykazały, że filtrat nie spełnia norm odprowadzania ścieków do wód otwartych i do ziemi - lecz co ważne, (a to było celem tych badań filtracji) uzyskano odwodnienie osadu pokoagulacyjnego.

Tak więc, filtrat powinien być ponownie zawrócony do procesu koagulacji, łącznie ze ściekiem surowym (popłuczyny) z produkcji.

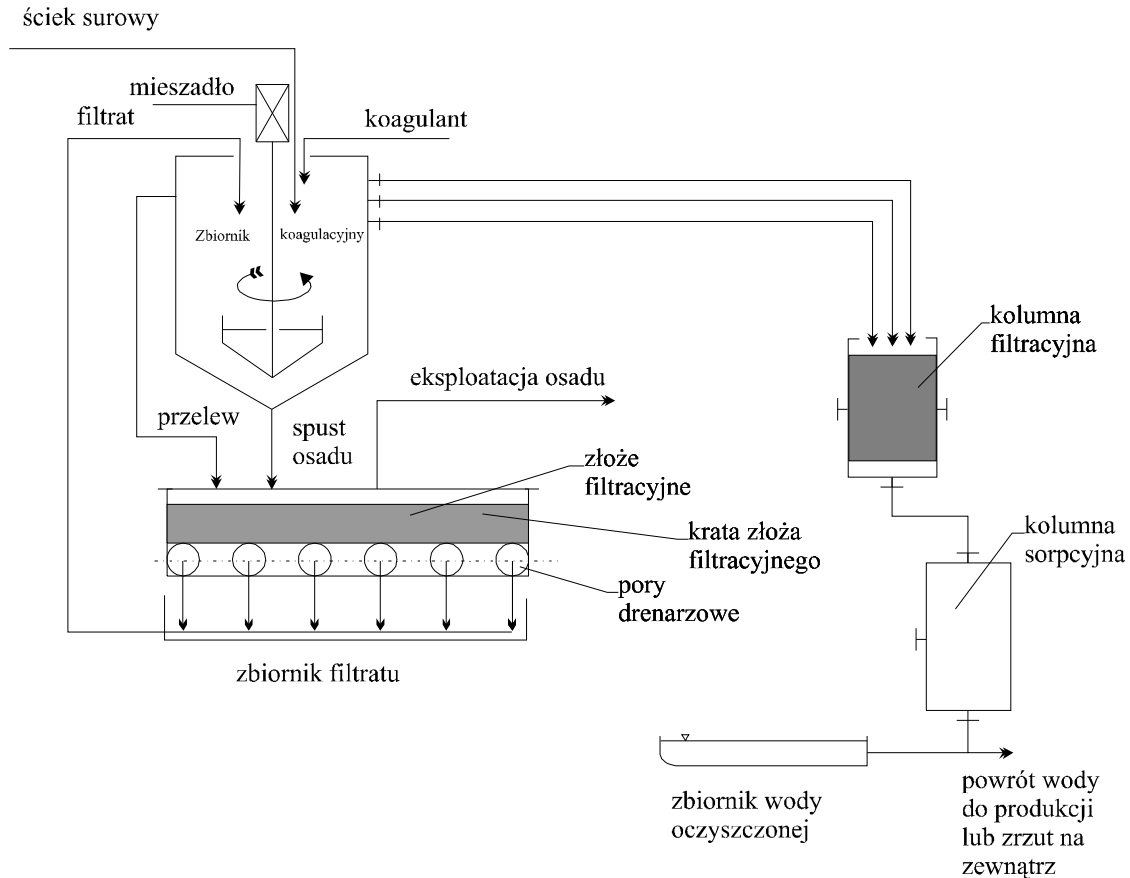
W tabeli 10 pokazano rozpoznawcze wyniki badań nad efektywnością działania kolumny sorpcyjnej o wysokości 1,2 m. Po przejściu przez kolumnę określonej ilości ścieku, kolumnę trzeba albo wymienić albo regenerować. Węgiel aktywny można więc regenerować [5, 6] ale to wymagałoby odrębnych badań; po określonej liczbie regeneracji traci on własności sorpcyjne i staje się odpadem [7]. Zużyty sorbent można jednak zbywać jako surowiec energetyczny i w tej sprawie istnieje rozwiązanie problemu tzw. techniczno-organizacyjne.

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 10 wskazuje, że pozytywny efekt podczyszczania ścieku skierowanego na kolumnę sorpcyjną otrzymuje się dla wskaźników odczynu pH, zawiesiny ogólnej Z_{og} oraz najwyraźniej (mimo nie osiągnięcia normy) dla chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT. Dla każdej kolejnej porcji efekt podczyszczania jest gorszy. Nie zawsze jednak zastosowanie danego sorbenta powoduje poprawę wszystkich wskaźników. Przykładowo, po przejściu przez kolumnę porcji ścieku, wskaźnik substancji rozpuszczonej uległ minimalnemu pogorszeniu, gdyż w ścieku nadanym (surowym) wynosił około 765 mg/dm^3 , zaś w eluacie wartość wskaźnika wzrosła do 790 mg/dm^3 . Wartość ta jest znacznie poniżej normy.

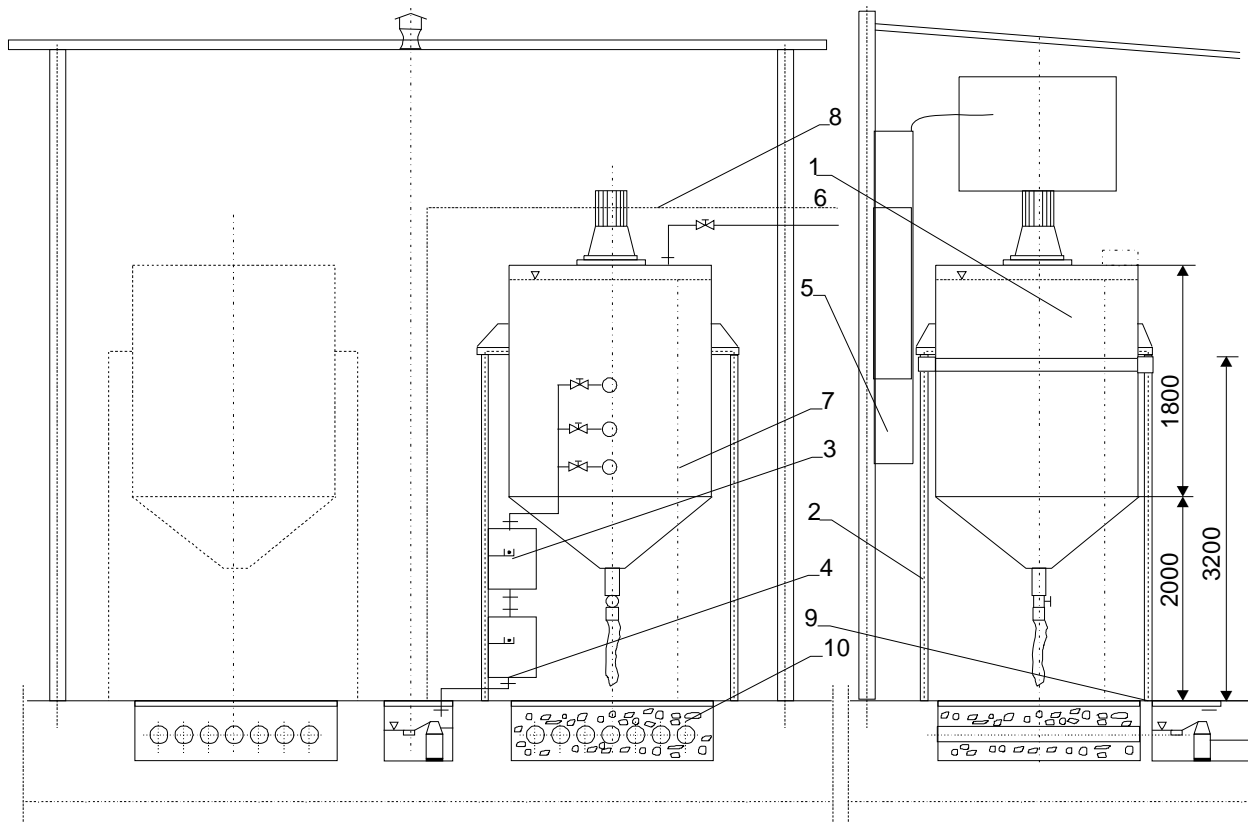
Powyższe badania można poszerzyć o zmianę wysokości złoża kolumny sorpcyjnej (np. do wysokości $h=1,5 \text{ m}$), zwiększając jednocześnie ilość punktów pomiarowych (tj. porcji, po których przejściu przez kolumnę jest badany eluat), a także poszerzyć o jeszcze kilka innych równie ważnych wskaźników (parametrów) zanieczyszczeń (np. siarczany, chlorki itp.).

3.3. Wstępna koncepcja podczyszczania ścieków surowych - popłuczyn

Biorąc pod uwagę ogólne rozpoznanie jakościowe ścieków surowych (popłuczyn) oraz ogólne możliwości procesowe ich podczyszczenia, proponuje się zastosować do badań optymalizacyjnych i korekcyjnych, następujący prosty układ technologiczny (rys. 2) będący instalacją pilotującą w skali ćwierćtechnicznej.



Rys. 3. Schemat technologiczny podczyszczalni ścieków surowych z Palarni kawy MK-Cafe w Skibnie
Fig. 3. Technological diagram of the raw sewage pre-treatment plant in the Coffee Roasting Plant MK-Cafe in Skibno



Rys. 4. Zbiornik koagulacyjny: 1 – zbiornik, 2 – konstrukcja wsporcza, 3 – filtr żwirowy, 4 – kolumna sorpcyjna, 5 – drabina, 6 – dopływ, 7 – przelew, 8 – powrót do oczyszczalni ścieków, 9 – obieg filtru, 10 – złożo filtracyjne

Fig. 4. Coagulation tank: 1 – tank, 2 – support construction, 3 – gravel filter, 4 – sorptional column, 5 – ladder, 6 – inflow, 7 – overflow, 8 – return to sewage treatment plant, 9 – filter bypass, 10 – filtration bed

Tabela 9. Próba rozpoznawcza możliwości zastosowania procesu filtracji grawitacyjnej na złożu piaskowym o grubości 0,5 m – dla odprowadzenia osadu pokoagulacyjnego. Oznaczenia parametrów filtratu dokonano 12.04.1999 r.

Table 9. Test of gravitational filtration performed in sand bed 0.5 m high, to check a possible use piping off post-coagulation sediment Parameters were determined on 12.04 1999

Lp.	Parametr – oznaczenie	Jednostka	Nadano na złożo osad pokoagulacyjny, gdy stosowano dawki 2 g/dm ³ tlenku wapnia i 6 g/dm ³ bentonitu	Nadano na złożo osad pokoagulacyjny, gdy stosowano jako koagulant tylko wodorotlenek wapnia o dawce 6 g/dm ³	Wartość normalna
1.	PH	bzw.	10,66	11,23	6,00÷9,50
2.	Zawiesina ogólna, Zog	mg/dm ³	171	nie oznaczono	50
3.	Substancje rozpuszczone, S _R	mg/dm ³	2526	nie oznaczono	2000
4.	Sucha pozostałość, S _P	mg/dm ³	2697	nie oznaczono	2050
5.	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /dm ³	2377	5830	150

Tabela 10. Badania rozpoznawcze obniżenia chłonności sorpcyjnej węgla aktywnego typu W_A 1-4 w trakcie pracy kolumny o wysokości 1,2 m. Nadawano porcję ścieku surowego z pobranej próby drugiej ścieku surowego, pobranego 12.04.1999r. Objętość jednej porcji 350 ml. Oznaczenia wykonano na próbach eluatu

Table 10. Test of reducing sorptional capacity of the activated carbon W_A 1-4 when working in the column 1.2 m high. The portion of the sewage was from the sample taken on 12.04 1999. Single liquid portion volume was 350 ml. Parameters were determined in the outflow

Lp.	Parametr – oznaczenie	Jednostka	Ściek surowy	Eluat po przejściu przez kolumnę porcji 1	Eluat po przejściu przez kolumnę porcji 7	Eluat po przejściu przez kolumnę porcji 15	Wartość normatywna
1.	pH	bzw.	4,50	6,78	5,37	4,98	6,00÷9,50
2.	Zawiesina ogólna, Z _{og}	mg/dm ³	139	21	29	73	50
3.	Substancje rozpuszczone, S _R	mg/dm ³	765	790	846	1230	2000
4.	Sucha pozostałość, S _p	mg/dm ³	904	811	875	1303	2050
5.	ChZT _{Cr}	mg O ₂ /dm ³	3750	1070	1080	2100	150

Ścieki surowe (popłuczyny) wprowadza się do zbiornika koagulacyjnego - rys. 3. Zbiornik ten musi mieć zainstalowane wolnoobrotowe mieszadło z falownikiem do zmiany częstości obrotowej od 1 do 50 obr./min. Pojemność robocza zbiornika powinna wynosić $3,5 \text{ m}^3$, co pozwoli odebrać jeden zrzut ścieków po pełnym cyklu płukania (tych cykli jest 4 na dobę, co oznacza $4 \times 3,5 \text{ m}^3 = 14,0 \text{ m}^3$ ścieków). Zatem pojemność konstrukcyjna jednego zbiornika powinna wynosić w granicach do 5 m^3 (rezerwa na menisk przy mieszaniu). Zbiornik powinien posiadać kilka poziomów tzw. przelewowych do dekantacji cieczy nadosadowej, tak aby odebrać około 90% objętości cieczy znajdującej się w zbiorniku koagulacyjnym. Dla przejścia pełnego dobowego odpływu ścieków potrzebne są takie 4 zbiorniki.

Zdekantowana ciecz nadosadowa będzie podawana na kolumnę sorpcyjną – rys. 4, o wysokości $h=1,5 \text{ m}$. Ustalenie wielkości powierzchni kolumny sorpcyjnej będzie wymagało dodatkowych badań (na razie - w przypadku wdrożenia układu pilotowego ćwierć-technicznego - proponuje się około $1,5 \text{ m}^2$ powierzchni kolumny).

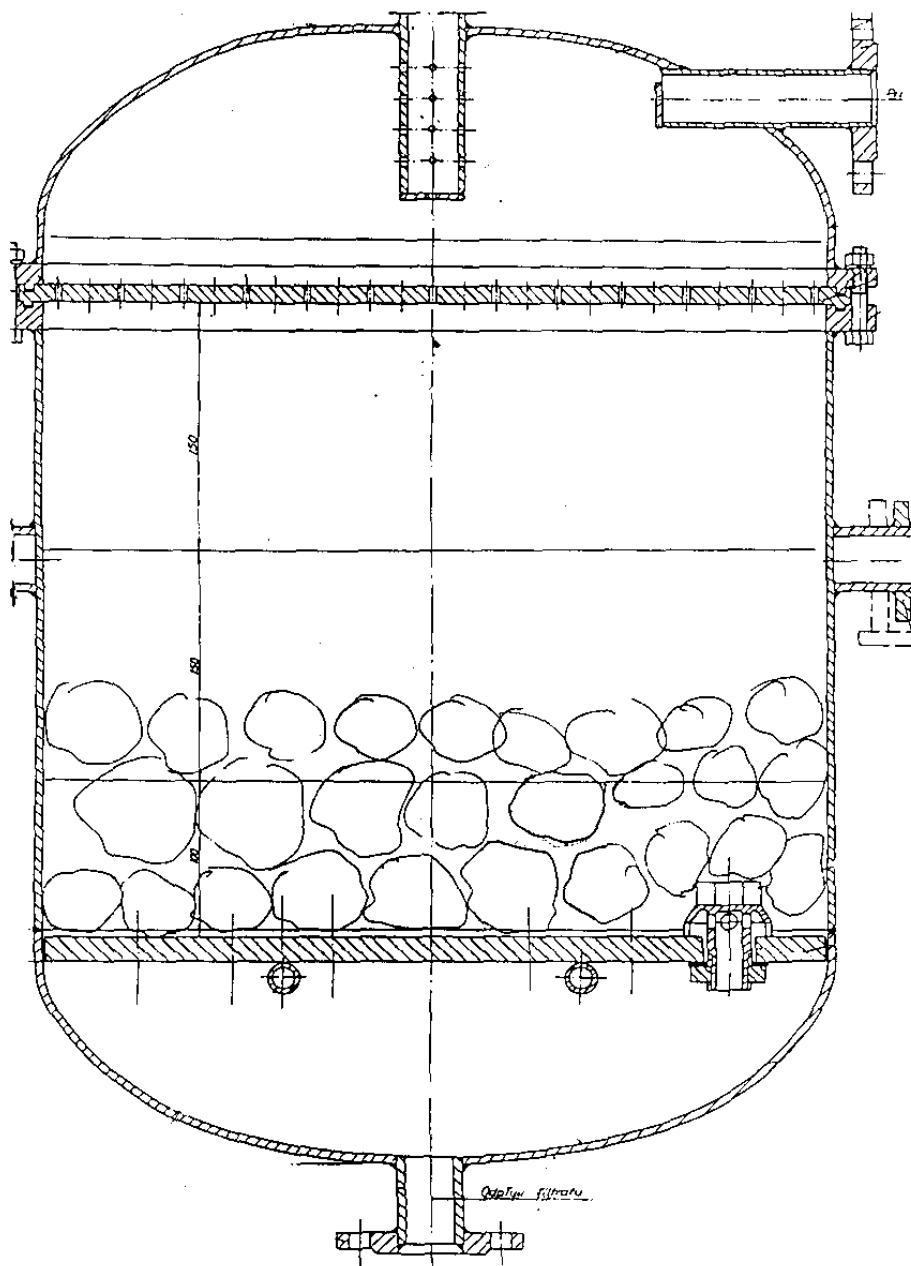
Osad pokoagulacyjny ze zbiornika może być wprowadzany na filtr piaskowy – rys. 5 o powierzchni rzędu $4 \text{ m}^2/\text{zrzut}$, czyli około 16 m^2 na cztery dobowe zrzuty w pełnej skali. Cztery poletka będą pracowały przemiennie. Odsączenie pierwszej porcji zrzutu, tj. $3,5 \text{ m}^3$, wymagać będzie około 12 godzin ze stopniowym wydłużeniem tego czasu, w miarę blokowania filtracji na złożu przez osad pokoagulacyjny. W takim układzie możliwe jest wydłużanie czasu filtracji do 24 godzin.

Filtr piaskowy musi być okresowo wymieniany. Jest to pewien wtórny odpad nadający się do zagospodarowania przyrodniczego; to także konieczny do rozwiązania problem techniczno-organizacyjny załadunku, transportu i rozładunku.

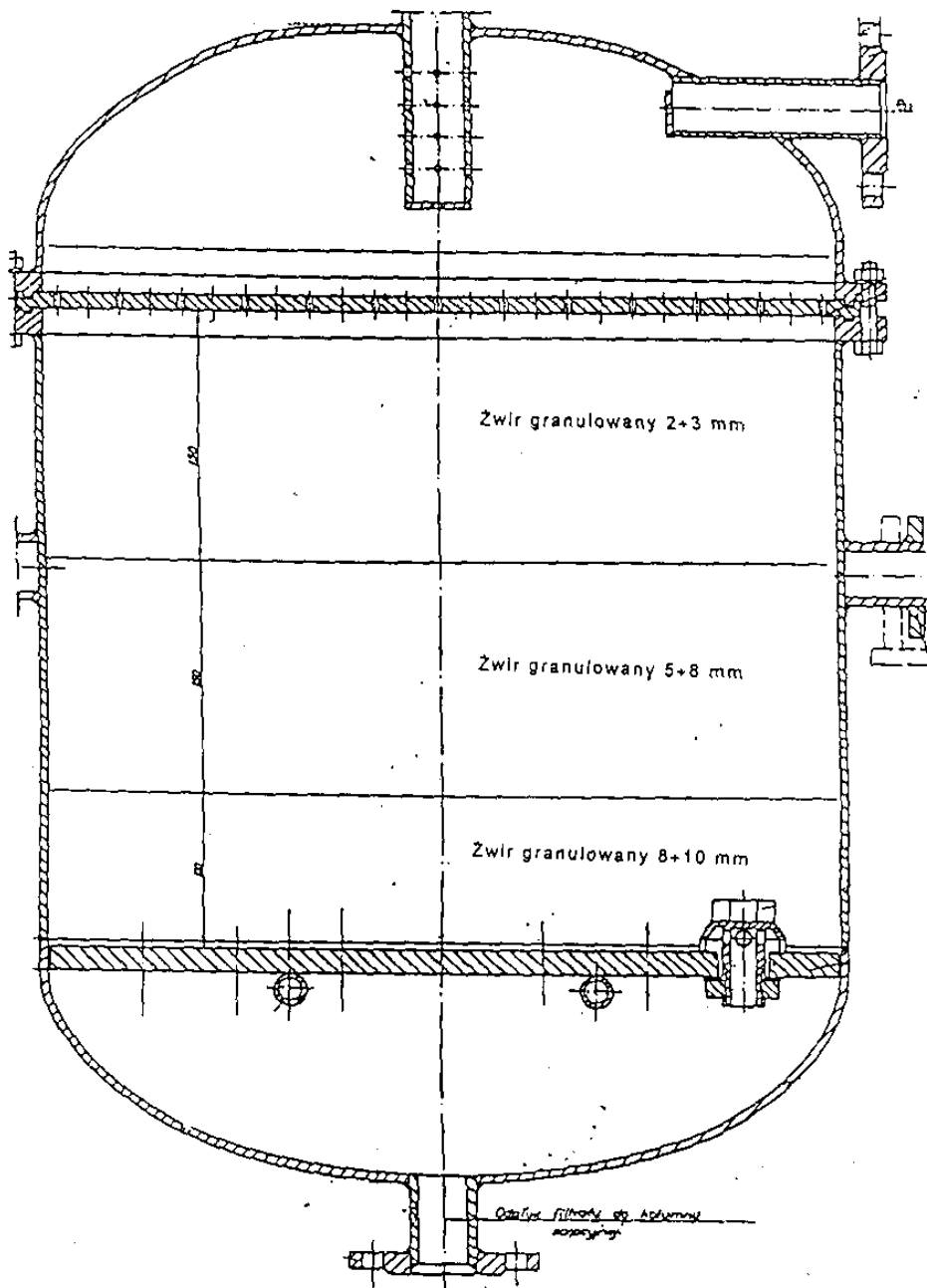
W miejsce filtra piaskowego można rozważyć wprowadzenie np. wirówki sedymentacyjnej, ale wariant ten wymaga dalszych badań testujących. Wirówki to bardzo dobre ale i bardzo drogie urządzenia [8].

Wtórny odpadem będzie zużyty sorbent, o czym powyżej wspomniano (punkt 3.2.). Przyjmuje się możliwość jego kilkakrotnej regeneracji (ściek poregeneracyjny odprowadzany do koagulacji), a potem zużyty sorbent może być przekazany do składu węglowego. Ściek oczyszczony, jako eluat po procesie sorpcji, jest jeszcze dezynfekowany kwasem nadoctowym i ewentualnie wraca do produkcji jako woda technologiczna lub jest odprowadzony na zewnątrz.

Podana powyżej propozycja jest jedną z wielu, które można zastosować po badaniach uzupełniających, procesowych (m.in. ewentualnie procesy biotechnologiczne, które wymagają jednak ciągłości dopływu ścieków).



Rys. 5. Kolumna sorpcyjna wykonana w Przedsiębiorstwie EKO-TECHNIKA Koszalin
Fig. 5. Sorptional column made by EKO-TECHNIKA Company in Koszalin



Rys. 6. Filtr grawitacyjny wykonany w Przedsiębiorstwie EKO-TECHNIKA Koszalin
Fig. 6. Gravitational filter made by EKO-TECHNIKA Company in Koszalin

4. Analiza techniczno-ekonomiczna

Projektowana podczyszczalnia ścieków z Palarni Kawy zlokalizowana jest na terenie działki nr 237/1 i 239/1 w Skibnie - Zakład Palarnia Kawy MK CAFE & TEA, na przedłużeniu pomieszczenia wytwornicy pary, w południowo-wschodniej części zakładu.

W czasie produkcji, w ciągu doby w Palarni Kawy w Skibnie następują 4 zrzuty ścieków popłucznych o objętości 3,5 m³ ścieków na jeden zrzut. Schemat recepturalny programu technologicznego podczyszczania ścieków jest następujący:

- spust ścieków popłucznych z produkcji do zbiornika koagulacyjnego o pojemności 5 m³,
- proces koagulacji ścieków w zbiorniku po dodaniu przygotowanego koagulantu i uruchomienie mieszadła,
- laminarna homogenizacja zrzutu ścieków,
- odpływ zdekantowanej cieczy - popłuczyn do filtru żwirowego,
- odpływ filtratu do kolumny sorpcyjnej,
- odpływ oczyszczonych ścieków - wody z kolumny sorpcyjnej do ponownych zastosowań na hali produkcyjnej,
- spust osadu pokoagulacyjnego na filtr piaskowy,
- powrót filtratu z drenażu filtra piaskowego do zbiornika koagulacyjnego,
- zebranie osadu pokoagulacyjnego z filtra piaskowego i wywóz do stosowania jako nawóz organiczny.

Badania, które będą prowadzone przez Katedrę Technologii Wody, Ścieków i Odpadów Politechniki Koszalińskiej na zbudowanym układzie technologicznym, mają dać odpowiedź na zasadnicze pytanie o czas trwania poszczególnych etapów tj. koagulacji, filtracji oraz sorpcji.

Ze względu na sąsiedztwo i okresowość pracy układu technologicznego podczyszczania ścieków do obsługi instalacji technologicznej może być przeszkolony personel nadzoru kotłowni parowej. Pracownik podczyszczalni ścieków wykonuje:

- nadzór nad spływem ścieków surowych do zbiornika koagulacyjnego,
- obsługę mieszadła z regulatorem obrotów,
- dawkowanie koagulantu do zbiornika,
- kolejne odprowadzanie poziomu cieczy zdekantowanej z zbiornika do filtra żwirowego i kolumny sorpcyjnej,
- opróżnianie zbiornika koagulacyjnego z osadu pokoagulacyjnego na filtr piaskowy z drenażem,
- wywóz osadu pokoagulacyjnego z filtru na zewnątrz jako nawozu naturalnego.

Budynek podczyszczalni ścieków – rys. 6, będzie miał lekką konstrukcję o wymiarach w osi 7x6 m. Wymiar 6m jest wymiarem osi budynku wytwornicy pary. Wysokość min. budynku $h=5,2$ m. Dach jednospadowy z wywietrznikami grawitacyjnymi. Podłoga będzie wykonana na poziomie podłogi pomieszczenia wytwornicy pary. Ścianę łączącą pomieszczenia należy zdemontować, tak aby ciepło z hali wytwornicy pary swobodnie przechodziło do pomieszczenia podczyszczalni ścieków.

Koszt części budowlanej inwestycji łącznie z podatkiem VAT wyniesie 66.835 zł, 26 gr., co dla tego typu szacunkowych prognoz można zaokrąglić do 67.000 zł. Filtr grawitacyjny będzie miał powierzchnię $3,5 \times 3,5$ m² przy grubości filtru 0,5 m dla jednego układu. W warstwie filtra zostaną poprowadzone rury drenazowe, których wyloty będą odprowadzały infiltrowaną z osadu ciecz do koryta filtratu, a następnie do studzienki i stamtąd pompą do zbiornika koagulacyjnego. Filtr będzie umiejscowiony wewnątrz hali technologicznej – przy założeniu budowli hali z rozsuwanym dachem.

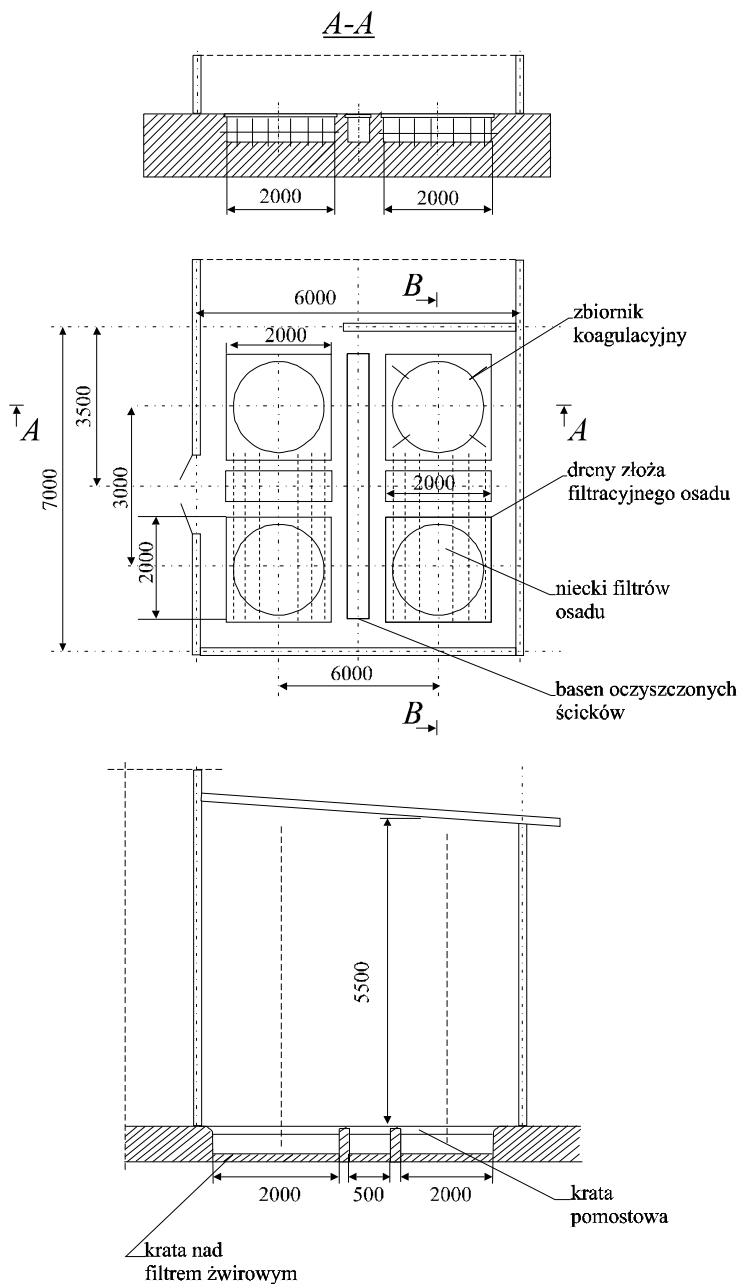
Ustalono, że zbiornik do procesu koagulacji będzie miał wysokość części walcowej $h_{\text{walca}} = 1,8$ m przy średnicy $d = 1,8$ m, oraz wysokości części stożkowej $h_{\text{stożka}} = 0,5$ m. Wylot ze zbiornika, a więc wylot z części stożkowej będzie na wysokości około 1,5m nad poziomem filtra grawitacyjnego tak, aby obsługa miała swobodny dostęp do zaworu na wylewie, przy czym przewód odprowadzający wylew będzie elastyczny po to, aby wylew był rozprowadzany proporcjonalnie po całej powierzchni filtru grawitacyjnego.

Zbiornik koagulacyjny będzie posiadał podwieszoną drabinę, aby po przyjęciu zrzutu ścieków obsługa mogła wlać do zbiornika, wcześniej przygotowany o stosownym stężeniu, koagulant. Zbiornik koagulacyjny będzie miał pojemność 5 m³, co oznacza, że jest w stanie przyjąć jeden zrzut ścieków o objętości 3,5 m³, a następnie umożliwić jego w miarę laminarną homogenizację przy założeniu utworzenia parabolicznego menisku.

Zaproponowano wysokość kolumny sorpcyjnej $h = 1,5$ m przy jej średnicy $d = 0,5$ m. Odciek z kolumny sorpcyjnej będzie wprowadzany do zbiornika wody podczyszczonej, z którego pompą woda zostanie ewentualnie zawracana do produkcji. To by oznaczało, że obieg jest obiegiem zamkniętym.

Koszt wykonania części instalacyjnej wyniesie około 42.500 zł wg. cen za pierwsze półrocze 1999 roku.

Powyższe dane techniczne i koszt inwestycyjny pozwoliły na oszacowanie poszczególnych składników kosztów eksploatacyjnych i na wyliczenie jednostkowego kosztu oczyszczania ścieków.



Rys. 7. Hala podczyszczalni ścieków Palarni Kawy MK-Cafe w Skibnie

Fig. 7. Sewage pre-treatment hall in the Coffee Roasting Plant MK-Cafe in Skibno

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań oraz szacunkowej analizy techniczno-ekonomicznej można przedstawić wnioski ogólne:

- Ścieki poprodukcyjne tzw. popłuczyny pochodzące ze Palarni Kawy MK-Cafe and Tea w Skibnie nie spełniają warunków norm dla ścieków, które mogą być odprowadzane do zbiorników otwartych i do ziemi.
- Proponuje się budowę instalacji doświadczalnej pilotującej oczyszczanie popłuczyn (ścieków) bezpośrednio w Palarni Kawy w Skibnie.
- Koszt inwestycyjny części budowlanej oraz części mechanicznej wraz z montażem szacuje się na około 109.500 zł – w cenach za 1-sze półrocze 1999 roku. Można przewidywać, że w przypadku realizacji wyżej wymienionej inwestycji w 2000 roku koszt zwiększy się o około 10%.
- Prognozuje się, iż koszt jednostkowy podczyszczania ścieków popłucznych wyniesie dla Spalarni Kawy w Skibnie około 16,5 zł/m³ – w cenach wyliczonych za pierwsze półrocze 1999 roku.

Literatura

1. **Kozioł J.:** Sorpcja wybranych metali ciężkich na minerałach ilastych. AGH, praca doktorska, Kraków 1991.
2. **Stępkowska G. T.:** Własności fizyko-chemiczne minerałów iłowych. Praca zbiorowa, Problemy fizyko-chemii i dynamiki gruntów. PAN, Wrocław 1973.
3. **Malej J.:** Zastosowanie minerałów ilastych w procesie oczyszczania ścieków. Międzynarodowe Konferencje N- T. „Współczesne problemy gospodarki wodno-ściekowej, Kołobrzeg 1995.
4. **Żabowski J.:** Badania nad oczyszczaniem ścieków promieniotwórczych na krajowych glinach i bentonitach. Zeszyty Naukowe M.G.K. Nr 16, Warszawa 1966.
5. **Anielak A. M.:** Chemiczne i fizyko-chemiczne oczyszczanie ścieków. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 1998.
6. **Anielak A. M.:** Coagulation and Coprecipitation of dyes. Environment Protection Engineering 3/4 (1996).
7. **Piecuch T., Dąbrowski T., Dąbrowski J., Kościelnik B., Kościerzyńska - Siekan G.:** Utylizacja szlamowych i pyłowych odpadów przemysłowych. Badania Statutowe BS – 504.01.68 – praca biegnie od 1995 roku. Politechnika Koszalińska.
8. **Piecuch T.:** Technika hydroszlamowa. Wydawnictwo Politechnika Koszalińska. wydanie II, rok 1999.

Investigation and conception project of post-rinsing sewage from Coffee Roasting Plant pre-treatment technology

Abstract

One of the biggest companies in the former Koszalin Province, in the Middle Pomerania region is MK-Cafe Company, which produces coffee. Coffee production is placed in so called coffee roasting plants. One of such plants is situated in Skibno place, near Koszalin.

During the production of coffee sewage is arising, which not treated are discharged out of the plant, to a ditch and next to fields (meadows). The sewage are straight from the coffee production process and contain only organic contaminants. In the production process, during one day there are 4 dumps of post-rinsing sewage (3,5 m³ of volume each) in the Coffee Roasting Plant in Skibno.

The paper presents preliminary results of research on pre-treatment possibility of sewage from the Coffee Roasting Plant. The sewage is characterised by a low reaction, high dissolved substances content and a very high COD_{Cr}. The sewage does not fulfil the standards for the sewage, which are discharged to waters and ground.

The preliminary research included:

- the sorption process on the sorptional column made up of granulated active carbon,
- filtration on a sand bed,
- coagulation process with lime and bentonite.

Basing on the obtained results of research, the project of experimental – pilot installation, which will be tested in the real conditions in the Coffee Roasting Plant, has been presented.

The research and technical-economical analysis allow to draw the following conclusions:

- The construction of pilot installation for sewage treatment on the terrain of the Coffee Roasting Plant is proposed.
- Investment cost of building and mechanical parts along with assembly is about 109.500 zł (according to prices in the first half of the year 1999). The costs may rise about 10%, if the pilot installation will be constructed in the year 2000.

- It is expected that unit cost of sewage pre-treatment will be (for the Coffee roasting Plant in Skibno) about 16,5 zł per m³ – according to prices in the first half of the year 1999.

The cost of making the instalational part amounts to about 42.500 zł according to prices in the first half of the year 1999.

Technical data given and investment cost allowed to estimate individual exploitation costs components and to calculate unit cost of sewage treatment.

Taking into consideration general quality diagnosis of raw sewage (post-rinsing) and general process possibilities of their pre-treatment a simple technological system, which is a pilot installation in a quarter scale, for optimisation and corrective research, which consists of the following unit processes:

- coagulation process in coagulation tank,
 - laminar homogenisation of swage dump,
 - outflow of decanted liquid to gravel filter,
 - outflow of filtrate to the sorptional column,
 - outflow of cleaned sewage from sorptional column back to use in the production hall,
 - release of post coagulation sludge on the sand filter,
 - return of the filtrate from sand filter drainage back to the coagulation tank,
- collecting of post coagulation sludge from the sand filter and removal for the use as an organic fertiliser.

The research, which will be conducted by Division of Water, Sewage and Waste Technology of Technical University of Koszalin, on created technological installation, will give an answer to the fundamental question: how long will last individual stages, that is: coagulation, filtration and sorption.

The aim of this work was diagnosis of this sewage pre-treatment technology using physico-chemical processes and basing on obtained results, proposal of this sewage pre-treatment conception for the real installation work conditions (it concerns the place and the amount of sewage) in Skibno, near Koszalin, Sianów Commune.

This sewage are straight from coffee production, and contaminants it includes are organic.

The proposal given is one of many others, which may be used after supplement research, process (among others biotechnological processes, but which require continuity of sewage inflow).