



POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

**WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ,
ŚRODOWISKA I GEODEZJI**



ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Anna Kowalczyk

**ZASTOSOWANIE OLEJKÓW ETERYCZNYCH
EKSTRAHOWANYCH Z SUROWCÓW
ODPADOWYCH JAKO SUBSTYTUTU
FLOKULANTÓW**

PRACA WYKONANA W KATEDRZE
TECHNIKI WODNO-MUŁOWEJ
I UTYLIZACJI ODPADÓW

PROMOTOR:
prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch

Koszalin 2014

Spis treści

1. Wstęp – cel, teza i zakres pracy	6
2. Przegląd literatury	9
2.1. Odory	9
2.1.1. Charakterystyka olejków eterycznych	9
2.1.2. Produkcja olejków eterycznych w świecie	9
2.1.3. Metody otrzymywania olejków eterycznych	12
2.1.3.1. <i>Destylacja</i>	12
2.1.3.1.1. <i>Destylacja z parą wodną</i>	13
2.1.3.2. <i>Ekstrakcja</i>	16
2.1.3.2.1. <i>Ekstrakcja periodyczna (nieciągła)</i>	18
2.1.3.2.2. <i>Ekstrakcja ciągła</i>	19
2.1.3.2.3. <i>Ekstrakcja w układzie ciało stałe-ciecz</i>	20
2.1.3.2.4. <i>Przyspieszona ekstrakcja rozpuszczalnikiem (PLE)</i>	22
2.1.3.2.5. <i>Ekstrakcja w warunkach nadkrytycznych za pomocą CO₂</i>	23
2.1.3.3. <i>Wytłaczanie</i>	23
2.1.4. Zastosowanie olejków eterycznych	23
2.1.5. Charakterystyka odorów	24
2.1.5.1. <i>Stężenie zapachu</i>	24
2.1.5.1.1. <i>Metoda pomiaru stężenia zapachu</i>	25
2.1.5.1.2. <i>Metoda poboru prób do oznaczania stężenia zapachu</i>	28
2.1.5.2. <i>Intensywność zapachu</i>	32
2.1.5.3. <i>Jakość hedoniczna</i>	32
2.1.6. Unormowania prawne dotyczące emisji związków odorotwórczych	33
2.1.7. Źródła odorów	36
2.1.7.1. <i>Składowiska odpadów komunalnych</i>	37
2.1.7.2. <i>Oczyszczalnie ścieków komunalnych</i>	37
2.1.7.3. <i>Przemysł celulozowo-papierniczy</i>	38
2.1.7.4. <i>Przemysł spożywczy</i>	38
2.1.7.5. <i>Hodowla</i>	39
2.1.8. Rodzaje związków odorowych	40
2.1.9. Metody dezodoryzacji	41
2.1.9.1. <i>Sorpcja</i>	46
2.1.9.1.1. <i>Absorpcja</i>	46
2.1.9.1.2. <i>Chemisorpcja</i>	49
2.1.9.1.3. <i>Adsorpcja</i>	49
2.1.9.2. <i>Spalanie termiczne i katalityczne</i>	54

2.1.9.2.1. Zastosowanie spalania do dezodoryzacji gazów	56
2.1.9.3. Biologiczne oczyszczanie gazów	57
2.1.9.4. Neutralizacja zapachu (tzw. maskowanie)	59
2.1.10. Inwentaryzacja i charakterystyka źródeł odorantów w gospodarce ściekowej w Polsce oraz ocena ich uciążliwości	61
2.1.11. Technologie eliminacji uciążliwości zapachowych w gospodarce ściekowej	70
2.1.11.1. Zastosowanie olejków eterycznych do maskowania nieprzyjemnych zapachów wydzielających się podczas mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych	70
2.1.11.2. Ograniczenie uciążliwości zapachowej pompowni ścieków poprzez zastosowanie biofiltrów	76
2.1.11.3. Proces FERROX – eliminacja uciążliwości zapachowych w systemach kanalizacji ściekowej	80
2.1.11.4. Likwidacja uciążliwości zapachowej w oczyszczalniach ścieków poprzez hermetyzację, wentylację oraz zastosowanie biofiltrów	94
2.1.11.5. Ograniczenie uciążliwości zapachowej odpadów ściekowych poprzez zastosowanie biopreparatów	99
2.1.11.5.1. Zastosowanie biopreparatów do eliminacji nieprzyjemnych zapachów	99
2.1.11.6. Zastosowanie odczynnika Fentona w procesach usuwania uciążliwości zapachowych	106
2.2. Odwadnianie osadów ściekowych	108
2.2.1. Ogólna charakterystyka osadów ściekowych	108
2.2.1.1. Pochodzenie osadów ściekowych	109
2.2.1.2. Rodzaje osadów ściekowych	109
2.2.1.3. Charakterystyka ilościowa i jakościowa osadów ściekowych	110
2.2.1.4. Jednostkowe procesy przeróbki osadów	112
2.2.2. Kondycjonowanie osadów	116
2.2.2.1. Kondycjonowanie chemiczne	116
2.2.2.2. Kondycjonowanie fizyczne	121
2.2.3. Odwadnianie osadów	123
2.2.3.1. Metody odwadniania osadów	125
2.2.3.1.1. Naturalne odwadnianie osadów	125
2.2.3.1.2. Mechaniczne odwadnianie osadów	126
2.2.4. Suszenie osadów ściekowych	137
2.2.4.1. Suszenie termiczne	137
2.2.4.2. Suszenie naturalne – słoneczne	138
2.2.5. Dane statystyczne dotyczące gospodarki osadami ściekowymi	139
2.2.6. Badania procesu mechanicznego odwadniania osadów ściekowych	147
2.2.7. Oczyszczalnia Ścieków „JAMNO”	182
2.2.7.1. Układ technologiczny Oczyszczalni Ścieków „JAMNO”	182
2.2.7.1.1. Część mechaniczna	183
2.2.7.1.2. Część biologiczna	183
2.2.7.1.3. Część gospodarki osadowej	184
3. Badania własne	185

3.1. Aproksymacja metodą punktu centralnego	185
3.2. Zakres badań.....	188
3.3. Wytwarzanie olejków eterycznych	189
3.3.1. Metodyka badań.....	189
3.3.1.1. Wybór surowca.....	189
3.3.1.2. Aparatura do produkcji kondensatów zapachowych	193
3.3.1.3. Metodyka oznaczania wskaźników	196
3.3.2. Zestawienie wyników badań wytwarzania olejków eterycznych w procesie destylacji parą wodną.....	197
3.3.3. Opis i analiza wyników.....	202
3.4. Badania procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych oraz neutralizacji odorów w skali laboratoryjnej	203
3.4.1. Metodyka badań.....	203
3.4.1.1. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych.....	203
3.4.1.2. Pomiar zapachu.....	209
3.4.1.3. Charakterystyka osadu ściekowego	210
3.4.1.4. Charakterystyka flokulanta kationowego PRAESTOL 855BS	210
3.4.1.5. Charakterystyka olejku eterycznego z pomarańczy	212
3.4.2. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulanta PRAESTOL 855BS.....	212
3.4.3. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%)	221
3.4.4. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%)	235
3.4.5. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy	249
3.4.6. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem różnych proporcji olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28 \text{ [ml/dm}^3\text{]}$	262
3.4.7. Zbiorcze zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych w skali laboratoryjnej.....	266
3.4.8. Opis wyników badań.....	275
3.4.8.1. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulanta PRAESTOL 855BS.....	275
3.4.8.2. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%)	277
3.4.8.3. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%)	280
3.4.8.4. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy	283

3.4.8.5. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem różnych proporcji olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28 \text{ [ml/dm}^3\text{]}$	286
3.4.8.6. Porównanie wyników badań w skali laboratoryjnej	287
3.4.9. Próba analizy przyczynowo-skutkowej stwierdzonych zależności	291
3.4.9.1. Wilgotność osadu	291
3.4.9.2. Zagęszczenie odcieku	292
3.4.9.3. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie	293
3.5. Badania procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych oraz neutralizacji odorów w skali przemysłowej	294
3.5.1. Badania na Oczyszczalni Ścieków Jamno	294
3.5.1.1. Metodyka badań	294
3.5.1.1.1. Charakterystyka osadu ściekowego	296
3.5.1.1.2. Charakterystyka flokulanta kationowego PRAESTOL 855BS	296
3.5.1.1.3. Charakterystyka olejku eterycznego z pomarańczy	296
3.5.1.1.4. Pomiar stężenia zapachowego olejku eterycznego w odwodnionym osadzie	297
3.5.1.2. Zestawienie wyników badań	301
3.5.1.3. Opis i analiza wyników	307
3.6. Porównanie wyników badań w skali laboratoryjnej i przemysłowej	309
4. Próba szacunkowej oceny kosztów mechanicznego odwadniania w wirówce dekantacyjnej przy zastosowaniu olejku eterycznego jako częściowego substytutu flokulantów	312
5. Kompleksowy zapis modelu matematycznego analityczno-empirycznego	314
5.1. Sedymentacja odśrodkowa	314
5.1.1. Z dodatkiem flokulanta Praestol 855BS	314
5.1.2. Z dodatkiem mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%)	314
5.1.3. Z dodatkiem mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%)	315
5.1.4. Z dodatkiem olejku eterycznego z pomarańczy	315
6. Weryfikacja równań procesu sedymentacji odśrodkowej w przestrzeni aproksymacyjnej	316
6.1. Wprowadzenie – opis wybranej metody weryfikacji	316
6.2. Wyniki weryfikacji statystycznej	317
7. Podsumowanie pracy – wnioski ogólne	322
Spis używanych symboli	324
Literatura	325
Streszczenie	339

1. Wstęp – cel, teza i zakres pracy

Z chwilą wstąpienia Polski do Unii Europejskiej w maju 2004 r., w naszym kraju zaczęły obowiązywać standardy i normy europejskie m.in. w zakresie ochrony środowiska. Jednym z elementów, który wymaga jeszcze uregulowania jest emisja do środowiska nieprzyjemnych zapachów w wyniku funkcjonowania takich obiektów jak: składowiska odpadów, zakłady ich utylizacji, oczyszczalnie ścieków, fermy hodowlane czy zakłady przemysłowe. Emisja tych nieprzyjemnych zapachów stanowi dużą uciążliwość zarówno dla pracowników zakładów, jak i osób zamieszkujących w sąsiedztwie źródeł emisji odorów. W chwili obecnej brak polskich norm i przepisów regulujących emisję nieprzyjemnych zapachów do środowiska – co uniemożliwia zarówno nakazanie ograniczenia emisji odorów, jak i egzekwowania nakazów przez organy ochrony środowiska – przyczynia się do podejmowania badań nad odorami w zespołach badawczych różnych instytucji m.in. w Politechnice Szczecińskiej, Politechnice Lubelskiej, Politechnice Łódzkiej, Politechnice Wrocławskiej, Politechnice Warszawskiej, Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie, a także Politechnice Koszalińskiej [36, 46, 94, 97, 99, 100, 113, 115, 146, 147, 191, 194, 199, 200].

Obecnie do typowych metod dezodoryzacji gazów zalicza się: sorpcję, spalanie termiczne i katalityczne, biologiczne oczyszczanie gazów oraz neutralizację zapachu, tzw. maskowanie. Wybór najskuteczniejszej metody dezodoryzacji jest trudny. Opiera się zwykle na przeglądzie piśmiennictwa dotyczącego efektywności różnych technik stosowanych w zakładach o podobnym profilu. W przypadku braku takich danych odpowiednich wzorów można poszukiwać, kierując się informacjami o natężeniu emisji (V [m^3/h]), ogólnej zawartości zanieczyszczeń oraz – w miarę możliwości – o charakterze emitowanych gazów [94].

W Katedrze Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów Politechniki Koszalińskiej od kilku lat prowadzone są badania nad stworzeniem skutecznego środka zmniejszającego uciążliwość zapachów. Opracowana metoda polega na neutralizacji

zapachu, czyli zastępowanie zapachu niepożądanego przyjemniejszym. Jako środki maskujące wykorzystywane są naturalne olejki eteryczne, pozyskiwane ze świeżych surowców roślinnych w procesie destylacji parą wodną.

W ramach tych prac badawczych, a także analiz zespół z Politechniki Koszalińskiej wpadł na pomysł i zaproponował zupełnie nowe rozwiązanie, które polega na stosowaniu naturalnych olejków eterycznych jako częściowego substytutu flokulantów w procesach mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych. Tak więc niniejsza dysertacja skupia się na udzieleniu odpowiedzi na pytanie czy olejki eteryczne mogą znaleźć takie zastosowanie. Zatem teza rozprawy doktorskiej, którą zamierza się udowodnić, jest nawiązaniem do tytułu pracy i brzmi następująco:

ISTNIEJĄ TAKIE OLEJKI ETERYCZNE, KTÓRE MOGĄ PEŁNIĆ ROLĘ FLOKULANTA W PROCESACH MECHANICZNEGO ODWADNIANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH.

Powyższa teza jest oczywiście sformułowana dla wszystkich procesów mechanicznego rozdziału fazy stałej od fazy ciekłej, a więc dla wszystkich procesów sedymentacji grawitacyjnej i odśrodkowej oraz wszelkich procesów filtracji.

W literaturze brak jest danych, które określałyby wpływ zastosowania olejków eterycznych w miejsce tradycyjnych flokulantów na końcowy efekt procesu mechanicznego odwadniania osadów ściekowych oraz na skuteczną neutralizację nieprzyjemnych zapachów wydzielających się podczas tego procesu.

Dlatego zasadniczą i w miarę obszerną część badań w pracy doktorskiej odniesiono do procesu sedymentacji odśrodkowej na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW–350, a następnie w węższym już zakresie, w skali przemysłowej, z zastosowaniem wirówki dekantacyjnej typu NOXON DC–20 w Oczyszczalni Ścieków Jamno, gdzie w ramach badań weryfikacyjnych zostały powtórzone badania dla takich parametrów procesowych, technicznych możliwych do ustawienia na wirówce przemysłowej oraz takich parametrów technologicznych, które wynikały z badań laboratoryjnych.

Realizacja badań w ramach rozprawy doktorskiej jest zupełnie nowatorskim i oryginalnym pomysłem, który został zabezpieczony zgłoszeniem patentowym w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej w dniu 17.02.2010 r., Nr P 390476 pt.: *Sposób neutralizacji odorów powstających podczas odwadniania komunalnych osadów ściekowych* [153].

Najważniejszym celem prowadzonych badań było znalezienie optymalnych warunków prowadzenia procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych na wirówkach zarówno w skali laboratoryjnej, jak i przemysłowej z zastosowaniem do tego procesu olejku eterycznego z pomarańczy w miejsce tradycyjnych flokulantów, a także zmniejszenie uciążliwości pracy obsługi wirówek zainstalowanych na terenie Oczyszczalni Ścieków Jamno w budynku odwadniania osadów, w którym emitowane są nieprzyjemne zapachy. Taka podobna sytuacja ma miejsce również w wielu innych oczyszczalniach ścieków.

Na podstawie uzyskanych wyników badań laboratoryjnych procesu odwadniania osadów ściekowych, dla określonych zmiennych wynikowych, opracowano model matematyczno-empiryczny, ukazujący wzajemne zależności zmienianych parametrów, natomiast w trakcie opisowej analizy wyników doświadczeń, została podjęta próba analizy przyczynowo-skutkowej wyjaśnienia stwierdzonych zależności. Wszystkie obliczenia prowadzące do uzyskania matematycznych równań analityczno-empirycznych tworzących model dokonane zostały przy pomocy następujących programów komputerowych: STATISTICA 10, EXCEL 2007.

Uzyskany model analityczno-empiryczny został poddany weryfikacji poprzez wykonanie dodatkowo kilku losowych doświadczeń przy dowolnie wybranych wartościach poszczególnych zmiennych niezależnych mieszczących się w badanych poprzednio przedziałach zmian, celowo dobranych w taki sposób, aby nie kojarzyły się te wartości z punktem centralnym aproksymacji, lecz tylko z przestrzenią wokół tego punktu.

2. Przegląd literatury

2.1. Odory

2.1.1. Charakterystyka olejków eterycznych

Olejkami eterycznymi nazywa się ciekłe, najczęściej o dużej lepkości oraz wonne mieszaniny organicznych związków chemicznych, wydzielane z roślin lub części roślin.

W skład każdego olejku eterycznego wchodzi co najmniej kilkanaście składników – związków chemicznych, należących przeważnie do grupy terpenów, tj. połączeń hydroaromatycznych oraz do grupy związków alifatycznych o długich łańcuchach węglowych, nazywanych również terpenami alifatycznymi. Terpeny nie oznaczają się nadzwyczajnymi cechami organoleptycznymi. Najważniejszymi i charakterystycznymi składnikami olejków eterycznych są najczęściej połączenia tlenowe: estry, alkohole alifatyczne lub połączenia terpenowe, aldehydy, ketony, tlenki i laktony [4, 85, 152, 154, 158, 162, 216].

2.1.2. Produkcja olejków eterycznych w świecie

Krajami producentami najcenniejszych olejków eterycznych są kraje o klimacie zwrotnikowym i kraje posiadające tereny, na których roczne wahania temperatury są niezbyt duże. Nieliczne tylko olejki są produkowane w krajach o klimacie kontynentalnym, o dużych wahaniami temperatury [158, 162, 216].

Pierwsze miejsce w Europie w produkcji olejków eterycznych zajmuje Francja. Łagodny klimat terenów położonych nad Morzem Śródziemnym sprawił, że rozwinął się tam przemysł przetwarzający kwiaty na olejki o skali i różnorodności niespotykanych w innych krajach. Oprócz kwiatów i roślin z plantacji miejscowych przerabia się tam również duże ilości importowanych surowców olejkodajnych. Przemysł olejków naturalnych uzupełnia przemysł produkujący pachnidła syntetyczne i półsyntetyczne.

Dużą część surowców przetwarza przemysł perfumeryjno-kosmetyczny, którego produktem końcowym są perfumy i wody toaletowe, preparaty kosmetyczne, preparaty higieniczne i do włosów.

Drugim poważnym producentem olejków w Europie są Włochy południowe (Kalabria i Sycylia), specjalizujące się w wytwarzaniu olejków cytrusowych, jedyny producent na świecie olejku bergamotowego. Z innych olejków włoskich ceniony jest olejek miętowy Ithalo-Mitcham i lawendowy. Włochy północne (Lombardia) są poważnym producentem tzw. korzenia fiołkowego, który jest surowcem do otrzymywania olejku irysowego i rezynoidów.

Turcja i Bułgaria są znanym producentem olejku różanego, otrzymywanego różnymi metodami. Ponadto Bułgaria produkuje olejek miętowy Bułgaro-Mitcham, lawendowy, zdrowcowy, rumiankowy, kolendrowy, bazyliowy, jałowcowy, akacjowy i inne [158, 162, 216].

Holandia jest ważnym dostawcą olejku kminkowego najwyższej jakości. Ponadto przerabia duże ilości importowanych surowców olejkodajnych. Wysoko rozwinięty jest przemysł chemiczny przetwarzający składniki olejków i produkujący syntetyki i półsyntetyki, mające podstawowe znaczenie w perfumerii i przemyśle spożywczym [158, 162].

Anglia produkuje światowej sławy olejek miętowy Mitcham i lawendowy, jednak w ilościach, które nie pokrywają zapotrzebowania rynku krajowego. Przemysł angielski przetwarzający olejki importowe i produkcja pachnidół syntetycznych stoją na wysokim poziomie [162, 216].

Niemcy nie liczą się jako producent olejków naturalnych ze względu na pozyskiwanie znikomych ilości naturalnych destylatów, natomiast mają bardzo rozwinięty przemysł przetwórczy przerabiający składniki tanich olejków importowanych na produkty służące do aromatyzowania środków żywności i na kompozycje perfumeryjne. Równolegle rozwinął się w Niemczech przemysł pachnidół całkowicie syntetycznych posiadający wysokie miejsce w produkcji światowej [158, 162].

Podobną strukturę w świecie ma przemysł pachnidół i aromatów w Szwajcarii, która przoduje w świecie w produkcji związków syntetycznych najwyższej czystości i jakości [162, 216].

Polska jako producent olejków eterycznych działa na rynku od kilkadziesiąt lat. Przed drugą wojną światową produkowano u nas nieznaczne ilości olejków eterycznych, wśród których jedynie olejek terpentynowy zajmował poważną pozycję

eksportową. Po drugiej wojnie światowej nastąpił w Polsce rozwój przemysłu olejkarskiego i zaczęto rozpowszechniać uprawę mięty pieprzowej, kolendry oraz w dużej mierze zaczęto wykorzystywać olejkodajne surowce z roślin dziko rosnących jak tatarak i odpadów uzyskiwanych przy wyrębie drzew szpilkowych: szyszkogody jałowca i tzw. cetynę sosnową, jodłową i świerkową. Krajowa produkcja jest na tyle duża, że pokrywa zapotrzebowanie wewnętrzne i umożliwia eksport do innych krajów. Oprócz olejków eterycznych eksportuje się również mentol izolowany z krajowego olejku miętowego oraz terpineol i octan terpinylu, półsyntetyki produkowane z olejku terpentynowego.

Od ostatnich kilkudziesięciu lat poważnym producentem olejków eterycznych stały się niektóre kraje byłego Związku Radzieckiego. Na Ukrainie powstały duże plantacje mięty pieprzowej, waleriany i *Ocimum canum*, rośliny o dużej zawartości kamfory. Ukraina rozwijając się w tym kierunku już przed pierwszą wojną światową stała się dużym producentem nasion anyżu i fenkułu. Na Krymie założono plantację róży, lawendy, szaławii muszkatołowej. Gruzja dostarcza olejku geraniowego, a ponadto założono tam plantacje drzew cytrynowych i eukaliptusowych, jaśminu, fiołka, bazylii i wielu innych. W Armenii uprawia się lawendę, fenkuł i miętę pieprzową, a w okęgach północnego Kaukazu główną uwagę poświęca się uprawie kolendry [158, 162, 216].

Dużą uwagę należy zwrócić na kraje afrykańskie, które zajmują się produkcją olejków eterycznych i pachnideł od setek lat. Tak więc w Algierze, Maroku, Tunisie wytwarza się olejki kwiatowe z geranium, akacji, lawendy, jaśminu, róży, które nie ustępują często jakości produktom francuskim. Ponadto Egipt między innymi produkuje olejki z kwiatu pomarańczy, tuberozy i mięty kędzierzawej. Abisynia dostarcza miry i cybetu.

Na kontynencie azjatyckim Syjam jest głównym dostawcą żywicy benzoesowej – analogu do żywicy sumatrzańskiej. Tajwan obecnie należy do największych producentów olejku cytronelowego, Chiny są jednym z największych producentów olejku miętowego najlepszej jakości, jak również olejku kamforowego i kamfory. Chiny są głównym dostawcą piżma – surowca odzwierzęcego mającego zastosowanie jako składnik najlepszych i najdroższych perfum i wód toaletowych na świecie [162].

Stany Zjednoczone są producentem niewielu olejków eterycznych, ale wytwarzanych w dużych ilościach. Na pierwsze miejsce wybija się tam produkcja

olejku terpentynowego, niewiele mniejsza jest produkcja olejków cytrusowych: pomarańczowego, cytrynowego i grejpfrutowego, gdzie prym w produkcji wiodą Kalifornia i Floryda. Na dużą skalę produkuje się również olejek miętowy i cedrowy, te jednak w dużej mierze zaspokajają rynek wewnętrzny kraju. Dużą uwagę należy zwrócić na silnie rozwijający się przemysł syntetyków i półsyntetyków perfumeryjnych, który w coraz większym procencie zaspokaja popyt na tego typu produkty.

Australia jako jedyny przedstawiciel Antypodów jest największym producentem olejków eukaliptusowych, destylowanych z różnych gatunków drzewa eukaliptusowego. Olejki te o składzie chemicznym bardzo różnym, są cennymi surowcami do wyrobu szeregu związków chemicznych mających znaczenie w przemyśle farmaceutycznym i w przemyśle perfumeryjno-kosmetycznym [162].

2.1.3. Metody otrzymywania olejków eterycznych

Olejki eteryczne pozyskuje się z różnych części roślin, głównie na cztery sposoby [4, 152, 154, 158, 162, 216]:

- poprzez destylację z parą wodną,
- poprzez ekstrakcję rozpuszczalnikami organicznymi,
- poprzez ekstrakcję w warunkach nadkrytycznych za pomocą CO₂,
- poprzez wytłaczanie.

2.1.3.1. Destylacja

Destylacja polega na przemianie substancji w stan pary i następnym jej skropleniu w innym już miejscu po przeprowadzeniu przez aparaturę chłodzącą. Podstawowym warunkiem zastosowania tej metody jest możliwość przejścia oczyszczanej substancji w stan pary bez jednoczesnego rozkładu. I tak, destylację pod zwykłym ciśnieniem stosuje się wyłącznie do substancji o niewielkich cząsteczkach, których temperatura wrzenia leży poniżej 200°C. Dla substancji wysokowrzących stosuje się destylację pod zmniejszonym ciśnieniem. Substancje stałe destyluje się z reguły pod zmniejszonym ciśnieniem lub z parą wodną. Temperatura wrzenia jest, jak wiadomo, temperaturą, w której prężność pary substancji osiąga wartość ciśnienia atmosferycznego. Zmiana temperatury wrzenia w toku destylacji dowodzi, że substancja nie jest czysta i mamy do czynienia z mniej lub bardziej złożoną substancją [123].

2.1.3.1.1. Destylacja z parą wodną

Destylacja z parą wodną jest wygodną metodą oczyszczania substancji stałych i ciekłych nie miesających się z wodą, lotnych zaś z parą wodną, tzn. wykazujących w temperaturze bliskiej 100°C dość znaczną prężność pary (co najmniej 6,5–13 hPa). Ponieważ woda i destylowany składnik A nie miesają się ze sobą, ogólna prężność par, zgodnie z prawem Daltona, jest sumą prężności cząstkowych [12, 123].

$$P = P_W + P_A \quad (2.1)$$

Ponieważ ciecz zaczyna wrzeć, gdy prężność jej par osiągnie wartość ciśnienia atmosferycznego panującego w danej chwili, przeto prężność par rozważanej mieszaniny osiąga wartość ciśnienia atmosferycznego w temperaturze niższej od temperatury wrzenia każdego z jej składników. Skład pary, a więc i skład kondensatu można obliczyć ze wzoru [12, 123]:

$$\frac{n_A}{n_W} = \frac{P_A}{P_W} \quad (2.2)$$

gdzie:

n_A i n_W – liczba moli cząsteczek substancji A i wody,

P_A i P_W – prężności cząstkowe par substancji A i wody.

Wprowadzając jednostki masy, wzór można przekształcić do postaci [123]:

$$\frac{m_A}{n_W} = \frac{M_A \cdot P_A}{18 \cdot P_W} \quad (2.3)$$

gdzie:

M_A – masa cząsteczkowa substancji A.

Równanie (2.2) jest w przybliżeniu słuszne, gdyż jedynie przybliżeniem jest założenie wzajemnej całkowitej nierozpuszczalności składników.

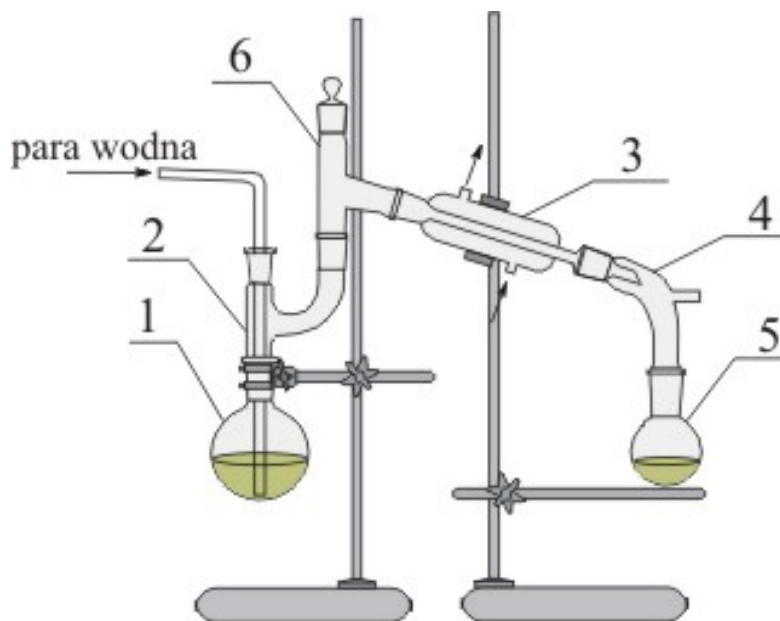
Destylacja z parą wodną jak to wynika z równania (2.1) zachodzi w temperaturze niższej od temperatury wrzenia wody, przeto wiele substancji o temperaturach wrzenia bardzo wysokich, w których ulegają one już zazwyczaj częściowemu rozkładowi daje się oczyścić przez destylację w temperaturze poniżej 100°C [12, 123].

Destylacja z parą wodną pozwala ponadto w łatwy sposób [123]:

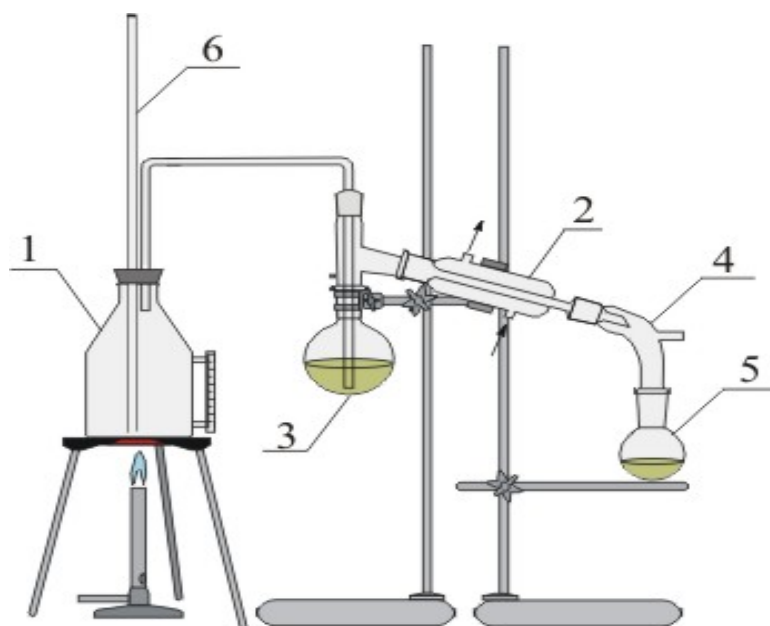
- oddzielić produkt od nielotnych produktów smolistych,

- wydzielić związek organiczny z wodnych roztworów soli nieorganicznych,
- oddzielić wiele substancji organicznych lotnych z parą wodną od związków organicznych nielotnych z parą wodną.

Prosty zestaw aparatury do destylacji z parą wodną niewielkich ilości substancji przedstawia rysunek 2.1.



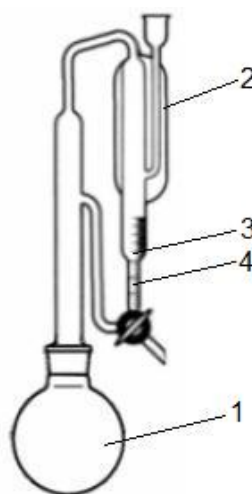
Rys. 2.1. Zestaw do destylacji z parą wodną: 1 – kolba destylacyjna, 2 – nasadka typu "Y", 3 – chłodnica, 4 – przedłużacz, 5 – odbieralnik, 6 – nasadka destylacyjna [123]



Rys. 2.2. Zestaw aparatury do destylacji z parą wodną dużych ilości substancji: 1 – wytwornica pary wodnej, 2 – chłodnica, 3 – kolba destylacyjna, 4 – przedłużacz, 5 – odbieralnik, 6 – rurka bezpieczeństwa [123]

Większe ilości substancji lotnej z parą wodną można destylować w przedstawionym powyżej zestawie (rysunek 2.2), gdzie parę wodną wytwarza się i doprowadza do układu z kociołka z podgrzewaną wodą.

Parę wodną przepuszcza się do czasu, gdy w destylacie przestaje pojawiać się substancja destylowana. Sposób wyodrębniania substancji organicznej z destylatu zależy od jej stanu skupienia. Substancje krystaliczne zazwyczaj odsąca się, a substancje ciekłe oddziela się za pomocą ekstrakcji rozpuszczalnikiem organicznym rozpuszczającym substancje organiczną i oczywiście nierozpuszczalnym w wodzie [123].



Rys. 2.3. Schemat aparatu Derynga: 1 – kolba okrągłodenna, 2 – chłodnica, 3 – rurka kondensacyjna, 4 – odbieralnik [123]

Inny wariant destylacji próbki surowca z wodą przeprowadza się w aparacie Derynga (rysunek 2.3) o zamkniętym obiegu wody. Wydzielony olejek zbiera się na powierzchni wody w odbieralniku. Aparat składa się z kolby szklanej i części zasadniczej. Część zasadnicza to kolumna destylacyjna, chłodnica i odbieralnik, który przez trójdrożny kurek i rurkę przepływową łączy się z kolumną destylacyjną tworząc zamknięty obieg wody. Kolumna zawęża rurkę i ta rurka kondensacyjna przechodzi poniżej chłodnicy w część kalibrowaną, stanowiącą odbieralnik. Górna, szersza część odbieralnika jest opatrzona podziałką co 0,1 ml, dolna, zwężona natomiast jest skalibrowana co 0,01 ml. Rurka odbieralnika zakończona jest trójdrożnym kurkiem, który z jednej strony łączy się z rurką przepływową, prowadzącą do kolumny destylacyjnej, a z drugiej strony ma krótką rurkę odpływową. Po zakończeniu oznaczenia resztki olejku usuwa się przepłukując aparat gorącą wodą, następnie etanolem lub acetonem [123].

2.1.3.2. Ekstrakcja

Ekstrakcją nazywamy rozdzielanie roztworów lub mieszanin ciekłych albo wydzielanie substancji z ciał stałych za pomocą ciekłego rozpuszczalnika (ekstrahenta), który selektywnie rozpuszcza tylko wydzielane składniki. Mieszanina ciekła, która ma być rozdzielona przez ekstrakcję, kontaktuje się z ekstrahentem, który jest nierozpuszczalny (lub mało rozpuszczalny) w tej mieszaninie. W efekcie tworzą się dwie odrębne warstwy ciekłe: ekstrakt i rafinat. Ekstrakt jest roztworem wydzielonych składników w ekstrahencie. Rafinat jest mieszaniną ciekłą uboższą w składniki wydzielane i zawierającą zazwyczaj małe ilości rozpuszczonego ekstrahenta [123, 165].

Ekstrakcja jest zatem, podobnie jak chromatografia, wymiana jonowa, czy jednorodne strącanie, metodą rozdziału opartą na podziale substancji między dwie nie mieszające się fazy. W każdej z tych metod występuje ruch materii poprzez granicę faz. Dla opisu tego zjawiska wielkie usługi oddaje klasyczna reguła faz Gibbsa [123]:

$$f + s = \alpha + 2 \quad (2.4)$$

gdzie:

f – liczba faz,

s – zmienność lub liczba stopni swobody,

α – ilość składników.

W przypadku ekstrakcji mamy w zasadzie do czynienia z dwoma nie mieszającymi się rozpuszczalnikami i jedną substancją rozpuszczoną rozdzielaną między nie, tak więc liczba faz wynosi 2, a ilość składników – 3. W stałej temperaturze i pod stałym ciśnieniem reguła przewiduje więc jeden stopień swobody. Oznacza to, że jeśli wybierzemy określone stężenie substancji w jednej fazie to jej stężenie w drugiej fazie będzie ustalone. Ilościowo związek między stężeniami substancji w obu fazach określa prawo podziału Nernsta, które mówi, że substancja rozpuszczona dzieli się pomiędzy dwa praktycznie nie mieszające się rozpuszczalniki w stałym stosunku, zależnym od użytych rozpuszczalników, lecz niezależnym od ilości substancji. W stanie równowagi stosunek stężeń substancji rozpuszczonej w dwóch nie mieszających się fazach jest w danej temperaturze stały, pod warunkiem, że stężenie substancji rozpuszczonej nie jest bardzo duże i ma ona w każdej z faz tę samą masę cząsteczkową. Dla substancji A rozdzielającej się między rozpuszczalniki 1 i 2 mamy [123]:

$$A_1 \rightleftharpoons A_2 \quad (2.5)$$

$$k = \frac{c_2}{c_1} \quad (2.6)$$

gdzie:

c_1, c_2 – stężenia substancji A w rozpuszczalniku 1 i 2,

k – współczynnik podziału; stała niezależna od całkowitego stężenia substancji rozpuszczonej.

Jeżeli substancja rozpuszczona ulega w którejkolwiek z faz reakcjom chemicznym, takim jak asocjacja, dysocjacja, hydroliza czy solwatacja (czyli zmienia się jej stężenie) wyznaczenie współczynnika podziału jest trudne. Z tych samych przyczyn, w większości układów prawo podziału nie jest spełniane. Dlatego w praktyce wyznaczamy globalny, stechiometryczny rozdział interesującego nas składnika pomiędzy fazy (na który ma wpływ współoddziaływanie rozdzielanej substancji z innymi składnikami), zwany współczynnikiem ekstrakcji D [123].

$$D = \frac{\sum c_2}{\sum c_1} \quad (2.7)$$

gdzie:

$\sum c_2, \sum c_1$ – całkowite stężenie substancji w fazie 2 i fazie 1.

Współczynnik ekstrakcji jest wielkością zależną od stężenia (nieliniowa izoterma podziału), ponieważ równowaga asocjacji i dysocjacji poważnie wpływa na podział. Można zapobiec nieliniowej izotermie podziału stosując odpowiednio dobraną parę rozpuszczalników, które utrzymywałyby stały stosunek zasocjowanych lub zdysocjowanych cząsteczek do cząsteczek pojedynczych lub niezdisocjowanych. Gdy ekstrahowana substancja nie podlega żadnym reakcjom w obydwu fazach, współczynnik ekstrakcji D jest równy współczynnikowi podziału k [123].

W praktyce dla charakterystyki efektywności ekstrakcji, używa się określenia procent ekstrakcji, %E. Wielkość ta związana jest ze współczynnikiem ekstrakcji następującą zależnością [123]:

$$\%E = \frac{100 \cdot D}{D + (V_2/V_1)} \quad (2.8)$$

gdzie:

V_2 i V_1 – objętość fazy 2 i fazy 1.

Bardzo często ekstrakcję stosuje się w celu oddzielenia analizowanej substancji znajdującej się w roztworze od substancji przeszkadzającej w jej oznaczeniu. Niezbędnym warunkiem uzyskania dobrego rozdziału jest duża różnica pomiędzy współczynnikami ekstrakcji substancji oznaczanej i przeszkadzającej. Skuteczność rozdzielania określa współczynnik rozdziału β [123].

$$\beta = \frac{(c_A)_2/(c_B)_2}{(c_A)_1/(c_B)_1} = \frac{(c_A)_2/(c_A)_1}{(c_B)_2/(c_B)_1} = \frac{D_A}{D_B} \quad (2.9)$$

gdzie:

$(c_A)_1, (c_A)_2$ – stężenie substancji A w fazie 1 i 2,

$(c_B)_1, (c_B)_2$ – stężenie substancji B w fazie 1 i 2.

Gdy $\beta = 1$ rozdział jest niemożliwy, natomiast gdy $\beta > 10$ potrzeba tylko paru podziałowych operacji ekstrakcyjnych, aby uzyskać dobry rozdział.

W układzie ciecz-ciecz stosuje się dwa podstawowe sposoby realizacji operacji ekstrakcji: ekstrakcję periodyczną i ekstrakcję ciągłą. Często stosowana jest także ekstrakcja w układzie ciało stałe-ciecz [123].

Mimo znacznej liczby rozpuszczalników jakimi się obecnie dysponuje, tylko kilka z nich odpowiada większości warunków, jakie stawia się rozpuszczalnikowi idealnemu.

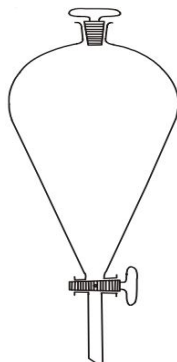
Rozpuszczalnik do ekstrakcji olejków powinien być tani, powinien wrzeć w możliwie niskiej temperaturze, a więc łatwo się dawać oddestylować po ukończonej ekstrakcji i regenerować, powinien łatwo rozpuszczać składniki wonne ekstrahowanego surowca, ale nie wchodzić z nimi w reakcje, nie powinien być trujący ani łatwopalny, ciepło parowania rozpuszczalnika musi być możliwie niewysokie, ponieważ jednym z zasadniczych warunków otrzymania dobrego produktu wonnego jest skrócenie czasu do minimum.

W praktyce do otrzymywania olejków stosuje się takie rozpuszczalniki jak: eter naftowy, aceton, metanol i etanol [162].

2.1.3.2.1. Ekstrakcja periodyczna (nieciągła)

Ekstrakcja periodyczna polega na rozdziale substancji pomiędzy dwa nie mieszające się rozpuszczalniki, przez wytrząsanie obu warstw ciekłych, aż do osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy stężeniami rozdzielanej substancji w obu rozpuszczalnikach [123].

Ekstrakcję periodyczną przeprowadza się w grubościennych rozdzielaczach cylindrycznych albo kulistych, o kształcie gruszki (rysunek 2.4) lub o kształcie podłużnym [123].



Rys. 2.4. Rozdzielacz w kształcie gruszki [123]

Dwa nie mieszające się rozpuszczalniki, z których jeden zawiera ekstrahowaną substancję, umieszcza się w rozdzielaczu, który zamyka się korkiem i wytrząsa ręcznie lub w wytrząsarce mechanicznej. W tym czasie substancja rozpuszczona w jednej z faz dyfunduje do fazy drugiej. Po ukończeniu wytrząsania i odczekaniu, aż nastąpi dokładne odseparowanie się obu warstw, dolną warstwę roztworu spuszcza się rurką odpływową. Opisaną operację powtarza się kilkakrotnie za pomocą nowych porcji rozpuszczalnika – ekstrahenta.

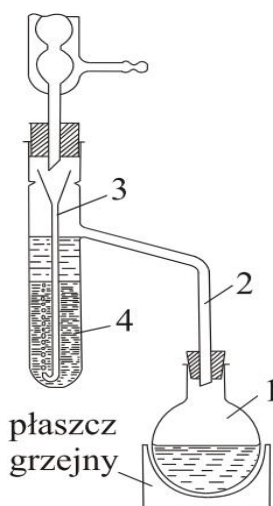
Na efektywność ekstrakcji bardzo duży, a czasami nawet dominujący wpływ, ma współczynnik ekstrakcji D , który zależy od właściwości użytego rozpuszczalnika. Stosowanie każdej metody ekstrakcji, także ekstrakcji periodycznej, jest korzystne, gdy współczynnik ekstrakcji jest duży, ponieważ w tym przypadku już kilkakrotne powtórzenie tej operacji daje ilościowy rozdział [123].

2.1.3.2.2. Ekstrakcja ciągła

Technikę ekstrakcji ciągłej stosuje się w przypadku układów o małych współczynnikach ekstrakcji. Zastosowanie w tym przypadku ekstrakcji nieciągłej wymagałoby użycia dużych ilości rozpuszczalnika. Na rysunku 2.5 przedstawiono najprostszy zestaw laboratoryjny do ekstrakcji ciągłej [123].

Rozpuszczalnik (ekstrahent) ogrzewa się do wrzenia w kolbie (1), jego pary przez rurkę (2) dostają się do chłodnicy, w której ulegają skropleniu. Rozpuszczalnik spływa z chłodnicy do leja i przez rurkę (3) przedostaje się do dolnej części naczynia (4), w którym znajduje się roztwór z wydzielaną substancją. Stamtąd rozpuszczalnik

wypływa na powierzchnię roztworu rozpuszczając przy tym zawartą w roztworze substancję. W celu uzyskania najlepszej wydajności należy zapewnić największą powierzchnię zetknięcia pomiędzy fazami. Uzyskuje się to przez zastosowanie porowatych płytek ze spiekanego szkła, które umieszcza się na końcu rurki (3). Rozpuszczalnik z wydzielaną substancją przelewa się z powrotem do kolby (1), skąd, ponownie odparowuje. Ciekły rozpuszczalnik w kolbie (1) w sposób ciągły wzbogaca się w ten sposób w wydzielaną substancję, której stężenie w pierwotnym roztworze stale się zmniejsza [123].



Rys. 2.5. Ekstraktor ciągły [123]

Rafinat otrzymywany w jednym stopniu miesza się w stopniu następnym ze świeżym ekstrahentem. Tak więc, do każdego stopnia dopływa świeży ekstrahent, a odpływa z niego ekstrakt. Przy dostatecznej liczbie stopni ekstrakcji osiąga się wysoki stopień oczyszczania rafinatu końcowego.

Istotną wadą tego sposobu ekstrakcji jest bardzo duże zużycie ekstrahenta i odpowiednio małe średnie stężenie ekstraktu, stanowiącego mieszaninę cieczy ze stopniowo zmniejszającym się stężeniem substancji ekstrahowanej. Utrudnia to regenerację ekstrahenta i wydzielanie usuwanej z surówki ekstrakcyjnej substancji [115].

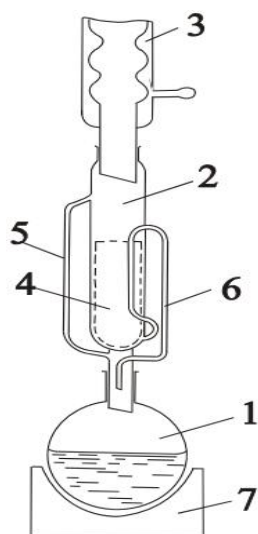
2.1.3.2.3. Ekstrakcja w układzie ciało stałe-ciecz

Ekstrakcję typu ciało stałe-ciecz przeprowadza się kiedy trzeba wyekstrahować z ciała stałego jego składnik rozpuszczalny w jakimś rozpuszczalniku. Ten typ ekstrakcji nazywa się ługowaniem [2, 165].

Ekstrakcja typu ciało stałe-ciecz jest podstawowym procesem do wyodrębnienia związków organicznych z surowców roślinnych. Polega ona na wybiórczym

rozpuszczaniu substancji znajdującej się w stałej próbce. W takiej sytuacji przenoszenie substancji do roztworu zależy głównie od rozpuszczalności substancji w danym rozpuszczalniku.

W większości przypadków ekstrakcja z ciał stałych jest operacją wymagającą znacznych ilości czasu, dlatego najbardziej korzystny jest ciągły sposób jej realizacji. Najczęściej stosowanym aparatem do ekstrakcji w układzie ciało stałe-ciecz jest aparat Soxhleta pokazany na rysunku 2.6. Za pomocą tego aparatu można w ciągu kilku do kilkunastu godzin i niewielką ilością rozpuszczalnika wydobyć ilościowo ekstrahowaną substancję, która często samoczynnie wydziela się w stanie czystym już po oziębieniu [123].



Rys. 2.6. Aparat Soxhleta [123]

Aparat Soxhleta składa się z trzech części, połączonych najczęściej za pomocą szlifów: kolby kulistej (1), ekstraktora (2) i chłodnicy zwrotnej (3). Ekstrahowane ciało stałe umieszcza się w gilzie (4) zrobionej z grubej bibuły. Gilza może być wykonana z tkaniny lub siatki z cienkiego drutu. Ważne jest dokładne sproszkowanie ciała stałego ze względu na to, że dyfuzja substancji rozpuszczonej przez ciało stałe jest procesem wolnym. W kolbie znajduje się łatwo lotny rozpuszczalnik, który wrze przy podgrzewaniu kolby za pomocą płaszcza grzejnego (7), a jego pary rurką (5) przechodzą do chłodnicy zwrotnej. Po skropleniu rozpuszczalnik gromadzi się w środkowej części aparatu (2), gdzie znajduje się gilza. Ciecz z wyekstrahowaną substancją samoczynnie, poprzez zamknięcie syfonowe (6), przelewa się do kolby, skąd rozpuszczalnik jest ponownie oddestylowany. Wydzielana substancja pozostaje w kolbie rozpuszczona w nadmiarze rozpuszczalnika [123].

Ekstrakcja w aparacie Soxhleta czy wykorzystanie ultradźwięków to metody, które wymagają dosyć znacznej objętości próbki rozpuszczalnika oraz są czasochłonne [123].

2.1.3.2.4. Przyspieszona ekstrakcja rozpuszczalnikiem (PLE)

W ostatnich latach opracowano szereg alternatywnych technik ekstrakcji. Jedną z nich jest przyspieszona ekstrakcja rozpuszczalnikiem (Pressurised Liquid Extraction – PLE).

Technika przyspieszonej ekstrakcji rozpuszczalnikiem dzięki zastosowaniu podwyższonego ciśnienia pozwala na przeprowadzenie procesu ekstrakcji nawet w temperaturze znacznie przewyższającej temperaturę wrzenia danego rozpuszczalnika pod ciśnieniem atmosferycznym. W literaturze naukowej jest ona znana głównie pod nazwą pochodzącą od nazwy pierwszego handlowo dostępnego aparatu ASE200 firmy Dionex, a mianowicie Accelerated Solvent Extraction (ASE), ale również pod alternatywnymi nazwami PLE oraz Pressurised Fluid Extraction (PFE) [123].

Czynniki wpływające na proces PLE [123]:

a) temperatura

Temperatura jest jednym z istotniejszych parametrów warunkujących wzrost wydajności ekstrakcji PLE. Podwyższenie temperatury ekstrakcji może prowadzić do:

- znacznego polepszenia zdolności cieczy do rozpuszczania analitów,
- zwiększenia szybkości dyfuzji (wraz ze wzrostem temperatury słabną oddziaływania adsorpcyjne analit/matryca) co z kolei prowadzi do:
 - usprawnienia transportu masy analitów,
 - poprawienia efektywności zwilżania matrycy próbki oraz ułatwienia penetracji rozpuszczalnika do wnętrza matrycy – dzięki obniżeniu lepkości rozpuszczalnika oraz zmniejszeniu napięcia powierzchniowego.

b) ciśnienie

W procesie PLE ciśnienie ma ogólnie mniej istotny wpływ na odzysk analitów. Stosowanie podwyższonego ciśnienia głównie ma za zadanie utrzymanie rozpuszczalnika w fazie ciekłej w temperaturze wyższej od temperatury wrzenia tego rozpuszczalnika pod ciśnieniem atmosferycznym. Wzrost ciśnienia skraca czas potrzebny na wypełnienie naczynia ekstrakcyjnego rozpuszczalnikiem.

c) rozpuszczalnik

Właściwy wybór rozpuszczalnika jest istotny dla zapewnienia optymalnych warunków ekstrakcji. W procesie PLE przeważnie stosuje się te same rozpuszczalniki organiczne jakie są wykorzystywane do ekstrakcji przebiegającej w aparacie Soxhleta.

d) czas ekstrakcji

Czas ekstrakcji PLE, w porównaniu z czasem ekstrakcji innych technik ekstrakcji przebiegających w układzie ciecz-ciało stałe, jest bardzo krótki. Zwykle wystarczy 10 minut (a nawet 5 minut, czy 2 minuty), aby uzyskać zadowalający (ponad 90%) odzysk analitu.

2.1.3.2.5. Ekstrakcja w warunkach nadkrytycznych za pomocą CO₂

Ekstrakcja w warunkach nadkrytycznych przy użyciu CO₂, to proces ekstrakcji w niskich temperaturach (ok. 30°C), gdzie głównym czynnikiem ekstrahującym jest skompresowany pod wysokim ciśnieniem (do 300 bar) dwutlenek węgla, co znacznie ułatwia penetrowanie ekstrahowanego materiału. Wyciągi roślinne otrzymane tą metodą charakteryzują się dużą naturalnością, są czyste mikrobiologicznie i nie zawierają śladu rozpuszczalników. Ten nowoczesny proces ekstrakcji, w którym można uzyskać wyciągi roślinne o najwyższym poziomie czystości i zachowaniu naturalnych składników aktywnych, jest znacznie zaawansowany technologicznie od tradycyjnych procesów ekstrakcji. Stosunkowo niska temperatura procesu nie degraduje składników aktywnych rośliny i tym samym nie powoduje obniżenia ich jakości zdrowotnej i organoleptycznej [152].

2.1.3.3. Wytłaczanie

Metoda wytłaczania jest stosowana wyłącznie do otrzymywania olejków cytrusowych, tj. cytrynowego, pomarańczowego, grejpfrutowego, limetowego i bergamotowego. Olejki cytrusowe destylowane parą wodną zawsze ustępują jakością olejom wytłaczanym [162].

2.1.4. Zastosowanie olejków eterycznych

Olejki eteryczne mają skomplikowany skład chemiczny i w wielu przypadkach zawierają ponad 300 różnych substancji. Dlatego też ubogie składnikowo olejki syntetyczne nie mogą z nimi konkurować [158, 159, 162, 216].

Olejki eteryczne mają szerokie zastosowanie w przemyśle perfumeryjno-kosmetycznym, pomimo ogromnego rozwoju przemysłu chemicznego w produkcji olejków syntetycznych, ze względu na jakość naturalnych produktów.

Mają zastosowanie również w przemyśle cukierniczym. Są składnikami wielu wyrobów cukierniczych [162].

Olejki eteryczne znalazły również zastosowanie w lecznictwie. Odpowiednio dobrane i zastosowane olejki eteryczne wywierają korzystny wpływ na zdrowie fizyczne i psychiczne. Mogą być podstawowym środkiem leczniczym w stanach długotrwałego przygnębienia, rozdrażnienia, stresu i przemęczenia. Mogą być również stosowane jako podstawowy lub wspomagający środek w leczeniu wielu schorzeń. Zaletą stosowania olejków w lecznictwie jest to, że można je stosować w połączeniu z innymi środkami farmakologicznymi.

Dlatego w związku z coraz większym zanieczyszczeniem środowiska przez rozwijający się przemysł, olejki eteryczne znalazły również zastosowanie do neutralizacji zapachów, a więc ich uciążliwości [162].

2.1.5. Charakterystyka odorów

Odorami nazywa się powszechnie lotne związki chemiczne wyczuwalne przy bardzo niskich stężeniach, wywołujące nieprzyjemne odczucia węchowe. Odór może być mieszaniną nawet kilkunastu różnych związków, ale tylko niewiele z nich jest odpowiedzialnych za charakterystyczną woń. Wśród grup związków o największej uciążliwości zapachowej wymienia się związki azotu (aminy, indol, skatol), związki siarki (siarkowodór, merkaptany, wielosiarczki), lotne kwasy organiczne oraz fenol i jego pochodne [200].

Nieprzyjemne zapachy stwarzają nie tylko poczucie dyskomfortu, lecz także mogą być przyczyną negatywnych objawów psychosomatycznych, tj. rozdrażnienie, bóle głowy, nudności, trudności z koncentracją, utratę łaknienia, trudności z zasypianiem i szereg innych niekorzystnych objawów [93, 197].

Do określenia stopnia uciążliwości, jaką wywołują negatywne bodźce, potrzebna jest odpowiednia miara. Przyjętymi podstawowymi miarami opisu zapachu są: stężenie zapachu i jego intensywność. Za cechą dodatkową, w największym stopniu subiektywną, można uznać jakość hedoniczną [194].

2.1.5.1. Stężenie zapachu

Wrażliwość na zapach zależy od rodzaju substancji wonnej oraz od ludzkich cech osobniczych (wrażliwości osobniczej). Jedne substancje są wyczuwane w bardzo małych stężeniach, wręcz śladowych, inne dopiero przy znacznej koncentracji. Te same substancje są wyczuwane przez poszczególne osoby przy różnych stężeniach [191].

Stężenie zapachowe jest definiowane jako stężenie, przy którym dana osoba wyczuwa pojedynczą wonną substancję, nazywane indywidualnym (dla danej osoby)

progiem wyczuwalności węchowej tej substancji. Próg wyczuwalności, którym można się powszechnie posługiwać, musi być zatem wartością uśrednioną, reprezentatywną dla populacji (próg wyczuwalności dla populacji – population detection threshold). Za próg wyczuwalności węchowej uważa się takie stężenie odorantu, które wywołuje wrażenie węchowe u połowy ogółu osób (bądź grupy reprezentatywnej) poddanych oddziaływaniu odorów. Dla pojedynczych substancji stężenie zapachowe będzie równe ilorazowi stężenia odorantu przez wartość stężenia progowego. W przypadku mieszanin substancji wonnych nie jest możliwe określenie stężenia zapachu w podobny sposób, gdyż nie jest możliwe określenie wartości progu wyczuwalności węchowej. Stężenie zapachowe c_{od} może być wtedy określone jako krotność rozcieńczenia badanej próbki (powietrzem czystym, bezwonny) potrzebną do osiągnięcia progu wyczuwalności węchowej [96, 191, 194, 196]:

$$c_{od} = \frac{V_p + V_{pr}}{V_{pr}} \quad (2.10)$$

gdzie:

V_{pr} – objętość próbki,

V_p – objętość powietrza rozcieńczającego.

Wymiarem tego stężenia jest jednostka zapachowa odniesiona do 1 m³. W normie [167] przyjęto jednostkę stężenia określoną symbolem ou_E/m³ (ou – odour unit). Indeks dolny _E oznacza, że wyrażanie stężenia odnosi się do wartości wyznaczonej metodyką zgodną z normą. Przyjęty wymiar nie ma czysto fizycznego znaczenia. Odniesienie stężenia do m³ jest zabiegiem formalnym, pozwalającym na obliczanie strumienia emisji zapachu. Po pomnożeniu stężenia (wyrażonego w ou_E/m³) przez wielkość strumienia objętościowego emitowanych gazów (wyrażonego w m³/s), otrzymujemy wielkość emisji wyrażoną w jednostkach ou_E/s [96, 191, 194].

2.1.5.1.1. Metoda pomiaru stężenia zapachu

Procedura wykonania oznaczeń stężenia zapachu metodą olfaktometrii dynamicznej została opisana w polskiej normie [167], która jest tłumaczeniem normy europejskiej [57]. Najpopularniejszymi w Europie urządzeniami stosowanymi do oznaczeń wg tej metody są olfaktometry systemu Mannebecka. W Polsce znajduje się kilka takich urządzeń (modele TO7 i TO8). Uzyskuje się w nich rozcieńczenie próbki w zakresie 2,5–64 000 poprzez mieszanie dwóch strumieni gazów: badanej próbki oraz czystego bezwonno powietrza [191, 194, 196].

Zasadę oznaczenia stężenia zapachu metodą rozcieńczeń dynamicznych ilustruje rysunek 2.7. Próbką zapachowa znajdująca się w worku (6) jest podłączona do olfaktometru. W trakcie ocen węchowych badana próbka jest rozcieńczana czystym powietrzem z butli (1). Przed odprowadzeniem do olfaktometru powietrze z butli przepływa przez warstwy filtracyjne (3) (wata, węgiel aktywny, żel silikonowy), które absorbują ewentualne substancje zapachowe. Natomiast drobne cząstki stałe usuwane są na mikrofiltrze pyłowym (4). Olfaktometr jest połączony z komputerem, z zainstalowanym programem sterowania pracą układu rozcieńczeń. Nad przebiegiem pomiaru czuwa operator, którego zadanie polega na właściwym doborze początkowego rozcieńczenia badanej próbki. Rozcieńczenie początkowe powinno być tak duże, żeby zapach próbki nie był wyczuwalny. Kolejne zmniejszające się rozcieńczenia (tym samym zwiększanie stężenia) uzyskuje się przez manualne (lub automatycznie, w modelach TO8) ustawienia przepływów gazów, zgodnie z wynikającymi z programu komputerowego wskazaniemi na monitorze. Ze względu na osobnicze różnice w postrzeganiu wrażeń węchowych, w badaniach biorą udział cztery osoby o sprawdzonej wrażliwości na zapach. Zadaniem tych osób jest sygnalizowanie, przy którym poziomie rozcieńczenia zaczynają wyczuwać zapach. Sygnalizowanie polega na naciśnięciu odpowiedniego klawisza na pulpicie olfaktometru. Wyniki są gromadzone w pamięci komputera. Po obróbce zebranych danych programem statystycznym uzyskuje się wynik średni (zwykle z trzech serii pomiarowych) [191, 194, 196].

Wrażliwość na zapach jest cechą osobniczą, stąd indywidualne progi wyczuwalności węchowej dla określonych substancji, sygnalizowane przez różne osoby, mogą zasadniczo różnić się od siebie. W odpowiednio dużej grupie osób rozkład sygnalizowanych w testach wartości progów wyczuwalności węchowej ma charakter rozkładu normalnego. W każdej populacji nieliczna grupa osób wykazuje znaczną wrażliwość na zapachy i również nieliczna ma wrażenie przytępioną wrażliwość.

Do przeprowadzenia pomiaru wystarczy (w zależności od przyjętej metody) kilka osób od których wymaga się określonej i mało zmiennej wrażliwości na zapach przyjętego wzorca, którym może być n-butanol. W przypadku n-butanolu wyniki indywidualnych progów wyczuwalności węchowej muszą się mieścić w zakresie: $62\text{--}246\text{ }\mu\text{g/m}^3$ [191, 194, 196].

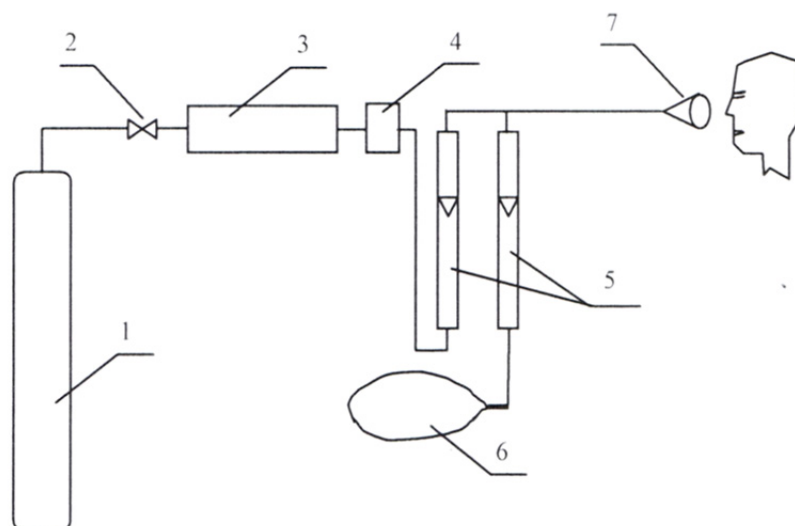
Za indywidualny próg wyczuwalności węchowej uznaje się średnią geometryczną z co najmniej 10 wyników zebranych w czasie co najmniej 3 serii pomiarowych, wykonanych przy zachowaniu co najmniej jednego dnia przerwy między

nimi. Probandci powinni być ludźmi dorosłymi i zdrowymi. Zalecany wiek to 18–50 lat [191, 194, 196].

Od zespołu wymaga się przestrzegania wielu zasad w czasie pomiaru, ale także bezpośrednio przed nim [190, 191, 194, 196]:

- przed pomiarem powinni określić sprawność swojego zmysłu węchu; jeśli z pewnych względów mogło nastąpić osłabienie wrażliwości, np. w wyniku przeziębienia, to taka osoba powinna być wykluczona danego dnia z pomiarów,
- na 30 minut przed pomiarem oraz w czasie jego trwania powinni wstrzymać się od jedzenia, picia (z wyjątkiem czystej wody) oraz żucia gumy, palenia papierosów, także od używania wonnych kosmetyków,
- w czasie pomiaru powinni wykazać odpowiednie skupienie, a w szczególności powstrzymać się od rozmów, żartów, czynności rozpraszających uwagę,
- podczas pomiarów nie powinni się ze sobą kontaktować, tak aby odpowiedzi były niezależne.

W pomieszczeniu, w którym są prowadzone oznaczenia, muszą być zagwarantowane odpowiednie warunki (wentylacja, zmiany temperatury powietrza w czasie procesu pomiarowego powinny być mniejsze niż $\pm 3^{\circ}\text{C}$, zaleca się aby temperatura nie przekraczała 25°C , brak hałasu i zapachu). Zespół testujący powinien być wprowadzony do tego pomieszczenia co najmniej 15 minut przed pomiarem [190, 191, 194, 196].



Rys. 2.7. Ideowy schemat stanowiska do oznaczenia stężenia zapachu metodą rozcieńczeń dynamicznych przy użyciu olfaktometru: 1 – butla z bezwonnym powietrzem, 2 – zawór, 3 – filtr, 4 – mikrofiltr, 5 – rotametry, 6 – oznaczana próbka gazów, 7 – maska do wąchania [191, 194, 196]

2.1.5.1.2. Metoda poboru prób do oznaczania stężenia zapachu

Pobór próbek ma bardzo istotny wpływ na występowanie oraz wielkość i zakres błędów pomiarowych. Błędy te wynikać mogą z charakteru źródła oraz stosowanego sprzętu, dlatego istotne jest, aby w odniesieniu do konkretnego typu źródła emisji określić odpowiedni sposób poboru próbki, w celu dokonania oznaczenia stężenia zapachu z zastosowaniem olfaktometrii dynamicznej.

Najważniejszą i kluczową kwestią podczas poboru jest dbałość o to, żeby pobrana próbka była reprezentatywna pod względem zapachu. Uciążliwość zapachowa jest w dużym stopniu związana ze zmiennością stężenia w czasie, toteż istotny jest taki pobór próbek powietrza, aby uchwycić stężenie maksymalne. Kolejnym problemem towarzyszącym poborowi jest zebranie wymaganej liczby próbek, niezbędnej do właściwego scharakteryzowania źródła. Bardzo często w przypadku gazów ciepłych, czynnikiem przeszkadzającym, jest obecność dużych ilości pary wodnej, która podczas pobierania próbki może ulec kondensacji. Z tego względu próbki gazowe o wysokiej zawartości pary wodnej powinny być wstępnie rozcieńczane (w odpowiednim stosunku) czystym, bezwonny i suchym powietrzem lub azotem już podczas ich pobrania [191].

Pobór próbek ze źródeł punktowych

Do pomiarów punktowych, zgodnie z normą PN-EN 13725 [167], wykorzystać można dwa podstawowe typy próbników: urządzenia standardowe do pomiarów chwilowych (w przypadku ciągłych procesów technologicznych – gdy emisja gazów ma stały charakter) oraz próbnik umożliwiający pobór próbki w ciągu 30 minut (dla procesów o zmiennym profilu emisji) pracując na zasadzie pracy płuc [191, 194].

Według normy PN-EN 13725 [167] sondy do pobierania próbek i przewody, które kontaktują się z próbką odorantu podczas sesji pobierania próbek, nie powinny być ponownie używane bez oczyszczenia. Nowe materiały na worki powinny być badane pod kątem stężenia zapachowego ich tła. Podczas poboru próbek „u źródła” pojemnik (worek) powinien być kondycjonowany (co najmniej jeden raz przepłukany próbką). Powierzchnia wewnętrzna ścianek pojemnika powinna być obojętna chemicznie i nie wskazywać właściwości katalitycznych. Zastosowane tworzywa nie mogą przepuszczać żadnych składników próbki oraz promieni UV, które powodują przemiany związków organicznych. Na worki do pobierania próbek metodą statyczną nadają się wszystkie folie z tworzyw obojętnych zapachowo i wytrzymałych wobec zanieczyszczeń gazu. Wykorzystuje się folie z materiałów poliamidowych (charakteryzują się wysoką wytrzymałością, niewielką permeacją, trudną obróbką,

worki mogą być wykonane z folii do pieczenia poprzez zgrzewanie lub wiązanie), z PTFE (teflon) i kopolimerów (wykazują małą porowatość, odporność chemiczną, trudną obróbkę) oraz polietylenowych (charakteryzują się wysoką wytrzymałością, prostą obróbką) [191].

Pojemniki na próbki wykonane są natomiast z folii z nalophlanu, tedlaru, twardego polietylenu (PET), poliwęglanu. Sondy i przewody mogą być wykonane ze szkła kwarcowego, teflonu, stali szlachetnej lub z wymienionych materiałów.

Zgodnie z wytycznymi VDI 3880 [205], zalecany czas poboru próbek to trzydzieści minut, a minimalna ich liczba z jednego źródła powinna wynosić trzy. Natomiast przechowywanie próbek od momentu poboru do analizy olfaktometrycznej nie powinno trwać dłużej niż sześć godzin [191].

Pobór próbek ze źródeł powierzchniowych

Źródła powierzchniowe dzielimy na aktywne oraz pasywne. Aktywne to takie, w których przepływ gazu jest wymuszony mechanicznie i jest przyczyną emisji. W wypadku pasywnych uwalnianie zanieczyszczeń jest w głównej mierze wywołane owiewaniem powierzchni źródła przez masy powietrza [191].

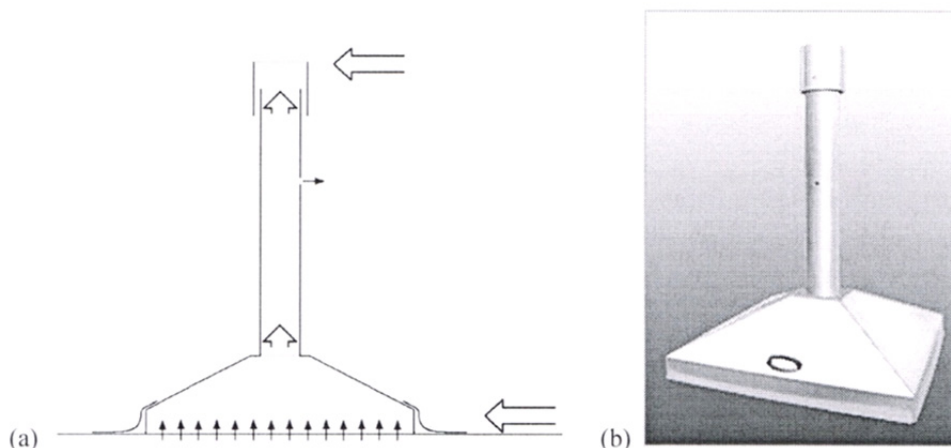
Źródła aktywne

W przypadku źródeł powierzchniowych aktywnych (komory napowietrzane w oczyszczalniach ścieków, biofiltry) trudności poboru próbek związane są głównie ze zmiennością emisji nad powierzchnią źródła. Wytyczne VDI 3880 [205] sugerują zastosowanie całkowitej hermetyzacji źródła oraz pobór punktowy. W przypadku, gdy istnieje możliwość hermetyzacji źródła emitowane gazy odprowadzane są w sposób zorganizowany i pobór prób dokonuje się w kanale wyjściowym na wysokości około 1 m poniżej powierzchni pokrywy.

Pobór punktowy znad wybranych powierzchni stosuje się wtedy, kiedy niemożliwa jest hermetyzacja źródła. Aby ująć reprezentatywną próbkę, stosuje się urządzenie przypominające okap (rysunek 2.8), w którym zamontowany jest króciec pomiarowy. Okap umieszcza się w strumieniu przepływającego gazu na 20–30 minut przed właściwym poborem, aby usunąć z niego powietrze. Urządzenie to chroni przed mieszaniem się uwalnianych ze źródła emisji gazów z nawiewanym przez wiatr powietrzem. Próbkę np. z biofiltrów należy pobrać w środku nad powierzchnią złoża oraz z jego obrzeży [191].

W praktyce próbki te używane są do poboru gazów z nadzoru powierzchni źródła równej 1 m^3 . Zgodnie z wytycznymi VDI 3880 [205], zalecana średnica rury powinna mieścić się w zakresie 0,14–0,2 m, a jej długość powinna być co najmniej 10-krotnością średnicy. Króciec wylotowy zamontowany jest na wysokości pięciokrotności średnicy.

W obydwu przypadkach podczas poboru próbek powinna być rejestrowana prędkość wiatru nad powierzchnią źródła [191].



Rys. 2.8. Schemat (a) i fotografia (b) pokryw do poboru prób ze źródeł powierzchniowych aktywnych [191]

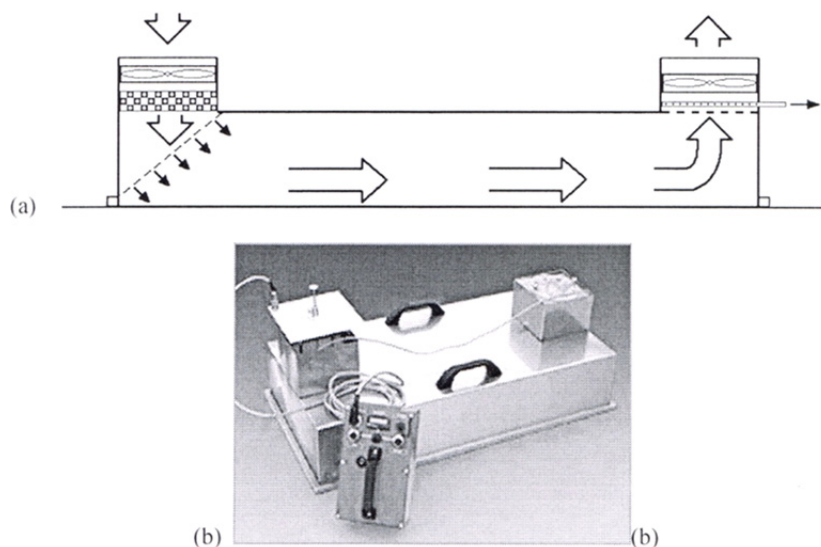
Źródła pasywne

Przykładem tego typu źródła jest składowisko odpadów stałych, laguna, zbiornik ścieków, pryzma niedojrzałego kompostu lub poletko osadowe. W tym przypadku pomiar polega na szczelnym przykryciu wybranej części powierzchni źródła emisji osłoną (o kształcie tunelu) z zamontowaną pompką do wymuszania przepływu powietrza o określonym przepływie objętościowym. Próbkę pobiera się u wylotu gazów z osłony. Schemat i fotografię urządzenia do poboru ze źródeł pasywnych przedstawiono na rysunku 2.9.

Bardzo ważny, podczas poboru próbek gazu z wentylowanego tunelu, jest dobór parametrów eksploatacyjnych. Zalecana prędkość przepływu gazu pod osłoną powinna mieścić się w granicach 0,2–0,3 m/s, a wysokość osłony nad powierzchnią nie może przekraczać 200 mm [191].

Według VDI 3880 [205] pobór próbek można rozpocząć dopiero po 5-krotnej wymianie powietrza pod pokrywą. Liczba punktów pomiarowych zależy jest od rozmiaru i jednorodności badanej powierzchni. I tak, w przypadku źródeł o jednorodnych powierzchniach, zgodnie z VDI 3880 [205], dla 100 m^2 są to

przynajmniej 3 punkty pomiarowe, a dla 1000 m², odpowiednio do 5. Dla powierzchni niejednorodnych liczba punktów poboru może wzrastać i wyznaczane są wówczas podstrefy homogeniczne, na których dokonywany jest pobór próbek [191].



Rys. 2.9. Schemat (a) i fotografia (b) pokrywy do poboru próbek ze źródeł powierzchniowych pasywnych [191]

W przypadku poboru próbek ze źródeł pasywnych wpływ wiatru powinien być eliminowany, co oznacza utrzymanie równego ciśnienia pod pokrywą i na zewnątrz [191].

Pobór próbek ze źródeł objętościowych

Przykładem tego typu źródeł są budynki, bądź zespoły budynków z niewymuszoną wentylacją, w których odory powstają i mogą przedostawać się do atmosfery przez nieszczelności, wywietrzniki, okna, drzwi oraz włązy dachowe, umiejscowione w różnych miejscach i na różnych wysokościach. Aby określić emisje z tego typu źródeł, najważniejszym zadaniem jest określenie przepływu powietrza, który można oszacować przez ilość powietrza wymienianego w jednostce czasu. Znając objętość wymienianego powietrza, można określić wówczas przepływ w m³/h. Szczegółowe informacje dotyczące metodyki obliczeń znaleźć można w wytycznych VDI 3880 [205] oraz w drugiej części VDI 428513 [205, 209]. W związku z tym, że ilość powietrza dostarczanego do pomieszczenia nie zawsze jest równomierna i nie zawsze występuje mieszanie powietrza, ilość wymienianego powietrza wyznacza się w warunkach odniesienia. W tym celu stosuje się gazy wskaźnikowe (SF₆, N₂O, CO₂) dodawane do powietrza. Za pomocą wentylacji wymuszonej wprowadza się do

pomieszczenia gaz wskaźnikowy i mierzy się czas, po którym on zaniknie. Stosowane w tym celu gazy nie mogą być toksyczne, aktywne chemicznie i nie mogą się sorbować w strukturze budynku [191].

2.1.5.2. Intensywność zapachu

Intensywność zapachu zależy od liczby cząsteczek substancji zapachowej, które kontaktują się z receptorami węchowymi, czyli od jej stężenia we wdychanym powietrzu [94]. Definiowana jest jako „siła odczuwania zapachu”, która wywołana zostanie przez określony bodziec zapachowy [191, 206].

Tabela 2.1. Skala intensywności zapachu wg VDI 3940 [191, 208]

Zapach	Stopień intensywności
Skrajnie mocny	6
Bardzo mocny	5
Mocny	4
Wyraźny	3
Słaby	2
Bardzo słaby	1
Brak zapachu	0

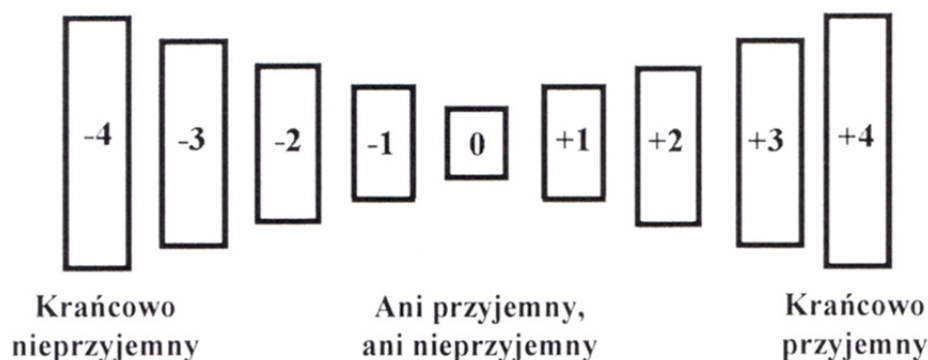
Intensywność jest cechą określającą moc wrażeń węchowych i jest wyczuwana intuicyjnie. W celu określenia intensywności zapachu stosowane są najczęściej skale punktowe werbalne lub skale wzorców. Przykładem skali werbalnej może być 6-stopniowa skala zalecana w niemieckich wytycznych VDI 3940 [208], w której intensywności w sposób słowny przypisuje się wartości liczbowe (tabela 2.1). Przykłady oraz sposoby przygotowania wzorców opisane zostały przez Kośmider J. i innych [94, 191].

2.1.5.3. Jakość hedoniczna

Rejestrowane w polu węchowym zapachy budzą emocje adekwatne do ich jakości hedonicznej, jak np. zachwyt czy niechęć. Zgodnie z [207], oddziaływanie hedoniczne zapachu to oddziaływanie substancji zapachowej, które w następstwie oceny danego wrażenia węchowego podlega przyporządkowaniu pewnemu określeniu między krańcowymi określeniami jako „krańcowo (skrajnie) przyjemny” oraz „krańcowo nieprzyjemny”. W praktyce hedoniczną jakość zapachu określa się z zastosowaniem skal jednowymiarowych (werbalnych, graficznych, punktowych) lub skal standardów. W tym przypadku rola członków zespołu oceniającego polega na porównaniu ocenianego zapachu z zapachem wzorca oraz na wskazaniu, który z prezentowanych zapachów jest bardziej przyjemny lub mniej nieprzyjemny. Opinie

uczestników oceniających hedoniczną jakość zapachu umożliwiając zdefiniowanie skali hedonicznej jakości zapachu – klasy jakości hedonicznej. Zgodnie z [94], poszczególne punkty można opisać wówczas słownie: I klasa – zapach przyjemny, II klasa – neutralny, III klasa – zapach nieprzyjemny, IV klasa – zapach bardzo nieprzyjemny, V klasa – skrajnie nieprzyjemny [191].

Do ocen hedonicznego oddziaływania emitowanego zapachu stosuje się skalę opracowaną przez Peryama D.R. i Pilgrima F.J. [150]. W celu uniknięcia różnych interpretacji wyników pomiarów terenowych ocen jakości hedonicznej zapachu w [208] proponuje się stosowanie skali przedstawionej na rysunku 2.10. Kategoriom zapachu przyporządkowane zostają wówczas kolejne liczby. W praktyce stosowane są różne odmiany tej skali. Przeprowadzone badania wskazały, że pominięcie neutralnej kategorii (0) może prowadzić do przesunięcia uzyskiwanej oceny jakości hedonicznej [68, 137, 191].



Rys. 2.10. Skala do określenia hedonicznego działania zapachu [191, 208]

2.1.6. Unormowania prawne dotyczące emisji związków odorotwórczych

Organy ustawodawcze w krajach wysokorozwiniętych, tj. Japonia, Holandia, Niemcy, Kanada, Francja w ramach programów ochrony zdrowia i ochrony środowiska podjęły działania w kierunku rozwiązania problemu regulacji dopuszczalnych wielkości emisji zanieczyszczeń zapachowych, tworząc stosowne unormowania obowiązujące w przemyśle i rolnictwie, a także innych gałęziach gospodarki narodowej powietrza [36, 125].

W Polsce problem ochrony zapachowej jakości powietrza został rozpoczęty przez Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w końcu lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Wykonano wówczas stosowne opracowania teoretyczne, badania oraz opracowano projekty norm zapachowej jakości powietrza [125].

W projekcie krajowej strategii zmniejszenia uciążliwości zapachowej [91, 92, 95], który opracowano w 1997 roku, zaproponowano dwie wersje norm zapachowych, które przedstawiono w tabeli 2.2. W wersji 2 (długofalowym programie działań) zaproponowano zróżnicowanie dopuszczalnych czasów przekroczeń stężenia granicznego, uwzględniające hedoniczną jakość pojawiającego się zapachu i sposób użytkowania terenu [94].

Tabela 2.2. Projekt krajowej normy zapachowej jakości powietrza [92, 94]

Wersja 1: $LJZ_{30}^{99,8} < 0,1 \text{ jz/m}^3$		
Wersja 2		
Rodzaj obszarów	Klasa hedonicznej jakości powietrza	Czas przekroczeń $LJZ_{30}^{99,8} = 0,1 \text{ jz/m}^3$ [% godzin roku]
Mieszkalne i rekreacyjne	H0	5
	H1	3
Przemysłowe i wiejskie	H0	10
	H1	8

$LJZ_{30}^{99,8}$ – liczba jednostek zapachu średnia trzydziestominutowa [jz/m^3], percentyl 98%, H0 – zapach neutralny lub przyjemny, H1 – zapach nieprzyjemny

Przewidywano, że procedury udzielania licencji na działalność związaną z emisją odorantów mogą być oparte na klasyfikacji polegającej na ocenach potencjalnej uciążliwości – umożliwiającej zróżnicowanie wymagań stawianym ocenom oddziaływania na środowisko. W tabeli 2.3 przedstawiono jedną z propozycji klasyfikacji [95, 97]. Za miarę potencjalnej uciążliwości uznano ilość emitowanych zanieczyszczeń ($LJZ_E [\text{jz/m}^3] \cdot V [\text{m}^3/\text{h}]$) i hedoniczną jakość ich zapachu (określaną odorymetrycznie przez porównanie z wybranym wzorcem minimum hedonicznego). Poszczególne graniczne wartości emisji zaproponowano na podstawie wyników badań kilkunastu obiektów emitujących gazy o zapachu nieprzyjemnym (klasa H1) [94].

Tabela 2.3. Projekt klasyfikacji źródeł zorganizowanej emisji zanieczyszczeń powietrza z punktu widzenia ich potencjalnej zapachowej uciążliwości [92, 94, 97]

Klasa hedonicznej jakości zapachu	Klasa potencjalnej uciążliwości źródła		
	I	II	III
	Emisja odorantów: $V [\text{m}^3/\text{h}] \cdot LJZ_E [\text{jz/m}^3]$		
H0	$<10^7$	$10^7 - 10^{10}$	$>10^{10}$
H1	$<10^4$	$10^4 - 10^7$	$>10^7$

H0 – zapach neutralny lub przyjemny, H1 – zapach nieprzyjemny

Pierwszymi aktami prawnymi, w których zapisano obowiązek ograniczenia uciążliwości odorów, były rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa wydane w roku 1998, określające wymagania, jakimi powinny odpowiadać oceny oddziaływania inwestycji na środowisko [178, 179]. Stwierdzono między innymi, że oceny sporządzone na etapie uzgadniania warunków zabudowy i zagospodarowania terenu powinny określać między innymi ilość i rodzaj emitowanych odorów oraz przewidywany zasięg ich uciążliwości [94, 182].

Kolejnym krokiem w kierunku jasnej sytuacji legislacyjnej z chwilą wejścia Polski do Unii Europejskiej było dostosowanie naszego prawa do wymogów tej organizacji, a w efekcie do uchwalenia ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – „Prawo ochrony środowiska” [175], obowiązującej od 1 października 2001 r., w której dokonano następujących zapisów (Dział II. Ochrona powietrza, Art. 86) [94, 182]:

- 3. Minister właściwy do spraw środowiska, w porozumieniu z ministrem właściwym do spraw zdrowia, może określić, w drodze rozporządzenia, standardy zapachowej jakości powietrza i metody oceny zapachowej jakości powietrza.*
- 4. W rozporządzeniu, o którym mowa w ust. 3, ustalone zostaną:*
 - 1) dopuszczalny poziom substancji zapachowych w powietrzu,*
 - 2) dopuszczalna częstość przekraczania poziomu substancji zapachowych w powietrzu,*
 - 3) zróżnicowane dopuszczalne częstości przekraczania poziomu substancji zapachowych w powietrzu w zależności od sposobu zagospodarowania terenu i jakości zapachu (neutralny, przyjemny, nieprzyjemny),*
 - 4) okresy, dla których uśrednia się wyniki pomiarów.*
- 5. W rozporządzeniu, o którym mowa w ust. 3, może zostać ustalony czas obowiązywania standardów zapachowej jakości powietrza.*

W 2002 roku weszło Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu, w oparciu którego interpretowane są wyniki monitoringu powietrza [181]. W przypadku, gdy w rozporządzeniu nie wyszczególniono substancji, dla której dokonuje się pomiaru, a więc brak dla niej dopuszczalnych poziomów w powietrzu, na podstawie art. 222 ustawy Prawo Ochrony Środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 [175] (wraz z późniejszymi zmianami [176]) stosuje się kryteria zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 5 grudnia 2002 w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu [180].

Rozporządzenie to normuje wartości odniesienia dla większości gazowych zanieczyszczeń powietrza, jednak nie uwzględnia substancji powodujących uciążliwość zapachową [36].

W 2003 roku weszła w życie norma europejska EN 13725 [57] opracowana przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN), która w roku 2005 została uznana za PN w wersji angielskojęzycznej. W 2004 roku Polski Komitet Normalizacyjny przekazał do Pracowni Zapachowej Jakości Powietrza zadanie przygotowania wersji polskiej (tłumaczenie – mgr inż. Beata Krajewska, weryfikacja – prof. Joanna Kośmider). Wersja polska PN-EN 13725 [167] została opublikowana w roku 2007. Norma ta szczegółowo określa zarówno zasady doboru osób (probandów) do zespołu uczestniczącego w odnośnych pomiarach olfaktometrycznych, jak i samą metodykę prowadzenia tych pomiarów i analizy uzyskanych wyników, natomiast nie odnosi się do ścisłych przepisów regulujących kryteria uciążliwości zapachowej. Następstwem tego jest brak możliwości podejmowania przez odpowiednie organy decyzji w zakresie ograniczania wielkości emisji substancji zapachowych, a także nieskuteczność organów ochrony środowiska przy egzekwowaniu prawa w zwalczaniu przekroczeń poziomów substancji zapachowych w powietrzu [125, 182, 200].

W lutym 2009 r. w Ministerstwie Środowiska przedstawiono kolejny projekt ustawy o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej. Jedną z przeszkód w skutecznym ustanowieniu przepisów „antyodorowych” w Polsce jest brak rozpoznania skali problemu oraz skutków gospodarczych (w przemyśle, rolnictwie i sektorze komunalnym), a także społecznych (w miastach i na wsi) wynikających z wprowadzenia planowanych przepisów [111].

2.1.7. Źródła odorów

Źródłem odorów mogą być procesy zachodzące w naturze, takie jak działalność wulkaniczna planety, mikroorganiczny rozkład materii organicznej, pożary lasów, lub emisja przez tereny bagienne, jednak są one przede wszystkim jednym z ubocznych skutków działalności człowieka. Do antropogenicznych źródeł emitujących największe ilości uciążliwych odorów zalicza się przemysł spożywczy, chemiczny, papierniczy, garbarski, paliwowy i metalurgiczny. Szczególne miejsce w tej grupie zajmują też obiekty gospodarki komunalnej (oczyszczalnie ścieków, stacje przeładunkowe, kompostownie, składowiska odpadów komunalnych). Obiekty te są źródłami biogazu, w skład którego obok podstawowych jego składników (metan i ditlenek węgla) wchodzi setki różnych związków, w tym odorowych. [94, 124, 148, 199, 200].

W ostatnim czasie problem emisji odorów związany jest z funkcjonowaniem ferm wielkoprzemysłowych, których liczba ze względu na powiększający się rynek zbytu ciągle rośnie. Podobnie jak w przypadku emisji ze źródeł komunalnych, obiekty te generują dużą ilość substancji zapachowych, typowych produktów biodegradacji biomasy [200].

2.1.7.1. Składowiska odpadów komunalnych

Zapach pojawiający się w otoczeniu składowisk i kompostowni wiąże się przede wszystkim z obecnością w powietrzu związków azotu i siarki: amin, amoniaku, tioli, sulfidów i disulfidów. W niektórych sytuacjach istotną rolę mogą odgrywać również organiczne związki tlenu, zwłaszcza kwasy karboksylowe, alkohole i aldehydy. Stężenia najbardziej uciążliwych odorantów zależą od składu ulegającego biodegradacji materiału organicznego oraz warunków biodegradacji. Procesy biodegradacji organicznej masy składowiska zachodzące pod wpływem mikroorganizmów przebiegają w kilku fazach. W pierwszej, tlenowej fazie gromadzenia odpadów na składowisku zapachowa uciążliwość uwalnianych gazów jest stosunkowo niewielka. W drugiej fazie składowania pojawia się niedobór tlenu, sprzyjający fermentacji kwasowej, prowadzącej do produktów o nieprzyjemnym zapachu. W kolejnych fazach rozkład ma charakter beztlenowy. Początkowo zachodzi z udziałem bakterii denitryfikujących i desulfuryzujących (faza III), a następnie – głównie pod wpływem bakterii fermentacji metanowej, alkoholowej i kwasowej (faza IV). Produkty o najbardziej odrażającym zapachu powstają w fazie III: tiole, sulfidy, disulfidy, aminy. Jest oczywiste, że zapach produktów tlenowej degradacji związków organicznych (I i II faza składowania odpadów) jest mniej uciążliwy od zapachu produktów beztlenowej denitryfikacji i desulfuryzacji (faza III) [94].

2.1.7.2. Oczyszczalnie ścieków komunalnych

Zapachowa uciążliwość oczyszczalni ścieków komunalnych jest spowodowana emisją gazów o jakościowym składzie zbliżonym do składu biogazu wysypiskowego. W obu przypadkach w dużych ilościach występuje ditlenek węgla i metan, a odorantami są takie produkty biodegradacji biomasy jak: siarkowodór, amoniak, tiole, sulfidy i disulfidy alkilowe, aminy alifatyczne, indol, aldehydy i ketony, kwasy tłuszczowe.

Skład i zapach mieszaniny zależy przede wszystkim od warunków biodegradacji, decydującym o rodzaju bakterii uczestniczących w procesie. Do najważniejszych parametrów należy stopień napowietrzania ścieków – konieczne jest zapobieganie wystąpieniu niedoboru tlenu i rozwojowi bakterii beztlenowych [94].

We wszystkich typach oczyszczalni można wyodrębnić trzy najważniejsze strefy emisji zanieczyszczeń powietrza: doprowadzania ścieków i oczyszczania mechanicznego, oczyszczania biologicznego i obróbki osadów. Bardzo uciążliwe procesy beztlenowe występują najczęściej w strefie doprowadzania ścieków i obróbki osadów.

W roku 1984 Eitner stwierdził, na podstawie badań 226 miejskich biologicznych oczyszczalni ścieków, że strefy dopływu i wstępnego oczyszczania w osadnikach są źródłem odorantów w ponad 40,7% przypadków, a obróbka osadów w 43,4% przypadków. W strefie oczyszczania biologicznego emisja tych zanieczyszczeń występuje stosunkowo rzadko (12,45% przypadków) [94].

2.1.7.3. Przemysł celulozowo-papierniczy

Głównym źródłem odorów w przemyśle celulozowo-papierniczym są procesy wytwarzania celulozy siarczanowej, którym towarzyszy wydzielanie się do powietrza związków chemicznych o nieprzyjemnej woni, powstających na skutek stosowania siarczków nieorganicznych i ługów. W wyniku reakcji tych połączeń, a także w kolejnych fazach procesu ich reakcji (odmetylowanie ligniny) z celulozy powstają: siarkowodór, metyloiol, sulfidy i disulfidy alkilowe i dialkilowe, aceton, metanol, etanol, związki terpenowe, olej talowy oraz inne substancje organiczne. Wyjątkowo duże stężenia złowonnych gazów wydzielają się w warzelniach w trakcie roztwarzania drewna oraz w wyparkach pulpy celulozowej. Odory z zakładów przemysłu celulozowo-papierniczego są uciążliwe dla olbrzymich obszarów [125].

2.1.7.4. Przemysł spożywczy

Głównymi „producentami” odorów w tej gałęzi gospodarki są zakłady przetwórcze ryb i mięsa. W tych pierwszych substancjami złowonnymi są opary zawierające związki azotowe, trimetyloaminę, putrescynę i kadawerynę, a także wonne połączenia siarkowe w postaci tioli. Odory te powstają w wyniku biochemicznych i chemicznych przemian surowca składającego się z białkowych i niebiałkowych składników zawierających azot oraz tłuszcz rybi. Procesy technologiczne realizowane w przemyśle rybnym, tj.: gotowanie, wędzenie i suszenie produktu, w znaczący sposób zwiększają emisję wymienionych odorantów. Złowonne gazy powstające podczas przetwórstwa ryb są znacznie potęgowane, gdy do produkcji trafia nieświeży materiał oraz mączka rybna, którą uzyskuje się z surowca gorszego gatunku. Zakłady przetwórcze mięsa są emitorami gazów, najczęściej pochodnych aminowych (putrescyna, kadaweryna) i siarkowych (siarkowodór, metyloiol) powstających

w trakcie sterylizacji promieniowaniem gamma i gotowania mięsa. W przypadku metylotiolu jego stężenie ulegało wyraźnemu zwiększeniu wraz ze wzrostem czasu i temperatury gotowania. Innym źródłem nieprzyjemnych zapachów jest wytwarzanie kleju z odpadów zwierzęcych. Występujące w odpadach związki białkowe pod wpływem procesów technologicznych rozpadają się na nisko-cząsteczkowe zapachotwórcze połączenia. Podobnie wygląda sprawa z otrzymywaniem kleju i mączki z odpadów rybnych. W obydwu przypadkach wydzielają się odory zawierające związki aminowe, siarkowe i tlenowe. Związki zapachowe są również nieodłącznie związane z usługami gastronomicznymi, handlem i usługami [125].

2.1.7.5. Hodowla

Wśród inwestycji szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi wymieniane są niektóre inwestycje w rolnictwie, przede wszystkim związane z hodowlą zwierząt. Klasy potencjalnej szkodliwości wyodrębnia się na podstawie liczby tak zwanych dużych jednostek przeliczeniowych (DJP) inwentarza.

W pomieszczeniach gospodarskich i w powietrzu w otoczeniu ferm występują liczne odoranty – typowe produkty biodegradacji biomasy: siarkowodór, amoniak, tiole, sulfidy i aminy alifatyczne, heterocykliczne związki organiczne zawierające siarkę i azot, alkohole alifatyczne i fenole, ketony, aldehydy, kwasy alifatyczne, estry. Stwierdza się również występowanie węglowodorów aromatycznych (toluenu, ksylenu) [94].

Dużym problemem działalności ferm wielkoprzemysłowych jest wysoki wskaźnik emisji amoniaku. Podobnie jak w innych krajach Europy rolnictwo, a przede wszystkim chów i hodowla zwierząt, są głównie odpowiedzialne za emisję amoniaku do atmosfery (Polska, Holandia ok. 90%). Wydziela się on wraz z wydalaniem przez zwierzęta moczem. Jego źródłem jest również składowany nawóz zwierzęcy. Amoniak nie jest traktowany jak typowy przedstawiciel odorów, ponieważ charakteryzuje się wysokim progiem węchowej wyczuwalności, jednakże jego emisja w odniesieniu do innych związków odorowych jest wysoka, co może powodować duży dyskomfort bytowania [200].

Biorąc pod uwagę strukturę gatunkową i ilościową zwierząt gospodarskich, za najmniej przyjazną środowisku uznaje się wielkoprzemysłową produkcję trzody chlewnej, przede wszystkim zaś jej chów bezściółkowy, prowadzący do powstawania dużej ilości gnojownicy, charakteryzującej się większym zanieczyszczeniem mikrobiologicznym niż obornik. Obecność ferm wielkoprzemysłowych rodzi zarówno

problemy środowiskowe, do których należy zanieczyszczenie wód (eutrofizacja), zanieczyszczenie mikrobiologiczne, jak również problemy społeczne. Emisja odorów przyczynia się do utraty miejsc rekreacji, zwiększenia kosztów oczyszczania wody pitnej oraz degradacji gruntów rolnych i obszarów cennych przyrodniczo [200].

2.1.8. Rodzaje związków odorowych

W tabeli 2.4 przedstawiono najbardziej charakterystyczne rodzaje związków, w tym odorowych, emitowanych z czterech typowych źródeł, jakimi są oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów biologicznych, chlewnie i smażalnie ryb. Opisano też zapach i próg węchowej wyczuwalności wybranych związków, charakteryzujących się nieprzyjemnym zapachem. Zarówno w przypadku obiektów komunalnych, jak i chlewni dominują złowne produkty rozkładu materii organicznej. Natomiast w gazach wylotowych smażalni ryb wykryto stosunkowo duże stężenie trimetyloaminy, odpowiedzialnej za nieprzyjemny zapach.

Skład mieszanin odorowych, jak widać z tabeli 2.4, jest niezwykle skomplikowany, co więcej, różni się on w zależności od źródeł pochodzenia związków odorowych. Metoda, która stosowana będzie do usuwania odorów z powietrza powinna więc być bardzo wydajna. Dezodoryzacja powietrza jest zatem procesem trudnym [200].

Tabela 2.4. Rodzaj emitowanych zanieczyszczeń z różnych źródeł. O – oczyszczalnia ścieków komunalnych, W – składowisko odpadów biologicznych, C – chlewnia, S – smażalnia ryb. Zapachy i progi węchowej wyczuwalności S_{PWW} [200].

Związek	O	W	C	S	Zapach	S_{PWW}
Siarkowodór H_2S	+	+	+		zgniłych jaj	0,018
Disiarczek węgla CS_2	+					
Metanotiol CH_3SH	+	+			gnijących warzyw	0,001
Etanotiol CH_3CH_2SH	+	+			gnijących warzyw	0,0011
Propanotiol $CH_3(CH_2)_2SH$	+				wydzielin skunksa	0,001
Pentanotiol $CH_3(CH_2)_4SH$		+			czosnku	0,000121
Siarczek dimetylu CH_3SCH_3		+		+	gnijących warzyw	0,0023
Disiarczek dimetylu CH_3SSCH_3	+	+		+	gnijących warzyw	
Siarczek Dietylu $C_2H_5SC_2H_5$	+	+			gnijących warzyw	0,004
Trisiarczek dimetylu CH_3SSSCH_3	+			+	mdły	
Amoniak NH_3	+		+		gryzący	5,75
Metyloamina CH_3NH_2	+				zepsutych ryb	0,02
Etyloamina $CH_3CH_2NH_2$	+				zepsutych ryb	0,002
Propyloamina $CH_3(CH_2)_2NH_2$	+				zepsutych ryb	
Dimetyloamina $(CH_3)_2NH$	+				zepsutych ryb	
Trimetyloamina $(CH_3)_3N$	+			+	zepsutych ryb	
Indol $C_6H_4(CH_2)_2NH$	+		+		fekalny	0,000032
Skatol C_9H_9N	+		+		fekalny, mdły	0,000565

Tabela 2.4. Cd.

Związek	O	W	C	S	Zapach	S _{PWW}
2-Amino-acetofenon $H_2NC_6H_4COCH_3$			+			
Kwas octowy CH_3COOH	+		+		gryzący	0,145
Kwas propionowy CH_3CH_2COOH			+		zjełczały, ostry	0,16
Kwas butanowy $CH_3(CH_2)_2COOH$	+	+	+		zjełczalego masła	0,004
Kwas pentanowy $CH_3(CH_2)_3COOH$	+		+		potu, waleriany	0,05
Kwas izo-pentanowy $(CH_3)_2CHCH_2COOH$			+		potu, waleriany	
Kwas heksanowy $CH_3(CH_2)_4COOH$			+		cierpki, potu	0,012
Kwas izo-heksanowy $(CH_3)_2CH(CH_2)_2COOH$			+		cierpki, potu	
Kwas heptanowy $CH_3(CH_2)_5COOH$			+		cierpki, zjełczały	0,027
Kwas oktanowy $CH_3(CH_2)_6COOH$			+		zjełczały	0,004
Kwas nonanowy $CH_3(CH_2)_7COOH$			+		zjełczały	0,002
Mentanol $HCHO$	+					
Butanol CH_3CHO	+					
2-Metylo-1-propanal $(CH_3)_2CHCHO$				+		
2-Metylo-1-butanal $CH_3CH_2CH(CH_3)CHO$				+		
Propanon CH_3COCH_3	+					
Butanon $CH_3CH_2COCH_3$	+					
Eter dietylowy $C_2H_5OC_2H_5$		+				
Maślan etylu $CH_3CH_2CH_2COOCH_2CH_3$		+				
Maślan butylu $CH_3CH_2CH_2COO(CH_2)_3CH_3$		+				
Propionat propylu $CH_3CH_2COOCH_2CH_2CH_3$		+				
Etanol CH_3CH_2OH				+		
1-Propanol $CH_3CH_2CH_2OH$			+			
2-Butanol $CH_3(CH_2)_3OH$		+				
Fenol C_6H_5OH			+			
4-Metylofenol $CH_3C_6H_4OH$			+		ostry, odrażający	0,0018
4-Etylofenol $C_2H_5C_6H_4OH$			+		ostry, odrażający	
Fenylometanol $C_6H_5CH_2OH$			+			
2-Metoksyfenol $CH_3OC_6H_4OH$				+		
n-Propylobenzen $C_6H_5CH_2CH_2CH_3$		+				

2.1.9. Metody dezodoryzacji

Ograniczenie emisji zapachowo uciążliwych zanieczyszczeń polega na [94, 162]:

- zapobieganiu emisji odorantów,
- dezodoryzacji gazów odlotowych.

W odniesieniu do nowych obiektów zapobieganie emisji powinno być uwzględnione już podczas wyboru technologii i projektowania urządzeń. W przypadku istniejących zakładów należy wykorzystać wszelkie możliwości modyfikacji technologii.

W wielu sytuacjach efektywne zmniejszenie emisji osiąga się przez przestrzeganie przepisów ogólnotechnicznych i sanitarnych (transport surowców, przechowywanie produktów, składowanie odpadów, gospodarka wodno-ściekowa, itp.) [94].

Dezodoryzacja gazów może polegać m.in. na [94, 159, 162]:

- usuwaniu zanieczyszczeń uciążliwych zapachowo (często występujących w ilościach śladowych obok dominujących zanieczyszczeń),
- przekształcaniu zanieczyszczeń zapachowo uciążliwych w substancje bezwonne lub substancje charakteryzujące się wysokimi progami węchowej wyczuwalności,
- wprowadzeniu domieszek, zmieniających charakter zapachu lub zmniejszających jego intensywność (środki maskujące i neutralizujące).

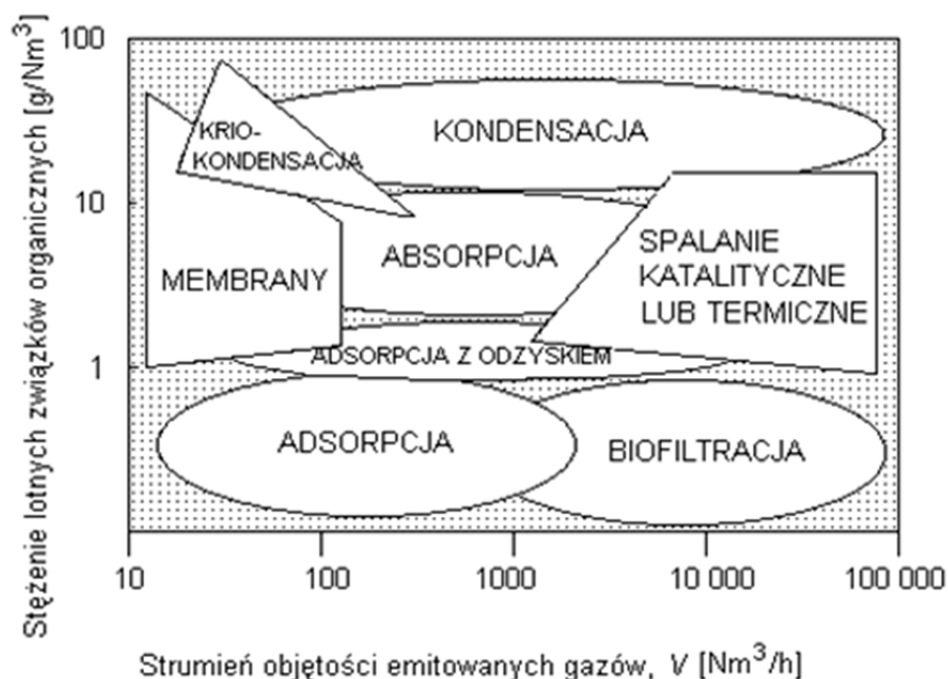
Metody dezodoryzacji gazów odlotowych różnią się od typowych metod oczyszczania gazów. Ich celem nie musi być usunięcie wszystkich zanieczyszczeń (nie wszystkie z nich są odorantami) [94, 162].

Wśród tych metod wyróżniamy takie jak [159, 162]:

- sorpcja,
- spalanie termiczne i katalityczne,
- biologiczne oczyszczanie gazów,
- neutralizacja zapachu, tzw. maskowanie.

Wybór najskuteczniejszej metody dezodoryzacji jest trudny. Opiera się zwykle na przeglądzie piśmiennictwa dotyczącego efektywności różnych technik stosowanych w zakładach o podobnym profilu. W przypadku braku takich danych odpowiednich wzorów można poszukiwać, kierując się informacjami o natężeniu emisji (V [m^3/h]), ogólnej zawartości zanieczyszczeń oraz – w miarę możliwości – o charakterze emitowanych gazów [94, 162].

Na rysunku 2.11 przedstawiono orientacyjne zakresy użyteczności znanych technik oczyszczania gazów uzależnione od wielkości ich strumieni i stężeń zanieczyszczeń [94].



Rys. 2.11. Obszary zastosowań różnych technik usuwania lotnych związków organicznych z gazów odlotowych (Nm^3 – metr sześcienny w warunkach normalnych: 0°C , 760 mmHg) [94]

Określając przypuszczalny skład gazów, zakłada się zwykle, że podobieństwo zapachu jest związane z obecnością podobnych związków dominujących zapachowo. Dzięki temu podobne techniki dezodoryzacji mogą być wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu, niezależnie od tego, jakie zanieczyszczenia dominują ilościowo [94, 162].

Ocenami przydatności poszczególnych technik oczyszczania gazów do dezodoryzacji zajmuje się od wielu lat Politechnika Wrocławska. Ogólną charakterystykę najbardziej popularnych metod dezodoryzacji gazów przedstawiono w tabeli 2.5 [94].

Tabela 2.5. Porównawcze zestawienie metod dezodoryzacji gazów odlotowych [94]

Metoda dezodoryzacji	Obszar zastosowań	Zalety	Wady
Absorpcja w wodzie	gazy zawierające duże ilości zanieczyszczeń rozpuszczalnych w wodzie; wymywanie takich zanieczyszczeń, jak: amoniak, ditlenek siarki, ditlenek węgla, fluorowodór, chlorowodór, chlor, tetrafluorek węgla; odsiarczanie spalin	• prosta i bezpieczna obsługa • prosta aparatura • niskie nakłady inwestycyjne • stosunkowo niskie koszty ruchowe	• kłopotliwe ścieki • wtórna emisja odorantów ze ścieków • duże koszty pompowania • korozja instalacji
Absorpcja z reakcją chemiczną	gazy odlotowe z obiektów gospodarki komunalnej, odlewni, przetwórstwa spożywczego itp.	• duża skuteczność dezodoryzacji • prosta konstrukcja instalacji	• uciążliwe ścieki • konieczność stosowania kosztownych chemoodpornych materiałów konstrukcyjnych • stosowanie czynników agresywnych stanowiących zagrożenie zdrowia • ryzyko skażenia środowiska wskutek incydentalnych wycieków reagentów
Metoda Kurmeiera Reaktywny gaz (np. chlor jako czynnik utleniający i chlorujący) jest dodawany do oczyszczanych gazów przed wejściem do wieży absorpcyjnej, wypełnionej kamieniem wapiennym i zraszanej wodą	gazy odlotowe z obiektów gospodarki komunalnej i zakładów przetwórstwa odpadów zwierzęcych	• duża skuteczność dezodoryzacji • niskie koszty ruchowe	• uciążliwe ścieki • praca z czynnikami reaktywnymi (zagrożenia zdrowia, korozja)
Ozonowanie	w systemach wentylacyjnych zakładów przetwórstwa rybnego, zakładach przeróbki gumy, zakładach przetwórstwa tłuszczów, zakładach przetwórstwa spożywczego, do dezodoryzacji gazów w przemyśle farmaceutycznym, chemicznym (w lakierniach)	• niskie koszty obsługi • niskie koszty ruchowe • łatwość czyszczenia instalacji • brak odpadów • likwidacja bakterii • możliwość podnoszenia efektywności przez połączenie z innymi metodami (np. mycie ozonowymi roztworami, zastosowanie katalizatorów)	• konieczność usuwania ozonu z gazów

Tabela 2.5. Cd.

Metoda dezodoryzacji	Obszar zastosowań	Zalety	Wady
Utlenianie termiczne	z przyczyn ekonomicznych dopalanie nadaje się do gazów o podwyższonej temperaturze, np. emisje z palarni kawy, oksydacji asfaltów, wysokotemperaturowego suszenia elementów malowanych itp.	• bezodpadowy charakter pracy • prosta budowa instalacji • łatwa obsługa	• kłopoty ruchowe w przypadku zmiennych temperatur gazów i nierytmicznej emisji • na ogół duże koszty (nakłady energii do podtrzymywania procesu)
Adsorpcja	lakiernie i produkcja lakierów, przemysł chemiczny, procesy z zastosowaniem rozpuszczalników	• możliwość odzyskiwania rozpuszczalników	• wrażliwość procesu na podwyższoną temperaturę i dużą wilgotność gazów • wąski zakres zastosowań • wysokie koszty • ryzyko nieodwracalnego zanieczyszczenia sorbentu
Metoda sorpcyjno-oksydacyjna (połączenie dwóch technik oczyszczania gazów odlotowych: adsorpcji i termicznego utleniania)	emisja gazów chłonnych o małym stężeniu zanieczyszczeń, zawierających przede wszystkim rozpuszczalniki, których utlenianie nie jest źródłem zanieczyszczeń wtórnych	• niskie koszty ruchowe (w porównaniu z bezpośrednim utlenianiem termicznym) • w przypadku urządzeń rotacyjnych bezobsługowa praca	• ograniczony zakres zastosowań • wysokie koszty inwestycyjne (zwłaszcza w przypadku urządzeń rotacyjnych)
Metoda kondensacyjna	produkcja mączki zwierzęcej i rybnej w destruktorach Hartmanna	• niskie koszty inwestycyjne i ruchowe	• powstawanie bardzo uciążliwych ścieków
Metody biologiczne	gazy odlotowe z obiektów gospodarki komunalnej, zakładów przetwórstwa odpadów zwierzęcych, obiektów rolniczych, odlewni, malarni itp.	• niskie koszty inwestycyjne i ruchowe • praktycznie bezobsługowa praca	• wrażliwość materiału na zniszczenie (trucizny, wysoka temperatura, mała wilgotność itp.) • w przypadku biofiltrów potrzebna jest duża powierzchnia pod budowę instalacji
Maskowanie	stosuje się w przypadku odorantów o działaniu nietoksycznym i stosunkowo małym stężeniu, w gospodarstwach rolnych (fermach, kurnikach), w instalacjach WC, w garderobach, w restauracjach, przy transporcie odpadów żywnościowych, na wysypiskach śmieci itp.	• niskie koszty inwestycyjne • łatwa obsługa (automatyczna lub manualna) • krótki czas reakcji (rzędu kilku sekund) • stosowanie środków maskujących bezpiecznych dla środowiska	• wymagana wysoka sprawność instalacji wentylacyjnej • silna zależność od warunków meteorologicznych (kierunku wiatru, temperatury itd) • możliwość osłabienia reakcji obronnych u ludzi przebywających w otoczeniu

2.1.9.1. Sorpcja

Sorpcji często towarzyszą inne procesy, takie jak np.: powierzchniowe wytrącanie trudno rozpuszczalnych soli. Dlatego, że właściwości roztworu przy powierzchni granicy faz są często inne niż w głębi roztworu np. może być zmieniona przenikalność dielektryczna [87].

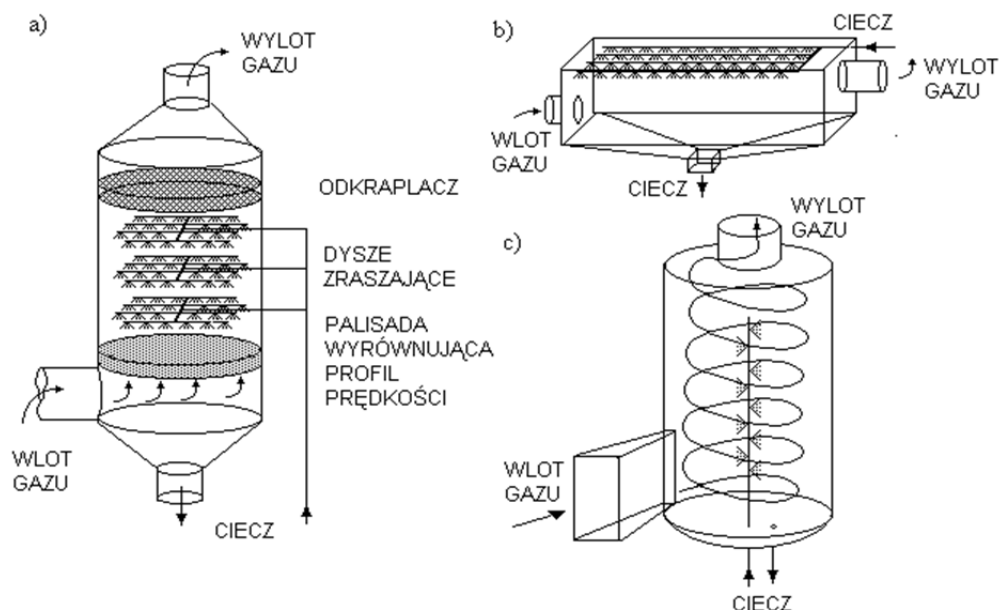
2.1.9.1.1. Absorpcja

Pochłanianie substancji gazowej w całą objętość substancji ciekłej lub stałej, lub też substancji ciekłej w całą objętość substancji stałej nazywa się absorpcją. Procesem odwrotnym do absorpcji jest desorpcja. W tym zastosowaniu absorpcje rozumiemy jako pochłanianie gazu przez ciecz. Aparaty, w których prowadzony jest proces absorpcji nazywa się absorberami [87].

Ze względu na sposób kontaktu w aparacie fazy ciekłej z gazową wyróżnia się [159, 162]:

- absorbery o wierzy pionowej (tzw. skrubery),
- absorbery o wierzy poziomej (tzw. skrubery),
- absorbery półkowe z wypełnieniem stacjonarnym lub fluidalnym,
- absorbery barbotażowe,
- iniekcyjne absorbery ze zwężką Venturiego,
- absorbery mechaniczne.

Skrubery, czyli aparaty rozpryskowe stosowane są, gdy absorbowane zanieczyszczenia są dobrze rozpuszczalne w cieczy. Dąży się wtedy do stworzenia burzliwego przepływu gazu wśród kropli cieczy. Zwiększenie powierzchni ciecz-gaz uzyskuje się dzięki rozdrobnieniu kropeł poprzez zastosowanie natrysków przez dysze, atomizerów lub wirujących elementów rozpryskujących. Typowe skrubery rozpryskowe zwane często także zraszaczami mogą się charakteryzować przeciwprądową kolumną rozpryskową (adsorber o wierzy pionowej), krzyżowym przepływem (absorber o wierzy poziomej) oraz o cyklonowym przepływie gazu (adsorber o wierzy pionowej) (rysunek 2.12) [94].



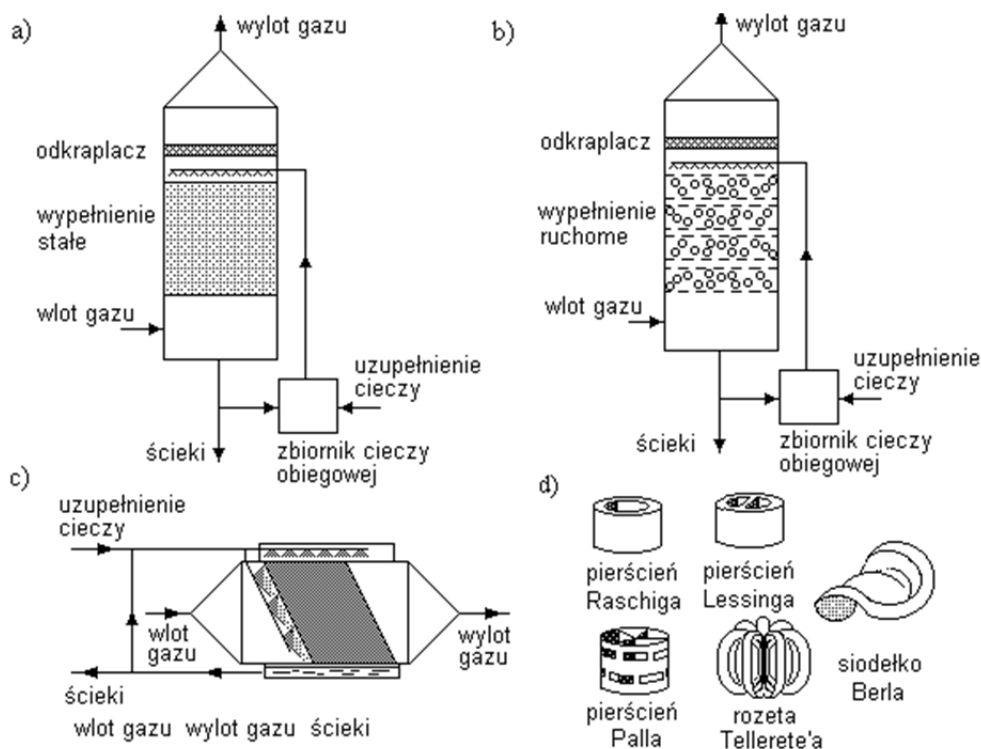
Rys. 2.12. Typowe skrubery rozpryskowe: a) przeciwprądowa kolumna rozpryskowa, b) poziomy absorber z krzyżowym przepływem faz, c) skrubler cyklonowy [94]

Odmianą skrubarów rozpryskowych są urządzenia typu dry-scrubbing (metoda półsucha), w którym rozpryskiwany roztwór sorpcyjny zawiera składniki reagujące z zanieczyszczeniami gorącego gazu odlotowego. Po absorpcji zanieczyszczeń i reakcji woda odparowuje. Ochłodzony gaz, zawierający produkty reakcji w postaci pyłu, jest kierowany do filtrów elektrostatycznych lub workowych.

W przypadku absorpcji zanieczyszczeń słabo rozpuszczalnych w wodzie zalecane jest zwiększenie turbulencji fazy ciekłej. Celowe jest wówczas wykorzystanie aparatów barbotażowych, w których ciecz jest intensywnie mieszana za pomocą drobnych pęcherzyków gazu. Korzystne jest też zastosowanie cieczy absorpcyjnych zawierających reagenty chemiczne, na przykład związki utleniające lub neutralizujące absorbaty (chemisorpcja). Sprawia to, że przenikaniu zanieczyszczenia gazu do fazy ciekłej nie towarzyszy zmniejszanie się siły napędowej dyfuzji – gradientu stężeń (pierwszy etap regeneracji sorbentu zachodzi równocześnie z absorpcją). W niektórych przypadkach stosowane są te procesy wielostopniowe, w których etap absorpcji jest poprzedzony etapem reakcji chemicznych w fazie gazowej, na przykład z takimi reagentami, jak ozon, chlor lub ditlenek chloru [94].

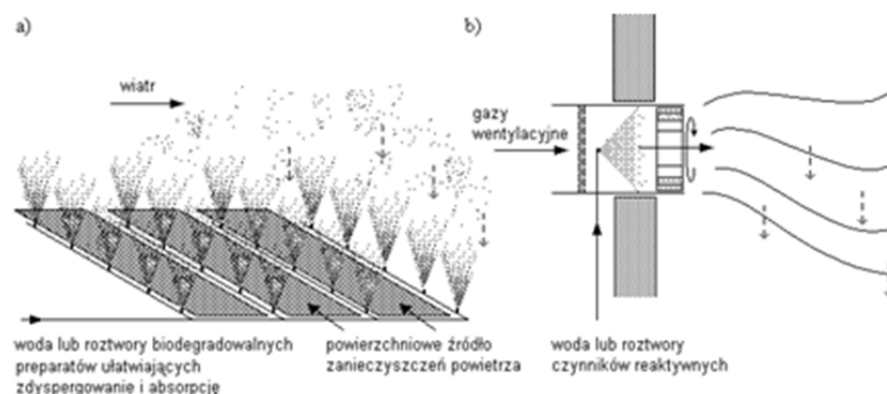
Popularne stały się także absorbery półkowe z wypełnieniem stacjonarnym lub fluidalnym, które stosuje się w przypadku występowania podobnych oporów wymiany masy po obu stronach granicy faz. Wypełnienie stacjonarne jak i ruchome kolumn stanowią kształtki o zróżnicowanej powierzchni kontaktu (pierścień Raschiga, pierścień

Lessinga, pierścień Palla, rozeta Tellerette'a itd.). Podobnie jak w przypadku absorberów rozpryskowych również w tym przypadku może być stosowane wstępne utlenianie zanieczyszczeń w fazie gazowej oraz stosowanie chemisorpcji. Jest także możliwość zastosowania chemicznie aktywnego wypełnienia w postaci złoża kamienia wapiennego – metoda Kurmeiera [94].



Rys. 2.13. Typowe skrubery z wypełnieniem: a) przeciwprądowe, wypełnienie stałe, b) przeciwprądowe, wypełnienie ruchome, c) przepływ krzyżowy, wypełnienie stałe, d) elementy typowych wypełnień [94]

Uciążliwość zapachu takich obiektów, jak oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów komunalnych, kompostownie, ферmy hodowlane i inne można ograniczyć poprzez stosowane barier antyosmicznych (rysunek 2.14). Bariery antyosmiczne to rodzaj rozpryskowego skrubera bez ścian, który wytwarza mgłę bezpośrednio nad powierzchnią wydzielającego odoranty materiału lub na jej obwodzie. Zaleca się, aby dysze rozpryskujące umożliwiały osiągnięcie rozdrobnienia koloidalnego – uzyskanie kropelek o średnicy $< 10 \mu\text{m}$ ($7\text{--}8 \mu\text{m}$). Preparaty dostępne w handlu zawierają środki powierzchniowo czynne, które ułatwiają rozwinięcie powierzchni wymiany masy w strefie mgły i utrwalają stan gazozolu. Częstki fazy rozproszonej są micelami, a podwójna warstwa elektryczna powstająca na powierzchni minikropelek, odgrywa podwójną rolę: sprzyja sorpcji zanieczyszczeń powietrza (związków polarnych) oraz zwiększa trwałość dyspersji [94].



Rys. 2.14. Zasada zastosowania absorpcji zanieczyszczeń powietrza w układach otwartych: a) bariery mgielne wokół powierzchniowych źródeł odorantów, b) dysze rozpylające absorbent w przewodach wentylacyjnych [94]

Obecnie rzadko stosuje się proces absorpcji, gdzie reagentem jest tylko sama woda (absorpcja w wodzie). Dla zwiększenia wydajności procesu absorpcji powszechnie stosuje się rozmaite reagenty. Mówi się wtedy o procesie chemisorpcji [94].

2.1.9.1.2. Chemisorpcja

Poprawę efektów dezodoryzacji można osiągnąć poprzez stosowanie jako cieczy absorpcyjne roztwory utleniaczy, a także dzięki zmianie pH roztworu. Powszechnie stosowane związki utleniające to woda utleniona, podchloryn sodu lub ozon (zazwyczaj wytwarzany w kanale wentylacyjnym pod wpływem lamp UV lub w odrębnym generatorze). Jako ciecz absorpcyjną odpowiedzialną za zmianę pH stosuje się często 5–10 procentowe roztwory wodorotlenku sodu, roztwory wodorotlenku wapnia czy też roztwory kwasu siarkowego VI. Stosowanie procesu chemisorpcji pozwala na usunięciu szeregu zanieczyszczeń takich jak: siarkowodór, tiole, kwasy karboksylowe, aminy, węglowodory, aldehydy itd. [94].

2.1.9.1.3. Adsorpcja

Cząsteczki gazu lub cieczy, które znajdują się w pobliżu powierzchni ciała stałego, ulegają działaniu sił powierzchniowych. Siła tego oddziaływania zależy od właściwości obu ośrodków i tworzących je cząsteczek. Sprawia to, że na granicy między fazami tworzą się warstewki o różnych właściwościach fizycznych i chemicznych. Ich powstawanie wywołuje zróżnicowane efekty energetyczne, zależne od rodzaju powstających wiązań adsorbentu (cząsteczek adsorbowanych) z powierzchnią adsorbentu (ciała stałego). Z tego punktu widzenia wyodrębnia się adsorpcję fizyczną i chemiczną. Adsorpcja fizyczna jest wywołana siłami przyciągania

międzycząsteczkowego. Jej energetyczne efekty są podobne do efektów sublimacji lub kondensacji par, a powstające na powierzchni sorbentu warstewki przypominają ciecz: dwuwymiarową (warstewki jednocząsteczkowe) lub trójwymiarową (układy wielowarstwowe). Adsorpcja chemiczna (chemisorpcja) zachodzi wskutek tworzenia się wiązań chemicznych między cząsteczkami adsorbentu i powierzchni ciała stałego, z czym wiąże się wydzielanie większych ilości ciepła (ciepło reakcji chemicznych) [94].

Ze względu na rodzaj graniczących faz adsorpcję rozpatrujemy w czterech różnych układach [87]:

- ciało stałe-gaz,
- ciało stałe-ciecz,
- ciecz-gaz,
- ciecz-ciecz.

Jednak z praktycznego punktu widzenia to tylko dwa pierwsze układy znalazły szersze zastosowanie. Są one podstawą metod adsorpcyjnych, które polegają na pochłanianiu substancji z otoczenia na powierzchni ciał stałych o często szeroko rozwiniętej powierzchni.

Metoda adsorpcyjna odgrywa bardzo ważną rolę w neutralizacji nieprzyjemnych zapachów wydzielających się ze ścieków. Jest to metoda uniwersalna, ponieważ umożliwia w znacznym stopniu usunięcie przykrych zapachów ze środowiska gazowego. Zdolność adsorpcyjna podczas pochłaniania gazu lub pary zależy od następujących czynników: typu adsorbentu, jego struktury porowatej, powierzchni właściwej, właściwości substancji pochłanianej oraz jej ciśnienia pracy i temperatury [87].

Do neutralizacji odorów i oczyszczania przemysłowych gazów odlotowych stosuje się następujące adsorbenty:

- Węgiel aktywny

Wyróżnia się kilka rodzajów węgla aktywnego, ze względu na zróżnicowaną wielkość powierzchni właściwej oraz na porowatość. Struktury porowate otrzymuje się przez ogrzewanie sproszkowanych materiałów organicznych zawierających węgiel (np.: łupin orzechów, pestek, węgla drzewnego, kości itp.). Jest to proces karbonizacji, po którym należy przeprowadzić jeszcze proces aktywacji. Proces aktywacji może polegać np.: na dodaniu różnych chemikaliów, najczęściej chlorków metali, które dodaje się do materiału organicznego przed ogrzewaniem (aktywacja chemiczna). Inny sposób aktywacji polega na łagodnym utlenianiu produktów karbonizacji. Najczęściej

stosowanymi reagentami gazowymi są para wodna i ditlenek węgla (czasami tlen lub powietrze, rzadko – Cl_2 , SO_2 , pary siarki i inne) [94, 149].

➤ Żele kwasu krzemowego

Uwodniony dwutlenek krzemu SiO_2 jest to bezpostaciowe ciało stałe o ogólnym wzorze: $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Szkielet żelu krzemionkowego tworzą cząstki (korpuskuły), które zlepiają się lub zrastają w miejscach zetknięcia. Wielkość porów (kapilar) w żelu krzemionkowym jest uwarunkowana rozmiarami korpuskuł i ich upakowaniem [87].

➤ Zeolity naturalne i syntetyczne

Zeolity są to glinokrzemiany metali I i II grupy układu okresowego (w szczególności Na, K, Ca, Mg, Sr i Ba) o rozbudowanej budowie, tunelowej, silnie porowatej, składające się z przestrzennie ułożonych tetraedrów tlenków glinu i krzemu tworzących uporządkowaną sieć krystalograficzną, w której tlen tworzy naroża tetraedru. Taka budowa zapewnia unikatowe własności molekularno-sitowe, sorpcyjne i jonowymienne, które znalazły zastosowanie w wielu dziedzinach życia [87].

➤ Aktywny tlenek glinu

To liczna grupa związków zawierających oprócz Al_2O_3 różne ilości wody oraz domieszki tlenków metali. Al_2O_3 tworzy różne odmiany krystalograficzne – obecnie w literaturze wymienia się około 27 jego postaci. Wyróżnia się trzy grupy aktywnych tlenków glinu ze względu na temperaturę ich otrzymywania [87]:

- grupa γ – tlenków glinowych – niskotemperaturowe tlenki glinowe uzyskiwane w temperaturach nie przewyższających 600°C ,
- grupa δ – tlenków glinowych – wysokotemperaturowe tlenki glinowe otrzymywane w temperaturach $900\text{--}1000^\circ\text{C}$. Są to praktycznie bezwodne związki,
- grupa α – tlenków glinowych – otrzymywany w temperaturze 1200°C i wyższych.

Najczęściej stosowaną jako adsorbent odmianą tlenku glinu jest $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ o powierzchni właściwej $100\text{--}200 \text{ m}^2/\text{g}$ [87].

W Polsce produkowane są sorbenty przemysłowe takie jak [94]:

- sorbent SDN-3, który zawiera węglan sodu i potasu; przeznaczony do pochłaniania gazów kwaśnych,
- sorbent SPA-1, zawierający siarczan cynku, przeznaczony do pochłaniania par amoniaku,
- sorbenty jodowane GIG i carbojodum, przeznaczone do pochłaniania par rtęci,

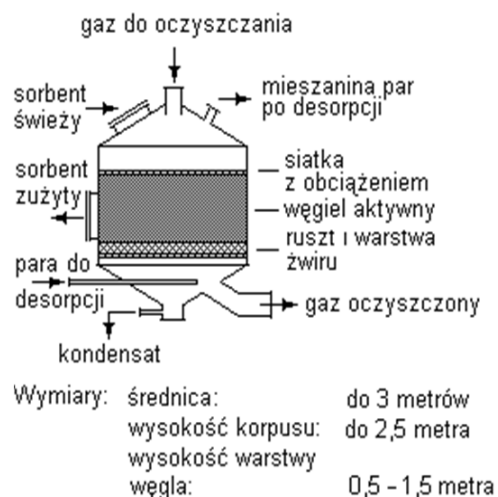
- d. sorbenty uniwersalne typu actipol, impregnowane tlenkami miedzi, chromu i srebra, przeznaczone do adsorpcji par związków organicznych oraz do usuwania gazów ulegających katalitycznemu utlenianiu i reakcjom przyłączania.

Adsorpcja wykorzystywana jest najczęściej do osuszania gazów lub powietrza, a także do oczyszczania gazów odlotowych zawierających organiczne zanieczyszczenia powietrza charakteryzujące się stosunkowo wysoką uciążliwością zapachu (np. tiole, siarczyny, aminy, propan, butan, itd.) oraz inne uciążliwe gazy takie jak: HCN, H₂S, SO₂ lub NO_x. Filtry węglowe np. są powszechnie stosowanym elementem urządzeń klimatyzacyjnych. Konstrukcja pochłaniaczy musi być dostosowana do zadań urządzenia, a mianowicie powinna zapewniać oczyszczanie bardzo dużych ilości mało zanieczyszczonego powietrza pod ciśnieniem atmosferycznym, przy małych oporach przepływu (wynika stąd konieczność stosowania cienkich warstw sorbentów o dużej powierzchni), równocześnie ich forma powinna sprzyjać minimalizacji urządzeń i umożliwiać łatwą wymianę zużytych elementów. W urządzeniach klimatyzacyjnych stosuje się wymienne pochłaniacze o różnej formie.

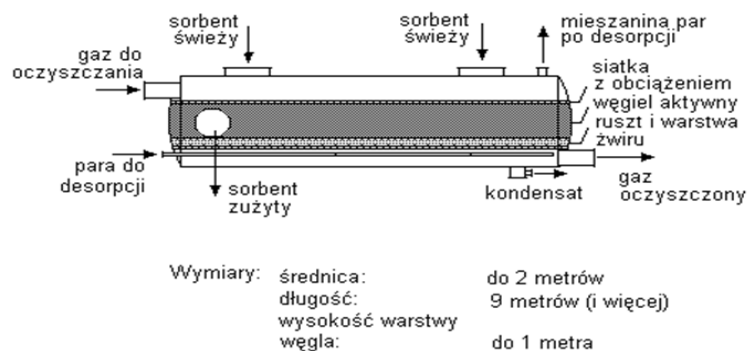
Proces adsorpcji prowadzi się w aparatach z nieruchomym złożem sorbentu, złożem ruchomym lub fluidalnym. Schematy przykładowych typów adsorberów przedstawiono na rysunkach 2.15, 2.16 i 2.17 [94].

Projektowanie urządzeń nie ogranicza się do określenia typu adsorbera, rodzaju i ilości sorbentu i czasu kontaktu faz. Konieczne jest ustalenie sposobu postępowania z sorbentem po jego nasyceniu zanieczyszczeniami – ekonomicznie i ekologicznie uzasadniony wybór jednej z różnorodnych możliwości, takich jak: regeneracja (termiczna, podciśnieniowa, chemiczna), likwidowanie przez spalanie lub składowanie. Adsorpcję periodyczną z regeneracją sorbentów prowadzi się w układach dwóch lub więcej adsorberów, pracujących zamiennie w cyklach adsorpcji i desorpcji. Pracę ciągłą umożliwiają adsorbery ze złożem ruchomym lub fluidalnym, w których część adsorbentu jest stale w zamkniętym obiegu przez desorber (rysunek 2.18).

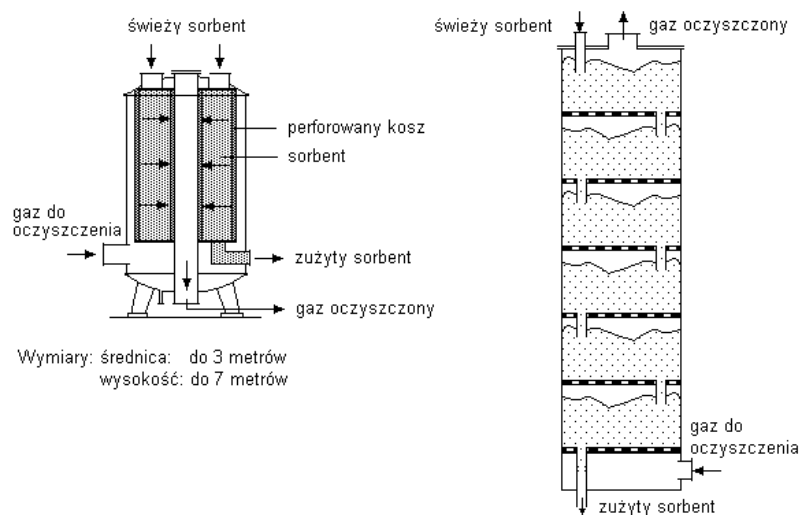
W przypadku dezodoryzacji zwykle nie projektuje się regeneracji sorbentu ze względu na niewielkie korzyści oraz zagrożenie wtórną emisją odorantów [94].



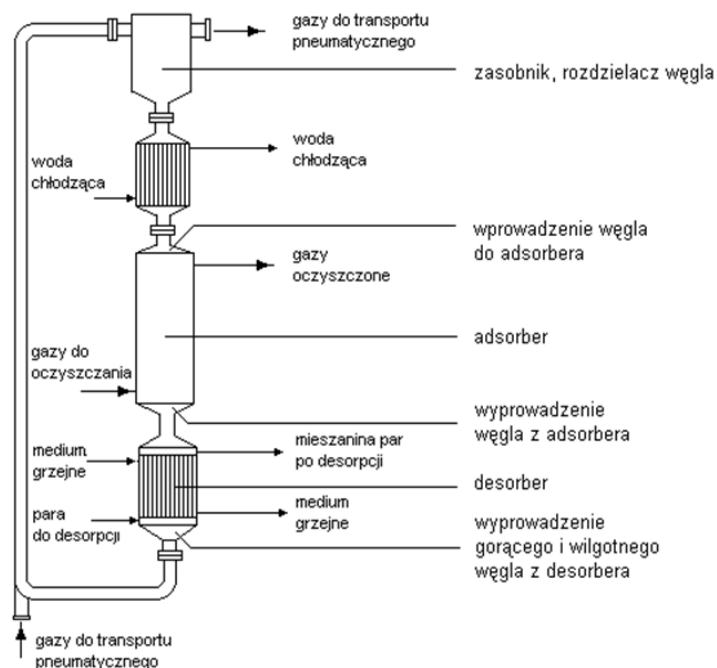
Rys. 2.15. Schemat typowego adsorbera pionowego [94]



Rys. 2.16. Schemat typowego adsorbera poziomego [94]



Rys. 2.17. Schematy konstrukcji: a) adsorbera pierścieniowego i b) adsorbera wielopółkowego ze złożem ruchomym [94]



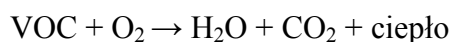
Rys. 2.18. Schemat instalacji do adsorpcji ciągłej [94]

2.1.9.2. Spalanie termiczne i katalityczne

Oczyszczanie gazów odlotowych zarówno metodą adsorpcji jak i absorpcji ma tę wadę, że zdolność do oczyszczania gazu maleje ze wzrostem temperatury, przy dużym zapyleniu i przy dużej ilości substancji o złożonym składzie. Jeżeli stężenie zanieczyszczeń jest małe ($< 0,3\%$ obj.) i odzysk ich jest ekonomicznie nie opłacalny, a toksyczność ich jest na tyle duża, że oczyszczanie jest konieczne, stosuje się spalanie.

Większość produktów spalania zanieczyszczeń gazów odlotowych to zanieczyszczenia nieszkodliwe lub mało szkodliwe dla zdrowia i środowiska. W niektórych sytuacjach powstają produkty łatwe do usunięcia w kolejnych etapach oczyszczania. Należy jednak pamiętać, że proces musi być prowadzony w ściśle kontrolowanych warunkach [94].

Reakcję pełnego spalania węglowodorów opisuje się ogólnym równaniem [94]:



gdzie:

VOC – lotne związki organiczne (ang. Volatile Organic Compounds) C_nH_m .

W warunkach nadmiaru tlenu gazy po spalaniu zawierają również tlenek węgla. Produktami spalania bardziej uciążliwych zapachowo związków heterogenicznych są dodatkowo takie produkty, jak: tlenki azotu i siarki, azot, siarka, chlorowodór lub

fluorowodór. Mogą też powstawać związki bardziej toksyczne, takie jak: fosgen (COCl_2), chlor (gazy trudne do usunięcia metodą absorpcji w wodzie) lub nitronadtlenki. Nitronadtlenki acetylu i benzoilu wywierają niekorzystny wpływ na wyroby gumowe i inne tworzywa, np. powłoki izolacyjne, są szkodliwe dla roślin już przy stężeniach 0,005 ppm, wywołują podrażnienie oczu przy stężeniu około 0,1 ppm. Z tych względów spalanie wymaga stałej kontroli warunków procesu.

Spalanie zanieczyszczeń gazowych może być prowadzone bezpośrednio w płomieniu (temp. ok. 1500 K), lecz przy małych stężeniach jest to sposób nie ekonomiczny, związany z możliwością eksplozji w kominie oraz przedostania się zanieczyszczeń do atmosfery. Aby zneutralizować zanieczyszczenia o małym stężeniu stosuje się spalanie termiczne, które prowadzi się zazwyczaj w temperaturze 900–1400 K. Czas przebywania gazów w strefie reakcji wynosi zwykle 0,2–3 sekund. Należy pamiętać jednak, że aby uzyskać usunięcie 99% wszystkich zanieczyszczeń to temperatura procesu musi być zbliżona do górnej wartości tego zakresu (tj. 1400 K) [94].

Oczyszczanie gazów odlotowych metodą spalania może być skuteczne, jeżeli [94]:

- zawierają one wystarczającą ilość związków palnych (mają wystarczającą kaloryczność),
- została zapewniona wystarczająca ilość tlenu,
- gaz jest podgrzany do temperatury zapłonu lub ma kontakt z odpowiednim katalizatorem,
- reagenty przebywają w strefie reakcji wystarczająco długo.

Bardziej ekonomiczną metodą, ze względu na mniejsze zapotrzebowanie energii jest spalanie katalityczne zanieczyszczeń. Katalizą nazywa się zjawisko zmiany szybkości reakcji chemicznych w wyniku oddziaływania na reagenty substancji zwanych katalizatorami. Katalizator definiuje się, więc jako substancję, która zwiększa szybkość, z jaką reakcja chemiczna osiąga stan równowagi, sama się jednak nie zużywa i której symbol nie występuje w równaniu stechiometrycznym. Wpływ katalizatora na reakcję chemiczną polega głównie na obniżeniu jej energii aktywacji. Tłumaczy się to tworzeniem przejściowych aktywnych kompleksów katalizatora z substratami, po rozpadzie których katalizator ulega regeneracji [94].

W procesie spalania katalitycznego strumień gazu przepuszcza się przez ziarno katalizatora w podwyższonej temperaturze. Spalanie węglowodorów w tym procesie

przebiega w temperaturach znacznie niższych niż w przypadku spalania termicznego (tj. ok. 500–700 K). Katalizatory są wrażliwe na blokowanie się cząstkami stałymi obecnymi w gazie lub powstałymi podczas spalania.

W skład katalizatorów głębokiego utleniania zanieczyszczeń wchodzi: substancje aktywne, modyfikatory (domieszki) i nośniki [94].

Substancją aktywną są najczęściej [94]:

- metale szlachetne (około 0,1% masy Pt (platyny), Pd (palladu) lub rzadko – Rh (rodu),
- tlenki Cu, Co, Mn, Cr, V, W, Zn, Ni, Fe (czyste lub nanoszone na nośniki w ilości od kilku do kilkunastu procent; katalizatory tlenkowe),
- tlenki typu perowskitów, takie jak LaMO_3 , gdzie La to lantanowiec lub mieszanina lantanowców, M to Ni (nikiel), Co (kobalt), Mn (mangan) lub ich mieszanina (np.: $\text{La}_{0,5}\text{Ni}_{0,3}\text{Sm}_{0,2}\text{MnO}_3$ jest to katalizator perowskitowy do usuwania tlenków azotu).

Modyfikatorami katalizatorów są domieszki, które powodują zwiększenie liczby miejsc aktywnych na powierzchni lub utrwalenie struktury (są to tzw. promotory). Inną grupą modyfikatorów są inhibitory – ich działanie polega na zwiększeniu selektywności oddziaływania.

Nośnik ma za zadanie maksymalnie rozwinąć powierzchnię zawierającą substancję aktywną przy zachowaniu małych oporów przepływu gazu. Powinien być wytrzymały mechanicznie i termicznie. Początkowo powszechnie stosowane były nośniki nasypowe (pierścienie, kulki, pastylki, „makarony” z Al_2O_3 , sit molekularnych lub węgla aktywnego). Obecnie lepszy stosunek powierzchni do objętości uzyskuje się stosując nośniki w postaci tak zwanych bloków monolitycznych, które zazwyczaj są metaliczne lub ceramiczne [94].

2.1.9.2.1. Zastosowanie spalania do dezodoryzacji gazów

Spalanie całkowite (katalityczne) jest wymagane w procesie usuwania substancji odorowych o niskiej wyczuwalności węchowej. Znajduje swoje zastosowanie do oczyszczania gazów odlotowych przy produkcji fenolu, bezwodników maleinowego i ftalowego, detergentów, wyrobów gumowych, środków farmaceutycznych, żywic i tworzyw sztucznych, farb i lakierów, produktów rolno-spożywczych oraz włókien sztucznych. Procesy utleniania katalitycznego w przemyśle chemicznym są stosowane w wielu syntezach organicznych i nie organicznych (utlenianie NH_3 i SO_2) [94].

Spalanie zanieczyszczeń gazów jest procesem bardzo skutecznym, a zarazem nie wymagającym skomplikowanych urządzeń, ale jego użyteczność ograniczają jednak względy ekonomiczne. W każdym przypadku jest konieczne dostarczenie znacznych ilości energii nawet gdy stężenie palnych zanieczyszczeń jest stosunkowo duże. Prawie cała energia musi być dostarczona z zewnątrz. W przypadku dezodoryzacji gazów jest to bardzo istotne, ponieważ stężenia odorów są zazwyczaj bardzo niewielkie $< 1\text{g/m}^3$ (często rzędu mg/m^3).

Jedynym sposobem obniżenia kosztów spalania odorantów jest ich zatężanie. Korzystne rezultaty osiąga się, łącząc proces spalania z procesem adsorpcji. Oczyszczanie gazu można zapewnić przez adsorpcję na węglu aktywnym. Złoże węglowe okresowo poddaje się termicznej regeneracji w strumieniu gazów spalinowych (ze spalania gazu lub oleju opałowego). W gazach po desorpcji, stężenie odorantów może być około 10 000 razy większe od ich początkowego stężenia w gazie oczyszczanym. Umożliwia to ich skierowanie do spalania [94].

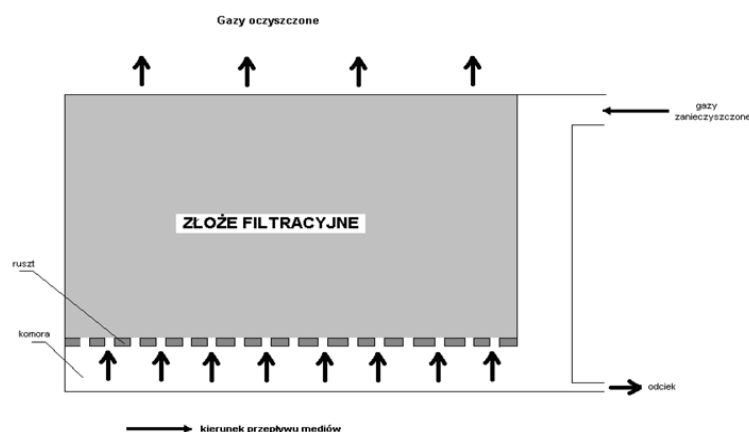
2.1.9.3. Biologiczne oczyszczanie gazów

Naturalne procesy biologicznego rozkładu związków organicznych są stosowane do oczyszczania gazów odlotowych od około 50 lat i budzą coraz większe zainteresowanie [52, 58, 86, 129, 184, 195, 210]. Obszerne badania dotyczące usuwania z gazów tioli i siarkowodoru zostały przeprowadzone w USA w połowie XIX wieku.

Pierwszy biofiltr uruchomiono jako urządzenie do dezodoryzacji gazów odlotowych z kompostowni. Zastosowanym materiałem filtracyjnym była spulchniona gleba. W kolejnych instalacjach została ona zastąpiona kompostem lub torfem. W połowie lat osiemdziesiątych tylko w Niemczech pracowało już ponad sto instalacji z filtrami o powierzchni od 10 do 1000 m^2 , oczyszczających od 1000 do $30\,000\text{ m}^3/\text{h}$ gazów odlotowych. Najważniejszym obszarem praktycznych zastosowań były oczyszczalnie ścieków, kompostownie, przetwórnice odpadów zwierzęcych i hodowla trzody chlewnej. Obecnie metoda biologiczna jest powszechnie uważana za jeden z najlepszych sposobów oczyszczania powietrza i gazów odlotowych zawierających nawet małe ilości zanieczyszczeń o niskich progach węchowej wyczuwalności. Bardzo istotnym argumentem przemawiającym za sensownością stosowania tej metody są względy ekonomiczne. Umożliwia ona osiągnięcie wysokiej skuteczności oczyszczania stosunkowo małym kosztem (jest 2–10 razy tańsza od absorpcji, adsorpcji i spalania) [94, 162].

Najważniejszą przewagą biologicznych metod oczyszczania gazów, jest możliwość prowadzenia procesu w temperaturze otoczenia (10–14°C) i ciśnieniu atmosferycznym. Obecnie większość doświadczeń koncentruje się wokół mikrobiologicznego rozkładu związków alifatycznych, aromatycznych, heterocyklicznych oraz substancji zawierających jeden atom węgla. Te związki mogą być wykorzystane przez mikroorganizmy do wzrostu i jako źródło energii. Urządzenia do biologicznego oczyszczania są niedrogie, dostępne i łatwe w użyciu oraz skuteczne i ekologiczne. Do niedawna, praktycznie dominującymi urządzeniami do likwidacji zanieczyszczeń gazowych były biofiltry i płuczki biologiczne (bioskrubery).

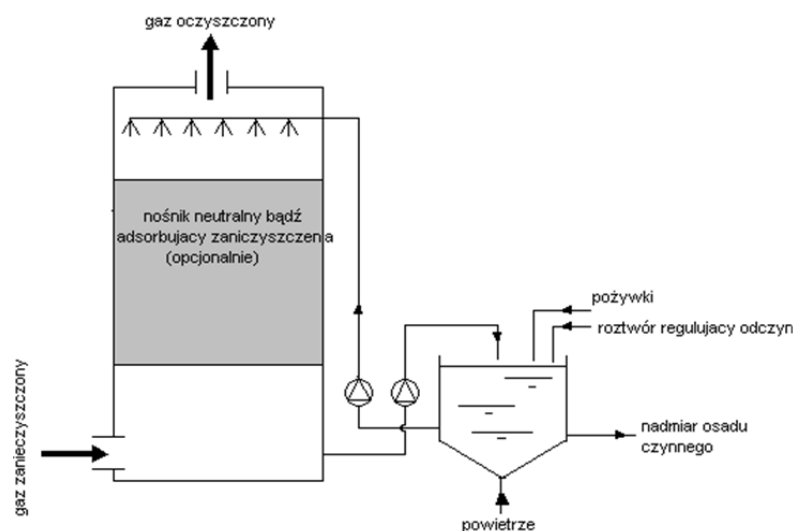
Podstawowym elementem biofiltru jest złożo filtracyjne, na którym toksyczne substancje są sorbowane i stopniowo rozkładane przez drobnoustroje. Powietrze, które ma być oczyszczone, jest pompowane do środka i przepływa wzdłuż złoża z dołu do góry lub odwrotnie. Jako złożo filtrowe może być użyty kompost, torf lub inny materiał pochodzenia organicznego. Przewaga tych materiałów jest spowodowana tym, że zawierają one składniki konieczne do żywienia bakterii. W celu zapewnienia odpowiednich warunków pracy biofiltru i jednolitego opływu złoża przez powietrze jest konieczne, aby materiał posiadał jednolitą strukturę i stałą objętość porów w złożu oraz wystarczającą wilgotność [174].



Rys. 2.19. Biofiltr do oczyszczania gazów [94]

Urządzeniami zajmującymi mniejszą powierzchnię są biopłuczki. Zasadę ich działania przedstawiono na rysunku 2.20. Główną częścią instalacji jest absorber zraszany cieczą zawierający osad czynny – wodną zawiesinę mikroorganizmów (zwykle bakterii aerobowych). Ciecz cyrkuluje przez zbiorniki, do których doprowadzane są pożywki, odczynniki regulujące odczyn (podwyższanie pH)

i powietrze. Ze zbiorników osadu czynnego odprowadza się jego nadmiar – produkt procesu. W absorberach umieszcza się wypełnienie neutralne (nośnik warstwy biologicznie czynnej) lub spełniające podwójną funkcję – nośnika warstwy biologicznej i adsorbenta. Zastosowany jako nośnik węgiel aktywny adsorbuje zanieczyszczenia gazów w sytuacji, gdy osad czynny traci aktywność, i ulega regeneracji po odzyskaniu aktywności filmu mikrobiologicznego [94].



Rys. 2.20. Zasada działania biopłuczki [94]

Czynnikiem decydującym o popularności biologicznych metod oczyszczania gazu jest ich koszt. Ta atrakcyjna ekonomiczna widoczna jest przy porównaniu kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych procesów biologicznych z rozwiązaniami fizycznymi i chemicznymi. Ich atrakcyjność wzrasta także w przypadku wystąpienia w gazach małych koncentracji zanieczyszczeń. Ostatnie tendencje w tym zakresie dotyczą możliwości stosowania adsorpcji z równoczesną biologiczną regeneracją adsorbenta [174].

2.1.9.4. Neutralizacja zapachu (tzw. maskowanie)

Omówione powyżej metody likwidacji zapachów nie zawsze przynoszą oczekiwany efekt. W rzeczywistych sytuacjach czasami niewiadomo, które z zanieczyszczeń decydują o zapachu gazów i jaka jest niezbędna obniżka ich stężenia. Decyzja o konieczności usunięcia niemal wszystkich zanieczyszczeń – bez względu na ich zapach – pociągają za sobą wielkie koszty, a mimo to nie zawsze przynoszą oczekiwany efekt. Usunięcie nawet powyżej 90% zanieczyszczeń nie musi oznaczać likwidacji lub osłabienia zapachu. Możliwe są nawet efekty przeciwne – nieoczekiwany

wzrost intensywności zapachu mieszaniny. Oczywistymi przyczynami takich zjawisk są przemiany części zanieczyszczeń w produkty o niższych progach węchowej wyczuwalności, takie jak powstawanie kwasów karboksylowych w wyniku utleniania alkoholi [94, 162].

Przyczyną niespodziewanego wzrostu intensywności zapachu gazów po ich częściowym oczyszczeniu może być również usunięciem składników, które w wyjściowej mieszaninie odgrywały rolę czynników neutralizujących zapach pozostałych domieszek.

Mechanizm neutralizacji zapachu nie został dotychczas wyjaśniony. W najprostszym przypadku może polegać na stosunkowo trwałym blokowaniu części receptorów nabłonka węchowego przez związki o stosunkowo mało uciążliwym zapachu lub niemal bezwonne [94, 162].

Potwierdzeniem tej hipotezy jest zanik lub zmniejszenie przykrego zapachu powietrza lub gazów odlotowych po wprowadzeniu domieszek dodatkowych. Tak działające związki wchodzi w skład odświeżaczy powietrza wewnątrz, są też od dawna wykorzystywane do odwadniania produktów przemysłowych, do dezodoryzacji przemysłowych gazów odlotowych lub w instalacjach wentylacyjno-klimatyzacyjnych. Wchodzi w skład preparatów do sporządzania barier antyosmicznych – ścian mgły, spełniających podobną funkcję jak pasy zadrzewień otaczające uciążliwe obiekty [93].

Kompensowanie zapachu składników mieszanin jest przedmiotem badań i publikacji od stu lat.

Różne metody kompensowania zapachu są wykorzystywane od kilkudziesięciu lat w takich gałęziach gospodarki, jak oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów, papiernie, przetwórnictwo ryb i odpadów rybnych, zakłady mięsne i tłuszczowe. Obszar zastosowań stopniowo powiększa się, w związku z wytwarzaniem nowych środków kompensujących zapach [94, 162].

Receptury tych nowych związków są chronione patentami lub najczęściej nie są ujawniane. Reklamowe informacje katalogowe wskazują, że stosowane do ich produkcji materiały pochodzenia naturalnego – zwykle są to ekstrakty surowców roślinnych, na przykład olejki eteryczne.

Zastosowanie preparatów kompensujących (maskujących) zapach musi być poprzedzone doświadczalnymi ocenami ich skuteczności oraz wnikliwą analizą, obejmującą: wpływ dodatkowych składników mieszanin zanieczyszczeń powietrza na zdrowie oraz możliwość wystąpienia niepożądanych efektów maskowania zapachów zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia, głównie uczuleń [94, 162].

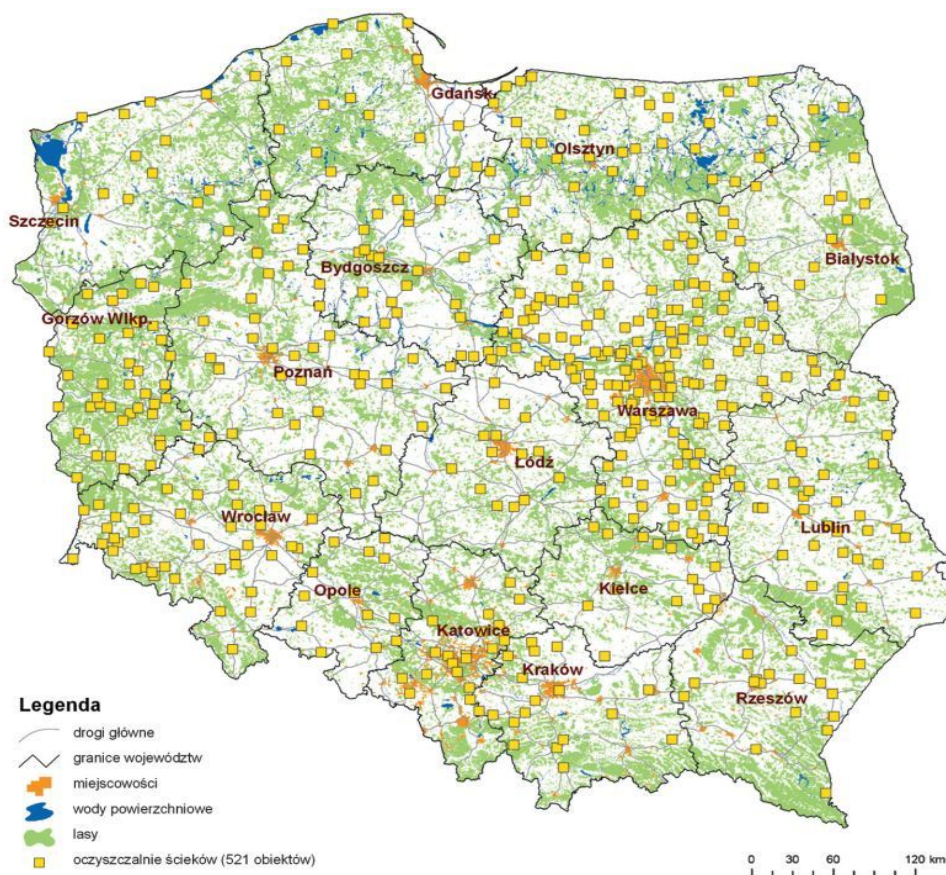
2.1.10. Inwentaryzacja i charakterystyka źródeł odorantów w gospodarce ściekowej w Polsce oraz ocena ich uciążliwości

Jednym z problemów towarzyszących obecności obiektów gospodarki ściekowej w środowisku jest występujące w ich obrębie lub bezpośredniej bliskości odczucie nieprzyjemnego zapachu. Zjawisko to, przy braku kontroli i działań prewencyjnych, może powodować uciążliwość zarówno dla pracowników tych obiektów, jak i okolicznych mieszkańców. Działania na rzecz ograniczenia emisji substancji złośliwych i uciążliwości oddziaływania zapachowego oraz próby uregulowania prawnego tej problematyki w Polsce wymagają min. informacji na temat źródeł odorantów w oczyszczalniach ścieków [112].

Oceną zapachowego oddziaływania obiektów w gospodarce ściekowej zajął się min. Kulig A., Podedworna J. i inni [111, 112, 113, 114, 170, 171]. Kulig A. i inni w pracy [113] na podstawie wyników badań ankietowych przeprowadzonych metodą CATI w 462 polskich oczyszczalniach ścieków dokonali oceny oddziaływania zapachowego urządzeń i obiektów związanych z dopływem lub transportem ścieków (pompowni głównych tłoczących ścieki do oczyszczalni, punktów zlewnych, zbiorników uśredniających ścieki dowożone), urządzeń do mechanicznego oczyszczania ścieków (kraty, sita, piaskowniki, osadniki wstępne), urządzeń do biologicznego oczyszczania ścieków (reaktory biologiczne, osadniki wtórne) oraz urządzeń do przeróbki osadów ściekowych (zagęszczacze, urządzenia do stabilizacji, urządzenia do odwadniania, urządzenia do higienizacji). Ocena została odniesiona do różnych grup wielkościowych oczyszczalni, zdefiniowanych równoważną liczbą mieszkańców (RLM) określoną na podstawie dobowych przepływów ścieków. Zgodnie z przyjętą metodyką [114] oczyszczalnie ścieków podzielono na małe (do 400 RLM), średnie (400–100 000 RLM) i duże (powyżej 100 000 RLM). Obiekty małe (59 oczyszczalni) wyłączono ze szczegółowej analizy, zaś 423 obiekty średnie podzielono na 3 grupy: I – 400–2000 RLM (150 oczyszczalni), II – 2000–15 000 RLM (140 oczyszczalni) i III – 15 000–100 000 RLM (133 oczyszczalnie). W zbiorze zidentyfikowanych obiektów dużych, tzn. powyżej 100 000 RLM zankietowano 39 oczyszczalni ścieków. Lokalizację badanych oczyszczalni ścieków przedstawiono na rysunku 2.21 [113].

Większość oczyszczalni małych (80%) i średnich (86,8%) była wybudowana i wprowadzona do eksploatacji po 1990 r. Od 1990 r. wybudowano jedynie 43,9% ankietowanych obiektów dużych, pozostałe z tej grupy w znaczącej większości powstały w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych poprzedniego stulecia [113].

W zankietowanych obiektach gospodarki ściekowej dominują mechaniczno-biologiczne oczyszczalnie ścieków, stanowiące 83,3% zbioru oczyszczalni średnich i 73,2% zbioru oczyszczalni dużych. Pozostałe obiekty to w większości oczyszczalnie mechaniczno-biologiczno-chemiczne (16,5% liczebności oczyszczalni średnich i odpowiednio 26,8% dużych). Jediną oczyszczalnię mechaniczną zidentyfikowano w III grupie oczyszczalni średnich (zaledwie 0,7% tego zbioru i 0,2% całego zbioru obiektów średnich) [113].



Rys. 2.21. Lokalizacja badanych oczyszczalni ścieków w Polsce ocenianych jako potencjalne źródła emisji odorantów [113]

Dane inwentaryzacyjne oraz charakterystykę oddziaływania zapachowego obiektów technologicznych w średnich i dużych oczyszczalniach ścieków, poddanych badaniom ankietowym w Polsce przedstawiono w tabelach z podziałem na uciążliwość pochodzącą z obiektów odpowiednio w części ściekowej (tabela 2.6 i 2.7) i osadowej (tabela 2.8 i 2.9). Przy czym oczyszczalnie średnie potraktowano jako cały ich zbiór, bez podziału na poszczególne grupy wielkościowe [113].

Za miarę uciążliwości zapachowej danego typu obiektu technologicznego (urządzenia) przyjęto procentowy udział oczyszczalni w danej grupie wielkościowej,

w których analizowany obiekt technologiczny lub urządzenie zostało uznane przez odpowiadającego na pytania ankiety pracownika lub przedstawiciela oczyszczalni za źródło odoryzacji powietrza.

Z analizy zebranych danych ankietowych wynika, że stopień uciążliwości jest różnicowany w poszczególnych podgrupach wielkościowych oczyszczalni i w dużym stopniu zależy od tego, czy określony obiekt technologiczny oczyszczalni jest „otwarty” czy „zamknięty”, tzn. umieszczony w budynku, obudowany lub zhermetyzowany [113].

Dane zebrane przez Kuliga A. i innych [113] wskazują, że każdy z analizowanych elementów systemu przesyłu ścieków oraz ciągu technologicznego ich oczyszczania jest potencjalnym źródłem emisji odorantów. W zdecydowanej większości ankietowanych obiektów średnich i dużych, najbardziej uciążliwe pod względem emisji odorów są punkty zlewne ścieków dowożonych, pompownie główne oraz urządzenia do mechanicznego oczyszczania ścieków. W zbiorze oczyszczalni średnich uciążliwość zapachową związaną z dowozem ścieków stwierdzono w blisko 42% obiektów, a uciążliwość pompowni głównej oraz urządzeń do oczyszczania wstępnego występuje w ok. 30–40% tych zakładów. Dużo mniej korzystnie wypada statystyka w odniesieniu do tych samych elementów systemu przesyłu i mechanicznego oczyszczania w grupie oczyszczalni powyżej 100 000 RLM. Emisję odorantów z punktu zlewego odnotowano w ponad 73% obiektów dużych.

Pompownia główna w obiektach dużych jest przyczyną odoryzacji powietrza w nieznacznym wyższym, procentowo wyrażonym udziale obiektów, w stosunku do podanego dla oczyszczalni średnich (odpowiednio 35,9% i 30,3%), ale już uciążliwość krat czy osadnika wstępnego występuje w ponad 60% obiektów dużych. Źródłem substancji złowonnych w 44% obiektów dużych są piaskowniki. Dodatkowo w zbiorze oczyszczalni powyżej 100 000 RLM nieprzyjemny zapach jest odczuwany z komory beztlenowej (zbiornika usytuowanego na drodze przepływu ścieków, najczęściej bezpośrednio po ich wstępnym mechanicznym oczyszczaniu) w ponad 50% obiektów eksploatujących te urządzenia. Ścieki zawierają wówczas jeszcze dość dużą ilość związków organicznych, które w warunkach braku tlenu ulegają przemianom do lotnych kwasów tłuszczowych, będących w tym miejscu ciągu technologicznego głównym źródłem emisji odorantów. Uciążliwość komór beztlenowych występuje tylko w ok. 20% oczyszczalni średnich [113].

Tabela 2.6. Charakterystyka uciążliwości zapachowej (w ocenie respondentów) urządzeń i obiektów związanych z dopływem lub transportem ścieków, urządzeń do mechanicznego oczyszczania ścieków oraz urządzeń do biologicznego oczyszczania ścieków w średnich oczyszczalniach ścieków w Polsce (400<RLM<100 000) [113, 171]

Nazwa urządzenia/obiektu		Udział obiektów w zbiorze badanych oczyszczalni „średnich”, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %	Urządzenia „otwarte”		Urządzenia „zamknięte”	
				Udział urządzeń otwartych, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %	Udział urządzeń zamkniętych, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %
Pompownia główna	poza terenem	36,6	30,3	0	0	100	27,0
	na terenie	67,2		0	0	100	30,3
Punkty zlewna		79,0		18,4	100	81,6	48,8
Zbiornik uśredniający ścieków dowożonych		47,0		1,7	100	98,3	39,2
Kraty		91,0	41,0	41,6	51,3	58,4	33,9
Sita		41,0	33,5	35,5	45,2	64,5	27,2
Piaskowniki		83,4	35,3	67,0	40,5	33,0	25,3
Osadnik wstępny		61,3	36,7	77,0	42,2	23,0	17,5
Reaktor biologiczny	Złoże biologiczne			100	25,9	0	0
	Osad czynny						
	SBR		15,8	76,7	17,0	23,3	9,5
	Układ przepływowy:	Komora beztlenowa	20,8	78,7	22,7	21,3	13,3
		Komora anoksyliczna	10,5	79,0	12,2	21,0	0
		Komora tlenowa	11,7	66,1	12,4	33,9	10,3
	Reaktor „Carrousel”		17,0	31,91	13,3	68,1	18,8
Osadnik wtórny		83,1	18,1	85,3	20,2	14,7	5,7

Tabela 2.7. Charakterystyka uciążliwości zapachowej (w ocenie respondentów) urządzeń i obiektów związanych z dopływem lub transportem ścieków, urządzeń do mechanicznego oczyszczania ścieków oraz urządzeń do biologicznego oczyszczania ścieków w dużych oczyszczalniach ścieków w Polsce (RLM>100 000) [113]

Nazwa urządzenia/obiektu		Udział obiektów w zbiorze badanych oczyszczalni „dużych”, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %	Urządzenia „otwarte”		Urządzenia „zamknięte”	
				Udział urządzeń otwartych, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %	Udział urządzeń zamkniętych, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %
Pompownia główna	poza terenem	34,1	35,9			100	43,0
	na terenie	68,4				100	31,0
Punkty zlewne		80,5		12,0	100	88,0	54,6
Zbiornik uśredniający ścieków dowożonych		20,5		0	100	100	40,2
Kraty		100	60,3	23,4	75,0	76,6	56,4
Sita		20,5	25,0	62,5	20,0	37,5	33,3
Piaskowniki		100	44,0	74,4	51,7	25,6	20,0
Osadnik wstępny		86,4	60,6	90,9	66,7	9,1	0
Reaktor biologiczny	Złoże biologiczne	25,6	20,0				
	Osad czynny	92,3					
	SBR		7,9	76,9	10,0	33,1	0
	Układ przepływowy:	Komora beztlenowa	57,1	90,5	63,2	9,5	0
		Komora anoksyczna	20,5	100	36,4	0	0
		Komora tlenowa	10,7	92,8	12,5	17,2	0
	Reaktor „Carrousel”		50,0	25	100	75,0	33,3
Osadnik wtórny		100	17,9	94,9	18,9	5,1	0

Tabela 2.8. Charakterystyka uciążliwości zapachowej (w ocenie respondentów) urządzeń do przeróbki osadów ściekowych w średnich oczyszczalniach ścieków w Polsce (400<RLM<100 000) [113, 171]

Grupa urządzeń/Rodzaj urządzenia		Udział obiektów w zbiorze badanych oczyszczalni „średnich”, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %	Urządzenia „otwarte”		Urządzenia „zamknięte”	
				Udział urządzeń otwartych, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %	Udział urządzeń zamkniętych, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %
Zagęszczacze	grawitacyjne	63,7	30,6	64,4	33,5	35,6	19,3
	mechaniczne	46,0	28,0	33,7	37,2	66,3	24,1
Urządzenia do stabilizacji	wydzielona komora tlenowa	57,1	31,5	63,9	35,4	36,1	22,3
	wydzielona komora fermentacyjna	41,0	35,0	51,3	50,0	48,7	12,6
	kompostownia	9,0	35,7	71,4	40,0	28,6	25,0
Urządzenia do odwadniania	mechaniczne	82,4				100	49,4
	poletka	26,7		100	68,9		
	laguny	5		100	50		
Urządzenia do higienizacji	z wykorzystaniem CaO	61,8	15,5	35,1	35,3	64,9	20,7
	z wykorzystaniem Ca(OH) ₂	38,2	24,1	48,3	35,7	51,7	13,3

Tabela 2.9. Charakterystyka uciążliwości zapachowej (w ocenie respondentów) urządzeń do przeróbki osadów ściekowych w dużych oczyszczalniach ścieków w Polsce (RLM>100 000) [113]

Grupa urządzeń/Rodzaj urządzenia		Udział obiektów w zbiorze badanych oczyszczalni „dużych”, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %	Urządzenia „otwarte”		Urządzenia „zamknięte”	
				Udział urządzeń otwartych, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %	Udział urządzeń zamkniętych, %	Udział obiektów, w których urządzenie jest źródłem uciążliwości, %
Zagęszczacze	grawitacyjne	90,0	37,1	42,9	66,7	57,1	15,0
	mechaniczne	66,7	23,1	19,2	40,0	80,8	19,0
Urządzenia do stabilizacji	wydzielona komora tlenowa	9,1	50,0	50,0	100	50,0	0
	wydzielona komora fermentacyjna	90,9	10,0	20,0	50,0	80,0	0
	kompostownia	9,1	100,0	50,0	100	50,0	100
Urządzenia do odwadniania	mechaniczne	100				100	61,5
	poletka			100	75,0		
	laguny			100	100		
Urządzenia do higienizacji	z wykorzystaniem CaO	80,0	12,5	50	25,0	50	0
	z wykorzystaniem Ca(OH) ₂	20,0	0,0	0	0	100	0

Przyczyną występującej do tego miejsca w ciągu technologicznego oczyszczania ścieków większej uciążliwości urządzeń w obiektach dużych może być długi czas eksploatacji tych oczyszczalni. O ile ponad 80% średnich oczyszczalni było wybudowanych po 1990 r., o tyle ponad 50% ankietowanych obiektów dużych wprowadzono do eksploatacji w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych poprzedniego stulecia. W wielu przypadkach brak modernizacji urządzeń i nowoczesnych rozwiązań w zakresie ich hermetyzacji (mniejszy udział urządzeń zamkniętych niż w oczyszczalniach średnich) może tłumaczyć większy udział procentowy obiektów z emisją zapachów, zwłaszcza w początkowym stadium oczyszczania ścieków. Komory reaktora biologicznego cechuje mniejsza uciążliwość zapachowa, pozostająca na poziomie 10–12% zarówno obiektów średnich, jak i sklasyfikowanych jako duże [113].

Drugim ważnym źródłem emisji substancji złowonnych z terenu oczyszczalni jest przeróbka osadów ściekowych. Znaczny udział obiektów o różnej wielkości, charakteryzujących się uciążliwością osadowej części oczyszczalni, świadczy o dużych zaniedbaniach technologicznych w tym względzie. W szczególności uciążliwość zapachowa związana z mechanicznym odwadnianiem osadu świadczy o niewłaściwej efektywności procesów ich wcześniejszej stabilizacji. Podkreślenia wymaga fakt, że brakiem uciążliwości odorowej charakteryzują się zamknięte komory fermentacyjne w zankietowanych oczyszczalniach powyżej 100 000 RLM, w których ten sposób stabilizacji jest najbardziej rozpowszechniony.

Przeanalizowane dane przez autorów pracy [113] wskazują, że działania polegające na zamykaniu w wentylowanych pomieszczeniach lub hermetyzacja poszczególnych urządzeń nie zawsze ograniczają uciążliwość odorową w obrębie oczyszczalni lub w bezpośredniej jej bliskości. Prawdopodobnie jednym z czynników wpływających na obserwowane zjawisko może być brak staranności załogi w eksploatacji urządzeń (czynnik ludzki w eksploatacji tego typu obiektów), niezamykanie pomieszczeń lub czasowe pozostawianie otwartych elementów obudowy zbiorników [113].

Poza pytaniami dotyczącymi uciążliwości urządzeń, ankietę zawierała także pytania o stopień odczuwania oddziaływania zapachowego z terenu całej oczyszczalni, zarówno przez jej pracowników, jak i okolicznych mieszkańców [112, 170].

Nie wszyscy respondenci odpowiedzieli na pytanie o uciążliwość odorową oczyszczalni, jako całości, dla jej pracowników. Jednak zarówno w grupie I, jak i II

obiektów „średnich”, które odpowiedziały na tak postawione pytanie, prawie 86% oceniło swój zakład jako mało uciążliwy, 12,5% jako uciążliwy, pracownik tylko 1 oczyszczalni w każdej z tych grup wielkościowych przyznał się do dużej uciążliwości zapachowej w obszarze oczyszczalni. Natomiast w grupie III obiektów „średnich”, które udzieliły odpowiedzi na pytanie, 72% uznało swój zakład za mało uciążliwy, pozostałe stwierdziły jedynie uciążliwość, żadna z tych oczyszczalni nie zadeklarowała braku uciążliwości ani bardzo dużej uciążliwości. Odpowiednio wśród ankietowanych oczyszczalni „dużych” aż 81,5% obiektów zadeklarowało małą uciążliwość, lub w pozostałych przypadkach jedynie uciążliwość.

W przypadku ok. 40% obiektów nie uzyskano odpowiedzi na pytanie, czy w ostatnich latach występowało niezadowolenie mieszkańców wynikające z wyczuwania przez nich zapachów z oczyszczalni. Jednak pracownicy „średnich” i „dużych” obiektów zgodnie ocenili, że na odbieraną przez okoliczną społeczność uciążliwość odorową oczyszczalni w największym stopniu wpływają stacje zlewne ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym oraz odpady powstające podczas oczyszczania mechanicznego (skratki, piasek, osad wstępny), a dopiero w drugiej kolejności gospodarka osadowa, której uciążliwość dowodzi niewłaściwej efektywności procesów wcześniejszej stabilizacji osadów [112, 170].

W większości oczyszczalni ścieków znajdują się poza jednostkami osadniczymi, co w dużym stopniu wpływa na ich ograniczone oddziaływanie zapachowe na okolicznych mieszkańców. Jak wynika z analizy ankiet, odsetek oczyszczalni „średnich” i „dużych” wybudowanych na obszarach nie będących w granicach zwartej zabudowy miasta lub wsi wynosi powyżej 73%. Zdaniem 92% przedstawicieli wszystkich ankietowanych oczyszczalni „średnich” i 83% „dużych” promień oddziaływania zapachowego nie przekracza 0,5 km, przy czym ponad 40% respondentów w każdej grupie wielkościowej ankietowanych oczyszczalni wskazało lato, jako porę roku najbardziej sprzyjającym nieprzyjemnym zapachom. Pozostałe pory roku wskazywane są sporadycznie, w wielu wypadkach pracownicy nie potrafili określić takiego okresu, co może dowodzić w ogóle małej uciążliwości obiektu, lub w przypadku założenia jej istnienia, pora roku nie ma znaczenia. W grupie obiektów „średnich”, dla których uzyskano odpowiedzi na pytanie ankiety o uciążliwość odorową oczyszczalni, brak oddziaływania zapachowego odnotowano dla 41,5% zakładów, małą uciążliwość dla 51,2%, uciążliwość dla 6,1% i tylko dla 1,2% tych obiektów stwierdzono, że są bardzo uciążliwe dla okolicznych mieszkańców. O ile w grupie I i II

oczyszczalni „średnich” obserwowano bardzo porównywalny rozkład odpowiedzi (ok. 47% brak uciążliwości, 47% mała uciążliwość, 5% uciążliwość i ok. 1% bardzo duża uciążliwość), o tyle już w III grupie odnotowano brak uciążliwości tylko w 28% przypadków, za to małą uciążliwość w 61% obiektów i uciążliwość w prawie 10% zakładów. W obiektach „dużych” dla których udzielono odpowiedzi na pytanie o uciążliwość dla okolicznych mieszkańców, żaden nie zadeklarował dużej uciążliwości, brak oddziaływania stwierdzono w przypadku prawie 30% oczyszczalni, w 54% odpowiedzi oceniono uciążliwość jako małą, a uciążliwość uznano w ponad 19% obiektów [112, 170].

Wyniki ankietyzacji uwiaryściły dostrzeganie przez eksploratorów oczyszczalni potrzeby przeciwdziałania emisji odorantów z użytkowanych przez nich urządzeń. Świadomość znaczenia problemu potencjalnej emisji odorantów wzrasta wraz ze wzrostem wielkości obsługiwanej aglomeracji. Zarówno w obiektach „średnich”, jak i „dużych” wskazywano na konieczność ulepszenia urządzeń wentylacyjnych, uszczelnianie kanałów transportujących ścieki w obrębie oczyszczalni, częste wywożenie powstających odpadów lub przesypywanie ich środkami chemicznymi (np. wapnem). W wielu oczyszczalniach z analizowanych grup wielkościowych wymieniono jako już stosowane lub przewidywane do wprowadzenia środki zaradcze: hermetyzację obiektów, stosowanie ekranów (kurtyn) antyodorowych, filtrów biologicznych, zadrzewianie granicy działki oczyszczalni, a nawet wprowadzenie zmian technologicznych, a więc modernizację zakładu uwzględniającą ograniczenie emisji zapachów lub gwarantującą miejscową dezodoryzację powietrza [112, 170].

2.1.11. Technologie eliminacji uciążliwości zapachowych w gospodarce ściekowej

2.1.11.1. Zastosowanie olejków eterycznych do maskowania nieprzyjemnych zapachów wydzielających się podczas mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych

Katedra Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów Politechniki Koszalińskiej od wielu lat prowadzi prace badawcze nad produkcją olejków eterycznych, pozyskiwanych z surowców roślinnych w procesie destylacji parą wodną, które wykorzystuje do maskowania nieprzyjemnych zapachów wydzielających się ze ścieków w halach technologicznych zakładów przemysłowych oraz w laboratorium podczas odwadniania komunalnych osadów ściekowych na wirówce. Ekstrakty zapachowe w halach technologicznych zakładów przemysłowych rozpylane są za pomocą zraszaczy

ręcznych, natomiast w laboratorium dozowane są bezpośrednio do osadów ściekowych przed procesem odwadniania [4, 5, 6, 98, 99, 100, 152, 154, 158, 159, 216].

Zespół z Politechniki Koszalińskiej w pracach [98, 99, 100, 154] przedstawił wyniki badań zastosowania olejków eterycznych do maskowania nieprzyjemnych zapachów wydzielających się podczas procesu mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych.

Osad ściekowy, który był przedmiotem badań autorów prac [98, 99, 100, 154], stanowił rzeczywisty ustabilizowany w wyniku fermentacji metanowej osad czynny, pobrany z Oczyszczalni Ścieków Jamno, bezpośrednio z przewodu tłocznego podającego osad z WKF (wydzielona komora fermentacyjna) na wirówki dekantacyjne.

Do badań autorzy zastosowali olejki eteryczne z cytryny, grejpfruta, mięty, pomarańczy i sosny oraz flokulanty kationowe, tj. roztwór 0,35% flokulanta o nazwie handlowej Praestol 855BS, produkcji Ashland Deutschland GmbH Krefeld (flokulant stosowany na Oczyszczalni Ścieków Jamno), roztwór 0,3% flokulanta o nazwie handlowej FLOPAM FO4800 i roztwór 0,48 % flokulanta o nazwie handlowej ZETAG® 9048FS.

Proces mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych zespół przeprowadził na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350 o działaniu okresowym w zależności od dawki dozowanego olejku eterycznego D [$\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$ osadu] oraz dawki dozowanego flokulanta C [kg/Mg s.m. , ml/dm^3 osadu]. Przyjęli następujące dawki [98, 99, 100, 154]:

- Olejki eteryczne (cytryna, grejpfrut, mięta, pomarańcza, sosna):
 - $D_1 = 0 \text{ cm}^3$ olejku/ 100 cm^3 osadu,
 - $D_2 = 2 \text{ krople} = 0,06 \text{ cm}^3$ olejku/ 100 cm^3 osadu,
 - $D_3 = 4 \text{ krople} = 0,12 \text{ cm}^3$ olejku/ 100 cm^3 osadu,
 - $D_4 = 6 \text{ kropli} = 0,18 \text{ cm}^3$ olejku/ 100 cm^3 osadu.
- Flokulant PRAESTOL 855BS:
 - $C_0 = 0 \text{ kg/Mg s.m.}$,
 - C_1 = koncentracja odpowiadająca 80% dawki dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. $3,2 \text{ kg/Mg s.m.}$,
 - C_2 = koncentracja odpowiadająca 100% dawki dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. ok. 4 kg/Mg s.m. ,
 - C_3 = koncentracja odpowiadająca 120% dawki dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. $4,8 \text{ kg/Mg s.m.}$

➤ Flokulant FLOPAM FO4800:

- $C_0 = 0$ kg/Mg s.m.,
- C_1 = koncentracja odpowiadająca 80% zalecanej dawki, tj. 4,0 kg/Mg s.m.,
- C_2 = koncentracja odpowiadająca 100% zalecanej dawki, tj. ok. 5,0 kg/Mg s.m.,
- C_3 = koncentracja odpowiadająca 120% zalecanej dawki, tj. 6,0 kg/Mg s.m.

➤ Flokulant ZETAG® 9048FS:

- $C_0 = 0$ ml/dm³,
- C_1 = koncentracja odpowiadająca 80% rzeczywistej dawce dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. w przeliczeniu 67 ml roztworu/dm³ osadu,
- C_2 = koncentracja odpowiadająca 100% rzeczywistej dawce dozowanej na oczyszczalni ścieków, wynoszącej średnio 229 dm³ roztworu/2,73 m³ osadu, tj. w przeliczeniu 84 ml roztworu/dm³ osadu,
- C_3 = koncentracja odpowiadająca 120% rzeczywistej dawce dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. w przeliczeniu 101 ml roztworu/dm³ osadu.

Parametrami stałymi procesu sedymentacji odśrodkowej był czas wirowania t [min] (przyjęli $t = 1$ min) oraz liczba obrotów wirówki n [obr/min] (przyjęli $n = 2400$ obr/min) [98, 99, 100, 154].

Wyniki z badań prac autorów [98, 99, 100, 154] przedstawiono w tabelach 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19.

Tabela 2.10. Wpływ dawki olejku eterycznego z cytryny na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odwodnionych osadów w zależności od dawki flokulanta Prestol 855BS [98]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] - OSAD			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
$C_0=0$	0	7	11	24
$C_1=80\% \cdot C_2$ 3,2 kg/Mg s.m.	0	6	10	23
$C_2=100\%$ 4,0 kg/Mg s.m.	0	5	9	22
$C_3=120\% \cdot C_2$ 4,8 kg/Mg s.m.	0	4	8	20

Tabela 2.11. Wpływ dawki olejku eterycznego z cytryny na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odsącza po procesie odwadniania w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [98]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] - ODSĄCZ			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	11	35	50
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	0	10	28	45
C₂=100% 4,0 kg/Mg s.m	0	9	21	42
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	0	7	19	25

Tabela 2.12. Wpływ dawki olejku eterycznego z grejpfruta na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odwodnionych osadów w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [154]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] - OSAD			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	8	13	25
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	0	7	11	24
C₂=100% 4,0 kg/Mg s.m	0	5	10	22
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	0	4	8	21

Tabela 2.13. Wpływ dawki olejku eterycznego z grejpfruta na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odsącza po procesie odwadniania w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [154]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] - ODSĄCZ			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	13	32	42
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	0	11	29	36
C₂=100% 4,0 kg/Mg s.m	0	10	23	34
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	0	7	21	27

Tabela 2.14. Wpływ dawki olejku eterycznego z mięty na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odwodnionych osadów w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [154]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] - OSAD			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	7	11	19
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	0	6	9	17
C₂=100% 4,0 kg/Mg s.m	0	6	8	16
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	0	4	7	16

Tabela 2.15. Wpływ dawki olejku eterycznego z mięty na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odsączu po procesie odwadniania w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [154]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] – ODSĄCZ			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	12	24	31
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	0	9	17	24
C₂=100% 4,0 kg/Mg s.m	0	8	16	24
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	0	5	13	21

Tabela 2.16. Wpływ dawki olejku eterycznego z pomarańczy na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odwodnionych osadów w zależności od dawki flokulanta FLOPAM FO4800 [100]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] - OSAD			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	5	10	25
C₁=80%·C₂ 4,0 kg/Mg s.m	0	4	9	23
C₂=100% 5,0 kg/Mg s.m	0	3	9	21
C₃=120%·C₂ 6,0 kg/Mg s.m	0	3	8	20

Tabela 2.17. Wpływ dawki olejku eterycznego z pomarańczy na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odsącza po procesie odwadniania w zależności od dawki flokulanta FLOPAM FO4800 [100]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] – ODSĄCZ			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	13	33	65
C₁=80%·C₂ 4,0 kg/Mg s.m	0	10	29	47
C₂=100% 5,0 kg/Mg s.m	0	8	25	38
C₃=120%·C₂ 6,0 kg/Mg s.m	0	7	20	35

Tabela 2.18. Wpływ dawki olejku eterycznego z sosny na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odwodnionych osadów w zależności od dawki flokulanta ZETAG® 9048FS [99]

DAWKA FLOKULANTA [ml/dm ³]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] - OSAD			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	14	22	30
C₁=80%·C₂ 67 ml/dm ³	0	12	18	27
C₂=100% 84 ml/dm ³	0	10	17	25
C₃=120%·C₂ 101 ml/dm ³	0	9	15	24

Tabela 2.19. Wpływ dawki olejku eterycznego z sosny na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów odsącza po procesie odwadniania w zależności od dawki flokulanta ZETAG® 9048FS [99]

DAWKA FLOKULANTA [ml/dm ³]	CZAS UTRZYMYWANIA SIĘ ZAPACHU [MIN] – ODSĄCZ			
	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
	0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	0	25	45	62
C₁=80%·C₂ 67 ml/dm ³	0	22	37	51
C₂=100% 84 ml/dm ³	0	20	35	47
C₃=120%·C₂ 101 ml/dm ³	0	17	33	45

Na podstawie przeprowadzonych badań i po analizie uzyskanych wyników autorzy stwierdzili, że [98, 99, 100, 154]:

- wyprodukowane w procesie destylacji parą wodną, olejki eteryczne, skutecznie neutralizują nieprzyjemne zapachy osadów i odsączu, powstałe podczas odwadniania komunalnych osadów ściekowych na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej,
- wraz ze wzrostem dawki olejku eterycznego czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów rośnie, zarówno dla odwirowanego osadu jak i odsączu,
- najlepsze właściwości maskujące wykazał olejek eteryczny z sosny, ponieważ jego zapach w odwirowanym osadzie i odsączu utrzymywał się najdłużej spośród wszystkich olejków eterycznych użytych do badań,
- najgorsze właściwości maskujące wykazał olejek eteryczny z mięty, ponieważ jego zapach w odwirowanym osadzie i odsączu utrzymywał się najkrócej spośród wszystkich olejków eterycznych użytych do badań,
- dawka dozowanego flokulanta wpływa na czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów olejkiem eterycznym,
- wraz ze wzrostem dawki dozowanego flokulanta czas skutecznej neutralizacji odorów maleje, zarówno w odwirowanym osadzie jak i odsączu.

2.1.11.2. Ograniczenie uciążliwości zapachowej pompowni ścieków poprzez zastosowanie biofiltrów

Jednym z większych potencjalnych źródeł odorantów w gospodarce ściekowej są pompownie ścieków. Kulig A. w pracy [115] scharakteryzował zmienność oddziaływania pompowni jako potencjalnego źródła nieprzyjemnych zapachów oraz ocenił skuteczność pracy biofiltra zastosowanego do oczyszczania gazów odlotowych.

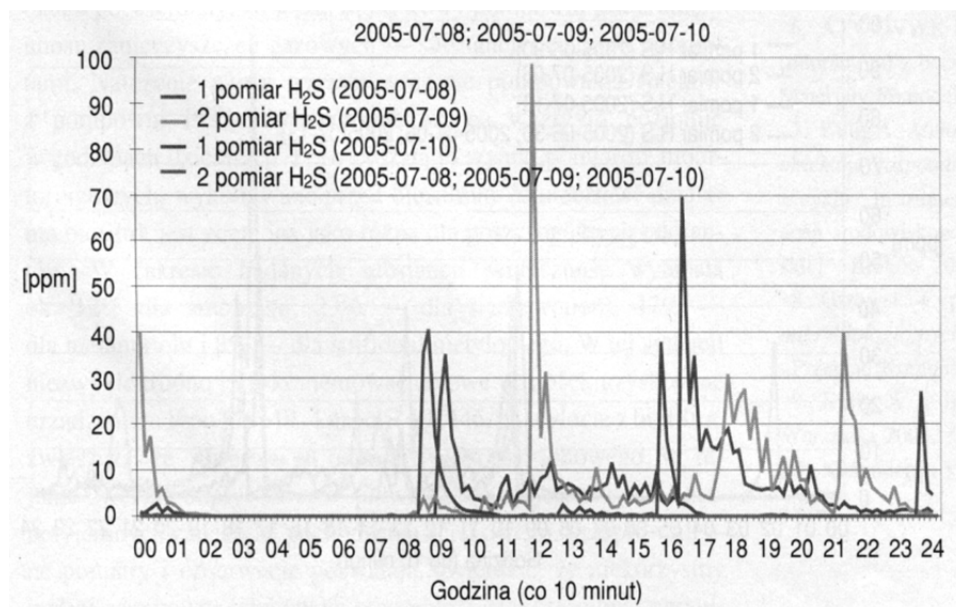
Obiekt, który został poddany badaniom i analizie przez autora pracy [115] to końcowa przepompownia centralna (PC) w systemie kanalizacji rozdzielczej, która obsługuje obszar miasta liczący ponad 50 tys. mieszkańców. Główną funkcją badanej przepompowni jest przetłaczanie ścieków bytowo-gospodarczych z całego obszaru miasta do oczyszczalni ścieków.

Badana pompownia (o przepustowości Q_{dsr} ok. 7–8 tys. m³/d) przyjmuje ścieki dopływające grawitacyjnie oraz przetłaczane z innej pompowni sieciowej (PG). Węzeł dopływowy, w którym następuje częściowe odgazowywanie dopływających ścieków, jest niewielkim pomieszczeniem zamkniętym [115].

Na terenie badanej przez autora pracy [115] pompowni ścieków PC występują zapachy pochodzenia ściekowego o różnej intensywności. Głównym źródłem nieprzyjemnych zapachów są ścieki dopływające z pompowni PG. Jednym z kluczowych związków odorotwórczych, którego obecność stwierdzono na terenie pompowni PC (niekiedy w bardzo dużych ilościach) jest siarkowodor. Dotyczy to głównie węzła dopływowego. W celu zmniejszenia uciążliwości zapachowej zainstalowano biofiltr do oczyszczania powietrza wentylacyjnego (gazów odlotowych), odcieranego z węzła dopływowego [115].

Zgodnie z założeniami, Kulig A. analizę i badania wykonał latem w warunkach wyższych temperatur powietrza (średnia ok. 24°C), kiedy obserwuje się wzrost intensywności uciążliwości zapachowej. Analizie poddał dane pomiarowe dotyczące stężenia siarkowodoru przed (pomiar 1 – unos) i za (pomiar 2 – emisja) biofiltrem, w okresie od 25.06.2005 r. do 25. 07.2005 r.

Zbiorczy przebieg zmienności stężeń siarkowodoru autor [115] przedstawił na rysunku 2.22 (1 ppm = 1,539 mg/m³). Pomiary wykonano w odstępach co 10 minut w dniach 08.07.2005 (piątek), 09.07.2005 (sobota) i 10.07.2005 (niedziela), czyli Kulig badaniu poddał okres obejmujący weekend, ponieważ często rejestrowano uwagi, że właśnie w tym czasie uciążliwość odorów nasila się [115].

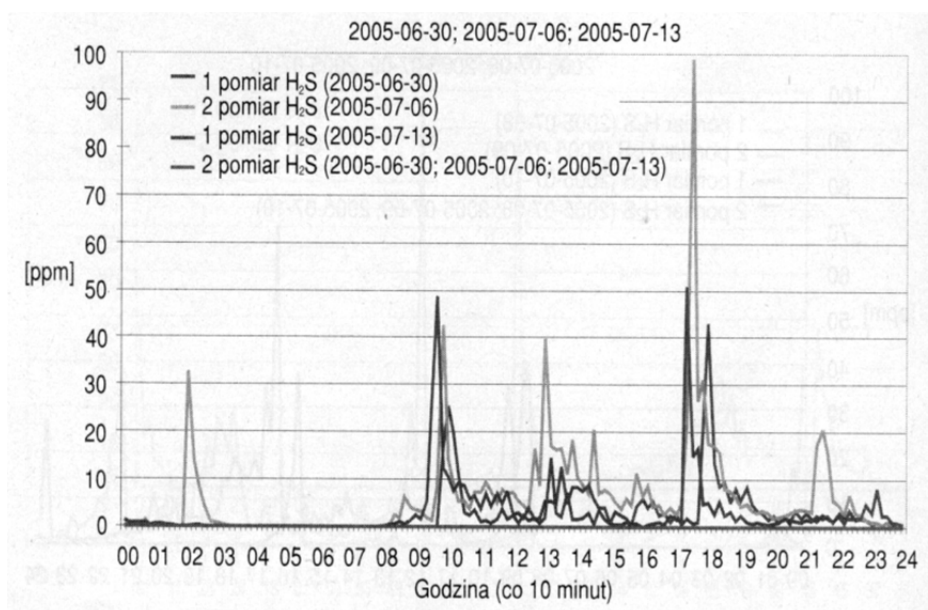


Rys. 2.22. Zestawienie dobowe rozkładu stężeń siarkowodoru w dniach 08–10.07.2005 [115]

Analiza wyników przedstawionych na rysunku 2.22 pozwoliła autorowi pracy [115] stwierdzić, że oddziaływanie węzła dopływowego jest zmienne, okresowe i zależy głównie od częstości włączania się pompowni PG. W wyżej przedstawionym przykładzie stosunkowo najsłabsze oddziaływanie zaobserwowano w niedzielę. Warto również podkreślić, że wyniki stężenia siarkowodoru, odnoszące się do wylotu powietrza z biofiltra miały wartość 0,0 ppm.

Na podstawie dodatkowych badań chemicznych, które przeprowadzono w dniach 30.06.2005 (seria a), 06.07.2005 (seria b) i 13.07.2005 (seria c) w godz. 9–13, podczas normalnych warunków pracy pompowni, autor potwierdził, że węzeł dopływowy pompowni jest źródłem unosu substancji będących odorantami. Natężenie unosu wzrastało w czasie pompowania ścieków z pompowni PG oraz utrzymywało się na wyższym poziomie w godzinach dziennych [115].

Kulig A. zbiorczy przebieg zmienności stężeń siarkowodoru, określony na podstawie danych systemu monitoringowego dla trzech dni pomiarowych (seria a, b, c), przedstawił na rysunku 2.23.



Rys. 2.23. Zestawienie dobowe rozkładu stężeń siarkowodoru w dniach 30.06.2005 (seria a), 06.07.2005 (seria b) i 13.07.2005 (seria c) [115]

Pomiary związane z oceną skuteczności pracy biofiltra wykonano synchronicznie. W powietrzu przed biofiltrem (przekrój I) wartości stężenia siarkowodoru zmieniały się od 7000 g/m³ (w serii b) do 15 333 g/m³ (w serii a), a średnia wartość wyniosła 10 428 g/m³ (ok. 6,8 ppm). Za biofiltrem (przekrój II) odpowiednie wartości wynosiły od 120 g/m³ (w serii a) do 12 467 g/m³ (w serii c),

a średnia wartość wyniosła 8082 g/m^3 (ok. 5,3 ppm). Skuteczność działania biofiltra dla siarkowodoru była umiarkowana i wyniosła ok. 23 % [115].

W celu uzyskania dodatkowych informacji o stężeniu odorantów w strumieniu zanieczyszczonego powietrza z pompowni ścieków w trakcie jej pracy, autor wykonał ilościowe oznaczenia chemiczne trzech związków: metanotiolu, etanotiolu i sulfidu dimetylowego w powietrzu.

Próbki do badań pobrano na wlocie (unos) oraz na wylocie (emisja) z urządzenia zmniejszającego stężenia odorantów (biofiltr) [115].

Wyniki oznaczeń ilościowych stężenia odorantów w powietrzu odlotowym z pomieszczenia węzła dopływowego pompowni PC przed i za biofiltrem w przeliczeniu na warunki normalne Kulig A. przedstawił w tabeli 2.20.

Tabela 2.20. Wyniki oznaczeń odorantów w powietrzu odlotowym z pomieszczeń pompowni rezerwowej przy kolektorach dolotowych ścieków miejskich [115]

Nazwa związku (odoranta)	Stężenie przed biofiltrem (w unosie) [mg/Nm^3]	Stężenie za biofiltrem (w emisji) [mg/Nm^3]
Pobór prób w dniu 13.07.2005 r.		
Amoniak	0,21–0,27; śr. 0,24	0,187–0,227; śr. 0,20
Siarkowodór	12,2–12,8; śr. 12,4	11,33–12,47; śr. 11,6
Metanotiol (merkaptan metylu)	0,74–2,8; śr. 1,88	0,76–1,1; śr. 0,99
Etanotiol (merkaptan etylu)	< 0,02	< 0,02
Sulfid dimetylowy (siarczek dimetylu)	0,051–0,082; śr. 0,062	0,054–0,062; śr. 0,057

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 2.20, pozwoliła autorowi pracy [115] udowodnić, że spośród odorantów, badanych w strumieniu zanieczyszczonego powietrza z pompowni ścieków w trakcie jej pracy najwyższe stężenie osiągnął siarkowodór, natomiast najniższe etanotiol < $0,02 \text{ mg/m}^3$. Skuteczność działania biofiltra była różna i zależała od rodzaju odorantów: dla amoniaku wyniosła ok. 12%, dla siarkowodoru – 23%, dla metanotiolu – 47%, (jest to gaz stosunkowo dobrze rozpuszczalny, więc jest on dość dobrze zatrzymywany i rozkładany w biofiltrze), a dla sulfidu dimetylowego – 8% (jest to gaz słabo rozpuszczalny w wodzie, stąd też jego usuwanie w biofiltrze jest niewielkie). Należy podkreślić, że z uwagi na niskie stężenie wpływ sulfidu dimetylowego na ogólną uciążliwość zapachową nie jest znaczący nawet przy stosunkowo niskiej skuteczności biofiltra. Największe znaczenie mają metanotiol i etanotiol. Autorowi niezwykle trudno było skomentować zerowe wartości, uzyskiwane urządzeniem typu MSMR-4 serii 402446 na wylocie z biofiltra zwłaszcza, że

obserwacje oddziaływania zapachowego w rejonie węzła dopływowego potwierdziły występowanie nieprzyjemnych zapachów pochodzenia ściekowego. Po przeprowadzonych pomiarach i obserwacjach Kulig A. stwierdził, że niekorzystny wpływ pompowni ścieków na otoczenie został częściowo ograniczony, ale wymaga dalszych działań w zakresie dezodoryzacji obiektu [115].

2.1.11.3. Proces FERROX – eliminacja uciążliwości zapachowych w systemach kanalizacji ściekowej

Częstym problemem pojawiającym się w systemach kanalizacyjnych jest zagniwanie ścieków. To proces anaerobowego rozkładu substancji organicznych do amoniaku, amin, siarkowodoru, siarkowych związków organicznych (tiofen, merkaptan) i innych. Wszystkie te i inne związki chemiczne wywierają wpływ na tzw. „bukiet odorowy” ścieków i osadów. Dominującym i najbardziej uciążliwym związkiem jest siarkowodór (H_2S), który oprócz charakterystycznego, przykrego zapachu (zgniłych jaj) oraz działania korozyjnego, jest bardzo trującym gazem, porównywanym z cyjanowodorem (HCN) [88, 89, 116, 166, 204].

Firma KEMIPOL bazująca na wieloletnim doświadczeniu w zakresie procesów biologiczno-chemicznego oczyszczania ścieków oraz na podstawie dostępnych informacji opracowała skuteczny proces eliminacji uciążliwości zapachowych w systemach kanalizacyjnych, wywołanych przez powstały siarkowodór. Proces ten nosi nazwę FERROX, a jego działanie zapobiega powstawaniu i uwalnianiu się siarkowodoru do powietrza.

Proces FERROX polega na zastosowaniu odpowiedniego produktu, który wiąże siarczki S^{2-} , wodorosiarczki HS^- i siarkowodór H_2S do nietoksycznego siarczku żelaza (II) oraz zapobiega lub ogranicza wystąpienie warunków anaerobowych w ściekach. Do wiązania siarczków i H_2S stosowane są jony żelaza (III). Do ograniczenia warunków anaerobowych w kanalizacji stosuje się preparat z jonami azotanowymi NO_3^- , a w przypadku likwidacji odorów w zagęszczaczach grawitacyjnych osadów – z jonami nadmanganowymi MnO_4^- [88, 89, 204].

Wskaźnikiem oceny efektywności przebiegu procesu FERROX jest pomiar stężenia siarkowodoru.

System dozowania reagentów FERROX wraz z systemem pomiarowym mierzącym efektywność procesu jest optymalnie dobierany z uwzględnieniem indywidualnych potrzeb każdego klienta – eksploatatora sieci. Projektowany jest w taki sposób, aby swoją elastycznością obejmował maksymalny zakres skrajnych zachowań

sieci. Może być on sprzężony z wieloma danymi – parametrami ścieków (H_2S , temp., itp.) tak, aby w sposób optymalny sterować dawką [204].

Dozowanie FERROX-U ze stałą lub zmienną wydajnością może być prowadzone na różne sposoby, tj. do [116]:

- komory czerpnej pompowni w sposób ciągły,
- komory czerpnej pompowni w momencie uruchomienia się pompy tłocznej ścieków do jej wyłączenia (podanie sygnału z pompy tłocznej do pompy dozującej) – rozwiązanie to wymaga zastosowania pomp dozujących o znacznie większej wydajności niż w pierwszym przypadku,
- rurociągu tłocznego – dozowanie od momentu uruchomienia się pompy tłocznej ścieków do jej wyłączenia (podanie sygnału z pompy tłocznej do pompy dozującej),
- dopływu ścieków do przepompowni, np. studni rewizyjnej,
- punktu odbioru ścieków z wozów asenizacyjnych (uruchamianie sygnałem z zasuw).

Zasada działania FERROX jest następująca [88, 89, 166]:

Początkowo ścieki płynące kolektorami o zawartości $\text{O}_2 > 0,1 \text{ g/m}^3$ zużywają tlen do biodegradacji łatwo rozkładalnych substancji organicznych.

Strefa aerobowa: $\text{BZT} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

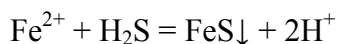
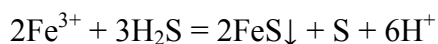
Po wyczerpaniu zapasu tlenu $\text{O}_2 < 0,1 \text{ g/m}^3$, bakterie do swojej aktywności życiowej korzystają z dostępnych w ściekach niewielkich ilości azotanów lub azotynów dostarczanych z zewnątrz z preparatem FERROX.

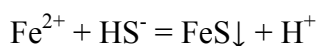
Strefa anoksydacyjna: $\text{BZT} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2$

Dawka azotanów zabezpieczająca przed H_2S wynosi $6 \text{ g NO}_3^- / 1 \text{ g H}_2\text{S}$. Po wyczerpaniu zapasu NO_3^- następuje szybko proces anaerobowy, w którym bakterie korzystając z obecności w ściekach dużych zasobów substancji organicznych, redukują dostępne siarczany do siarczków, uwalniając siarkowodor do atmosfery z kolektora ścieków.

Strefa anaerobowa: $\text{BZT} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2$

Obecnie w FERROX jony żelaza (III) dozowane do kolektora ścieków natychmiast reagują z tworzącym się siarkowodorem i rozpuszczonymi siarczkami.





Jak piszą autorzy, wytrącający się czarny, trudno rozpuszczalny osad siarczku żelaza (II), nie osadza się w kolektorze ściekowym i nie stwarza problemów w oczyszczaniu ścieków. Otóż jak się wydaje w oczyszczaniu nie lecz, zamulanie rurociągów prawdopodobnie następuje.

Stechiometrycznie do związania 1g H₂S potrzeba:

Fe (III) = 1,10 g Fe/g H₂S

Fe (II) = 1,65 g Fe/g H₂S

Opisując proces FERROX nie można zapomnieć o bardzo ważnym jego elemencie jakim jest monitorowanie. Składową każdej aplikacji procesu FERROX jest system pomiaru stężenia siarkowodoru w sieci, a więc efektywności całej aplikacji. Pomiar może być realizowany w sposób ciągły, w zależności od wymagań administratora. Rejestrowane wyniki są automatycznie przesyłane systemem GPRS do serwera, skąd dane te w postaci wykresu są dostępne poprzez Internet.

Proces FERROX jest dostosowywany do lokalnych warunków panujących w danym systemie kanalizacji ściekowej. Aplikacja całościowego rozwiązania umożliwia jego ciągłą optymalizację, w zależności od zmieniających się warunków sieciowych [204].

Kunicka-Partyka J. na Seminarium Naukowo-Technicznym nt.: Wszechstronność zastosowań chemikaliów na obiektach gospodarki wodno-ściekowej: nowe aplikacje 2005÷6, zaprezentowała wyniki badań szeregu przeprowadzonych testów w skali technicznej z zastosowaniem FERROX-U do eliminacji uciążliwości zapachowych będących następstwem generowania siarkowodoru w różnych rozwiązaniach systemów kanalizacyjnych [116]:

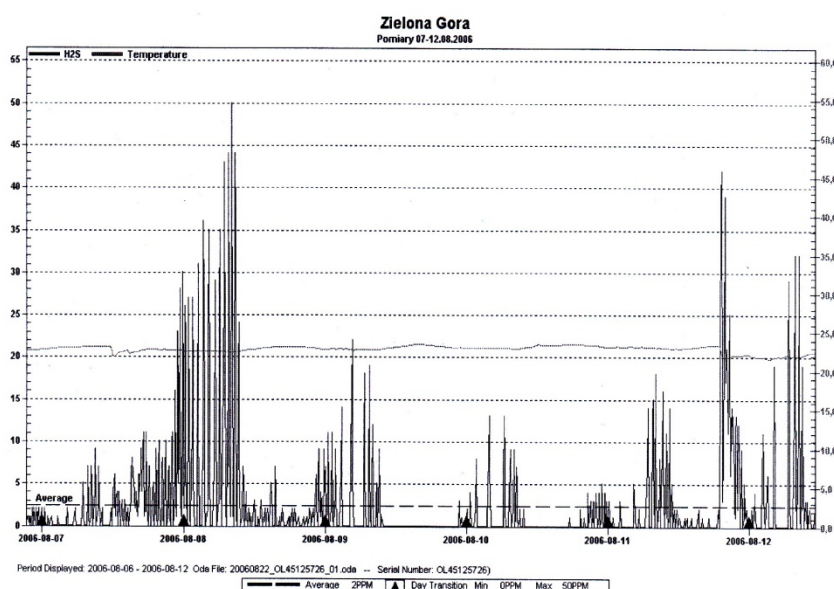
- kanalizacji ciśnieniowej,
- rozbudowanej kanalizacji z kilkoma, kaskadowo rozłożonymi pompowniami,
- długich odcinkach rurociągów tłocznych,
- w samych pompowniach, znajdujących się blisko zabudowań mieszkalnych,
- punktach zlewnych.

Testy na obiektach przeprowadzono w następujących miejscowościach [116]:

1. Zielona Góra – jedna pompownia, przepływ dobowy $Q_d = 380 \text{ m}^3$, stężenie siarkowodoru w komorze rozprężnej przed rozpoczęciem aplikacji FERROX-U wynosiło ok. 80–150 ppm. Założono dawkę FERROX-U równą 150 g/m^3 .

FERROX dozowany był do komory czerpальной pompowni w sprzężeniu z pompą tłoczną. Test trwał ok. dwóch miesięcy, w jego trakcie podawano różne dawki ($50\text{--}160\text{ g/m}^3$) i jednocześnie rejestrowano stężenie H_2S w komorze rozprężnej. Okazało się, że dawka na poziomie $80\text{--}120\text{ g/m}^3$ (w zależności od temperatury) jest wystarczająca dla uzyskania redukcji H_2S do poziomu $0\text{--}5\text{ ppm}$.

Przedstawiony poniżej rysunek 2.24 obrazuje rezultaty dozowania: w dn. 07.08.2006 do godz. 11:30 dawka wynosiła 150 g/m^3 – przy tej dawce nastąpiła redukcja H_2S do $0\text{--}1\text{ ppm}$, natomiast do godz. 9:00 w dn. 08.08.2006 w wyniku braku dozowania z uwagi na brak zasilania – poziom H_2S wzrósł do 50 ppm , od dn. 11.08.2006 dawka wynosiła 50 g/m^3 i przy tej dawce nastąpiły widoczne piki H_2S na poziomie 40 ppm .

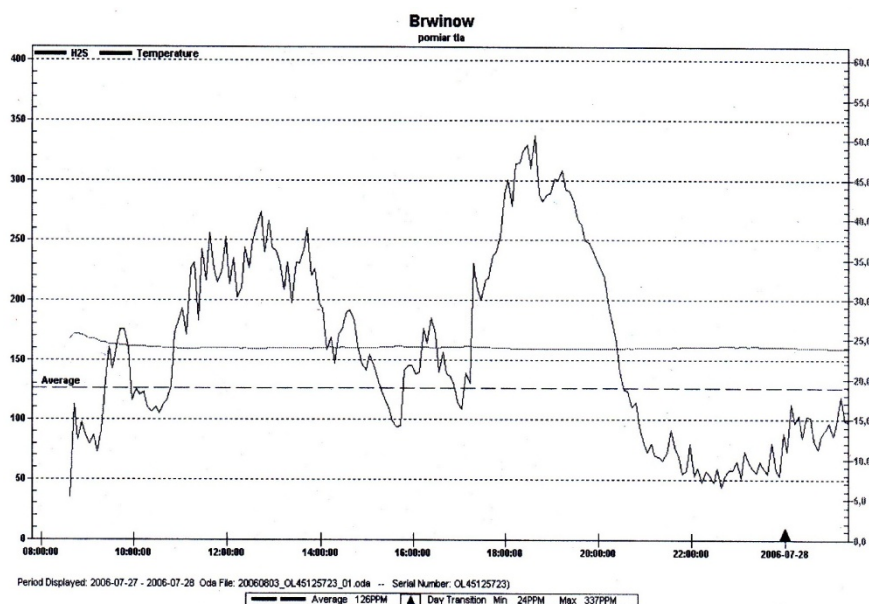


Rys. 2.24. Stężenie siarkowodoru w komorze rozprężnej po zastosowaniu FERROX [116]

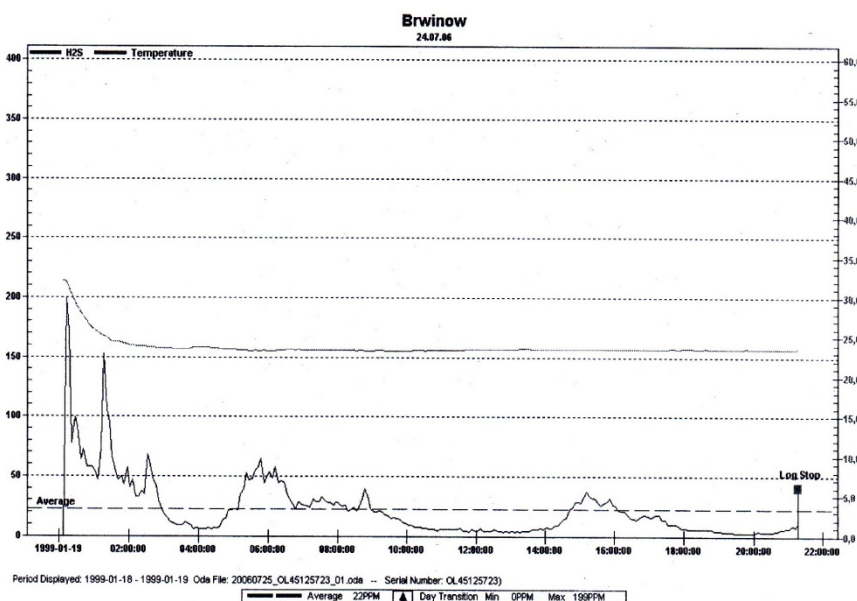
2. Bytów – kilka, kaskadowo położonych pompowni. FERROX dozowany był w trzech z czterech pompowni o różnych przepływach (odbiór ścieków z małych miejscowości), długich czasach przetrzymania i długich odcinkach rurociągu tłocznego. Założono dawkę FERROX-U w zakresie $150\text{--}350\text{ g/m}^3$ ścieków. Dozowanie następowało bezpośrednio do rurociągów tłocznych w sprzężeniu z pompami tłocznymi. W wyniku aplikacji FERROX-U nastąpiła redukcja stężenia siarkowodoru do poziomu $0\text{--}5\text{ ppm}$. W dwóch pompowniach założono zbyt małe dawki FERROX-U, co w efekcie powodowało notowanie wyższych stężeń H_2S , ale ich nieznaczne podwyższenie pozwoliło na całkowitą redukcję odorów.

3. Grodzisk Mazowiecki (dozowanie w Brwinowie) – jedna pompownia, przepływ dobowy $Q_d = 540 \text{ m}^3$. W tym przypadku założona dawka FERROX-U 150 g/m^3 okazała się za mała (notowano stężenie H_2S na poziomie 350 ppm), dlatego zwiększono ją do 300 g/m^3 . Dozowanie sprzężono z pompami tłocznymi do studni czerpnej pompowni. Otrzymane wyniki pomiarów H_2S w studni rozprężnej pokazały redukcję nawet do 3–5 ppm, ale także obecność pików na poziomie 20–50 ppm, co sugerowało konieczność podniesienia dawki do 350 g/m^3 .

Przedstawiony poniżej pierwszy rysunek 2.25 pokazuje pomiar tła, natomiast drugi 2.26 efekty dozowania FERROX-U.



Rys. 2.25. Stężenie siarkowodoru w komorze rozprężnej przed zastosowaniem FERROX [116]



Rys. 2.26. Stężenie siarkowodoru w komorze rozprężnej po zastosowaniu FERROX [116]

4. Kobylnica – kanalizacja ciśnieniowa na końcu której, w komorze rozprężnej **notowano śmiertelne stężenie H_2S , powyżej 1000 ppm**. Średniodobowy przepływ ścieków wynosił ok. 310 m^3 . Dotychczas w celu redukcji siarkowodoru stosowany był $KMnO_4$, lecz pomyślne rezultaty przeprowadzonego testu z FERROX-EM oraz rachunek ekonomiczny zdecydował o docelowej zmianie reagenta. Zastosowane dawki FERROX-U to $350\text{--}750\text{ g/m}^3$. Dozowanie prowadzone było bezpośrednio do rurociągu tłocznego w ostatniej przepompowni zbiorczej.
5. Poznań – punkt zlewny ścieków dowożonych – ok. $1000\text{ m}^3/\text{d} + 300\text{ m}^3/\text{d}$ dopływających do pompowni ścieków bytowo-gospodarczych. Chwilowe pomiary tła pokazały stężenie powyżej 600 ppm (mogły przekraczać 1000 ppm). Tu dla porównania podawano przez miesiąc preparat FERROX, a następnie przez kolejny miesiąc PIX. Dozowanie prowadzono automatycznie do każdego z dwóch punktów odbioru ścieków z wozów asenizacyjnych osobno, ze stałą wydajnością (dozowanie uruchamiano sygnałem z zasuwy). W niedziele i dni wolne (brak ścieków dowożonych) dozowano tylko preparat FERROX do komory czerpnej pompowni (dawka 150 g/m^3). Pomiary kontrolne poziomu siarkowodoru prowadzone były przy pomocy mierników GusHunter (zakres pomiarowy $0\text{--}120\text{ ppm}$) w dwóch punktach: komorze czerpnej przepompowni ścieków oraz komorze rozprężnej rurociągu tłocznego.

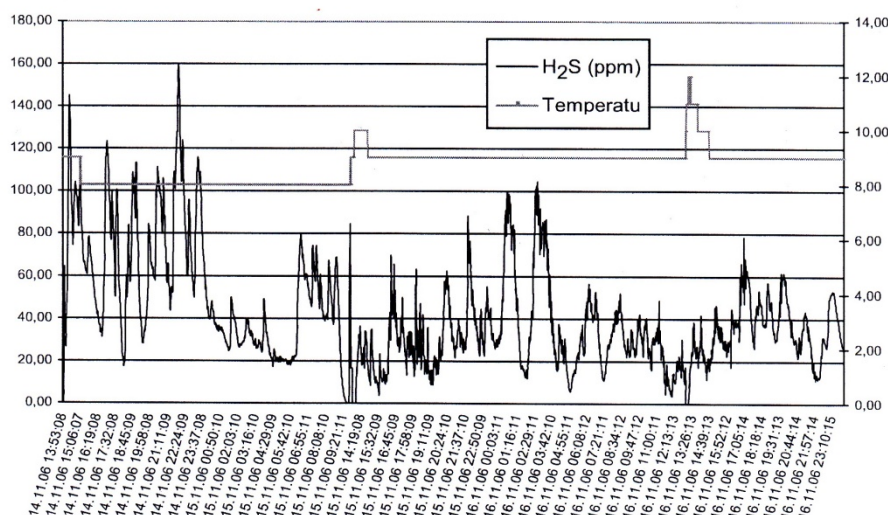
Początkowo ustalono wysokość dawki FERROX-U na 150 g/m^3 , lecz docelowo aplikowano 350 g/m^3 , zarówno FERROX, jak i PIX.

Wyniki testu pokazały poprawność działania obu środków, przy czym zdecydowanie, jako bardziej efektywny i spełniający rolę środka redukującego odory uznano FERROX. Własności preparatu FERROX, jego skład, pozwoliły na uzyskanie bardzo dużych redukcji stężenia siarkowodoru, zwłaszcza w komorze rozprężnej (jeden z najbardziej problematycznych pod względem uciążliwości zapachowych i korozyjności element układu kanalizacyjnego) średnio do $0\text{--}3\text{ ppm}$. Uzyskanie redukcji stężenia siarkowodoru do założonego poziomu 5 ppm w samej pompowni było trudne, z uwagi na krótki okres czasu kontaktu FERROX-U oraz na dużą niejednorodność ścieków dowożonych (czasem są to wręcz osady z szamb gromadzone miesiącami) pod względem ilości wygenerowanego już siarkowodoru na skutek zawansowania beztlenowych procesów rozkładu biomaterii. Niezwykle trudno było wyznaczyć dawkę optymalną, pozwalającą na uzyskanie średniego stężenia H_2S w komorze czerpnej na poziomie 5 ppm , a która byłaby jeszcze uzasadniona rachunkiem ekonomicznym.

Uberna A. na Seminarium Naukowo-Technicznym nt. Różnorodność zastosowań chemii w oczyszczaniu ścieków, obróbce osadów i zwalczaniu odorów, przedstawił przykład zastosowania procesu FERROX w powiązaniu z opisem sposobu prowadzenia procesu FERROX oraz uzyskiwanymi efektami. Badaniom został poddany system kanalizacji ściekowej o przepływie ścieków $Q = 100 \text{ m}^3/\text{d}$ i długości odcinka tłocznego kanału ściekowego $L = 4 \text{ km}$.

W wyniku podłączenia okolicznych wiosek do badanego systemu kanalizacyjnego w pobliskim mieście, gdzie ścieki dopływały do oczyszczalni ścieków nastąpiło powstanie uciążliwości zapachowych. Efektem tego były skargi zgłaszane przez osoby mieszkające w bezpośrednim sąsiedztwie studni rozprężnej [204].

Na rysunku 2.27 autor przedstawił stężenie H_2S w komorze rozprężnej, które wahało się 2–160 ppm [204].

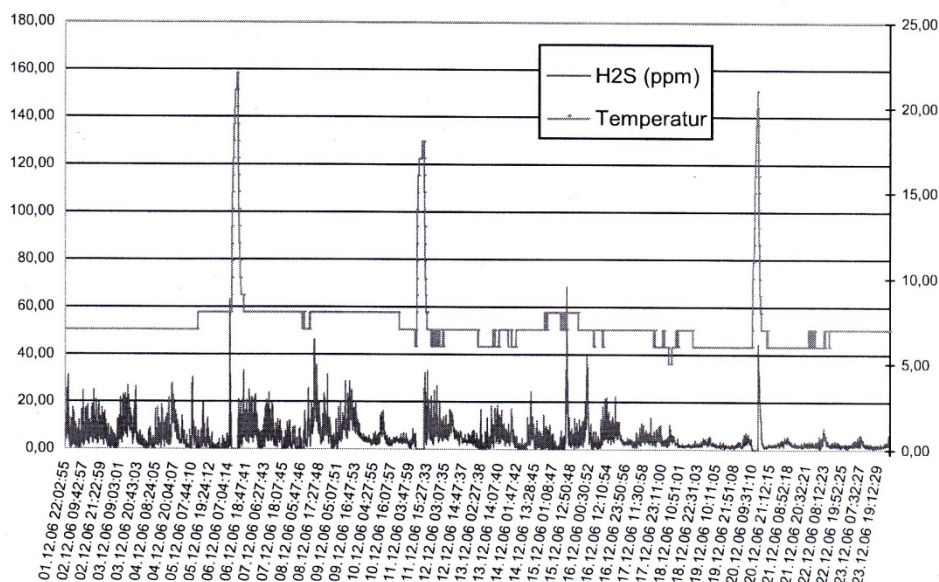


Rys. 2.27. Stężenie siarkowodoru w komorze rozprężnej przed zastosowaniem procesu FERROX [204]

W celu ograniczenia uciążliwości nieprzyjemnych zapachów zastosowano proces FERROX, którego efekt działania został przedstawiony na rysunku 2.28. Dawka zastosowanego produktu FERROX wynosiła 100 g/m^3 . Stężenie siarkowodoru po zastosowaniu tego produktu wahało się 0–30 ppm.

Produkt dozowany był bezpośrednio do kanału ściekowego poprzez króciec i zawór zwrotny, i który sprzężono ze wskazaniem przepływomierza. Cały układ magazynowo-dozujący został schowany w studni rewizyjnej w celu zabezpieczenia go przed uszkodzeniami przez osoby postronne [204].

Analiza wyników przedstawionych na rysunkach 2.27 i 2.28 pozwoliła autorowi stwierdzić, że proces FERROX, którego dostawcą jest firma KEMIPOL charakteryzuje się wysoką skutecznością, ponieważ stężenie H_2S zmniejszyło się do kilku ppm, a tym samym problem nieprzyjemnych zapachów został rozwiązany [204].



Rys. 2.28. Stężenie siarkowodoru w komorze rozprężnej po zastosowaniu procesu FERROX [204]

Woroszyło W. w pracy [215] przedstawił wyniki przeprowadzonych testów z zastosowania reagenta FERROX w celu ograniczenia zagniwania ścieków dopływających do Oczyszczalni Ścieków „CENTRALNA” w Bytomiu.

Badana oczyszczalnia ścieków przyjmuje ścieki komunalne o charakterze bytowym z terenu Bytomia i Radzionkowa w ilości 20–25 tys. m³/d. Ścieki Bytomskie dostarczane są głównie pompowo (pompownia Śródmieście) w ilości 12–17 tys. m³/d na przemian dwoma kolektorami tłocznymi o długości 8,2 km i średnicy 600 mm, wykonanymi z PE. Reszta ścieków, tj. z północnych dzielnic Bytomia i sąsiedniego Radzionkowa na oczyszczalnię spływa w sposób grawitacyjny.

Ścieki docierające pompowo i grawitacyjnie do Oczyszczalni Ścieków „CENTRALNA” charakteryzują się bardzo wysoką zagniwalnością, której towarzyszy emisja nieprzyjemnych zapachów. Mierzone stężenia siarkowodoru w komorze rozprężnej na końcówce rurociągów tłocznych, zlokalizowanej na oczyszczalni osiągają wartość ponad 100 ppm [215].

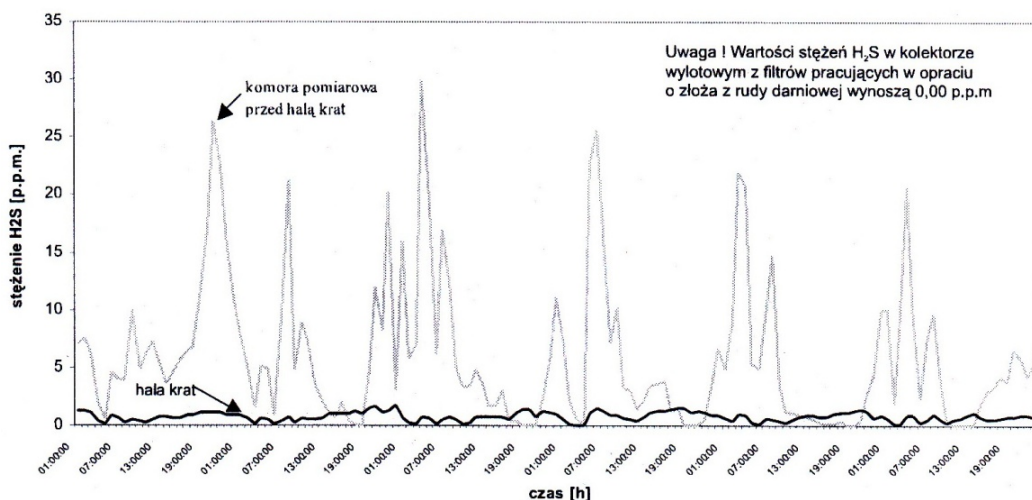
W celu ograniczenia lub eliminacji nieprzyjemnych zapachów przeprowadzono testy z zastosowaniem reagenta FERROX. Jako miejsce dozowania wyznaczono kanał

dopływowy do hali krat w Pompowni Ścieków „Śródmieście”. Reagent w teście podawano w sposób ciągły w przeciągu całej doby, w ilości 27–37 l/h (nastawy 4–6).

Uzyskane wyniki z przeprowadzonego testu pozwoliły autorowi pracy [215] stwierdzić o wysokiej skuteczności działania reagenta FERROX. Jego zastosowanie pozwoliło na redukcję stężenia siarkowodoru z 120 ppm do wartości mniejszej od 20 ppm, mierzonego w komorze rozprężnej ścieków tłoczonych rurociągami tłocznymi.

Pełniejszą i globalną ocenę skuteczności działania reagenta uzyskano w oparciu o dodatkowy pomiar stężenia siarkowodoru, w takich miejscach jak: komora pomiarowa na sumie ścieków dopływających do hali krat, pomieszczenie hali krat i kolektor zbiorczy powietrza po filtracji na złożach rudy darniowej. W okresie, w którym dokonywano dodatkowej oceny skuteczności działania reagenta FERROX nie zanotowano opadów deszczu, a temperatura powietrza była porównywalna. Reagent podawano w godzinach 16:00–6:00 (14 godzin) przy dawce ok. 20 l/h (nastawa – 3), co dawało zużycie 280 l/d [215].

Uzyskane wyniki z tego okresu Woroszyło W. przedstawił na rysunku 2.29.



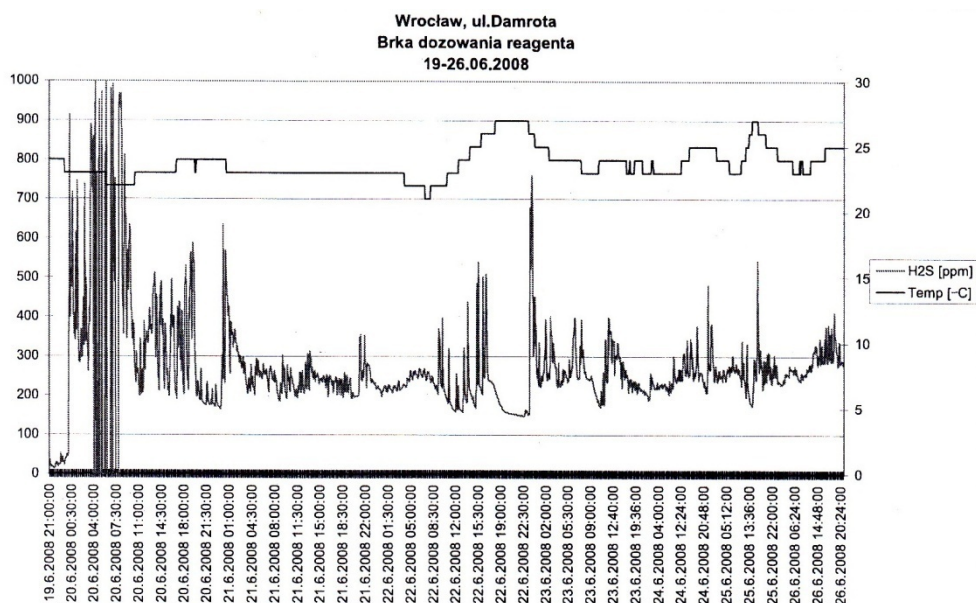
Rys. 2.29. Stężenie siarkowodoru po zastosowaniu reagenta FERROX w komorze pomiarowej na sumie ścieków dopływających do hali krat, pomieszczeniu hali krat i kolektorze zbiorczym powietrza po filtracji na złożach rudy darniowej [215]

Dodatkowo przeprowadzone testy potwierdziły wysoką skuteczność działania reagenta FERROX do zmniejszenia stężenia siarkowodoru, a tym samym uciążliwości zapachowej [215].

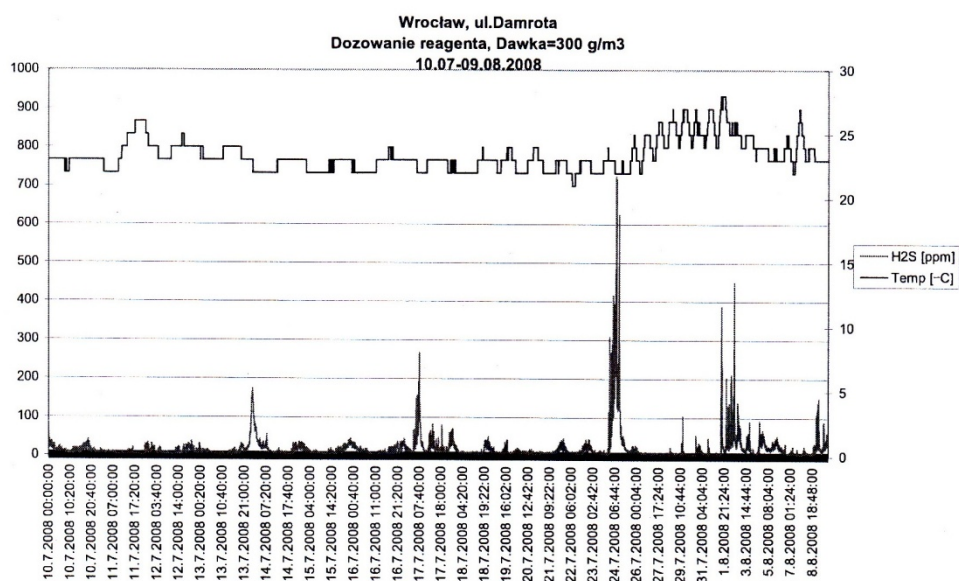
Uberna A. i Siciński T. na Seminarium Naukowo-Technicznym pt.: Nowe zastosowania chemii w technologii oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych w Mikołajkach, przedstawili opisy obiektów we Wrocławiu, na których wdrożono proces FERROX.

Pierwszym badanym obiektem przez autorów pracy [203] był odcinek kanalizacji w rejonie północno-wschodnim Wrocławia. Ścieki z obszarów dzielnicy Psie-Pole poprzez trzy przepompownie ścieków (Psie-Pole, Widawa, Dobra) przewodami tłocznymi dopływają do komory rozprężnej przy ul. Damrota, skąd wydzielają się nieprzyjemne zapachy. Ilość ścieków wynosi $5250 \text{ m}^3/\text{d}$ [203].

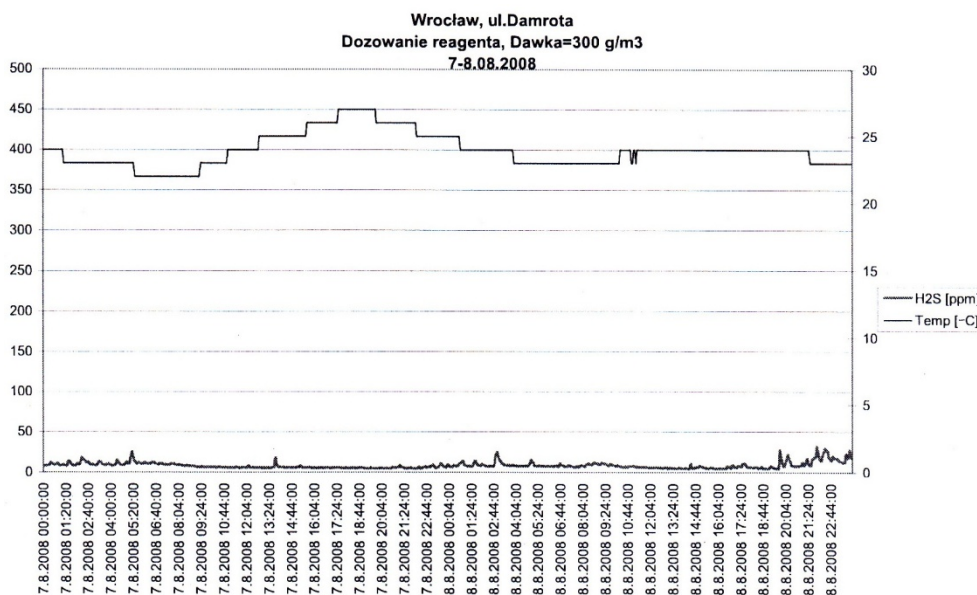
Na rysunkach 2.30, 2.31, 2.32 autorzy przedstawili efekty w postaci wartości stężeń siarkowodoru w okresie 1,5 miesięcznego dozowania reagentów chemicznych FERROX.



Rys. 2.30. Stężenie siarkowodoru bez zastosowania reagenta FERROX [203]



Rys. 2.31. Stężenie siarkowodoru po zastosowaniu reagenta FERROX [203]



Rys. 2.32. Stężenie siarkowodoru po zastosowaniu reagenta FERROX [203]

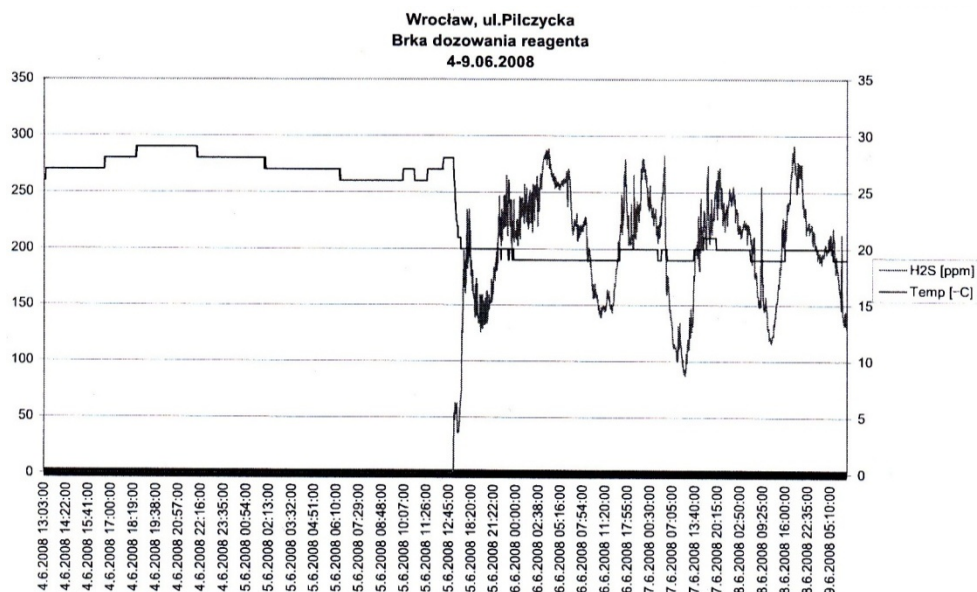
Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunkach 2.30, 2.31, 2.32 autorzy stwierdzili, że okresowe i mające charakter chwilowy wzrosty stężenia siarkowodoru były wywołane w okresach po-deszczowych, kiedy to z sieci w skutek burzliwych przepływów wypłukiwane były nagromadzone złoże. Dodatkowo odnotowano pewien wzrost podczas wstrzymania dozowania z przyczyn technicznych, tj. awarii na przepompowni ścieków, czy też przeglądu instalacji dozującej reagent.

Uzyskane efekty w postaci przedstawionych stężeń świadczą o wysokiej skuteczności działania reagenta FERROX, gdyż od dnia dozowania reagenta nastąpił duży spadek siarkowodoru i nie miało miejsca żadne zgłoszenie przez mieszkańców o nieprzyjemnych zapachach [203].

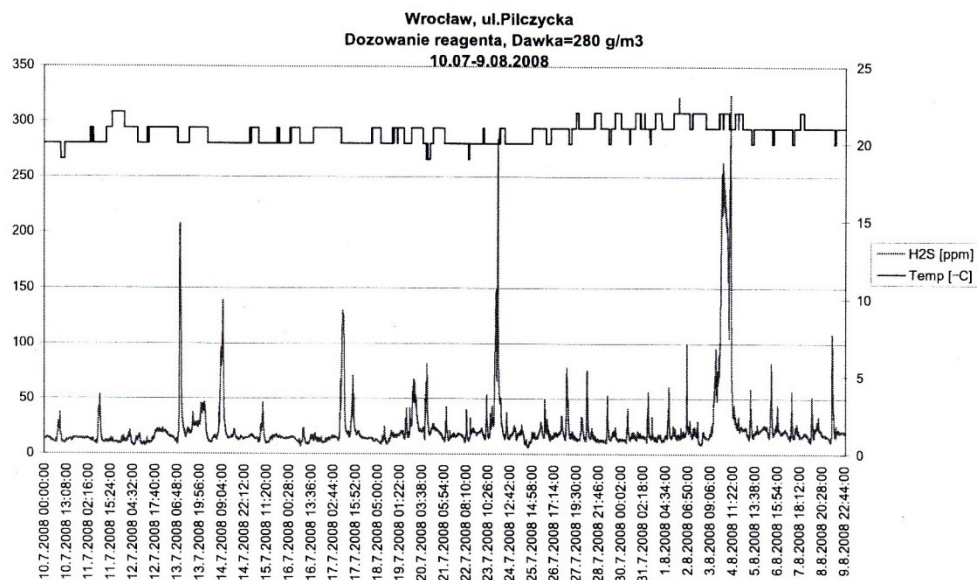
Drugim obiektem, na którym wdrożono dozowanie reagentów była przepompownia Nowy Port, skąd ścieki w ilości ok. 40 000 m³/d są tłoczone kolektorem w kierunku Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków. Ścieki tłoczone na przepompowni ulegają rozprężeniu w komorze rozprężnej i powodują wydzielanie się nieprzyjemnych zapachów.

Na rysunkach 2.33, 2.34, 2.35 autorzy pracy [203] przedstawili efekty w postaci wartości stężeń siarkowodoru w okresie 1,5 miesięcznego dozowania reagentów chemicznych FERROX.

W tym przypadku również od dnia rozpoczęcia dozowania nie zanotowano żadnych zgłoszeń ze strony mieszkańców o nieprzyjemnym zapachu [203].



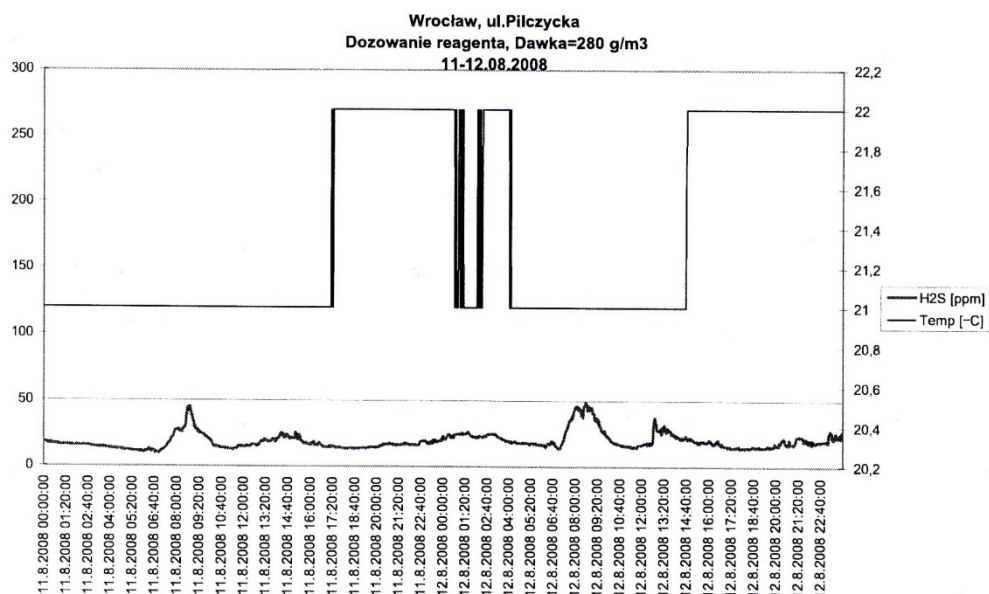
Rys. 2.33. Stężenie siarkowodoru bez zastosowania reagenta FERROX [203]



Rys. 2.34. Stężenie siarkowodoru po zastosowaniu reagenta FERROX [203]

Uberna A. i Siciński T. analizując wpływ dozowanych reagentów zwrócili uwagę na okres wysokich temperatur panujących w okresie początkowym po rozpoczęciu dozowania, tj. lipiec 2008, co przekładało się na większą intensywność procesów gnilnych, a zobrazowały to wskazania temperatury panującej w studni rozprężnej.

Wartości temperatur powyżej 22°C były bardzo wysokimi wskazaniem. W okresach jesienno-zimowych i wiosennych obserwowane w latach ubiegłych temperatury osiągały wartości 14–18°C, co zdecydowanie redukowało skalę problemu [203].



Rys. 2.35. Stężenie siarkowodoru po zastosowaniu reagenta FERROX [203]

Podsumowując autorzy pracy [203] potwierdzili wysoką skuteczność działania reagenta FERROX, który wpływa na eliminację uciążliwości zapachowych [203].

Młoczek A. i Uberna A. na Seminarium Naukowo-Technicznym nt.: Wszechstronność zastosowań chemicznych procesów oczyszczania ścieków na obiektach komunalnych i przemysłowych w Karpaczu, przedstawili wyniki badań zastosowania produktu FERROX C1 w Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Bolesławcu.

Test, a następnie trwałe wdrożenie przeprowadzili na 3 wyodrębnionych obiektach o typowym układzie [133]:

pompownia – rurociąg tłoczny – studnia rozprężna

W tabeli 2.21 autorzy przedstawili opis obiektów poddanych badaniom.

Tabela 2.21. Opis obiektów [133]

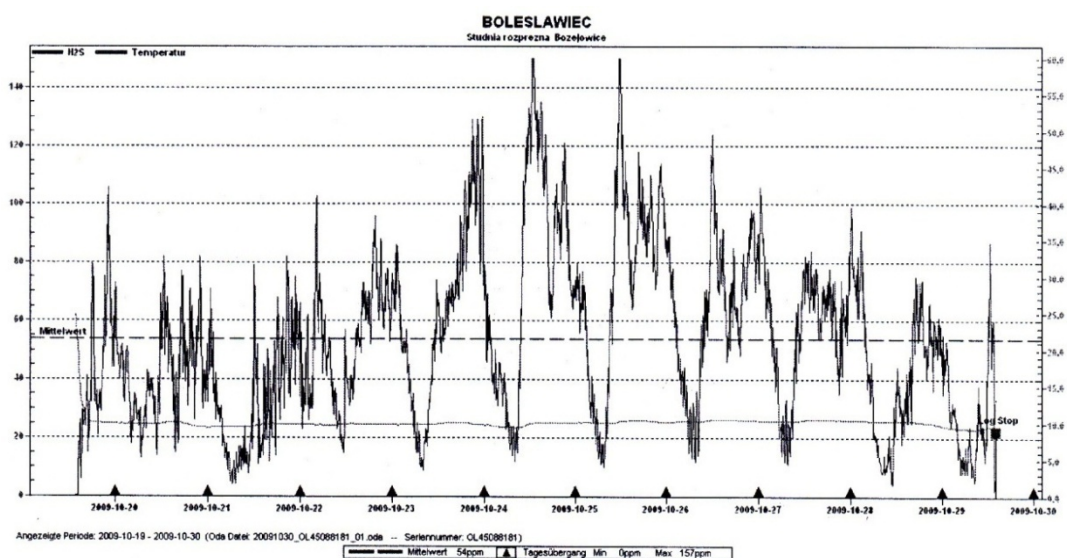
Lp	Lokalizacja pompowni	Przewód tłoczny	Lokalizacja studni rozprężnej	Ilość ścieków
1.	Nowe Jaroszewice	3195 m, DN 125	Bolesławiec, ul. Matejki	3600 m ³ /m-c
2.	Rakowice	2107 m, DN 110	Bolesławiec, ul. Śluzowa	5300 m ³ /m-c
3.	Mierzwin	3483 m, DN 225	Bolesławiec, ul. Zabobrze	6300 m ³ /m-c

Wszystkie wymienione przepompownie ścieków znajdują się w kilkukilometrowej odległości od granic miasta Bolesławiec. Ścieki tłoczone, ulegają rozprężeniu w studniach rozprężnych, znajdujących się w Bolesławcu lub na jego przedmieściach w sąsiedztwie zabudowań mieszkalnych [133].

W celu zmniejszenia uciążliwości zapachowych dla opisanych obiektów zastosowano dawki reagenta FERROX C1 w zakresie 150–200 g/m³.

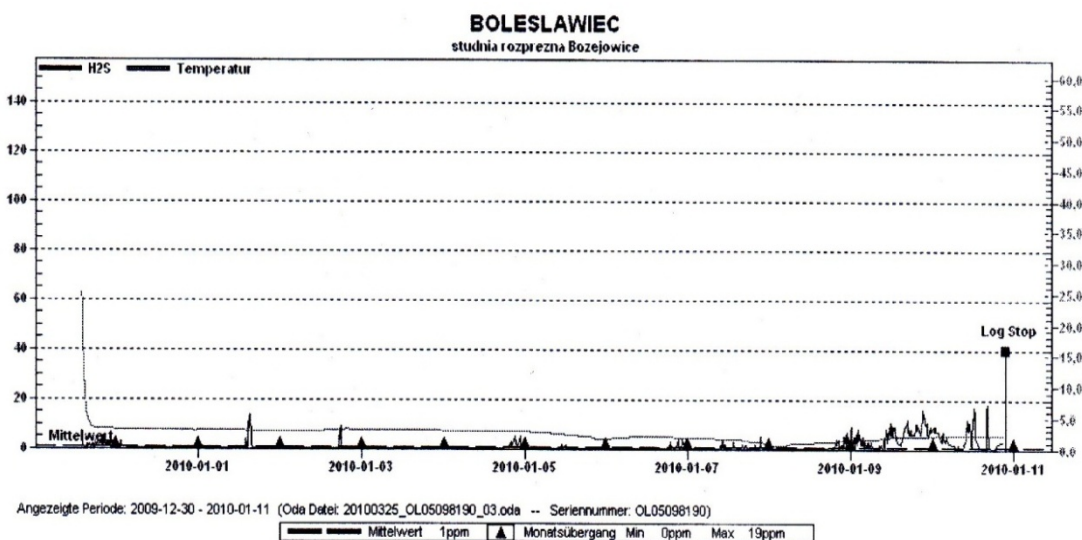
Dozowanie odbywało się w układzie sprzężenia pracy pomp ścieków oraz pompy dozującej reagent, tzn. dozowanie reagenta następowało tylko wtedy, kiedy do pompowni dopływały ścieki oraz przy założeniu jednakowej dawki dla każdego pojedynczego metra sześciennego ścieków [133].

Na poniższych rysunkach 2.36. i 2.37 Młócek A. i Uberna A. przedstawili stężenie siarkowodoru przed oraz po zastosowaniu reagenta FERROX C1.



Rys. 2.36. Stężenie siarkowodoru przed dozowaniem reagenta FERROX C1 [133]

Rysunek 2.36 przedstawia wartości stężenia na poziomie do 150 ppm i dodatkowo obrazuje dobową cykliczność stężenia, co wynika z jednakowego trybu pracy przepompowni [133].



Rys. 2.37. Stężenie siarkowodoru przed dozowaniem reagenta FERROX C1 [133]

Natomiast na rysunku 2.37 autorzy pracy [133] przedstawili uzyskaną redukcję stężenia siarkowodoru do wartości nie większej niż 20 ppm, co dla opisywanego układu jest wartością wystarczającą do uniknięcia uciążliwości zapachowych.

Również w tym przypadku Młoczek A. i Uberna A. potwierdzają wysoką skuteczność działania reagenta FERROX C1 w celu eliminacji nieprzyjemnych zapachów [133].

2.1.11.4. Likwidacja uciążliwości zapachowej w oczyszczalniach ścieków poprzez hermetyzację, wentylację oraz zastosowanie biofiltrów

Dadej W. w pracy [49] przedstawił technologię dezodoryzacji, jaką zastosowano na oczyszczalni ścieków „Hajdów” w Lublinie celem ograniczenia uciążliwości zapachowej.

Oczyszczalnia ścieków „Hajdów” jest jedną z największych oczyszczalni w Polsce zlokalizowaną po prawej stronie Wisły. Położona jest w północno-wschodniej części Lublina na prawym brzegu rzeki Bystrzycy. Jej powierzchnia wynosi ok. 40 ha, a przepustowość 165 tys. m³/dobę. Odbiornikiem oczyszczanych ścieków jest Bystrzyca.

W celu ograniczenia uciążliwości zapachowej wybrano rozwiązanie polegające na hermetyzacji najbardziej uciążliwych obiektów, ich wentylowaniu i oczyszczaniu złozonego powietrza na biofiltrach [49].

Głównymi emitarami substancji odorogennych w oczyszczalni „Hajdów” były komory: zwężek pomiarowych, klap awaryjnych i zrzutu awaryjnego ścieków, budynek krat, pompownia ścieków surowych, piaskownik, osadniki wstępne oraz zagęszczacze grawitacyjne osadu surowego.

Hermetyzacja polegała na przykryciu komory zwężek pomiarowych trzema kopułami z laminatu poliestrowo-szklanego (z otworami wejściowymi i rewizyjnymi), opartymi na konstrukcji żelbetowej komory. Płaskie pokrywy z laminatu służyły do przykrycia studzienek pomiarowych przepływomierzy ultradźwiękowych. Komorę zrzutu awaryjnego również przykryto dwiema kopułami wspartymi na fundamencie żelbetowym. Natomiast budynek krat zhermetyzowano w powiązaniu z gruntową modernizacją technologii transportu i odwadniania skratek wewnątrz obiektu oraz transportu skratek na składowisko. W miejscu krat KUMP – 1800 o prześwicie szczelin 20 mm, wykonanych ze zwykłej stali, zamontowano kraty schodkowe firmy MEVA o czterokrotnie mniejszym prześwicie, wykonane ze stali nierdzewnej, pozwalające odprowadzić uwalniające odory poprzez wentylację podciśnieniową do biofiltra.

Zastosowano też hermetyczny transport skratek z krat do kontenera spiralnymi przenośnikami oraz przykryto otwory na kanałach wewnątrz budynku krat. Powietrze z urządzeń transportujących skratki oraz kontenera odprowadzano poprzez wentylację podciśnieniową do biofiltra [49].

Komory czerpalne przepompowni ścieków surowych zhermetyzowano poprzez ich szczelne zamknięcia murowanymi ścianami i wykonano nową wentylację wyciągową i nawiewną. Piaskownik przykryto elementami z żywic syntetycznych na konstrukcji ze stali nierdzewnej oraz zmieniono technologię usuwania piasku. Ponadto przeprowadzono hermetyzację dwóch zagęszczaczy osadu surowego poprzez przykrycie ich stożkowymi łupinami z laminatu o kształcie konoidalnym.

Po wykonaniu hermetyzacji ww. obiektów przystąpiono do realizacji instalacji dezodoryzacji powietrza. Ze względów lokalizacyjnych instalacja ta objęła dwie grupy obiektów, tzn. komory zwęzek pomiarowych, zrzutu awaryjnego ścieków i klap awaryjnych, budynek krat i komorę czerpalską przepompowni ścieków surowych (I grupa) oraz dwa zagęszczacze osadu surowego (II grupa) [49].

W zhermetyzowanych obiektach lub ich części bez obsługi zapewniono stałą wentylację o krotności dwóch wymian powietrza na godzinę (w/h), zaś w obiektach do których okresowo wchodzi obsługa, krotność wymiany powietrza wynosi 10 w/h. Następnie dla każdej z powyższych grup obiektów zrealizowano jeden zespół wentylacji wyciągowej ze skierowaniem powietrza do dezodoryzacji na biofiltr, gdzie następuje jego oczyszczenie z odorów.

Dla pierwszej grupy obiektów powietrze w ilości 5300 m³/h oczyszczane jest na biofiltrze firmy LAMINOPOL o objętości biomasy 65 m³, zaś powietrze z drugiej grupy obiektów na biofiltrze firmy S&H Engineering KG (Niemcy) o objętości biomasy 24m³. Po oczyszczeniu na biofiltrach bezwonne powietrze kierowane jest bezpośrednio do atmosfery [49].

Według autora pracy [49] zastosowane na oczyszczalni ścieków „Hajdów” rozwiązania skutecznie likwidują zapachowe uciążliwości, co potwierdzają przeprowadzone badania.

Dadej W. w tabeli 2.22 przedstawił wyniki pomiarów stężeń substancji odorotwórczych, które miały największy wpływ na intensywność zapachu. Pomiary zanieczyszczeń wykonał w powietrzu kierowanym ze zhermetyzowanych obiektów (przed biofiltrem), a następnie po jego oczyszczeniu na biofiltrze [49].

Tabela 2.22. Zestawienie uzyskanych efektów ekologicznych przedsięwzięcia [49]

Rodzaj zanieczyszczeń oddziałujących na środowisko	Stężenie [mg/m ³]		Efekt ekologiczny % redukcji
	Stan wyjściowy	Stan obecny	
Pierwsza grupa obiektów (BIOFILTR 1)			
Siarkowodór, tiole (merkaptany), sulfidy i disulfidy (siarczki)	17,60	0,01	99,94
Amoniak	0,80	0,04	95,00
Druga grupa obiektów (BIOFILTR 2)			
Siarkowodór, tiole sulfidy i disulfidy	5,79	0,12	97,93
Amoniak	1,43	0,07	95,10

Z wykonanych pomiarów wynika, że skuteczność zastosowanych rozwiązań jest bardzo wysoka – w granicach 95–100%. Osiągnięto zatem zakładany efekt ekologiczny w postaci wysokiej redukcji najważniejszych substancji odorogennych.

Dodatkowo w związku z tym, że usunięcie odorów następuje u źródeł ich powstawania, to powoduje poprawę warunków pracy załogi oczyszczalni, a wykorzystana biologiczna metoda usuwania odorów eliminuje konieczność stosowania środków chemicznych i ich neutralizacji. Powstający w wyniku oczyszczania powietrza na biofiltrach kondensat występuje w niewielkich ilościach i jest oczyszczany bez problemu razem ze ściekami surowymi. Zrealizowane rozwiązanie, w porównaniu do stosowanych tradycyjnie stref ochrony sanitarnej wokół tego typu obiektów, eliminuje konieczność stosowania kosztownych wywłaszczeń terenu i wysiedlania dotychczas zamieszkałej na nich ludności. Instalacja, która została zlokalizowana na terenie oczyszczalni jest prosta i tania w eksploatacji, a ponadto nie wymaga ciągłej obsługi, jedynie okresowego dozoru i kontroli oraz badań laboratoryjnych parametrów pracy biomasy [49].

Marecka B. w artykule [131] określiła zasięg zapachowego oddziaływania oczyszczalni oraz przeprowadziła analizę skarg na zapachową uciążliwość zakładu w oparciu o kryterium uciążliwości zapachu, odpowiadające percentylowi 98% stężenia zapachowego $C_{od, 98\%} = 1,5 \text{ ou}_E/\text{m}^3$.

Głównym źródłem emisji odorów badanej przez Marecką B. oczyszczalni ścieków są otwarte do atmosfery powierzchnie kanałów i zbiorników oraz osadów ściekowych [131].

Próby gazu do analizy olfaktometrycznej pobrano w miesiącach letnich z 11 najbardziej znaczących powierzchniowych źródeł emisji odorów oraz 2 źródeł emisji punktowej (tabela 2.23).

W celu określenia skuteczności dezodoryzacji biofiltra pobrano próby gazowe z dwóch przewodów doprowadzających i jednego przewodu wylotowego z biofiltra [131].

Marecka B. w tabelach 2.23 i 2.24 przedstawiła wyniki z badań.

Tabela 2.23. Wielkość wyznaczonych wskaźników emisji zapachowej oraz emisji siarkowodoru i amoniaku dla poszczególnych etapów oczyszczania ścieków [131]

Typ emisji	Etap procesu oczyszczania	Źródło	Średni wskaźnik emisji
			Wskaźnik emisji zapachowej [ou _E /m ² /s]
Źródło emisji powierzchniowej	Oczyszczanie wstępne (I stopnia)	Piaskownik (komora wlotowa)	52,1
		Składowanie żwiru	14,6
		Składowanie skratek	127,7
		Osadnik wstępny	6,4
	Oczyszczanie II stopnia	Komora fermentacyjna (beztlenowa)	1,2
		Reaktor osadu czynnego	0,9
	Osady ściekowe i ich obróbka	Zbiornik mechanicznego zagęszczania	25,8
		Przesącz ze zbiornika z osadem wapiennym	4,6
		Zbiornik z osadem importowanym	50,8
		Komora recyrkulowanego osadu czynnego	1,4
		Próbka osadu wapiennego	3,4 [ou _E /g]
Typ emisji	Etap procesu oczyszczania	Źródło	Stężenie zapachowe [ou _E /m ³]
Źródło emisji punktowej	Biofiltr	Wlot 1	35457,4
		Wlot 2	68823,2
		Wylot	1355,0
	Instalacja dozowania wapna do objętości osadu ściekowego	Komin wylotowy	534,1

Tabela 2.24. Hierarchia źródeł emisji zapachowej pod względem wyznaczonej wielkości strumienia emisji i jej udziału w całkowitej emisji z zakładu oczyszczania ścieków [131]

Źródło	Wielkość strumienia emisji [ou_E/s]	% udział w całkowitej emisji z zakładu
Komora wlotowa	24 019	38
Zbiornik z alkalizowanym osadem ściekowym	14 784	23,4
Osadniki wstępne	5094	8,1
Reaktor osadu czynnego	4306	6,8
Zbiornik zagęszczania mechanicznego	4045	6,4
Zbiorniki awaryjne	3850	6,1
Załadunek osadu ściekowego z dodatkiem wapna	1687	2,7
Biofiltr	1515	2,4
Oczyszczanie osadu ściekowego ze skratek	1222	1,9
Osad wstępny (z osadników wstępnych)	1203	1,9
Materiał stały (skratki ściekowe)	766	1,2
Komora fermentacyjna (strefa beztlenowa)	389	0,6
Recykulowany osad czynny (nadmiar)	194	0,3
Przesącz ze zbiornika z osadem wapiennym	106	0,2
Składowanie żwiru	88	0,1
Instalacja dozowania wapna do objętości osadu ściekowego	0,4	< 0,1
Suma	63 268	100

Marecka B. na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdziła, że pierwszy etap oczyszczania ścieków charakteryzuje się największymi wartościami wskaźników emisji. Po procesie wstępnej sedymentacji i oczyszczania biologicznego wielkość wskaźnika emisji zapachowej ścieków zmalała ok. 60-krotnie. Stwierdziła również, iż najbardziej znaczącym źródłem emisji odorów jest komora wlotowa z przynależnymi kanałami (38% całkowitego strumienia emisji) ze względu na charakterystykę zapachową strumienia emisji, duże otwarte do atmosfery powierzchnie emisji, oraz znaczną burzliwość strumieni ścieków [131].

Potwierdziła, iż biofiltr osiąga wysoką skuteczność dezodoryzacji na poziomie 98,7%. Spośród 19 skarg na zapachową uciążliwość zakładu, zarejestrowanych w okresie styczeń 2005 sierpień 2006 r., 16 pochodziło z obszaru wokół oczyszczalni

(powierzchnia 1,43 km²), na którym przekroczone zostało kryterium zapachowej jakości powietrza – percentyl 98% stężenia zapachowego $c_{od} = 1,5 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ [131].

2.1.11.5. Ograniczenie uciążliwości zapachowej odpadów ściekowych poprzez zastosowanie biopreparatów

2.1.11.5.1. Zastosowanie biopreparatów do eliminacji nieprzyjemnych zapachów

Jednym z najważniejszych i najefektywniejszych sposobów przekształceń związków organicznych i ich usuwania jest biochemiczny rozkład tych związków przez mikroorganizmy. Biodegradacja związków organicznych jest przeważnie procesem wieloetapowym, zachodzącym z udziałem kilku grup mikroorganizmów, które często wykazują działanie synergiczne. Zakres i szybkość przemian biodegracyjnych są uwarunkowane wieloma czynnikami, takimi jak: skład i aktywność mikroflory, właściwości zanieczyszczenia, obecność innych związków, temperatura, odczyn, dostęp tlenu, zawartość składników odżywczych oraz właściwości fizykochemiczne medium, w jakim zachodzi proces.

Odpady wytwarzane w oczyszczalniach ścieków zawierają znaczne ilości węgla organicznego oraz makro- i mikroelementów, których powrót do środowiska jest w pełni pożądanym. Kierunek i tempo przemian biochemicznych można modyfikować, stosując biopreparaty. Preparaty te są naturalnymi mieszaninami bakteryjno-enzymatycznymi, które służą do wspomagania biodegradacji substancji organicznych oraz przemian związków nieorganicznych. Wyselekcjonowane szczepy mikroorganizmów stosowane w ochronie środowiska są bezpieczne i nie stanowią zagrożenia dla ludzi, zwierząt i roślin [66].

Biopreparaty można podzielić na trzy zasadnicze grupy [66]:

- bakteryjne,
- bakteryjno-enzymatyczne,
- enzymatyczne.

Na rynku polskim oferowanych jest wiele biopreparatów handlowych. Zawierają one zwykle wybrane pojedyncze szczepy mikroorganizmów, przystosowane zwykle do przetwarzania ściśle określonych związków organicznych [66].

Zastosowanie biopreparatu EM-BIO

Odpady powstające w oczyszczalniach ścieków, głównie osady ściekowe, zawierają ogromną ilość związków organicznych. Dodatkowo odpady te mogą różnić się składem w zależności od pochodzenia ścieków. Pożądane jest zatem przy

przetwarzaniu takich materiałów zastosowanie zespołów mikroorganizmów o zróżnicowanym składzie i właściwościach. Taką bioróżnorodnością charakteryzują się biopreparaty EM. Ograniczenie uciążliwości zapachowej z zastosowaniem mikroorganizmów EM może być realizowane w dwojaki sposób: z jednej strony przyspieszenie procesu mineralizacji materiałów odpadowych, z drugiej – zaszczerpienie takich mikroorganizmów, które będą wykorzystywać uciążliwe odoranty we własnym metabolizmie [66].

Technologia EM (Efektywne Mikroorganizmy) opiera się na zastosowaniu preparatu biologicznego zawierającego wyselekcjonowane szczepy i gatunki mikroorganizmów o różnych cechach fizjologiczno-biochemicznych. Są to przede wszystkim izolowane ze środowiska mikroorganizmy autochtoniczne, są zatem bezpieczne i nie stanowią zagrożenia dla funkcjonujących ekosystemów w przypadku wprowadzenia mikroorganizmów wraz z przetworzonymi odpadami z powrotem do środowiska [75].

Najważniejsze grupy Efektywnych Mikroorganizmów, obok bakterii fotosyntetyzujących, to bakterie kwasu mlekowego, promieniowce, grzyby pleśniowe, drożdże. Każda z tych pięciu grup mikroorganizmów charakteryzuje się odmiennym sposobem działania [74].

Grabas M. i inni prowadzili badania własne w skali laboratoryjnej, półtechnicznej i technicznej w celu określenia możliwości wykorzystania biopreparatu EM-BIO do ograniczenia lub eliminacji uciążliwości odpadów ściekowych. W warunkach laboratoryjnych odpady przetwarzali w zamkniętych reaktorach o zróżnicowanej objętości 30 dm³ i 3 dm³. Przeprowadzili łącznie 6 serii badań. W seriach I–III badali osady wtórne po tlenowej stabilizacji, uwzględniając różne metody napowietrzania oraz wpływ materiałów strukturalnych na uciążliwość zapachową procesu. W serii IV badali przetwarzanie piasku, w seriach V i VI wpływ wybranych środków chemicznych (tlenku wapnia i chloranu(I) sodu), a w VII i VIII przebieg procesu kompostowania osadów wtórnych po tlenowej stabilizacji i fermentacji metanowej [66].

Badania w skali półtechnicznej prowadzili w oczyszczalniach ścieków w Świlczy, Przeworsku, Leżajsku i Rożwienicy, zaś technologię EM w pełnej skali technicznej wdrożyli w Przeworsku, Rożwienicy, Horyńcu i Nowej Wsi.

Wyniki przeprowadzonych badań w skali półtechnicznej i technicznej zamieszczono w tabeli 2.25 [66].

Przeprowadzone przez autorów badania nad ograniczeniem uciążliwości odorowej osadu wtórnego odwodnionego, stabilizowanego tlenowo wykazały, że dostęp tlenu poprawiał efektywność działania biopreparatu. W wyniku analizy otrzymanych wyników badań przeprowadzonych w skali półtechnicznej stwierdzili, że najmniejsze stężenia odorantów występowały na stanowisku ze środkami strukturotwórczymi i z biopreparatem podczas przetwarzania osadu odwodnionego. Na stanowisku bez środków strukturotwórczych zaobserwowali większe stężenie, największe zaś na porównawczym (bez biopreparatu). Intensywność zapachu na stanowiskach z EM malała w trakcie przetwarzania, a na porównawczym w ciągu dwóch pierwszych tygodni rosła. Zmniejszała się ona w dalszym przebiegu procesu, jednak nawet po dwóch pierwszych miesiącach była wyraźnie większa niż na stanowiskach z EM [66].

Tabela 2.25. Wskaźniki emisji powierzchniowej odorantów otrzymane w wyniku badań przetwarzania osadów w skali półtechnicznej i technicznej [66]

Lp.	Charakterystyka	Wskaźnik emisji powierzchniowej [ou/m ² s]		
		początkowy	po 2 tyg.	po 8 tyg.
1.	Osad odwodniony przetwarzany bez biopreparatu	0,28	0,56	0,22
2.	Osad odwodniony przetwarzany z biopreparatem	0,28	0,46	0,16
3.	Osad odwodniony przetwarzany z biopreparatem i środkami strukturotwórczymi	1,00	0,12	0,09
4.	Osad odwodniony przetwarzany z biopreparatem i dodatkiem wapna	1,10	0,36	0,16
5.	Osad odwodniony i suszony na poletkach z biopreparatem	0,16	-	0,16
6.	Osad kompostowany bez biopreparatu:	po 1 tyg.	po 2 tyg.	po 4 tyg.
	- przed przerzucaniem	1,00	0,74	0,16
	- po przerzucaniu	1,85	3,42	0,29
7.	Osad kompostowany z biopreparatem:	po 1 tyg.	po 2 tyg.	po 4 tyg.
	- przed przerzucaniem	0,74	0,54	0,09
	- po przerzucaniu	1,00	1,85	0,16

Przeprowadzony w pełnej skali technicznej proces kompostowania pryzmowego potwierdził zdolność biopreparatu EM do zmniejszenia uciążliwości zapachowej także podczas tego procesu [66].

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych autorzy pracy [66] stwierdzili, że proces mineralizacji szybciej zachodził w próbach, w których zastosowano biopreparat i materiał strukturalny. Wskazywał na to mikrobiologiczny wskaźnik stopnia mineralizacji materii organicznej wyrażający się procentowym udziałem spor bakteryjnych w ogólnej liczbie bakterii. W skali półtechnicznej, podczas przetwarzania skratek również zaobserwowali szybszą ich mineralizację w materiale, do którego dawkowano biopreparat. Po 4 miesiącach przetwarzania warstwa wierzchnia, grubości ok. 10 cm, była całkowicie zmineralizowana – materiał był sypki, bez zapachu, o bardzo małym uwodnieniu (25,9%). W skratkach, do których nie dawkowano biopreparatu, warstwa zmineralizowana była cieńsza i wynosiła ok. 5 cm, a uwodnienie 26,4%.

Bakterie fotosyntetyzujące zawarte w biopreparacie wykorzystywały uciążliwe zapachowo związki. W wierzchniej warstwie odpadów tworzyły filtr biochemiczny, co wpływało na znacznie mniejsze wydzielanie do środowiska substancji odorotwórczych.

Przeprowadzone przez autorów prace badawcze wykazały, że mikroorganizmy biopreparatu EM szybciej się rozwijały, gdy dokonywano ich zaszczepienia, zanim w osadzie nastąpi masowy rozwój bakterii beztlenowych. Efekty zaszczepienia można było poprawić poprzez dozowanie preparatu do uwodnionego osadu. Osad zaszczepiony biopreparatem EM-BIO i kondycjonowany polimerem, odwadniany na poletku osadowym charakteryzował się naturalnym zapachem o bardzo słabej intensywności [66].

Dobrym wskaźnikiem zaszczepienia materiałów odpadowych biopreparatem EM-BIO była ogólna liczba grzybów. Dominacja Efektywnych Mikroorganizmów skutkowała ich mniejszą uciążliwością zapachową, przyspieszeniem procesów przetwarzania i większą redukcją masy.

Tlenek wapnia, stosowany powszechnie do higienizacji osadów, powodował wydzielenie znacznych ilości amoniaku i znacznie większą uciążliwość zapachową w początkowej fazie przetwarzania niż przy zastosowaniu chloranu(I) sodu. Stosownie chloranu(I) sodu w celu zapobiegania emisji odorów z osadów może być korzystną alternatywą obróbki osadów.

Przeprowadzone prace przez autorów doprowadziły do opracowania metody EM-BIO, chronionej 2 zgłoszeniami patentowymi [64, 65]. Oprócz ograniczenia uciążliwości odorowej metoda EM-BIO daje szansę rozwiązania wielu problemów w gospodarce osadami, ściekami i innymi odpadami pochodzenia organicznego [66].

Zastosowanie biopreparatu stworzonego na bazie mikroflory wyselekcjonowanej z kompostu

Breza-Boruta B. i inni w pracy [35] przedstawili wyniki badań, na podstawie których dokonali oceny wpływu dodatku biopreparatu antyodorowego (stworzonego na bazie mikroflory wyselekcjonowanej z kompostu), tlenku wapniowego oraz perhydrolu do osadu ściekowego, na jakość powietrza i ilość lotnych związków odorotwórczych zawartych w powietrzu nad powierzchnią osadów ściekowych. Biopreparat o działaniu antyodorowym został opracowany i dostarczony przez Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej. Różnice powietrza nad badanym osadem po zastosowaniu wymienionych środków monitorowali w ciągu 13 dni (po 1, 3, 5, 8 i 13 dniach od założenia doświadczenia). W badaniach wykorzystali komunalny osad ściekowy poddany stabilizacji beztlenowej w komorach fermentacyjnych.

Biopreparat aplikowali w postaci zawiesiny wodnej przez natrysk na powierzchnię osadów ściekowych, w ilości 100 cm³ na kilogram świeżej masy osadu. Tlenek wapniowy (90%) zastosowali w dawce 250 g na 1000 g suchej masy osadu i dokładnie wymieszali z osadem. Natomiast nadtlenek wodoru o stężeniu 30% dozowali w dawce 50 cm³ na kilogram świeżej masy osadu [35].

W powietrzu nad osadem wykorzystanym do badań autorzy pracy [35] wykryli amoniak oraz wiele organicznych związków lotnych, które mogły być przyczyną uciążliwości zapachowej.

Głównymi składnikami mogącymi być przyczyną odorów, które wystąpiły w badanych próbkach, był amoniak oraz trioetery. W czasie badań stwierdzili również w powietrzu lotne kwasy tłuszczowe, lotne aminy i merkaptany. Zidentyfikowali także pochodne indolowe oraz związki zawierające pierścień benzenu, terpeny i krezol [35].

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabelach 2.26, 2.27, 2.28, 2.29 oraz na rysunkach 2.38, 2.39.

Tabela 2.26. Wyniki pomiarów jakości powietrza nad próbą kontrolną [35]

t	CO ₂	s	O ₂	s	H ₂ S	s	CO	s	NH ₃	s	LZO	s
doby	%		%		ppm		ppm		ppm		ppm	
1	2,60	0,14	18,25	0,21	1,50	2,12	44,00	-	104,5	0,7	89,5	11,3
3	6,30	4,53	11,25	7,71	0,00	-	5,00	2,83	31,0	5,6	94,6	10,3
5	2,35	0,21	17,75	0,35	1,50	1,12	18,00	2,83	57,0	4,2	102,4	12,0
8	1,45	0,92	18,50	0,71	0,00	-	14,00	1,41	59,5	6,3	88,4	7,2
13	2,75	0,35	18,10	0,28	4,00	1,41	29,00	8,49	73,0	9,9	67,2	17,4

t – czas trwania eksperymentu, LZO – suma lotnych związków organicznych, s – odchylenie standardowe

Tabela 2.27. Wyniki pomiarów jakości powietrza nad osadem z dodatkiem biopreparatu [35]

t	CO ₂	s	O ₂	s	H ₂ S	s	CO	s	NH ₃	s	LZO	s
doby	%		%		ppm		ppm		ppm		ppm	
1	3,60	2,26	18,15	0,49	0,00	-	1,50	2,12	16,5	14,8	63,1	4,5
3	5,20	0,28	17,75	1,20	0,00	-	0,50	0,71	8,5	4,9	45,7	5,0
5	3,95	0,49	18,80	1,27	0,00	-	3,50	4,95	20,0	11,3	57,2	4,1
8	3,70	0,99	16,95	0,07	0,00	-	7,50	2,12	29,0	5,6	69,3	2,0
13	2,90	0,14	17,50	0,71	1,50	1,50	5,00	4,24	19,5	12,0	72,3	4,7

t – czas trwania eksperymentu, LZO – suma lotnych związków organicznych, s – odchylenie standardowe

Tabela 2.28. Wyniki pomiarów jakości powietrza nad osadem z dodatkiem perhydrolu [35]

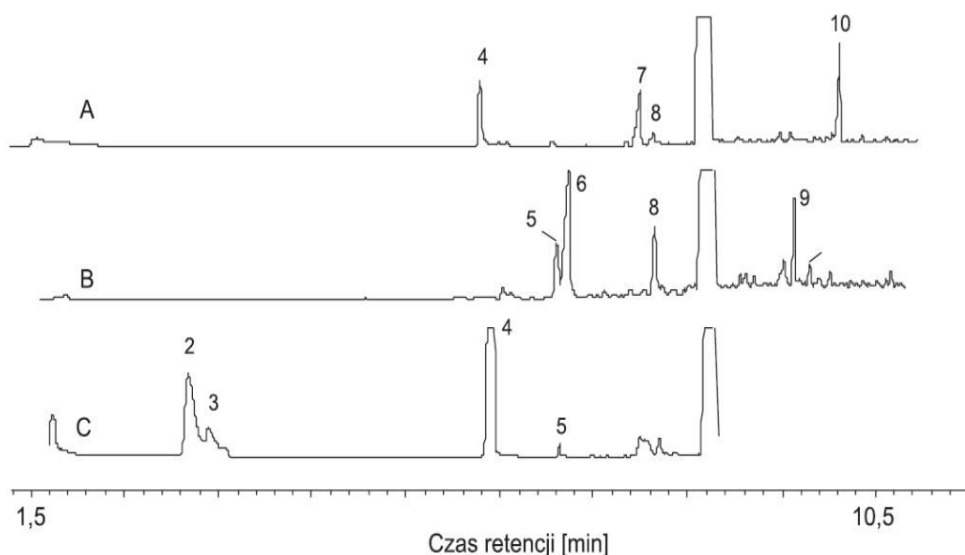
t	CO ₂	s	O ₂	s	H ₂ S	s	CO	s	NH ₃	s	LZO	s
doby	%		%		ppm		ppm		ppm		ppm	
1	4,50	1,27	20,00	1,98	0,00	-	0,50	0,71	12,0	1,4	103,7	9,3
3	4,35	0,07	19,40	0,71	0,00	-	1,10	1,41	30,5	3,5	93,8	7,0
5	2,90	0,14	17,00	4,00	1,50	2,12	6,20	1,41	26,5	2,1	170,9	8,5
8	3,00	0,60	19,20	2,50	1,00	1,10	2,17	1,08	42,0	2,1	97,2	34,5
13	4,00	0,40	16,40	1,40	1,20	0,40	18,34	1,41	93,5	13,0	111,4	11,8

t – czas trwania eksperymentu, LZO – suma lotnych związków organicznych, s – odchylenie standardowe

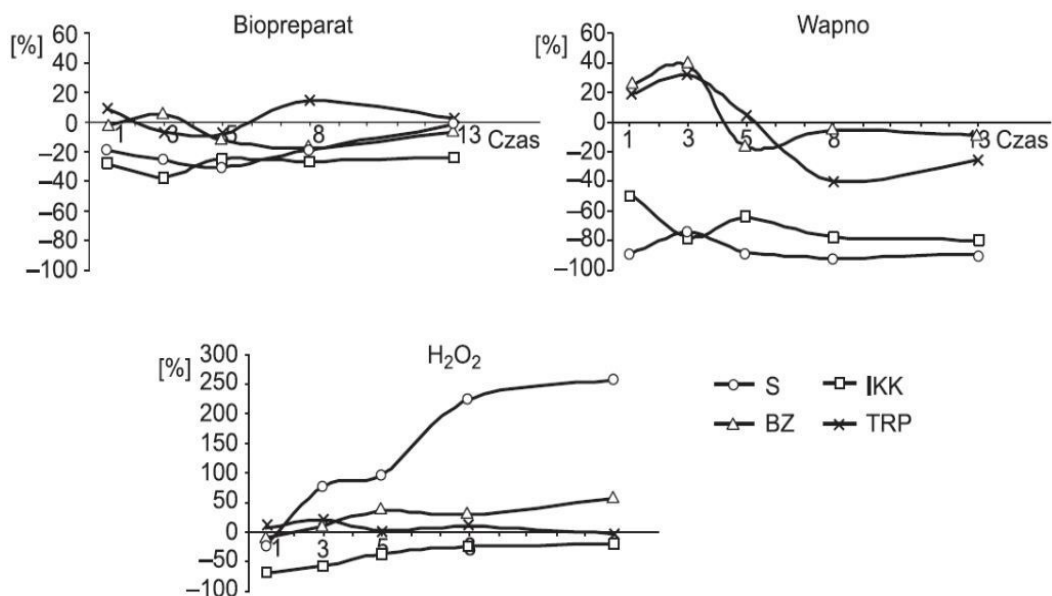
Tabela 2.29. Wyniki pomiarów jakości powietrza nad osadem z dodatkiem tlenku wapniowego [35]

t	CO ₂	s	O ₂	s	H ₂ S	s	CO	s	NH ₃	s	LZO	s
doby	%		%		ppm		ppm		ppm		ppm	
1	0,26	0,03	20,00	2,40	0,00	-	4,70	0,56	3056,0	213,1	326,0	30,5
3	0,11	0,09	18,40	1,80	0,00	-	3,12	1,05	1954,0	122,4	205,4	24,1
5	0,31	0,11	19,10	0,96	0,00	-	1,30	0,07	849,0	89,0	84,0	28,0
8	0,12	0,08	18,90	0,56	0,00	-	2,65	0,52	215,0	38,6	49,3	6,3
13	0,45	0,13	19,60	0,80	0,00	-	0,60	0,09	89,0	64,3	45,0	2,5

t – czas trwania eksperymentu, LZO – suma lotnych związków organicznych, s – odchylenie standardowe



Rys. 2.38. Chromatogramy związków ekstrahowanych z fazy nadpowierzchniowej osadu ściekowego po ośmiu dniach od modyfikacji składu: A – osad bez dodatków, B – osad wapnowany, C – osad z dodatkiem perhydrolu, 1 – tiometanol, 2 – tioeter, 3 – toluen, 4 – tioeter, 5 – alkilobenzen, 6 – alkohol, 7 – krezol, 8 – węglowódor, 9 – keton, 10 – tioeter [35]



Rys. 2.39. Zmiany zawartości odorantów w czasie badań: S – suma związków siarki, IKK – suma indolu, krezolu i kariofilenu, TRP – suma terpenów, BZ – pochodne benzenu [35]

Analiza wyników przedstawionych w tabelach oraz na rysunkach pozwoliła autorom pracy [35] stwierdzić, że biopreparat mikrobiologiczny, który stosowany był powierzchniowo zmniejszał w średnim stopniu emisję większości substancji złoonych (szczególnie amoniaku) z osadu ściekowego. Efekt spadku emisji amoniaku z osadu był widoczny już po upływie jednej doby od jego zastosowania i utrzymał się do zakończenia eksperymentu. Biopreparat wpłynął również na obniżenie w powietrzu nad osadem zawartości tioeterów i terpenów. Największy efekt działania biopreparatu przypadał na trzeci dzień po zastosowaniu. Działanie biopreparatu z czasem słabło i w czasie dalszej inkubacji zawartość wymienionych związków odorotwórczych wzrastała i w 13. dniu doświadczenia osiągnęła wartość podobną jak dla obiektu kontrolnego. Odpowiednio wyselekcjonowane mikroorganizmy są w stanie poddać biokonwersji wiele różnych związków odorotwórczych, jednak mogą wydajnie działać jedynie w odpowiednich warunkach. Dla podniesienia skuteczności preparatu niezbędne są dalsze badania [35].

Perhydrol okazał się skuteczny tylko w ograniczonym zakresie. Pozytywny efekt zastosowania był krótkotrwały i wynosił 1 dobę, w związku z wystąpieniem wtórnej destabilizacji osadu. W ciągu pierwszej doby po aplikacji zmniejszeniu uległa zawartość, tj. odorantów, m.in. indolu, krezolu i kariofilenu, lecz w czasie dalszej inkubacji próbki efekt ten zanikł i zaobserwowali tendencję wzrostu stężenia niektórych substancji nad osadem, m.in. związków siarki i amin, będących produktami rozkładu

związków organicznych łatwo dostępnych dla mikroorganizmów w warunkach beztlenowych. Działanie utleniaczy na odoranty i osady ściekowe może mieć różne działanie i pełne określenie przydatności perhydrolu do usuwania odorów z odpadów na podstawie przedstawionych wyników nie jest możliwe i dlatego też wymagane są dalsze badania.

Zastosowanie wapna tlenkowego spowodowało istotne zmniejszenie zawartości odorantów, tj. związków zawierających siarkę, indolu oraz krezolu. Jednak w pierwszych trzech dniach po aplikacji wystąpił znaczny wzrost stężenia amoniaku w powietrzu nad osadem ściekowym i jego stężenie przekroczyło wartość 3000 ppm. Wraz z upływem czasu stężenie amoniaku w powietrzu nad osadem zmniejszyło się, jednak po 13 dniach nadal było znacząco wyższe niż w obiekcie kontrolnym. Od ósmego dnia eksperymentu stężenie większości odorantów było znacznie niższe niż w obiekcie kontrolnym [35].

2.1.11.6. Zastosowanie odczynnika Fentona w procesach usuwania uciążliwości zapachowych

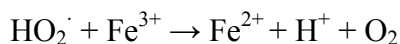
Dębowski M. i inni na podstawie własnego doświadczenia stwierdzili, iż alternatywną i konkurencyjną metodą warunkującą ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie procesów tworzenia nieprzyjemnych zapachów w sieciach kanalizacyjnych może być wykorzystanie procesów utleniania z zastosowaniem reakcji Fentona.

Pozwala ona na generowanie wysoko reaktywnych rodników hydroksylowych $\text{OH}^\cdot$ o potencjale utleniającym 2,8 V, które wchodzi w reakcję niemal ze wszystkimi związkami organicznymi oraz wydajnie hamują procesy zagniwania. Utleniacz powoduje rozkład substancji organicznych i wydajnie opóźnia wystąpienie warunków anaerobowych w ściekach lub osadzie, natomiast jony żelaza (III) lub koloidalny wodorotlenek żelaza (III) reagują z siarkowodorem w środowisku, w którym powstaje. Szybkie tempo rozkładu zanieczyszczeń, uniwersalność oraz wysoka efektywność sprawiają, że reakcja Fentona jest obecnie coraz częściej brana pod uwagę jako obiecująca, alternatywna metoda stosowana w szeroko pojętej ochronie środowiska, w tym ograniczeniu uciążliwości zapachowej [50].

Klasyczna reakcja Fentona zachodzi w wyniku rozkładu nadtlenu wodoru przy udziale jonów Fe^{2+} jako katalizatora procesu. Przebieg klasycznej reakcji Fentona można w sposób ogólny przedstawić równaniem [50]:



W wielu przypadkach jako katalizatora procesu generowania wolnych rodników w reakcji Fentona wykorzystuje się również jony żelaza Fe^{3+} . Procesy rodnikowania zachodzą wówczas dwustopniowo lub trzystopniowo, poprzez powolną reakcję pomiędzy jonami Fe^{3+} i H_2O_2 , a następnie szybką reakcję pomiędzy wytworzonymi jonami żelazawymi i H_2O_2 [50].



Jak pisze Dębowski M. i inni doświadczenia przeprowadzone w USA potwierdzają możliwość wykorzystania nadtlenu wodoru do redukcji przykrego zapachu osadów ściekowych, powodowanego przez H_2S . Zastosowanie perhydrołu okazało się bardzo skutecznym i tanim rozwiązaniem tego problemu. Porównywano również wpływ popularnego, silnego utleniacza KMnO_4 na zmianę stężenia siarkowodoru w osadach. Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie na zdecydowanie większą skuteczność nadtlenu wodoru. Przy tych samych stężeniach środka utleniającego H_2O_2 powodował spadek H_2S o 87%–99%, zaś KMnO_4 zaledwie o 38%–68%. Dodatkowym atutem przemawiającym za stosowaniem perhydrołu jest znacznie niższa cena tego odczynnika chemicznego. Opisaną metodę zastosowano z pełnym powodzeniem w skali technicznej w oczyszczalni ścieków w Orlando na Florydzie [50].

Wprowadzenie do układu technologicznego utleniaczy doprowadziło do ograniczenia stopnia zagniwalności osadów ściekowych nadmiernych, pochodzących z przemysłu chemicznego. Stwierdzono, iż reakcja pogłębionego utleniania pozwoliła na zatrzymanie procesu zagniwania przez okres pięciu dni, po dwóch dobach procesu stabilizacji.

Zastosowanie układu pogłębionego utleniania lub samego nadtlenu wodoru wpływało na istotne ograniczenie nieprzyjemnego, gnilnego zapachu w osadach ściekowych pochodzących z oczyszczalni ścieków bytowo-gospodarczych oraz mleczarskich i osadów ściekowych z miejskich oczyszczalni ścieków. Eliminacja tego czynnika zależała bezpośrednio od stosowanych dawek nadtlenu wodoru. Zmniejszenie intensywności zapachu obserwowano już w przypadku, kiedy do masy osadowej wprowadzano $2,0 \text{ g H}_2\text{O}_2/\text{dm}^3$ [50].

Barbusiński K. w wyniku przeprowadzonych badań [13, 14, 15] stwierdził, że odczynnik Fentona można wykorzystać do intensyfikacji procesu tlenowej stabilizacji

osadów ściekowych i unieszkodliwiania innych osadów organicznych, ponieważ jego zastosowanie powoduje istotne zmniejszenie ilości materii organicznej w osadach, a tym samym poprawia stopień mineralizacji osadów. Wspomaganie to może być realizowane w sposób ciągły, bądź okresowo, gdyż po zaprzestaniu dawkowania odczynnika Fentona procesy utleniania w dalszym ciągu zachodzą z dużą efektywnością przez dłuższy czas. W porównaniu z klasycznym procesem stabilizacji tlenowej oraz wykorzystaniem innych utleniaczy, odczynnik Fentona zapewnia bardziej efektywną i szybszą mineralizację materii organicznej zawartej w osadach. Przy prawidłowym dobraniu dawek i sposobu wspomagania stabilizacji osadów, odczynnik Fentona powoduje także obniżenie wartości ChZT cieczy osadowej i znacznie zmniejsza jej zdolność do zagniwania. Dzięki efektywnej stabilizacji osadów po zastosowaniu odczynnika Fentona praktycznie nie występuje problem wydzielania odorów [16].

Wyniki badań, w których porównano zmiany stężenia suchej masy organicznej (s.m.o.) osadu nadmiernego traktowanego samym nadtlenkiem wodoru, odczynnikiem Fentona oraz sprężonym powietrzem wykazały, że obniżenie stężenia s.m.o. w ciągu 20 dni procesu w przypadku odczynnika Fentona wyniosło 80,6%, dla samego H_2O_2 – 58,2%, a w procesie klasycznej stabilizacji tlenowej 48% [14]. Należy przy tym podkreślić, że odczynnik Fentona oraz H_2O_2 były wprowadzane jedynie przez pierwsze 8 dni. Po 8 dniach stopień obniżenia s.m.o. wynosił odpowiednio 49,5% (Fenton), 40,9% (H_2O_2) i 30,6% (klasyczna stabilizacja). Tak więc efekty obniżania s.m.o. przy użyciu odczynnika Fentona po 8 dniach były lepsze niż po 20 dniach klasycznej stabilizacji tlenowej [16].

2.2. Odwadnianie osadów ściekowych

2.2.1. Ogólna charakterystyka osadów ściekowych

Procesy oczyszczania ścieków wiążą się nieodłącznie z powstawaniem znacznej ilości różnego rodzaju odpadów, takich jak: skratki, piasek, tłuszcze i osady ściekowe.

W szacunkowym bilansie odpadów powstających w oczyszczalniach ścieków największy udział mają osady ściekowe [66].

Osady ściekowe są definiowane jako organiczno-mineralna faza stała, wyodrębniona ze ścieków w oczyszczalniach, głównie w procesie sedymentacji. Znaczna ilość domieszek organicznych ulegających łatwemu rozkładowi gnilnemu,

powoduje wydzielanie się przykrych zapachów. Stąd też podstawowym celem przeróbki osadów jest mineralizacja związków organicznych, co można osiągnąć poprzez stabilizację osadów oraz zmniejszenie ich objętości, co następuje w procesie odwadniania oraz suszenia. Jakkolwiek przyjmuje się, że powstające osady stanowią 1–2% ogólnej objętości dopływających do oczyszczalni ścieków, to koszty budowy i eksploatacji urządzeń do przeróbki osadów mogą sięgać nawet 50% ogólnych kosztów oczyszczalni [19, 83]. Wymusza to konieczność traktowania osadów jako surowca o pewnej wartości nawozowej lub energetycznej, dzięki której można uzyskać choćby częściowy zwrot poniesionych nakładów [19].

2.2.1.1. Pochodzenie osadów ściekowych

Z uwagi na rodzaj oczyszczanych ścieków wyodrębnia się osady z oczyszczalni ścieków komunalnych i komunalno-przemysłowych.

Osady z oczyszczalni ścieków komunalnych charakteryzują się znaczną zdolnością do zagniwania, w związku z zawartością łatwo rozkładalnych substancji organicznych, niską zdolnością do oddawania wody przy jej dużej zawartości, często również obecnością bakterii chorobotwórczych i pasożytów.

Osady pochodzące z oczyszczalni ścieków komunalno-przemysłowych trudniej zagniwają, ze względu na swój skład, lecz na ogół lepiej się odwadniają. Ponadto zawierają zwykle więcej domieszek specyficznych: metali ciężkich i innych substancji niebezpiecznych [20].

2.2.1.2. Rodzaje osadów ściekowych

W zależności od zastosowanej technologii oczyszczania ścieków w schemacie technologicznym każdej oczyszczalni ścieków można wyróżnić kilka miejsc, w których powstają osady ściekowe. Są to [19, 172]:

- osady wstępne – wydzielone w osadnikach wstępnych w wyniku mechanicznego oczyszczania ścieków; charakteryzują się dużą zagniwalnością, odorem, stężeniem rzędu 3–4% suchej masy (s.m.), dużą zawartością organizmów chorobotwórczych oraz zawartością piasku [55],
- osady wtórne – wydzielone w osadnikach wtórnych, powstające w wyniku oddzielenia nadmiernego osadu w procesie biologicznego oczyszczania ścieków; charakteryzują się znacznie mniejszą zagniwalnością, początkowo nie mają odoru, mają mniejsze stężenie, w granicach 0,5–1% s.m. są znacznie mniej podatne na rozkład biologiczny niż osad wstępny [55],

- osady z chemicznego strącania – powstające w wyniku chemicznego strącania zanieczyszczeń, np.: związków fosforu, wydzielanie zależne od miejsca stosowania środków chemicznych.

Ponadto można spotkać się często z określeniem osady mieszane. Są to osady powstałe w wyniku zmieszania osadów wstępnych z wtórnymi. Wymienione powyżej rodzaje osadów traktuje się jako osady surowe. Natomiast osady po kolejnych procesach przeróbki można zaliczyć do następujących grup [19]:

- osady zagęszczone – osady poddane procesowi zagęszczania,
- osady przefermentowane – osady po procesie fermentacji metanowej,
- osady stabilizowane – osady po procesie tlenowej przeróbki,
- osady odwodnione – osady poddane procesowi odwadniania,
- osady zhigienizowane – osady poddane procesom pasteryzacji, wapniowania lub suszenia.

2.2.1.3. Charakterystyka ilościowa i jakościowa osadów ściekowych

Charakterystyka ilościowa i jakościowa osadów ściekowych uzależniona jest m.in. od jakości ścieków doprowadzanych do oczyszczalni, przyjętej technologii oczyszczania ścieków i jej zakresu oraz ewentualnie realizowanego procesu chemicznego strącania [151].

Praktyka wskazuje, że nie ma dwóch identycznych osadów ściekowych [26, 72, 82, 90, 128, 213].

O jakości osadów ściekowych decydują właściwości fizyczne, chemiczne, sanitarne, technologiczne i reologiczne.

Do podstawowych właściwości fizycznych osadu zalicza się barwę, zapach, strukturę, skład granulometryczny, gęstość, uwodnienie, zawartość ciał stałych (sucha masa osadu).

Właściwości chemiczne osadu są głównie uwarunkowane charakterystyką ścieków, z których powstają, a w mniejszym stopniu rodzajem reagentów chemicznych, które są wprowadzane do osadów w procesach ich przeróbki. Do właściwości chemicznych zalicza się: wartość pH, zasadowość, zawartość związków organicznych i mineralnych, substancji nawozowych, metali ciężkich, substancji toksycznych, kwasów tłuszczowych itp [173].

Obecność w osadach ściekowych organizmów patogennych stanowi istotne zagrożenie sanitarne, które należy uwzględnić przy ewentualnym użytkowaniu osadów. Wśród organizmów chorobotwórczych obecnych w osadach komunalnych są wirusy, bakterie, pasożytnicze pierwotniaki i robaki.

Obecność bakterii chorobotwórczych w osadach ściekowych nie wykazuje się bezpośrednio. Korzysta się w tym celu z metody bezpośredniej, polegającej na wykrywaniu bakterii uznanej za tzw. wskaźnik sanitarny. Dla komunalnych osadów ściekowych wskaźnikiem takim jest rodzaj *Salmonella*. Zdaniem Marcinkowskiego T. [130] sposób oceny obecności bakterii chorobotwórczych w osadach, bez uwzględnienia jako organizmów wskaźnikowych bakterii przetrwalnikujących, nie gwarantuje bezpiecznej utylizacji komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie. Obowiązujące przepisy zapewniają natomiast bezpieczeństwo ze względu na rolnicze stosowanie osadów ściekowych w odniesieniu do zagrożenia parazytologicznego, wynikającego z obecności w osadzie pasożytów przewodu pokarmowego ludzi i zwierząt w formie dojrzałych organizmów, cyst czy jaj. Wynika to z faktu przyjęcia aż trzech organizmów wskaźnikowych spośród nicieni (*Ascaris sp.* (glista ludzka), *Toxocara sp.* (glista psia lub kocia) i *Trichuris sp.* (włosogłówka)) jako miarodajnych do stosowania osadów w aspekcie parazytologicznym.

Właściwości technologiczne osadów ściekowych mają istotny wpływ na ich podatność na procesy stabilizacyjne i wybór ostatecznego sposobu unieszkodliwiania. Najczęściej jako właściwości technologiczne wymienia się: charakterystykę sedymentacyjną, zdolności filtracyjne, podatność na mineralizację (lub tzw. wskaźniki stabilizacji, określające stopień stabilizacji osadu), ciepło spalania i wartość opałową oraz wartość nawozową [173].

Znajomość właściwości reologicznych ma istotne znaczenie przy projektowaniu hydrotransportu osadów rurociągami. Właściwości te decydują bowiem o hydraulicznej klasyfikacji osadu, zależnej w dużej mierze od wielkości, gęstości i kształtu cząstek, a także od stężenia fazy od sił i zjawisk występujących na granicy faz. Do podstawowych właściwości reologicznych osadów zalicza się lepkość i granicę płynięcia, zależne w głównej mierze od uwodnienia i temperatury [173, 198].

Według Bienia J.B. osady ściekowe charakteryzują się następującymi specyficznymi cechami [31]:

- wysokim uwodnieniem, zmieniającym się od ponad 99% w przypadku osadów surowych do 80–55% dla osadów odwodnionych oraz poniżej 10% dla osadów wysuszonych termicznie,
- wysoką zawartością związków organicznych, podatnych na biologiczny rozkład (od 75% s.m. w osadów surowych do 45–55% s.m. w osadach ustabilizowanych),
- wysoką zawartością związków azotowych (2–7% s.m.), przy niższej fosforu i potasu,
- zróżnicowanymi zawartościami metali ciężkich, z reguły najwyższymi w przypadku osadów wstępnych z dużych oczyszczalni zlokalizowanych w miastach silnie uprzemysłowionych,
- na ogół niskimi zawartościami organicznych substancji niebezpiecznych (WWA, związki chlorowane – PCB),
- zróżnicowanym stopniem zagrożenia sanitarnego, największym dla osadów surowych wstępnych, najmniejszych dla osadów ustabilizowanych i higienizowanych.

W tabeli 2.30 Podedworna J. [173] zaprezentowała przeciętny skład i wybrane właściwości technologiczne osadów ściekowych wg Leschbera R. [120].

2.2.1.4. Jednostkowe procesy przeróbki osadów

Powstające osady z procesów oczyszczania ścieków muszą być poddane odpowiedniej przeróbce, a następnie, z zachowaniem środków ostrożności dyktowanych wymogami środowiska, w miarę możliwości zagospodarowane czy unieszkodliwione [20].

Osady powstające w wyniku oczyszczania ścieków są wielofazowymi polidyspersyjnymi układami, w których ciecz (woda wraz z substancjami w niej rozpuszczonymi), czyli woda osadowa, stanowi fazę rozpraszającą, a cząstki ciał stałych (mineralne i organiczne) oraz także czasem pęcherzyki gazów – fazę rozproszoną. Proporcje między fazą stałą i cieczą decydują o uwodnieniu osadów, które jest najbardziej istotną cechą charakteryzującą osad ściekowy oczyszczalni [23].

Najważniejszymi operacjami w procesie przeróbki osadów jest usunięcie zawartej w nich wody, czyli oddzielenia fazy stałej od cieczy osadowej, dzięki czemu można uzyskać znaczne zmniejszenie objętości osadu, oraz stabilizacja osadów prowadząca do zmniejszenia ich uciążliwości zapachowej [19].

Tabela 2.30. Przeciętny skład i właściwości osadów ściekowych [120, 173]

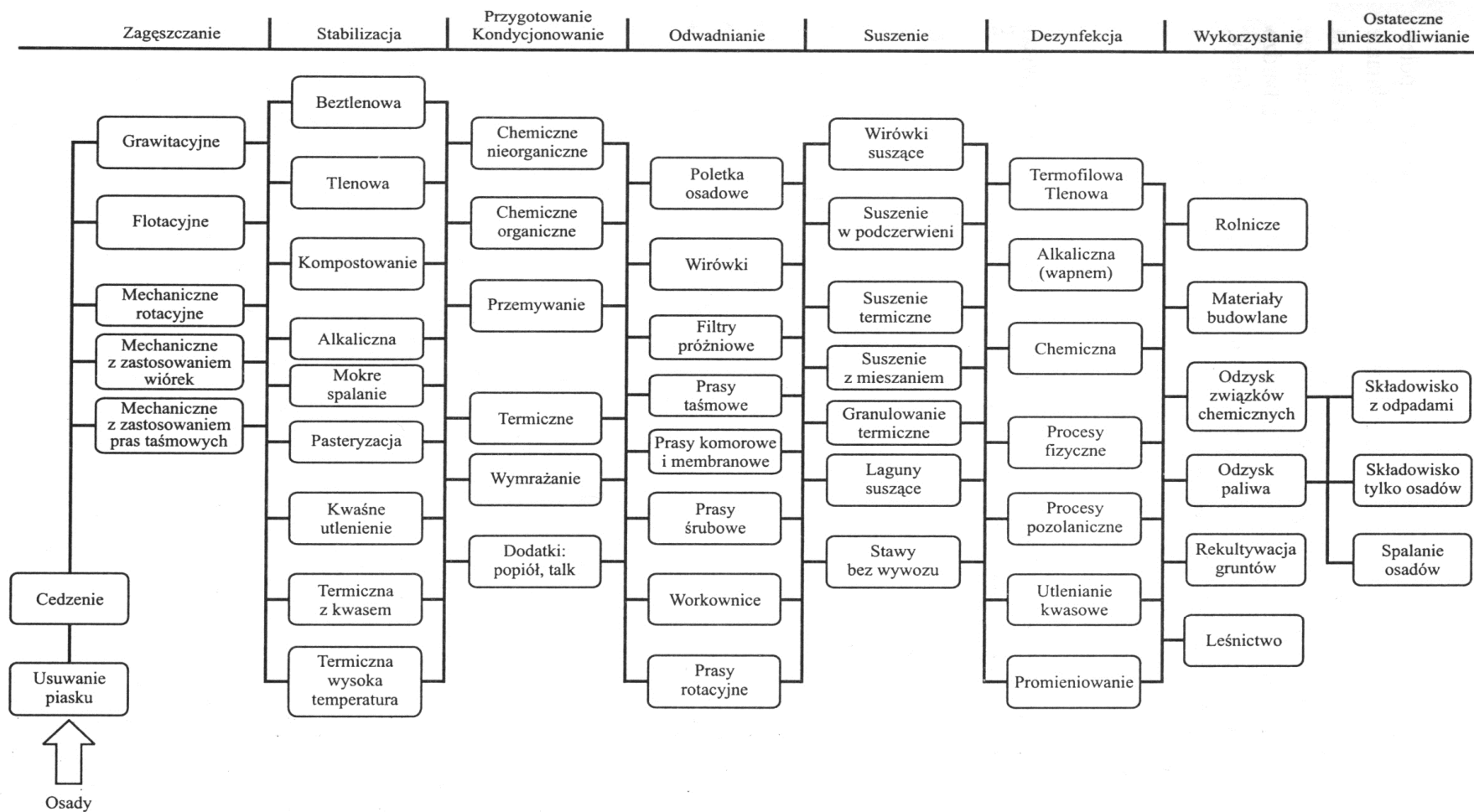
Parametry osadu	Jednostka	Rodzaj osadu					
		Osad wstępny z mechanicznego oczyszczania ścieków	Osad wtórny (po złożach biologicznych lub komorach osadu czynnego)	Osad źle przefermentowany	Osad słabo przefermentowany	Osad dobrze przefermentowany	Osad bardzo dobrze przefermentowany
pH	-	5,0÷7,0	6,0÷7,0	6,5÷7,0	6,8÷7,3	7,2÷7,5	7,4÷7,8
Sucha masa osadu	%	5÷10	4÷8 (złoża) 0,5÷3,0 (osad czynny)	4÷12	4÷12	4÷12	4÷12
Sucha masa organiczna	% s.m.	60÷70	55÷80	55÷70	50÷60	45÷55	20÷45
Sucha masa mineralna	% s.m.	30÷40	20÷45	30÷45	40÷50	45÷55	55÷80
Zasadowość	mg CaCO ₃ /l lub mmol/l	500÷1000	500÷1000 (czasami < 500)	1000÷2500	2000÷3500	3000÷4500	4000÷5500
		20÷40	20÷40 (czasami < 20)	40÷140	80÷140	120÷180	160÷220
Zawartość kwasów lotnych (LKT)	mg CH ₃ COOH/l lub mmol/l	1800÷3600	1800÷3600	2500÷4000 i więcej	1000÷2500	100÷1000	<100
		30÷60	30÷60	40÷70 i mniej	15÷40	2÷15	2
Azot ogólny	% N w s.m.	2÷7	1,5÷5,0 (złoża) 3÷10 (osad czynny)	1÷5	1÷3,5	0,5÷3	0,5÷2,5
Fosfor ogólny	% P w s.m.	0,4÷3	0,9÷1,5	0,8÷2,6	0,8÷2,6	0,8÷2,6	0,8÷2,6
Potas	% K w s.m.	0,1÷0,7	0,1÷0,8	0,1÷0,3	0,1÷0,3	0,1÷0,3	0,1÷0,3
Opór właściwy filtracji	m/kg	10 ¹¹ ÷10 ¹³	10 ¹² ÷10 ¹³	5·10 ¹¹ ÷5·10 ¹²	10 ¹¹ ÷10 ¹²	5·10 ¹¹ ÷5·10 ¹²	10 ¹⁰ ÷10 ¹¹
Wartość opałowa	kJ/g s.m.	16÷20	15÷21	15÷18	12,5÷16	10,5÷15	6,3÷10,5

Do jednostkowych procesów przeróbki osadów ściekowych zaliczyć można: zagęszczanie, stabilizację, kondycjonowanie, odwadnianie, higienizację i suszenie. Jednak nie na każdej oczyszczalni wszystkie te operacje muszą mieć miejsce. Liczba i rodzaj jednostkowych procesów technologicznych przeróbki osadów zależy nie tylko od charakteru i ilości przetwarzanego osadu, ale przede wszystkim od sposobu ostatecznego zagospodarowania osadu. Ważnym czynnikiem jest równoczesne rozważanie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych [34].

Niektóre z operacji jednostkowych mogą być łączone np.: odwadnianie na poletku połączone z suszeniem, stabilizacja z jednoczesną higienizacją, odwadnianie z higienizacją wapnem. Istnieją też procesy wielofunkcyjne. Kompostowanie na przykład zapewni stabilizację, a równocześnie w temp. powyżej 55°C zajdzie higienizacja i suszenie. Liczba możliwych procesów jednostkowych jest bardzo duża i stale rośnie. Dla właściwej przeróbki osadów ściekowych przed ich końcowym wykorzystaniem niezbędne są jednak cztery podstawowe procesy [34]:

- zagęszczanie, polegające na zmniejszeniu objętości osadów w procesie grawitacyjnym lub mechanicznym,
- stabilizacja, która może być realizowana w procesie biochemicznym (tlenowym lub beztlenowym oraz kompostowaniu) lub chemicznym (wapniowaniu),
- higienizacja, która zachodzi podczas stabilizacji osadu i ma na celu zabicie organizmów patogennych oraz zmniejszenie zagniwalności osadów,
- odwadnianie, które można prowadzić w warunkach naturalnych lub w urządzeniach mechanicznych (prasy, wirówki, filtry próżniowe).

Oleszkiewicz J. w pracy [144] przedstawił przekrojowo jednostkowe procesy przeróbki osadów ściekowych stosowane w praktyce (rysunek 2.40).



Rys. 2.40. Schemat ogólnej gospodarki osadowej [144]

2.2.2. Kondycjonowanie osadów

Kondycjonowanie osadów jest procesem mającym na celu zmianę struktury i właściwości osadów w stopniu pozwalającym zwiększyć efektywność ich odwadniania. Zmiana struktury osadów doprowadza m.in. do znacznego osłabienia sił wiążących wodę z powierzchnią cząstek fazy stałej co w efekcie powoduje bardzo łatwe usuwanie wody w procesach mechanicznego odwadniania [24].

Kondycjonowanie osadów ściekowych może być przeprowadzone w różny sposób w różnych miejscach w oczyszczalni ścieków [127].

Procesy kondycjonowania można stosować niemal dla wszystkich rodzajów osadu, niezależnie od tego, czy osad jest surowy czy ustabilizowany w warunkach tlenowych lub beztlenowych. Generalnie jednak im osad jest trudniej odwadnialny (mniejszy udział wody wolnej, większy porowatej i kapilarnej) tym bardziej wymaga zastosowania kondycjonowania przed procesami zagęszczania i odwadniania wstępnego [173].

Wyróżnia się następujące metody kondycjonowania osadów [126, 127, 172, 173]:

- chemiczne – stosując reagenty takie jak np.: koagulanty, polielektrolity, obciążniki mineralne (kaolinit, bentonit)
- fizyczne
 - termiczne
 - ❖ podgrzewanie
 - ❖ wymrażanie
 - specyficzne
 - ❖ wykorzystanie działania pola ultradźwiękowego lub pola mikrofalowego
 - mechaniczne
 - ❖ zastosowanie dodatków, np. popiół, talk
 - inne
 - ❖ przemywanie
 - ❖ napowietrzanie – poprzedzające sedymentację lub zagęszczanie (zwłaszcza w odniesieniu do osadu nadmiernego)

2.2.2.1. Kondycjonowanie chemiczne

Najczęściej stosowane jest kondycjonowanie chemiczne, które polega na dodawaniu do osadu związków nieorganicznych (koagulantów) lub/i organicznych (flokulantów), prowadzących do koagulacji najdrobniejszych i koloidalnych zawiesin

lub tylko ich flokulacji, oraz uwalnianiu z osadu zaabsorbowanej wody, co umożliwia uzyskanie w procesie odwadniania mechanicznego zmniejszenie jego uwodnienia z początkowego poziomu 99–90% do 85–65%, w zależności od rodzaju osadu [1, 119, 173, 201]. W przypadku koagulacji obróbka chemiczna ma głównie na celu zneutralizowanie ładunków elektrycznych znajdujących się na powierzchni cząstek osadu (w podwójnej warstwie elektrycznej) i przez zmniejszenie lub zlikwidowanie warstwy dyfuzyjnej stworzenie warunków do łączenia się cząstek osadu między sobą. Flokulacja przy zastosowaniu polimeru opiera się na zdolności makrocząsteczek flokulantów do adsorbowania przez hydrofobowe rodniki równocześnie kilku cząstek koloidalnych, co nosi nazwę mostkowania. Powstające w ten sposób makroflokuly mogą osiągać rozmiar kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu milimetrów.

Nieorganicznymi środkami kondycjonującymi są przeważnie dwu- i trójwartościowe sole żelaza (chlorek żelaza(II) FeCl_2 , siarczan(VI) żelaza(II) FeSO_4 , chlorek żelaza(III) FeCl_3) lub glinu (chlorek glinu AlCl_3 , siarczan(VI) glinu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, glinian sodu $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$), a także wapno, stosowane samodzielnie lub w kombinacji z innymi środkami [173].

Substancje te stosowane są głównie przy odwadnianiu osadu w komorowych prasach filtracyjnych. Dodawanie nieorganicznych środków kondycjonujących zwiększa zawartość suchej masy, która wymaga dalszej przeróbki [70].

Organicznymi środkami kondycjonującymi (nazywanych flokulantami organicznymi, polimerami lub polielektrolitami) są wielkocząsteczkowe polimery rozpuszczalne w wodzie, które pozyskuje się z surowców naturalnych lub wytwarza w skali przemysłowej jako produkty syntetyczne. Ładunek polimeru składa się bardzo dużej liczby jednostkowych monomerów obdarzonych jedną grupą funkcyjną, nadającą związkowi charakter kationowy, anionowy lub niejonowy osadu [10, 39, 118, 173, 183].

- Polielektrolity kationowe – w procesie koagulacji w dużym stopniu obniżają potencjał ujemnie naładowanych cząstek koloidalnych. Wiążą one powstające flokuly w duże makrocząsteczki, przyspieszając w ten sposób proces sedymentacji [24].
- Polielektrolity anionowe – są na ogół dobrymi koagulantami zanieczyszczeń koloidalnych mających dodatni ładunek elektryczny [24].
- Polielektrolity niejonowe – zawierają również ilość ładunków dodatnich i ujemnych w grupach monomerów, działają zarówno jako polielektrolity anionowe, jak i kationowe [24].

W zależności od produktu polielektrolity oferowane są z dodatkiem różnych substancji czynnych. Rzeczywista efektywność działania polielektrolitów zależy od ich specyficznych właściwości i rodzaju odwadnianego osadu [70].

Dobry środek kondycjonujący pozwala na [43, 110]:

- neutralizację ładunku elektrycznego ziaren osadu, co wpływa na łączenie się ziaren osadu w większe cząstki łatwiej oddające wodę,
- łączenie cząstek czyli ich aglomerację (flokulację),
- niszczenie struktury kłaczków, co ułatwia oddawanie wody,
- zwiększenie odporności na ścinanie i ściskanie,
- poprawę współczynnika rozdziału R, czyli jakości odcieku z przeróbki,
- zwiększenie suchej masy placka bez zwiększenia masy całkowitej osadu.

W sposobie przygotowania polielektrolitów do procesu kondycjonowania ważna jest postać, w jakiej występuje (granulat, zawiesina, emulsja, roztwór wodny). Duże zalety mają polielektrolity, które są w postaci proszku lub granulatu, ze względu na opakowanie, transport i składowanie, lecz taka ich forma jest kłopotliwa w wykonaniu roztworu i jego dawkowaniu. Emulsje zawierają 20–30% substancji aktywnej, a roztwory wodne 3–25%. Do przygotowania odpowiednich roztworów polielektrolitów służą zestawy urządzeń, tj. zasobnik, mieszalnik oraz zbiornik magazynowania i dojrzewania. Czas rozpuszczania i dojrzewania polielektrolitów wynosi 30–60 minut. Może on być skrócony, jeżeli roztwór roboczy przygotowuje się z roztworu o wyższym stężeniu [23, 186].

W zależności od aktywności kationowej produktu i właściwości roztworu wody (woda rozpuszczająca) – wartość pH, twardość, temperatura, itd. – należy się liczyć ze stopniowym zmniejszaniem się efektu. 0,1% roztwór właściwy powinien być zużyty w tym samym dniu, w którym został przygotowany. W przeciwieństwie do tego roztwory podstawowe utrzymują ważność przez wiele dni [30].

Dymaczewski Z. w pracy [55] podał typowe dawki polimeru dla dwóch najpopularniejszych rodzajów urządzeń odwadniających. Dawki te kształtują się w następujących zakresach (tabela 2.31 i tabela 2.32). Użyty skrót KOCz to komora osadu czynnego [55].

Eksploatator oczyszczalni z doświadczenia wie najlepiej, że dane z książek mają znaczenie orientacyjne – każda oczyszczalnia musi sama wypracować sobie system chemicznego kondycjonowania osadu. W wielu oczyszczalniach, gdzie stabilizacja

osadów była niekompletna i pogarszała odwadnialność osadu, dawki polimerów przekraczały nawet 10 kg/t s.m [55].

Tabela 2.31 Zakres dawek polimerów (w stanie suchym) przy odwadnianiu osadów na wirówkach [55]

Rodzaj osadu	Dawka kg/t s.m.
1. Osady surowe:	
a) wstępny	1,0–3,5
b) wstępny + KOCz	2,0–7,5
2. Tlenowo stabilizowany	
a) wstępny	3,0–5,0
b) wstępny + KOCz	3,5–7,5
3. Po fermentacji beztlenowej	
a) wstępny + KOCz	1,5–2,5
b) wstępny + złożę	3,5–7,5

Tabela 2.32. Zakres dawek polimerów (w stanie suchym) przy odwadnianiu osadów na prasach filtracyjno-taśmowych [55]

Rodzaj osadu	Dawka kg/t s.m.
1. Osady surowe:	
a) wstępny	1,0–4,5
b) wstępny + wtórny po złożach	1,5–7,5
c) wstępny + KOCz	1,0–10
d) nadmierny KOCz	1,0–10
2. Tlenowo stabilizowany	
a) wstępny + KOCZ	2,0–7,5
3. Po fermentacji	
a) wstępny	1,0–5,0
b) wstępny + KOCz	1,5–7,5

Dobór polimeru powinien być prowadzony na terenie oczyszczalni ścieków i powinien zapewnić [55]:

- najniższy koszt polimeru w kg/t s.m. osadu (niekoniecznie polimer o najniższej cenie),
- najlepszą trwałość i odporność kłaczka osadu na ścinanie, po kondycjonowaniu,
- najlepszą odporność kłaczka na ściskanie (np. w prasie),
- najwyższą wartość s.m. w placku z danego urządzenia odwadniającego,
- łatwość oddzielania placka od taśmy, np. prasy,
- najniższe wartości fosforu i zawiesin w odciekach (własności wiążące),
- brak toksyczności dla następnego procesu, np. kompostowania osadu,
- brak toksyczności polimeru w odciekach dla bakterii nitryfikacyjnych,

- brak własności pieniących w odciekach i w KOCz, dokąd te odcieki trafiają (są oczyszczalnie, które przy zmianie polimeru, np. z letniego na zimowy, obserwują nadmierne pienienie),
- łatwość roztwarzania polimeru („przyjazny” w obsłudze),
- skuteczność polimeru przy wahaniami s.m. i jakości dopływu osadów uwodnionych,
- prawidłową krzywą kondycjonowania, pozwalającą na łatwą korekcję dawki (bez obawy nagłego pogorszenia się odwadniania przy przedawkowaniu lub gdy dawka jest za mała).

Niewłaściwy dobór dawki polielektrolitu może spowodować zwiększone koszty eksploatacji, jak również może pogorszyć efekt odwadniania osadów ściekowych [19, 25, 90].

Po ustaleniu polimeru i jego dawki, kontrolę dawki można prowadzić za pomocą urządzenia, tzw. aparatu do pomiaru czasu ssania kapilarnego – CSK. Aparat składa się z płytki z plexi przymocowanej do otwartego cylindra pojemności ok. 50–100 ml. Cylinder z płytą stawiamy na bibule filtracyjnej i wlewamy do niego kondycjonowany osad. Bibuła zaczyna wciągać (wsysać) wodę z osadu z szybkością proporcjonalną do łatwości oddzielenia wody od osadu. Im lepiej przygotowany jest osad, tym szybciej odciągana jest woda z osadu i tym szybciej plama wilgoci przemierzy odległość 1 cm między nacięciami na płycie z plexi.

Dawka optymalna polimeru ustalana jest jako ta dawka, która da nam najniższy czas ssania kapilarnego (kapilary to maleńkie otworki lub ścieżki w bibule, które wciągają wodę na zasadzie podobnej do podciągania cieczy przez knot) [55].

Niekiedy do kondycjonowania osadów wykorzystuje się kombinację związków organicznych i nieorganicznych co pozwala na uzyskanie optymalnych warunków przebiegu procesu [70].

Z reguły pozwala to uzyskać szereg korzyści [44]:

- uzyskanie wyższego stopnia odwodnienia osadu niż w przypadku zastosowania tylko polielektrolitu,
- redukcję dawki polielektrolitu,
- możliwość zastosowania z reguły tańszego polielektrolitu o niższej kationowości lub niejonowego,
- zwiększenie przepustowości maszyny odwadniającej,

- odciek zawierający dużo mniejsze stężenia P_{og} , zawiesiny, ChZT,
- chemiczne wiązanie siarkowodoru w przypadku zastosowania koagulantu żelazowego,
- dużo mniejsze prawdopodobieństwo krystalizacji struwitu,
- zmniejszenie zapotrzebowania na koagulant do chemicznego wiązania fosforu w części ściekowej oczyszczalni,
- możliwość sumarycznego zmniejszenia kosztów zagęszczania/odwadniania osadów.

2.2.2.2. Kondycjonowanie fizyczne

Jedną z metod kondycjonowania fizycznego jest termokondycjonowanie, które polega na ogrzaniu osadu w czasie od 0,5 do 1,0 godziny w temperaturze 120–150°C przy ciśnieniu od 0,5 do 2,0 MPa. W wyniku ogrzania następuje w osadach denaturacja białek oraz zmiana ich struktury. Jest to rodzaj szybkowaru. Wynikiem tego jest znaczne zmniejszenie oporu właściwego i łatwe odwadnianie osadu. Termokondycjonowanie traktowane może być jako niechemiczna metoda poprawienia odwadnialności osadu. Proces ten stosuje się głównie dla osadów surowych. Zapewnia on pełną dezynfekcję osadu.

Bardzo efektywną metodą jest wymrażanie (zamrażanie i rozmrażanie) osadów. Jest ono szczególnie przydatne przy przeróbce osadów pokoagulacyjnych. Zastosowanie tego sposobu w skali technicznej zalecane jest wówczas, gdy może ono być realizowane w warunkach naturalnych. Próby sztucznego wymrażania wykazały, iż skuteczność instalacji stosowanych w tym celu jest niewystarczająca, a proces jest energochłonny. Zamrażanie i rozmrażanie osadów pokoagulacyjnych niszczy ich kłaczkową strukturę i powoduje duży stopień odwodnienia. Wymrażanie w warunkach technicznych osadu pokoagulacyjnego o uwodnieniu 98% może zapewnić zmniejszenie jego uwodnienia do 80%; osad po takim kondycjonowaniu jest granulatem osadu [34].

Specyficzną metodą fizyczną jest kondycjonowanie osadów z wykorzystaniem działania pola ultradźwiękowego i pola magnetycznego. Fala ultradźwiękowa jest wynikiem rytmicznych drgań ośrodka, w którym się rozchodzi. Przejściu fali ultradźwiękowej przez ośrodek ciekły towarzyszą takie zjawiska jak: kawitacja, ciśnienie promieniowania, dyspersja, koagulacja ultradźwiękowa, utlenianie, redukcja oraz zjawiska elektrokinetyczne. Zjawisko kawitacji to proces powstawania w cieczy

pustych przestrzeni i ich zanik oraz rezonansowe drgania pęcherzyków gazowych. Podczas rozchodzenia się w cieczy fali ultradźwiękowej o dużym natężeniu w miejscach rozrzedzeń (ujemne ciśnienie) może nastąpić rozerwanie ciągłości ośrodka, które spowoduje powstanie pustej przestrzeni, czyli powstanie pęcherzyka kawitacyjnego. Jest on wypełniony parami cieczy i rozpuszczonymi w niej gazami. W kolejnej fazie zagęszczania pęcherzyk ten zapada się (anihiluje) i jest źródłem lekkiego wzrostu ciśnienia. Zjawisko kawitacji występuje dopiero po przekroczeniu pewnej wartości natężenia fal ultradźwiękowych (zwanej progiem kawitacji), które zależy od wielu czynników i jest uważane za pierwotną przyczynę czynnego działania pola ultradźwiękowego. Wartość natężenia progu kawitacji zależy w dużym stopniu od częstotliwości drgań i bardzo szybko zwiększa się wraz z jej wzrostem. Przy bardzo wysokiej częstotliwości nie zaobserwowano kawitacji mimo wysokiego natężenia pola. Koagulujące działanie fal ultradźwiękowych odgrywa istotną rolę w układach ciekłych. Efekty koagulującego działania fal ultradźwiękowych zależą między innymi od rozmiarów cząstek nadźwiękawianej zawiesiny i od częstotliwości dźwięku, przy czym dla każdej wielkości zawieszonych cząstek istnieje określony przedział częstości drgań, w których w wyniku zderzeń dochodzi do koagulacji cząstek. Na proces koagulacji duży wpływ ma natężenie fali ultradźwiękowej. Przy natężeniu niższym niż próg kawitacji zachodzi tylko koagulacja, a powyżej progu także dyspersja [20, 28, 31, 127].

Pole elektromagnetyczne jest to stan przestrzeni, w której występują siły działające na znajdujące się w niej ładunki elektryczne i bieguny magnetyczne. Pole to jest charakteryzowane przez podanie w każdym punkcie czterech wektorów: natężenia pola elektrycznego E , indukcji elektrycznej D , indukcji magnetycznej B i natężenia pola magnetycznego H [127].

Mikrofale należą do fal elektromagnetycznych o długości fali od 1 mm do 1 m, co odpowiada częstotliwościom od 300 MHz do 300 GHz. Umieszczenie substancji o znacznej zawartości wody w polu mikrofalowym powoduje powstawanie zjawisk, z których część jest ściśle związana ze wzrostem temperatury ośrodka (tzw. efekty termiczne), zaś inne są charakterystyczne dla promieniowania elektromagnetycznego i nie mogą być osiągnięte na drodze ogrzewania (tzw. efekty nietermiczne) [17]. W warstwie materiału, w której nastąpiła penetracja promieniowania, zachodzi ogrzewanie objętościowe. Energia promieniowania mikrofalowego jest przekształcana w energię mechaniczną ruchu cząstek bezpośrednio wewnątrz naświetlonego materiału wskutek molekularnych interakcji z polem elektromagnetycznych. Następuje

polaryzacja lokalnego ładunku elektrycznego (np. dipoli) i ich orientacja odpowiednio do kierunku przyłożonego pola. Zmianie ustawienia dipoli przeciwdziałają siły oporu, co prowadzi do dysypacji energii i wydzielania ciepła. W warstwach znajdujących się poza zasięgiem mikrofal ogrzewanie może nastąpić w wyniku dyfuzji [78].

Kondycjonowanie mechaniczne polega na dodaniu do osadu substancji organicznych lub nieorganicznych budujących strukturę osadu, np. popiół, węgiel, pył węglowy, pył cementowy, trociny [3]. Przez wymieszanie osadu ze środkiem kondycjonującym następuje obniżenie całkowitej ściśliwości substancji stałej z powodu tworzenia się nieściśliwych struktur, co poprawia jednocześnie właściwości filtracyjne osadu i powoduje zwiększenie gęstości placka osadowego. Kondycjonowanie mechaniczne można stosować we wszystkich rodzajach urządzeń do mechanicznego odwadniania, ale w szczególności przy stosowaniu komorowych pras filtracyjnych [70].

Przemywanie osadu jest procesem wspomagającym działanie w przypadku stosowania wielu metod przeróbki osadu. Proces polega na wymianie stężonej cieczy osadowej o wysokiej zasadowości i zastąpieniu jej cieczą o niskiej zasadowości. Zasadniczym celem przemywania stosowanego w przypadku filtracji osadu jest zmniejszenie dawki koagulantu, która jest proporcjonalna do zasadowości. Zmniejszeniu ulega także zawartość związków rozpuszczonych, koloidów i gazów, co wydatnie polepsza zagęszczanie osadu ponadto powoduje znaczne zmniejszenie oporu właściwego osadu. Przemywanie stosowane jest najczęściej przy zagęszczaniu osadu przeznaczonego do odwadniania przez filtrację. Proces składa się z następujących operacji [34]:

- rozcieńczania osadu ściekami oczyszczonymi, rzadziej wodą odbiornika,
- mieszania rozcieńczonego osadu,
- sedymentacji i zagęszczania osadu w zagęszczaczach,
- dekantacji oddzielonej wody osadowej i spustu osadu zagęszczonego do dalszej przeróbki.

Napowietrzanie osadu nadmiernego przed zagęszczaniem umożliwia ograniczenie w czasie uwalniania się fosforanów do wód nadosadowych [127].

2.2.3. Odwadnianie osadów

Odwadnianie osadów ściekowych jest ważnym elementem procesu przeróbki osadów prowadzącym do znacznego zmniejszenia objętości osadu, zmiany ich

konsystencji, a tym samym stworzenia możliwości ich transportu, użytkowania, a także składowania [43].

Odwadnianie osadów polega na dalszym obniżeniu w nich zawartości wody w stosunku do procesów zagęszczania. Odwadnianiem określa się rozdział osadu na placek o zawartości suchej masy 15–40% i ciecz osadową pozbawioną zawieszin. Osad o takiej zawartości suchej masy traci płynność, a swoją konsystencją zbliża się do konsystencji mokrej ziemi [172, 173].

Woda zawarta w osadzie występuje w postaciach różniących się między sobą podatnością na odwadnianie [20, 164, 169]:

- woda wolna – nie związana z cząsteczkami stałymi osadu, można ją usunąć za pomocą grawitacyjnego opadania,
- woda uwięziona w kłaczkach – można ją usunąć metodą mechanicznego odwadniania,
- woda kapilarna – która przylega do poszczególnych cząsteczek osadu, może być usunięta wówczas, gdy zostaje zniszczona struktura cząstek osadu,
- woda związana chemicznie – można ją usunąć przez zniszczenie wiązań chemicznych.

Szeroko prowadzone badania nad procesem odwadniania wykazały, że istotny wpływ na przebieg procesu i efekt końcowy ma wiele czynników; należą do nich przede wszystkim: zawartość substancji stałych, uwodnienie początkowe, jakość osadu, wstępne przygotowanie osadu oraz opór właściwy. Uogólniając zagadnienie można stwierdzić, że efektywność procesu odwadniania zależy od zdolności filtracyjnych substancji stałych w odwadnianych osadach oraz od warunków prowadzenia procesu [19].

W celu zwiększenia efektywności odwadniania osadu należy poddać go odpowiedniemu przygotowaniu. Operacja ta polega na przekształceniu bezpostaciowej struktury osadów ściekowych w osad o strukturze porowatej, z którego łatwiej jest usunąć wodę. Rodzaj przygotowania osadu zależy od metody jaką będzie odwadniany [20].

Oleszkiewicz w pracy [145] określił 10 najważniejszych testów, którym powinno poddawać się osady przed wyborem urządzenia do ich odwadniania. Każdej z pozycji autor przypisał najbardziej zadawalający wynik testu, sprzyjający uzyskaniu możliwie najwyższej wydajności odwadniania:

- stężenie suchej masy: im większe tym lepiej,
- wielkość cząstek (kłaczków): im większa tym lepiej,

- rozkład wody w kłaczku osadu: jak najmniej wody związanej,
- własności reologiczne: zmniejszenie lepkości świadczy o sukcesie stabilizacji,
- odporność na ścinanie (N/m^2): im większa tym lepiej,
- ładunek elektryczny cząstki osadu: idealnie neutralny,
- przesączalność i odsączalność, czyli produkcja odcieków: odpowiednio im większa tym lepiej i im czystsze odcieki tym lepiej,
- opór właściwy filtracji: im mniejszy tym lepiej,
- czas ssania kapilarnego CSK: im mniejszy tym lepiej,
- ściśliwość: im większa odporność na ściskanie tym lepiej.

2.2.3.1. Metody odwadniania osadów

Proces odwadniania osadów może być realizowany dwiema metodami [173]:

- odwadnianie w warunkach zbliżonych do naturalnych:
 - poletka osadowe (zaliczane również do grupy urządzeń do suszenia osadów),
 - laguny,
- odwadnianie w urządzeniach mechanicznych:
 - wirówki, prasy filtracyjne.

2.2.3.1.1. Naturalne odwadnianie osadów

W odwadnianiu naturalnym wykorzystuje się naturalne procesy filtracji i parowania, jakie zachodzą na poletkach osadowych bądź w lagunach (które nie powinny być stosowane ze względu na odory i niską jakość produktu końcowego). Szybkość odwadniania osadu zależy od: grubości warstwy osadu, struktury osadu oraz wilgotności i temperatury powietrza [34, 151].

Poletka osadowe

W przypadku poletek osadowych udział filtracji przy odwadnianiu jest niewielki z uwagi na nieduże ciśnienie filtracji oraz w większości duży opór właściwy osadu. Filtracja cieczy występuje tylko w początkowym okresie po zalaniu poletka osadem. W ciągu 1–2 tygodni osad wysycha przez parowanie. Poletka osadowe powinny być zalewane osadem od razu do określonej wysokości, niedopuszczalne jest napełnianie poletka małymi porcjami. Optymalna grubość warstwy osadu wynosi 0,2–0,25 m. Decydującym czynnikiem w odwadnianiu osadu jest bilans opadu i parowania. Jeżeli parowanie przewyższa opad, sprzyja to procesowi odwadniania osadów. Czas odwadniania wynosi 1–1,5 miesiąca. W Polsce ze względu na warunki klimatyczne w okresie zimowym bądź późnojesiennym odwadnianie nie występuje z uwagi na niskie

temperatury lub wysokość opadów. Proces odwadniania można przyspieszyć poprzez wprowadzenie polimerów do osadów, które zwiększają wymiary cząstek i powierzchnię parowania. Czynnikiem wspomagającym proces odwadniania na poletkach jest zadaszenie poletka, a co za tym idzie – wyeliminowanie opadów deszczu.

W wyniku odwadniania na poletkach otrzymuje się osad o uwodnieniu końcowym 50–60%. Osad usuwany jest z poletek mechanicznie. Następnie powinien być składowany w przyzmach na terenie oczyszczalni ścieków przez jeden rok. Wpływa to korzystnie na jego humifikację, co ma znaczenie przy rolniczym wykorzystaniu osadów [31].

Laguny osadowe

Są to zbiorniki najczęściej ziemne, które zalewa się osadem do wysokości 1–2 m. Odwadnianie w lagunach oparte jest na tych samych procesach co odwadnianie na poletkach. Jednak z uwagi na grubość warstwy osadu czas odwadniania jest długi, a uwodnienie końcowe osadów wynosi 80–85%. Właściwości osadu odwadnianego utrudniają jego wywożenie – osad jest plastyczny (ciastowaty).

W przeszłości rozwiązania te znajdowały szerokie zastosowanie w Polsce ze względu na prostotę konstrukcji, łatwą i taną eksploatację, niskie koszty budowy (szczególnie, gdy osad może zalegać na stałe) [173].

Obecnie odchodzi się od stosowania naturalnych metod odwadniania osadów z uwagi na ich niską efektywność. Szczególnie nie zaleca się wykorzystania lagun do odwadniania osadów surowych z uwagi na dużą uciążliwość zapachową [31].

2.2.3.1.2. Mechaniczne odwadnianie osadów

Najbardziej efektywnym sposobem odwadniania osadów jest odwadnianie mechaniczne. W procesie tym z osadów usuwana jest woda wolna i woda kapilarna [54].

W procesie mechanicznego odwadniania osadu do oddzielenia fazy stałej od ciekłej służą dwie zasadnicze operacje [70, 132]:

- filtracja przy pomocy ciśnienia (taśmowe prasy filtracyjne),
- rozdział faz za pomocą sztucznie wytworzonych sił odśrodkowych (wirówki).

Szczególnym przypadkiem filtracji jest bardzo subtelna filtracja przez materiały porowate, zw. membranami, gdzie polscy uczeni mają znaczące osiągnięcia, min. Bodzek M. [32, 33], Kabsch-Korbutowicz M. [79, 80, 81, 105, 211], Wiśniewski J. [84, 211], a przede wszystkim pionier badań w tym kraju Winnicki T. [79, 105]. Ta

problematyka jako szczególna wymagałaby odrębnego potraktowania i tu nie będzie rozważana.

Odwadnianie na prasach polega na wyciskaniu wody z osadu – zwykle z udziałem filtracji. Materiał filtracyjny wymusza oddzielenia fazy ciekłej od stałej, przy czym skuteczność odwadniania zależna jest od rodzaju filtru, właściwości osadu i sposobu jego kondycjonowania.

Podczas odwadniania przy wykorzystaniu sił odśrodkowych wykorzystywane są różnice gęstości pomiędzy cząsteczkami fazy ciekłej i stałej. Im większe są, mechanicznie wytworzone, różnice gęstości tym lepsza jest skuteczność odwadniania [70].

Na efektywność odwadniania osadów poprzez odwirowanie wpływa rozmiar cząstek, natomiast na szybkość tego procesu przez filtrację – kształt, rozmiar i koncentracja cząstek [26, 217, 218].

Polepszenie efektów procesu mechanicznego odwadniania osadów można uzyskać przy pomocy [132]:

- optymalnego wstępnego zagęszczania statystycznego,
- optymalnego kondycjonowania.

W tabeli 2.33 przedstawiono porównanie efektów odwadniania w różnych urządzeniach stosowanych do mechanicznego odwadniania osadów. Porównanie to odnosi się wartości średnich. Indywidualne przypadki są zróżnicowane, gdyż różne są osady i ich stopień kondycjonowania [19].

Tabela 2.33. Porównanie efektów odwadniania w stosunku do prasy taśmowej, dla której przyjęto 23% s.m. [19]

Rodzaj urządzenia	Różnica w s.m. placaka, %	Współczynnik rozdziału R, %
Prasa taśmowa	0	90–95*
Wirówki	–4	90–95*
Wirówka „prasująca”	+7	93
Prasa komorowa	+9	98
Prasa membranowa	+13	98
Prasa śrubowa	–4	90+
Filtr próżniowy	–7	85–90
*zależy od dawki polimeru		

Z tabeli 2.33 wynika, iż prasy komorowe i membranowe oraz wirówki prasujące dają najbardziej suchy placek i najlepszy współczynnik rozdziału [19].

Wirówki

W wirówkach do rozdziału fazy stałej od ciekłej wykorzystuje się siłę odśrodkową wytworzoną mechanicznie, z przyspieszeniem około 1500–3000 razy większym od przyspieszenia ziemskiego [165, 173].

Zasadniczą zaletą wirówek jest małe zapotrzebowanie na powierzchnię, wadą zaś wysokie koszty eksploatacyjne, uciążliwość dla otoczenia (hałas), a także powstawanie stężonej cieczy osadowej [177].

Efekty działania wirówek zależą od czynników mechanicznych (konstrukcja bębna, szybkość obrotowa), od właściwości osadów (uwodnienia, temperatury, lepkości, wielkości cząstek) i od trafnego doboru polimeru i jego dawki. Najczęściej stosowane są polimery kationowe w dawkach 3–8 g/kg s.m [31].

Do odwadniania osadów stosuje się następujące rodzaje wirówek [172, 173]:

- wirówki cylindryczno-stożkowe, zwane też ślimakowymi lub sedymentacyjnymi o osi poziomej,
- wirówki cylindryczne z bębniem nieperforowanym i mechanicznym usuwaniem osadu,
- wirówki talerzowe, zwane też dyskowymi.

Najczęściej do odwadniania osadów stosuje się wirówki sedymentacyjne cylindryczno-stożkowe współprądowe lub przeciwaprądowe.

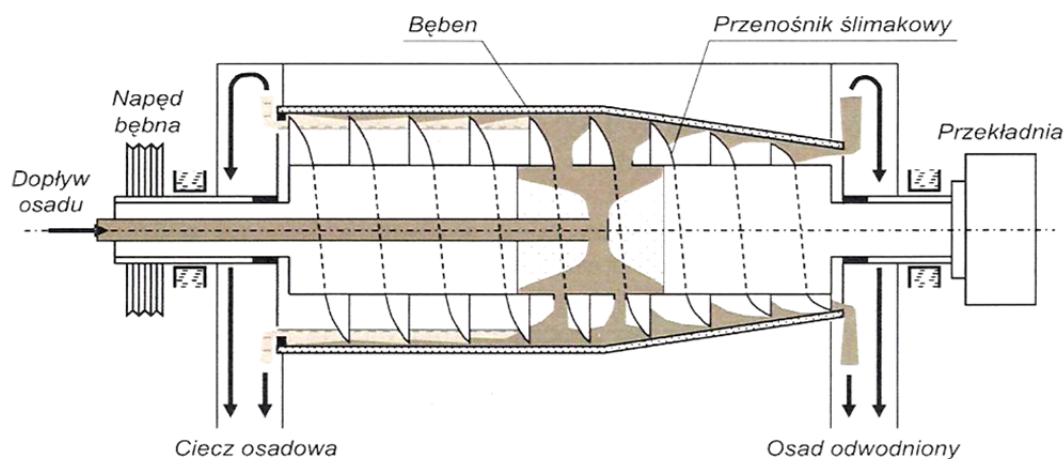
Wirówki sedymentacyjne są skomplikowane w budowie [37, 56, 61, 62, 63, 69, 71, 138, 160, 161, 162, 185, 188, 189, 202]. Głównymi jej elementami są bęben i przenośnik ślimakowy, obracające się z różnymi prędkościami. Osad doprowadzany jest przewodem wsuniętym do wnętrza pustego wału ślimaka. W środkowej części wale znajdują się otwory, przez które osad przedostaje się do bębna wirówki. Wskutek działania siły odśrodkowej osad gromadzi się bezpośrednio na ścianie bębna. Nad warstwą osadu znajduje się kilkucentymetrowa warstwa wody osadowej. Osad przenoszony jest ślimakiem w kierunku części stożkowej i wypada z wirówki przez otwór wylotowy.

W dnie części cylindrycznej znajdują się regularne otwory do odpływu wody osadowej. W wirówkach tego typu obraca się, w tym samym kierunku, bęben i szybciej od bębna przenośnik ślimakowy. Różnica prędkości decyduje o stopniu odwodnienia osadu [173].

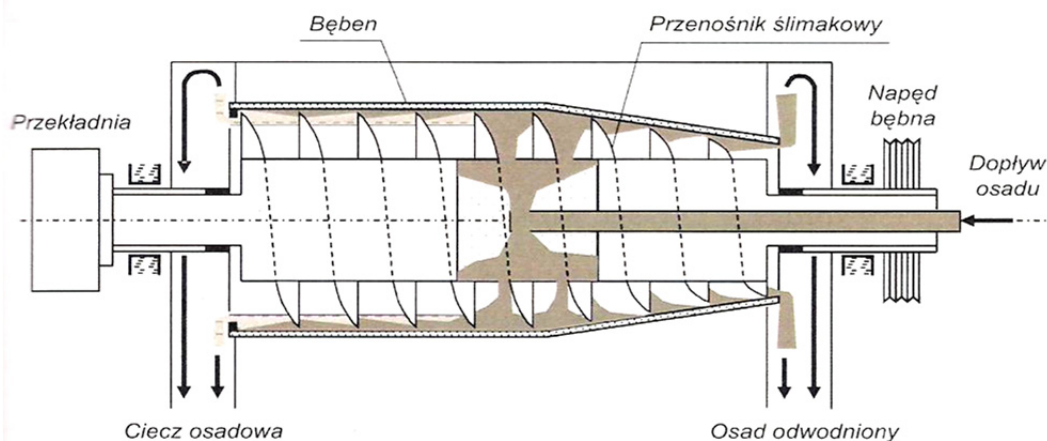
Wyróżniamy wirówki sedymentacyjne współprądowe i przeciwpładowe. Urządzenia te różnią się kierunkiem przepływu fazy stałej i ciekłej, które są, w zależności od typu maszyny, współ- lub przeciwbieżne.

W wirówce współprądowej zarówno substancje stałe, jak i wody osadowe transportowane są od miejsca ich wprowadzenia do wirówki (wlot przy szerszym końcu bębna wirówki) w kierunku węższego, stożkowego końca wirówki, tzw. strefy suchej.

W wirówce przeciwpładowej ruch fazy stałej i ciekłej jest przeciwbieżny, zasilanie wirówki następuje od strony stożkowej [70].



Rys. 2.41. Schemat wirówki współprądowej [45]



Rys. 2.42. Schemat wirówki przeciwpładowej [45]

Do nowoczesnych wirówek należy zaliczyć: wirówki prasujące Centripress[®] Bird Humboldt, wirówki dekantacyjne Alfa Laval oraz wirówki dekantacyjne Flottweg. Centripress[®] jest optymalizowaną kombinacją szeregu stopni rozdzielania w jednym zespolonym systemie. Ciśnienie wytwarzane w Centripress[®] jest 10 razy wyższe niż w wirówkach konwencjonalnych. W części stożkowej bębna osad jest poddawany

dwukierunkowemu działaniu sprasowywującemu. Specjalne rozwiązanie przenośnika ślimakowego zapewnia nacisk w kierunku osiowym, co w połączeniu z zagęszczaniem odśrodkowym daje dodatkowe zagęszczanie osadów w celu uwolnienia wody kapilarnej. Aby utrzymać maksymalną efektywność odwadniania przy zmiennym natężeniu dopływu i zmiennym rodzaju osadów, należy przede wszystkim kontrolować poziom fazy stałej w bębnie wirówki. Jest to wykonywane za pomocą systemu napędzania przenośnika śrubowego, który w sposób ciągły bada jakość części stałych w rotorze i odpowiednio reguluje prędkość różnicową lub natężenie dopływu osadów. Niezawodne i optymalne działanie Centripress® (lub jakiegokolwiek innej wirówki wysokoodwadniającej) wymaga prawidłowego połączenia systemu napędu rotora i ślimaka. Stopień odwodnienia osadów jest bezpośrednio związany z momentem obrotowym. Wirówka pracuje przy korpusie prawie całkowicie wypełnionym osadem, a zatem działa w warunkach całkowitego „zatkania”. A zatem istotnym elementem kontroli pracy wirówki w tych warunkach jest zdolność do kontrolowania momentu obrotowego [19, 59].

Wirówki dekantacyjne Alfa Laval mogą pracować zarówno w trybie zagęszczania, jak i odwadniania. Instalacja w wirówkach dekantacyjnych może być zautomatyzowana do tego stopnia, że umożliwia pracę urządzenia 24 godziny na dobę przy minimalnym nadzorze operatora. Przenośnik jest napędzany za pośrednictwem przekładni planetarnej zaopatrzonej w hamulec elektromagnetyczny ECB, sterowany przez sterownik ABC zapewniający w pełni automatyczną pracę i kontrolę prędkości różnicowej. Sterownik ABC zabezpiecza także przekładnię przed nadmiernym przeciążeniem [19].

W wirówce dekantacyjnej Flottweg prędkość obrotowa bębna, prędkość różnicowa między ślimakiem i bębniem oraz poziom cieczy w bębnie mogą być zmieniane. Przy zmianie poziomu cieczy przesuwają się również strefa sucha i strefa cieczy. W ten sposób, w określonych granicach, uzyskuje się wpływ na zawartość fazy stałej w osadzie oraz na odpływ cieczy. W celu dopasowania wirówki dekantacyjnej do zawiesiny podczas pracy większość wirówek dekantacyjnych Flottweg jest dostarczana z nastawną tarczą zbierającą [19].

Podstawowymi wielkościami oceniającymi efektywność technologiczną wirówek są [20, 172]:

- współczynnik rozdziału R,
- uwodnienie płacka osadu.

Współczynnik rozdziału R określa stosunek zawartości części stałych w osadzie odwodnionym (tzw. placku osadowym) do zawartości części stałych w osadzie doprowadzanym. Ponieważ wirowanie przebiega bez procesu filtracji, współczynnik rozdziału R jest mniejszy niż przy prasach filtracyjnych. Zastosowanie polimeru zwykle znacznie zwiększa jego wartość, która może być nawet większa od 99% – do oczyszczalni wraca 1% osadu [144]. Niski współczynnik rozdziału powoduje, że do oczyszczalni wraca duży ładunek wraz z odciekem z wirówek. Jest to szczególnie istotne w przypadku odwadniania źle przefermentowanych osadów lub osadów surowych [173].

$$R = \frac{M_k}{M_o} \cdot 100, \% \quad (2.11)$$

gdzie:

M_k – zawartość ciał stałych w osadzie odwodnionym, kg s.m./d,

M_o – zawartość ciał stałych w osadzie doprowadzanym, kg s.m./d.

Wymaga się, aby w czasie odwadniania na wirówkach wartość współczynnika rozdziału była większa od 95% [54]. Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, to masa osadu zawarta w odcieku, po zawróceniu do układu oczyszczania, powoduje istotne zakłócenia w pracy oczyszczalni ścieków. Najczęściej przyjmuje się, że stężenie zawiesiny w wodzie osadowej po procesie wirowania powinno być niższe niż 2% suchej masy w osadzie doprowadzanym, co np. dla osadu o zawartości 30 g s.m./l oznacza stężenie zawiesiny w odcieku 0,6 g/l.

Uwodnienie osadu odprowadzanego z wirówek zależy od rodzaju osadu oraz dawki polielektrolitu (zazwyczaj kationowego), jako środka kondycjonującego, której wielkość wynosi 2–10 g/kg s.m. osadu [173].

Heidrich Z. w pracy [70] jak pisze Podedworna J. i Umiejewska K. [173] podaje, że po procesie odwadniania na wirówkach otrzymuje się osad o następującym uwodnieniu:

- osad nadmierny surowy 82–86%,
- osad wstępny przefermentowany 66–74%,
- osad nadmierny przefermentowany 80%.

Wielkością charakteryzującą działanie danej wirówki jest wyróżnik wirowania wyrażający stosunek odśrodkowego przyspieszenia, oddziałującego na cząsteczki osadu

i wywołanego działaniem wirówki, do przyspieszenia wywołanego przez przyciąganie ziemskie [177]:

$$K_w = \frac{b}{g} = \omega^2 \frac{r'_w}{g} = (2\pi n)^2 \frac{r'_w}{g} \quad (2.12)$$

gdzie:

K_w – wyróżnik wirowania, wielkość bezwymiarowa,

b – przyspieszenie odśrodkowe, m/s^2 ,

g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ,

ω – prędkość kątowna bębna wirówki, rad/s ,

n – szybkość obrotowa bębna wirówki, s^{-1} ,

r'_w – promień bębna wirówki pomniejszony o połowę warstwy osadu przylegającego do ścian bębna, m ,

$$r'_w = r_w - \frac{h}{2} \quad (2.13)$$

przy czym:

r_w – promień bębna wirówki, m ,

h – grubość warstwy osadu w bębnie, m .

Siłę odśrodkową oddziałującą na cząstki osadu wywołaną działaniem wirówki można wyrazić wzorem [177]:

$$F = X_o g K_w \quad (2.14)$$

gdzie:

F – siła odśrodkowa działająca na cząstki osadu w wirówce, N ,

X_o – masa cząstki osadu, kg ,

g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ,

K_w – wyróżnik wirowania, wielkość bezwymiarowa.

Parametrami podlegającymi regulacji i pracy wirówek są: prędkość obrotowa, prędkość różnicowa, czyli różnica prędkości obrotowej między bębniem a ślimakiem, wydajność wirówki oraz grubość warstwy cieczy w wirówce.

W wirówkach najlepszy efekt odwadniania uzyskuje się dla osadów surowych i przefermentowanych – nawet do 34% s.m. (tabela 2.34). Najmniej efektywnie odwadniają się osady ustabilizowane tlenowo. W każdym przypadku, tj. bez względu na rodzaj odwadnianego na wirówkach osadu, współczynnik rozdziału wynosi 90–95% [173].

Tabela 2.34. Wyniki odwadniania osadów w wirówkach [54]

Rodzaj osadu	Procentowa zawartość suchej masy w placku [%]	Współczynnik rozdziału R [%]	Dawka polimeru [g/kg s.m.]
1. Surowy osad wstępny	28–34	90–95	2–3
2. Przefermentowany osad wstępny	26–34	90–95	2–3
3. Surowy osad nadmierny	14–18	90–95	6–10
4. Przefermentowany osad nadmierny	14–18	90–95	6–10
5. Surowy, mieszany osad wstępny i nadmierny	18–25	90–95	3–7
6. Przefermentowany, mieszany osad wstępny i nadmierny	17–24	90–95	3–8
7. Osad po tlenowej stabilizacji	12–16	90–95	6–10

Prasy

Działanie pras opiera się na procesie wyciskania wody z osadu – zwykle z udziałem filtracji. Proces ten wymaga dobrego przygotowania osadu pod kątem wytworzenia odporności na ściskanie. Do odwadniania osadu stosuje się następujące rodzaje pras: prasy sitowo-taśmowe, prasy filtracyjne (ramowe, komorowe, membranowe) [31].

Prasy filtracyjne

Odwadnianie osadów w prasach filtracyjnych polega na filtracji przez tkaniny umieszczone między płytkami prasy filtracyjnej. Istnieją dwa zasadnicze typy pras filtracyjnych: ramowe i komorowe. W celu przyspieszenia filtracji cieczy osad przed odwadnianiem poddaje się kondycjonowaniu [20].

Prasa filtracyjna ramowa

Prasa ramowa składa się z pionowo ustawionych płyt i ram przylegających na przemian do siebie i przymocowanych do poziomych dźwigarów. Jedna z dwóch zewnętrznych płyt skrajnych jest ruchoma, dzięki czemu można wszystkie płyty i ramy silnie dociskać tak, że zewnętrzna część płyty i ram stanowi szczelną obudowę prasy. W krawędzi każdej płyty i ramy znajdują się otwory o wspólnej osi, które po docięnięciu tworzą kanał do rozprowadzenia osadu. Z tego kanału osad przedostaje się odpowiednimi wycięciami do przestrzeni każdej z ram. Przestrzeń ramy jest osłonięta z dwóch stron tkaniną filtracyjną, opierającą się na płycie z odpowiednimi wycięciami. Wycięcia te tworzą kanaliki do odprowadzania filtratu, który ostatecznie wydostaje się na zewnątrz prasy [20].

Prasa filtracyjna komorowa

Prasa komorowa w odróżnieniu do prasy ramowej składa się tylko z samych płyt przylegających do siebie. Płyty te są tak ukształtowane, że po dociśnięciu ich do siebie tworzą się między nimi komory. Osad jest wprowadzany do każdej z komór. Komora jest oddzielona od swych ścian, utworzonych przez dwie sąsiednie płyty, tkaniną filtracyjną. Tkanina opiera się na wyżłobieniach w płycie, którymi dopływa filtrat do przewodu oddzielonego dla każdej z płyt bądź wspólnego [20].

Prasa komorowa pracuje jako niskociśnieniowa (ciśnienia rzędu 350–850 kPa) lub wysokociśnieniowa (ciśnienia rzędu 700–1400 kPa). Stosowanie stopniowania ciśnienia, np. podnoszenie skokami o 400 kPa, poprawia efekt filtracji [31].

Prasa filtracyjna membranowa

Prasy membranowe, skonstruowane po raz pierwszy w 1969 r., zaczęły być popularne w latach osiemdziesiątych. Prasa zawiera dodatkowo membranę z tworzywa sztucznego lub z gumy naturalnej. Prasa pracuje pod ciśnieniem rzędu 700–1100 kPa do końca cyklu napełniania i filtracji. Membranowa prasa filtracyjna różni się od konwencjonalnej prasy komorowej głównie w sposobie odwadniania osadu. Osad jest odwadniany w dwóch etapach: poprzez filtrację oraz ściskanie pod ciśnieniem membrany. Po zatrzymaniu napełniania włącza się ciśnienie powietrza na membranę, która dodatkowo wyciska wodę z już utworzonego placka. To dodatkowe ciśnienie wynosi 1500–2000 kPa. Pozwala to na uzyskanie placka o zawartości suchej masy większej o 5–8% s.m. od prasy komorowej [31].

Prasy filtracyjne sitowo-taśmowe

Prasy filtracyjno-taśmowe oparte są na tych samych procesach jednostkowych co prasy filtracyjne. Podstawowa różnica pomiędzy tymi urządzeniami sprowadza się do ciągłego ruchu tkaniny filtracyjnej oraz sposobu uzyskiwania ciśnienia filtracji. W prasach filtracyjno-taśmowych ciśnienie filtracji uzyskuje się przez mechaniczny docisk tkaniny filtracyjnej obrotowymi wałkami. Powoduje to, że zużycie energii w tego rodzaju prasach jest znacznie mniejsze niż w prasach filtracyjnych. Wadą tych urządzeń jest wymagana duża powierzchnia tkaniny filtracyjnej oraz znacznie szybsze jej zużycie. Prasy filtracyjno-taśmowe są technicznie złożonymi urządzeniami i obecnie bardzo często stosowanymi w oczyszczalniach ścieków. Osady odwadniane na prasach filtracyjno-taśmowych wymagają takiego samego kondycjonowania jak w prasach filtracyjnych. Obciążenie prasy suchą masą osadu w przeliczeniu na 1 m szerokości tkaniny zależy od wielu parametrów, z których najistotniejsze to: szybkość przesuwu

taśmy, czas przetrzymania w strefie odwadniania grawitacyjnego oraz uwodnienie doprowadzanego osadu. Dla osadów powstających przy oczyszczaniu ścieków miejskich obciążenie to zawiera się w przedziale od 90 do 680 kg s.m./mh. Przy eksploatacji ważne jest aby zapewnić równomierny rozdział osadu na całej szerokości taśmy. Przy zwiększeniu szerokości przesuwu taśmy należy liczyć się z obniżeniem stopnia odwadniania osadu [31].

Cykl pracy prasy filtracyjno-taśmowej to trzy fazy filtracji [31]:

- faza odwodnienia grawitacyjnego – kondycjonowany wstępnie osad jest doprowadzany na taśmę filtracyjną, gdzie pod wpływem siły ciężkości zostaje odsączona woda uwolniona w procesie koagulacji,
- faza klinowa – odwadnianie przy niskim ciśnieniu, w strefie klinowej, wstępnie uformowany placek zostaje poddany działaniu taśmy dociskowej,
- faza odwodnienia wysokociśnieniowego – osad zawarty między dwoma taśmami przesuwa się do strefy wysokiego ciśnienia, gdzie następuje właściwe odwodnienie osadów. Strefa ta to zestaw wałków o różnych średnicach, po których przesuwają się taśmy.

W fazie pierwszej osad po dodaniu i wymieszaniu z polimerem jest poddawany grawitacyjnemu odwadnianiu na prasie filtracyjnej, gdzie deflektory przerzucają osad, który oddaje oddzieloną w czasie flokulacji wodę. Osad tak zagęszczony przechodzi do następnie do strefy niskiego ciśnienia, gdzie formuje się struktura placka osadu. Strefa ta nazywana jest klinową ze względu na zmniejszającą się klinowo grubość placka. W strefie wysokiego ciśnienia osad jest ściskany z dwóch stron taśmą filtracyjną naprężaną przez kolejne rolki o coraz to mniejszej średnicy. Ciśnienie to rośnie stopniowo [31].

Prasy sitowo-taśmowe są zamontowane jako konstrukcje wykonane z profili stalowych, na których umieszcza się rolki nośne sterujące i zawracające. Po rolkach przesuwają się dwie taśmy: dolna filtrująca i górna dociskowa, wykonane ze specjalnego tworzywa sztucznego. Obydwie taśmy poruszają się w tym samym kierunku i z tą samą prędkością [31].

Podedworna J. i Umiejewska K. w pracy [173] przedstawiła parametry technologiczne charakteryzujące pracę prasy taśmowej (tabela 2.35).

Z danych przedstawionych w tabeli 2.35 wynika, że na prasach taśmowych najwyższą efektywność uzyskuje się podczas odwadniania osadów surowych wstępnych oraz osadu przefermentowanego wstępnego i nadmiernego – nawet do

44% s.m. Najslabiej odwadnia się osad po stabilizacji tlenowej. Najwyższe dawki polimeru do 10 g/kg s.m. stosuje się do odwadniania nadmiernego osadu czynnego surowego i przefermentowanego [173].

Tabela 2.35. Parametry technologiczne charakteryzujące pracę prasy taśmowej [54, 173]

Rodzaj osadu	Obciążenie prasy osadem kg s.m./(m·h)	Zawartość ciał stałych %		Dawka polimeru kg/t s.m.
		nadawa	placek	
1. Osad surowy				
➤ wstępny	260–680	3–10	24–44	1–5
➤ nadmierny osad czynny	40–230	0,5–4,0	20–35	1–10
➤ mieszany osad wstępny i nadmierny	180–590	3–6	20–40	2–8
➤ mieszany osad wstępny i wtórny po złożach biologicznych	180–590	3–6	20–40	2–8
2. Osad przefermentowany				
➤ wstępny	360–680	3–10	25–36	1–5
➤ nadmierny osad czynny	40–136	3–4	12–22	2–10
➤ mieszany osad wstępny i nadmierny	180–680	3–9	18–44	2–8
3. Osad po tlenowej stabilizacji				
➤ mieszany osad wstępny i nadmierny	90–230	1–3	12–20	2–8

Workownice

Workownice znane są pod nazwą DRAIMAD. Zasadniczą część urządzenia odwadniającego stanowi obudowa ze stali nierdzewnej, w której mocuje się worki z tkaniny filtracyjnej. Osad podawany jest do zbiornika rozdzielczego, z króćcami u dołu, do których podwieszone są worki. Osad wlewa się do worków, ciecz osadowa filtruje na zewnątrz, a części stałe osadu pozostają wewnątrz worków. Proces odwadniania może być sterowany ręcznie lub automatycznie. Urządzenia produkowane są ze zróżnicowaną liczbą worków do odbioru osadu (2, 3, 6 lub 12 worków).

Urządzenie odwadniające współpracuje z zespołem dozowania polielektrolitu. Zespół ten pozwala na przygotowanie i dawkowanie polielektrolitu do doprowadzanego osadu. Powstająca w ten sposób nadawa jest dobrze wymieszana, po przepłynięciu przez statyczny mieszacz labiryntowy, umożliwiającą reakcję między osadem a polielektrolitem [173].

Wielkość urządzenia, mierzoną liczbą worków, można wyznaczyć ze wzoru [53]:

$$N = \frac{Q \cdot s.m.}{85a} \quad (2.15)$$

gdzie:

Q – dobową produkcję osadu, l/d,

s.m. – zawartość suchej masy w osadzie doprowadzanym do urządzenia, %,

a – stała liczbowa:

a = 17,5 dla osadów po biologicznym oczyszczaniu,

a = 15 dla osadów po biologicznym oczyszczaniu wspomaganym chemicznym strącaniem,

a = 20 dla osadów wstępnych.

2.2.4. Suszenie osadów ściekowych

Suszenie osadów jest operacją jednostkową, która polega na redukcji zawartości wody przez odparowanie wody do powietrza. Podczas suszenia zachodzi wymiana ciepła i masy (wody). „Siłą napędową” procesu jest różnica ciśnień cząstkowych pary wodnej w powietrzu suszącym i pary nasyconej w warstwie nad powierzchnią osadów.

Suszenie osadów ściekowych może zachodzić w warunkach naturalnych z zastosowaniem urządzeń mechanicznych (suszenie termiczne) lub z wykorzystaniem energii słonecznej [173].

2.2.4.1. Suszenie termiczne

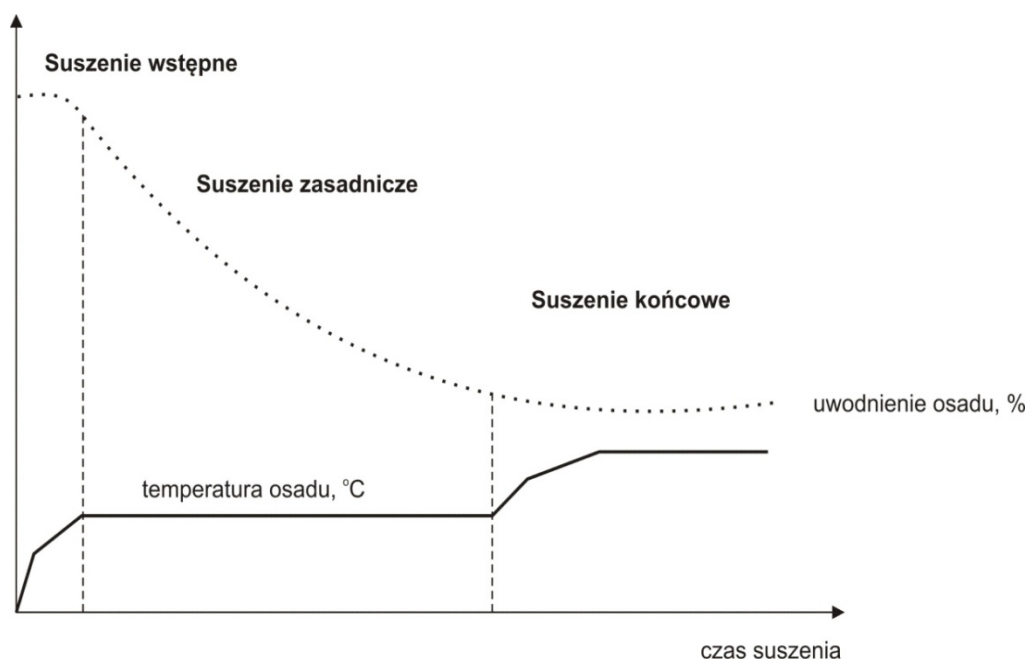
Suszenie termiczne wykorzystywane jest do przyspieszenia usuwania wody z osadów poprzez kontakt z gorącym powietrzem lub gorącymi gazami spalinowymi. Suszenie termiczne stosowane jest często jako uzupełniający stopień odwadniania osadów ze zmniejszoną zawartością węgla (po stabilizacji) przed ich spalaniem. Do suszenia osadów wykorzystuje się: suszarki rozpyłowe, suszarki obrotowe, itp [55].

Suszarki rozpyłowe działają na zasadzie kontaktu rozpylonego osadu z gorącym powietrzem lub spalinami, najczęściej w przeciwnym kierunku. Z uwagi na dużą powierzchnię kontaktu, czas suszenia jest krótki (sekundy), a efektywność odwadniania duża. Suszarki tego typu stosowane są do odwadniania osadów spalanych w piecach fluidalnych lub do odwadniania osadów wykorzystywanych do celów rolniczych (łatwość granulowania osadów).

Suszarki obrotowe działają na zasadzie zbliżonej do pieców obrotowych w przemyśle cementowym (mniej efektywne). Obrotowe suszarki mogą mieć formę zamkniętych przenośników ślimakowych. Taki ślimak ogrzewany jest czynnikiem roboczym (gorące powietrze, gazy spalinowe), z którego ciepło przekazywane jest do transportowanego osadu, znajdującego się pomiędzy ślimakiem a obudową [55].

Suszenie termiczne jest procesem wysoce energochłonnym. Zmniejszenie kosztów suszenia osadów osiąga się maksymalnym zagęszczeniem/odwodnieniem osadów. W suszeniu termicznym należy stosować kilka wymienników ciepła, aby dalej zminimalizować zapotrzebowanie na energię cieplną. Odparowaną z osadu wodę należy z czynnika suszącego wydzielić (schłodzenie, wymienniki ciepła) i następnie zawrócić do układu oczyszczania ścieków. W suszeniu termicznym nie występuje rozkład związków organicznych zawartych w osadzie. Suszenie termiczne może być związane z uciążliwością zapachową, co wymaga nieraz dezodoryzacji czynnika suszącego [55].

Proces suszenia przebiega według następującego schematu (rysunek 2.43): pierwszy etap to suszenie wstępne, podczas którego następuje wzrost temperatury osadów, następnie rozpoczyna się suszenie zasadnicze przy stałych warunkach termicznych, oraz etap ostateczny to suszenie końcowe [151].



Rys. 2.43. Schemat przebiegu procesu suszenia osadów [151]

2.2.4.2. Suszenie naturalne – słoneczne

Ostatnio wprowadza się suszenie naturalne – słoneczne, gdzie odwodniony osad jest suszony w szklarniach z wykorzystaniem mechanicznych przewracarek, z silną wymuszoną i naturalną wentylacją szklarni oraz wykorzystaniem ciepła w ściekach surowych lub oczyszczonych do podgrzewania betonowej podłogi [109, 187]. Nie jest to technologia prowadząca do osadu nadającego się do rolnictwa, gdyż nie daje pełnej gwarancji zabicia jaj helmintów, ale bardzo ekonomicznie przygotowuje osad do spalania. Systemy te wydawnie zmniejszają masę osadu, stąd nadają się szczególnie do

oczyszczalni małych i średnich, zwłaszcza położonych daleko od punktu ostatecznego odbioru osadu – np. centralnego zakładu termicznego utleniania osadu [55].

2.2.5. Dane statystyczne dotyczące gospodarki osadami ściekowymi

Na podstawie informacji i opracowań Głównego Urzędu Statystycznego, w tabelach 2.36 i 2.37 przedstawiono dane dotyczące ilości osadów ściekowych wytworzonych w komunalnych oczyszczalniach ścieków w latach 2008–2012 oraz metod ich zagospodarowania z podziałem na poszczególne województwa.

Tabela 2.36. Zestawienie ilości osadów wytwarzanych w oczyszczalniach ścieków komunalnych w latach 2008–2012 [139, 140, 141, 142, 143]

Województwa	Osady wytworzone w ciągu roku					Osady dotychczas (nagromadzone) na terenie własnym zakładu				
	[tys. ton suchej masy]									
	2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
Polska	567,3	563,1	526,7	519,2	533,3	598,8	453,8	332,4	212,4	208,1
dolnośląskie	38,1	38,1	35,4	32,6	33,7	54,6	50,9	10,0	0,0	0,1
kujawsko-pomorskie	28,5	30,3	27,2	26,6	24,2	54,9	53,0	53,1	0,1	0,1
lubelskie	22,6	23,0	21,3	21,8	21,0	114,3	10,9	-	-	-
lubuskie	19,2	19,4	19,7	16,8	15,3	31,6	29,0	0,2	0,2	0,2
łódzkie	38,1	40,9	38,7	43,5	41,5	135,6	154,7	159,6	164,9	169,7
małopolskie	44,9	43,2	42,5	45,6	42,9	18,5	1,4	2,0	-	-
mazowieckie	67,6	68,2	63,1	55,8	78,5	23,3	8,0	-	-	-
opolskie	18,2	15,5	15,4	17,5	15,6	2,5	0,9	0,7	0,6	-
podkarpackie	26,9	25,9	26,5	23,7	23,1	1,1	1,2	1,1	0,2	0,3
podlaskie	16,8	17,4	16,6	16,6	16,3	20,7	20,4	18,1	17,5	20,0
pomorskie	34,3	34,5	33,7	30,3	35,1	5,0	1,1	0,2	0,2	-
śląskie	68,0	69,8	58,6	60,5	61,3	21,2	17,8	14,4	14,1	1,4
świętokrzyskie	14,0	14,9	15,0	17,3	16,5	29,9	28,9	28,6	2,5	2,7
warmińsko-mazurskie	30,3	27,9	26,3	26,9	18,2	22,8	25,8	23,5	8,4	10,1
wielkopolskie	73,2	67,9	58,2	57,6	61,4	55,1	44,2	15,7	3,6	3,4
zachodniopomorskie	26,7	26,3	28,7	26,2	28,8	7,9	5,5	5,1	0,2	0,2

Tabela 2.37. Zestawienie metod i ilości osadów ściekowych wykorzystanych w latach 2008–2012 [139, 140, 141, 142, 143]

Województwa	Osady wytworzone w ciągu roku								Osady wykorzystane z dotychczas składowanych (nagromadzonych)
	stosowane			przekształcone termicznie	składowane		magazynowane czasowo	inne	
	do rekultywacji terenów	w rolnictwie	do uprawy roślin		razem	w tym na terenie zakładu			
[tys. ton suchej masy]									
Polska									
2008	105,8	112,0	27,5	6,0	91,6	54,1	52,9	171,5	183,2
2009	77,8	123,1	23,5	8,9	81,6	45,4	72,9	175,3	190,4
2010	54,3	109,3	30,9	19,8	58,9	29,6	68,2	185,2	63,4
2011	54,4	116,2	31,0	41,6	51,4	14,2	53,1	171,4	14,8
2012	50,3	115,0	33,3	56,6	46,8	13,7	52,7	178,6	9,6
dolnośląskie									
2008	14,1	3,4	0,1	-	11,0	5,2	0,9	8,6	3,2
2009	3,0	11,3	0,3	0,0	12,4	3,6	1,7	9,3	7,2
2010	3,1	10,0	1,0	-	11,8	4,9	0,4	9,1	5,0
2011	7,4	5,5	2,0	-	6,7	-	3,9	7,1	0,0
2012	10,9	6,9	2,1	-	4,0	0,1	3,3	6,5	-
kujawsko-pomorskie									
2008	4,9	7,3	0,1	0,0	3,5	1,5	3,0	9,8	2,4
2009	1,5	8,6	0,7	1,1	2,9	1,4	4,8	10,8	1,4
2010	1,3	6,4	0,0	0,3	2,3	1,7	7,1	9,9	2,6
2011	0,8	7,0	0,0	1,7	1,1	0,3	6,5	9,5	0,3
2012	0,8	6,2	0,1	4,3	1,0	0,1	4,7	7,0	0,1

Tabela 2.37. Cd.

Województwa	Osady wytworzone w ciągu roku								Osady wykorzystane z dotychczas składowanych (nagromadzonych)
	stosowane			przekształcone termicznie	składowane		magazynowane czasowo	inne	
	do rekultywacji terenów	w rolnictwie	do uprawy roślin		razem	w tym na terenie zakładu			
[tys. ton suchej masy]									
<i>lubelskie</i>									
2008	8,2	7,9	1,0	0,2	1,7	0,8	1,6	1,9	3,7
2009	7,9	8,3	0,0	0,8	1,7	0,2	2,5	1,8	103,7
2010	4,6	8,3	-	3,1	1,8	-	2,0	1,6	10,7
2011	1,0	9,6	0,0	3,4	0,6	-	3,0	4,2	-
2012	1,2	9,5	0,1	-	1,2	-	2,1	7,0	-
<i>lubuskie</i>									
2008	1,6	3,0	3,4	-	3,3	2,4	0,2	7,7	0,7
2009	4,0	3,2	1,3	-	4,8	3,8	0,2	5,9	6,3
2010	4,1	2,8	1,1	-	0,9	0,3	2,6	8,2	0,3
2011	2,0	3,6	0,9	-	0,2	0,2	3,2	6,9	0,2
2012	1,0	3,8	1,0	0,0	0,5	0,2	1,3	7,6	0,2
<i>łódzkie</i>									
2008	0,8	9,3	0,3	-	22,1	19,4	1,8	3,8	1,0
2009	1,2	7,3	1,0	0,0	21,4	19,9	5,0	4,9	0,9
2010	1,1	6,4	2,2	4,3	6,9	6,1	6,1	11,7	1,2
2011	0,7	9,4	1,7	11,3	5,6	5,0	3,0	11,7	1,6
2012	0,8	8,3	0,8	11,6	6,9	6,1	2,4	10,7	1,2

Tabela 2.37. Cd.

Województwa	Osady wytworzone w ciągu roku								Osady wykorzystane z dotychczas składowanych (nagromadzonych)
	stosowane			przekształcone termicznie	składowane		magazynowane czasowo	inne	
	do rekultywacji terenów	w rolnictwie	do uprawy roślin		razem	w tym na terenie zakładu			
[tys. ton suchej masy]									
małopolskie									
2008	1,4	4,1	2,9	1,4	2,5	0,6	1,4	31,2	75,8
2009	2,4	4,8	1,4	0,6	2,1	0,3	3,1	28,7	17,1
2010	1,2	3,9	5,9	2,1	3,8	-	2,0	23,7	1,4
2011	2,4	2,9	10,2	13,7	14,0	-	2,3	0,1	0,0
2012	2,5	2,7	8,4	10,8	16,5	-	2,0	-	-
mazowieckie									
2008	16,0	7,2	0,7	0,1	1,3	0,3	9,2	33,1	16,8
2009	6,6	11,0	0,7	0,0	1,6	0,1	11,4	36,7	8,5
2010	2,5	11,8	8,0	1,9	1,1	-	14,0	23,9	8,3
2011	2,5	12,0	2,3	0,1	1,0	-	5,2	32,7	-
2012	2,2	10,8	2,8	16,7	0,9	-	8,2	37,0	-
opolskie									
2008	3,0	6,9	-	-	6,0	1,6	0,6	1,7	2,8
2009	2,7	5,2	0,8	0,5	3,9	0,1	2,0	0,4	1,7
2010	2,8	4,6	0,3	-	3,4	0,1	1,5	2,9	0,3
2011	3,3	6,1	-	-	3,4	0,3	1,5	3,2	0,3
2012	2,1	6,1	0,0	0,0	2,1	-	1,4	3,8	-

Tabela 2.37. Cd.

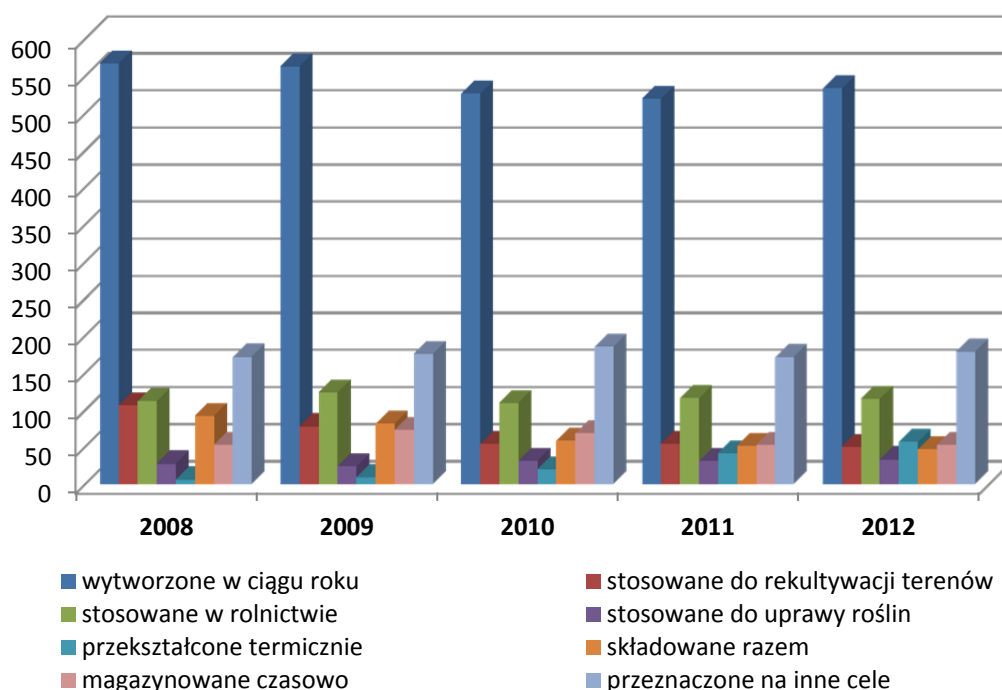
Województwa	Osady wytworzone w ciągu roku								Osady wykorzystane z dotychczas składowanych (nagromadzonych)
	stosowane			przekształcone termicznie	składowane		magazynowane czasowo	inne	
	do rekultywacji terenów	w rolnictwie	do uprawy roślin		razem	w tym na terenie zakładu			
[tys. ton suchej masy]									
podkarpackie									
2008	4,7	3,9	0,1	-	1,6	0,6	1,6	15,1	1,6
2009	4,4	4,7	0,3	-	1,9	1,0	1,8	12,8	0,8
2010	3,1	4,3	0,4	-	1,4	0,6	1,8	15,4	0,7
2011	2,9	5,3	0,7	-	0,8	0,1	2,7	11,2	0,5
2012	3,4	4,9	0,8	0,0	0,6	0,2	3,1	10,2	0,0
podlaskie									
2008	2,4	4,5	0,1	1,0	1,5	0,8	5,4	1,9	2,5
2009	2,5	4,3	0,1	0,8	2,1	1,2	4,7	2,9	1,5
2010	2,5	3,6	0,2	0,8	6,8	6,8	2,4	0,3	4,6
2011	2,0	4,0	0,7	0,8	1,6	1,4	1,7	5,9	1,8
2012	1,1	3,6	1,4	0,5	5,8	5,4	2,2	1,7	1,1
pomorskie									
2008	0,7	3,6	1,9	3,2	9,0	4,1	9,9	6,1	29,5
2009	0,9	3,7	1,4	2,3	4,7	0,3	16,5	5,0	4,2
2010	0,9	4,8	1,6	4,1	3,4	0,1	4,8	14,1	1,1
2011	0,6	4,9	1,7	3,6	2,9	0,0	5,3	11,2	-
2012	0,7	5,6	1,8	3,3	2,8	-	8,5	12,4	0,2

Tabela 2.37. Cd.

Województwa	Osady wytworzone w ciągu roku								Osady wykorzystane z dotychczas składowanych (nagromadzonych)
	stosowane			przekształcone termicznie	składowane		magazynowane czasowo	inne	
	do rekultywacji terenów	w rolnictwie	do uprawy roślin		razem	w tym na terenie zakładu			
[tys. ton suchej masy]									
śląskie									
2008	18,7	10,0	3,7	0,1	10,7	6,5	2,9	21,9	7,0
2009	18,5	11,1	3,3	2,1	5,2	4,5	3,1	26,4	5,9
2010	15,8	9,5	0,7	2,7	4,9	3,0	2,7	22,3	2,9
2011	16,1	5,9	3,3	2,8	7,0	3,7	1,4	24,1	3,9
2012	17,8	7,0	4,6	3,4	0,6	0,0	1,8	26,1	0,0
świętokrzyskie									
2008	3,2	2,5	2,4	0,0	4,2	1,5	1,3	0,4	0,7
2009	4,6	1,8	1,4	0,0	4,3	1,4	2,0	0,7	0,2
2010	4,9	1,7	1,2	0,0	3,3	1,0	3,0	0,9	0,7
2011	4,0	1,2	0,1	2,6	2,0	0,8	2,1	5,3	0,8
2012	2,0	1,9	2,0	2,5	1,4	0,2	1,2	5,5	0,0
warmińsko-mazurskie									
2008	0,5	8,8	1,2	0,0	3,6	2,9	9,6	6,6	16,3
2009	0,5	7,5	1,4	0,0	2,5	1,7	9,4	6,5	12,6
2010	0,8	6,5	1,0	0,1	1,9	1,3	10,2	5,7	3,6
2011	0,7	12,7	0,7	0,7	2,0	1,3	5,7	4,3	4,9
2012	0,4	4,5	0,7	1,0	1,7	1,1	3,7	6,2	6,0

Tabela 2.37. Cd.

Województwa	Osady wytworzone w ciągu roku								Osady wykorzystane z dotychczas składowanych (nagromadzonych)
	stosowane			przekształcone termicznie	składowane		magazynowane czasowo	inne	
	do rekultywacji terenów	w rolnictwie	do uprawy roślin		razem	w tym na terenie zakładu			
[tys. ton suchej masy]									
wielkopolskie									
2008	22,4	16,3	6,4	-	5,5	3,1	2,5	20,0	14,8
2009	15,7	18,9	5,7	0,6	4,9	2,5	3,8	18,2	13,4
2010	2,2	15,2	5,3	-	2,4	1,4	6,5	26,5	17,3
2011	2,0	16,1	6,5	0,0	2,1	1,0	2,9	28,0	0,4
2012	1,6	17,1	6,3	0,0	0,8	0,5	3,8	31,9	0,7
zachodniopomorskie									
2008	3,4	13,2	3,1	0,0	4,2	3,1	1,1	1,8	4,4
2009	1,4	11,3	3,5	-	5,3	3,4	0,8	4,0	5,2
2010	3,6	9,7	2,1	0,4	2,8	2,5	1,0	9,1	2,8
2011	5,7	10,1	0,3	1,0	0,4	0,1	2,8	6,0	0,1
2012	1,9	16,2	0,3	2,6	0,1	-	2,7	5,1	-



Rys. 2.44. Postępowanie z komunalnymi osadami ściekowymi w Polsce w latach 2008–2012 wg danych Głównego Urzędu Statystycznego [Opracowanie własne na podstawie 139, 140, 141, 142, 143]

Z analizy danych zawartych w tabeli 2.36 oraz na rysunku 2.44, które przedstawiają ilość osadów wytwarzanych w oczyszczalniach ścieków komunalnych w Polsce wynika, że na przestrzeni lat 2008–2012 maleje ilość powstających komunalnych osadów ściekowych. Dotyczy to województwa dolnośląskiego, kujawsko-pomorskiego, lubelskiego, lubuskiego, małopolskiego, opolskiego, podkarpackiego, podlaskiego, śląskiego, warmińsko-mazurskiego oraz wielkopolskiego, natomiast dla pozostałych województw obserwuje się tendencję wzrostową, która jest związana przede wszystkim z rozbudową, budową sieci kanalizacyjnej zbiorczej, dzięki czemu do oczyszczalni trafia coraz więcej ścieków do oczyszczania. Dodatkowo w ramach dostosowywania prawa polskiego do wspólnotowego zostały zaostrożone wskaźniki dotyczące zawartości związków biogennych w ściekach oczyszczanych, co wpłynęło na skład i ilość powstających osadów na oczyszczalniach [192].

Poza osadami, które powstają na bieżąco, ogromny problem stanowią komunalne osady ściekowe, zdeponowane na terenach oczyszczalni ścieków. W tabeli 2.36 zostały przedstawione ilości zdeponowanych komunalnych osadów ściekowych w poszczególnych województwach na przestrzeni lat 2008–2012. Na przełomie tych lat obserwuje się tendencję spadkową ilości osadów nagromadzonych. Wyjątek stanowi województwo łódzkie, w którym obserwuje się tendencję wzrostową.

Na podstawie analizy danych z lat 2008–2012, które przedstawiono w tabeli 2.37 wynika, że w 13 województwach (tj. dolnośląskim, kujawsko-pomorskim, lubelskim, lubuskim, mazowieckim, opolskim, podkarpackim, podlaskim, śląskim, świętokrzyskim, warmińsko-mazurskim, wielkopolskim oraz zachodniopomorskim) nastąpił spadek wykorzystania osadów do rekultywacji terenów, tendencję wzrostową obserwuje się tylko w województwie małopolskim, natomiast w województwach: łódzkim i pomorskim ilość wyżej wymienionych osadów utrzymuje się na zbliżonym poziomie. Duże znaczenie w gospodarce osadami stanowi ich wykorzystanie do celów rolnych i w tym przypadku w 8 województwach nastąpił ich wzrost. Jeżeli chodzi o termiczne przekształcanie osadów ściekowych to stanowią one niewielki udział. Ich gwałtowny wzrost nastąpił dopiero w 2011, głównie w województwach: łódzkim i małopolskim, natomiast w 2012 w województwie mazowieckim.

2.2.6. Badania procesu mechanicznego odwadniania osadów ściekowych

Zespół z Politechniki Koszalińskiej w pracach [98, 99, 100, 154] przedstawił wyniki badań zastosowania olejków eterycznych do procesu mechanicznego odwadniania osadów ściekowych.

Osad ściekowy, który był przedmiotem badań autorów prac [98, 99, 100, 154], stanowił rzeczywisty ustabilizowany w wyniku fermentacji metanowej osad czynny, pobrany z Oczyszczalni Ścieków Jamno, bezpośrednio z przewodu tłocznego podającego osad z WKF (wydzielona komora fermentacyjna) na wirówki dekantacyjne.

Do badań autorzy zastosowali flokulanty kationowe, tj. roztwór 0,35% flokulanta o nazwie handlowej Praestol 855BS, produkcji Ashland Deutschland GmbH Krefeld (flokulant stosowany na Oczyszczalni Ścieków Jamno), roztwór 0,3% flokulanta o nazwie handlowej FLOPAM FO4800 i roztwór 0,48 % flokulanta o nazwie handlowej ZETAG® 9048FS, oraz olejki eteryczne z cytryny, grejpfruta, mięty, pomarańczy i sosny.

Proces mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych zespół przeprowadził na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW–350 o działaniu okresowym w zależności od dawki dozowanego flokulanta C [kg/Mg s.m., ml/dm³ osadu] oraz dawki dozowanego olejku eterycznego D [cm³/100 cm³ osadu]. Przyjęli następujące dawki [98, 99, 100, 154]:

➤ Flokulant PRAESTOL 855BS:

▪ $C_0 = 0$ kg/Mg s.m.,

- C_1 = koncentracja odpowiadająca 80% dawki dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. 3,2 kg/Mg s.m.,
 - C_2 = koncentracja odpowiadająca 100% dawki dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. ok. 4 kg/Mg s.m.,
 - C_3 = koncentracja odpowiadająca 120% dawki dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. 4,8 kg/Mg s.m.
- Flokulant FLOPAM FO4800:
- $C_0 = 0$ kg/Mg s.m.,
 - C_1 = koncentracja odpowiadająca 80% zalecanej dawki, tj. 4,0 kg/Mg s.m.,
 - C_2 = koncentracja odpowiadająca 100% zalecanej dawki, tj. ok. 5,0 kg/Mg s.m.,
 - C_3 = koncentracja odpowiadająca 120% zalecanej dawki, tj. 6,0 kg/Mg s.m.
- Flokulant ZETAG® 9048FS:
- $C_0 = 0$ ml/dm³,
 - C_1 = koncentracja odpowiadająca 80% rzeczywistej dawce dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. w przeliczeniu 67 ml roztworu/dm³ osadu,
 - C_2 = koncentracja odpowiadająca 100% rzeczywistej dawce dozowanej na oczyszczalni ścieków, wynoszącej średnio 229 dm³ roztworu/2,73 m³ osadu, tj. w przeliczeniu 84 ml roztworu/dm³ osadu,
 - C_3 = koncentracja odpowiadająca 120% rzeczywistej dawce dozowanej na oczyszczalni ścieków, tj. w przeliczeniu 101 ml roztworu/dm³ osadu.
- Olejki eteryczne (cytryna, grejpfrut, mięta, pomarańcza, sosna):
- $D_1 = 0$ cm³ olejku/100 cm³ osadu,
 - $D_2 = 2$ krople = 0,06 cm³ olejku/100 cm³ osadu,
 - $D_3 = 4$ krople = 0,12 cm³ olejku/100 cm³ osadu,
 - $D_4 = 6$ kropli = 0,18 cm³ olejku/100 cm³ osadu.

Parametrami stałymi procesu sedymentacji odśrodkowej był czas wirowania t [min] (przyjęli $t = 1$ min) oraz liczba obrotów wirówki n [obr/min] (przyjęli $n = 2400$ obr/min) [98, 99, 100, 154].

Wyniki z badań autorzy prac [98, 99, 100, 154] przedstawili w tabelach 2.38, 2.39, 2.40, 2.41, 2.42, 2.43, 2.44, 2.45, 2.46, 2.47.

Tabela 2.38. Wpływ dawki olejku eterycznego z cytryny na wilgotność osadu w zależności od dawki flokulanta Prestol 855BS [98]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	WILGOTNOŚĆ OSADU W [%]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	99,06	93,57	93,27	92,99	92,83
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	99,06	93,24	92,91	92,58	92,45
C₂=100% 4, 0 kg/Mg s.m	99,06	92,76	92,46	92,24	92,16
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	99,06	93,45	93,11	92,64	92,52

Tabela 2.39. Wpływ dawki olejku eterycznego z cytryny na zagęszczenie osadzu w zależności od dawki flokulanta Prestol 855BS [98]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	ZAGĘSZCZENIE ODSĄCZU β [mg/dm ³]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	9387,69	2149,33	2108,29	2000,65	1943,47
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	9387,69	1959,11	1926,69	1837,11	1818,94
C₂=100% 4, 0 kg/Mg s.m	9387,69	1996,94	1768,18	1708,97	1687,41
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	9387,69	1591,14	1543,15	1453,63	1427,84

Tabela 2.40. Wpływ dawki olejku eterycznego z grejpfruta na wilgotność osadu w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [154]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	WILGOTNOŚĆ OSADU W [%]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	98,59	94,26	93,88	93,50	92,80
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/1 Mg s.m	98,59	93,32	93,02	92,88	92,55
C₂=100% 4,0 kg/1 Mg s.m	98,59	92,49	92,32	92,02	91,88
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/1 Mg s.m	98,59	93,56	93,11	92,44	92,10

Tabela 2.41. Wpływ dawki olejku eterycznego z grejpfruta na zagęszczenie osadczu w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [154]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	ZAGĘSZCZENIE ODSĄCZU β [mg/dm ³]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	15227,39	2589,71	2468,21	2355,50	2121,29
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	15227,39	1991,40	1863,86	1849,60	1791,40
C₂=100% 4,0 kg/Mg s.m	15227,39	1792,85	1762,39	1683,86	1638,78
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	15227,39	1633,19	1582,52	1553,19	1471,29

Tabela 2.42. Wpływ dawki olejku eterycznego z mięty na wilgotność osadu w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [154]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	WILGOTNOŚĆ OSADU W [%]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	98,59	94,26	93,38	93,21	92,88
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	98,59	93,32	92,98	92,51	92,30
C₂=100% 4,0 kg/Mg s.m	98,59	92,49	92,05	91,92	91,51
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	98,59	93,56	93,02	92,67	92,33

Tabela 2.43. Wpływ dawki olejku eterycznego z mięty na zagęszczenie osadczu w zależności od dawki flokulanta Praestol 855BS [154]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	ZAGĘSZCZENIE ODSĄCZU β [mg/dm ³]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	15227,39	2589,71	2440,40	2226,95	1980,69
C₁=80%·C₂ 3,2 kg/Mg s.m	15227,39	1991,40	1902,78	1857,48	1819,46
C₂=100% 4,0 kg/Mg s.m	15227,39	1792,85	1720,64	1692,35	1630,24
C₃=120%·C₂ 4,8 kg/Mg s.m	15227,39	1633,19	1600,01	1522,94	1501,71

Na podstawie otrzymanych wyników autorzy prac [98, 154] stwierdzili, że ze wzrostem dawki olejku eterycznego z cytryny, grejpfruta oraz mięty, wilgotność osadu maleje. Zależność ta była zachowana dla wszystkich zastosowanych stężeń dozowanego

flokulanta Praestol 855BS. Najprawdopodobniej było to spowodowane zmianą charakteru powierzchni, albowiem olejki eteryczne podwyższają hydrofobowość osadu.

Wilgotność osadu zależała także od zastosowanej dawki flokulanta. Najlepszy efekt odwadniania otrzymano dla dawki flokulanta C_2 (4,0 kg/Mg s.m.), odpowiadającej dawce stosowanej na oczyszczalni ścieków, w przypadku wszystkich zastosowanych olejków eterycznych (tj. cytryna, grejpfrut i mięta) [98, 154].

Z otrzymanych wyników zagęszczenia odsącza, autorzy stwierdzili, że ze wzrostem dawki olejku eterycznego z cytryny, grejpfruta oraz mięty, zagęszczenie odsącza maleje. Zależność ta była zachowana dla wszystkich zastosowanych stężeń dozowanego flokulanta.

Zagęszczenie odsącza zależało także od zastosowanej dawki flokulanta. Najlepszy efekt otrzymano dla dawki flokulanta C_3 (4,8 kg/Mg s.m.), która odpowiada dawce 20% większej niż dawka stosowana na oczyszczalni ścieków.

Autorzy prac [98, 154] porównując wyniki badań zamieszczone w tabelach 2.38, 2.39, 2.40, 2.41, 2.42, 2.43 stwierdzili, że zalecana dawka flokulanta, tj. dawka C_2 (4,0 kg/Mg s.m.), stanowi optimum procesu odwadniania osadu przyjmując jako kryterium parametr wilgotności, w przypadku wszystkich zastosowanych olejków eterycznych (tj. cytryna, grejpfrut i mięta) [98, 154].

Na podstawie otrzymanych wyników autorzy pracy [100] stwierdzili, że ze wzrostem dawki olejku eterycznego z pomarańczy, wilgotność osadu maleje. Zależność ta była zachowana dla wszystkich zastosowanych stężeń dozowanego flokulanta FLOPAM FO4800 [100].

Tabela 2.44. Wpływ dawki olejku eterycznego z pomarańczy na wilgotność osadu w zależności od dawki flokulanta FLOPAM FO4800 [100]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	WILGOTNOŚĆ OSADU W [%]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [$\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
$C_0=0$	97,7	93,89	93,69	93,20	93,05
$C_1=80\% \cdot C_2$ 4,0 kg/Mg s.m	97,7	93,02	92,48	92,33	92,15
$C_2=100\%$ 5,0 kg/Mg s.m	97,7	92,72	92,29	92,04	91,54
$C_3=120\% \cdot C_2$ 6,0 kg/Mg s.m	97,7	93,23	92,90	92,30	91,59

Tabela 2.45. Wpływ dawki olejku eterycznego z pomarańczy na zagęszczenie osądcu w zależności od dawki flokulanta FLOPAM FO4800 [100]

DAWKA FLOKULANTA [kg/Mg s.m.]	ZAGĘSZCZENIE OSĄCZU β [mg/dm ³]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	21180	3147,80	3024,33	2979,49	2942,27
C₁=80%·C₂ 4,0 kg/Mg s.m	21180	1905,90	1855,69	1773,32	1743,16
C₂=100% 5,0 kg/Mg s.m	21180	1729,10	1619,86	1556,09	1504,52
C₃=120%·C₂ 6,0 kg/Mg s.m	21180	1528,32	1514,73	1496,72	1445,27

Wilgotność osadu zależała także od zastosowanej dawki flokulanta. Najlepszy efekt odwadniania otrzymano dla dawki flokulanta C₂ (5,0 kg/Mg s.m.), odpowiadającej dawce zalecanej.

Z analizy otrzymanych wyników zagęszczenia osądcu, autorzy pracy [100] stwierdzili, że ze wzrostem dawki olejku eterycznego z pomarańczy, zagęszczenie osądcu maleje. Zależność ta była zachowana dla wszystkich zastosowanych stężeń dozowanego flokulanta [100].

Zagęszczenie osądcu zależało także od zastosowanej dawki flokulanta. Najlepszy efekt otrzymano dla dawki flokulanta C₃ (6,0 kg/Mg s.m.), która odpowiada dawce 20% większej niż dawka zalecana.

Porównując wyniki badań zamieszczone w tabelach 2.44, 2.45 autorzy stwierdzili, że zalecana dawka flokulanta, tj. dawka C₂ (5,0 kg/Mg s.m.), stanowi optimum procesu odwadniania osadu przyjmując jako kryterium parametr wilgotności [100].

Tabela 2.46. Wpływ dawki olejku eterycznego z sosny na wilgotność osadu w zależności od dawki flokulanta ZETAG® 9048FS [99]

DAWKA FLOKULANTA [ml/dm ³]	WILGOTNOŚĆ OSADU W [%]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	97,74	94,03	93,96	93,88	93,87
C₁=80%·C₂ 67 ml/dm³	97,74	93,89	93,61	93,36	93,32
C₂=100% 84 ml/dm³	97,74	93,46	93,25	93,26	93,01
C₃=120%·C₂ 101 ml/dm³	97,74	94,00	93,92	93,63	93,55

Tabela 2.47. Wpływ dawki olejku eterycznego z sosny na zagęszczenie osadczu w zależności od dawki flokulanta ZETAG® 9048FS [99]

DAWKA FLOKULANTA [ml/dm ³]	ZAGĘSZCZENIE ODSĄCZU β [mg/dm ³]				
	NADAWA	DAWKA OLEJKU [cm ³ /100 cm ³ osadu]			
		0	0,06	0,12	0,18
C₀=0	22396,16	3148,56	3090,28	3065,70	3009,09
C₁=80%·C₂ 67 ml/dm³	22396,16	2121,17	2086,51	2029,01	1943,37
C₂=100% 84 ml/dm³	22396,16	1654,38	1621,96	1586,52	1523,57
C₃=120%·C₂ 101 ml/dm³	22396,16	1517,97	1493,59	1478,92	1440,16

Na podstawie przeprowadzonych badań i po analizie uzyskanych wyników Kowalczyk A. i inni stwierdzili, że [99]:

- wraz ze wzrostem dawki olejku eterycznego z sosny, wilgotność osadu maleje, zależność ta jest zachowana dla wszystkich zastosowanych stężeń dozowanego flokulanta ZETAG® 9048FS,
- wilgotność osadu zależy także od zastosowanej dawki flokulanta, najlepszy efekt odwadniania otrzymano dla dawki flokulanta C₂ (84 ml roztworu/dm³ osadu), odpowiadającej dawce zalecanej,
- wraz ze wzrostem dawki olejku eterycznego z sosny, zagęszczenie osadczu maleje, zależność ta jest zachowana dla wszystkich zastosowanych stężeń dozowanego flokulanta ZETAG® 9048FS,
- zagęszczenie osadczu zależy także od zastosowanej dawki flokulanta, najlepszy efekt otrzymano dla dawki flokulanta C₃ (101 ml roztworu/dm³ osadu), która odpowiada dawce 20% większej niż dawka zalecana.

Na IX Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej nt.: Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska, która odbyła się w Darłównu 2009 r., Kutryn J. i Piecuch T. przedstawili wyniki badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z Oczyszczalni Ścieków Jamno, w warunkach laboratoryjnych oraz w warunkach przemysłowych i dokonali ich porównania. Wskazali przyczyny różnic efektu odwadniania w małej i dużej skali.

Do badań mechanicznego odwadniania osadów ściekowych autorzy pracy [117] wykorzystali jako nadawę rzeczywisty ustabilizowany w wyniku fermentacji

metanowej osad czynny, pobrany z Oczyszczalni Ścieków Jamno, bezpośrednio z przewodu tłocznego podającego osad z WKF (wydzielona komora fermentacyjna) na wirówki dekantacyjne typu Noxon [117].

Zakres badań laboratoryjnych autorów pracy [117] obejmował oznaczenie parametrów nadawy (pH, temperatura, zapach, barwa, wilgotność, zagęszczenie) oraz parametrów wilgotności osadu i zagęszczenia odsącza po procesie odwadniania na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350 o działaniu okresowym w zależności od zmiennych procesu, tj.: czas wirowania – założyli: $t_1 = 1$ min, $t_2 = 2$ min, $t_3 = 5$ min, $t_4 = 10$ min, liczba obrotów – założyli: $n_1 = 1000$ obr/min, $n_2 = 2000$ obr/min, $n_3 = 2500$ obr/min, $n_4 = 3000$ obr/min, dawka dozowanego flokulantu – założyli: $C_0 = 0$ ml roztworu/dm³ osadu, $C_1 = 28$ ml roztworu/dm³ osadu, $C_2 = 34$ ml roztworu/dm³ osadu.

Do badań autorzy zastosowali flokulant kationowy, używany na Oczyszczalni Ścieków Jamno, tj. roztwór 0,35% flokulantu o nazwie handlowej Praestol 855BS, produkcji Ashland Deutschland GmbH Krefeld [117].

Ściek zawiesinowy pobrany do badań laboratoryjnych charakteryzował się następującymi parametrami: pH = 7,55; temp. 20°C; barwa: czarna, struktura osadu: jednolita, trudno opadający, zawiesinowy; zapach: gnilny; wilgotność: 97,6%; zagęszczenie: 23,749 g/dm³.

Zakres badań w skali przemysłowej obejmował oznaczenie parametrów nadawy oraz parametrów wilgotności osadu i zagęszczenia odsącza po procesie odwadniania na wirówce przemysłowej w zależności od parametrów ruchowych procesu. Na obiekcie przemysłowym, jak już wcześniej wspomniano, dozuje się flokulant kationowy o nazwie handlowej Praestol 855BS o stężeniu rzeczywistym roztworu 0,35%. Dawka flokulantu kształtuje się na stałym poziomie i jest uzależniona od innych parametrów hydraulicznych, które zostały dobrane przez producenta wirówek Noxon (Szwecja) dla tej zawiesiny jako quasi optymalne [117].

Parametrami zmiennymi niezależnymi procesu były obroty wirówki dekantacyjnej Noxon DC-20. Autorzy założyli prędkość wirowania na poziomie zbliżonym do wartości n obr/min równej 1900, 2100, 2200, 2300, 2400.

Nadawa wykorzystana do procesu odwadniania na wirówce przemysłowej Noxon DC-20 charakteryzowała się następującymi parametrami: pH = 7,09; barwa: czarna, struktura osadu: jednolita, trudno opadający, zawiesinowy; zapach: gnilny; wilgotność: 97,3%; zagęszczenie: 28,565 g/dm³ [117].

Na podstawie przeprowadzonych badań Kutryn J. i Piecuch T. sformułowali następujące wnioski [117]:

- Efekt odwadniania tych samych osadów ściekowych w procesie sedymentacji odśrodkowej w wirówkach sedymentacyjnych przy założeniu tych samych czasów odwadniania i liczbie obrotów wirówki, będzie wyraźnie lepszy w warunkach przemysłowych, niż w warunkach laboratoryjnych.
- Lepszy efekt odwadniania osadów w wirówkach przemysłowych jest wynikiem większej wartości siły odśrodkowej – głównej siły odwadniającej, działającej na osad, która determinuje wartość ciśnienia sedymentacji odśrodkowej.
- Realizacja ekspertyz badawczych dla przemysłu dotycząca mechanicznego odwadniania osadów w polu sił odśrodkowych nie wystarcza do obiektywnej oceny skuteczności odwirowania osadów tylko na podstawie oceny prób w warunkach laboratoryjnych, gdy efektem takiej ekspertyzy ma być wdrożenie (np. zakup i zastosowanie wirówki przemysłowej).
- Wykorzystanie badań laboratoryjnych mechanicznego odwadniania osadów w polu sił odśrodkowych może mieć znaczenie dla praktyki jedynie wówczas, gdy istnieją wytyczne dotyczące tzw. przeniesienia skali badań, czy też prognozowania w oparciu o takie badania, jak to przedstawiono w niniejszej publikacji.
- Jeżeli istnieją możliwości przeprowadzenia badań w skali przemysłowej dla danych osadów pod kątem aplikacyjnym (zakupu wirówki i uruchomienia), to należy je wykonać dla prawidłowej oceny efektywności odwadniania.
- Przeprowadzone w niniejszej publikacji badania wskazują, że różnica zawartości wilgoci osadu po procesie odwadniania w wirówce przemysłowej, w porównaniu do procesu odwadniania w wirówce laboratoryjnej, jest wynikiem tego, że ciśnienie wewnątrz wirówki przemysłowej było 5-6 krotnie wyższe od ciśnienia wewnątrz wirówki laboratoryjnej; oczywiście zależy to także od szeregu innych parametrów charakteryzujących proces.

Na Międzynarodowej Konferencji Naukowo Technicznej pt.: Współczesne Problemy Gospodarki Wodno-Ściekowej, która odbyła się w Kołobrzegu 1997 r., Anielak A.M. i Nowak R. przedstawili wyniki badań przebadanego m.in. procesu sedymentacji odśrodkowej osadów, które miały na celu wyjaśnienie przyczyn złej pracy części osadowej oczyszczalni ścieków „JAMNO” [7] i znalezienie prawidłowego rozwiązania.

Przedmiotem badań autorów pracy [8] był osad mieszany będący nadawą na pracującą w oczyszczalni ścieków „JAMNO” zagęszczacze. Uwodnienie osadu wyjściowego do badanego procesu było w każdej próbie stałe i wynosiło 98,53%. Sedymentację odśrodkową autorzy badali na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350 o działaniu okresowym. Badania prowadzili z udziałem flokulantów i bez flokulantów. Czynnikiem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej była procentowa wilgotność osadu, a czynnikami zmienianymi prędkość obrotowa wirówki, czas odwadniania i rodzaj flokulantu [8].

Wyniki przeprowadzonych badań procesu sedymentacji odśrodkowej danych osadów mieszanych, Anielak A.M. i Nowak R. zestawili w tabelach 2.48, 2.49, 2.50, 2.51, 2.52, 2.53.

Tabela 2.48. Wpływ czasu wirowania na wilgotność osadu W [%], przy stałej prędkości obrotowej $n = 1500$ obr/min [8]

Czas wirowania [sek.]	0	30	60	120	180
Wilgotność osadu W [%]	98,53	94,74	94,18	94,12	93,96

Tabela 2.49. Wpływ czasu wirowania na wilgotność osadu W [%], przy stałej prędkości obrotowej $n = 2000$ obr/min [8]

Czas wirowania [sek.]	0	30	60	120	180
Wilgotność osadu W [%]	98,53	93,19	92,77	92,13	91,38

Tabela 2.50. Wpływ prędkości obrotowej n na wilgotność osadu W [%], przy stałym czasie wirowania $t = 30$ sek. [8]

Prędkość obrotowa n [obr/min]	0	1000	1500	2000	2500
Wilgotność osadu W [%]	98,53	94,87	94,73	94,13	93,80

Tabela 2.51. Wpływ prędkości obrotowej n na wilgotność osadu W [%], przy stałym czasie wirowania $t = 100$ sek. [8]

Prędkość obrotowa n [obr/min]	0	1000	1500	2000	2500
Wilgotność osadu W [%]	98,53	93,52	92,25	92,20	91,88

Tabela 2.52. Wpływ dawki flokulantu Stockhausen 853 na wilgotność osadu W [%], przy czasie odwadniania $t = 100$ sek. i prędkości obrotowej $n = 1500$ obr/min [8]

Dawka flokulantu $[g/m^3]$	0	0,05	0,1	0,3	0,5
Wilgotność osadu W [%]	92,25	92,71	92,61	92,89	92,83

Tabela 2.53. Wpływ dawki flokulantu Praestol 411K na wilgotność osadu W [%], przy czasie wirowania $t = 100$ sek. i prędkości obrotowej $n = 1500$ obr/min [8]

Dawka flokulantu $[g/m^3]$	0	0,05	0,1	0,3	0,5
Wilgotność osadu W [%]	92,25	93,17	92,04	92,62	93,65

Na podstawie otrzymanych wyników badań, Anielak A.M. i Nowak R. stwierdzili, że ze wzrostem czasu wirowania 0–180 sekund można uzyskać zmniejszenie wilgotności osadu o 4,57%. Była to niewielka różnica wilgotności tym bardziej, że maksymalny czas odwadniania wynosił 180 sekund. Zwiększając jednak prędkość obrotową wirówki z 1500 do 2000 obr/min można było uzyskać dalsze zmniejszenie wilgotności osadu – przy czasie wirowania $t = 180$ sekund różnica wilgotności wynosiła 7,15%.

Autorzy pracy [8] analizując wyniki określające wpływ prędkości obrotowej na odwodnienie osadu przy stałym czasie wirowania równym 30 sekund (tabela 2.50, 2.51), stwierdzili, że ze wzrostem prędkości obrotowej w niewielkim stopniu zmniejsza się wilgotność osadu. Ze wzrostem prędkości obrotowej z 1000 do 2500 obr/min otrzymali zmniejszenie procentowej zawartości wilgoci zaledwie o 1,64%. Dlatego wywnioskowali, że uzyskana wilgotność osadu 91,38% – przy czasie wirowania 180 sekund i prędkości obrotowej wirówki 2000 obr/min – jest wilgotnością optymalną, jaką można było otrzymać w procesie odwadniania w wirówce sedymentacyjnej [8].

W kolejnym etapie badań Anielak A.M. i Nowak R. przebadali sedymentację odśrodkową z udziałem flokulantów. W badaniach tych zastosowali dwa kationowe flokulanty – Praestol 411K oraz Stockhausen 853 – dawkując je w postaci roztworów o stężeniu $0,1 \text{ g/dm}^3$.

Efekty odwadniania osadu w wirówce sedymentacyjnej z użyciem danych odczynników autorzy pracy [8] zestawili w tabelach 2.52, 2.53. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzili, że z przebadanych flokulantów najskuteczniejszy okazał się Praestol 411K. Niemniej jednak wilgotności osadu uzyskane w przypadku dozowania jednego lub drugiego flokulantu są wyższe lub niewiele mniejsze niż wilgotność osadu odwadnianego w tych samych warunkach bez udziału flokulantów [8].

Anielak A.M. i Nowak R. podsumowując całościowo przeprowadzone badania procesu sedymentacji odśrodkowej stwierdzili, że odwadnianie osadów mieszanych z oczyszczalni „JAMNO” w procesie sedymentacji ośrodkowej nie daje zadowalających rezultatów [8].

Krzywy E. i Iżewska A. w pracy [110] przedstawili wyniki badań odwadniania osadów ściekowych różnymi metodami, przy zastosowaniu różnych środków kondycjonujących.

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 2.54 autorzy pracy [110] stwierdzili, że najlepszy efekt odwadniania osadów ściekowych uzyskuje się przy

zastosowaniu pras filtracyjnych, natomiast najgorszy przy użyciu filtrów próżniowych. W procesie odwadniania bardzo zbliżone wyniki, jeżeli chodzi o parametr zawartości s.m. w osadzie uzyskuje się dla wirówek i pras filtracyjnych taśmowych [110].

Tabela 2.54. Porównanie wyników odwadniania osadów ściekowych różnymi metodami mechanicznymi [110]

Rodzaj osadu	Metoda odwadniania			
	wirowanie ¹	prasy filtracyjne ²	prasy filtracyjne taśmowe ³	filtry próżniowe ⁴
	zawartość s.m. w osadzie [%]			
Wstępny surowy	28–34	45–50	28–44	16–28
Fermentowany	26–34	40	25–36	
Nadmierny surowy	14–18		20–35	
Fermentowany	14–18		12–22	
Mieszane surowe	18–25	35–50	20–40	15–25
Fermentowany	17–24	32–50	18–44	
Po stabilizacji tlenowej	12–16		12–20	

¹ Przy różnych, dobranych doświadczalnie, dawkach polielektrolitu, zwykle w przedziale 2–10 g·kg⁻¹ s.m. osadu.

² Przy 5% FeCl₃, 10% CaO lub 100% popiołu, lub przy polielektrolitach, zwykle w przedziale 1–10 g·kg⁻¹ s.m. osadu.

³ Przy różnych, dobranych doświadczalnie, dawkach polielektrolitu, zwykle w przedziale 1–10 g·kg⁻¹ s.m. osadu.

⁴ Warunki kondycjonowania muszą być dobrane do każdego przypadku oddzielnie i często są bardzo różne.

Korzekwa-Wojtal A. i Wolny L. w pracy [90] przedstawiły badania dotyczące charakterystyki fizykochemicznej osadów ściekowych kondycjonowanych polielektrolitem Zetag 7631 wysokokationowym.

Osady ściekowe, które były przedmiotem badań autorek pracy [90] pochodziły z oczyszczalni ścieków typu SBR o przepustowości $Q = 500 \text{ m}^3/\text{dobę}$. Osady ściekowe oznaczone symbolami jako OSAD A, OSAD B, OSAD C pobierane były z komory stabilizacji osadu w określonych odstępach czasu (co 2,5 miesiąca) [90].

Korzekwa-Wojtal A. i Wolny L. na podstawie testu czasu ssania kapilarnego określiły właściwości i skuteczność zastosowania polielektrolitu Zetag 7631 w procesie kondycjonowania i dobór optymalnej dawki. Na podstawie wykreślonych krzywych zależności CSK od dawki polielektrolitu autorki pracy [90] wybrały do dalszych badań następujące dawki: 2,0 mg/g s.m., 2,5 mg/g s.m. i 3,0 mg/g s.m., które mieściły się w zakresie dawek optymalnych.

Proces zagęszczania grawitacyjnego prowadzono w cylindrach o pojemności 1000 cm³. Odczytów objętości oddzielającej się warstwy skoncentrowanych osadów dokonywano po 5, 10, 15, 30, 60, 90 i 120 minutach [90].

Odwirowywanie osadów prowadzono w wirówce laboratoryjnej o działaniu okresowym, z regulacją prędkości i czasu wirowania. Objętość próbek osadów poddanych wirowaniu wynosiła 50 cm^3 . Próby te przeprowadzono dla prędkości obrotowej wynoszącej 4500 obr/min i czasu wirowania wynoszącym 5 minut.

Przeprowadzone przez autorki badania technologiczne procesu zagęszczania grawitacyjnego i odwadniania dla wskazanego przedziału dawek polielektrolitu wykazały, że osad niepreparowany zagęszczał i odwadniał się gorzej niż ten sam kondycjonowany polielektrolitem. W czasie 2-godzinnej próby opadalności osady niepreparowane w bardzo słabym stopniu ulegały sedymentacji (objętość końcowa osadu A wynosiła $995,5\text{ cm}^3$, osadu B: 994 cm^3 , a osadu C: $991,5\text{ cm}^3$). Objętość osadów preparowanych polielektrolitem Zetag 7631 w dawce $2,5\text{ mg/g s.m.}$ była po 30 minutach zagęszczania na poziomie: 963 cm^3 w przypadku osadu A, 950 cm^3 osadu B oraz 959 cm^3 osadu C. W przypadku procesu odwirowania sytuacja wyglądała podobnie. Uwodnienie końcowe osadów niepreparowanych zmniejszyło się w niewielkim stopniu, dopiero wprowadzenie środka kondycjonującego wpłynęło na obniżenie badanego parametru. Uwodnienie końcowe osadów niepreparowanych w procesie wirowania wynosiło odpowiednio: 94,1% dla osadu A, 88,7% dla osadu B, 90,8% dla osadu C. Uwodnienie końcowe w przypadku kondycjonowania osadów dawką $2,0\text{ mg/g s.m.}$ wynosiło odpowiednio: 89,1% dla osadu A, 82,8% dla osadu B i 80,3% dla osadu C. Najlepsze efekty odwadniania autorki pracy [90] uzyskały w przypadku osadu C. Różnica pomiędzy uwodnieniem końcowym osadu C w wyniku wirowania osadu niepreparowanego a osadu kondycjonowanego dawką polielektrolitu $3,0\text{ mg/g s.m.}$ wynosiła 11,8%. Jednak w przypadku każdego z badanych osadów dawką optymalną, która w decydujący sposób wpływała na efektywność odwadniania, była dawka $2,5\text{ mg/g s.m.}$ Pozostałe większe dawki tylko w niewielkim stopniu zmniejszały uwodnienie osadu [90].

Na podstawie wykonanych obserwacji mikroskopowych osadów preparowanych wybranym polielektrolitem autorki pracy [90] stwierdziły, że ze wzrostem dawki polielektrolitu wzrasta rozmiar sflokułowanych cząstek. Równocześnie zaobserwowały zwiększenie się ilości wody wolnej obecnej pomiędzy nimi [90].

Na II Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej i XII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej pt.: Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródła energii w Częstochowie, Wojciechowska E. i Kowalik P. przedstawili wyniki badań wpływu promieniowania mikrofalowego i polielektrolitu na podatność osadów do odwadniania.

Przedmiotem badań autorów pracy [212] były osady wstępne mieszane i przefermentowane powstające w komunalnej oczyszczalni ścieków „Wschód” w Gdańsku.

W badaniach zastosowali trzy metody kondycjonowania [212]:

- kondycjonowanie mikrofalami (MKF),
- kondycjonowanie polielektrolitem (P),
- kondycjonowanie podwójne – mikrofalami, a następnie polielektrolitem (MKF+P).

Jak piszą autorzy pracy [212] kondycjonowanie mikrofalami polegało na umieszczeniu próbki osadu w generatorze mikrofal o częstotliwości 2450 MHz i mocy 550 W. Czasy ekspozycji na promieniowanie wynosiły od 30 do 240 s. Przed umieszczeniem próbki w generatorze oraz bezpośrednio po zakończeniu napromieniowania mierzono temperaturę próbki. Następnie próbkę schładzano do temperatury $20 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ i oznaczano właściwości charakteryzujące jej podatność na odwadnianie.

Kondycjonowanie polielektrolitem polegało na dodaniu do próbki osadu ustalonej dawki polelektrolitu Praestol 853BC. W zależności od rodzaju osadu stosowano następujące dawki polelektrolitu: osad wstępny – 3 g/kg s.m., osad mieszany – 6 g/kg s.m., osad przefermentowany – 5,5 g/kg s.m [212].

Kondycjonowanie podwójne przebiegało w dwóch etapach: w pierwszym próbkę poddawano ekspozycji na promieniowanie mikrofalowe, a następnie dodawano do niej odpowiednią dawkę polielektrolitu.

W kondycjonowanych próbkach osadów autorzy wykonali następujące oznaczenia: opór właściwy, czas ssania kapilarnego (CSK) oraz zawartość suchej masy w placku osadowym odwodnionym w wirówce laboratoryjnej. W odciekach uzyskanych po odwirowaniu osadów oznaczyli stężenia: BZT_5 , ChZT_{Cr} , N_{og} , oraz P_{og} [212].

Na podstawie przeprowadzonych badań Wojciechowska E. i Kowalik P. sformułowali następujące wnioski [212]:

- promieniowanie mikrofalowe powoduje poprawę podatności osadów na odwadnianie,
- różne rodzaje osadów charakteryzują się odmienną podatnością na kondycjonowanie mikrofalami. Największa poprawa podatności na odwadnianie

w wyniku ekspozycji na promieniowanie mikrofalowe następowała w przypadku osadów wstępnych,

- poprawa zdolności osadów do odwadniania w wyniku kondycjonowania mikrofalami nie wynika wyłącznie ze wzrostu temperatury,
- bardzo wyraźną poprawę podatności na odwadnianie można było uzyskać w wyniku zastosowania połączonego oddziaływania mikrofal oraz polielektrolitu,
- kondycjonowanie osadów ściekowych mikrofalami powoduje wzrost stężenia zanieczyszczeń w wodach odciekowych. Można temu przeciwdziałać, stosując promieniowanie podwójne, tj. dodając polielektrolitu do osadów napromieniowanych.

Na Seminarium Naukowo-Technicznym pt.: Różne aspekty chemicznych procesów oczyszczania ścieków ze szczególnym uwzględnieniem ich energochłonności, które odbyło się w Sopocie 2009 r., Gielert M. i Herman A. przedstawili wyniki testu zastosowania koagulantu żelazawego PIX-113 do wspomagania odwadniania osadów przefermentowanych. Autorzy pracy [60] badania przeprowadzili w Oczyszczalni Ścieków „Wschód” w Gdańsku.

Gielert M. i Herman A. [60] dozowali polimer kationowy wraz z koagulantem bezpośrednio do osadów przed wirówką, przy czym jako pierwszy do osadów podawany był koagulant w odległościach 7 i 15 m od wirówki. Mieszanie przy mniejszej odległości punktu dozowania wymuszone było naturalnym zawirowaniem na rurociągu osadu, a przy odległości większej, zastosowali mieszanie mechaniczne, mieszadłem z regulowaną prędkością obrotową. Obroty mieszadła wynosiły 500–600 obr/min. Autorzy stosowali dwa poziomy dawek polimeru: 11–11,5 kg/t s.m. i 8–10,5 kg/t s.m. oraz 5 dawek PIXu 4–8 kg/m³ [60].

Wyniki testu odwadniania osadów z dodatkiem PIXu Gielert M. i Herman A. przedstawili w tabeli 2.55.

Gielert M. i Herman A. wykonali również testy porównawcze efektywności odwadniania z zastosowaniem PIXu dla wirówki średnio- i wysokoobrotowej. Wirówka wysokoobrotowa A posiadała obroty 3200 obr/min, natomiast wirówki średnioobrotowe B – 2200 obr/min [60].

Wyniki pomiarów pracy wirówek autorzy pracy [60] zestawili w tabeli 2.56.

Tabela 2.55. Parametry dozowania chemikaliów i wyniki testu odwadniania [60]

Dawka PIXu	Dawka polimeru	Suchość placka	Odcieki z odwadniania			Stopień rozdziału
			ChZT	PPO ₄	Sucha masa	
kg/m ³	kg/t s.m.	% s.m.	mgO ₂ /dm ³	mgP/dm ³	% s.m.	%
Dawka polimeru 11–11,5 kg/t s.m.						
0	11,15	20,4	1858	366	0,165	96
0	11,50	19,7	1555	473	0,079	98
4	11,05	20,6	710	208	0,043	99
6	11,09	23,5	1256	112	0,062	98
7	11,05	21,9	798	103	0,039	99
8	11,05	24,5	553	60	0,020	>99
Dawka polimeru 8–10,5 kg/t s.m.						
0	9,92	20,9	840	483	0,022	>99
4	8,29	19,9	820	250	0,085	98
4	9,21	20,2	760	230	0,054	98
5	8,97	21,3	774	204	0,024	99
5	10,17	23,5	602	165	0,009	>99
7	9,21	22,1	531	66	0,015	>99
7	10,44	23,4	520	62	0,014	>99
8	9,21	24,4	824	120	0,048	99
8	9,21	22,3	591	78	0,024	>99

Tabela 2.56. Porównanie efektywności wirówek średnio- i wysokoobrotowych [60]

Lp	Nazwa wirówki	Parametry pracy wirówki		Dawka polielektrolitu	Dawka PIXu	Nadawa [s.m.]	Odcieki ChZT	Osad odwodniony [s.m.]
		wydajność						
		m³/h	kg s.m./h					
1	wirówka A	22	732	11,94	Bez	3,33	915	22,6
	wirówka B	28	932	12,01	PIXu	3,33	565	20,8
2	wirówka A	22	770	10,45	Bez	3,50	1058	22,2
	wirówka B	28	924	11,21	PIXu	3,50	580	20,5
3	wirówka A	22	770	12,00	5,05	3,50	936	23,0
	wirówka B	28	980	12,05	5,05	3,50	443	22,7
4	wirówka A	22	770	11,11	5,05	3,50	680	23,0
	wirówka B	28	980	11,00	5,89	3,50	458	23,7
5	wirówka A	22	704	10,94	8,18	3,20	906	22,0
	wirówka B	28	896	10,94	8,04	3,20	1079	18,6
Wartość średnia dla wirówki A				11,28	6,10		899	22,56
Wartość średnia dla wirówki B				11,44	6,32		625	21,26

W kolejnym etapie badań autorzy dokonali również próby optymalizacji pracy wirówki wysokoobrotowej, tzn. tej, która dała lepsze rezultaty odwadniania bez dozowania PIXu. Odwadnianie osadów prowadzili przy różnym kącie nachylenia części stożkowej bębna wirówki, tj. 15° jako wyjściowy bęben i 10° – bęben po zmianie stożka [60].

Wyniki z badań Gielert M. i Herman A. przedstawili w tabeli 2.57.

Tabela 2.57. Wyniki optymalizacji efektów wirówki wysokoobrotowej z zastosowaniem PIXu [60]

Lp	Wirówka A	Dawka polielektrolitu	Dawka PIXu	Nadawa	Osad odwodniony
		kg/t s.m.	kg/m ³	% s.m.	% s.m.
1	bęben 1–15°	11,93	0,0	3,4	21,65
2	bęben 1–15°	12,02	0,0	3,1	22,47
3	bęben 1–15°	12,02	6,0	3,1	23,68
4	bęben 1–15°	12,00	6,0	3,1	25,01
5	bęben 2–10°	12,75	0,0	3,1	20,67
6	bęben 2–10°	12,12	6,0	3,0	24,82
7	bęben 2–10°	11,51	6,0	3,2	23,69
8	bęben 2–10°	11,80	6,0	3,1	24,28
9	bęben 2–10°	12,67	6,0	3,1	25,35
10	bęben 2–10°	11,65	6,0	3,1	25,52
11	bęben 2–10°	11,23	6,0	3,4	24,75
12	bęben 2–10°	11,36	7,0	3,5	26,39
13	bęben 2–10°	10,58	7,0	3,8	25,97
14	bęben 2–10°	11,49	7,0	3,6	27,02
Wartość średnia dla wirówki bęben 15°, bez PIX		10,85	0,0	3,2	21,87
Wartość średnia dla wirówki bęben 15°, dawka PIX 6 kg/m ³		10,63	6,0	3,1	24,50
Wartość średnia dla wirówki bęben 10°, bez PIX		11,36	0,0	3,1	20,67
Wartość średnia dla wirówki bęben 10°, dawka PIX 6 kg/m ³		10,59	6,0	3,2	24,75
Wartość średnia dla wirówki bęben 10°, dawka PIX 7 kg/m ³		11,52	7,0	3,6	26,46

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 2.55 pozwoliła autorom pracy [60] stwierdzić, że zastosowanie koagulantu PIX w testach odwadniania osadów na wirówkach sedymentacyjnych Oczyszczalni Ścieków „Wschód” w Gdańsku powodowało wzrost odwodnienia osadów 2–4,5% suchej masy. Podczas prób stopień rozdziału suchej masy ulegał zwiększeniu do poziomu powyżej 99%. Jakość odcieków z odwadniania osadów była porównywalna z jakością uzyskiwaną z bezpośredniego strącania i była 2-3 krotnie lepsza niż bez dozowania PIXu [60].

Z porównania wirówek średnio- i wysokoobrotowych Gielert M. i Herman A. zaobserwowali, iż wirówka A (wysokoobrotowa) dawała lepsze rezultaty odwadniania osadów bez dodatku PIXu o ok. 2% w suchości osadu. Próby porównawcze bez optymalizacji ale z dodatkiem PIXu pokazały, że efekt odwodnienia bardziej zależał od dawki PIXu, mniej od różnicy w liczbie obrotów dla obydwu rodzajów wirówek.

Autorzy zaobserwowali podczas optymalizacji pracy wirówki wysokoobrotowej dla różnych kątów nachylenia części stożkowej bębna wirówki 15° oraz 10°, że dodatek PIXu w ilości 6 kg/m³ osadu, dla wirówki o nachyleniu stożka 10° powodował zwiększenie odwadniania osadów o ok. 3–5 % w porównaniu z odwadnianiem bez dodatku PIXu. Nachylenie stożka wirówki 15° powodowało obniżenie efektu o 1–2% suchości osadu przy tej samej dawce PIXu. Autorzy zaobserwowali więc, że lepsze rezultaty odwadniania osadów osiągnęto poprzez zastosowanie bębna o nachyleniu stożka 10° [60].

Na Seminarium Naukowo-Technicznym pt.: Nowe zastosowania chemii w technologii oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych, które odbyło się w Mikołajkach 2008 r., Ciborowski M. przedstawił różne możliwości zastosowania koagulantu PIX w przeróbce osadów ściekowych.

Jak pisze autor pracy [41] nieorganiczne koagulanty w oczyszczalniach ścieków komunalnych i przemysłowych są coraz częściej stosowane w części osadowej oczyszczalni do [41]:

- wspomagania zagęszczania osadu,
- kondycjonowania osadów przed mechanicznym zagęszczaniem lub odwadnianiem,
- kontroli krystalizacji struwitu,
- usuwania siarkowodoru.

Najczęściej stosowanym koagulantem w części osadowej oczyszczalni jest siarczan żelazowy o nazwie handlowej PIX-113, który nie zawiera korozyjnych chlorków i wolnego kwasu oraz wiąże siarkowodor na drodze chemicznej [42].

Ciborowski M. w pracy [41] przedstawił wyniki badań zastosowania koagulantu PIX do odwadniania osadów w Oczyszczalni Ścieków w Kołobrzegu.

Jak pisze autor pracy [41] efekt odwadniania osadu wstępnego w Oczyszczalni Ścieków w Kołobrzegu był zadowalający, natomiast w przypadku osadu nadmiernego wymagana była wysoka dawka polimeru w postaci emulsji (15 kg/t s.m.), ale i tak nie

dawała zadawalających efektów odwadniania, ponieważ uzyskiwano po wirówce tylko 15–16% s.m. W celu obniżenia kosztów odwadniania poprzez redukcję wysokiej dawki polimeru i zwiększenia suchej masy po wirówce, rozpoczęto dozowanie koagulantu PIX do osadu nadmiernego przed odwadnianiem. W związku z tym, że osad nadmierny w oczyszczalni ścieków w ilości ok. 100 m³/d po zagęszczaniu grawitacyjnym (2,5% s.m.) kierowany jest poprzez zbiornik osadu czynnego (ZON) bezpośrednio na wirówkę, jako miejsce dozowania PIX-u wybrano zbiornik osadu czynnego (ZON). Dzięki temu, że zbiornik ten zaopatrzony był w mieszadło wysokoobrotowe, zapewniało to dobre wymieszanie PIX-u z osadem oraz wystarczający czas kontaktu – ok. 50 metrowy odcinek rurociągu od zbiornika osadu czynnego (ZON) do wirówki. Średnia dawka PIX w okresie rocznego dozowania wynosiła 105 kg/t s.m. Po zastosowaniu do kondycjonowania osadu koagulantu PIX zredukowano dawkę polimeru do poziomu 11,0–11,9 kg/t s.m., dzięki czemu zmniejszono ogólne koszty chemii. Podniesiono również suchą masę osadu po wirówce o 1,5–2% punkty procentowe [41].

Bień B. [18] prowadziła badania wpływu polimerycznego kondycjonowania osadów ściekowych na ich charakterystyki reologiczne, stopień odwodnienia w procesach: filtracji próżniowej i odwirowania oraz strukturę. Do badań eksperymentalnych użyła osadów przefermentowanych pochodzących z komunalnej oczyszczalni ścieków.

W badaniach do kondycjonowania osadów ściekowych autorka wykorzystała polielektrolity o charakterze kationowym o różnej mocy działania: Praestol 644BC (słabo kationowy), Praestol 650BC (średnio kationowy) oraz Praestol 624BC (silnie kationowy). Polielektrolity stosowała w postaci rozcieńczonego roztworu 0,1%.

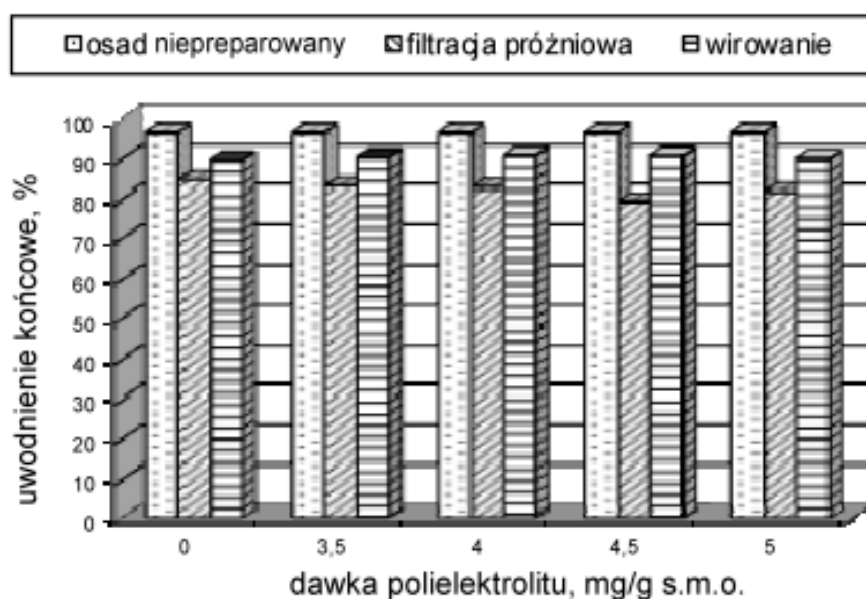
Zastosowany do badań osad ściekowy charakteryzował się następującymi parametrami fizykochemicznymi, tj. barwa: brunatno szara, zapach: roślinno-ziemisty, pH: 7,9, sucha pozostałość: 3,2%, uwodnienie początkowe: 96,8%, zawartość substancji mineralnych: 37,1%, zawartość substancji organicznych: 62,9%, CSK: 1192,0 s [18].

Bień B. dawki polielektrolitów dobrała na podstawie przeprowadzonego testu CSK, które mieściły się w zakresie dawek optymalnych [18]:

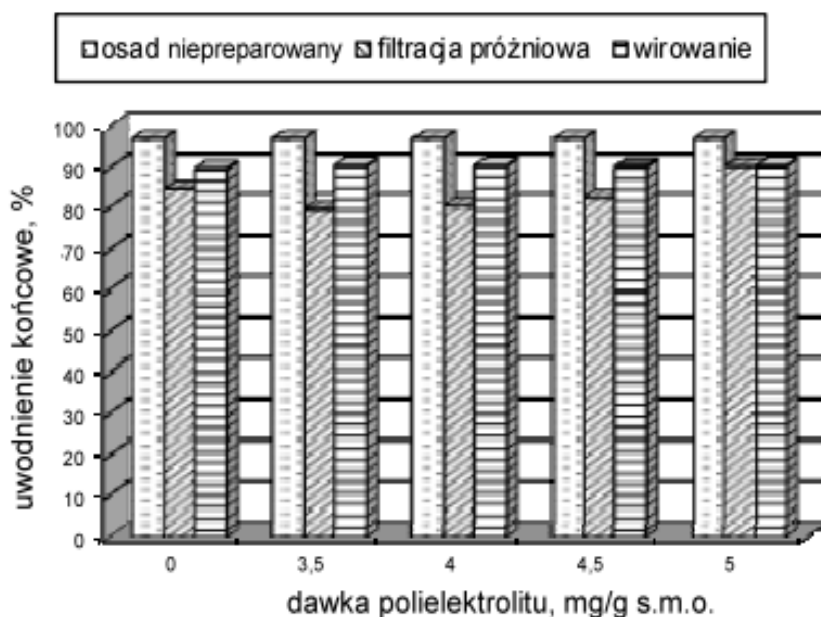
- Praestol 644BC – dawki: 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 mg/g s.m.o.,
- Praestol 650BC – dawki: 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 mg/g s.m.o.,
- Praestol 624BC – dawki: 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 mg/g s.m.o.

Autorka określiła stopień odwodnienia kondycjonowanych osadów po procesie odwirowywania oraz uwodnienia końcowego po procesie filtracji próżniowej. Wyniki z przeprowadzonych badań zostały przedstawione na rysunkach 2.45, 2.46, 2.47.

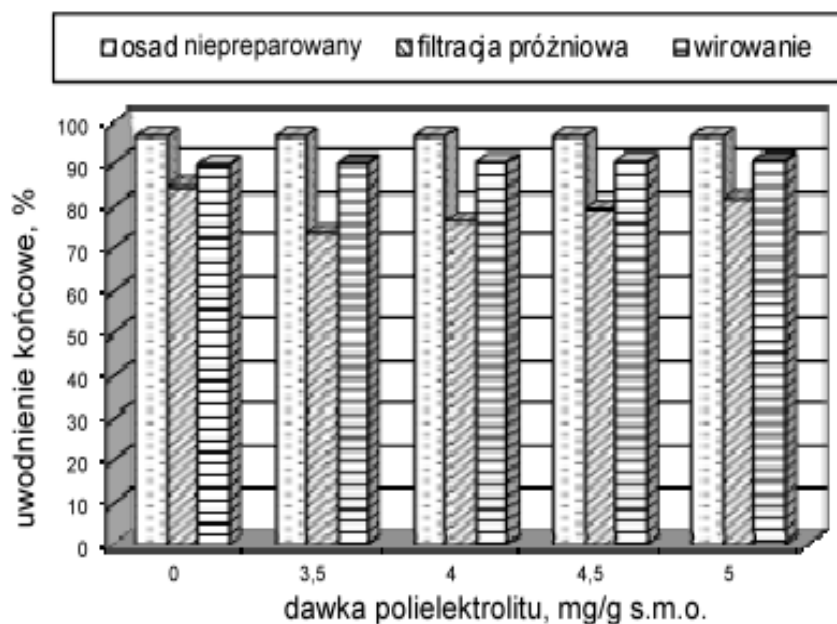
Na podstawie analizy wykresów autorka stwierdziła, że najlepszą metodą odwadniania osadów kondycjonowanych wybranymi polielektrolitami była filtracja próżniowa. W przypadku tej metody zanotowała najniższe wartości uwodnienia końcowego dla osadów kondycjonowanych polielektrolitem Praestol 624BC [18].



Rys. 2.45. Skuteczność odwadniania osadów OP preparowanych polielektrolitem Praestol 644BC [18]



Rys. 2.46. Skuteczność odwadniania osadów OP preparowanych polielektrolitem Praestol 650BC [18]



Rys. 2.47. Skuteczność odwadniania osadów OP preparowanych polielektrolitem Praestol 624BC [18]

Bień J. i inni w artykule [26] przedstawili wyniki badań nad sposobem kondycjonowania osadów przed odwadnianiem w procesie odwirowania, polegającym na zastosowaniu polielektrolitu i pola ultradźwiękowego.

Badania przeprowadzili dla osadów pobranych po zagęszczaczu przed stacją polielektrolitów i prasą filtracyjną sitowo-taśmową, pochodzących z oczyszczalni ścieków w Działoszynie oraz osadów przefermentowanych z Centralnej Oczyszczalni Ścieków „Warta” w Częstochowie.

W badaniach wstępnych do kondycjonowania stosowali kilka polielektrolitów o kationowym działaniu, takich jak: Renfloc 25489, Praestol 859BC, Zetag 92, z których najkorzystniejszym w przypadku badanych osadów okazał się Renfloc 25489 i został on wybrany przez autorów do dalszej części badań [26].

Na podstawie testu czasu ssania kapilarnego określili optymalną dawkę polielektrolitu oraz czas działania pola ultradźwiękowego.

Odwadnianie osadów autorzy prowadzili w wirówce laboratoryjnej typu MPW-340 o działaniu okresowym, z regulatorem prędkości i czasu wirowania. Próby odwirowywali przy prędkości wirowania równej 1500, 3000, 4500 obr/min i czasie wirowania wynoszącym 5 minut.

Proces nadźwiękawiania prowadzili przy amplitudzie $A = 8 \mu\text{m}$ i czasie nadźwiękawiania $t = 2, 4, 6, 8, 10 \text{ s}$ [26].

W przypadku osadów z oczyszczalni Działoszyn dawka polielektrolitu Renfloc 25489 wynosiła 2,0 mg/g s.m., natomiast dla osadów z oczyszczalni Częstochowa 8,0 mg/g s.m. Prędkość obrotową 3000 obr/min i czas wirowania równy 5 min ustalili doświadczalnie.

Do interpretacji wyników badań dotyczących preparowania osadów polielektrolitami nadźwiękawianymi wybrali czas nadźwiękawiania polielektrolitu 6 s, dla którego uzyskali najbardziej zadawalające efekty procesu kondycjonowania [26].

Autorzy na podstawie przeprowadzonych badań sformułowali następujące wnioski [26]:

- Odwanianie badanych osadów w procesie odwirowania przebiegało korzystnie, co stwierdzono na podstawie uzyskanych wartości uwodnienia końcowego i stopnia rozdziału.
- Kondycjonowanie osadów przed odwadnianiem najkorzystniejszą dawką polielektrolitu poprawiało uzyskany efekt odwadniania.
- Dla osadów z Działoszyna uzyskano około 1,1% obniżenie uwodnienia końcowego w odniesieniu do osadów niepreparowanych dla dawki polielektrolitu Renfloc wynoszącej 2,0 mg/g s.m., a w przypadku osadów z Częstochowy omawiany efekt wynosił 4,5% dla dawki tego samego polielektrolitu równej 8,0 mg/g s.m.
- Zastosowanie pola ultradźwiękowego do modyfikacji samego polielektrolitu powodowało dalszą poprawę uzyskiwanych efektów odwadniania osadów w procesie odwirowania.
- Dla przebadanych osadów istnieje pewna określona wielkość cząstek (zaobserwowana pod mikroskopem) odpowiadająca ich największemu odwodnieniu.

Kowalczyk M. w artykule [103] dokonał analizy efektywności odwadniania w procesie wirowania osadów ściekowych, kondycjonowanych substancjami chemicznymi (cement, popiół, gips) oraz metodą łączoną wykorzystującą pole ultradźwiękowe i stosowane komponenty (cement, popiół, gips).

Autor do procesu odwadniania metodą odwirowania użył wirówki laboratoryjnej typu MPW-6.15 o działaniu okresowym, z regulatorem prędkości i czasu odwirowania. Prędkość obrotowa wirówki wynosiła 5000 obr/min., a czas wirowania 5 min. Substancje chemiczne obojętne (popiół, cement, gips-komponenty) stosował w ilości 0,5 g/100 cm³ badanego osadu [103].

Proces nadźwiękawiania prowadził przy amplitudzie $A = 45$ i $90 \mu\text{m}$ i czasie nadźwiękawiania $t = 30, 60, 90 \text{ s}$ [103].

Kowalczyk M. na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników, sformułował następujące wnioski [103]:

- Zastosowanie wstępnego nadźwiękawiania osadów przed dawkowaniem substancji obojętnych chemicznie intensyfikowało proces flokulacji osadów i powodowało skuteczniejsze obniżenie uwodnienia końcowego. Zwiększenie efektywności nadźwiękawiania zaobserwowano w miarę wzrostu amplitudy drgań.
- Stosując metodę łączoną, nadźwiękawiając osad, a następnie dawkując komponenty uzyskano najmniejsze uwodnienie końcowe w procesie wirowania.
- Najskuteczniejszym dodawanym komponentem był popiół oraz zastosowana amplituda $90 \mu\text{m}$ i czas 90 s . Uzyskane uwodnienie końcowe wynosiło $83,3\%$, co dawało około 65% zmianę objętości osadów w stosunku do osadów niepreparowanych.

Bień J. i inni w artykule [21] przedstawili wyniki badań wpływu metod preparowania osadów ściekowych (komunalno-przemysłowych) na stopień ich odwadniania w procesie odwirowania.

Do procesu odwadniania metodą odwirowania autorzy użyli wirówki laboratoryjnej typu MPW–6.15 o działaniu okresowym, z regulatorem prędkości i czasu odwirowania. W badaniach zastosowali prędkość wirowania równą 4000 obr/min oraz czas wirowania równy 5 min . Osady ściekowe kondycjonowali substancjami chemicznie obojętnymi (popiół, cement, gips) w ilości $0,5 \text{ g/100 cm}^3$ badanego osadu.

Proces nadźwiękawiania prowadzili przy amplitudzie $A = 45$ i $90 \mu\text{m}$ i czasie nadźwiękawiania $t = 30, 60, 90 \text{ s}$ [21].

Osad użyty do badań pochodził z oczyszczalni ścieków komunalno-przemysłowych w Koniecpolu i charakteryzował się następującymi parametrami: uwodnienie – $99,2\%$, sucha masa osadów – 8 g/dm^3 , zawartość substancji mineralnych – 37% , organicznych – 63% , pH – $6,9$, czas ssania kapilarnego – 125 s .

Bień J. i inni na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników stwierdzili, że proces kondycjonowania osadów ściekowych polem ultradźwiękowym i komponentami poprawia efekt odwadniania, co zostało potwierdzone uzyskaną przez nich niską wartością uwodnienia końcowego w procesie wirowania [21].

- Stosując metodę łączoną, nadźwiękawiając osad, a następnie dawkując komponenty, uzyskali najmniejsze uwodnienie końcowe w procesie wirowania.
- Najskuteczniejszym dodawanym komponentem był cement oraz zastosowana amplituda 90 μm i czas 90 s. Uzyskane uwodnienie końcowe wynosiło 85,1%, co dawało około 68% zmianę objętości osadów w stosunku do osadów niepreparowanych.
- Istnieje możliwość obniżenia uwodnienia końcowego osadów nawet o kolejne 3,5% (z 90,15 do 86,5%), stosując pole ultradźwiękowe jako czynnik wspomagający substancje obojętne chemicznie w procesie ich kondycjonowania.

Bień J. i inni w artykule [22] dokonali analizy efektywności odwadniania w procesie filtracji ciśnieniowej osadów ściekowych, kondycjonowanych substancjami chemicznymi (cement, polielektrolit) oraz metodą łączoną wykorzystującą pole ultradźwiękowe i stosowane komponenty (cement, polielektrolit).

Filtracje ciśnieniową prowadzili przy ciśnieniu 0,5 MPa z zastosowaniem dwóch tkanin filtracyjnych: poliestrowej MPM 10 oraz bawełnianej BT. Jako reagent chemiczny użyli polielektrolitu silnie kationowego Praestol 655BC w ilości 1 mg/g s.m.o [22].

Proces nadźwiękawiania prowadzili przy amplitudzie $A = 60$ i $120 \mu\text{m}$ i czasie nadźwiękawiania $t = 30, 60, 90$ s. Stosowany komponent, czyli w tym przypadku cement dawkowali w ilości $1\text{g}/100 \text{ cm}^3$ badanego osadu.

Do badań wykorzystali osady ściekowe z oczyszczalni ścieków komunalno-przemysłowych, gdzie 10% stanowiły ścieki przemysłowe z Zakładu Produkcji Płyt Wiórowych w Koniecpolu [22].

Bień J. i inni na podstawie przeprowadzonych badań sformułowali następujące wnioski [22]:

- Zastosowanie wstępnego nadźwiękawiania osadów przed dawkowaniem polielektrolitów i substancji obojętnych chemicznie intensyfikowało proces flokulacji osadów i powodowało skuteczniejsze obniżenie uwodnienia końcowego. Zwiększenie efektywności nadźwiękawiania zaobserwowano w miarę wzrostu amplitudy drgań.
- Najskuteczniejszą wśród wszystkich metod kondycjonowania osadów okazała się metoda łączona (wstępne nadźwiękawianie + substancje chemiczne). Taki układ czynników kondycjonujących osady w procesie filtracji ciśnieniowej

pozwoił na obniżenie uwodnienia końcowego do 74,6%, czyli uzyskanie stężenia suchej masy w osadzie na poziomie 25,4%.

- Zastosowanie tkaniny MPM 10 powodowało ponad 50% wzrost skuteczności obniżenia uwodnienia końcowego filtrowanych osadów w stosunku do procesu filtracji przez tkaninę BT.
- Największy wzrost prędkości i wydajności filtracji dochodzący nawet do 400% zaobserwowano dla osadów kondycjonowanych metodami łączonymi oraz niezależnie od zastosowanej tkaniny, co odpowiadało najlepszej skuteczności odwadniania osadów.

Kowalczyk M. i Kamizela T. w artykule [101] dokonali analizy efektywności odwadniania w procesie filtracji ciśnieniowej osadów ściekowych mieszanych (komunalno-przemysłowych), kondycjonowanych substancjami chemicznymi (popiół, polielektrolit) oraz metodą łączoną wykorzystującą pole ultradźwiękowe i stosowane komponenty.

Filtracje ciśnieniową prowadzili przy ciśnieniu 0,5 MPa z zastosowaniem tkaniny filtracyjnej bawełnianej BT. Jako reagent chemiczny użyli polielektrolitu słabo kationowego Praestol 650BC w ilości 2 mg/g s.m.o.

Proces nadźwiękawiania prowadzili przy amplitudzie $A = 50$ i $100 \mu\text{m}$ i czasie nadźwiękawiania $t = 30, 60, 90$ s. Stosowany komponent, czyli w tym przypadku popiół dawkowali w ilości $1\text{g}/100\text{ cm}^3$ badanego osadu [101].

Kowalczyk M. i Kamizela T. na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników, sformułowali następujące wnioski [101]:

- Najskuteczniejszą wśród wszystkich metod kondycjonowania osadów okazała się metoda łączona (wstępne nadźwiękawianie + substancje chemiczne). Taki układ czynników kondycjonujących osady w procesie filtracji ciśnieniowej pozwoił na obniżenie uwodnienia końcowego do 70,2%, czyli uzyskanie stężenia suchej masy w osadzie na poziomie 29,8%.
- Największy wzrost prędkości i wydajności filtracji dochodzący nawet do 400% zaobserwowano dla osadów kondycjonowanych metodami łączonymi, co odpowiadało najlepszej skuteczności odwadniania osadów.
- Niezależnie od zastosowanych czynników kondycjonujących oraz metod preparowania w przeważającej ilości przypadków następował spadek oporu właściwego filtracji.

Kowalczyk M. w publikacji [104] dokonał analizy efektywności odwadniania w procesie filtracji ciśnieniowej osadów ściekowych, kondycjonowanych substancjami chemicznymi (polielektrolit, cement, gips) oraz metodą łączoną wykorzystującą pole ultradźwiękowe i stosowane komponenty.

Proces filtracji ciśnieniowej prowadził przy ciśnieniu 0,5 MPa z zastosowaniem dwóch tkanin filtracyjnych: bawełnianej BT oraz poliestrowej MPM 10. Jako reagent chemiczny użył polielektrolitu silnie anionowego Praestol 2505 w ilości 0,5 mg/g s.m.o [104].

Proces nadźwiękowania prowadził przy amplitudzie $A = 60$ i $120 \mu\text{m}$ i czasie nadźwiękowania $t = 30, 60, 90$ s. Stosowane komponenty, czyli w tym przypadku cement i gips dawkował w ilości $1\text{g}/100\text{ cm}^3$ badanego osadu.

Autor wyniki odwadniania osadów ściekowych w procesie filtracji ciśnieniowej w zależności od zastosowanej tkaniny, zestawiał w tabeli 2.58 [104].

Tabela 2.58. Zestawienie wyników odwadniania osadów ściekowych w procesie filtracji ciśnieniowej w zależności od zastosowanej tkaniny [104]

Sposób kondycjonowania	Tkanina 1		Tkanina 1	
	Uwodnienie $U_k, \%$	Opór filtracji, $\text{m/kg} \cdot 10^{13}$	Uwodnienie $U_k, \%$	Opór filtracji, $\text{m/kg} \cdot 10^{13}$
Osad surowy	92,1–92,5	3,41–4,62	88,3–88,8	2,62–3,27
Osad+UD $A=60\mu\text{m}$	89,0–91,3	2,99–3,79	87,0–90,8	5,17–6,66
Osad+UD $A=120\mu\text{m}$	88,8–90,6	1,78–3,46	89,2–90,5	6,51–7,07
Osad+cement	85,8–86,1	2,87–4,61	80,5–81,4	2,71–4,04
Osad+polielektrolit	87,4–89,2	1,99–2,43	84,8–86,0	3,60–4,04
Osad+cem.+poliel.	83,6–85,3	2,46–3,34	78,5–79,9	2,39–3,16
Osad+UD $A=60\mu\text{m}$ +cem.	84,6–85,7	1,83–3,00	78,6–79,8	1,97–3,16
Osad+UD $A=120\mu\text{m}$ +cem.	83,6–84,9	1,83–2,36	77,3–78,9	2,49–3,03
Osad+UD $A=60\mu\text{m}$ +poliel.	86,9–88,0	1,30–2,44	81,1–83,5	2,28–4,26
Osad+UD $A=120\mu\text{m}$ +poliel.	86,2–87,5	0,90–2,61	81,0–82,8	2,19–4,19
Osad+UDA= $60\mu\text{m}$ +poliel. +cem.	83,3–85,0	1,94–3,90	76,2–78,1	1,88–2,63
Osad+UDA= $120\mu\text{m}$ +poliel. +cem.	83,4–84,7	2,68–4,01	74,1–75,8	1,94–2,86
Osad+gips	85,6–86,3	3,68–4,59	80,9–82,0	3,02–4,26
Osad+poliel.+gips	84,4–85,2	2,46–3,67	79,1–79,8	3,56–5,03
Osad+UD $A=60\mu\text{m}$ +gips	85,0–86,1	1,94–2,86	78,7–79,3	1,67–3,24
Osad+UD $A=120\mu\text{m}$ +gips	84,3–85,4	2,06–3,45	77,2–79,1	2,11–4,17
Osad+UD $A=60\mu\text{m}$ +poliel.+gips	83,7–84,6	1,91–3,61	75,2–76,3	2,16–5,52
Osad+UD $A=120\mu\text{m}$ +poliel.+gips	83,1–84,2	2,12–4,02	74,3–75,8	1,96–3,48

Kowalczyk M. na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników, sformułował następujące wnioski [104]:

- Zastosowanie wstępnego nadźwiękawiania osadów przed dawkowaniem polielektrolitów i substancji obojętnych chemicznie intensyfikowało proces flokulacji osadów i powodowało skuteczniejsze obniżenie uwodnienia końcowego.
- Zastosowanie tkaniny MPM 10 powodowało ponad 50% wzrost skuteczności obniżenia uwodnienia końcowego filtrowanych osadów w stosunku do procesu filtracji przez tkaninę BT.

Wolski P. i inni w artykule [214] przedstawili wyniki badań określające zależność pomiędzy kondycjonowaniem osadów nadmiernych polem ultradźwiękowym, zwiększającym biodegradowalność osadów, a poprawą efektywności ich końcowego odwadniania.

Do badań zastosowali osady nadmierne, pochodzące z przemysłu spożywczego (90%) w mieszaninie z osadami przefermentowanymi (10%) [214].

W pierwszym etapie badań osady poddali wstępnie dezintegracji ultradźwiękowej w celu intensyfikacji procesu stabilizacji beztlenowej, stosując amplitudę drgań oraz czas ekspozycji ($A = 36,6 \mu\text{m}$, $t = 240 \text{ s}$), które to wielkości dobrali na podstawie badań.

W kolejnym etapie badań wykonali serie doświadczeń, określających podatność na odwadnianie ustabilizowanych po 25 dobach fermentacji mezofilowej osadów nadmiernych [214].

Przed procesem odwadniania osady poddali chemicznej modyfikacji, wykorzystując polielektrolity z grupy Praestoli, tj. [214]:

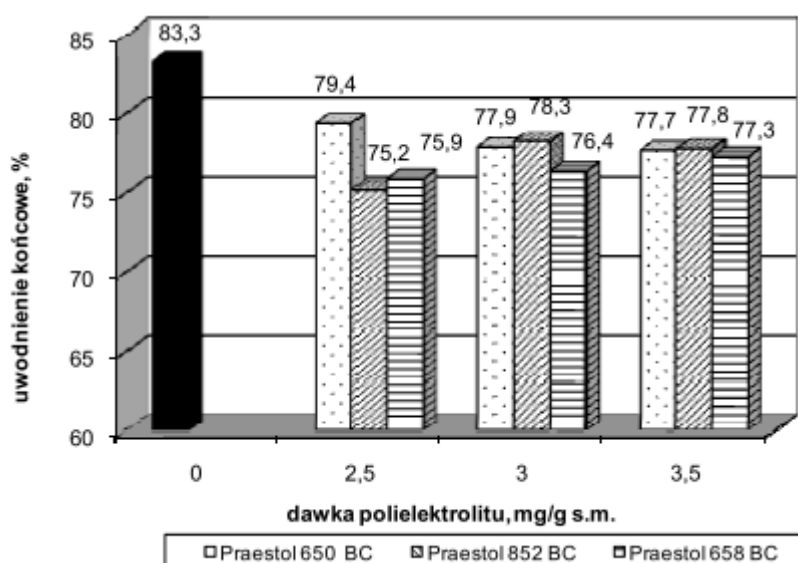
- Praestol 650BC (słabo kationowy),
- Praestol 852BC (średnio kationowy),
- Praestol 658BC (silnie kationowy).

Dla każdego z polielektrolitów (roztwór o stężeniu 0,1%) najkorzystniejsza dawka wynosiła 3,0 mg/g s.m. Do dalszych badań przyjęli również dawkę obniżoną (2,5 mg/g s.m.) oraz podwyższoną (3,5 mg/g s.m.).

Osady odwadniali za pomocą procesu filtracji próżniowej, wytwarzając podciśnienie wynoszące 0,06 MPa [214].

Autorzy wyniki z przeprowadzonych badań wpływu dawki polielektrolitu na uwodnienie końcowe osadu przefermentowanego przedstawili na rysunku 2.48.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wzrost dawki polielektrolitu korzystnie wpływał na spadek oporu właściwego, jednak zazwyczaj prowadziło to również do wzrostu uwodnienia końcowego. Najniższą wartość uwodnienia końcowego Wolski P. i inni zanotowali dla osadu kondycjonowanego Praestolem 852BC i wynosiła ona 75,2%. Korzystny wpływ polielektrolitu stwierdzili dla próbki osadu przefermentowanego preparowanego Praestolem 650BC, gdzie wartość uwodnienia wraz ze wzrostem dawki skutecznie malała [214].



Rys. 2.48. Wpływ dawki polielektrolitu na uwodnienie końcowe osadu przefermentowanego [214]

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowali następujące wnioski [214]:

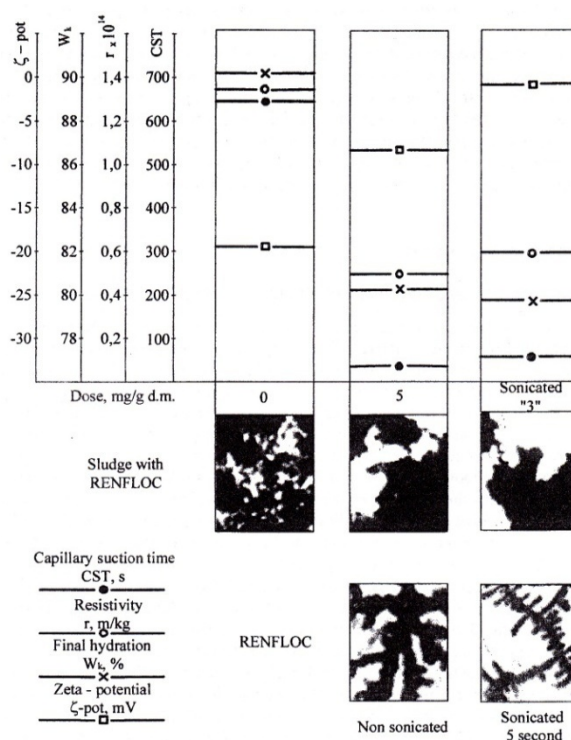
- Wstępnie kondycjonowanie polem ultradźwiękowym osadów nadmiernych wpłynęło na poprawę stopnia ich dezintegracji. Po 25 dniach fermentacji metanowej otrzymano 66% stopień przefermentowania osadów.
- Intensyfikacja procesu stabilizacji beztlenowej nie wpływała na poprawę efektywności odwadniania. Osady należało poddać końcowemu kondycjonowaniu, uzyskując w ten sposób lepszą ich zdolność do odwadniania.
- Zastosowanie polielektrolitów poprawiało efektywność odwadniania. Zmiany te korelowały ze zmianami struktury – wzrostowi wielkości cząstek towarzyszył spadek wartości oporu właściwego osadów. Najniższe wartości oporu właściwego osadów nie zawsze pokrywały się z najlepszymi efektami ich odwadniania.

Bień J.B. i inni w artykule [29] przedstawili fragment badań dotyczących kondycjonowania osadów przed odwadnianiem w procesie filtracji poprzez zastosowanie polielektrolitów zmodyfikowanych w polu ultradźwiękowym.

Autorzy do badań zastosowali osady przefermentowane pochodzące z oczyszczalni ścieków, których uwodnienie początkowe wynosiło 97,4%.

Do nadźwiękowania próbek polielektrolitu Bień J.B. i inni użyli dezintegratora ultradźwiękowego UD-20 o częstotliwości 20 Hz i amplitudzie drgań 8 i 14 μm . Czas nadźwiękowania polielektrolitów wynosił kilka sekund. Jako odczynników chemicznych użyli kilka polielektrolitów. Dwa z nich Zetag 55 i Renfloc 28486 okazały się najbardziej korzystne. Na podstawie testu czasu ssania kapilarnego wybrali optymalną dawkę polielektrolitu. Proces filtracji prowadzili w filtrze ciśnieniowym pod ciśnieniem 0,5 MPa [29].

Bień J.B. i inni wyniki z przeprowadzonych badań przedstawili na rysunku 2.49.



Rys. 2.49. Zmiany struktury i parametrów odwodnionych osadów i kondycjonowanych polielektrolitem Renfloc przed i po wykorzystaniu nadźwiękowania w procesie filtracji [29]

Autorzy na podstawie przeprowadzonych badań ustalili, iż krótkie, kilkusekundowe, oddziaływanie pola ultradźwiękowego wpływa korzystnie na parametry odwadniania osadów w procesie filtracji. Uzyskane wartości parametrów odwadniania osadów preparowanych dawką nadźwiękowanego polielektrolitu

i obniżoną w odniesieniu do dawki optymalnej są porównywalne (a nawet nieco lepsze) z wynikami otrzymanymi dla tej właśnie dawki.

Pole ultradźwiękowe, jako czynnik modyfikujący wewnętrzną strukturę polielektrolitu, a przez to poprawiający jego działanie na osady ściekowe, może przynieść dobre efekty, pod warunkiem dobrania właściwego czasu nadźwiękowania. Czas ten jest wyznaczany indywidualnie dla każdego polielektrolitu [29].

Kowalczyk M. i inni w pracy [102] dokonali analizy efektywności odwadniania w procesie filtracji ciśnieniowej osadów ściekowych mieszanych (komunalno-przemysłowych), kondycjonowanych ultradźwiękami, substancjami chemicznymi (popiół, cement, gips, szkło wodne) oraz metodą łączoną wykorzystującą pole ultradźwiękowe i stosowane komponenty.

Proces filtracji ciśnieniowej prowadzili przy ciśnieniu 0,5 MPa z zastosowaniem tkaniny filtracyjnej: bawełnianej BT. Jako reagenta chemicznego użyli szkła wodnego w ilości 1 cm³/100 cm³ osadów.

Proces nadźwiękowania prowadzili przy amplitudzie $A = 60$ i $120 \mu\text{m}$ i czasie nadźwiękowania $t = 30, 90, 120$ s. Stosowany komponent, czyli w tym przypadku popiół dawkowali w ilości 1g/100 cm³ badanego osadu. Badany osad użyty do badań charakteryzował się następującymi parametrami: uwodnienie – 99%, sucha masa osadów – 10 g/dm³, zawartość substancji mineralnych – 34%, zawartość substancji organicznych – 66%, pH – 6,8, czas ssania kapilarnego – 230 s [102].

Na podstawie przeprowadzonych badań i po analizie uzyskanych wyników Kowalczyk M. i inni stwierdzili, że kondycjonowanie polem ultradźwiękowym, substancjami obojętnymi chemicznie, a także metodami łączonymi wpływa na zwiększenie skuteczności odwadniania osadów ściekowych w procesie filtracji ciśnieniowej. Dawkowanie szkła wodnego do osadów ściekowych wpływa korzystnie na wynik uwodnienia końcowego otrzymanego po odwodnieniu osadów w tym procesie. Zmiana parametrów odwadniania podczas filtracji ciśnieniowej, w wyniku kondycjonowania wymienionymi sposobami, umożliwiła autorom przedstawienie następujących wniosków [102]:

- Kondycjonowanie osadów ściekowych samym polem ultradźwiękowym wpływa na zmianę uwodnienia końcowego. Najlepszy efekt osiągnięto po nadźwiękowaniu amplitudą $A = 120 \mu\text{m}$ po czasie 120 sekund. Dało to wartość o 4,5% niższą w porównaniu z osadem surowym. Zarówno dla amplitudy

$A = 60$, jak i $120\ \mu\text{m}$ wartości uwodnienia końcowego obniżały się proporcjonalnie do czasu ekspozycji.

- Zastosowanie substancji obojętnych chemicznie w znacznym stopniu wpływa na obniżenie uwodnienia końcowego osadów ściekowych. Najskuteczniejszą substancją okazał się popiół (osiągnięto redukcję uwodnienia końcowego o 10,5% w stosunku do osadu surowego).
- Metody łączone wykorzystujące wstępne nadźwiękawianie i dawkowanie substancji chemicznych, zarówno dla amplitudy $A = 60$, jak i $120\ \mu\text{m}$, wpływały w największym stopniu na poprawę zdolności osadów do odwadniania. Najbardziej efektywny w połączeniu z polem ultradźwiękowym okazał się popiół. Dla amplitudy $A = 120\ \mu\text{m}$ po czasie 120 sekund osiągnięto najniższe uwodnienie końcowe wynoszące 77,5%. Była to wartość niższa o 13,1% w stosunku do uwodnienia końcowego osadów surowych.
- Dawkowanie szkła wodnego do osadów kondycjonowanych polem ultradźwiękowym czy substancjami chemicznymi wpływa na zmniejszenie uwodnienia końcowego osadów w stosunku do osadów surowych. Zastosowanie szkła wodnego do osadów surowych spowodowało redukcję uwodnienia końcowego o 5,8% w stosunku do osadów niepreparowanych.

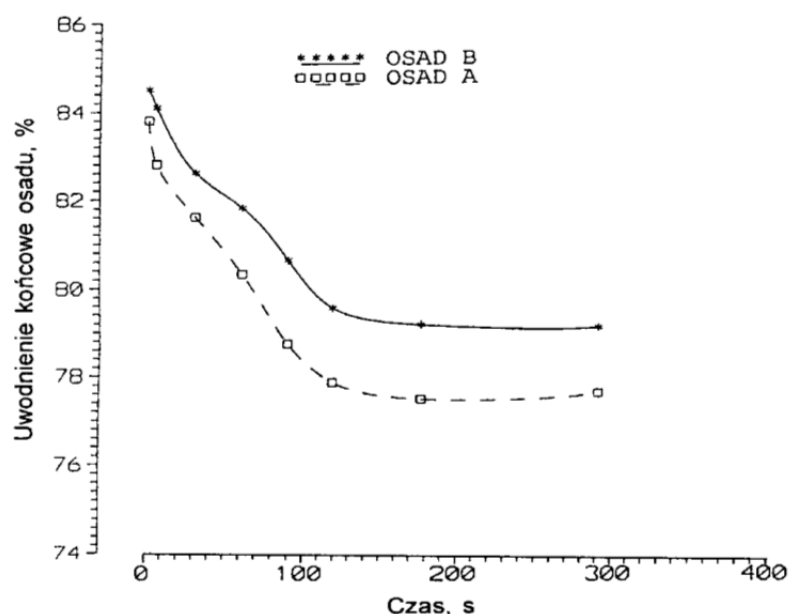
Bień J. i Wolny L. [27] prowadzili badania nad kondycjonowaniem osadów ściekowych przy zastosowaniu fal ultradźwiękowych mających na celu określenie możliwości zwiększenia efektu ich odwadniania, który zależy od rodzaju osadu i środków chemicznych stosowanych w procesie odwadniania.

Autorzy prowadzili badania na dwóch osadach przefermentowanych trudno odwadnialnych, pochodzących z oczyszczalni ścieków komunalno-przemysłowych.

Próbki osadów traktowali ultradźwiękami przy pomocy dezintegratora (typ UD-20 produkcji polskiej) o częstotliwości 22 kHz i amplitudzie drgań $8\ \mu\text{m}$. Najskuteczniejszy czas działania fal ultradźwiękowych określili na podstawie testu czasu ssania kapilarnego (CSK), polegającego na pomiarze czasu przejścia czołowej, granicznej warstwy filtratu w wyniku działania sił ssących bibuły Whatman-17 pomiędzy okręgami o średnicach 32 i 45 mm [27].

Osad po działaniu ultradźwięków w czasie 5, 30, 60, 90, 120, 180 i 300 s następnie odwadniali na filtrze próżniowym przy ciśnieniu $5 \cdot 10^4\ \text{N/m}^2$ [27].

Wyniki z badań autorzy przedstawili na rysunku 2.50 oraz w tabeli 2.59.



Rys. 2.50. Wpływ czasu działania fal ultradźwiękowych na uwodnienie końcowe osadów [27]

Tabela 2.59. Wpływ czasu działania fal ultradźwiękowych na obniżenie uwodnienia osadów w procesie filtracji próżniowej [27]

Czas działania fal ultradźwiękowych, s	Obniżenie uwodnienia końcowego osadu w odniesieniu do osadu surowego, %	
	Osad A	Osad B
5	1,0	0,4
30	2,2	1,9
60	3,5	2,7
90	5,1	3,9
120	6,0	5,0
180	6,4	5,4
300	6,3	5,5

Na podstawie uzyskanych wyników Bień J. i Wolny L. stwierdzili, że zastosowanie fal ultradźwiękowych do odwadniania osadów okazało się słuszne, czego efektem było uzyskanie obniżenia uwodnienia osadu o 6,4% dla czasu ekspozycji 180 s. Wykorzystanie fal ultradźwiękowych do kondycjonowania osadów pozwalało na osiągnięcie lepszych efektów w odniesieniu do poprawy ich odwodnienia.

W przeprowadzonych badaniach zaobserwowali, iż traktowanie osadów ultradźwiękami w czasie krótszym niż 30 s wywołało zwiększenie stopnia ich dyspersji, natomiast przekroczenie tego czasu powodowało, iż tworzyły się wyraźne, oddzielone od siebie kłaczkowate skupiska. Zmiana kształtu cząstek, tzw. efekt upakowania przestrzennego tak złożonych układów, jakimi są osady ściekowe, rzutuje między innymi na zdolności filtracyjne cząstek, na transport wody przez przegrodę filtracyjną i na wyniki odwadniania [27].

Barbusiński K. na podstawie literatury i własnych doświadczeń przedstawił w publikacji [16] szerokie możliwości, jakie stwarza zastosowanie odczynnika Fentona do unieszkodliwiania osadów ściekowych.

Można uzyskać takie korzyści jak [16]:

- mineralizację materii organicznej w osadach i wspomaganie ich tlenowej stabilizacji,
- poprawę stopnia zagęszczania i odwadniania osadów,
- zmianę charakterystyki cieczy nadosadowej,
- zabicie organizmów patogennych,
- zmniejszenie zawartości metali ciężkich w osadach,
- poprawa stopnia transferu ciepła w placku osadowym,
- zminimalizowanie przyrostu osadu nadmiernego,
- kondycjonowanie piany powstającej podczas rozwoju bakterii nitkowatych.

Jak pisze Barbusiński K. w pracy [16] powołując się na [122, 135] zastosowanie odczynnika Fentona zdecydowanie poprawia właściwości fizyczne i strukturę osadów, a tym samym ich właściwości sedymentacyjne – indeks objętościowy i opadalność. Dzięki temu osady traktowane odczynnikiem Fentona lepiej się zagęszczają i odwadniają. Jest to wynikiem współdziałania procesów utleniania chemicznego oraz koagulacji w wyniku stosowania związków żelaza (np. FeSO_4). Wpływ działania utleniającego na poprawę właściwości sedymentacyjnych i efektywność odwadniania nie jest jeszcze w pełni wyjaśniony, ale przyjmuje się, że polega to na utlenianiu oraz destrukcji pozakomórkowych biopolimerów zawartych w kłaczkach osadów nadmiernych, które stabilizują formę kłaczków, nadają im odpowiednią spoistość oraz wpływają na sposób wiązania zawartej w nich wody. Obecność w osadzie dużej ilości drobnych kłaczków w istotny sposób obniża jakość cieczy nadosadowej i filtratu, a także pogarsza zdolność osadów do odwadniania, ponieważ drobne kłaczkiki mogą zapychać pory w taśmie filtracyjnej, a przy sedymentacji osadów źle opadać powodując znaczną mętność cieczy nadosadowej. Takie małe, drobne kłaczkiki mogą także prowadzić do zapychania porów w tworzącym się podczas odwadniania placku osadowym i zwiększać zawartość związanej w nim wody, powodując nieefektywne odwodnienie osadu na prasach filtracyjnych bądź wirówkach. Wiązanie wody w kłaczkach może też powodować zbyt dużą zawartość w nich pozakomórkowych biopolimerów. Stąd z jednej strony działanie koagulujące związków żelaza, a z drugiej częściowe utlenienie i zmniejszenie zawartości pozakomórkowych biopolimerów

w osadzie w wyniku zastosowania odczynnika Fentona, powoduje powstawanie większych kłaczków i lepsze oddawanie wody przez osad [16].

W wyniku działania odczynnika Fentona obserwuje się wyraźne zmniejszenie czasu ssania kapilarnego (CSK), oporu właściwego filtracji, a także indeksu objętościowego osadów. Wykazano także, że istotny wpływ na poprawę odwadnialności i zmniejszenie oporów filtracji przy stosowaniu odczynnika Fentona ma wartość pH [121, 122]. W miarę zmniejszania wartości pH osadów zmniejsza się opór filtracji. Dla przykładu [121] przy wartości pH 2,6 wartość oporu filtracji zmniejszyła się o 96% w porównaniu do pH 7. Neyens E. i inni [136] stosując 37 mg H_2O_2 i 1 mg Fe^{2+} na 100 cm^3 osadu (zagęszczonego do 6% s.m.) przy pH 3 uzyskali zmniejszenie wartości CSK o 40 sekund, zmniejszenie udziału masy organicznej w placku osadu po filtracji o około 20% oraz istotną poprawę odwadnialności osadu z 30% redukcją objętości przy zagęszczaniu. Buyukkamaci N. [38] stosując dawki 6 g $\text{H}_2\text{O}_2/\text{dm}^3$ i 5 g $\text{Fe}^{2+}/\text{dm}^3$ uzyskał minimalne wartości właściwego oporu filtracji i CSK równe odpowiednio $6,149 \cdot 10^9$ m/kg oraz 15,7 s.

Duża ilość wody jest też zawarta w komórkach mikroorganizmów zawartych w osadach. Kiedy na skutek utleniającego działania odczynnika Fentona następuje destrukcja tych komórek, materiał komórkowy, który zawiera duże ilości wody jest uwalniany, co poprawia odwadnialność osadu. W efekcie może też wzrastać zawartość rozpuszczonej materii organicznej w filtracie [16].

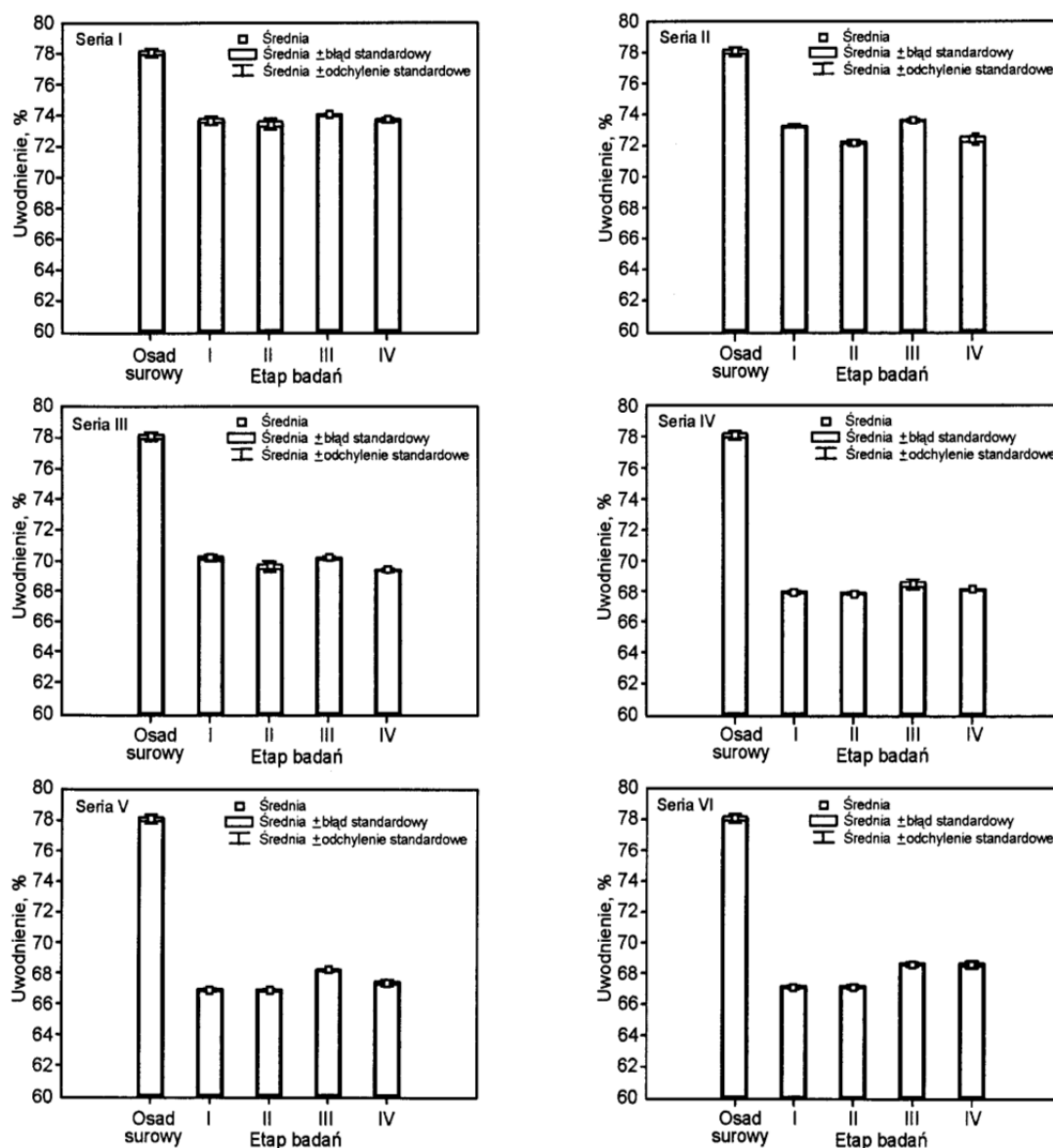
Dębowski M. i inni w artykule [51] ocenili skuteczność metody Fentona w kondycjonowaniu osadów ściekowych oraz określili wpływ tego rozwiązania technologicznego na podatność osadów na odwadnianie, w porównaniu z metodami opartymi na wykorzystaniu jedynie koagulantów nieorganicznych.

Autorzy w badaniach wykorzystali surowy osad zmieszany (wstępny + nadmierny) pochodzący z oczyszczalni ścieków miejskich. Badania przeprowadzili w skali laboratoryjnej w czterech etapach. W zależności od części doświadczenia, do masy analizowanych osadów ściekowych dawkowali [51]:

- etap I: jony żelaza(II) w postaci stałej $\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,
- etap II: jony żelaza(III) w postaci 40% roztworu $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ – PIX,
- etap III: jony żelaza(II) w postaci stałego $\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ oraz nadtlenek wodoru w postaci 30% roztworu perhydrolu – układ $\text{Fe(II)}/\text{H}_2\text{O}_2$,
- etap IV: jony żelaza(III) w postaci 40% roztworu $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ – PIX oraz nadtlenek wodoru w postaci 30% roztworu perhydrolu – układ $\text{Fe(III)}/\text{H}_2\text{O}_2$.

Każdy etap doświadczenia został podzielony na sześć serii różniących się między sobą dawkami reagentów. W trakcie badań autorzy kontrolowali czas ssania kapilarnego (CSK), opór właściwy filtracji (R) oraz uwodnienie placka osadu po filtracji próżniowej [51].

Dębowski M. i inni wyniki badań zmiany uwodnienia placka osadu po filtracji próżniowej w kolejnych etapach i seriach badań przedstawili na rysunku 2.51.



Rys. 2.51. Zmiany uwodnienia placka osadu po filtracji próżniowej w kolejnych etapach i seriach badań [51]

Autorzy na podstawie przeprowadzonych badań sformułowali następujące wnioski [51]:

- Badania wykazały, że wartość analizowanych parametrów osadu (czas ssania kapilarnego (CSK), opór właściwy filtracji (R) oraz uwodnienie placka osadu po

filtracji próżniowej) były najwyraźniej ograniczone poprzez wprowadzenie soli Fe(III) do masy. Gorszą skuteczność technologiczną uzyskano podczas kondycjonowania osadu solami Fe(II).

- Zastosowanie w procesie kondycjonowania osadu pogłębionego utleniania w układach Fe(II)/H₂O₂ i Fe(III)/H₂O₂ spowodowało istotną poprawę parametrów określających podatność osadu na odwadnianie, która zwiększała się wraz z wprowadzaniem do układu większych dawek reagentów chemicznych.
- W części przebadanych wariantów reakcja pogłębionego utleniania okazała się mniej sprawną metodą kondycjonowania osadu w stosunku do zastosowania w tym celu jedynie koagulantów nieorganicznych.

2.2.7. Oczyszczalnia Ścieków „JAMNO”

Oczyszczalnia Ścieków „Jamno” jest obiektem eksploatowanym przez Miejskie Wodociągi i Kanalizację Sp. z o.o. w Koszalinie. Oczyszczalnia Ścieków „Jamno” oczyszcza ścieki pochodzące z miasta Koszalina, północnej części Gminy Świeszyno, miejscowości Mścice oraz ścieki dowożone taborem asenizacyjnym. Obiekt zlokalizowany jest w granicach miasta Koszalina w zachodniej części Osiedla Jamno. Oczyszczalnię wybudowano w 1994 r. i przekazano w użytkowanie dla MWiK Sp. z o.o. w Koszalinie z dniem 1 stycznia 1995 r [40].

Obecnie funkcjonujący układ technologiczny zaprojektowano na obciążenie oczyszczalni wynoszące 200.000 RLM przy przepływie $Q_d = 40\,000\text{ m}^3/\text{d}$ [40]. Rzeczywiste dopływy ścieków do oczyszczalni w roku 2013 przedstawiały się następująco:

- $Q_{d\text{sr}} = 21\,668\text{ m}^3/\text{d}$,
- $Q_{d\text{min}} = 15\,600\text{ m}^3/\text{d}$,
- $Q_{d\text{max}} = 53\,795\text{ m}^3/\text{d}$.

2.2.7.1. Układ technologiczny Oczyszczalni Ścieków „JAMNO”

Oczyszczalnia Ścieków „Jamno” składa się z trzech integralnych części [40, 107, 108]:

- część mechaniczna oczyszczania ścieków wraz z instalacją wstępnego chemicznego strącania,
- część biologiczna oczyszczania ścieków wraz z instalacją strącania końcowego,
- część gospodarki osadowej z komorą fermentacyjną i suszarnią osadów.

2.2.7.1.1. Część mechaniczna

W skład części mechanicznej oczyszczalni wchodzi [106]:

- krata ręczna o prześwicie 50 mm – 1 sztuka,
- kraty mechaniczne schodkowe MEVA ROTOSCREEN typ RS-21-80 – 3 sztuki o prześwicie 3 mm i przepustowości 3100 m³/h wraz z transporterami ślimakowymi skratek NIWE typ U-220 – 2 komplety,
- piaskownik trzykomorowy z lejami piaskowymi umiejscowionymi na początku każdej komory. Do usuwania piasku służą pompy FLYGT DS3080MMT310 – 3 sztuki umieszczone w każdym leju piaskowym,
- odwadniacz piasku z transporterem śrubowym NIVE U220 – 1 komplet,
- osadniki wstępne poziome w kształcie dwusekcyjnych komór z sześcioma lejami osadowymi i czterema zgarniaczami osadu typu VA-TEKNIK – 2 sztuki,
- instalacja strącania wstępnego w skład której wchodzi:
 - urządzenia do przygotowywania polielektrolitu TOMAL – 1 sztuka,
 - pompa dwugłowicowa JESCO dawkująca polielektrolit anionowy – 1 sztuka,
 - zbiornik reagenta PIX o pojemności 28 m³ – 1 sztuka,
 - pompa dwugłowicowa JESCO dawkująca reagent PIX – 1 sztuka.

2.2.7.1.2. Część biologiczna

W skład części biologicznej oczyszczalni wchodzi [106]:

- reaktory biologiczne trzyfazowe z instalacją recyrkulacji wewnętrznej – 2 sztuki o pojemności 12 612 m³ każdy reaktor,
- osadniki wtórne radialne typu ORwt 48/51 o średnicy 48 m i objętości pojedynczego osadnika 5850 m³ wyposażone w zgarniacze typu 24Rc48 – 2 komplety,
- pompownie recyrkulacji zewnętrznej osadu wyposażone w pompy FLYGT CP3152LT-61 o wydajności 576 m³/h. W każdej przepompowni zainstalowane są 2 sztuki pomp z których jedna sterowana jest falownikiem umożliwiającym płynną zmianę wydajności pompy. Ilość przepompowni – 2 komplety,
- stacja dmuchaw wyposażona w 3 sztuki dmuchaw HIBON SNH 110 SP o wydajności 156 m³/min oraz 1 dmuchawę HIBON SNH 60 SP o wydajności 80 m³/min. Jedna dmuchawa HIBON SNH 110 SP zasilana jest poprzez przetwornicę częstotliwości umożliwiającą płynną regulację wydajności sprężonego powietrza,

- instalacja strącania końcowego w której skład wchodzi:
 - zbiornik reagenta PIX o pojemności 50 m^3 – 1 sztuka,
 - zbiornik pośredni z pompą JESCO MINIDOS A 24 dawkującą reagent PIX – 1 sztuka.

2.2.7.1.3. Część gospodarki osadowej

W skład części gospodarki osadowej wchodzi [106]:

- zagęszczacz grawitacyjny typ Z6R-15 o średnicy 7,5 m i pojemności $547,5 \text{ m}^3$ + mieszadło prętowe typu MPR 15 – 2 szt.,
- reaktor chemiczny – akcelator o średnicy 8 m, z komorą mieszania $d = 3,5 \text{ m}$ i głębokości czynnej 2,5 m + mieszadło Hekato CDA 6-10 – 1 szt.,
- wydzielona komora fermentacyjna otwarta WKFo o wymiarach 40 x 60 m, głębokości 6,3 m, objętość czynna z 24.000 m^3 ,
- przepompownia operacyjna przy WKFo z wyposażeniem:
 - pompa osadu zagęszczonego typu ROBUSCHI RKC 80-27 – 2 szt.,
 - pompa osadu recyrkulowanego typu ROBUSCHI RKC 125-21 – 3 szt.,
 - pompa osadu przefermentowanego typu ALLWEILER SEP 550.1 – 2 szt.,
- przepompownia odcieków wyposażona w pompy typu FLYGT CP 3152 MT-432 – 2 szt.,
- stanowisko odwadniania osadu:
 - wirówka NOXON DC-20 – 2 szt. – osad przefermentowany,
 - wirówka NOXON DC-6 – 1 szt. – osad chemiczny,
- blok utylizacji osadu:
 - zbiornik buforowy – 1 szt.,
 - dehydrator – 2 szt.,
 - suszarnia osadów,
 - płuczka chemiczna – 1 szt.,
 - mikser – 1 szt.,
 - palnik – 1 szt.,
 - skraplacz – 1 szt.,
 - biofiltr – 2szt.

3. Badania własne

3.1. Aproksymacja metodą punktu centralnego

Badanie związków pomiędzy wieloma zmiennymi niezależnymi, a zmienną zależną dokonano stosując aproksymację metodą punktu centralnego [9, 47, 48, 77, 155, 156, 157, 163]. Metodę tą zarówno opracował, jak i zastosował w swojej pracy habilitacyjnej prof. T. Piecuch – promotor niniejszej dysertacji, w roku 1975. Następnie prof. A.M. Anielak rozwinęła ją do aproksymacji wobec prostej, którą zastosowała w swojej pracy doktorskiej [9].

Ogólny problem obliczeniowy, jaki należy rozwiązać, polega na dopasowaniu krzywej do zbioru punktów. Zależności funkcyjne pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi określane są wstępnie poprzez aproksymację metodą najmniejszych kwadratów, polegającą na takim doborze równania, że suma kwadratów odległości punktów na wykresie rozrzutu od krzywej aproksymacyjnej będzie minimalna.

Otrzymana funkcja przedstawiona na pierwszym stopniu aproksymacji ma postać:

wielomianową

$$Y_I = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4$$

wykładniczą

$$Y_I = a_0 + \exp(a_1 + a_2 \cdot x)$$

lub prostej

$$Y_I = a_0 + a_1 \cdot x$$

gdzie:

Y_I – wielkość wyjściowa zależna na pierwszym stopniu aproksymacji,

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_n$ – współczynniki funkcji aproksymującej,

x – wielkość wejściowa niezależna, czyli tzw. czynnik.

Zakładając współrzędne centralnego punktu aproksymacji wyznacza się stałą na pierwszym stopniu aproksymacji dla tego punktu

$$C_I = Y_I(x)$$

gdzie:

C_I – wartość stałej aproksymacji na pierwszym stopniu aproksymacji.

Na drugim stopniu aproksymacji równanie wyznacza się identycznie jak poprzednio i funkcja przyjmuje postać:

wielomianową

$$Y_{II} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4$$

wykładniczą

$$Y_{II} = a_0 + \exp(a_1 + a_2 \cdot x)$$

lub prostej

$$Y_{II} = a_0 + a_1 \cdot x$$

gdzie:

Y_{II} – wielkość wyjściowa zależna na drugim stopniu aproksymacji,

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_n$ – współczynniki funkcji aproksymującej,

x – wielkość wejściowa niezależna, czyli tzw. czynnik.

Zakładając współrzędne centralnego punktu aproksymacji wyznacza się stałą na drugim stopniu aproksymacji dla tego punktu

$$C_{II} = Y_{II}(x)$$

gdzie:

C_{II} – wartość stałej aproksymacji na drugim stopniu aproksymacji.

Równanie ogólne po aproksymacji na pierwszym i drugim stopniu przyjmie postać:

$$Y = Y_I + Y_{II} - C_I$$

gdzie:

Y_I – równanie na pierwszym stopniu aproksymacji,

Y_{II} – równanie na drugim stopniu aproksymacji,

C_I – wartość stałej aproksymacji na pierwszym stopniu aproksymacji.

Na trzecim stopniu aproksymacji, równanie będące funkcją wielomianową, wykładniczą lub wykresem prostej wyznacza się identycznie jak poprzednio:

wielomianową

$$Y_{III} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4$$

wykładniczą

$$Y_{III} = a_0 + \exp(a_1 + a_2 \cdot x)$$

lub prostej

$$Y_{III} = a_0 + a_1 \cdot x$$

gdzie:

Y_{III} – wielkość wyjściowa zależna na trzecim stopniu aproksymacji,

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_n$ – współczynniki funkcji aproksymującej,

x – wielkość wejściowa niezależna, czyli tzw. czynnik.

Równanie ogólne po aproksymacji na pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmie postać:

$$Y = Y_I + Y_{II} + Y_{III} - (C_I + C_{II})$$

gdzie:

Y_I – równanie na pierwszym stopniu aproksymacji,

Y_{II} – równanie na drugim stopniu aproksymacji,

Y_{III} – równanie na trzecim stopniu aproksymacji,

C_I – wartość stałej aproksymacji na pierwszym stopniu aproksymacji,

C_{II} – wartość stałej aproksymacji na drugim stopniu aproksymacji.

Wszystkie analizowane parametry wejściowe niezależne są ograniczone 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 [9, 155, 156, 157].

Należy tu zaznaczyć, że w zastosowanej metodzie aproksymacji wobec centralnego punktu, przyjęto założenia, że badane parametry zmienne niezależne $x_1, x_2, \dots, x_n$ nie posiadają między sobą interakcji, bądź też ewentualnie interakcje ich między sobą są mało istotne w stosunku do efektu zmian na wynik procesu pojedynczego czynnika x_i – iż nie popełniając dużego błędu, można te ewentualne interakcje pominąć.

W celu zweryfikowania tego założenia, po ustaleniu końcowych równań matematycznych analityczno-empirycznych, wykonano dodatkowo kilka losowych doświadczeń przy dowolnie wybranych wartościach poszczególnych zmiennych niezależnych $x_1, x_2, \dots, x_n$ mieszczących się w badanych poprzednio przedziałach zmian, celowo dobranych w taki sposób, aby nie kojarzyły się te wartości z punktem centralnym aproksymacji, lecz tylko z przestrzenią wokół tego punktu – a więc przestrzenią, w której przyjmuje się, iż otrzymane równania można stosować.

3.2. Zakres badań

Zakres badań własnych obejmował badania laboratoryjne oraz badania w skali przemysłowej. Składał się z trzech następujących etapów:

Etap I – badania laboratoryjne:

- wytwarzanie olejków eterycznych z surowców roślinnych w procesie destylacji parą wodną,
- przedstawienie ogólnej charakterystyki uzyskanych ekstraktów zapachowych przy użyciu takich wskaźników, jak:
 - objętość olejku V_O [cm^3],
 - pH [-],
 - zawiesina ogólna Z_O [mg/dm^3],
 - substancje rozpuszczone S_R [mg/dm^3],
 - sucha pozostałość S_P [mg/dm^3],
 - wskaźnik uzysku olejku W_{UZ} [cm^3/g].

Etap II – badania laboratoryjne:

- oznaczenie parametrów procesu mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350:
 - nadawy przed procesem mechanicznego odwadniania osadów ściekowych, tj.:
 - ❖ pH [-],
 - ❖ temperatura [$^{\circ}\text{C}$],
 - ❖ barwa,
 - ❖ struktura osadu,
 - ❖ zapach,

- ❖ wilgotność W_N [%],
- ❖ zagęszczenie β_N [mg/dm³].
- wilgotność osadu W [%] i zagęszczenie odcieku β [mg/dm³] po procesie sedymentacji odśrodkowej.
- organoleptyczna ocena czasu neutralizacji odorów T [min] w odwirowanym osadzie.

Etap III – badania w skali przemysłowej:

- oznaczenie parametrów procesu mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych na przemysłowej wirówce dekantacyjnej typu NOXON DC-20 zainstalowanej na terenie Oczyszczalni Ścieków Jamno:
 - nadawy przed procesem mechanicznego odwadniania osadów ściekowych, tj.:
 - ❖ pH [-],
 - ❖ temperatura [°C],
 - ❖ barwa,
 - ❖ struktura osadu,
 - ❖ zapach,
 - ❖ wilgotność W_N [%],
 - ❖ zagęszczenie β_N [mg/dm³].
 - wilgotność osadu W [%] i zagęszczenie odcieku β [mg/dm³] po procesie odwadniania osadów ściekowych.
- pomiar stężenia zapachu olejku eterycznego z pomarańczy w odwirowanym osadzie c_{od} [ou_E/m³].

3.3. Wytwarzanie olejków eterycznych

3.3.1. Metodyka badań

3.3.1.1. Wybór surowca

Do badań wykorzystano naturalne odpady organiczne (głównie skórki owoców cytrusowych, tj.: pomarańczy, cytryn i grejpfrutów) oraz tanie i łatwo dostępne na naszym rynku rośliny i kwiaty (imbir lekarski, goździki, geranium, kminek zwyczajny, jałowiec pospolity, anyż, czarnuszka), z których wyodrębniony został w procesie destylacji parą wodną olejek eteryczny.

Krótką charakterystyką zastosowanych surowców:

Pomarańcza (Citrus L.) – gatunek roślin z rodzaju cytrusów, rodziny rutowatych, zwykle o pomarańczowej skórce i włóknistym miąższu. Gatunki pomarańczy pochodzą z Chin i Wschodniej Azji. Drzewko dorastające do 10 m wysokości; liście podługowatojajowate, pachnące, ogonki oskrzydłone; kwiaty bardzo pachnące, dość duże, mają drobny kielich, białą 5-płatkową koronę, 1 słupek i liczne pręciki; owoce mięsista jagoda, średniej wielkości, spłaszczona, o grubej, ciemnopomarańczowej skórce.

Olejek pomarańczowy zawiera m.in.: nerol i limonen.

Cytryna zwyczajna (Citrus limon) – gatunek roślin z rodzaju cytrusów, rodziny rutowatych. Pochodzi z południowowschodnich Chin. Do Europy trafił w XI w. dzięki Arabom. Drzewo dorastające zazwyczaj do 5 m; posiada jasnozielone, lśniąco liście; kwitnie w białe kwiatki prawie nieprzerwanie, które wydzielają silną woń; owoce jagody nazywane cytrynami.

Olejek cytrynowy zawiera m.in.: limonen i cytral.

Grejfrut (Citrus paradisi Macfagden) – gatunek wiecznie zielonej rośliny z rodzaju cytrusów, z rodziny rutowatych. Jest najprawdopodobniej mieszańcem pomarańczy z innym gatunkiem rodzaju citrus, który powstał prawdopodobnie na skutek ingerencji botaników. Roślina uprawiana głównie w krajach strefy podzwrotnikowej; drzewo osiagające 12 m; liście owalne, duże, lśniąco; kwiaty białe, pojedyncze lub w gronach; owoc kulisty, osiąga masę 200–500 g i średnicy 15 cm.

Olejek grejfrutowy zawiera m.in.: flawonidy, geraniol, limonen i kadinen.

Imbir lekarski (Zingiber officinale Rosc.) – gatunek rośliny uprawnej z rodziny imbirowatych (Zingiberaceae). W stanie dzikim obecnie nie występuje. Pochodzi prawdopodobnie z Malezji. Roślina ta posiada pędy płonne i pędy kwiatowe. Pędy płonne osiagają wysokość 80–100 cm, natomiast pędy kwiatowe są krótsze, łuskowate i bezlistne. Liście ma duże, lancetowate oraz siedzące. Kwiaty zebrane są w kłosowate kwiatostany i mają barwę zielonkawożółtą z fioletową warzką. Posiada grube, mięsiste kłaczki o jasnobrązowej barwie. Powszechnie uprawiany na Jamajce, w Indiach, Australii. Nadaje się do uprawy doniczkowej.

Olejek z imbiru zawiera m.in.: zygiberen.

Goździki – nierozkwitłe, wysuszone pączki kwiatowe drzewa goździkowego, służące jako przyprawa. Drzewa goździkowe nie przekraczają 12–20 m wysokości. Potrzebują aż 20 lat, by osiągnęły pełną dojrzałość. Owocują przez kolejne pięćdziesiąt

lat. Najlepiej rosną w warunkach podrównikowego klimatu morskiego. Jeszcze zamknięte różowe pąki kwiatowe zbierane są na krótko przed kwitnieniem, a następnie suszone na słońcu, aż do uzyskania brązowej barwy. Smak mają piekący dzięki olejкови znajdującemu się w pączkach w ilości 15–20%. Do Europy goździki trafiły około XI wieku.

Olejek goździkowy zawiera m.in.: eugenol i kariofilen.

Geranium – gatunek rośliny, który hodowany jest zazwyczaj dla aromatycznych liści, które są bujne i mają piękne kształty. Liście te są głęboko klapowane, pokryte delikatnym srebrzystym meszkiem. Latem wydaje mnóstwo drobnych, dekoracyjnych kwiatów (o średnicy 2–5 cm) – różowych, czerwonych, niebieskich, fioletowych lub białych. Niekiedy ich płatki są żyłkowane. Łodygi ma zgrubiałe w węzłach. Roślina ta jest bardzo łatwa w pielęgnacji, ma duże zdolności adaptacyjne. Dobrze rośnie na przeciętnych, niezbyt ciężkich glebach, w miejscach nasłonecznionych, ale i półcienistych. Bez uszczerbku znosi suszę.

Olejek geraniowy zawiera m.in.: geraniol, citronelol, linalool, menton, kwas walerianowy, kwas pelargonowy, eudesmol i sekwiterpeny.

Kminek zwyczajny (Carum carvi L.) – gatunek rośliny dwuletniej należący do rodziny selerowatych. Łodygę ma wzniesioną, bruzdkowaną, mocno rozgałęzioną, do 1 metra wysokości. Liście rozety i dolne na łodydze są długoogonkowe, górne – bezogonkowe, podwójnie lub potrójnie pierzastodzielne, o wąskich działkach. Kwiaty ma drobne, białe, zebrane w liczne baldachy złożone o 5–10 szypułkach. Kwitnie od maja do czerwca. Owoce – rozłupnia, złożona z dwóch oddzielnych niełupiek, podwieszonych na wspólnym wieszadle za pomocą cieniutkich nici, które po wyschnięciu stają się kruche i łatwo się odłamują. Owoce w stanie dojrzałym są brunatne, wydłużone, nieco zgięte ku stronie wewnętrznej, a na stronie zewnętrznej opatrzone 5 żeberkami. Korzeń jest białawy, wrzecionowaty i mięsisty, w pierwszym roku jadalny. W stanie dzikim spotyka się na suchszych łąkach, przydrożach, miedzach i polanach.

Olejek kminkowy zawiera m.in.: karwon i limonen.

Jałowiec pospolity (Juniperus communis L.) – należy do rodziny cyprysowatych. Zawsze zielony, powoli rosnący, prosty, od nasady rozgałęziony krzew o kolumnowej niekiedy także płasko rozpostartej formie wzrostu; występuje również jako małe drzewo o wielu pniach z wąsko piramidalną koroną, osiąga wysokość 0,5–6 m (w uprawie – do 12 metrów). Młode pędy 3 m są kanciaste z wąskimi

podługznymi listewkami. Korona początkowo jest gładka, czerwono-brunatna, później szarobrunatna wzdłuż popękana, odpadająca w postaci łusek i włókien. Liście ma szpilkowate, kłujące, 10–20 mm długości i 1–2 mm szerokości, zwykle szarzielone. Kwiaty rozmieszczone są dwupiennie. Pojawiają się jesienią. Kwiaty męskie są małe, podługne, żółte, zwykle skierowane skośnie w dół, natomiast kwiaty żeńskie są bardzo małe i niepozorne, zielonkawe, prosto wzniesione. Po rozpyleniu łuski kwiatów żeńskich zrastają się w jedną, mięsistą szyszkowagodę. Niedojrzałe szyszkowagody są wielkości grochu, zielonkawe, bez smaku. Dojrzewają jesienią drugiego lub trzeciego roku, mają 6–9 mm średnicy, są czarnobrunatne, niebieskawo oszronione.

Olejek jałowcowy zawiera m.in.: L-pinen, kamfen, terpineol, kadinen i junen.

Anyz (Anisum) – gatunek jednorocznej rośliny pochodzący ze wschodnich obszarów basenu Morza Śródziemnego. W Polsce jest uprawiany (rzadko) i czasami przejściowo dziczejący. Łodygę ma do 50 cm wysokości, która jest dęta (pusta w środku i w międzywęźlach), okrągła, płytko bruzdkowana i rozgałęziona na 2/3 wysokości. Kwiaty ma białe. Kwitnie na przełomie czerwca i lipca. Owoce – rozłupnia do 5 mm długości o gruszkowatym kształcie, rozpadająca się na dwie rozłupki o zielonkawoszarym kolorze i szorstkiej fakturze.

Olejek anyżowy zawiera m.in.: anetol, chawikol, metylochawikol, aldehyd anyżowy oraz keton anyżowy.

Czarnuszka (Nigella Sativa L.) – gatunek rośliny z rodziny jaskrowatych. Pochodzi z Europy Południowej i Azji Zachodniej. W Polsce jest uprawiana i czasami przejściowo dziczejąca. Łodygę ma wzniesioną i rozgałęzioną o wysokości 20–30 cm. Liście są podwójnie pierzastosieczne o równowąskich odcinkach. Kwiaty ma dość duże, o średnicy do 3 cm, pojedynczo wyrastające na szczycie pędów. Owoce składają się z 5 do 10 mieszków, całkowicie zrosniętych ze sobą, zwieńczonych zaschniętymi słupkami, o prawie dorównującej im długości. Zawierają czarne, trójgraniaste nasiona o smaku gorzkiej kawy i korzennym (muskatałowym) zapachu. Jest to roślina jednoroczna. Kwitnie od maja do września.

Olejek z czarnuszki zawiera m.in.: saponinę – melantynę, garbniki, gorycz – nigellinę oraz alkaloid – damasceinę.

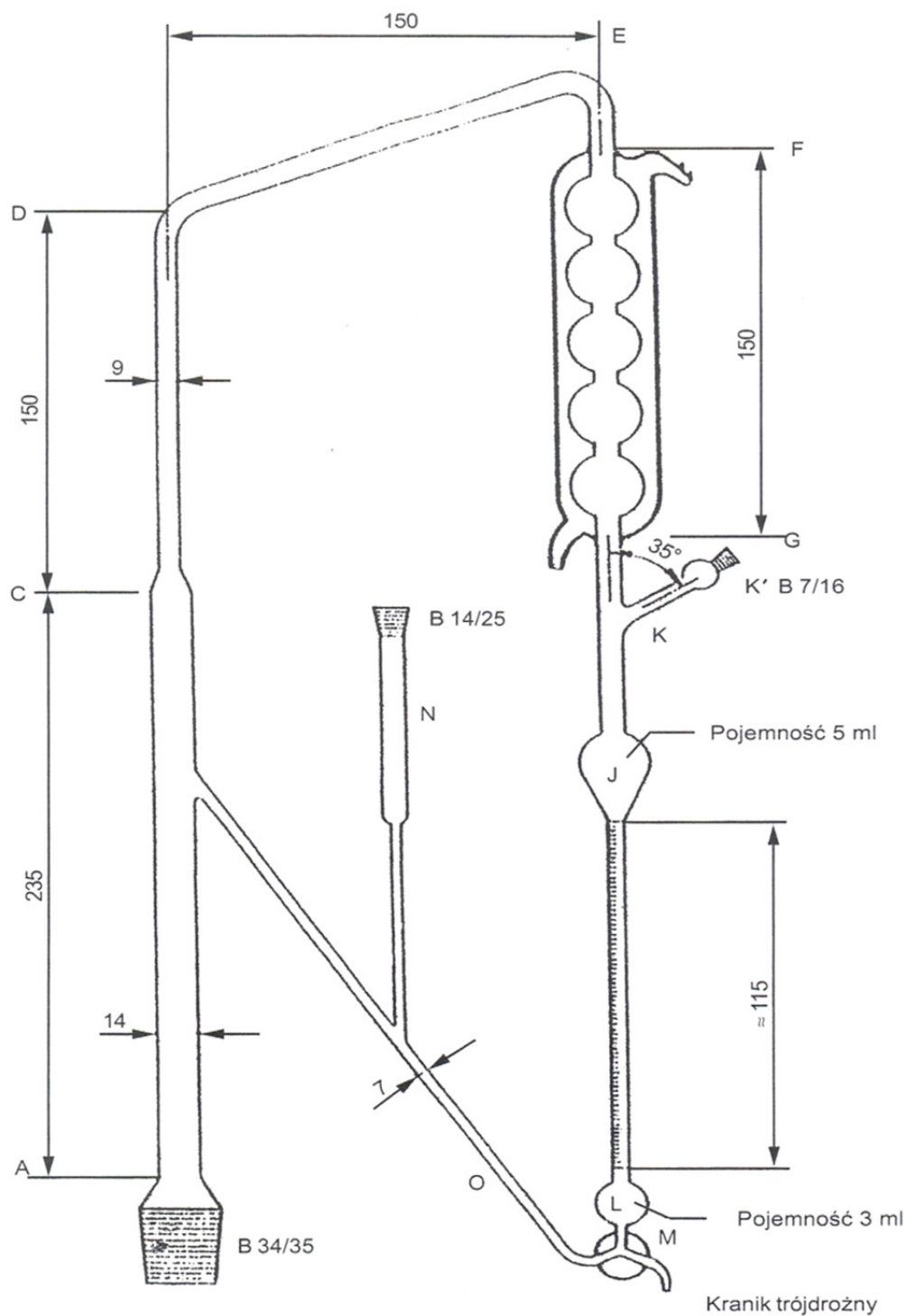
3.3.1.2. Aparatura do produkcji kondensatów zapachowych

Proces pozyskiwania z surowców roślinnych olejków eterycznych prowadzono w procesie destylacji według polskiej normy PN-ISO 6571:2001 Przyprawy i zioła. Oznaczanie zawartości olejku eterycznego [168].

Aparatura do destylacji zaproponowana przez Polski Komitet Normalizacji powinna być wykonana z mocnego szkła, mającego mały współczynnik rozprężania cieplnego. Aparatura powinna składać się z następujących części połączonych na szlif [168]:

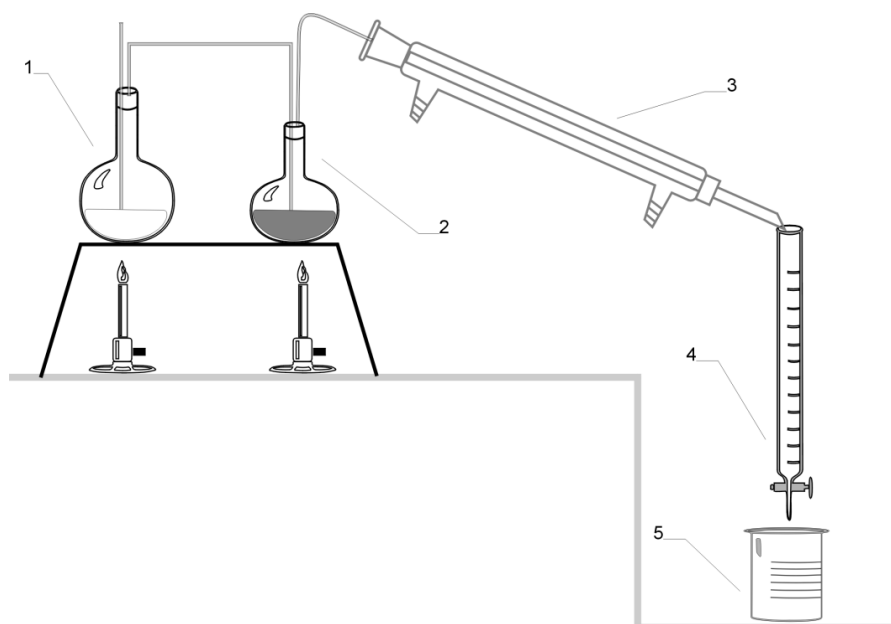
- Kolba okrągłodenna ze szlifem, o pojemności 500 lub 1 000 ml, zależnie od ilości surowca.
- Układ skraplający, składający się z następujących części połączonych ze sobą (rysunek 3.1):
 - pionowej rurki (AC), której podstawa ma szlif do połączenia z kolbą,
 - zgiętej rurki (CDE),
 - chłodnicy kulkowej (FG),
 - zestawu zawierającego rurkę z bocznym ramieniem (K) zaopatrzonym w korek na szlif (K'). Rurka ta poniżej rozszerza się w gruszkowaty zbiorniczek (J), przechodzący w rurkę z podziałką co 0,05 ml (JL), zakończoną okrągłym zbiorniczkiem (L) z trójdzielnym kranikiem (M). Kranik ten łączy się z pionową rurą (AC) za pomocą skośnej rurki (O), zaopatrzonej w rurkę zabezpieczającą (N), zakończoną zaworem bezpieczeństwa dla pary.
- Zawór bezpieczeństwa dla pary, który może być podłączony do ramienia bocznego (K) lub rurki zabezpieczającej (N).

Zaleca się taką metodę ogrzewania, aby nie dopuścić do przegrzania kolby, czyli zalecane jest urządzenie do regulacji temperatury [168].



Rys. 3.1. Układ skraplający [168]

Do produkcji olejków eterycznych otrzymywanych z surowców roślinnych w laboratorium posłużyła aparatura przedstawiona na rysunkach 3.2 i 3.3.



Rys. 3.2. Schemat stanowiska doświadczalnego do produkcji kondensatów zapachowych (1 – kolba z wodą, 2 – kolba z mieszaniną destylowaną, 3 – chłodnica, 4 – odbieralnik, 5 – zlewka)

Zasada działania tej aparatury jest następująca: kolba (1) służy do wytwarzania pary wodnej nasyconej. Następnie, przy pomocy szklanej rurki, para jest wprowadzana do kolby z właściwą mieszaniną destylowaną (2). W dalszym etapie, destylat skrapla się w chłodnicy z wodą (3) i odprowadzany jest do odbieralnika (4), w którym oddzielona od olejku woda, zlewana jest do naczynia (5).



Rys. 3.3. Laboracyjne stanowisko doświadczalne do produkcji kondensatów zapachowych

Parametrami stałymi w procesie destylacji parą wodną były:

- czas destylacji t_D [h] – 4 h,
- objętość wody użyta do procesu destylacji V_W [dm³] – 1,5 dm³,
- temperatura prowadzenia procesu destylacji T_D [°C] – 101°C.

Parametry zmienne niezależne:

- x_1 – rodzaj surowca,
- x_2 – masa surowca nadana do procesu destylacji m [g/dm³] – 50 g/dm³, 100 g/dm³, 200 g/dm³.

Parametry zmienne zależne (wynikowe):

- y_1 – objętość uzyskanego olejku eterycznego V_O [cm³],
- y_2 – pH [-],
- y_3 – zawiesina ogólna Z_O [mg/dm³],
- y_4 – substancje rozpuszczone S_R [mg/dm³],
- y_5 – sucha pozostałość S_P [mg/dm³],
- y_6 – wskaźnik uzysku olejku W_{UZ} [cm³/g].

3.3.1.3. Metodyka oznaczania wskaźników

Odczyn pH

W trakcie badań laboratoryjnych w celu określenia pH zastosowano metodę elektrometryczną przy użyciu pH-metru ze szklaną elektrodą pomiarową.

Zawiesina ogólna

Oznaczenie zawiesin ogólnych wykonano metodą wagową bezpośrednią.

Metoda oznaczenia wskaźnika zawiesin ogólnych [73]:

Odmierzono 100 cm³ dobrze wymieszanego destylatu. Następnie próbkę przesączono przez sącze, który wcześniej został wysuszony w naczynku wagowym w temperaturze 103–105°C do stałej wagi, ostudzony w eksykatorze i zważony. Następnie sącze z zawiesinami umieszczono w naczynku wagowym i suszono w temperaturze 103–105°C. Po wysuszeniu i ostudzeniu w eksykatorze, sącze zważono.

Stężenie zawiesin ogólnych oblicza się wg wzoru [73]:

$$Z_O = \frac{(a - b) \cdot 1000}{V} [\text{mg/dm}^3] \quad (3.1)$$

gdzie:

a – masa naczynka z sączkiem i osadem [mg],

b – masa naczynka z sączkiem bez osadu [mg],

V – objętość próbki użytej do oznaczania [cm^3].

Substancje rozpuszczone

Substancje rozpuszczone – to ilość substancji otrzymanych po odparowaniu przesączonej próbki ścieków i wysuszeniu jej do stałego ciężaru w temperaturze 103–105°C [73].

Metoda oznaczenia wskaźnika substancji rozpuszczonych [73]:

Zawartość przesączu uzyskanego z oznaczenia zawiesin ogólnych, odparowano w uprzednio wysuszonej i zważonej parownicy. Proces odparowania wykonano na łaźni wodnej. Po odparowaniu próbki destylatu, parownicę z materiałem suszono w temperaturze 103–105°C i następnie zważono.

Substancje rozpuszczone oblicza się wg wzoru [73]:

$$S_R = \frac{(a - b) \cdot 1000}{V} [\text{mg}/\text{dm}^3] \quad (3.2)$$

gdzie:

a – masa parownicy z osadem [mg],

b – masa parownicy bez osadu [mg],

V – objętość próbki użytej do oznaczania [cm^3].

Sucha pozostałość

Sucha pozostałość stanowi sumę zawiesiny ogólnej i substancji rozpuszczonych, zawartych w badanej próbce destylatu.

Suchą pozostałość oblicza się wg wzoru [73]:

$$S_P = Z_O + S_R [\text{mg}/\text{dm}^3] \quad (3.3)$$

gdzie:

Z_O – zawiesina ogólna [mg/dm^3],

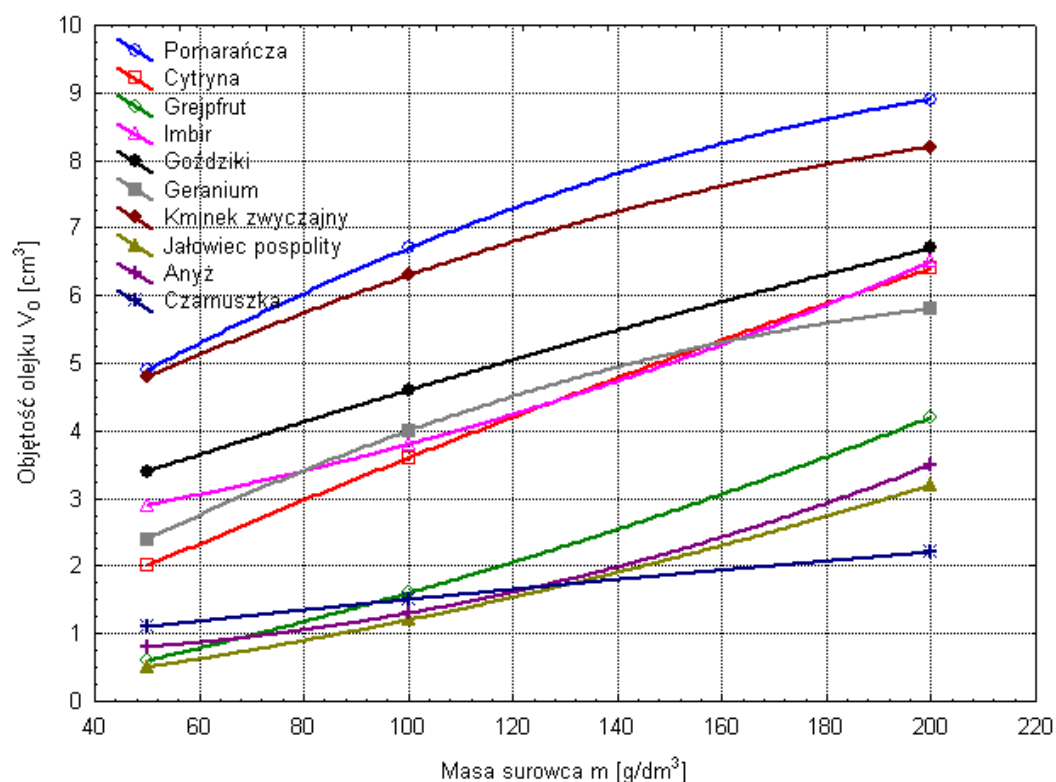
S_R – substancje rozpuszczone [mg/dm^3].

3.3.2. Zestawienie wyników badań wytwarzania olejków eterycznych w procesie destylacji parą wodną

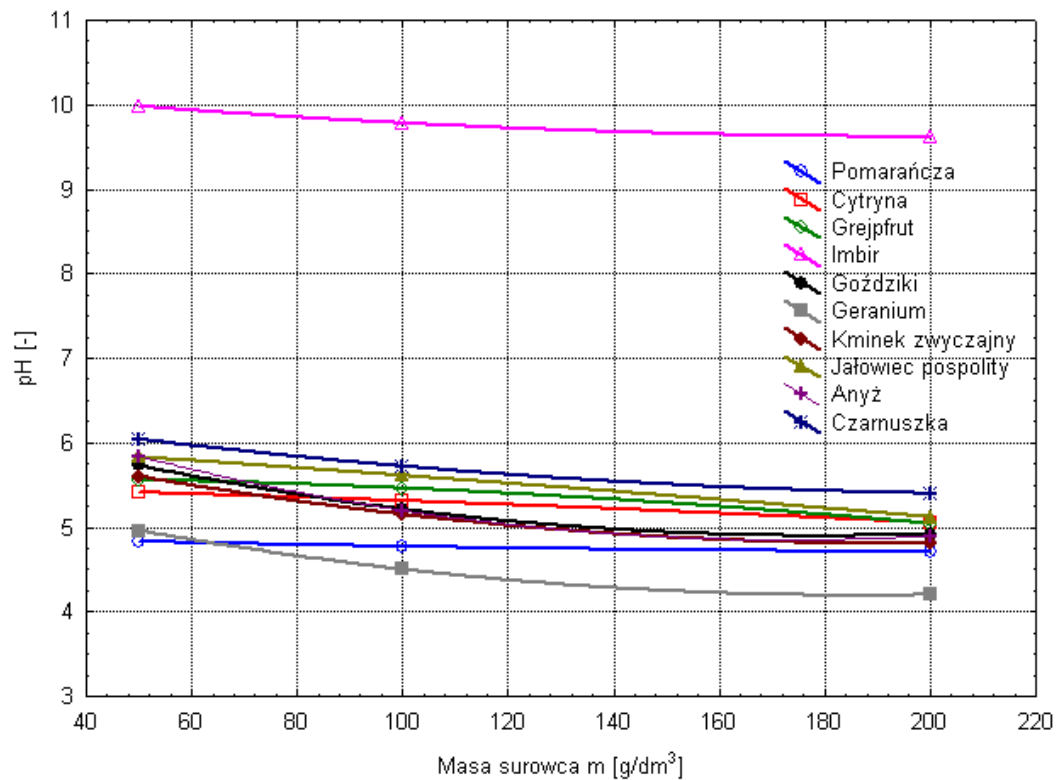
W tabeli 3.1 przedstawiono charakterystykę uzyskanych ekstraktów zapachowych przy użyciu takich wskaźników jak: objętość olejku V_O [cm^3], pH [-], zawiesina ogólna Z_O [mg/dm^3], substancje rozpuszczone S_R [mg/dm^3], sucha pozostałość S_P [mg/dm^3] oraz wskaźnik uzysku olejku W_{UZ} [cm^3/g], które uzyskano w procesie destylacji parą wodną.

Tabela 3.1. Charakterystyka ekstraktów zapachowych [4, 152]

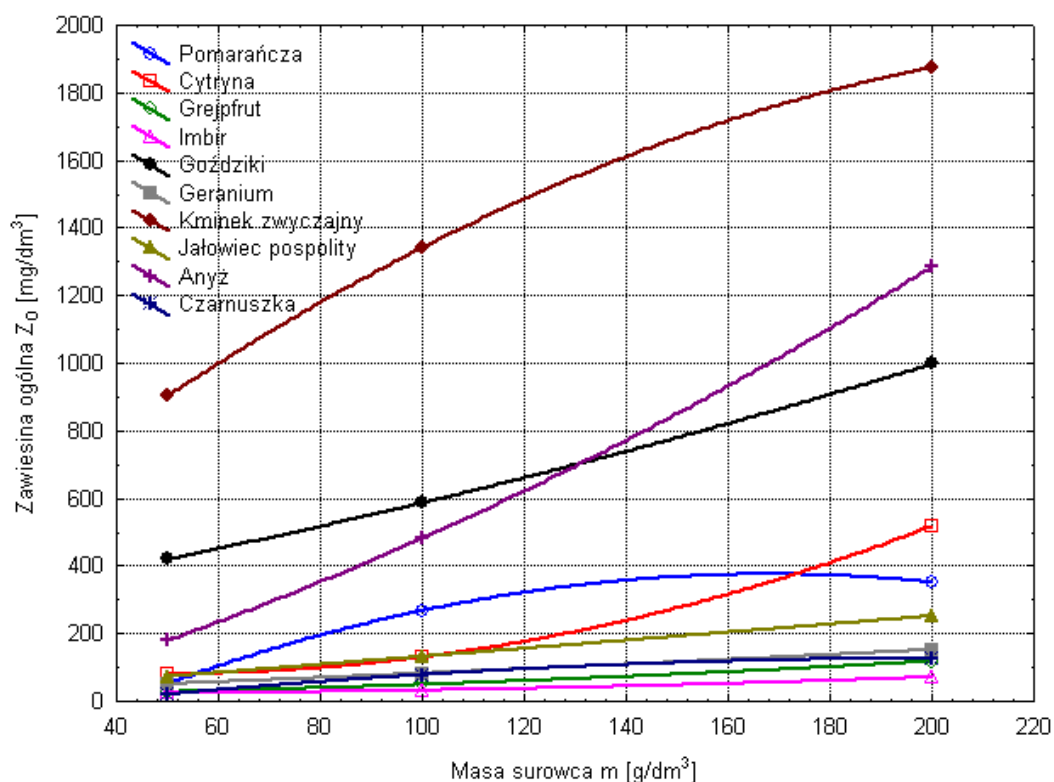
Naważka m [g/dm ³]	Objętość olejku V _o [cm ³]	pH [-]	Zawiesina ogólna Z _o [mg/dm ³]	Substancje rozpuszczone S _R [mg/dm ³]	Sucha pozostałość S _P [mg/dm ³]	Wskaźnik uzysku olejku W _{UZ} [cm ³ /g]
Pomarańcza						
50	4,9	4,83	52	32	84	0,098
100	6,7	4,77	268	52	320	0,067
200	8,9	4,71	352	72	424	0,045
Cytryna						
50	2,0	5,41	81	80	161	0,040
100	3,6	5,31	130	140	270	0,036
200	6,4	5,05	519	155	674	0,032
Grejpfrut						
50	0,6	5,56	27	28	55	0,012
100	1,6	5,46	49	37	86	0,016
200	4,2	5,04	118	51	169	0,021
Imbir						
50	2,9	9,98	24	5	29	0,058
100	3,8	9,78	32	12	44	0,038
200	6,5	9,62	71	28	99	0,033
Goździki						
50	3,4	5,73	420	29	449	0,068
100	4,6	5,21	587	38	625	0,046
200	6,7	4,92	998	53	1051	0,034
Geranium						
50	2,4	4,96	51	19	70	0,048
100	4,0	4,50	82	44	126	0,040
200	5,8	4,20	152	65	217	0,029
Kminek zwyczajny						
50	4,8	5,60	903	28	931	0,096
100	6,3	5,15	1343	37	1380	0,063
200	8,2	4,80	1875	51	1926	0,041
Jałowiec pospolity						
50	0,5	5,83	73	42	115	0,010
100	1,2	5,61	132	50	182	0,012
200	3,2	5,12	252	65	317	0,016
Anyż						
50	0,8	5,84	180	11	191	0,016
100	1,3	5,20	483	32	515	0,013
200	3,5	4,90	1286	117	1403	0,018
Czarnuszka						
50	1,1	6,04	20	9	29	0,022
100	1,5	5,72	78	26	104	0,015
200	2,2	5,40	127	98	225	0,011



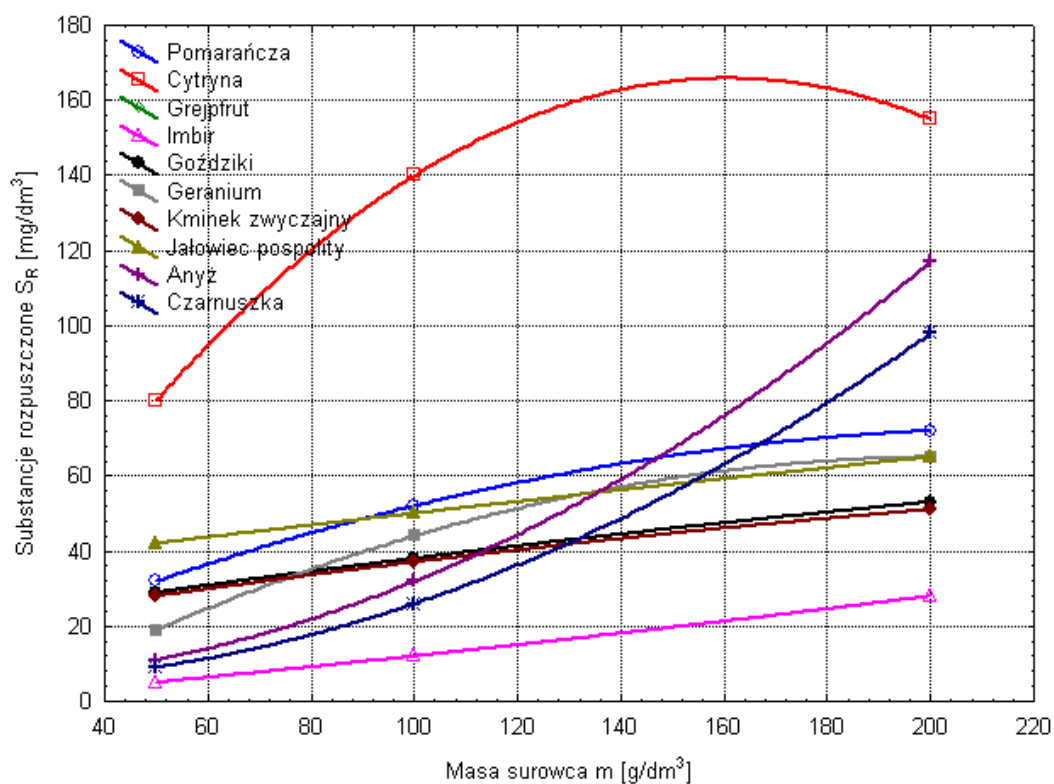
Rys. 3.4. Wpływ masy nadanego surowca m [g/dm³] na objętość oleju V_o [cm³]



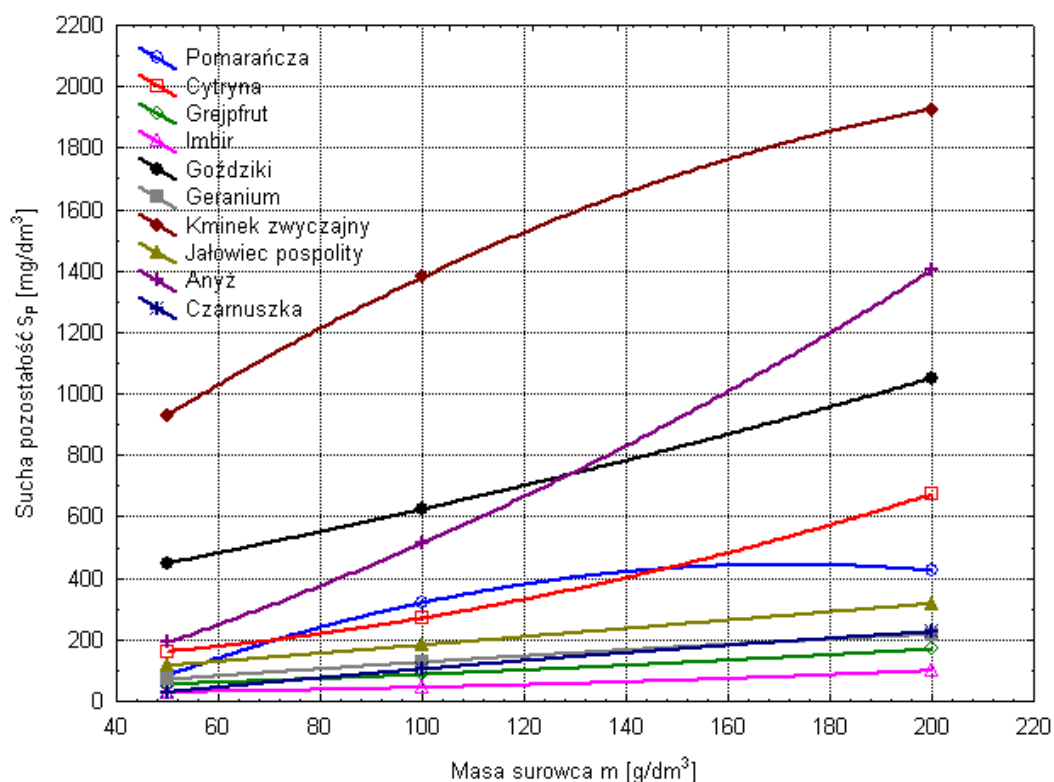
Rys. 3.5. Wpływ masy nadanego surowca m [g/dm³] na pH ekstraktu



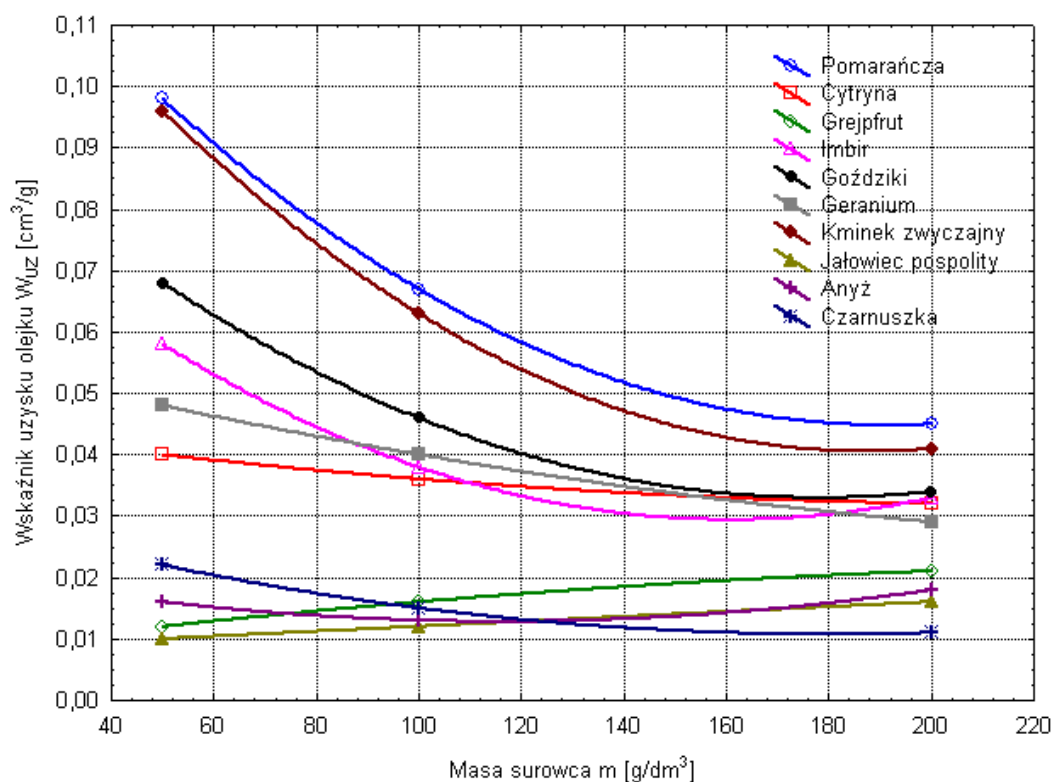
Rys. 3.6. Wpływ masy nadanego surowca m [g/dm³] na zawiesinę ogólną w ekstrakcie Z_0 [mg/dm³]



Rys. 3.7. Wpływ masy nadanego surowca m [g/dm³] na substancje rozpuszczone w ekstrakcie S_R [mg/dm³]



Rys. 3.8. Wpływ masy nadanego surowca m [g/dm³] na suchą pozostałość w ekstrakcie S_p [mg/dm³]



Rys. 3.9. Wpływ masy nadanego surowca m [g/dm³] na wskaźnik uzysku olejku W_{uz} [cm³/g]

3.3.3. Opis i analiza wyników

Na rysunku 3.6 można zauważyć, że wraz ze wzrostem masy surowca nadanego do procesu destylacji następuje wzrost zawiesiny ogólnej Z_O w ekstraktach wszystkich surowców. Największy wzrost tego wskaźnika wystąpił dla nasion anyżu. 4-krotne zwiększenie masy tego surowca, spowodowało wzrost zawiesiny ogólnej Z_O o 1106 mg/dm^3 . Natomiast najmniejszy wzrost odnotowano dla ekstraktów z korzeni imbiru o 47 mg/dm^3 .

Zwiększenie masy surowców nadanych do procesu destylacji, powoduje wzrost substancji rozpuszczonych S_R w ekstraktach, co przedstawiono na rysunku 3.7. Największym wzrostem substancji rozpuszczonych S_R charakteryzowały się ekstrakty z nasion anyżu (nastąpił około 11-krotny wzrost tego wskaźnika, przy zwiększeniu masy nadawy z 50 na 200 g/dm^3). Dla stałych parametrów procesowych i zmiennych założonych, wartości analizowanego wskaźnika kształtowały się w granicach od 5 do 155 mg/dm^3 .

Sucha pozostałość S_P jako suma zawiesiny ogólnej Z_O i substancji rozpuszczonych S_R jest wypadkową tych wskaźników. Dlatego też w przypadku suchej pozostałości S_P , zwiększenie masy nadanego surowca spowodowało wzrost tego wskaźnika we wszystkich ekstraktach, co prezentuje rysunek 3.8. Wartości tego wskaźnika dla wszystkich ekstraktów, mieszczą się w przedziale liczbowym od 29 do 1926 mg/dm^3 .

Rysunek 3.5 przedstawia jak kształtował się odczyn otrzymanych ekstraktów zapachowych. Wszystkie substancje zapachowe, oprócz ekstraktu z korzeni imbiru, który charakteryzował się odczynem lekko zasadowym, wskazywały na odczyn lekko kwaśny. Wartość tego wskaźnika obniżała się wraz ze zwiększaniem masy wsadu surowca. Jest to wynikiem wzrostu objętości olejków w ekstraktach, których było tym więcej, im masa nadanego do destylacji surowca była większa. Najmniejsze różnice odczynu pomiędzy najmniejszą, a największą masą nadanego surowca, zanotowano dla ekstraktów z pomarańczy zaledwie o $0,12$ wartości wskaźnika. Największe natomiast dla ekstraktów z anyżu o $0,94$.

Na rysunku 3.9 można zauważyć, że wraz ze wzrostem naważki substratów użytych do procesu destylacji (tj. pomarańcza, cytryna, imbir, goździki, geranium, kminek zwyczajny, czarnuszka), objętość uzyskanego olejku (wskaźnikowo) maleje, natomiast w przypadku grejpfruta, jałowca pospolitego oraz anyżu wskaźnik wzrasta.

Okazuje się, że z mniejszej porcji danego substratu uzyskujemy więcej olejku niż z krotności tej porcji.

Wszystkie otrzymane olejki eteryczne były bezbarwne ze wskazaniem na odcień jasnożółty.

Po wstępnych badaniach okazało się, że spośród wszystkich surowców nadanych do procesu destylacji największą objętość olejku uzyskuje się ze skórek pomarańczy, dlatego też do dalszego etapu badań, czyli do procesu mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych został wybrany olejek eteryczny z pomarańczy. Pod uwagę został wzięty również aspekt ekonomiczny, skórki z pomarańczy stanowią odpad i można je pozyskać poprzez selektywną zbiórkę odpadów.

3.4. Badania procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych oraz neutralizacji odorów w skali laboratoryjnej

3.4.1. Metodyka badań

3.4.1.1. *Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych*

Proces odwadniania komunalnych osadów ściekowych prowadzono na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW–350 (rysunek 3.10).

Jako nadawę do procesu mechanicznego odwadniania zastosowano rzeczywisty ustabilizowany w wyniku fermentacji metanowej osad czynny, pobrany z Oczyszczalni Ścieków Jamno, bezpośrednio z przewodu tłocznego podającego osad z WKFo (wydzielona komora fermentacyjna otwarta) na wirówki dekantacyjne.

Bezpośrednio po pobraniu próbek w czasie do 1h od chwili pobrania, oznaczano parametry fizyczne osadu, tworzącego nadawę do procesu odwadniania, tj.: pH [-], temperaturę [°C], barwę, strukturę, zapach, wilgotność W_N [%] i zagęszczenie β_N [mg/dm³]. Próbki były przechowywane w lodówce w temperaturze 4°C.



Rys. 3.10. Wirówka laboratoryjna typu MPW-350: 1 – obudowa, 2 – pojemnik na próbki, 3 – pokrywa wirówki, 4 – pulpit sterujący, 5 – włącznik



Rys. 3.11. Pulpit sterujący wirówki MPW-350: 6 – wyświetlacz numeru programu, 7 – pole wyświetlacza pokazującego prędkość wirowania, 8 – pole wyświetlacza pokazujące czas wirowania, 9 – sygnalizacja stanu wirnika, 10 – klawisz funkcyjny „START”, 11 – klawisz funkcyjny „COVER”, 12 – klawisz funkcyjny „STOP”, 13 – klawiatura numeryczna, 14 – klawisz funkcyjny „MEMO”



Rys. 3.12. Widok wirnika: 15 – wirnik, 16 – pojemniki na naczynia z próbkami

Wartościami stałymi procesu odwadniania były parametry charakteryzujące nadawę, tj.:

- pH [-],
- temperatura [°C],
- barwa,
- struktura,
- zapach,
- wilgotność W_N [%],
- zagęszczenie β_N [mg/dm³].

Parametry zmienne niezależne procesu odwadniania:

- x_1 – czas wirowania t [min] – przyjęto: $t_1 = 1$ min, $t_2 = 2$ min, $t_3 = 5$ min, $t_4 = 8$ min, $t_5 = 10$ min,
- x_2 – prędkość wirowania n [obr/min] – przyjęto: $n_1 = 1000$ obr/min, $n_2 = 1500$ obr/min, $n_3 = 2000$ obr/min, $n_4 = 2500$ obr/min, $n_5 = 3000$ obr/min,
- x_3 – dawka flokulanta PRAESTOL 855BS C_F [ml/dm³] – przyjęto: $C_{F0} = 0$ ml/dm³, $C_{F1} = 18$ ml/dm³, $C_{F2} = 23$ ml/dm³, $C_{F3} = 28$ ml/dm³, $C_{F4} = 33$ ml/dm³, $C_{F5} = 38$ ml/dm³, $C_{F6} = 48$ ml/dm³,
- x_4 – dawka mieszaniny w proporcji flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] – przyjęto: $C_{F/O0} = 0$ ml/dm³, $C_{F/O1} = 18$ ml/dm³, $C_{F/O2} = 23$ ml/dm³, $C_{F/O3} = 28$ ml/dm³, $C_{F/O4} = 33$ ml/dm³, $C_{F/O5} = 38$ ml/dm³, $C_{F/O6} = 48$ ml/dm³,

- x_5 – dawka mieszaniny w proporcji flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] – przyjęto: $C_{F/O0} = 0$ ml/dm³, $C_{F/O1} = 18$ ml/dm³, $C_{F/O2} = 23$ ml/dm³, $C_{F/O3} = 28$ ml/dm³, $C_{F/O4} = 33$ ml/dm³, $C_{F/O5} = 38$ ml/dm³, $C_{F/O6} = 48$ ml/dm³,
- x_6 – dawka olejku eterycznego z pomarańczy C_O [ml/dm³] – przyjęto: $C_{O0} = 0$ ml/dm³, $C_{O1} = 18$ ml/dm³, $C_{O2} = 23$ ml/dm³, $C_{O3} = 28$ ml/dm³, $C_{O4} = 33$ ml/dm³, $C_{O5} = 38$ ml/dm³, $C_{O6} = 48$ ml/dm³,
- x_7 – udział olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28$ ml/dm³ $U_{O/F}$ [%] – przyjęto: $U_{O/F1} = [0\%/100\%]$, $U_{O/F2} = [21\%/79\%]$, $U_{O/F3} = [36\%/64\%]$, $U_{O/F4} = [50\%/50\%]$, $C_{O/F5} = [64\%/36\%]$, $C_{O/F6} = [79\%/21\%]$, $C_{O/F7} = [100\%/0\%]$.

Parametry zmienne zależne (wynikowe) procesu odwadniania:

- y_1 – procentowa zawartość wilgoci w osadzie W [%],
- y_2 – zagęszczenie odcieku β [mg/dm³],
- y_3 – czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Metoda oznaczenia wilgotności osadów [73]:

Próbkę osadu dokładnie wymieszano i odważono 50 g w parownicy uprzednio wysuszonej w 105°C, ostudzonej w eksykatorze i zważonej. Następnie odparowano do sucha na łaźni wodnej, po czym dno parownicy osuszono bibułą i umieszczono w suszarce o temperaturze 105°C na okres 1 godziny. Po tym czasie parownicę ostudzano w eksykatorze i zważono. W celu sprawdzenia, czy osad został dostatecznie wysuszony, umieszczono ponownie w suszarce na 30 minut i po ostudzeniu zważono. Suszenie prowadzono do uzyskania stałej masy.

Wilgotność osadu oblicza się wg wzoru [73]:

$$X = \frac{(a - b) \cdot 100}{c} \text{ [%]} \quad (3.4)$$

gdzie:

- a – ciężar parownicy z osadem przed suszeniem [g],
- b – ciężar parownicy z osadem po wysuszeniu [g],
- c – ciężar osadu (mokrego) użytego do oznaczenia [g].

Metoda oznaczenia zagęszczenia osadów [73]:

Próbkę osadu dokładnie wymieszano i odważono 20 g w parownicy uprzednio wysuszonej, ostudzonej w eksykatorze i zważonej. Następnie odparowano do sucha na łaźni wodnej, po czym suszono przez godzinę w temperaturze 105°C. Po tym czasie parownicę ostudzano w eksykatorze i zważono. Następnie umieszczono w suszarce na 30 minut, po czym ponownie zważono, w celu sprawdzenia czy osad został dostatecznie wysuszony. Suszenie prowadzono do uzyskania stałej masy.

Zagęszczenie osadu oblicza się wg wzoru [73]:

$$X = \frac{(a - b) \cdot 1000}{c} \text{ [g/dm}^3\text{]} \quad (3.5)$$

gdzie:

a – ciężar parownicy z wysuszonym osadem [g],

b – ciężar parownicy bez osadu [g],

c – ciężar osadu użytego do oznaczenia [g], przy założeniu, że $c(g) = c(ml)$.

Badania laboratoryjne odwadniania komunalnych osadów ściekowych składały się z 5 serii:

Seria I – Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulanta PRAESTOL 855BS.

Seria II – Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%).

Seria III – Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%).

Seria IV – Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy.

Seria V – Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem różnych proporcji olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$.

W pierwszej serii pierwszy etap badań prowadzono przy stałej prędkości wirowania n wynoszącej 2500 obr/min oraz stałej dawce dodawanego roztworu flokulanta o stężeniu 0,3%, która wynosiła 28 ml/dm^3 . Parametrem zmiennym był czas wirowania (x_1), który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Drugi etap badań prowadzono przy stałej wartości parametru x_1 (czasu wirowania) wynoszącej 2 minuty

(centralny punkt aproksymacji), stałej dawce roztworu flokulanta (x_3) wynoszącej 28 ml/dm^3 przy zmiennej wartości parametru niezależnego x_2 – prędkości wirowania w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. W trzecim etapie badań parametrami stałymi niezależnymi były: czas wirowania t wynoszący 2 minuty oraz prędkość wirowania n , która wynosiła 2500 obr/min. Parametrem zmiennym była dawka dozowanego roztworu flokulanta o stężeniu 0,3% w zakresie od 0 do 48 ml/dm^3 .

W drugiej serii pierwszy etap badań prowadzono przy stałej prędkości wirowania n wynoszącej 2500 obr/min oraz stałej dawce dodawanej mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), która wynosiła 28 ml/dm^3 . Parametrem zmiennym był czas wirowania (x_1), który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Drugi etap badań prowadzono przy stałej wartości parametru x_1 (czasu wirowania) wynoszącej 2 minuty (centralny punkt aproksymacji), stałej dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) (x_4) wynoszącej 28 ml/dm^3 przy zmiennej wartości parametru niezależnego x_2 – prędkości wirowania w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. W trzecim etapie badań parametrami stałymi niezależnymi były: czas wirowania t wynoszący 2 minuty oraz prędkość wirowania n , która wynosiła 2500 obr/min. Parametrem zmiennym była dawka dozowanej mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) w zakresie od 0 do 48 ml/dm^3 .

W trzeciej serii pierwszy etap badań prowadzono przy stałej prędkości wirowania n wynoszącej 2500 obr/min oraz stałej dawce dodawanej mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%), która wynosiła 28 ml/dm^3 . Parametrem zmiennym był czas wirowania (x_1), który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Drugi etap badań prowadzono przy stałej wartości parametru x_1 (czasu wirowania) wynoszącej 2 minuty (centralny punkt aproksymacji), stałej dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) (x_5) wynoszącej 28 ml/dm^3 przy zmiennej wartości parametru niezależnego x_2 – prędkości wirowania w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. W trzecim etapie badań parametrami stałymi niezależnymi były: czas wirowania t wynoszący 2 minuty oraz prędkość wirowania n , która wynosiła 2500 obr/min. Parametrem zmiennym była dawka dozowanej mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) w zakresie od 0 do 48 ml/dm^3 .

W czwartej serii pierwszy etap badań prowadzono przy stałej prędkości wirowania n wynoszącej 2500 obr/min oraz stałej dawce dodawanego olejku

eterycznego z pomarańczy, która wynosiła 28 ml/dm^3 . Parametrem zmiennym był czas wirowania (x_1), który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Drugi etap badań prowadzono przy stałej wartości parametru x_1 (czasu wirowania) wynoszącej 2 minuty (centralny punkt aproksymacji), stałej dawce olejku eterycznego z pomarańczy (x_6) wynoszącej 28 ml/dm^3 przy zmiennej wartości parametru niezależnego x_2 – prędkości wirowania w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. W trzecim etapie badań parametrami stałymi niezależnymi były: czas wirowania t wynoszący 2 minuty oraz prędkość wirowania n , która wynosiła 2500 obr/min. Parametrem zmiennym była dawka dozowanego olejku eterycznego z pomarańczy w zakresie od 0 do 48 ml/dm^3 .

W piątej serii proces odwadniania prowadzono przy stałej prędkości wirowania n wynoszącej 2500 obr/min oraz stałym czasie wirowania t wynoszącym 2 minuty. Parametrem zmiennym był udział olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$, który kształtował się następująco:

- **Udział $U_{O/F1}$** – 0% olejku z pomarańczy (0 ml/dm^3) + 100% flokulanta PRAESTOL 855BS (28 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F2}$** – 21% olejku z pomarańczy (6 ml/dm^3) + 79% flokulanta PRAESTOL 855BS (22 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F3}$** – 36% olejku z pomarańczy (10 ml/dm^3) + 64% flokulanta PRAESTOL 855BS (18 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F4}$** – 50% olejku z pomarańczy (14 ml/dm^3) + 50% flokulanta PRAESTOL 855BS (14 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F5}$** – 64% olejku z pomarańczy (18 ml/dm^3) + 36% flokulanta PRAESTOL 855BS (10 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F6}$** – 79% olejku z pomarańczy (22 ml/dm^3) + 21% flokulanta PRAESTOL 855BS (6 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F7}$** – 100% olejku z pomarańczy (28 ml/dm^3) + 0% flokulanta PRAESTOL 855BS (0 ml/dm^3).

3.4.1.2. Pomiar zapachu

Czas utrzymywania się zneutralizowanego zapachu osadu oznaczono organoleptycznie, mierząc czas utrzymywania się zapachu olejku eterycznego z pomarańczy. Ocena organoleptyczna przeprowadzona była przez zespół składający się z czterech osób. Każda osoba posiadała kartę, na której dokonywała zapisu wyników.

Pozyskane wyniki od wszystkich osób dały wypadkową, która posłużyła do określenia czasu neutralizacji odorów w odwirowanym osadzie.

3.4.1.3. Charakterystyka osadu ściekowego

Do badań użyto zawsze ten sam ściek zawiesinowy o następującej charakterystyce:

- pH: 7,55,
- temperatura: 20°C,
- barwa: czarna,
- struktura osadu: jednolita, trudno opadający, zawiesinowy,
- zapach: gnilny,
- wilgotność W_N : 97,7%,
- zagęszczenie β_N : 21180 mg/dm³.

3.4.1.4. Charakterystyka flokulanta kationowego PRAESTOL 855BS

Proces odwadniania w laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW–350 wspomagany był flokulantem kationowym o nazwie handlowej PRAESTOL 855BS, który stosowany jest na Oczyszczalni Ścieków Jamno. Doświadczalnie dobrana i stosowana dawka flokulanta na oczyszczalni ścieków wynosi 3,68 kg/Mg s.m.o. W czasie odwadniania uzyskuje się osad odwodniony do poziomu 68–75% zawartości wody.

W tabeli 3.2 przedstawiono informacje na temat podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych flokulanta PRAESTOL 855BS zastosowanego do badań.

Tabela 3.2. Charakterystyka flokulanta PRAESTOL 855BS [11]

Wygląd	granulowany ciało stałe
Barwa	biały jasno żółty
Zapach	aminowy
Próg zapachu	brak dostępnych danych
Temperatura zapłonu	nie dotyczy
Szybkość parowania	brak dostępnych danych
Temperatura samozapłonu	brak dostępnych danych
Dolna granica wybuchowości	30.000 mg/dm ³
Górna granica wybuchowości	brak dostępnych danych
Palność (ciała stałego, gazu)	brak dostępnych danych
Właściwości utleniające	brak dostępnych danych
Liczba palenia	brak dostępnych danych
Masa cząsteczkowa	brak dostępnych danych
pH	7 stężenie 10,00 g/l
Temperatura topnienia	nie dotyczy
Temperatura wrzenia	nie dotyczy
Temperatura sublimacji	brak dostępnych danych
Prężność par	< 0,02 hPa
Gęstość	ca. 0,72 g/cm ³
Gęstość względna	brak dostępnych danych
Rozpuszczalność w wodzie	słabo rozpuszczalny
Współczynnik podziału: noktanol/woda	brak dostępnych danych
Rozpuszczalność w innych rozpuszczalnikach	brak dostępnych danych
Rozkład termiczny	> 150°C
Lepkość dynamiczna	brak dostępnych danych
Lepkość kinetyczna	brak dostępnych danych
Czas wypływu	brak dostępnych danych
Wrażliwość na wstrząsy	brak dostępnych danych
Względna gęstość oparów	brak dostępnych danych
Napięcie powierzchniowe	brak dostępnych danych
Przewodność	brak dostępnych danych
Potencjał utleniający	brak dostępnych danych
Współczynnik załamania	brak dostępnych danych
Temperatura żarzenia	brak dostępnych danych
Gęstość nasypowa	600 kg/m ³
Czas wypływu	brak dostępnych danych

3.4.1.5. Charakterystyka olejku eterycznego z pomarańczy

Do badań procesu mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych w laboratorium wykorzystano naturalny olejek eteryczny z pomarańczy, który wyprodukowano ze skórek pomarańczy w procesie destylacji parą wodną.

W tabeli 3.3 przedstawiono informacje na temat podstawowych właściwości fizyczno-chemicznych olejku eterycznego z pomarańczy zastosowanego do badań.

Tabela 3.3. Charakterystyka olejku eterycznego z pomarańczy

Wygląd	Ciecz
Barwa	Żółta
Zapach	Pomarańczowy
Gęstość d_{20}^{20}	0,850 g/cm ³
Współczynnik załamania światła n_D^{20}	1,473

Olejek pomarańczowy zawiera głównie nerol i limonen.

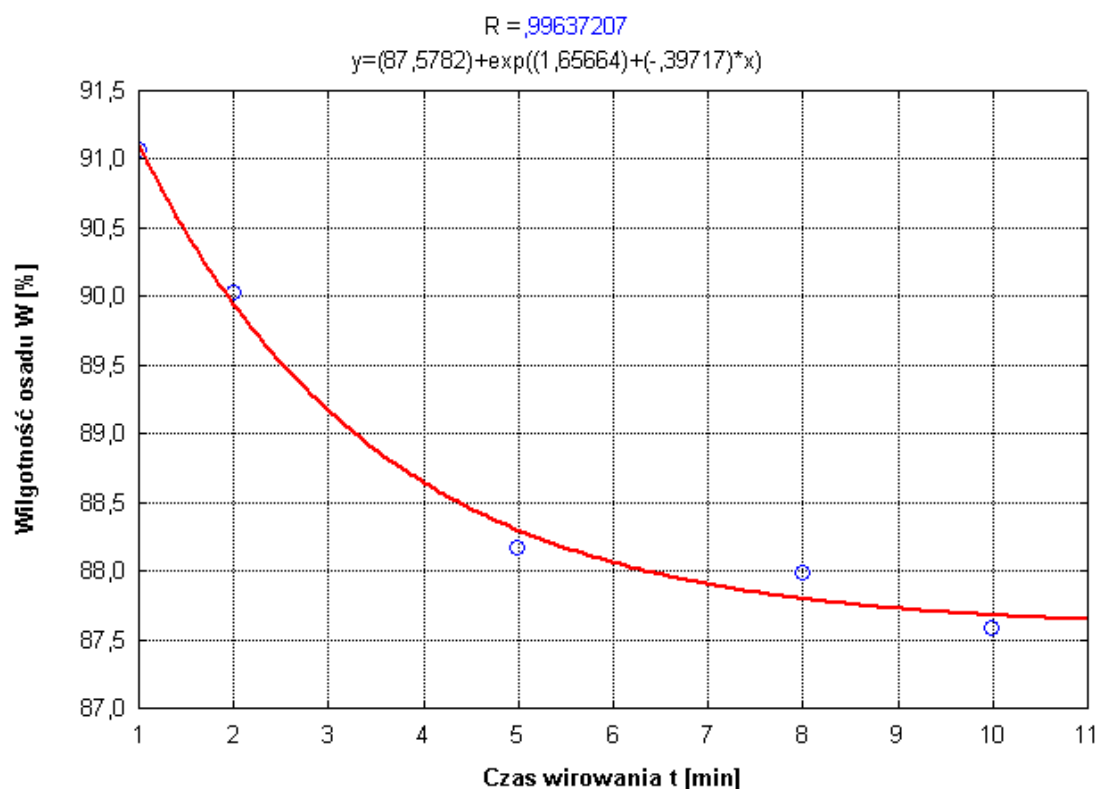
3.4.2. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulantu PRAESTOL 855BS

Wyniki z przeprowadzonych badań laboratoryjnych odwadniania osadów ściekowych z zastosowaniem flokulantu PRAESTOL 855BS zestawiono w załączniku. Do wyprowadzenia równań aproksymacyjnych metodą punktu centralnego wybrano część z tych wyników, które przedstawiono poniżej.

W tabeli 3.4 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.4. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka flokulantu C_F [ml/dm ³]	Wilgotność osadu W [%]
1	1	2500	28	91,07
2	2			90,02
3	5			88,17
4	8			87,98
5	10			87,58



Rys. 3.13. Wpływ czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

Wykres na rysunku 3.13 aproksymowano następującym równaniem

$$W(t) = 87,5782 + \exp(1,65664 - 0,39717 \cdot t) \quad (3.6)$$

gdzie:

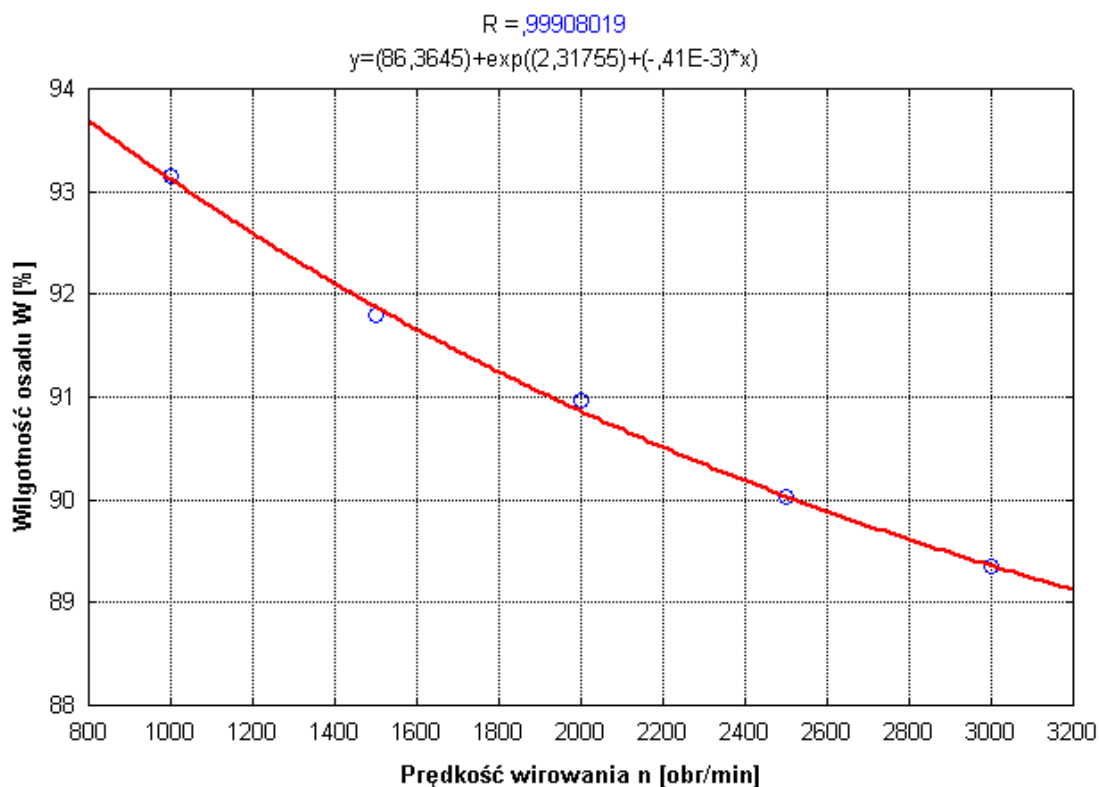
$W(t)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.5 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.5. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka flokulanta C_F [ml/dm ³]	Wilgotność osadu W [%]
1	1000	2	28	93,15
2	1500			91,79
3	2000			90,95
4	2500			90,02
5	3000			89,35



Rys. 3.14. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$W(t, n) = 82,715 + \exp(1,6566 - 0,3972 \cdot t) + \exp(2,4062 - 3,1845 \cdot 10^{-4} \cdot n) \quad (3.7)$$

gdzie:

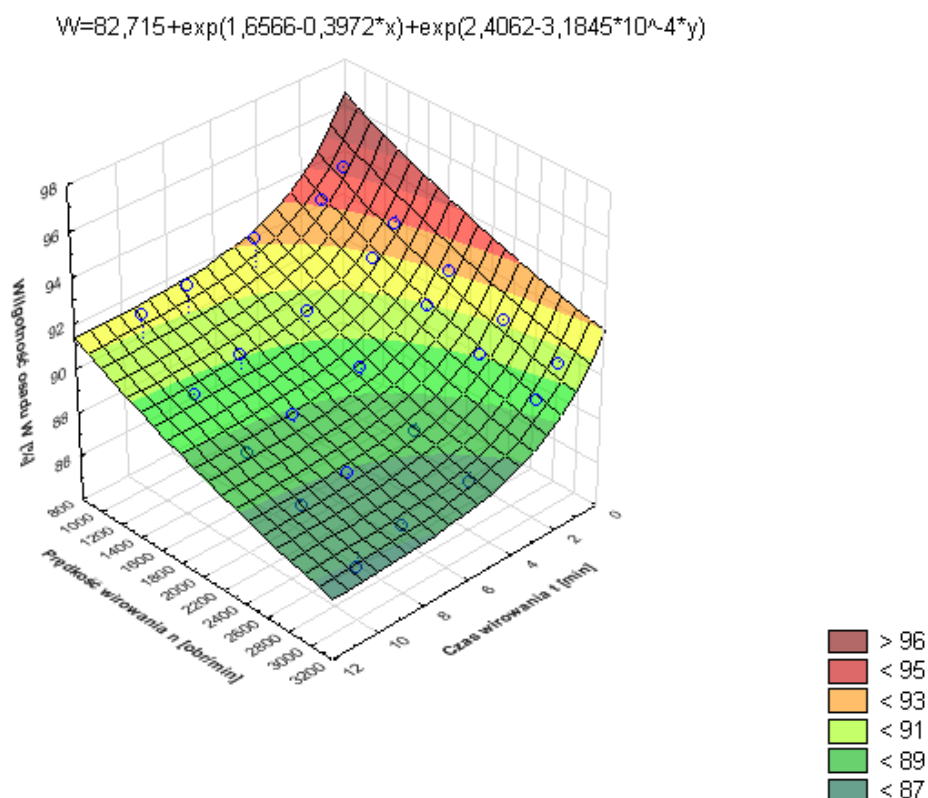
$W(t, n)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } W(2, 2500) = 82,715 + \exp(1,6566 - 0,3972 \cdot 2) + \exp(2,4062 - 3,1845 \cdot 10^{-4} \cdot 2500) = 90,086$$

Na rysunku 3.15 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki flokulanta Praestol 855BS $C_F = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%].

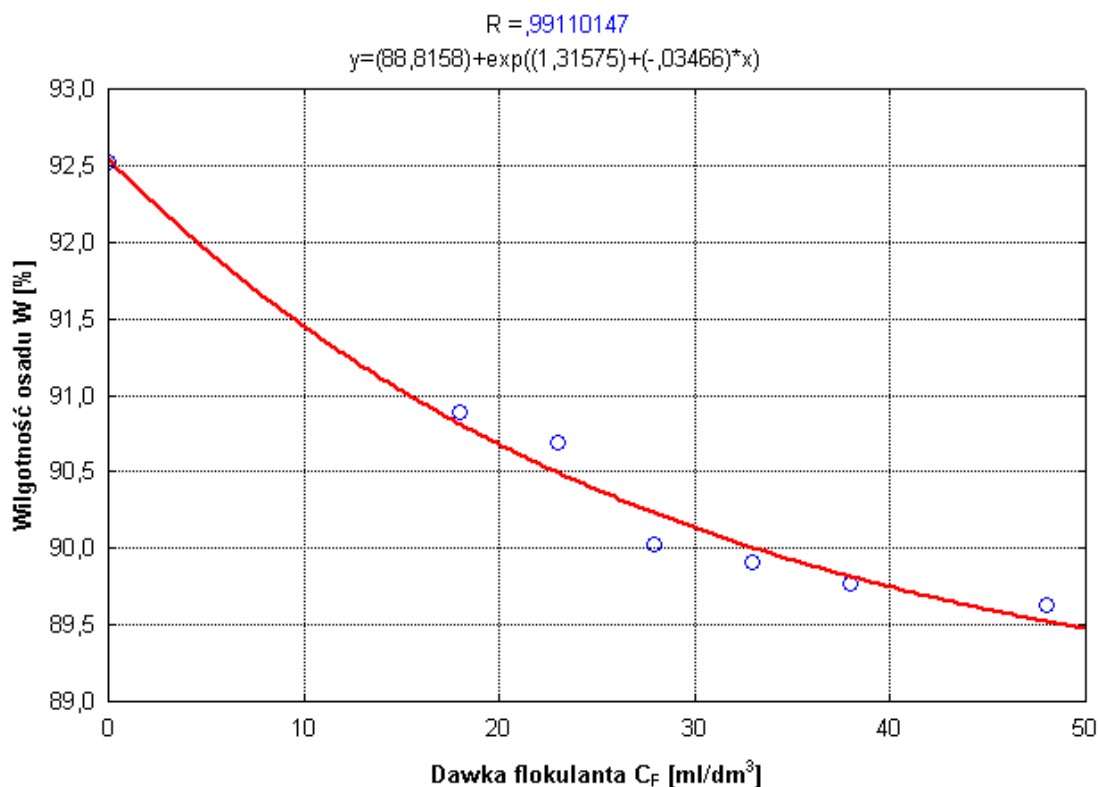


Rys. 3.15. Wykres zależności procentowej zawartości wilgoci W [%] w osadzie w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki flokulanta $C_F = 28 \text{ ml/dm}^3$

W tabeli 3.6 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki flokulanta Praestol 855BS C_F [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.6. Wyniki badań wpływu dawki flokulanta C_F [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka flokulanta C_F [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Wilgotność osadu W [%]
1	0	2500	2	92,52
2	18			90,88
3	23			90,69
4	28			90,02
5	33			89,91
6	38			89,77
7	48			89,63



Rys. 3.16. Wpływ dawki flokulanta C_F [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$W(t, n, C_F) = 81,896 + \exp(1,6566 - 0,3972 \cdot t) + \exp(2,4062 - 3,1845 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \exp(1,1795 - 0,0491 \cdot C_F) \quad (3.8)$$

gdzie:

$W(t, n, C_F)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

C_F – dawka flokulanta Praestol 855BS [ml/dm³].

$$\text{Spr.: } W(2, 2500, 28) = 81,896 + \exp(1,6566 - 0,3972 \cdot 2) + \exp(2,4062 - 3,1845 \cdot 10^{-4} \cdot 2500) + \exp(1,1795 - 0,0491 \cdot 28) = 90,089$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1\text{--}10$ min,

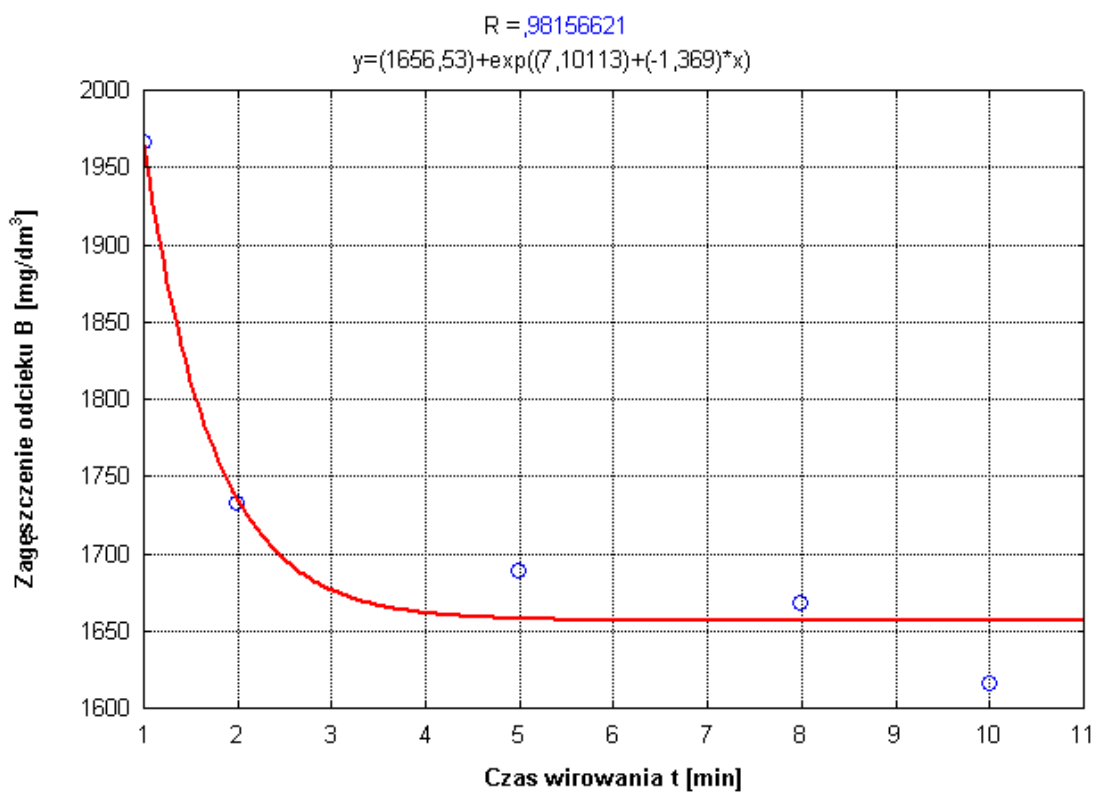
$n \in 1000\text{--}3000$ obr/min,

$C_F \in 0\text{--}48$ ml/dm³.

W tabeli 3.7 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.7. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka flokulanta C_F [ml/dm ³]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	1	2500	28	1965,56
2	2			1733,00
3	5			1688,58
4	8			1667,76
5	10			1616,22



Rys. 3.17. Wpływ czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Wykres na rysunku 3.17 aproksymowano następującym równaniem

$$\beta(t) = 1656,53 + \exp(7,10113 - 1,369 \cdot t) \quad (3.9)$$

gdzie:

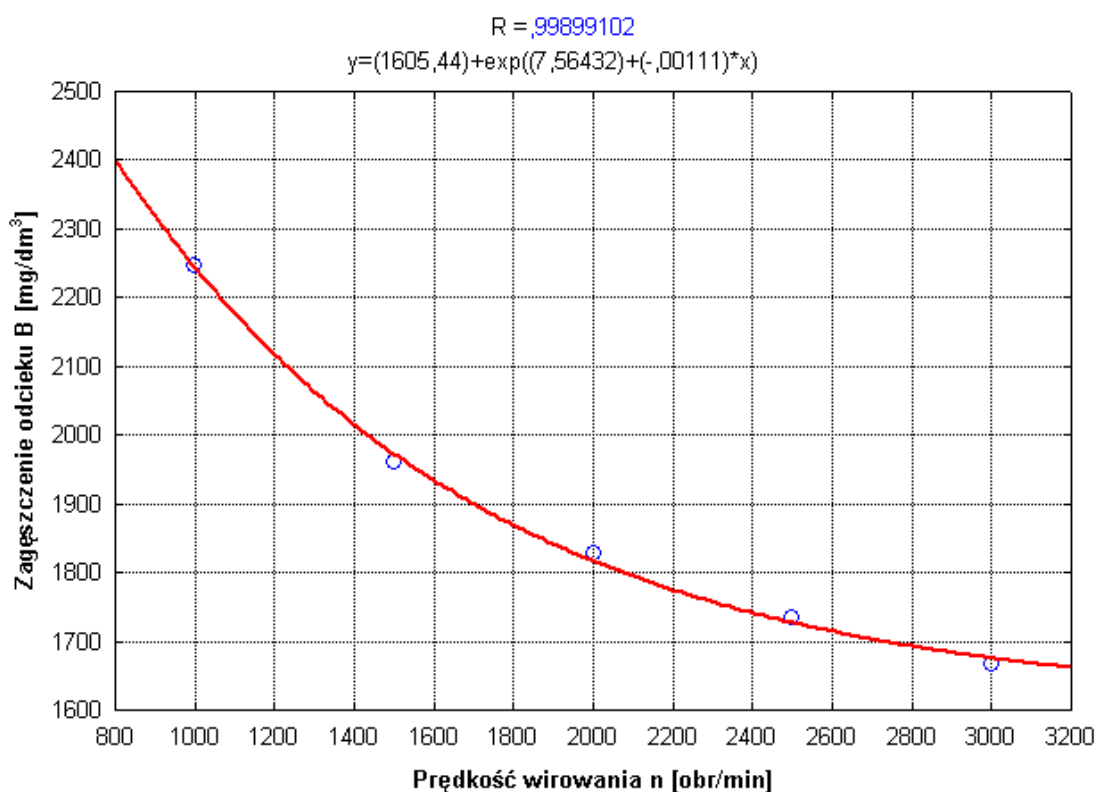
$\beta(t)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm³],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.8 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.8. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka flokulanta C_F [ml/dm ³]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	1000	2	28	2247,61
2	1500			1959,53
3	2000			1828,68
4	2500			1733,00
5	3000			1667,76



Rys. 3.18. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$\beta(t, n) = 1,4889 \cdot 10^3 + \exp(7,1011 - 1,369 \cdot t) + \exp(7,4792 - 9,5680 \cdot 10^{-4} \cdot n) \quad (3.10)$$

gdzie:

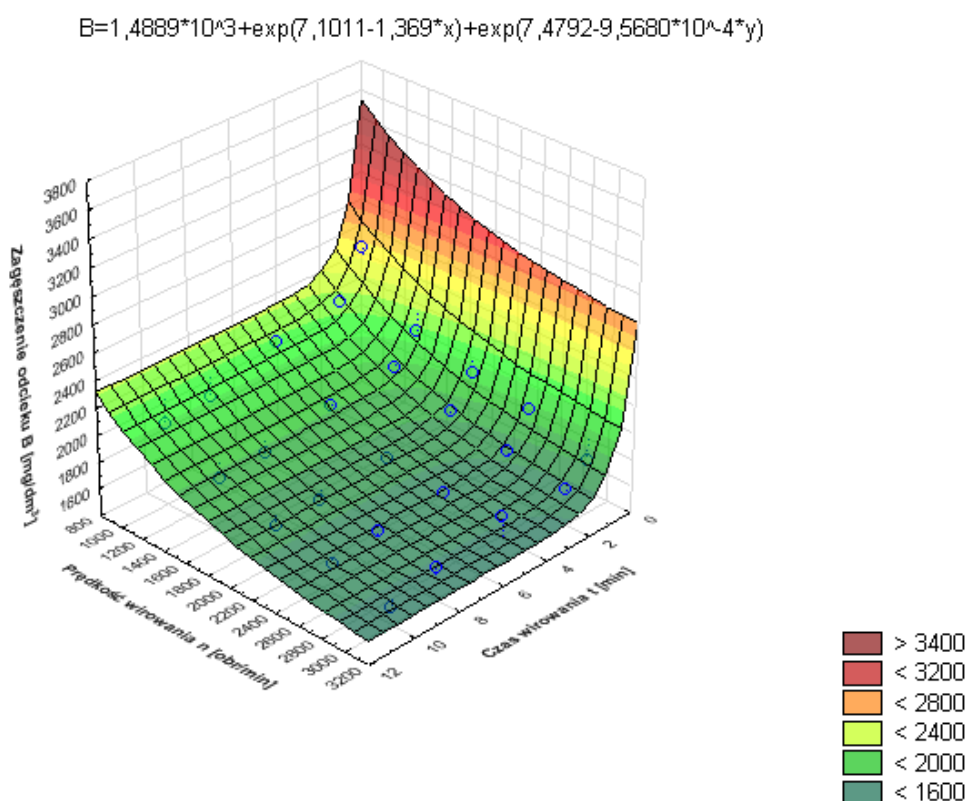
$\beta(t, n)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm^3],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } \beta(2, 2500) = 1,4889 \cdot 10^3 + \exp(7,1011 - 1,369 \cdot 2) + \\ + \exp(7,4792 - 9,5680 \cdot 10^{-4} \cdot 2500) = 1,729 \cdot 10^3$$

Na rysunku 3.19 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki flokulanta Praestol 855BS $C_F = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3].

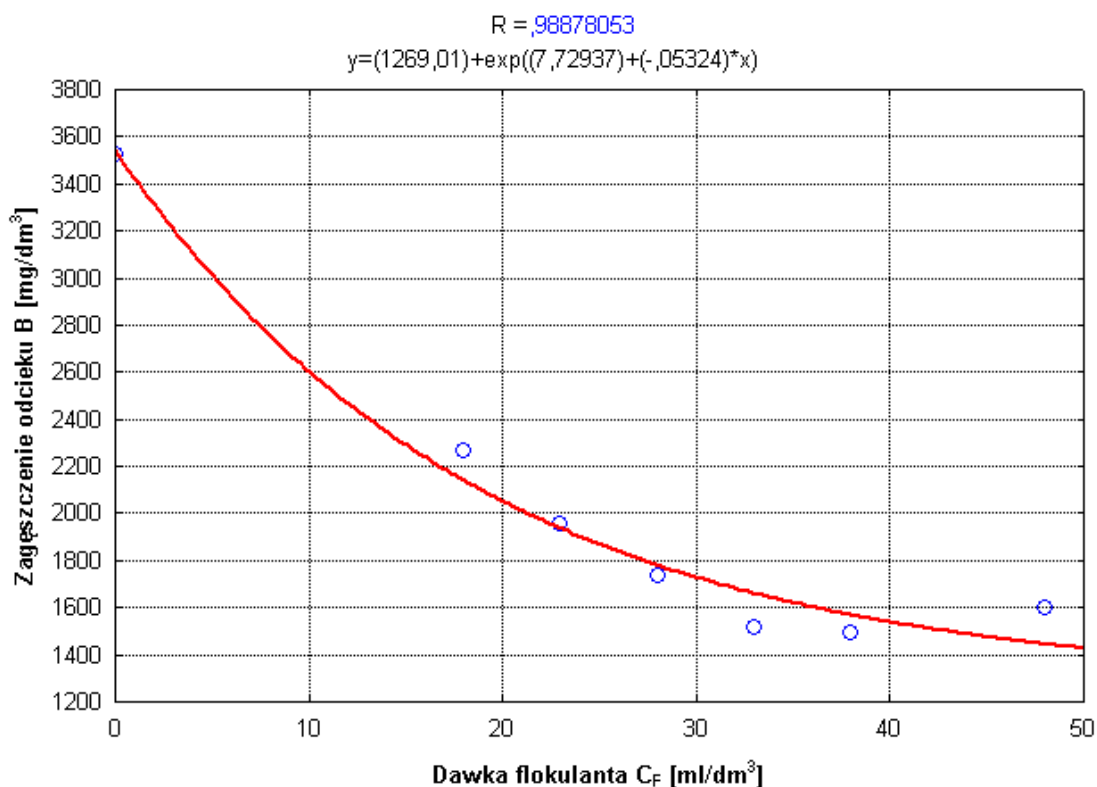


Rys. 3.19. Wykres zależności zagęszczenia odcieku β [mg/dm^3] w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki flokulanta $C_F = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$

W tabeli 3.9 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki flokulanta Praestol 855BS C_F [ml/dm^3] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3].

Tabela 3.9. Wyniki badań wpływu dawki flokulanta C_F [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka flokulanta C_F [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	0	2500	2	3525,08
2	18			2267,51
3	23			1953,61
4	28			1733,00
5	33			1513,84
6	38			1489,92
7	48			1596,59



Rys. 3.20. Wpływ dawki flokulanta C_F [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$\beta(t, n, C_F) = -209,269 + \exp(7,1011 - 1,369 \cdot t) + \exp(7,4792 - 9,5680 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \exp(8,1588 - 0,0260 \cdot C_F) \quad (3.11)$$

gdzie:

$\beta(t, n, C_F)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm^3],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

C_F – dawka flokulanta Praestol 855BS [ml/dm^3].

$$\begin{aligned} \text{Spr.: } \beta(2, 2500, 28) = & -209,269 + \exp(7,1011 - 1,369 \cdot 2) + \\ & + \exp(7,4792 - 9,5680 \cdot 10^{-4} \cdot 2500) + \exp(8,1588 - 0,0260 \cdot 28) = 1,719 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1\text{--}10$ min,

$n \in 1000\text{--}3000$ obr/min,

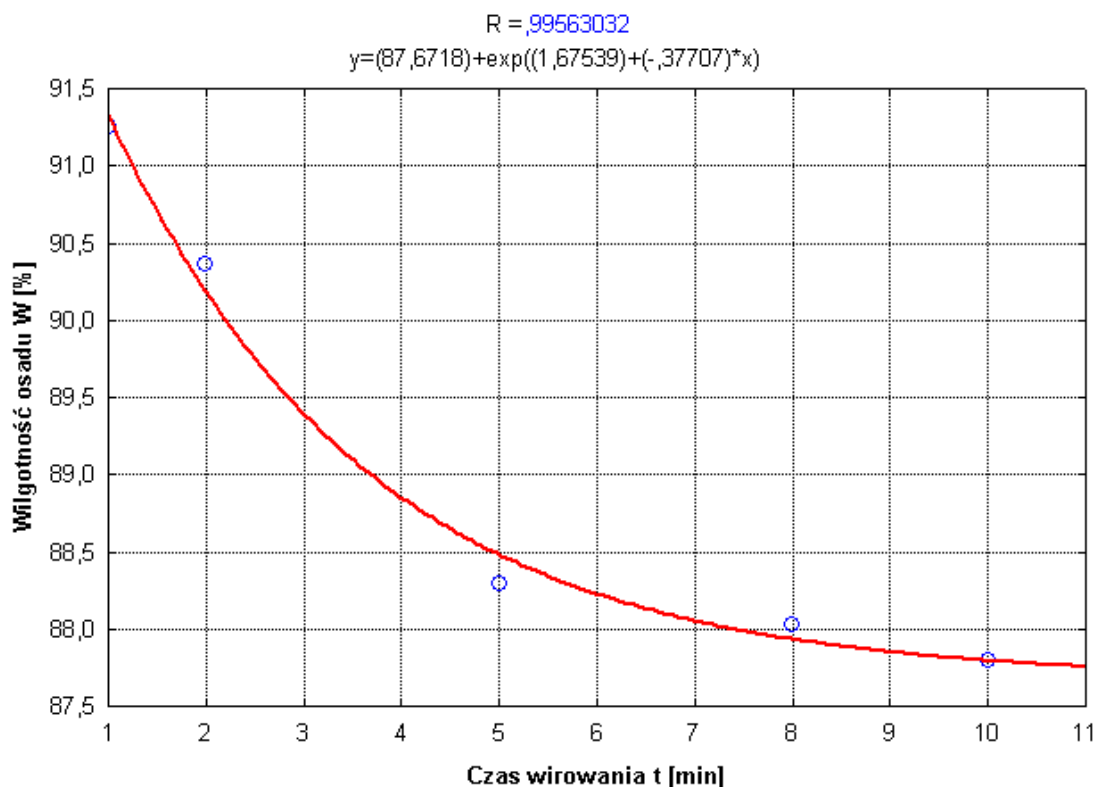
$C_F \in 0\text{--}48$ ml/dm^3 .

3.4.3. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%)

W tabeli 3.10 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.10. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm^3]	Wilgotność osadu W [%]
1	1	2500	28	91,25
2	2			90,36
3	5			88,29
4	8			88,03
5	10			87,80



Rys. 3.21. Wpływ czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

Wykres na rysunku 3.21 aproksymowano następującym równaniem

$$W(t) = 87,6718 + \exp(1,67539 - 0,37707 \cdot t) \quad (3.12)$$

gdzie:

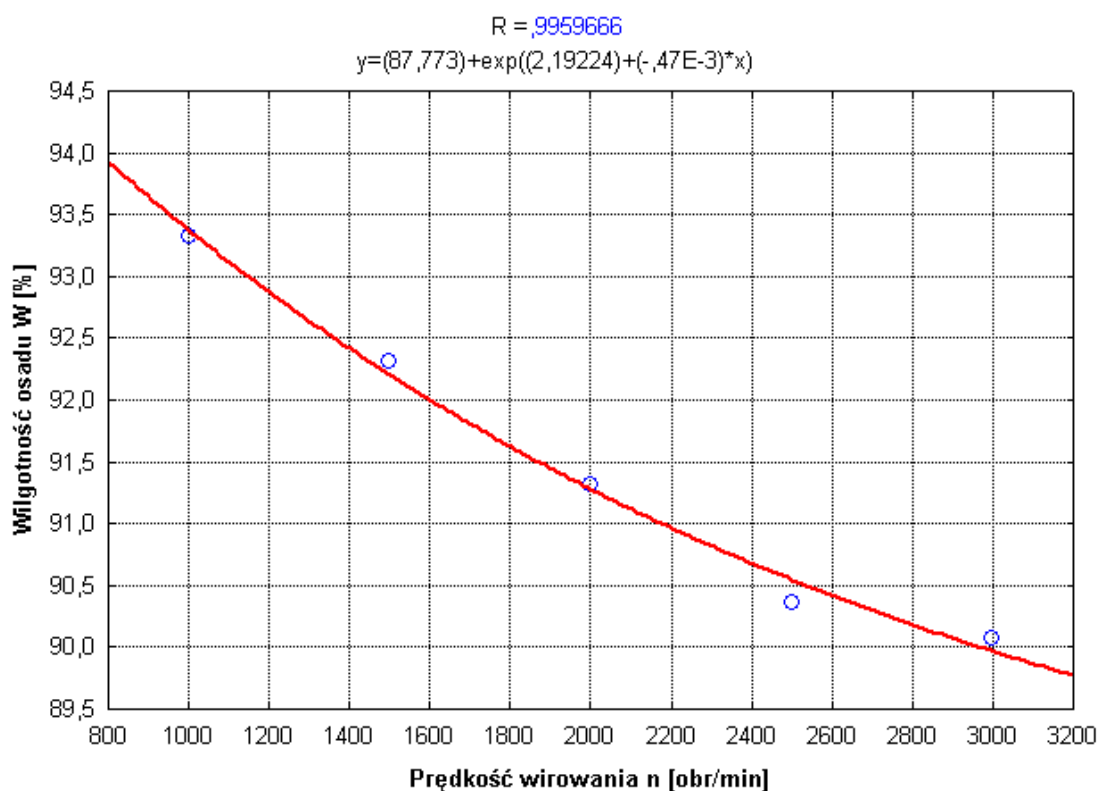
$W(t)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.11 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.11. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Wilgotność osadu W [%]
1	1000	2	28	93,33
2	1500			92,31
3	2000			91,31
4	2500			90,36
5	3000			90,07



Rys. 3.22. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$W(t, n) = 85,586 + \exp(1,6754 - 0,3771 \cdot t) + \exp(2,1426 - 4,8799 \cdot 10^{-4} \cdot n) \quad (3.13)$$

gdzie:

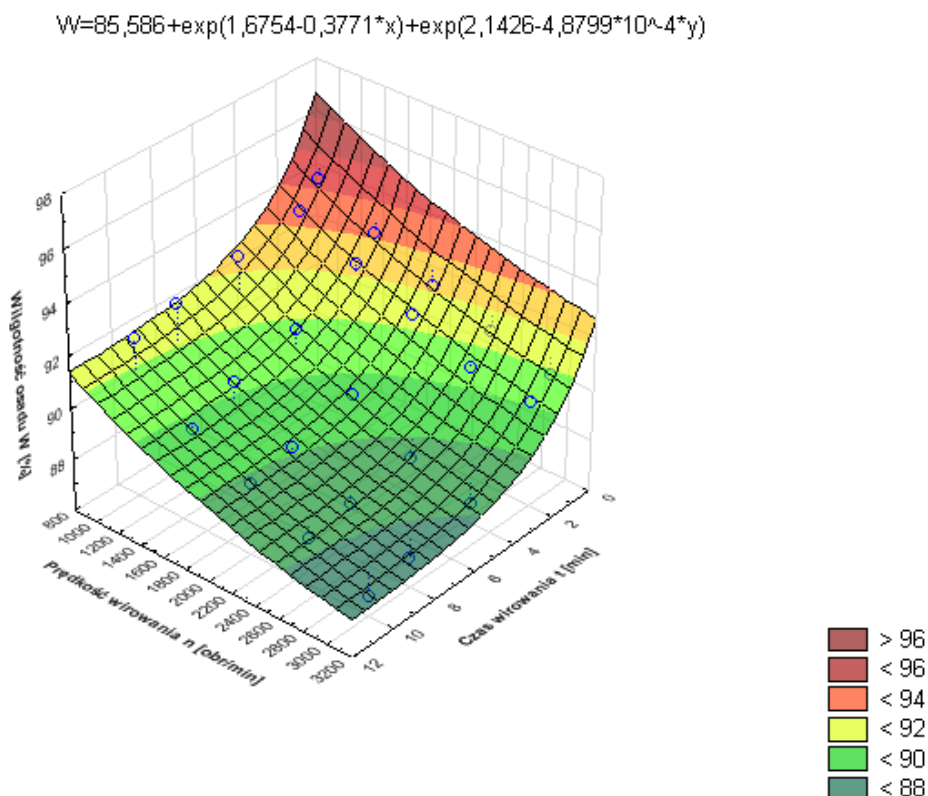
$W(t, n)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } W(2, 2500) = 85,586 + \exp(1,6754 - 0,3771 \cdot 2) + \exp(2,1426 - 4,8799 \cdot 10^{-4} \cdot 2500) = 90,615$$

Na rysunku 3.23 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%].

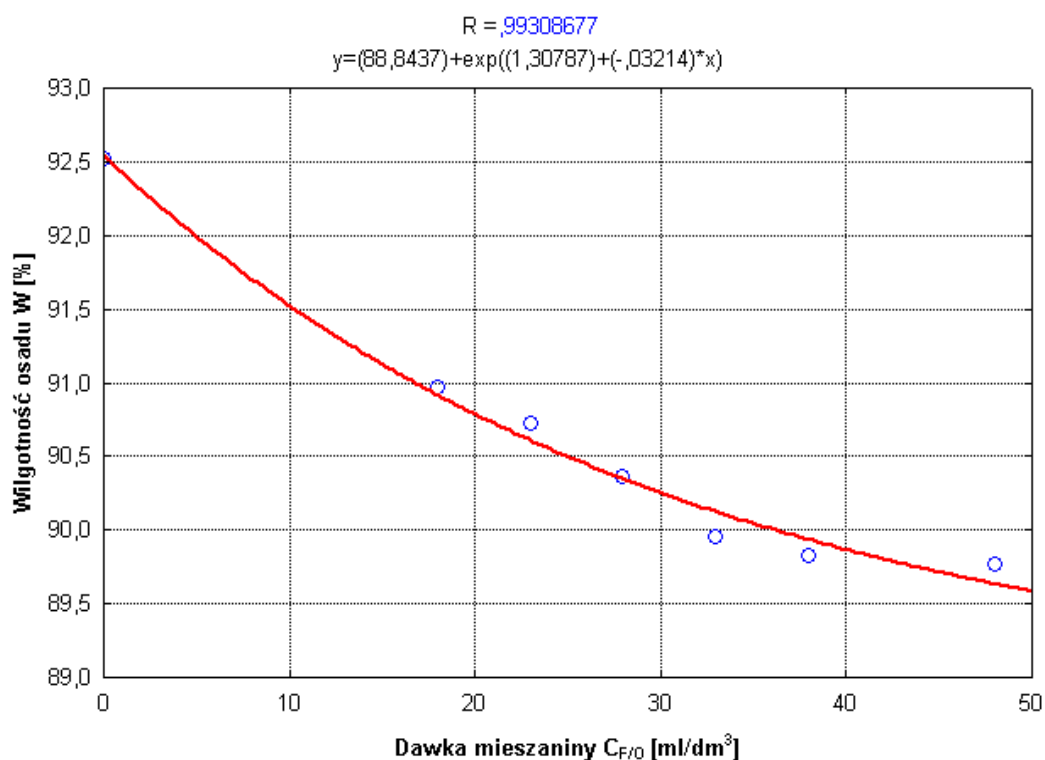


Rys. 3.23. Wykres zależności procentowej zawartości wilgoci W [%] w osadzie w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (79%) + olej (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$

W tabeli 3.12 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%) $C_{F/O} [\text{ml/dm}^3]$ na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.12. Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant (79%) + olej (21%) $C_{F/O} [\text{ml/dm}^3]$ na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O} [\text{ml/dm}^3]$	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Wilgotność osadu W [%]
1	0	2500	2	92,52
2	18			90,97
3	23			90,72
4	28			90,36
5	33			89,95
6	38			89,82
7	48			89,77



Rys. 3.24. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (79%) + olej (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$W(t, n, C_{F/O}) = 84,351 + \exp(1,6754 - 0,3771 \cdot t) + \exp(2,1426 - 4,8799 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \exp(1,1446 - 0,0517 \cdot C_{F/O}) \quad (3.14)$$

gdzie:

$W(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

$C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%) [ml/dm³].

$$\text{Spr.: } W(2, 2500, 28) = 84,351 + \exp(1,6754 - 0,3771 \cdot 2) + \exp(2,1426 - 4,8799 \cdot 10^{-4} \cdot 2500) + \exp(1,1446 - 0,0517 \cdot 28) = 90,118$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1\text{--}10$ min,

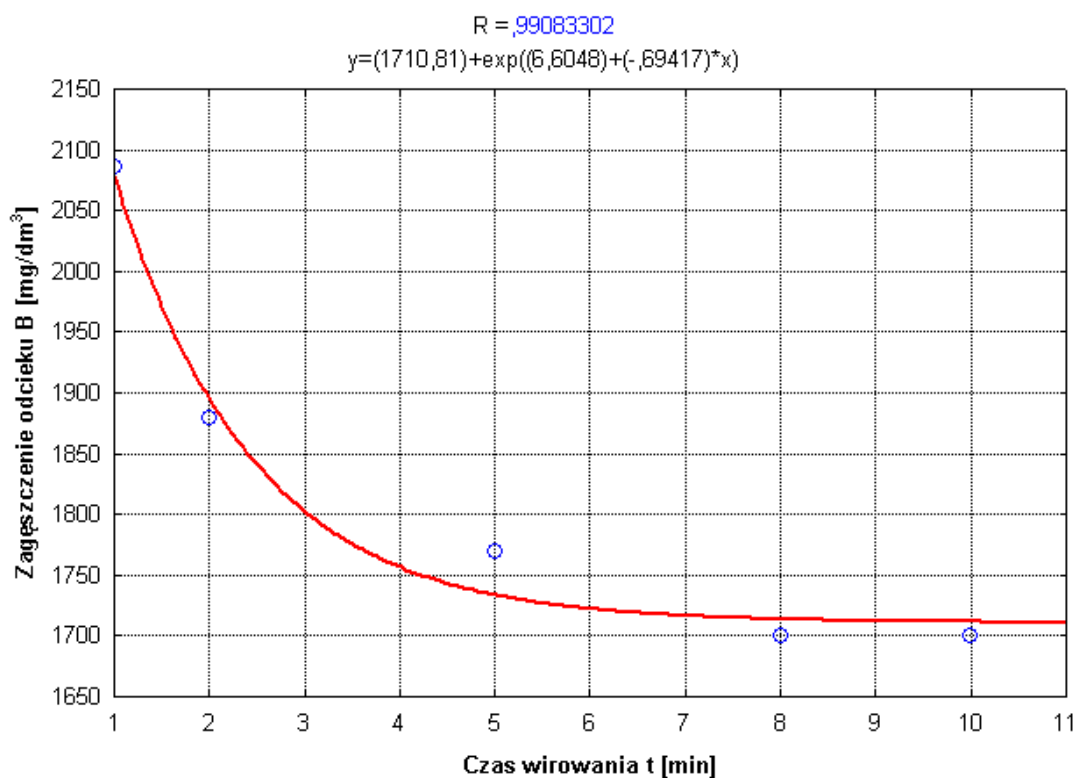
$n \in 1000\text{--}3000$ obr/min,

$C_{F/O} \in 0\text{--}48$ ml/dm³.

W tabeli 3.13 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.13. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	1	2500	28	2085,65
2	2			1879,05
3	5			1769,76
4	8			1700,12
5	10			1699,23



Rys. 3.25. Wpływ czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Wykres na rysunku 3.25 aproksymowano następującym równaniem

$$\beta(t) = 1710,81 + \exp(6,6048 - 0,69417 \cdot t) \quad (3.15)$$

gdzie:

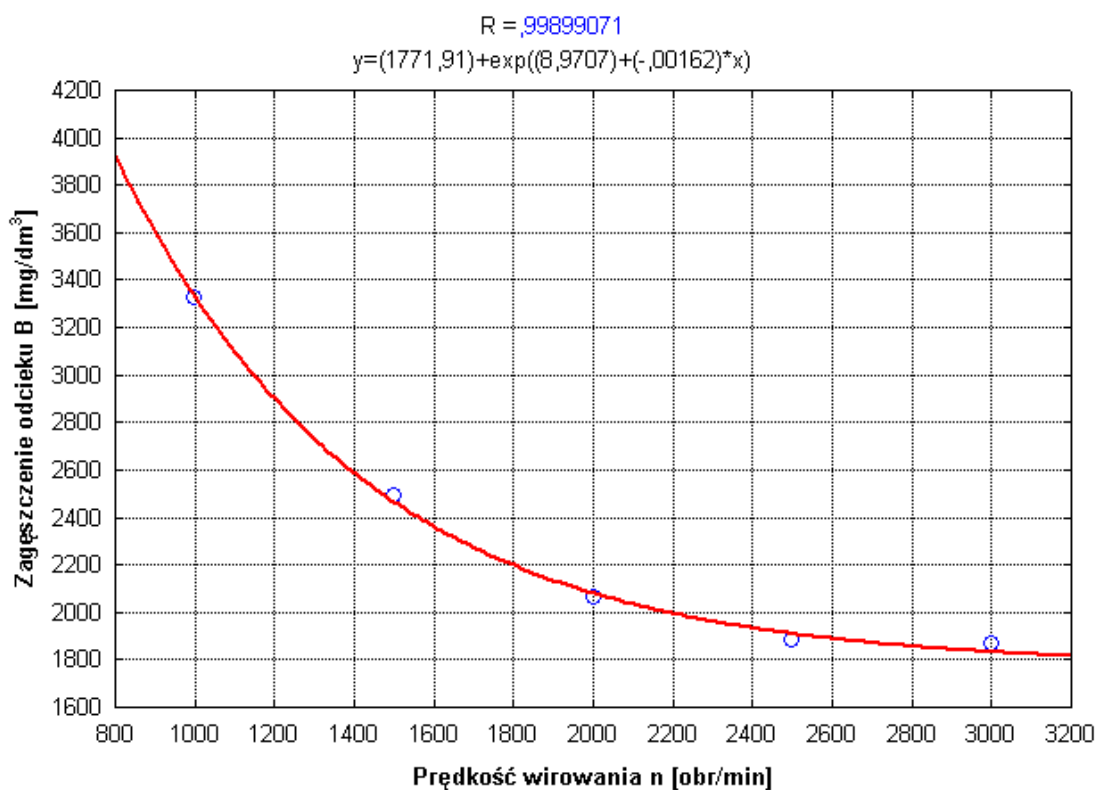
$\beta(t)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm³],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.14 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.14. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	1000	2	28	3326,01
2	1500			2491,94
3	2000			2060,33
4	2500			1879,05
5	3000			1864,80



Rys. 3.26. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$\beta(t, n) = 1,6448 \cdot 10^3 + \exp(6,6048 - 0,6942 \cdot t) + \exp(9,1788 - 0,0019 \cdot n) \quad (3.16)$$

gdzie:

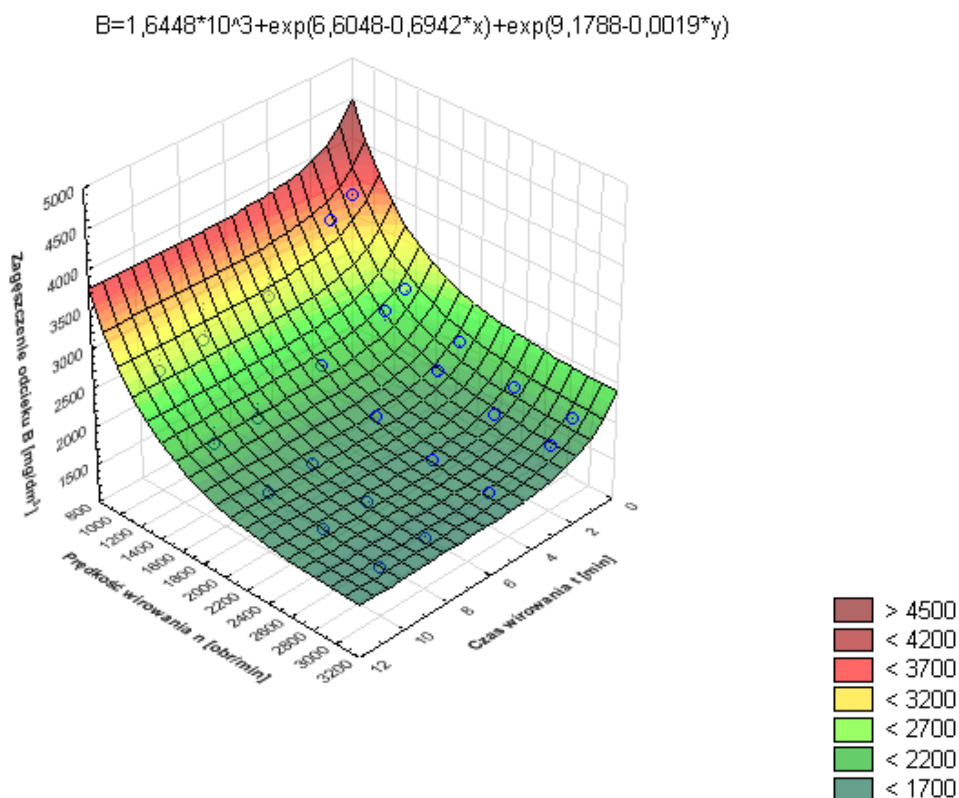
$\beta(t, n)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm^3],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } \beta(2, 2500) = 1,6448 \cdot 10^3 + \exp(6,6048 - 0,6942 \cdot 2) + \\ + \exp(9,1788 - 0,0019 \cdot 2500) = 1,92 \cdot 10^3$$

Na rysunku 3.27 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3].

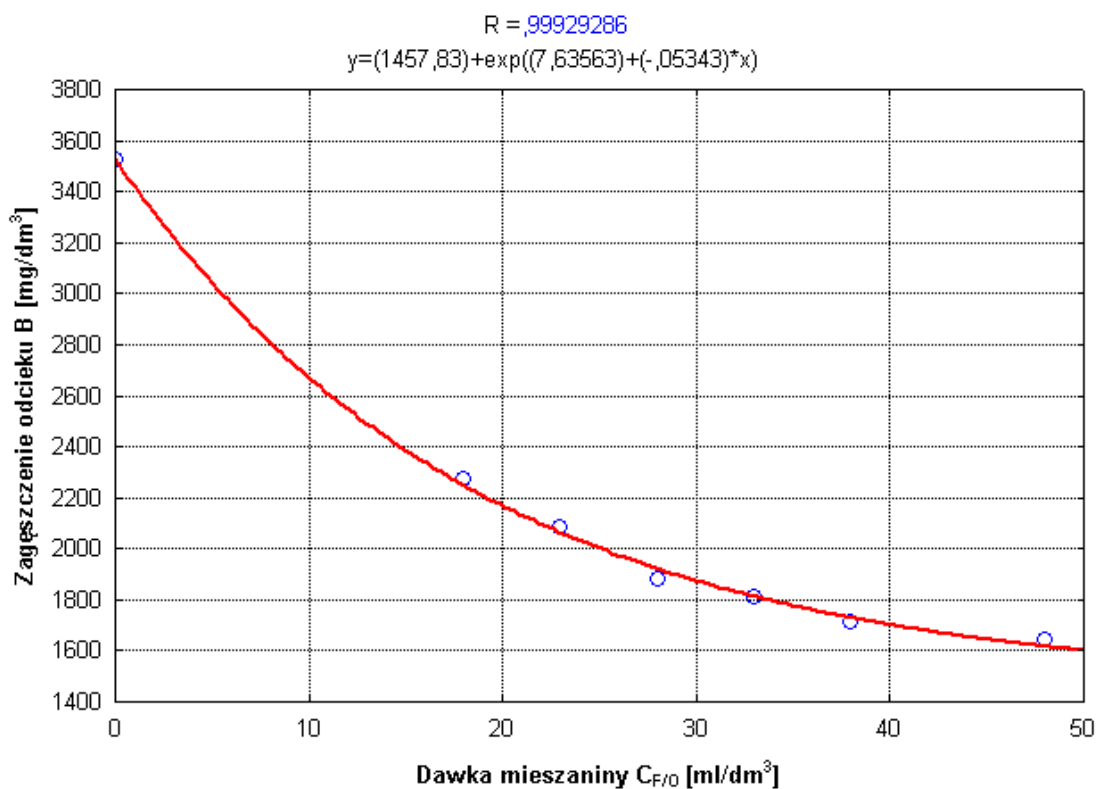


Rys. 3.27. Wykres zależności zagęszczenia odcieku β [mg/dm^3] w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (79%) + olej (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$

W tabeli 3.15 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm^3] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3].

Tabela 3.15. Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant (79%) + olej (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	0	2500	2	3525,08
2	18			2270,63
3	23			2083,77
4	28			1879,05
5	33			1806,61
6	38			1715,11
7	48			1642,84



Rys. 3.28. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (79%) + olej (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$\beta(t, n, C_{F/O}) = 1,128 \cdot 10^3 + \exp(6,6048 - 0,6942 \cdot t) + \exp(9,1788 - 0,0019 \cdot n) + \exp(7,6811 - 0,0504 \cdot C_{F/O}) \quad (3.17)$$

gdzie:

$\beta(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm^3],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

$C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%) [ml/dm^3].

$$\text{Spr.: } \beta(2, 2500, 28) = 1,128 \cdot 10^3 + \exp(6,6048 - 0,6942 \cdot 2) + \\ + \exp(9,1788 - 0,0019 \cdot 2500) + \exp(7,6811 - 0,0504 \cdot 28) = 1,924 \cdot 10^3$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1\text{--}10$ min,

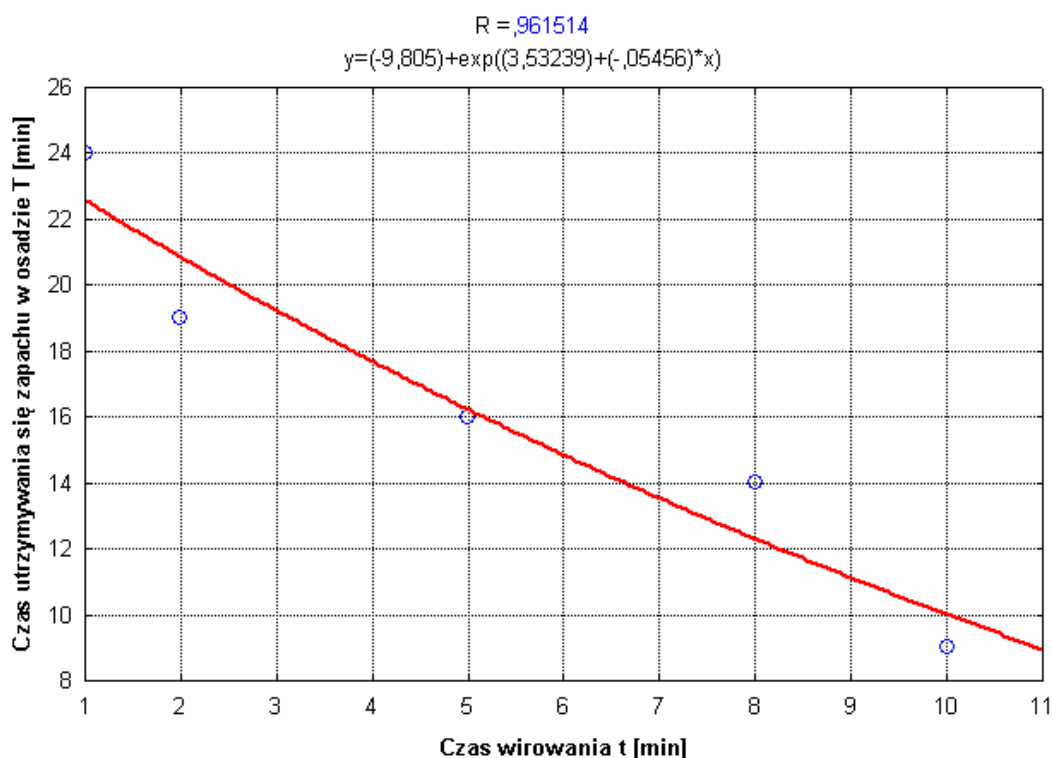
$n \in 1000\text{--}3000$ obr/min,

$C_{F/O} \in 0\text{--}48$ ml/ dm^3 .

W tabeli 3.16 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.16. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm^3]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	1	2500	28	24
2	2			19
3	5			16
4	8			14
5	10			9



Rys. 3.29. Wpływ czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Wykres na rysunku 3.29 aproksymowano następującym równaniem

$$T(t) = -9,805 + \exp(3,53239 - 0,05456 \cdot t) \quad (3.18)$$

gdzie:

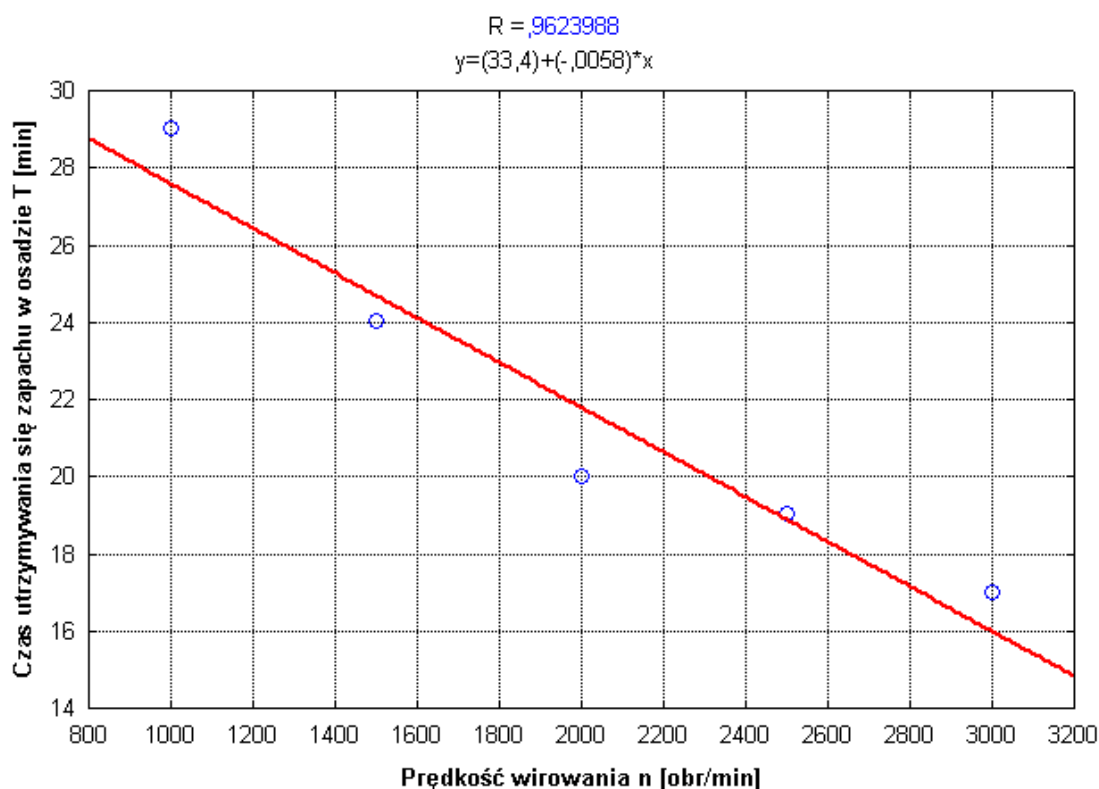
$T(t)$ – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.17 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.17. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	1000	2	28	29
2	1500			24
3	2000			20
4	2500			19
5	3000			17



Rys. 3.30. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$T(t, n) = 4,33 + \exp(3,5324 - 0,0546 \cdot t) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot n \quad (3.19)$$

gdzie:

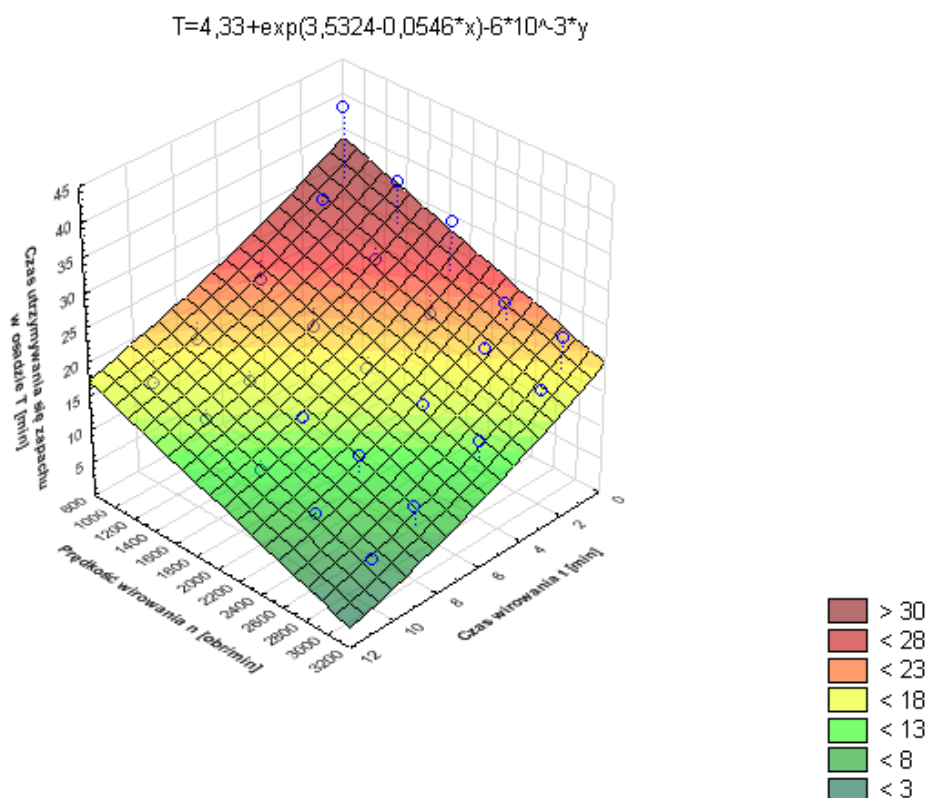
$T(t, n)$ – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } T(2, 2500) = 4,33 + \exp(3,5324 - 0,0546 \cdot 2) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 20$$

Na rysunku 3.31 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

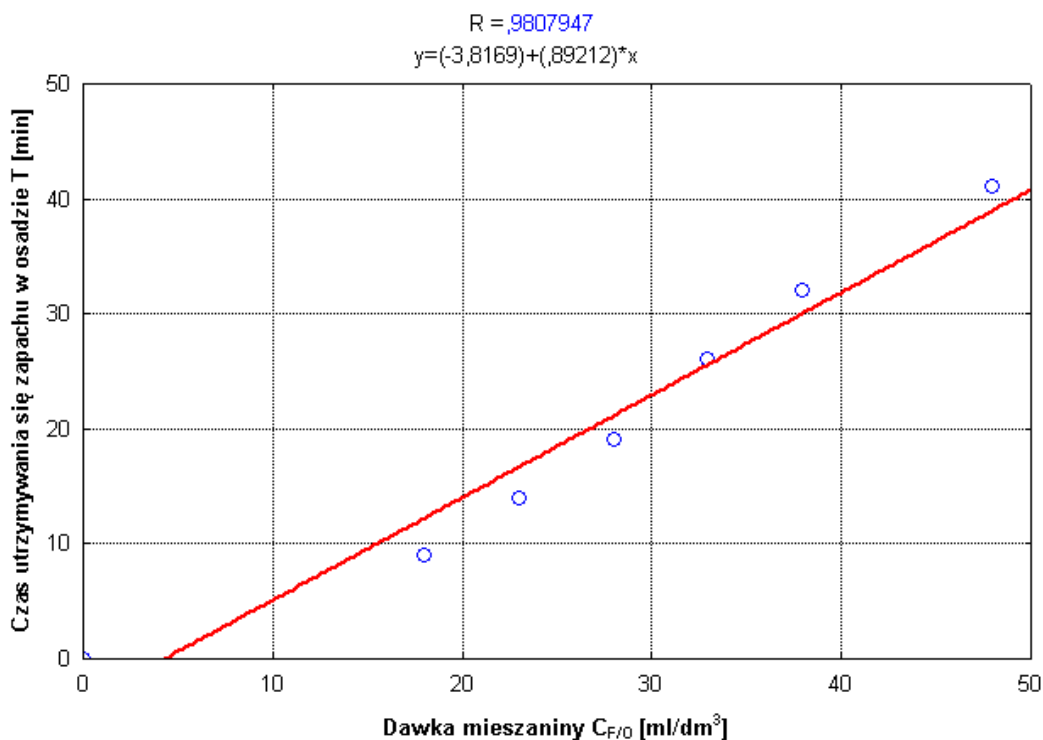


Rys. 3.31. Wykres zależności czasu utrzymywania się zapachu T [min] w osadzie w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$

W tabeli 3.18 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.18. Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka flokulant (79%)+olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	0	2500	2	0
2	18			9
3	23			14
4	28			19
5	33			26
6	38			32
7	48			41



Rys. 3.32. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (79%) + olejek (21%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$T(t, n, C_{F/O}) = -27,367 + \exp(3,5324 - 0,0546 \cdot t) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot n + 1,15 \cdot C_{F/O} \quad (3.20)$$

gdzie:

$T(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

$C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) [ml/dm³].

Spr.: $T(2, 2500, 28) = -27,367 + \exp(3,5324 - 0,0546 \cdot 2) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 + 1,15 \cdot 28 = 20,5$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1-10$ min,

$n \in 1000-3000$ obr/min,

$C_{F/O} \in 0-48$ ml/dm³.

3.4.4. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%)

Wyniki z przeprowadzonych badań laboratoryjnych odwadniania osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) zestawiono w załączniku. Do wyprowadzenia równań aproksymacyjnych metodą punktu centralnego wybrano część z tych wyników, które przedstawiono poniżej.

W tabeli 3.19 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.19. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka flokulant (50%)+olej z pomarańczy (50%) C_{FO} [ml/dm ³]	Wilgotność osadu W [%]
1	1	2500	28	91,28
2	2			90,47
3	5			88,86
4	8			88,14
5	10			87,82

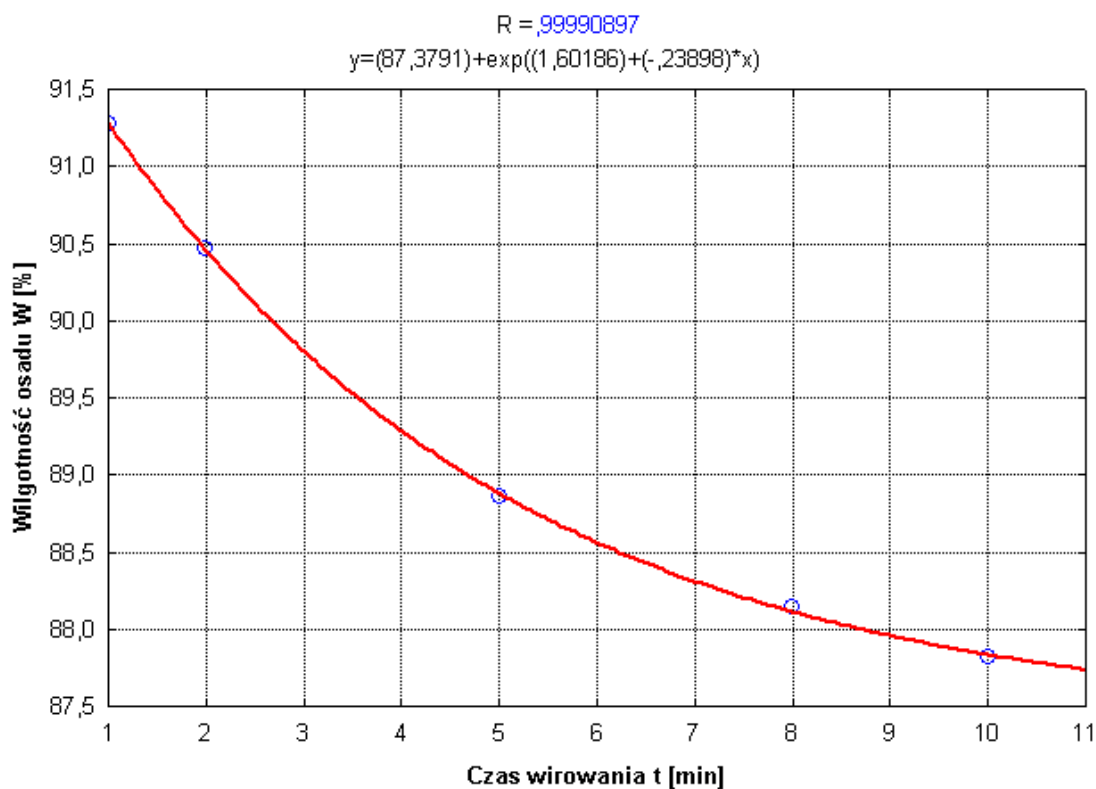
Wykres na rysunku 3.33 aproksymowano następującym równaniem

$$W(t) = 87,3791 + \exp(1,60186 - 0,23898 \cdot t) \quad (3.21)$$

gdzie:

$W(t)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min].

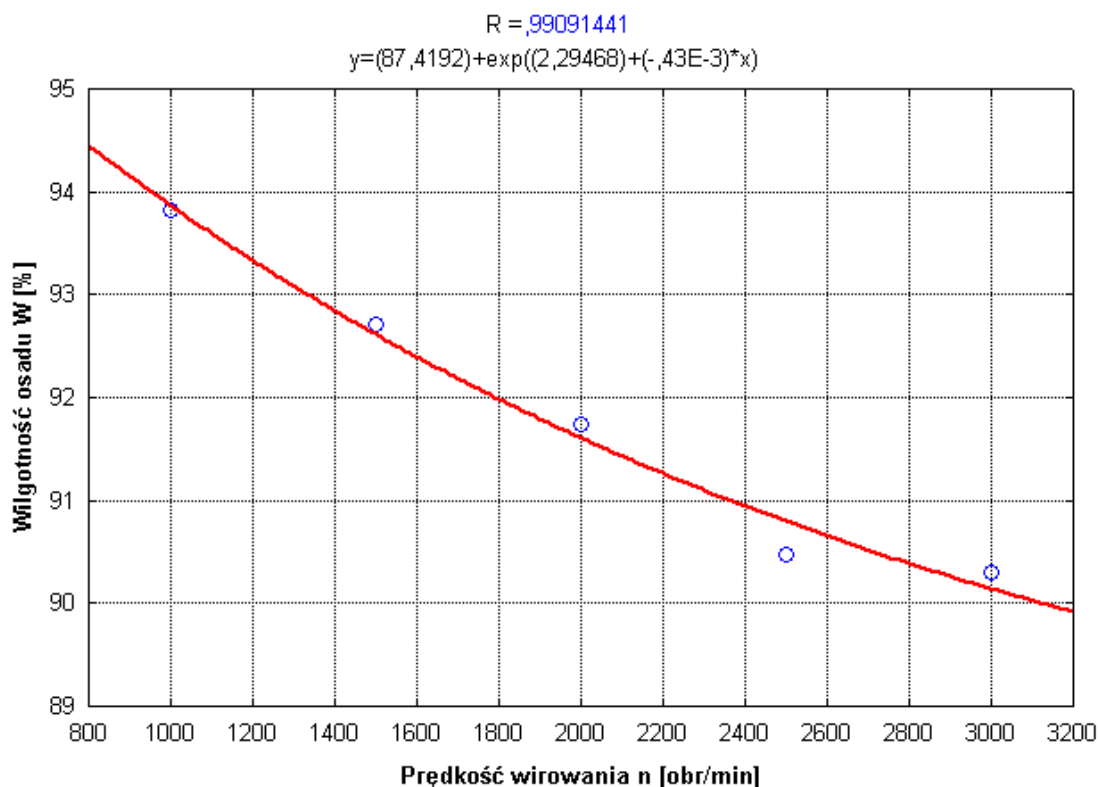


Rys. 3.33. Wpływ czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

W tabeli 3.20 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.20. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka flokulant (50%)+olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Wilgotność osadu W [%]
1	1000	2	28	93,81
2	1500			92,71
3	2000			91,74
4	2500			90,47
5	3000			90,30



Rys. 3.34. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$W(t, n) = 83,932 + \exp(1,6019 - 0,2390 \cdot t) + \exp(2,28 - 3,6290 \cdot 10^{-4} \cdot n) \quad (3.22)$$

gdzie:

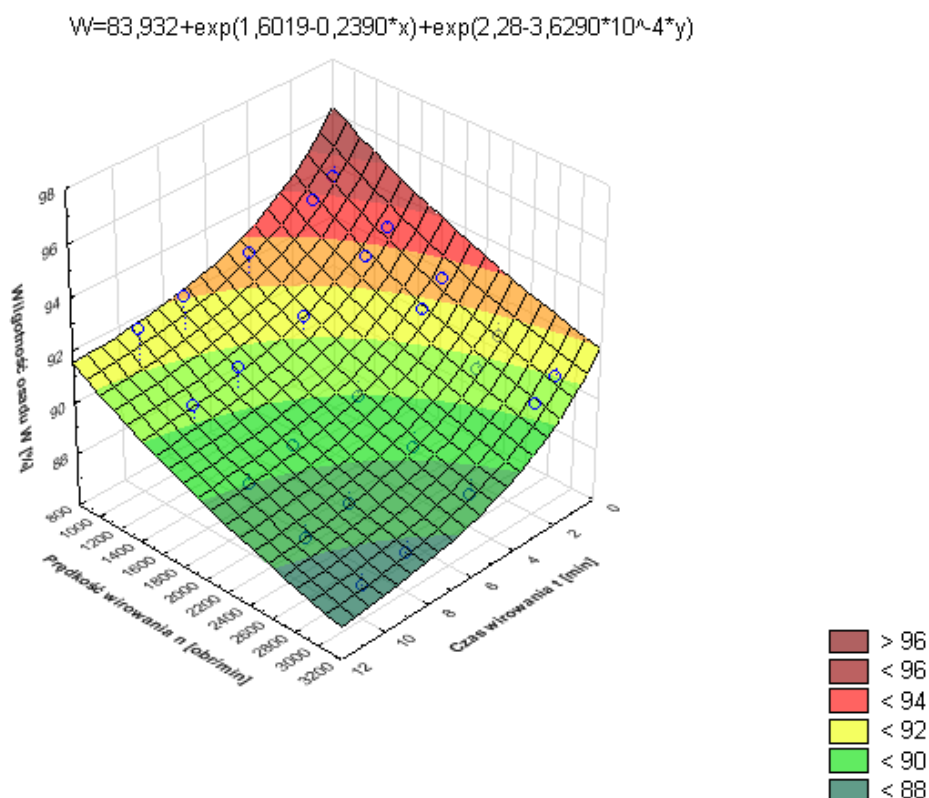
$W(t, n)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } W(2, 2500) = 83,932 + \exp(1,6019 - 0,2390 \cdot 2) + \exp(2,28 - 3,6290 \cdot 10^{-4} \cdot 2500) = 90,955$$

Na rysunku 3.35 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%].

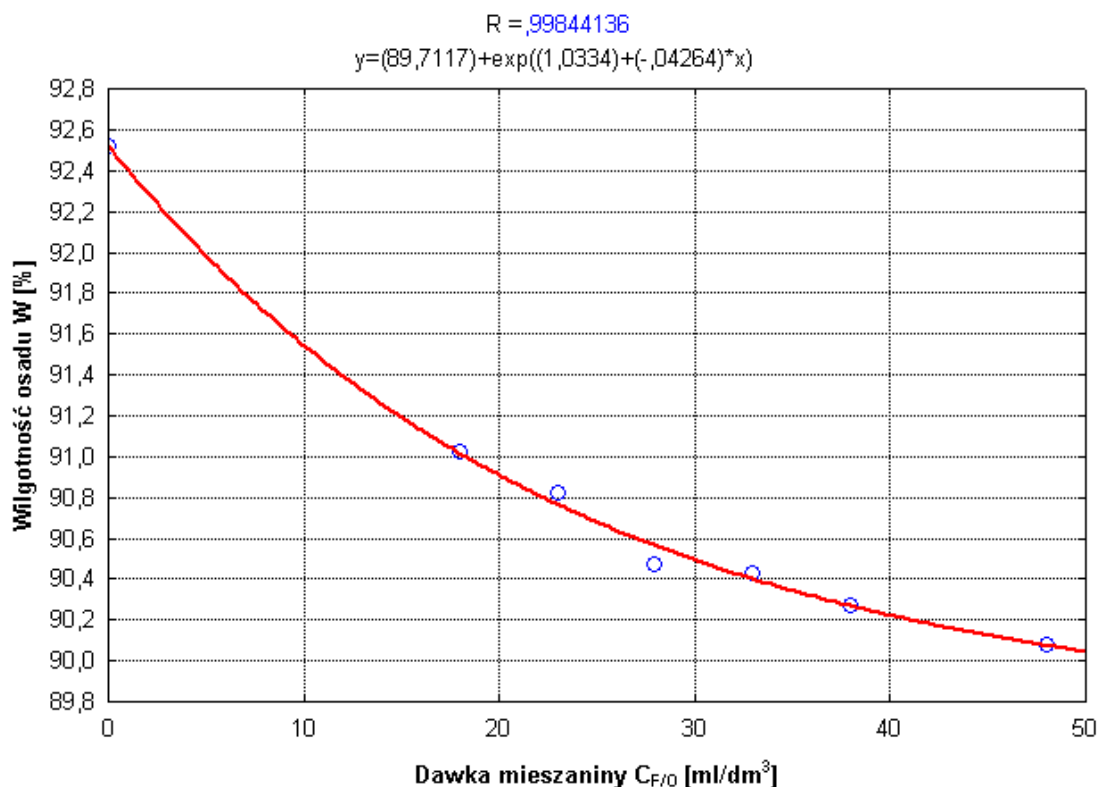


Rys. 3.35. Wykres zależności procentowej zawartości wilgoci W [%] w osadzie w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$

W tabeli 3.21 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant Prestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.21. Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka flokulant (50%)+olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Wilgotność osadu W [%]
1	0	2500	2	92,52
2	18			91,02
3	23			90,82
4	28			90,47
5	33			90,43
6	38			90,27
7	48			90,08



Rys. 3.36. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$W(t, n, C_{F/O}) = 81,749 + \exp(1,6019 - 0,2390 \cdot t) + \exp(2,28 - 3,6290 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \exp(1,1755 - 0,0203 \cdot C_{F/O}) \quad (3.23)$$

gdzie:

$W(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

$C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) [ml/dm³].

$$\text{Spr.: } W(2, 2500, 28) = 81,749 + \exp(1,6019 - 0,2390 \cdot 2) + \exp(2,28 - 3,6290 \cdot 10^{-4} \cdot 2500) + \exp(1,1755 - 0,0203 \cdot 28) = 90,607$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1\text{--}10 \text{ min}$,

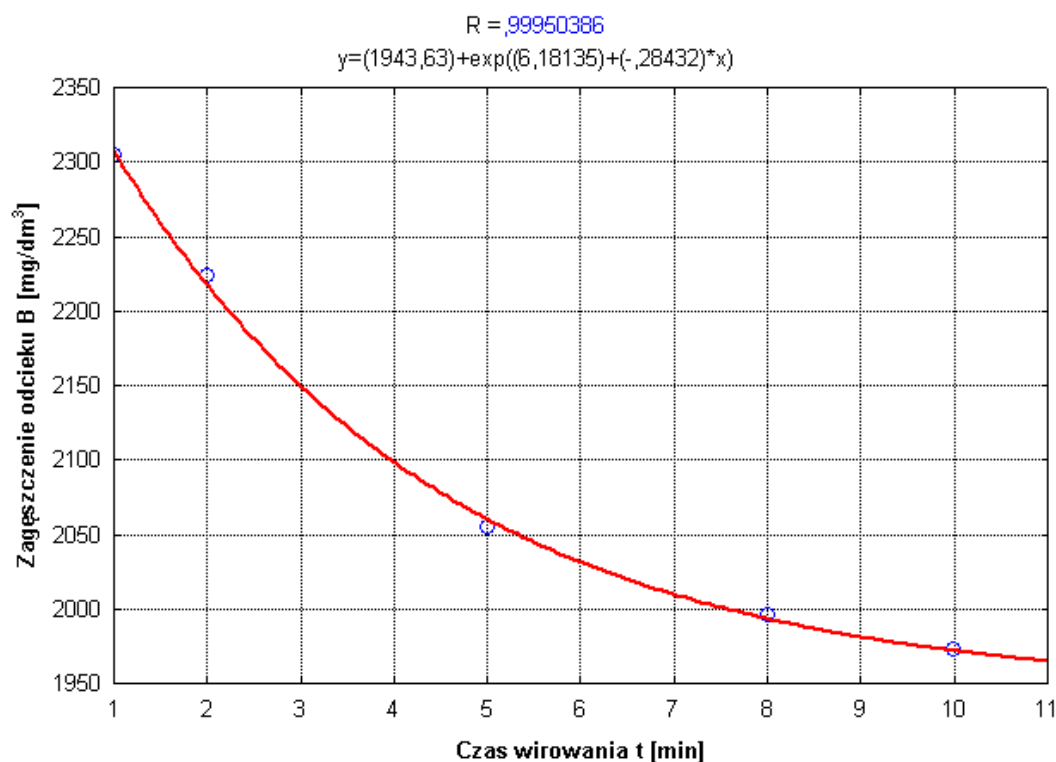
$n \in 1000\text{--}3000 \text{ obr/min}$,

$C_{F/O} \in 0\text{--}48 \text{ ml/dm}^3$.

W tabeli 3.22 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.22. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka flokulant (50%)+olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	1	2500	28	2304,22
2	2			2223,92
3	5			2054,94
4	8			1995,17
5	10			1972,39



Rys. 3.37. Wpływ czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Wykres na rysunku 3.37 aproksymowano następującym równaniem

$$\beta(t) = 1943,63 + \exp(6,18135 - 0,28432 \cdot t) \quad (3.24)$$

gdzie:

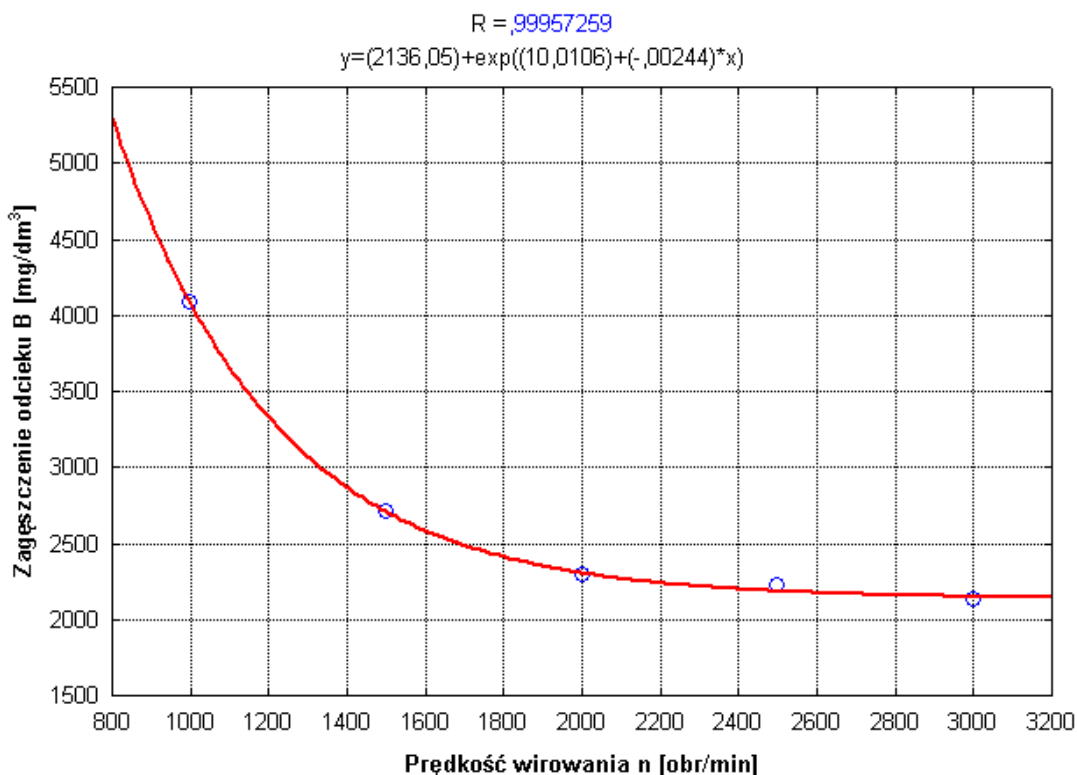
$\beta(t)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm^3],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.23 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3].

Tabela 3.23. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka flokulant (50%)+olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm^3]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]
1	1000	2	28	4079,23
2	1500			2710,29
3	2000			2292,94
4	2500			2223,92
5	3000			2125,26



Rys. 3.38. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$\beta(t, n) = 1,834 \cdot 10^3 + \exp(6,1813 - 0,2843 \cdot t) + \exp(9,9523 - 0,0024 \cdot n) \quad (3.25)$$

gdzie:

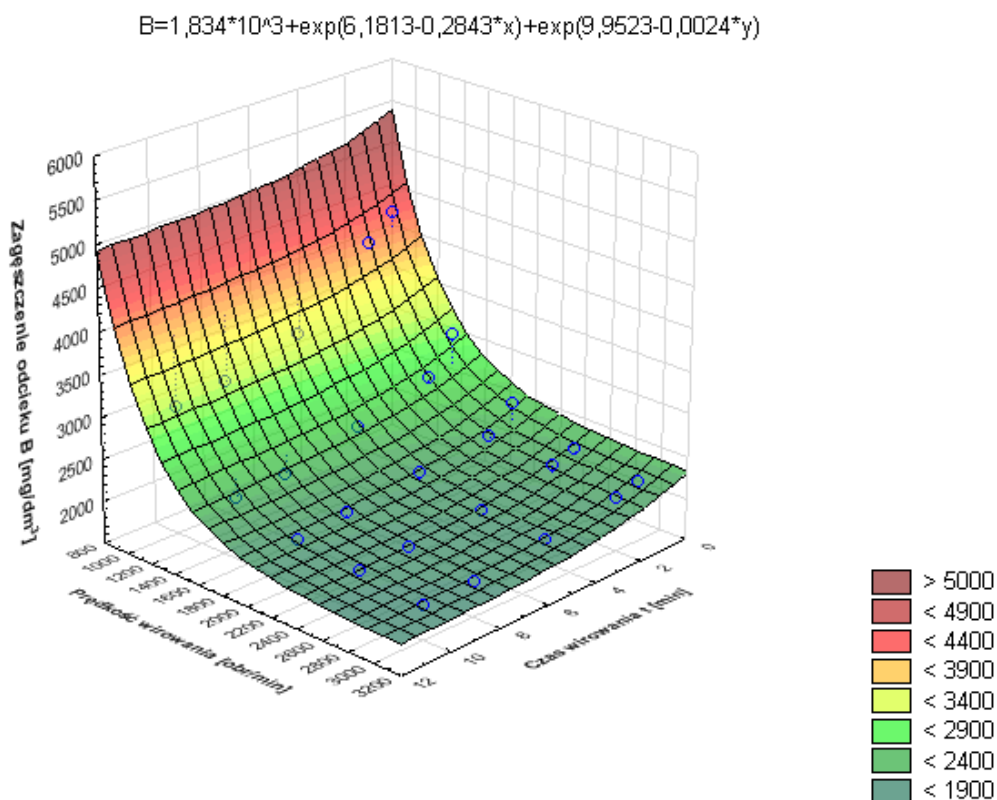
$\beta(t, n)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm^3],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } \beta(2, 2500) = 1,834 \cdot 10^3 + \exp(6,1813 - 0,2843 \cdot 2) + \exp(9,9523 - 0,0024 \cdot 2500) = 2,165 \cdot 10^3$$

Na rysunku 3.39 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3].

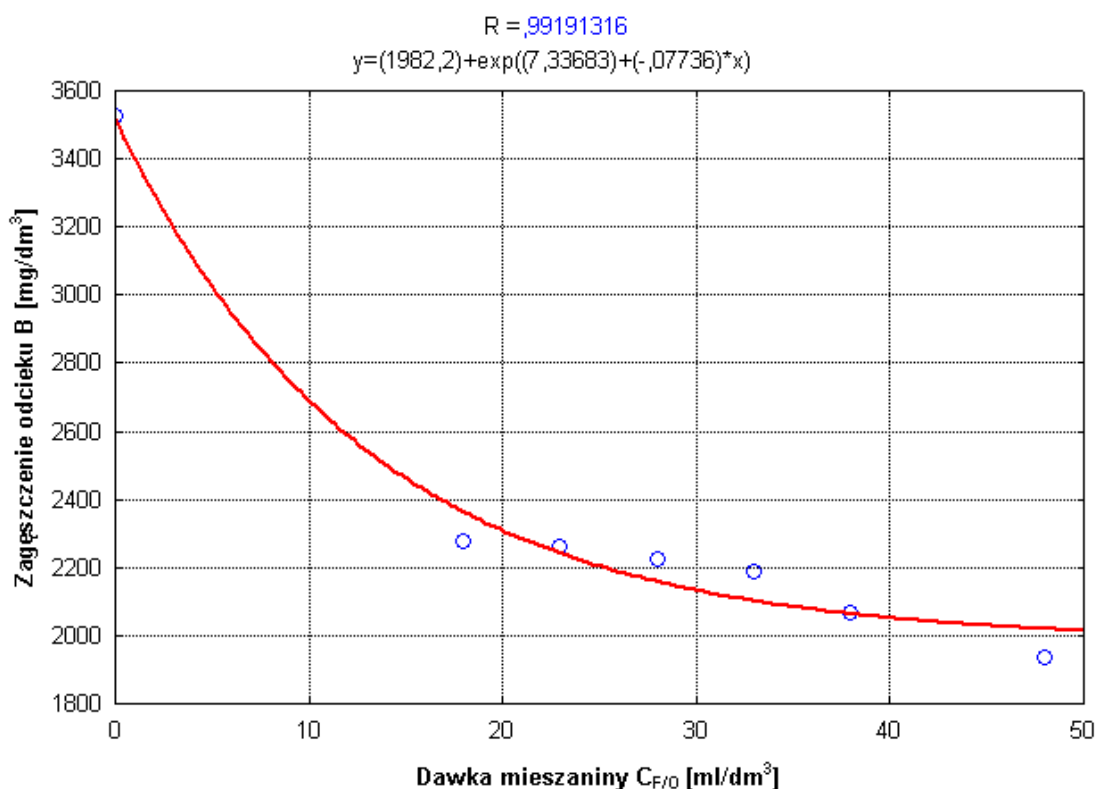


Rys. 3.39. Wykres zależności zagęszczenia odcieku β [mg/dm^3] w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$

W tabeli 3.24 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.24. Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka flokulant (50%)+olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	0	2500	2	3525,08
2	18			2273,61
3	23			2261,91
4	28			2223,92
5	33			2184,24
6	38			2064,83
7	48			1932,75



Rys. 3.40. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$\beta(t, n, C_{F/O}) = 1,637 \cdot 10^3 + \exp(6,1813 - 0,2843 \cdot t) + \exp(9,9523 - 0,0024 \cdot n) + \exp(7,3536 - 0,0719 \cdot C_{F/O}) \quad (3.26)$$

gdzie:

$\beta(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm^3],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

$C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) [ml/dm^3].

$$\text{Spr.: } \beta(2, 2500, 28) = 1,637 \cdot 10^3 + \exp(6,1813 - 0,2843 \cdot 2) + \exp(9,9523 - 0,0024 \cdot 2500) + \exp(7,3536 - 0,0719 \cdot 28) = 2,172 \cdot 10^3$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1\text{--}10$ min,

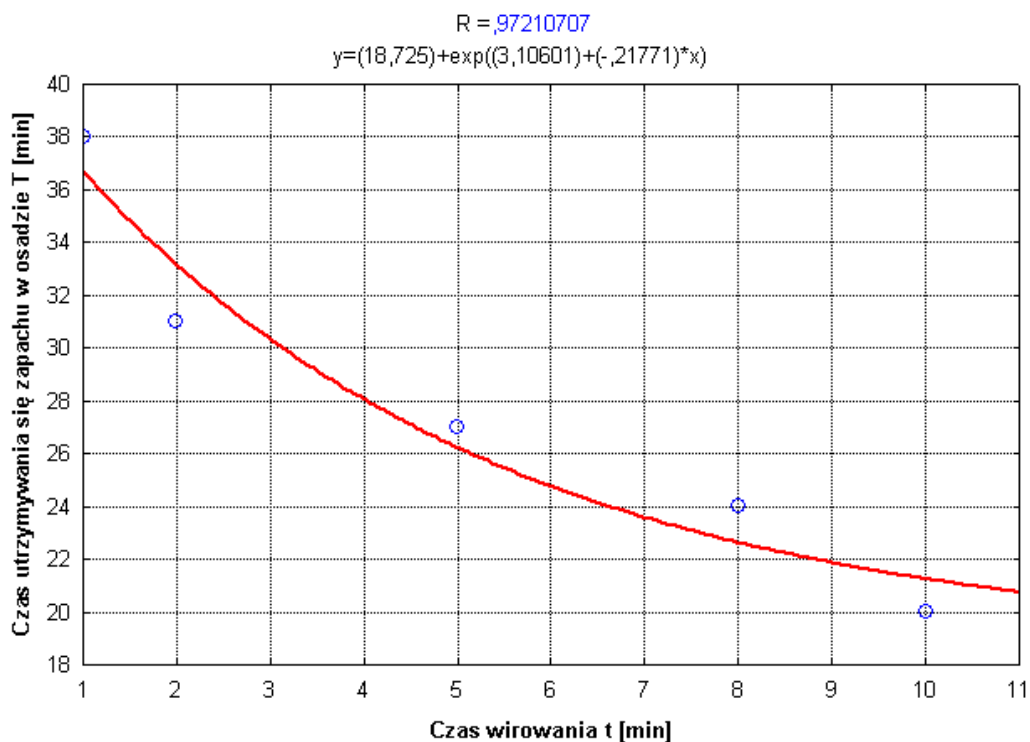
$n \in 1000\text{--}3000$ obr/min,

$C_{F/O} \in 0\text{--}48$ ml/dm^3 .

W tabeli 3.25 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.25. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka flokulant (50%)+olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm^3]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	1	2500	28	38
2	2			31
3	5			27
4	8			24
5	10			20



Rys. 3.41. Wpływ czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Wykres na rysunku 3.41 aproksymowano następującym równaniem

$$T(t) = 18,725 + \exp(3,10601 - 0,21771 \cdot t) \quad (3.27)$$

gdzie:

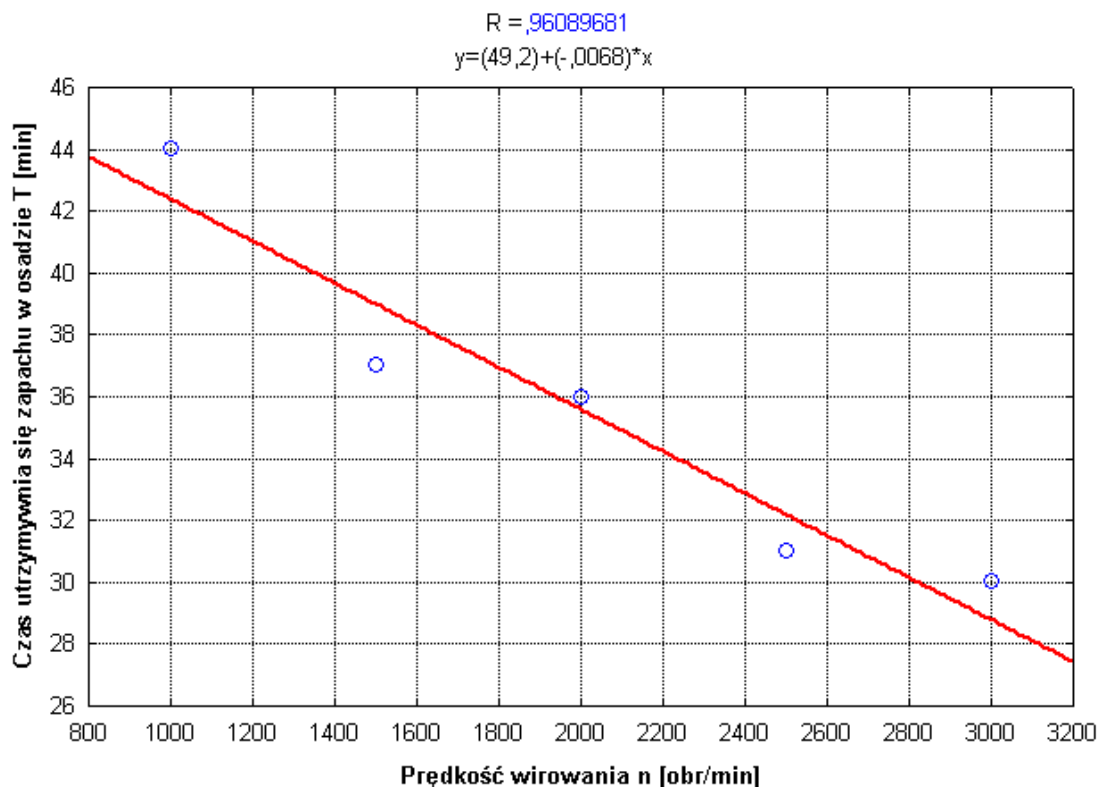
$T(t)$ – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.26 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.26. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka flokulant (50%)+olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	1000	2	28	44
2	1500			37
3	2000			36
4	2500			31
5	3000			30



Rys. 3.42. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$T(t, n) = 36,552 + \exp(3,1060 - 0,2177 \cdot t) - 7 \cdot 10^{-3} \cdot n \quad (3.28)$$

gdzie:

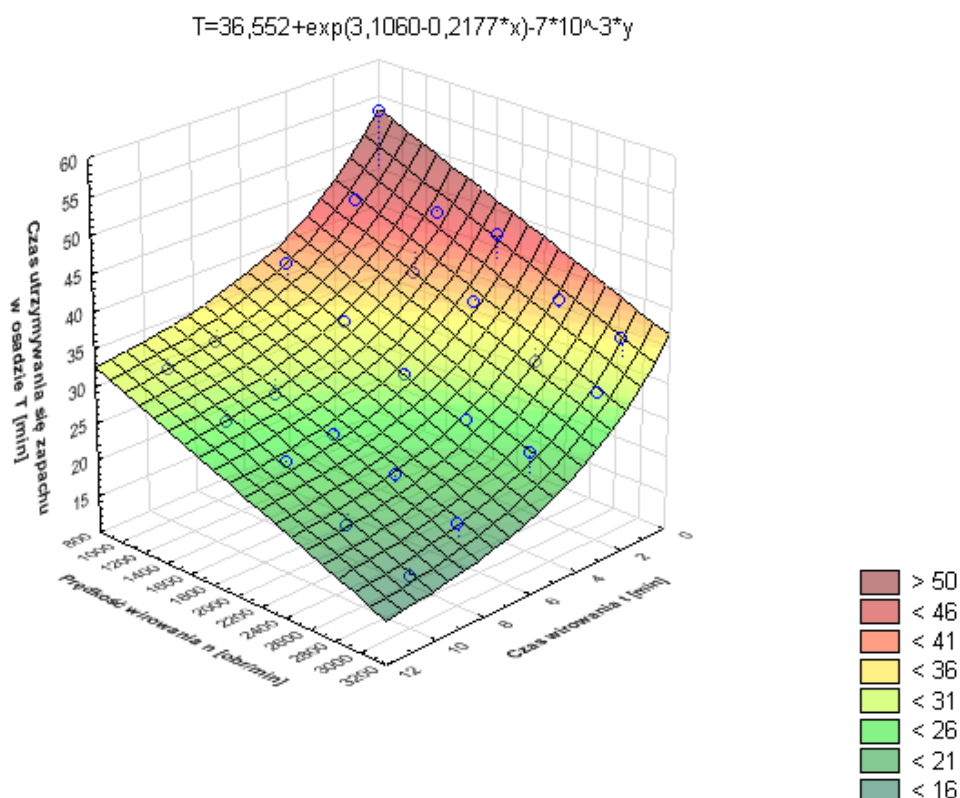
$W(t, n)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } T(2, 2500) = 36,552 + \exp(3,1060 - 0,2177 \cdot 2) - 7 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 33,5$$

Na rysunku 3.43 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

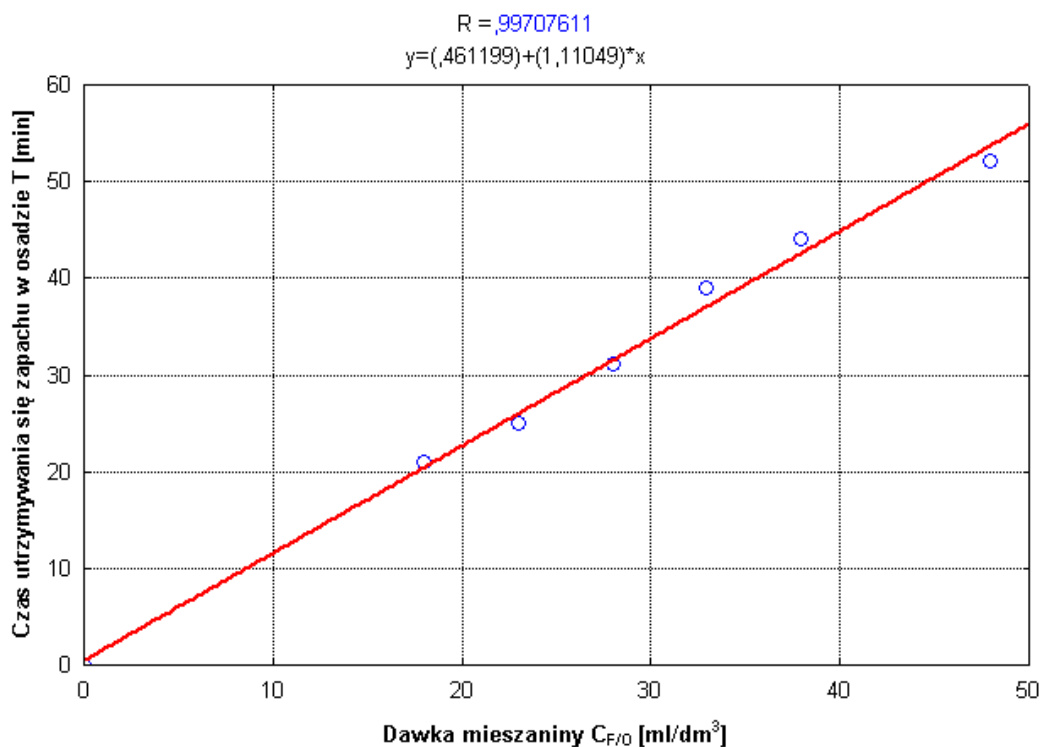


Rys. 3.43. Wykres zależności czasu utrzymywania się zapachu T [min] w osadzie w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O} = 28 \text{ ml/dm}^3$

W tabeli 3.27 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.27. Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	0	2500	2	0
2	18			21
3	23			25
4	28			31
5	33			39
6	38			44
7	48			52



Rys. 3.44. Wpływ dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O}$ [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$T(t, n, C_{F/O}) = 3,351 + \exp(3,1060 - 0,2177 \cdot t) - 7 \cdot 10^{-3} \cdot n + 1,15 \cdot C_{F/O} \quad (3.29)$$

gdzie:

$T(t, n, C_{F/O})$ – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

$C_{F/O}$ – dawka mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) [ml/dm³].

$$\text{Spr.: } T(2, 2500, 28) = 3,351 + \exp(3,1060 - 0,2177 \cdot 2) - 7 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 + 1,15 \cdot 28 = 32,5$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1-10$ min,

$n \in 1000-3000$ obr/min,

$C_{F/O} \in 0-48$ ml/dm³.

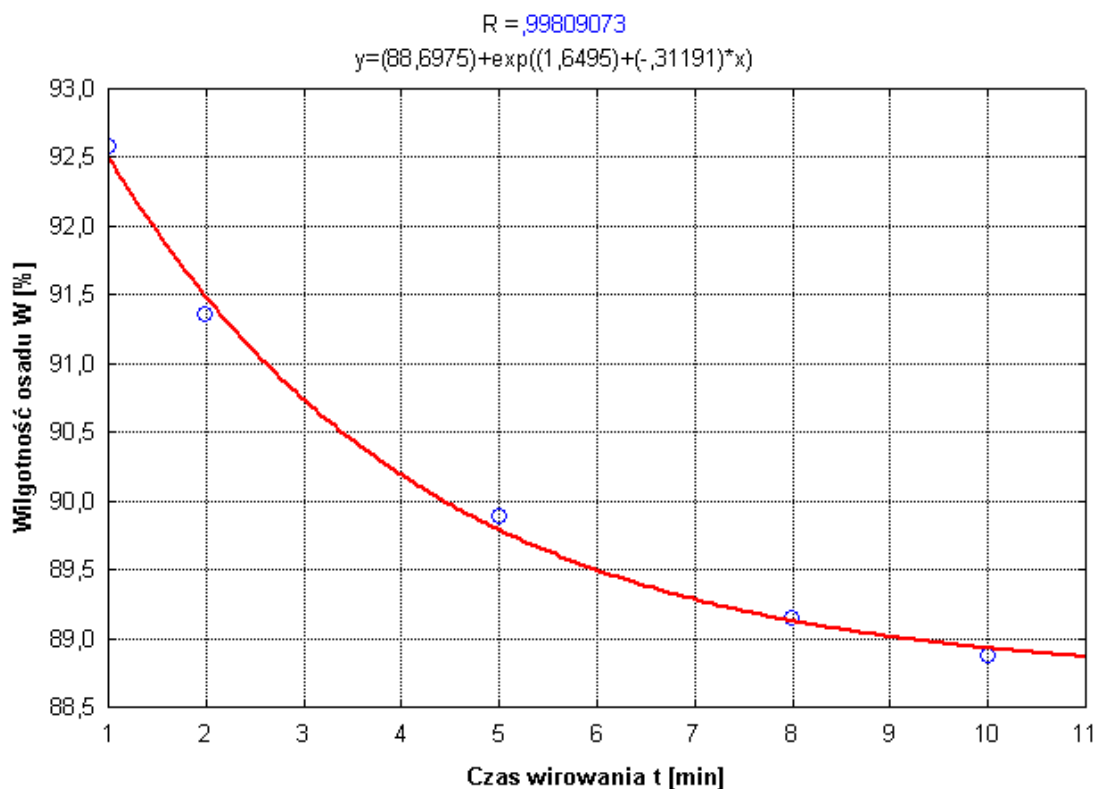
3.4.5. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy

Wyniki z przeprowadzonych badań laboratoryjnych odwadniania osadów ściekowych z zastosowaniem olejku z pomarańczy zestawiono w załączniku. Do wyprowadzenia równań aproksymacyjnych metodą punktu centralnego wybrano część z tych wyników, które przedstawiono poniżej.

W tabeli 3.28 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.28. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka olejku C_o [ml/dm ³]	Wilgotność osadu W [%]
1	1	2500	28	92,58
2	2			91,35
3	5			89,89
4	8			89,15
5	10			88,87



Rys. 3.45. Wpływ czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

Wykres na rysunku 3.45 aproksymowano następującym równaniem

$$W(t) = 88,6975 + \exp(1,6495 - 0,31191 \cdot t) \quad (3.30)$$

gdzie:

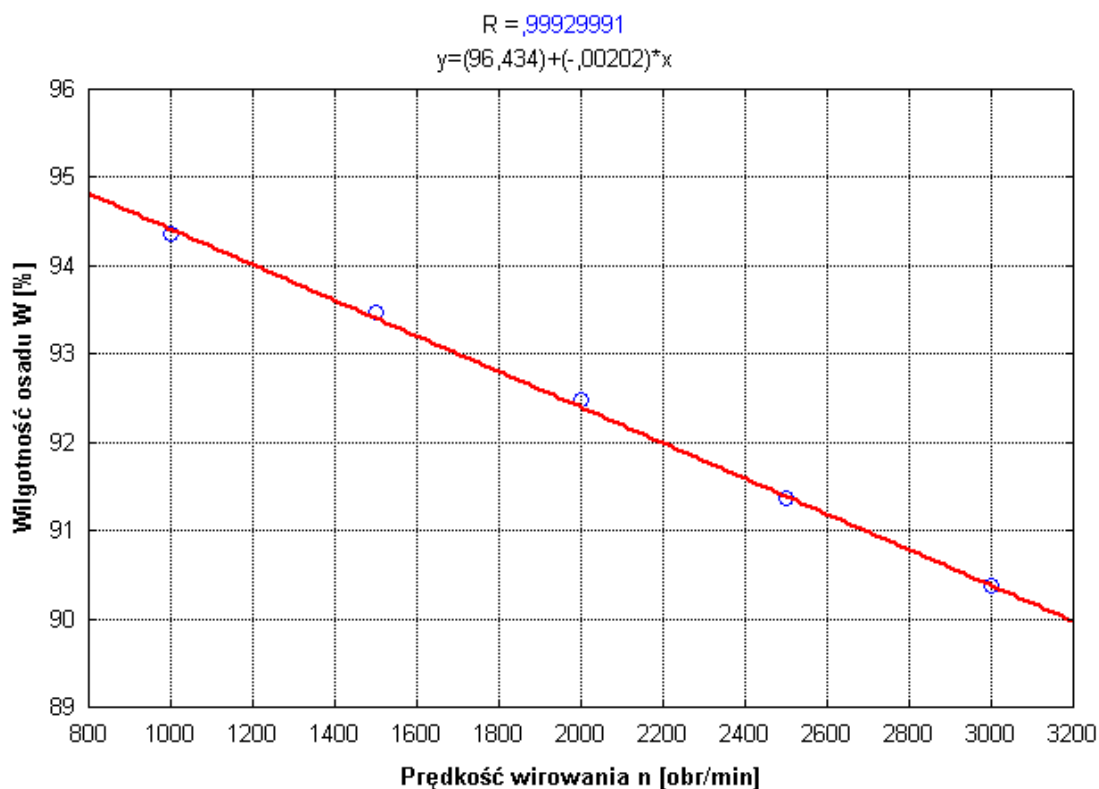
$W(t)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.29 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.29. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka oleju C_o [ml/dm ³]	Wilgotność osadu W [%]
1	1000	2	28	94,35
2	1500			93,46
3	2000			92,47
4	2500			91,35
5	3000			90,36



Rys. 3.46. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$W(t, n) = 93,556 + \exp(1,6495 - 0,3119 \cdot t) - 1,995 \cdot 10^{-3} \cdot n \quad (3.31)$$

gdzie:

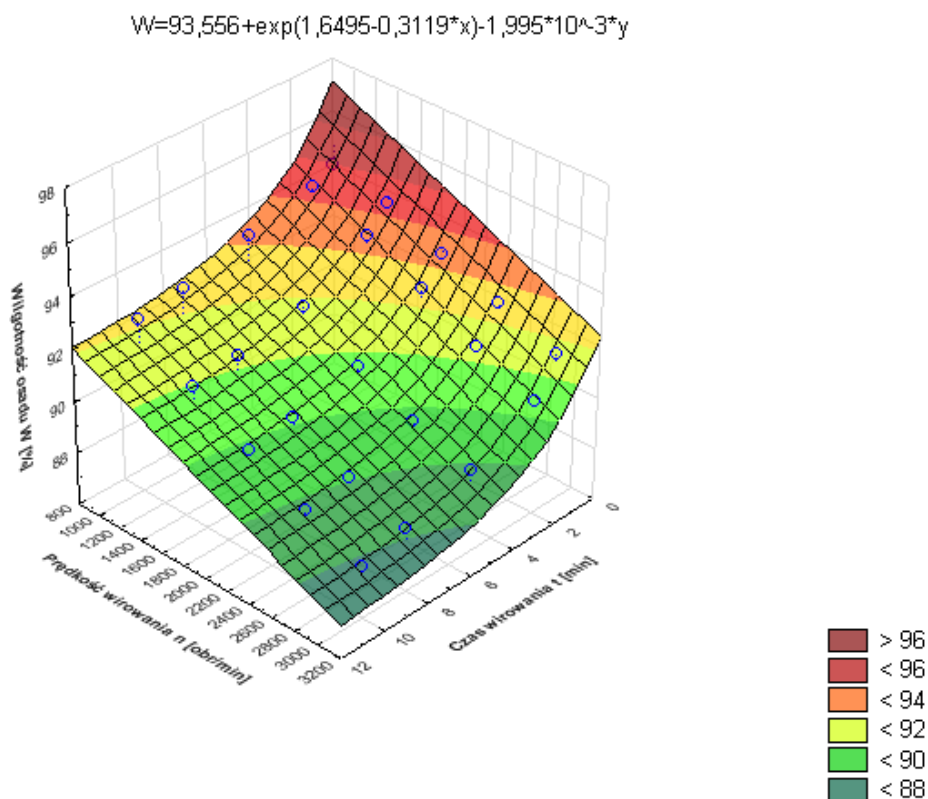
$W(t, n)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } W(2, 2500) = 93,556 + \exp(1,6495 - 0,3119 \cdot 2) - 1,995 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 91,358$$

Na rysunku 3.47 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki olejku z pomarańczy $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%].

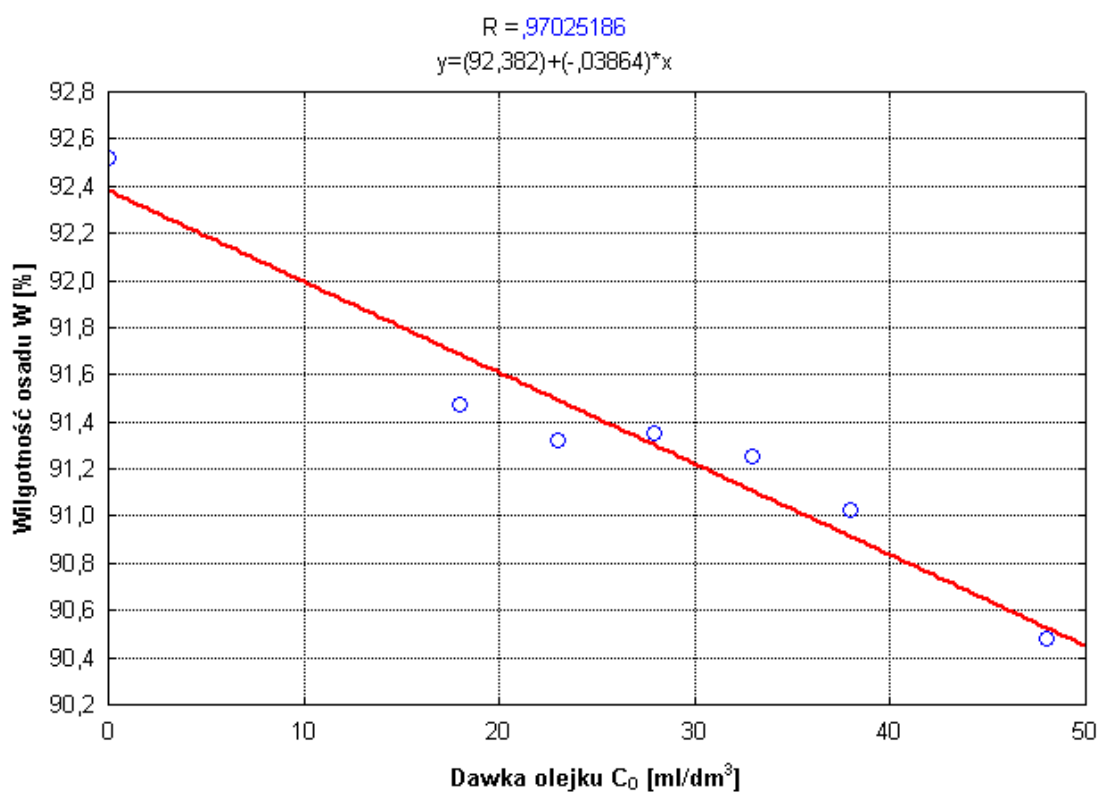


Rys. 3.47. Wykres zależności procentowej zawartości wilgoci W [%] w osadzie w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki olejku $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$

W tabeli 3.30 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy C_0 [ml/dm^3] na uwodnienie osadów W [%].

Tabela 3.30. Wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy C_0 [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka olejku C_0 [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Wilgotność osadu W [%]
1	0	2500	2	92,52
2	18			91,47
3	23			91,32
4	28			91,35
5	33			91,25
6	38			91,02
7	48			90,48



Rys. 3.48. Wpływ dawki olejku z pomarańczy C_0 [ml/dm³] na uwodnienie osadów W [%]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$W(t, n, C_0) = 94,262 + \exp(1,6495 - 0,3119 \cdot t) - 1,995 \cdot 10^{-3} \cdot n - 0,033 \cdot C_0 \quad (3.32)$$

gdzie:

$W(t, n, C_0)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

C_0 – dawka olejku z pomarańczy [ml/dm³].

$$\text{Spr.: } W(2, 2500, 28) = 94,262 + \exp(1,6495 - 0,3119 \cdot 2) - 1,995 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 - 0,033 \cdot 28 = 91,14$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1\text{--}10$ min,

$n \in 1000\text{--}3000$ obr/min,

$C_0 \in 0\text{--}48$ ml/dm³.

W tabeli 3.31 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.31. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka olejku C_0 [ml/dm ³]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	1	2500	28	4284,13
2	2			3802,35
3	5			3451,03
4	8			3233,34
5	10			3185,93

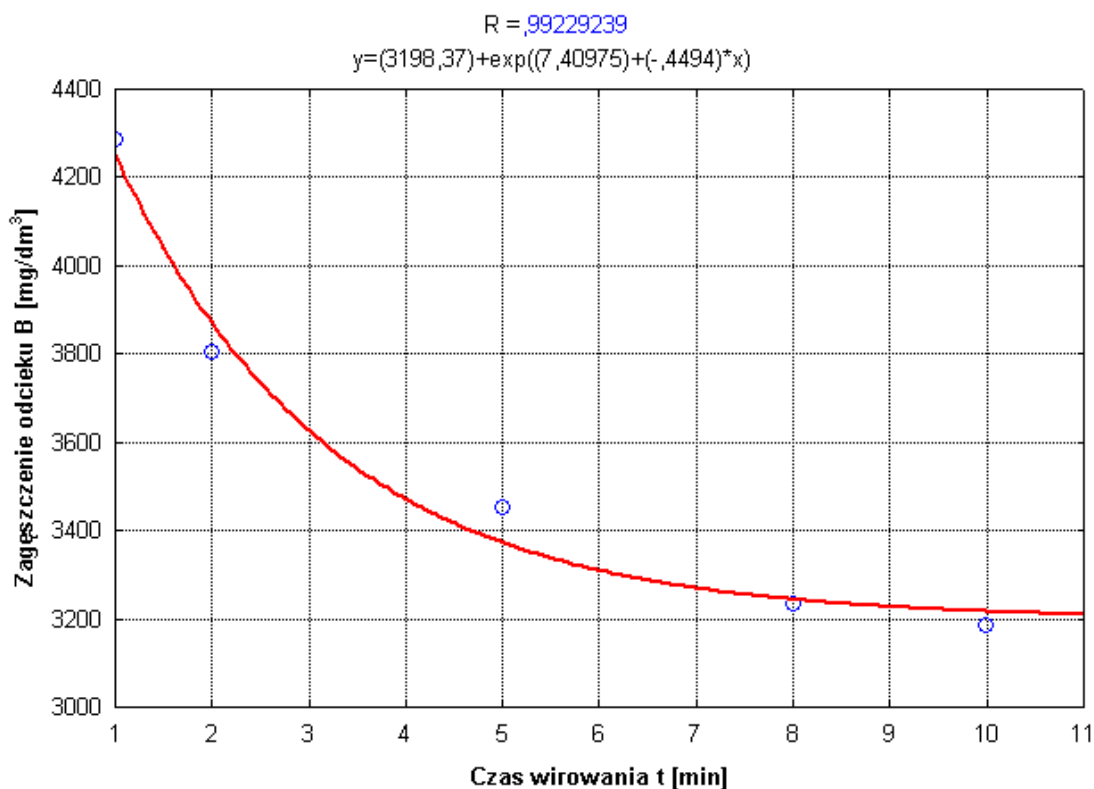
Wykres na rysunku 3.49 aproksymowano następującym równaniem

$$\beta(t) = 3198,37 + \exp(7,40975 - 0,4494 \cdot t) \quad (3.33)$$

gdzie:

$\beta(t)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm³],

t – czas wirowania [min].

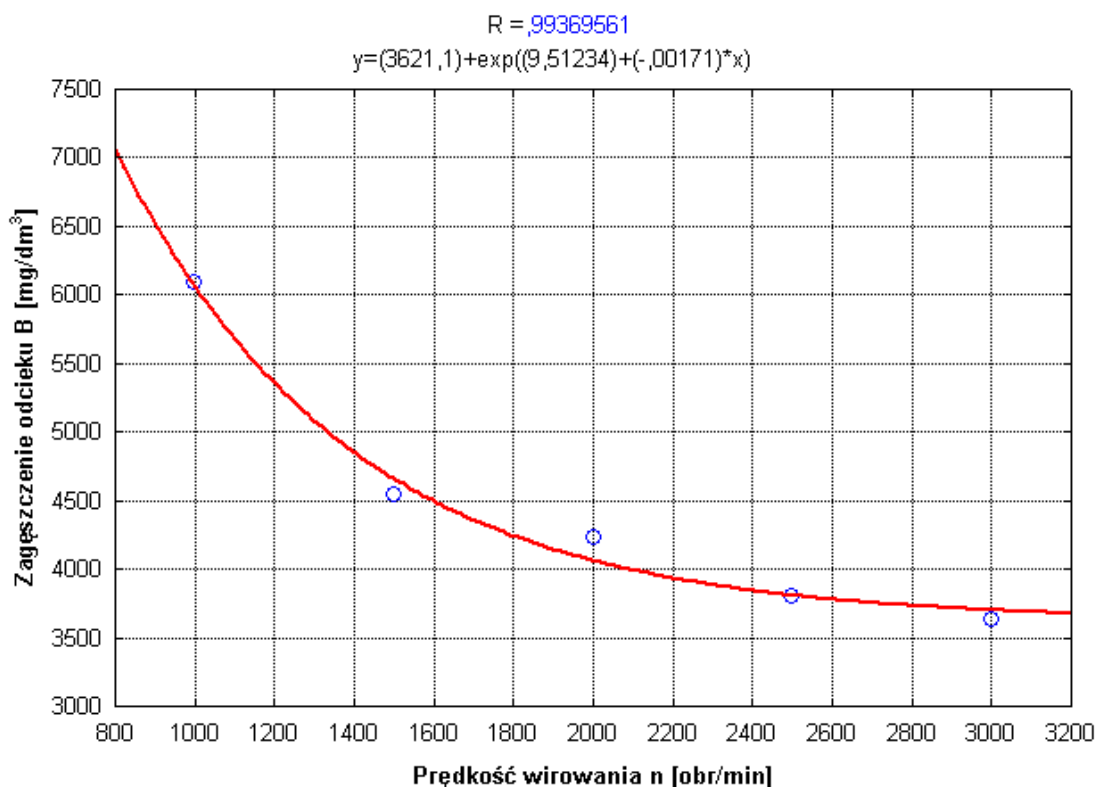


Rys. 3.49. Wpływ czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

W tabeli 3.32 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.32. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka olejku C_o [ml/dm³]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]
1	1000	2	28	6089,66
2	1500			4540,56
3	2000			4232,71
4	2500			3802,35
5	3000			3635,41



Rys. 3.50. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$\beta(t, n) = 2,6797 \cdot 10^3 + \exp(7,4097 - 0,4494 \cdot t) + \exp(9,0491 - 0,0011 \cdot n) \quad (3.34)$$

gdzie:

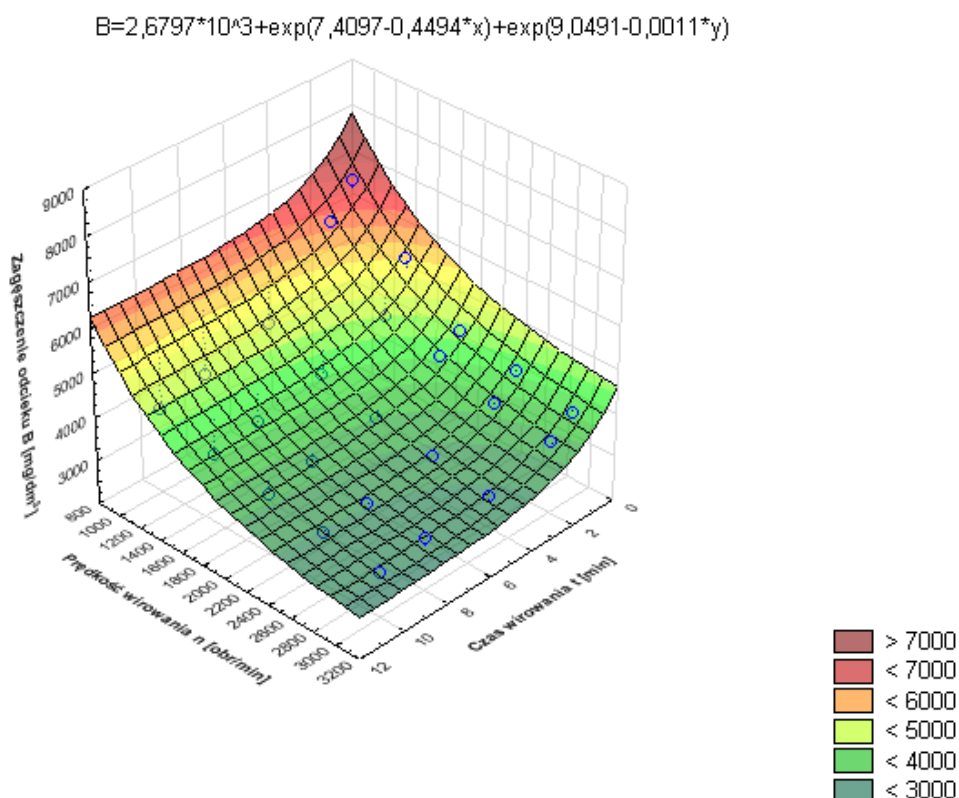
$\beta(t, n)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm³],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } \beta(2, 2500) = 2,6797 \cdot 10^3 + \exp(7,4097 - 0,4494 \cdot 2) + \exp(9,0491 - 0,0011 \cdot 2500) = 3,852 \cdot 10^3$$

Na rysunku 3.51 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki olejku z pomarańczy $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

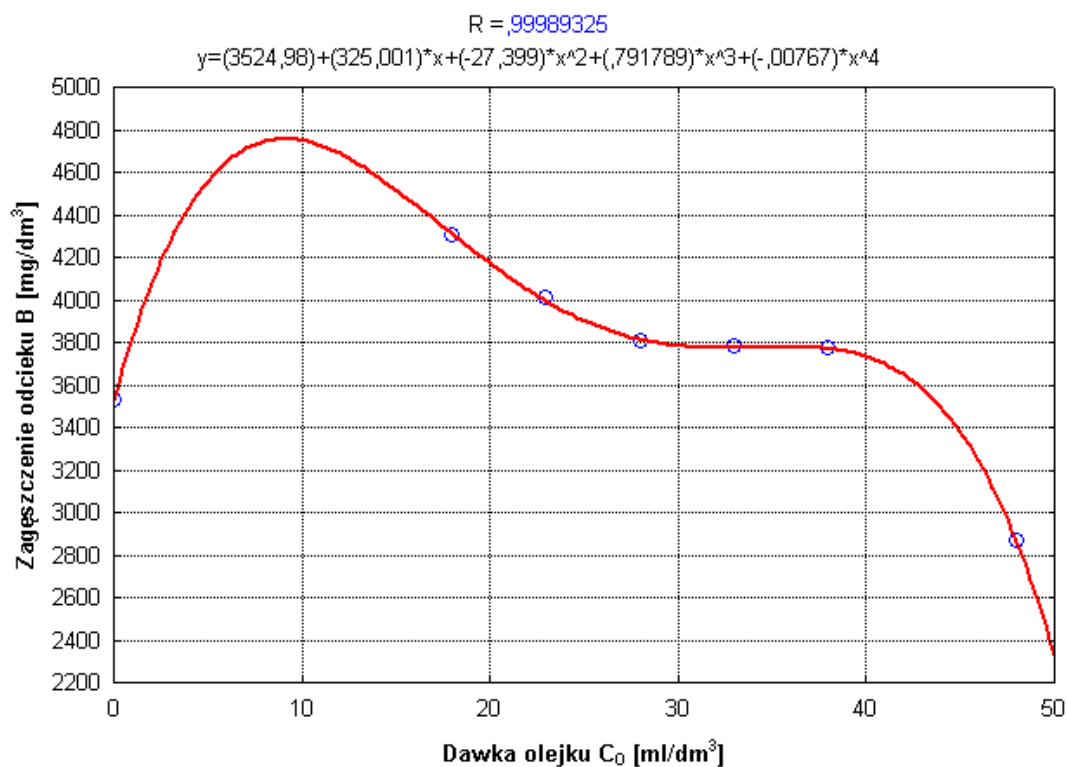


Rys. 3.51. Wykres zależności zagęszczenia odcieku β [mg/dm³] w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki olejku $C_0 = 28$ ml/dm³

W tabeli 3.33 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy C_0 [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³].

Tabela 3.33. Wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy C_0 [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka olejku C_0 [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]
1	0	2500	2	3525,08
2	18			4306,28
3	23			4005,12
4	28			3802,35
5	33			3776,83
6	38			3771,62
7	48			2862,93



Rys. 3.52. Wpływ dawki oleju z pomarańczy C_O [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$\beta(t, n, C_O) = 1,712 \cdot 10^3 + \exp(7,4097 - 0,4494 \cdot t) + \exp(9,0491 - 0,0011 \cdot n) + 407,06 \cdot C_O - 31,1388 \cdot C_O^2 + 0,865 \cdot C_O^3 - 0,0082 \cdot C_O^4 \quad (3.35)$$

gdzie:

$\beta(t, n, C_O)$ – parametr wynikowy – zagęszczenie odcieku [mg/dm³],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

C_O – dawka oleju z pomarańczy [ml/dm³].

$$\text{Spr.: } \beta(2, 2500, 28) = 1,712 \cdot 10^3 + \exp(7,4097 - 0,4494 \cdot 2) + \exp(9,0491 - 0,0011 \cdot 2500) + 407,06 \cdot 28 - 31,1388 \cdot 28^2 + 0,865 \cdot 28^3 - 0,0082 \cdot 28^4 = 3,821 \cdot 10^3$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1-10$ min,

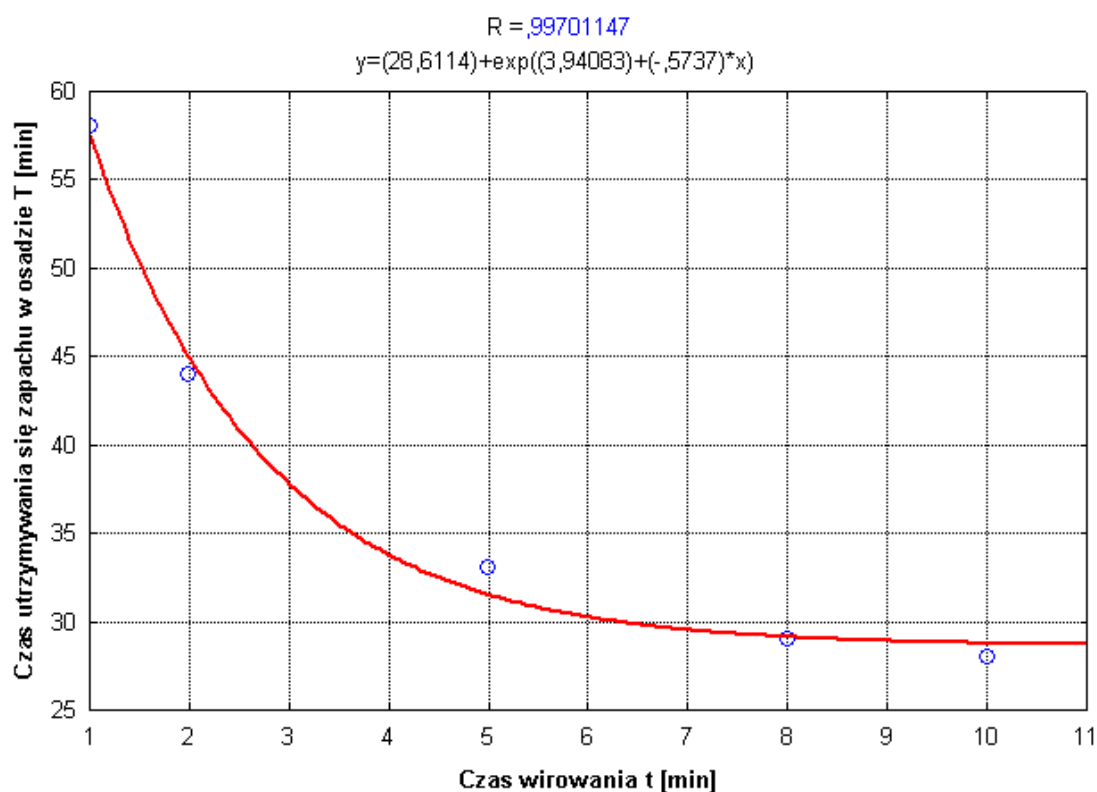
$n \in 1000-3000$ obr/min,

$C_0 \in 0\text{--}48 \text{ ml/dm}^3$.

W tabeli 3.34 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.34. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Czas wirowania t [min]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Dawka olejku C_0 [ml/dm ³]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	1	2500	28	58
2	2			44
3	5			33
4	8			29
5	10			28



Rys. 3.53. Wpływ czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Wykres na rysunku 3.53 aproksymowano następującym równaniem

$$T(t) = 28,6114 + \exp(3,94083 - 0,5737 \cdot t) \quad (3.36)$$

gdzie:

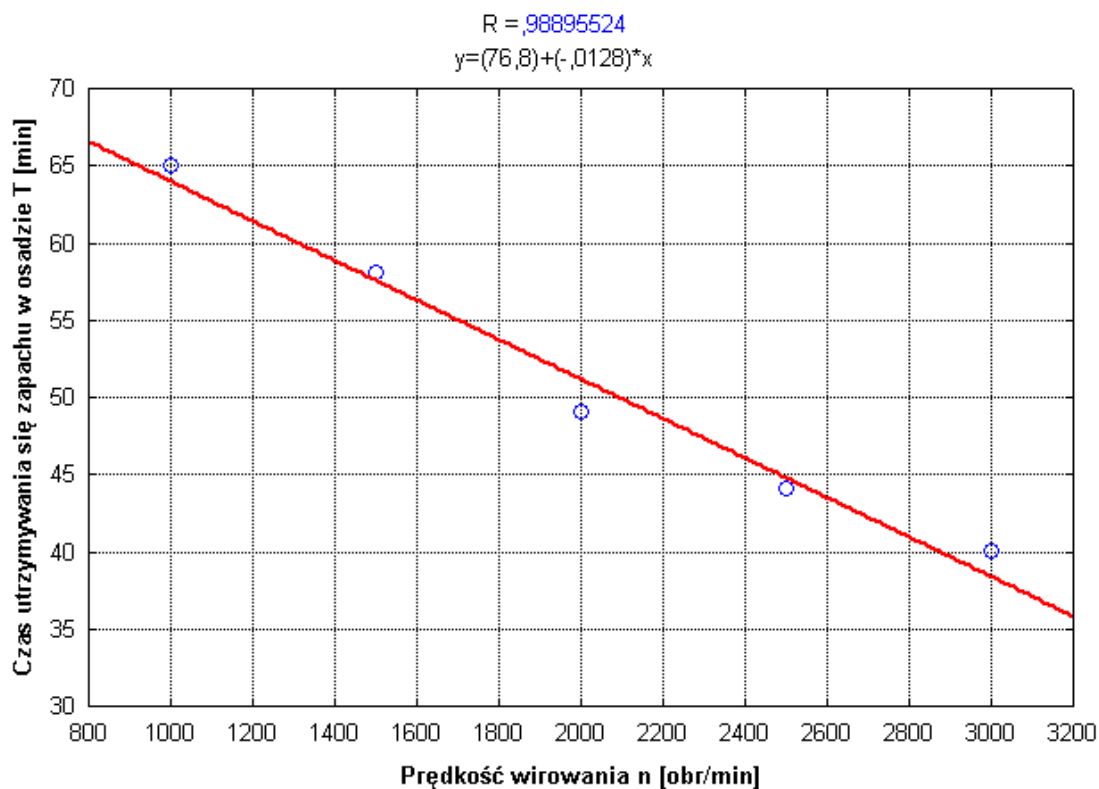
$T(t)$ – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],

t – czas wirowania [min].

W tabeli 3.35 przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.35. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Dawka olejku C_o [ml/dm ³]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	1000	2	28	65
2	1500			58
3	2000			49
4	2500			44
5	3000			40



Rys. 3.54. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym i drugim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$T(t, n) = 62,663 + \exp(3,9408 - 0,5737 \cdot t) - 0,014 \cdot n \quad (3.37)$$

gdzie:

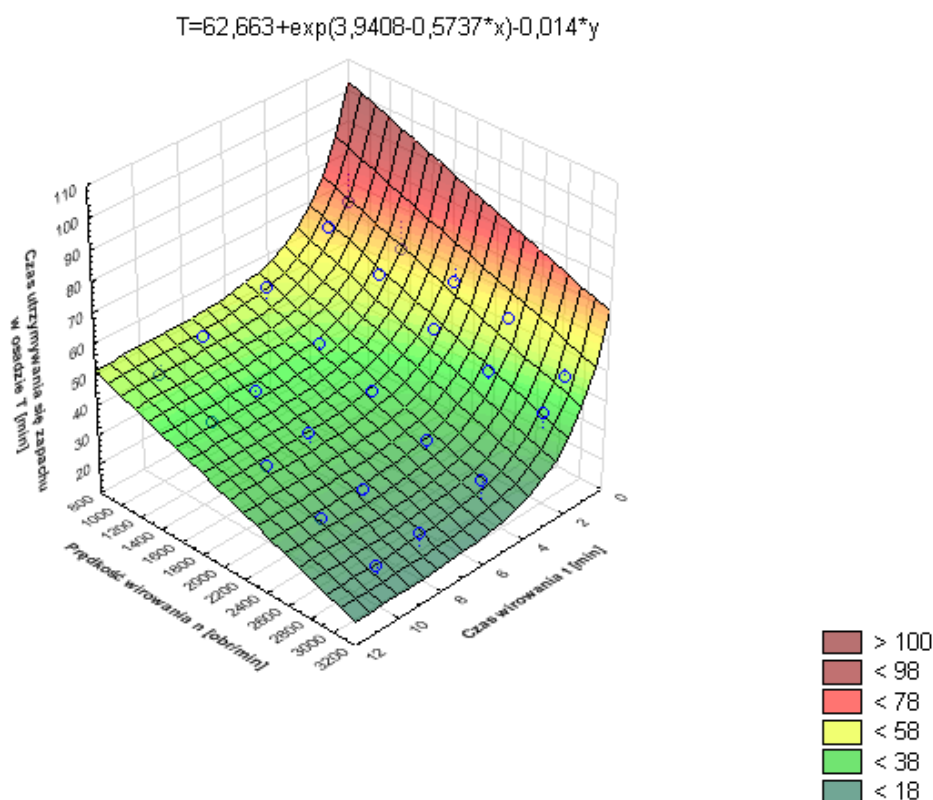
$W(t, n)$ – parametr wynikowy – uwodnienie osadów [%],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min].

$$\text{Spr.: } T(2, 2500) = 62,663 + \exp(3,9408 - 0,5737 \cdot 2) - 0,014 \cdot 2500 = 44$$

Na rysunku 3.55 przedstawiono wykres wpływu czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki olejku z pomarańczy $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

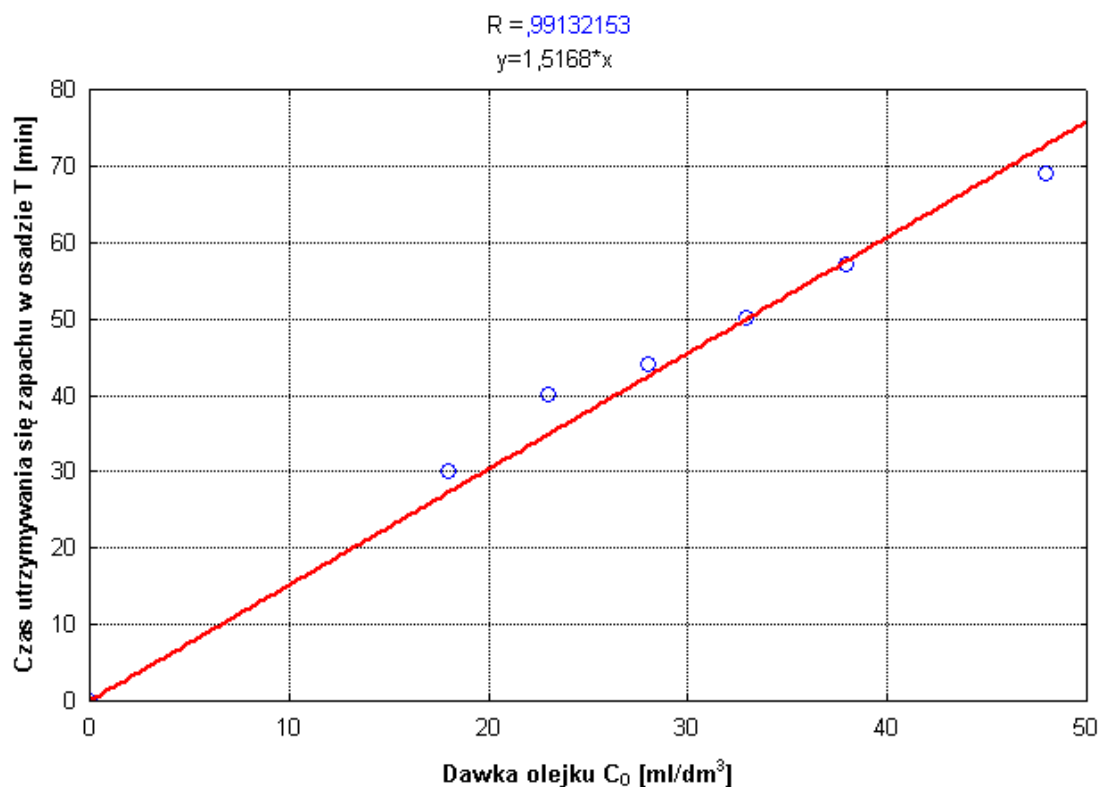


Rys. 3.55. Wykres zależności czasu utrzymywania się zapachu T [min] w osadzie w funkcji czasu wirowania t [min] i prędkości wirowania n [obr/min] dla określonej dawki olejku $C_0 = 28 \text{ ml/dm}^3$

W tabeli 3.36 przedstawiono wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy C_0 [ml/dm^3] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.36. Wyniki badań wpływu dawki olejku z pomarańczy C_0 [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Dawka olejku C_0 [ml/dm ³]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	0	2500	2	0
2	18			30
3	23			40
4	28			44
5	33			50
6	38			57
7	48			69



Rys. 3.56. Wpływ dawki olejku z pomarańczy C_0 [ml/dm³] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Równanie aproksymacyjne po pierwszym, drugim i trzecim stopniu przyjmuje następującą postać:

$$T(t, n, C_0) = 18,664 + \exp(3,9408 - 0,5737 \cdot t) - 0,014 \cdot n + 1,5152 \cdot C_0 \quad (3.38)$$

gdzie:

$T(t, n, C_0)$ – parametr wynikowy – czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],

t – czas wirowania [min],

n – prędkość wirowania [obr/min],

C_0 – dawka olejku z pomarańczy [ml/dm^3].

$$\text{Spr.: } T(2, 2500, 28) = 18,664 + \exp(3,9408 - 0,5737 \cdot 2) - \\ - 0,014 \cdot 2500 + 1,5152 \cdot 28 = 42,4$$

Opracowane równanie jest słuszne dla następujących zakresów zmienności parametrów:

$t \in 1\text{--}10$ min,

$n \in 1000\text{--}3000$ obr/min,

$C_0 \in 0\text{--}48$ ml/dm^3 .

3.4.6. Zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem różnych proporcji olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28$ [ml/dm^3]

Wyniki z przeprowadzonych badań laboratoryjnych odwadniania osadów ściekowych z zastosowaniem różnych proporcji olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28$ ml/dm^3 zestawiono w załączniku. Część z tych wyników przedstawiono poniżej.

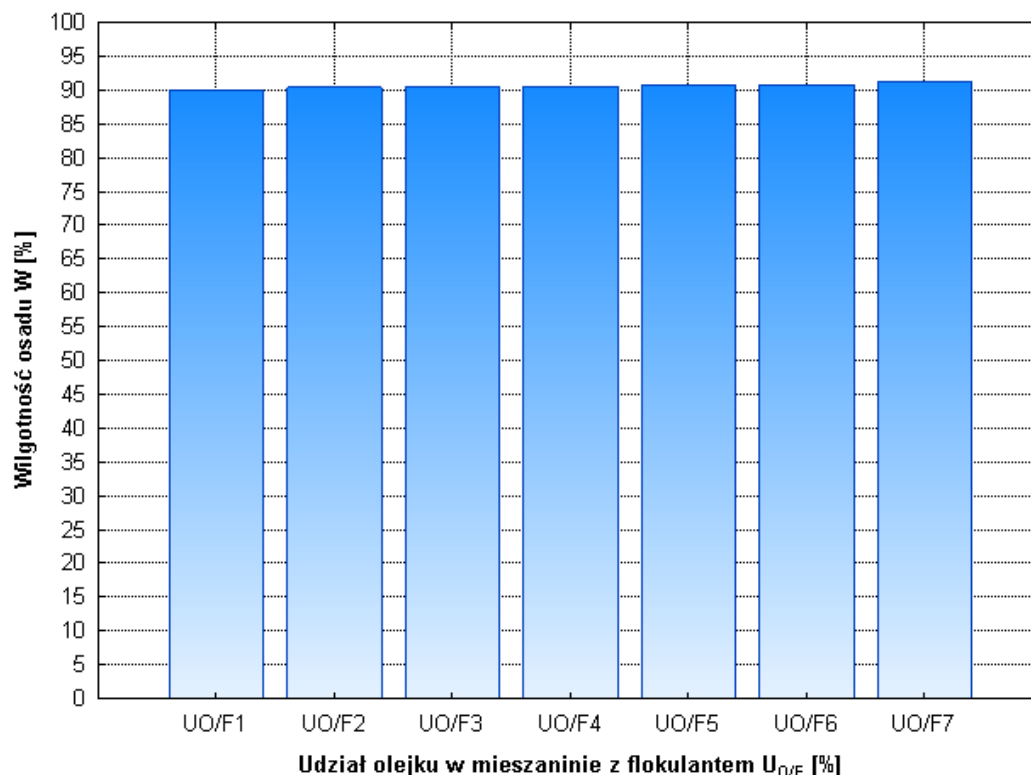
W tabeli 3.37 przedstawiono wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28$ ml/dm^3 na wilgotność osadu W [%]:

- **Udział $U_{O/F1}$** – 0% olejku z pomarańczy (0 ml/dm^3) + 100% flokulanta PRAESTOL 855BS (28 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F2}$** – 21% olejku z pomarańczy (6 ml/dm^3) + 79% flokulanta PRAESTOL 855BS (22 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F3}$** – 36% olejku z pomarańczy (10 ml/dm^3) + 64% flokulanta PRAESTOL 855BS (18 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F4}$** – 50% olejku z pomarańczy (14 ml/dm^3) + 50% flokulanta PRAESTOL 855BS (14 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F5}$** – 64% olejku z pomarańczy (18 ml/dm^3) + 36% flokulanta PRAESTOL 855BS (10 ml/dm^3),

- **Udział $U_{O/F6}$** – 79% olejku z pomarańczy (22 ml/dm^3) + 21% flokulanta PRAESTOL 855BS (6 ml/dm^3),
- **Udział $U_{O/F7}$** – 100% olejku z pomarańczy (28 ml/dm^3) + 0% flokulanta PRAESTOL 855BS (0 ml/dm^3).

Tabela 3.37. Wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na wilgotność osadu W [%]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Udział $U_{O/F}$ [%]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Wilgotność osadu W [%]
1	$U_{O/F1}$	2500	2	90,02
2	$U_{O/F2}$			90,36
3	$U_{O/F3}$			90,40
4	$U_{O/F4}$			90,47
5	$U_{O/F5}$			90,70
6	$U_{O/F6}$			90,82
7	$U_{O/F7}$			91,35

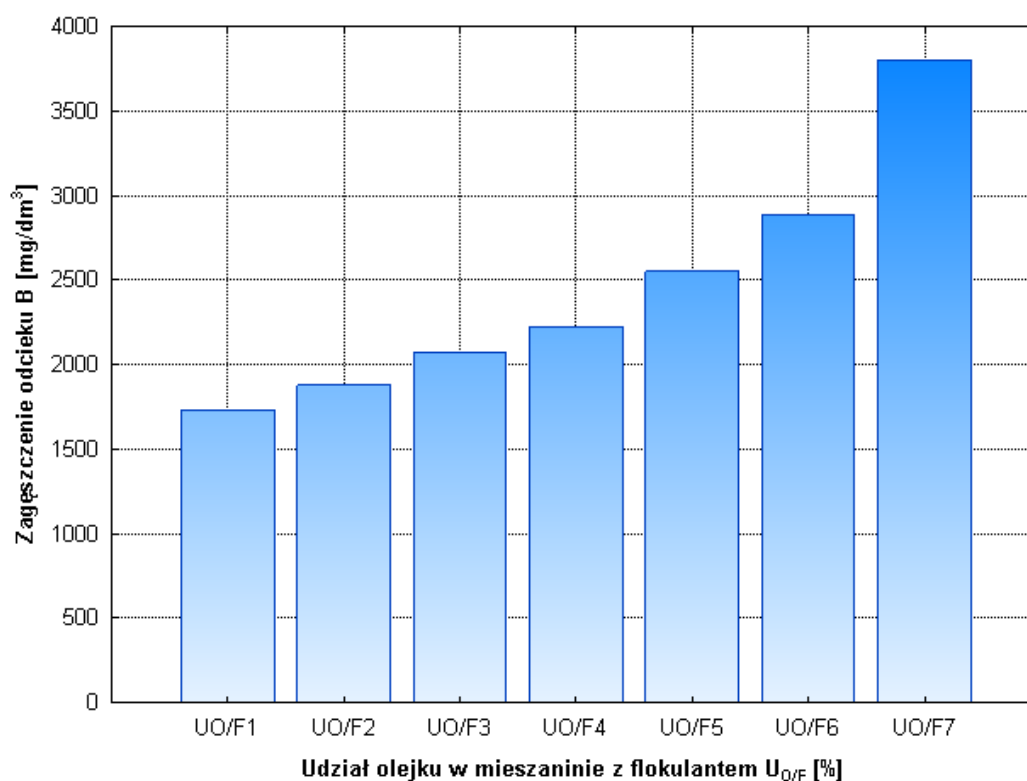


Rys. 3.57. Wpływ udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na wilgotność osadu W [%]

W tabeli 3.38 przedstawiono wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3].

Tabela 3.38. Wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Udział $U_{O/F}$ [%]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]
1	$U_{O/F1}$	2500	2	1733,00
2	$U_{O/F2}$			1879,05
3	$U_{O/F3}$			2073,88
4	$U_{O/F4}$			2223,92
5	$U_{O/F5}$			2548,84
6	$U_{O/F6}$			2886,66
7	$U_{O/F7}$			3802,35

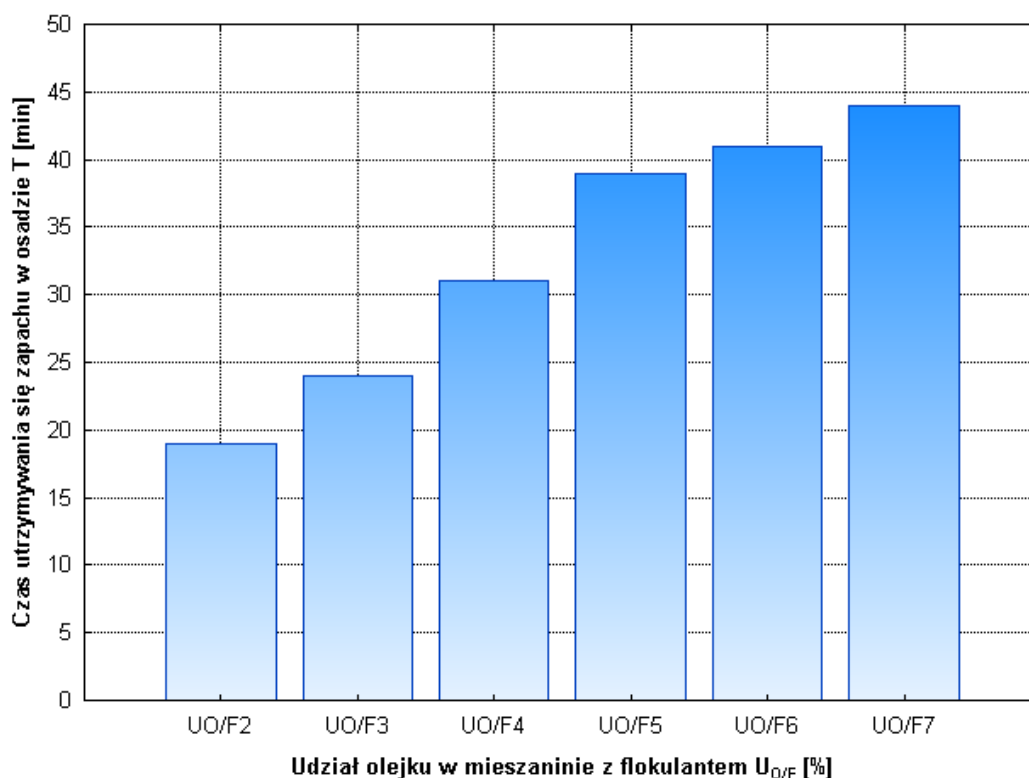


Rys. 3.58. Wpływ udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

W tabeli 3.39 przedstawiono wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min].

Tabela 3.39. Wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Lp.	Parametr zmienny	Parametry stałe		Parametr wynikowy
	Udział $U_{O/F}$ [%]	Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas wirowania t [min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]
1	$U_{O/F2}$	2500	2	19
2	$U_{O/F3}$			24
3	$U_{O/F4}$			31
4	$U_{O/F5}$			39
5	$U_{O/F6}$			41
6	$U_{O/F7}$			44



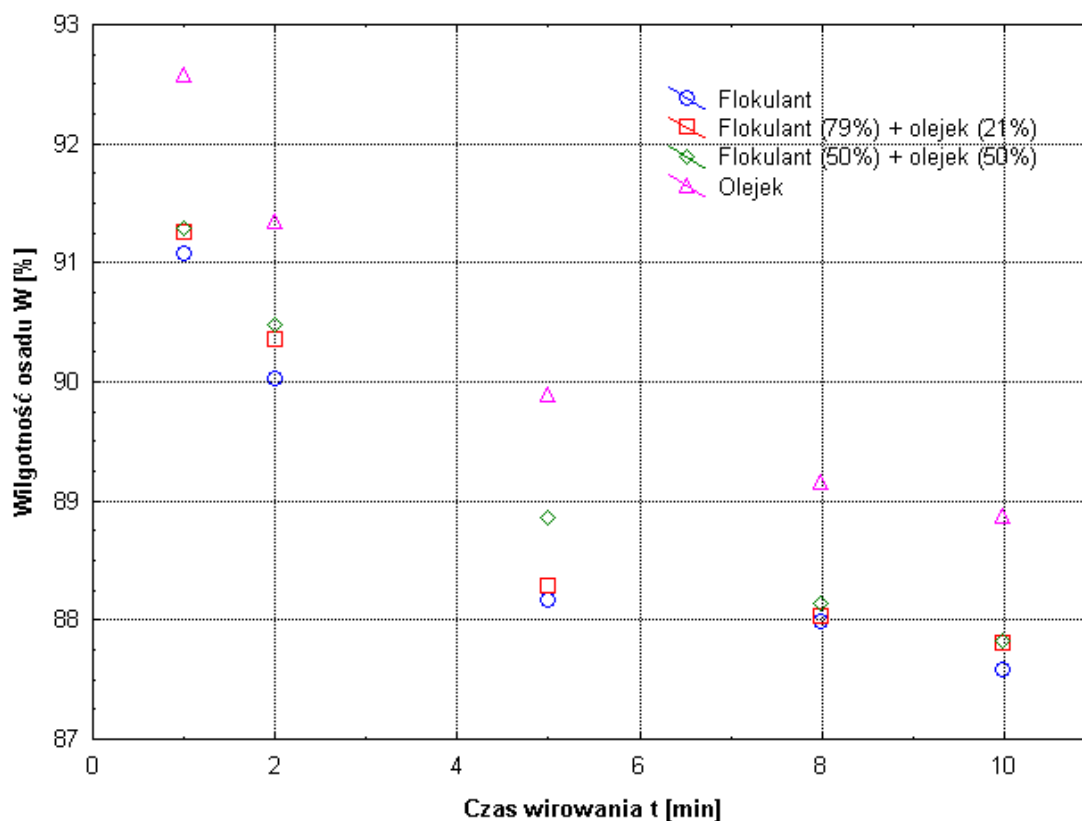
Rys. 3.59. Wpływ udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

3.4.7. Zbiornicze zestawienie wyników badań odwadniania komunalnych osadów ściekowych w skali laboratoryjnej

W tabeli 3.40 zestawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%] przy stałej prędkości wirowania $n = 2500$ obr/min i dawce $C = 28$ ml/dm³ z zastosowaniem flokulantu Praestol 855BS, mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.40. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

Czas wirowania t [min]	Wilgotność osadu W [%]			
	Flokulant	Flokulant (79%) + olejek (21%)	Flokulant (50%) + olejek (50%)	Olejek
1	91,07	91,25	91,28	92,58
2	90,02	90,36	90,47	91,35
5	88,17	88,29	88,86	89,89
8	87,98	88,03	88,14	89,15
10	87,58	87,80	87,82	88,87

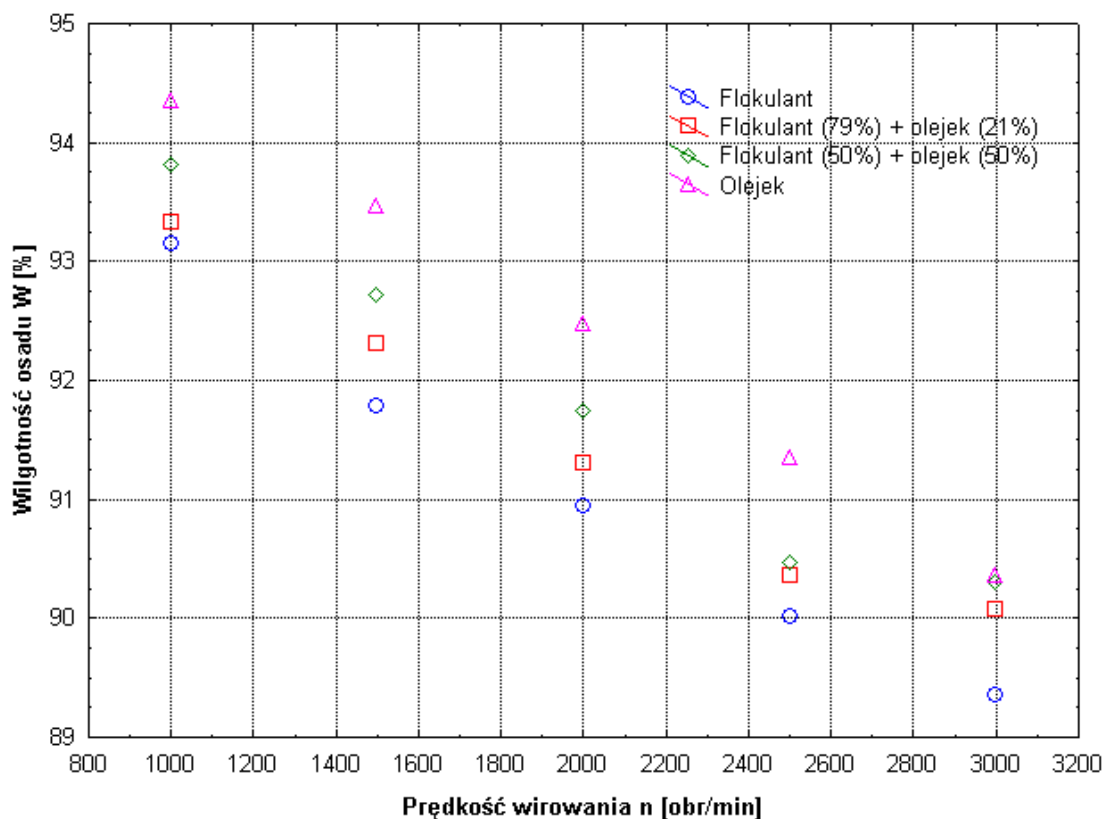


Rys. 3.60. Wpływ czasu wirowania t [min] na uwodnienie osadów W [%]

W tabeli 3.41 zestawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%] przy stałym czasie wirowania $t = 2$ min i dawce $C = 28$ ml/dm³ z zastosowaniem flokulantu Praestol 855BS, mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.41. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]			
	Flokulant	Flokulant (79%) + olejek (21%)	Flokulant (50%) + olejek (50%)	Olejek
1000	93,15	93,33	93,81	94,35
1500	91,79	92,31	92,71	93,46
2000	90,95	91,31	91,74	92,47
2500	90,02	90,36	90,47	91,35
3000	89,35	90,07	90,30	90,36

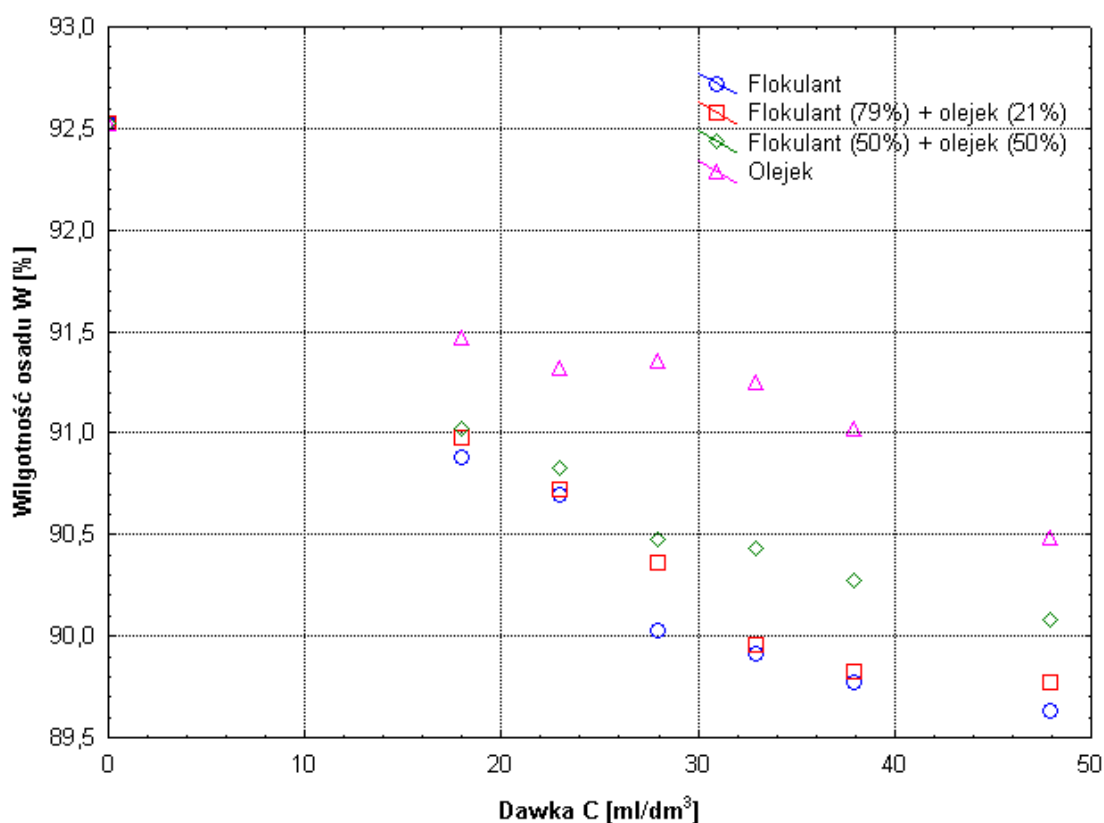


Rys. 3.61. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na uwodnienie osadów W [%]

W tabeli 3.42 zestawiono wyniki badań wpływu dawki C [ml/dm^3] na uwodnienie osadów W [%] przy stałej prędkości wirowania $n = 2500$ obr/min i czasie wirowania $t = 2$ min z zastosowaniem flokulantu Praestol 855BS, mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.42. Wyniki badań wpływu dawki C [ml/dm^3] na uwodnienie osadów W [%]

Dawka C [ml/dm^3]	Wilgotność osadu W [%]			
	Flokulant	Flokulant (79%) + olejek (21%)	Flokulant (50%) + olejek (50%)	Olejek
0	92,52	92,52	92,52	92,52
18	90,88	90,97	91,02	91,47
23	90,69	90,72	90,82	91,32
28	90,02	90,36	90,47	91,35
33	89,91	89,95	90,43	91,25
38	89,77	89,82	90,27	91,02
48	89,63	89,77	90,08	90,48

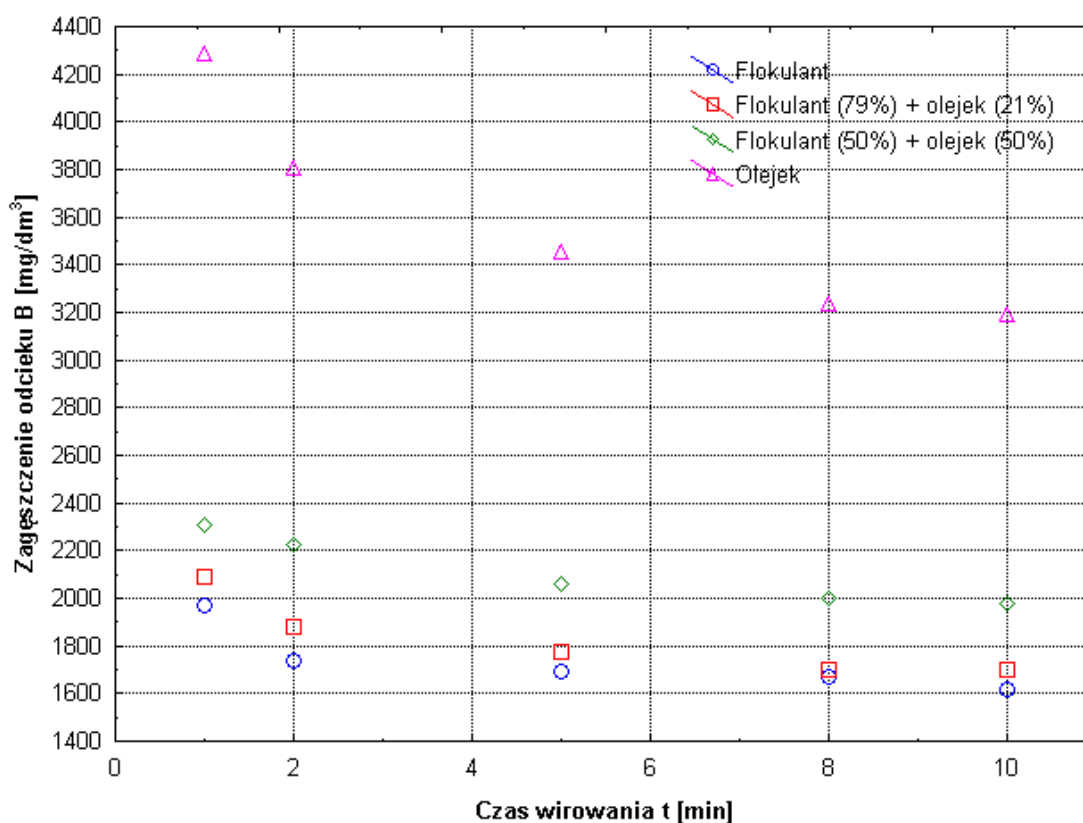


Rys. 3.62. Wpływ dawki C [ml/dm^3] na uwodnienie osadów W [%]

W tabeli 3.43 zestawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³] przy stałej prędkości wirowania $n = 2500$ obr/min i dawce $C = 28$ ml/dm³ z zastosowaniem flokulantu Praestol 855BS, mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.43. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Czas wirowania t [min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]			
	Flokulant	Flokulant (79%) + olejek (21%)	Flokulant (50%) + olejek (50%)	Olejek
1	1965,56	2085,65	2304,22	4284,13
2	1733,00	1879,05	2223,92	3802,35
5	1688,58	1769,76	2054,94	3451,03
8	1667,76	1700,12	1995,17	3233,34
10	1616,22	1699,23	1972,39	3185,93

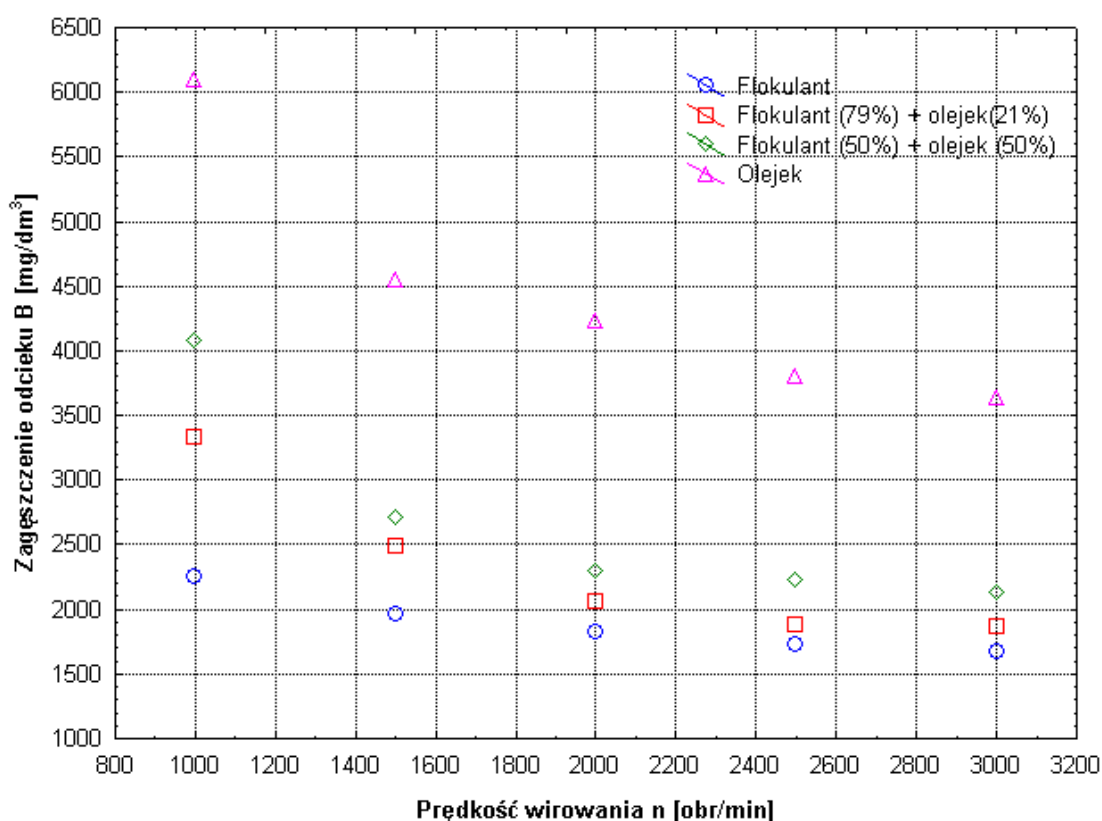


Rys. 3.63. Wpływ czasu wirowania t [min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

W tabeli 3.44 zestawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³] przy stałym czasie wirowania $t = 2$ min i dawce $C = 28$ ml/dm³ z zastosowaniem flokulantu Praestol 855BS, mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.44. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]			
	Flokulant	Flokulant (79%) + olejek (21%)	Flokulant (50%) + olejek (50%)	Olejek
1000	2247,61	3326,01	4079,23	6089,66
1500	1959,53	2491,94	2710,29	4540,56
2000	1828,68	2060,33	2292,94	4232,71
2500	1733,00	1879,05	2223,92	3802,35
3000	1667,76	1864,80	2125,26	3635,41

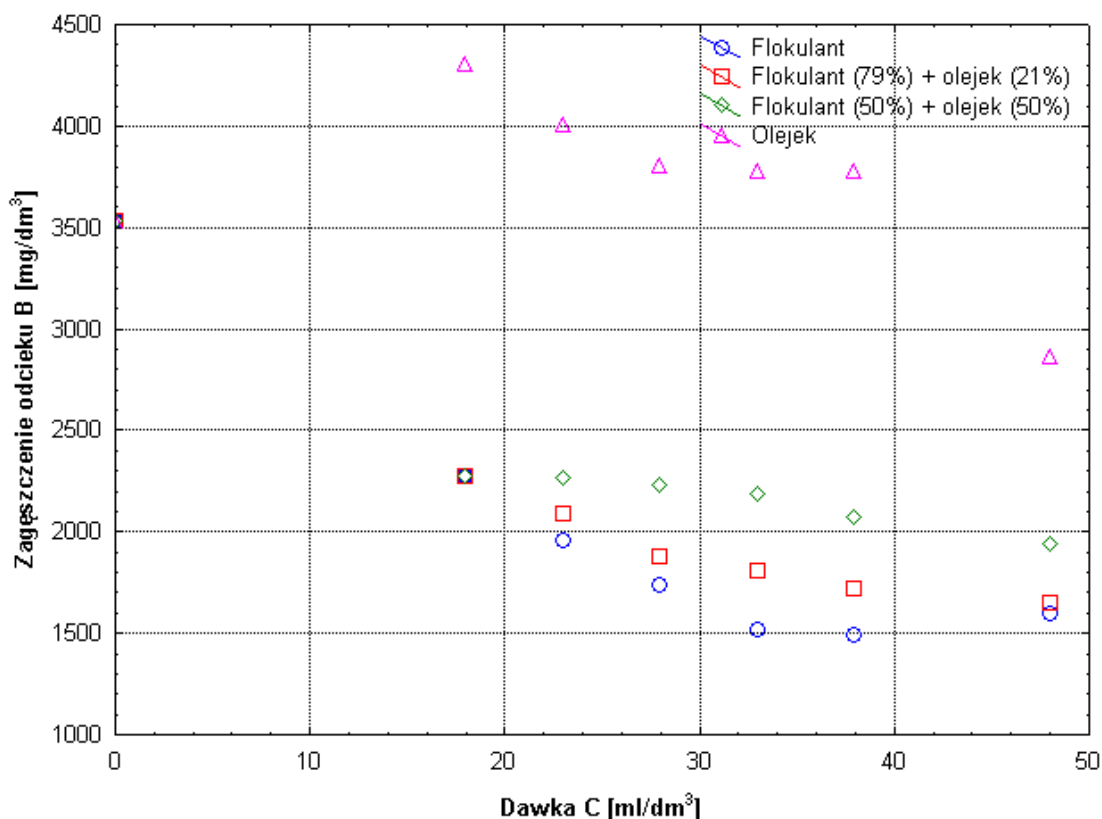


Rys. 3.64. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

W tabeli 3.45 zestawiono wyniki badań wpływu dawki C [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³] przy stałej prędkości wirowania $n = 2500$ obr/min i czasie wirowania $t = 2$ min z zastosowaniem flokulantu Praestol 855BS, mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.45. Wyniki badań wpływu dawki C [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

Dawka C [ml/dm ³]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm ³]			
	Flokulant	Flokulant (79%) + olej (21%)	Flokulant (50%) + olej (50%)	Olejek
0	3525,08	3525,08	3525,08	3525,08
18	2267,51	2270,63	2273,61	4306,28
23	1953,61	2083,77	2261,91	4005,12
28	1733,00	1879,05	2223,92	3802,35
33	1513,84	1806,61	2184,24	3776,83
38	1489,92	1715,11	2064,83	3771,62
48	1596,59	1642,84	1932,75	2862,93

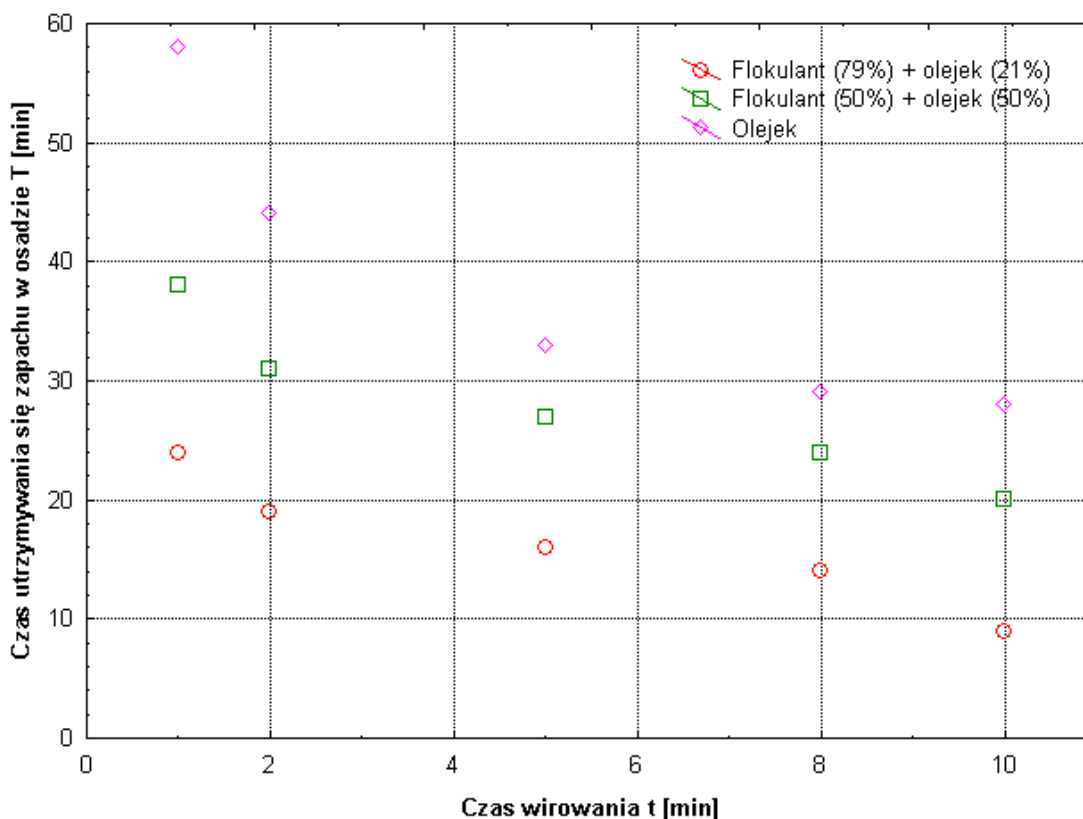


Rys. 3.65. Wpływ dawki C [ml/dm³] na zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]

W tabeli 3.46 zestawiono wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] przy stałej prędkości wirowania $n = 2500$ obr/min i dawce $C = 28$ ml/dm³ z zastosowaniem mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.46. Wyniki badań wpływu czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Czas wirowania t [min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]		
	Flokulant (79%) + olejek (21%)	Flokulant (50%) + olejek (50%)	Olejek
1	24	38	58
2	19	31	44
5	16	27	33
8	14	24	29
10	9	20	28

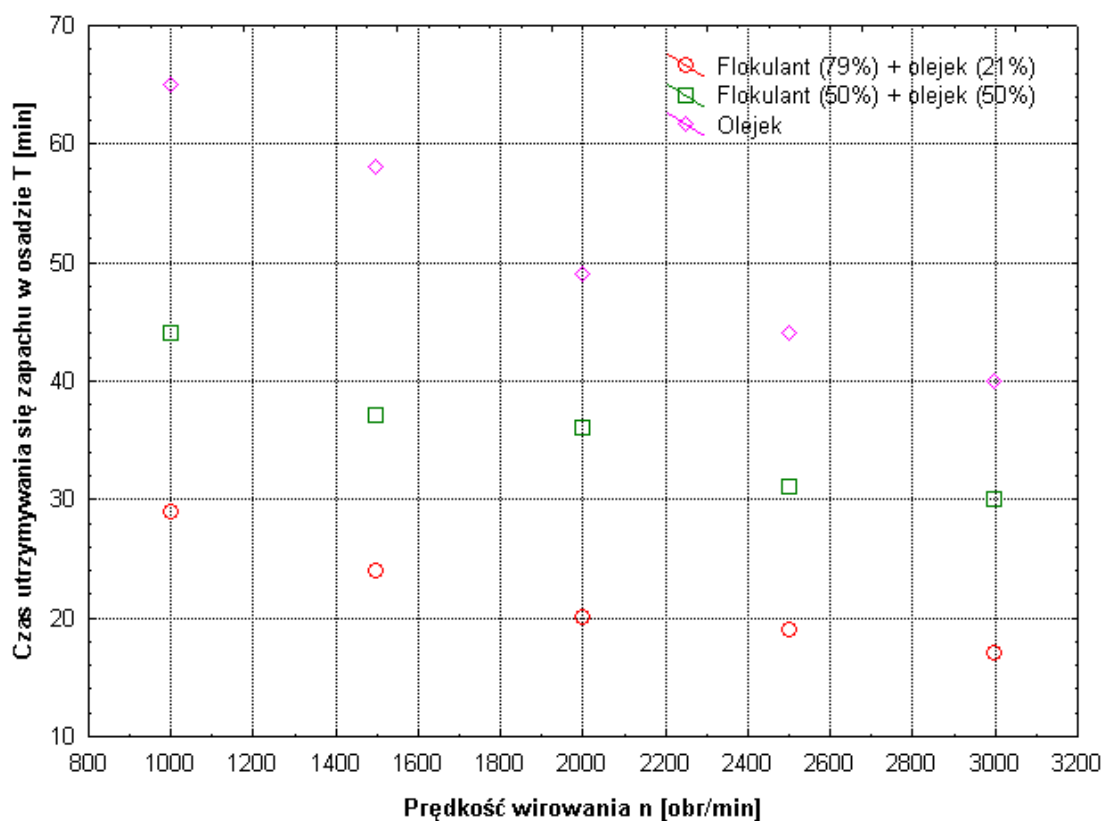


Rys. 3.66. Wpływ czasu wirowania t [min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

W tabeli 3.47 zestawiono wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] przy stałym czasie wirowania $t = 2$ min i dawce $C = 28$ ml/dm³ z zastosowaniem mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.47. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]		
	Flokulant (79%) + olejek (21%)	Flokulant (50%) + olejek (50%)	Olejek
1000	29	44	65
1500	24	37	58
2000	20	36	49
2500	19	31	44
3000	17	30	40

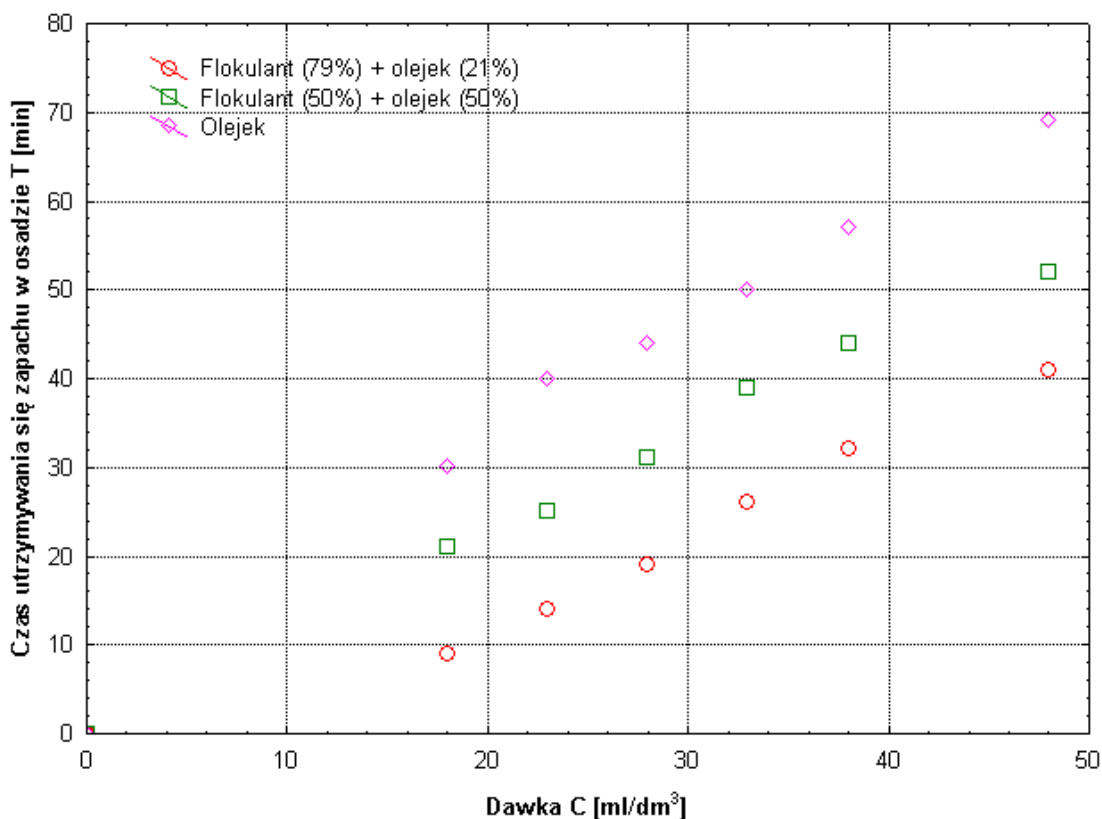


Rys. 3.67. Wpływ prędkości wirowania n [obr/min] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

W tabeli 3.48 zestawiono wyniki badań wpływu dawki C [ml/dm^3] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] przy stałej prędkości wirowania $n = 2500 \text{ obr/min}$ i czasie wirowania $t = 2 \text{ min}$ z zastosowaniem mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny w proporcji flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) oraz olejku z pomarańczy.

Tabela 3.48. Wyniki badań wpływu dawki C [ml/dm^3] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Dawka C [ml/dm^3]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]		
	Flokulant (79%) + olejek (21%)	Flokulant (50%) + olejek (50%)	Olejek
0	0	0	0
18	9	21	30
23	14	25	40
28	19	31	44
33	26	39	50
38	32	44	57
48	41	52	69



Rys. 3.68. Wpływ dawki C [ml/dm^3] na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

3.4.8. Opis wyników badań

3.4.8.1. *Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem flokulanta PRAESTOL 855BS*

Wilgotność osadu

Pierwszym parametrem zmiennym, przy którym badano wilgotność osadu po procesie sedymentacji odśrodkowej był czas wirowania, który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Analiza wyników badań przedstawionych w tabeli 3.4 i na rysunku 3.13 wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać zmniejszenie wilgotności osadu o 3,49%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 87,58% uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt krzywej pokazuje, że największy spadek wilgotności osadu następuje przy wzroście czasu wirowania do pięciu minut. Dalsze wydłużenie czasu wirowania nie wpływa w znaczący sposób na zmniejszenie wilgotności w osadzie.

Drugim parametrem zmiennym w procesie sedymentacji odśrodkowej była prędkość wirowania, która zmieniała się w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.5 i na rysunku 3.14. Analiza wyników badań wskazuje, że wzrost prędkości obrotowej powoduje zmniejszenie wilgotności osadu. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min otrzymano zmniejszenie procentowej zawartości wilgoci osadu o 3,8%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 89,35% uzyskano przy prędkości obrotowej równej 3000 obr/min. Kształt krzywej pokazuje, że największy spadek wilgotności osadu następuje do około 1500 obr/min, od 1500 do 3000 obr/min spadek jest już nieco mniejszy i mniej więcej na tym samym poziomie.

Kolejnym badanym parametrem zmiennym była dawka roztworu flokulanta PRAESTOL 855BS o stężeniu 0,3%, która zmieniała się w zakresie od 0 do 48 ml/dm³. Analiza wyników badań przedstawionych w tabeli 3.6 i na rysunku 3.16 wskazuje, że wzrost dawki flokulanta PRAESTOL 855BS wpływa na zmniejszenie zawartości wilgoci w osadzie. Im większa dawka flokulanta, tym mniejsza zawartość wilgoci w osadzie. Ze wzrostem dawki flokulanta PRAESTOL 855BS od 0 do 48 ml/dm³ uzyskuje się zmniejszenie wilgotności osadu o 2,89%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 89,63% uzyskano przy dawce flokulanta PRAESTOL 855BS równej 48 ml/dm³. Kształt krzywej pokazuje, że dawka flokulanta Praestol 855BS 28 ml/dm³ jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek wilgotności osadu nie jest istotny.

Zagęszczenie odcieku

Drugim parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej jaki badano, było zagęszczenie odcieku. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.7 i na rysunku 3.17. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost czasu wirowania powoduje spadek zagęszczenia odcieku. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać zmniejszenie zagęszczenia odcieku o 349,34 mg/dm³. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. 1616,22 mg/dm³ uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że dalszy wzrost czasu wirowania będzie zmniejszał zagęszczenie w odcieku, ale spadek ten nie będzie już tak wyraźny.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej, przedstawione w tabeli 3.8 i na rysunku 3.18 wskazują, że wraz ze wzrostem prędkości wirowania maleje zagęszczenie odcieku. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek zagęszczenia odcieku z 2247,61 mg/dm³ do wartości 1667,76 mg/dm³, czyli o 579,85 mg/dm³. Kształt przebiegu zależności wskazuje, że wraz ze wzrostem prędkości do 1500 obr/min następuje szybkie obniżanie zagęszczenia odcieku. Wzrost prędkości powyżej 1500 obr/min powoduje już mniejszy spadek.

Wyniki badań wpływu dawki roztworu flokulanta PRAESTOL 855BS o stężeniu 0,3% na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.9 i na rysunku 3.20. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost dawki flokulanta PRAESTOL 855BS powoduje spadek wartości zagęszczenia odcieku. Im większa dawka flokulanta, tym mniejsze zagęszczenie fazy stałej w odcieku. Ze wzrostem dawki flokulanta PRAESTOL 855BS od 0 do 48 ml/dm³ można uzyskać zmniejszenie zagęszczenia odcieku o 1928,49 mg/dm³. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. 1489,92 mg/dm³ uzyskano przy dawce flokulanta PRAESTOL 855BS równej 38 ml/dm³. Kształt krzywej pokazuje, że dawka flokulanta Praestol 855BS 33 ml/dm³ jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek zagęszczenia odcieku jest niewielki, a nawet następuje pogorszenie warunków odwadniania, o czym świadczy wzrost zagęszczenia odcieku przy dawce flokulanta Praestol 855BS równej 48 ml/dm³.

3.4.8.2. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%)***Wilgotność osadu***

Pierwszym parametrem zmiennym, przy którym badano wilgotność osadu po procesie sedymentacji odśrodkowej był czas wirowania, który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Efekty odwadniania przedstawiono w tabeli 3.10 i na rysunku 3.21. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost czasu wirowania powoduje spadek zawartości wilgoci w osadzie. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać zmniejszenie wilgotności osadu o 3,45%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 87,8% uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że największy spadek wilgotności osadu następuje przy wzroście czasu wirowania do pięciu minut. Dalsze wydłużenie czasu wirowania nie wpływa w znaczący sposób na zmniejszenie uwodnienia osadu.

Kolejnym parametrem zmiennym w procesie sedymentacji odśrodkowej była prędkość wirowania, która zmieniała się w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.11 i na rysunku 3.22. Analiza wyników badań wskazuje, że ze wzrostem prędkości obrotowej zmniejsza się uwodnienie osadu. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min otrzymano zmniejszenie procentowej zawartości wilgoci osadu o 3,26%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 90,07% uzyskano przy prędkości obrotowej równej 3000 obr/min. Kształt krzywej pokazuje, że największy spadek wilgotności osadu następuje do około 2500 obr/min, powyżej tej prędkości spadek wilgotności osadu jest zdecydowanie mniejszy.

Ostatnim badanym parametrem zmiennym była dawka mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), która zmieniała się w zakresie od 0 do 48 ml/dm³. Analiza wyników badań przedstawionych w tabeli 3.12 i na rysunku 3.24 wskazuje, że wzrost dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) wpływa na zmniejszenie zawartości wilgoci w osadzie. Ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) od 0 do 48 ml/dm³ można uzyskać zmniejszenie wilgotności osadu z 92,52% do wartości 89,77%, czyli o 2,75%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 89,77% uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) równej 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że dawka mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) 33 ml/dm³ jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek wilgotności osadu nie jest istotny.

Zagęszczenie odcieku

Drugim parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej, jaki badano, było zagęszczenie odcieku. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej, przedstawiono w tabeli 3.13 i na rysunku 3.25, które pokazują, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje wartość zagęszczenia odcieku. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać spadek wartości zagęszczenia odcieku z 2085,65 mg/dm³ do wartości 1699,23 mg/dm³, czyli o 386,42 mg/dm³. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. 1699,23 mg/dm³ uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu krzywej wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania do 8 minut następuje szybkie obniżanie zagęszczenia odcieku. Wzrost czasu powyżej 8 minut nie powoduje zauważalnego spadku.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.14 i na rysunku 3.26. Analiza wyników badań wskazuje, że wraz ze wzrostem prędkości wirowania maleje zagęszczenie odcieku. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek zagęszczenia odcieku o 1461,21 mg/dm³. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. 1864,8 mg/dm³ uzyskano przy prędkości wirowania równej 3000 obr/min. Kształt przebiegu zależności wskazuje, że wraz ze wzrostem prędkości do 2500 obr/min następuje szybkie obniżanie zagęszczenia odcieku. Wzrost prędkości powyżej 2500 obr/min nie jest istotny.

Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.15 i na rysunku 3.28. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) wpływa na zmniejszenie zagęszczenia odcieku. Ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) od 0 do 48 ml/dm³ można uzyskać zmniejszenie zagęszczenia odcieku o 1882,24 mg/dm³. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. 1642,84 mg/dm³ uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) równej 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że dawka mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) 28 ml/dm³ jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek zagęszczenia odcieku nie jest znaczący i utrzymuje się na podobnym poziomie.

Czas utrzymywania się zapachu w osadzie

Kolejnym parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej, jaki badano, był czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na czas utrzymywania się zapachu w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.16 i na rysunku 3.29. Analiza wyników badań wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje czas utrzymywania się zapachu olejku eterycznego w osadzie. Najniższą wartość, tj. 9 minut uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że dalsze wydłużenie czasu wirowania będzie powodowało spadek czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.17 i na rysunku 3.30. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost prędkości wirowania powoduje spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie o 12 minut. Najniższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 17 minut uzyskano przy prędkości wirowania 3000 obr/min. Kształt przebiegu krzywej pokazuje, że dalszy wzrost prędkości wirowania będzie powodował spadek czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie.

Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) na czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.18 i na rysunku 3.32. Analiza wyników badań wskazuje, że wraz ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) wzrasta czas utrzymywania się zapachu w osadzie. Najwyższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 41 minut uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że dalsze zwiększanie dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) będzie powodowało wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie.

3.4.8.3. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejku eterycznego z pomarańczy (50%)***Wilgotność osadu***

Pierwszym parametrem zmiennym, przy którym badano wilgotność osadu po procesie sedymentacji odśrodkowej był czas wirowania, który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Na podstawie wyników badań przedstawionych w tabeli 3.19 i na rysunku 3.33 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać zmniejszenie wilgotności osadu o 3,46%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 87,82% uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt krzywej pokazuje, że największy spadek wilgotności osadu następuje przy wzroście czasu wirowania do 8 minut. Dalsze wydłużenie czasu wirowania nie wpływa w znaczący sposób na zmniejszenie wilgotności w osadzie.

Drugim parametrem zmiennym w procesie sedymentacji odśrodkowej była prędkość wirowania, która zmieniała się w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.20 i na rysunku 3.34. Analiza wyników wskazuje, że ze wzrostem prędkości obrotowej zmniejsza się wilgotność osadu. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min otrzymano zmniejszenie procentowej zawartości wilgoci osadu o 3,51%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 90,3% uzyskano przy prędkości obrotowej równej 3000 obr/min. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że największy spadek wilgotności osadu następuje do około 2500 obr/min. Dalszy wzrost prędkości wirowania nie powoduje istotnego zmniejszenia zawartości wilgoci w osadzie.

Kolejnym badanym parametrem zmiennym była dawka mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%), która zmieniała się w zakresie od 0 do 48 ml/dm³. Analiza wyników badań przedstawionych w tabeli 3.21 i na rysunku 3.36 wskazuje, że wzrost dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) wpływa na zmniejszenie uwodnienia osadu. Ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) od 0 do 48 ml/dm³ można uzyskać zmniejszenie wilgotności osadu z 92,52% do wartości 90,08%, czyli o 2,44%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 90,08% uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) równej 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że dawka mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) 28 ml/dm³ jest dawką optymalną. Powyżej tej dawki spadek wilgotności osadu nie jest zauważalny.

Zagęszczenie odcieku

Kolejnym parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej, jaki badano, było zagęszczenie odcieku. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.22 i na rysunku 3.37. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje wartość zagęszczenia odcieku. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać spadek zagęszczenia odcieku o $331,83 \text{ mg/dm}^3$. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. $1972,39 \text{ mg/dm}^3$ uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu krzywej wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania do 5 minut następuje szybkie obniżanie zagęszczenia odcieku, a powyżej 5 minut spadek jest już dużo mniejszy.

Na podstawie wyników badań wpływu prędkości obrotowej na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej, przedstawionych w tabeli 3.23 i na rysunku 3.38 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem prędkości wirowania maleje zagęszczenie odcieku. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek zagęszczenia odcieku z $4079,23 \text{ mg/dm}^3$ do wartości $2125,26 \text{ mg/dm}^3$, czyli o $1953,97 \text{ mg/dm}^3$. Kształt przebiegu zależności wskazuje, że największy spadek zagęszczenia odcieku ma miejsce do około 2000 obr/min, a powyżej 2000 obr/min spadek jest dużo mniejszy.

Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.24 i na rysunku 3.40. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) powoduje spadek wartości zagęszczenia odcieku. Im większa dawka mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%), tym mniejsze zagęszczenie fazy stałej w odcieku. Ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) od 0 do 48 ml/dm^3 można uzyskać zmniejszenie zagęszczenia odcieku o $1592,33 \text{ mg/dm}^3$. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. $1932,75 \text{ mg/dm}^3$ uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) równej 48 ml/dm^3 . Kształt krzywej pokazuje, że największy spadek zagęszczenia odcieku ma miejsce przy dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) 18 ml/dm^3 , od 18 ml/dm^3 do 33 ml/dm^3 spadek jest dużo mniejszy, a powyżej 33 ml/dm^3 następuje zwiększenie spadku

zagęszczenia odcieku. Można powiedzieć, że dawka mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) 48 ml/dm³ nie jest jeszcze dawką optymalną i dalszy jej wzrost pozwoli na obniżenie wartości zagęszczenia odcieku.

Czas utrzymywania się zapachu w osadzie

Ostatnim parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej, jaki badano, był czas utrzymywania się zapachu w osadzie. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej, które przedstawiono w tabeli 3.25 i na rysunku 3.41 pokazują, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje czas utrzymywania się zapachu olejku eterycznego w osadzie. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut zanotowano spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie o 18 minut. Najniższą wartość, tj. 20 minut uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że dalszy wzrost czasu wirowania będzie powodował spadek czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.26 i na rysunku 3.42. Analiza wyników badań wskazuje, że wzrost prędkości wirowania powoduje spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie o 14 minut. Najniższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 30 minut uzyskano przy prędkości wirowania 3000 obr/min. Kształt przebiegu krzywej pokazuje, że wzrost prędkości wirowania będzie powodował dalszy spadek czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie.

Wyniki badań wpływu dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) na czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.27 i na rysunku 3.44. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) powoduje wzrost czasu utrzymywania się zapachu w osadzie. Najwyższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 52 minuty uzyskano przy dawce mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że zwiększanie dawki mieszaniny flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) będzie powodowało wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie.

3.4.8.4. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem olejku eterycznego z pomarańczy

Wilgotność osadu

Pierwszym parametrem zmiennym, przy którym badano wilgotność osadu po procesie sedymentacji odśrodkowej był czas wirowania, który zmieniał się w zakresie od 1 do 10 minut. Efekty odwadniania przedstawiono w tabeli 3.28 i na rysunku 3.45. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost czasu wirowania powoduje spadek zawartości wilgoci w osadzie. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać zmniejszenie wilgotności osadu z 92,58% do wartości 88,87%, czyli o 3,71%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 88,87% uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że największy spadek wilgotności osadu następuje przy wzroście czasu wirowania do 8 minut. Powyżej tego czasu spadek wilgotności osadu jest zdecydowanie mniejszy.

Kolejnym parametrem zmiennym w procesie sedymentacji odśrodkowej była prędkość wirowania, która zmieniała się w zakresie od 1000 do 3000 obr/min. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.29 i na rysunku 3.46. Analiza wyników badań wskazuje, że ze wzrostem prędkości obrotowej zmniejsza się uwodnienie osadu. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min otrzymano zmniejszenie procentowej zawartości wilgoci osadu o 3,99%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 90,36% uzyskano przy prędkości obrotowej równej 3000 obr/min. Kształt krzywej pokazuje, że spadek wilgotności osadu następuje liniowo. Można powiedzieć, że dalszy wzrost prędkości powyżej 3000 obr/min pozwoli na obniżenie uwodnienia osadu.

Ostatnim badanym parametrem zmiennym była dawka olejku eterycznego z pomarańczy, która zmieniała się w zakresie od 0 do 48 ml/dm³. Analiza wyników badań przedstawionych w tabeli 3.30 i na rysunku 3.48 wskazuje, że wzrost dawki olejku z pomarańczy wpływa na zmniejszenie uwodnienia osadu. Ze wzrostem dawki olejku z pomarańczy od 0 do 48 ml/dm³ można uzyskać zmniejszenie wilgotności osadu z 92,52% do wartości 90,48%, czyli o 2,04%. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 90,48% uzyskano przy dawce olejku z pomarańczy równej 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że największy spadek wilgotności osadu ma miejsce przy dawce olejku eterycznego z pomarańczy do 18 ml/dm³, od 18 ml/dm³ do 38 ml/dm³ spadek jest już dużo mniejszy i praktycznie nie jest zauważalny, a powyżej 38 ml/dm³ następuje zwiększenie spadku wilgotności osadu. Podsumowując, dawka olejku z pomarańczy 48 ml/dm³ nie jest optymalną i dalszy jej wzrost pozwoli na obniżenie wartości wilgotności osadu.

Zagęszczenie odcieku

Drugim parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej, jaki badano, było zagęszczenie odcieku. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.31 i na rysunku 3.49. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje zagęszczenie odcieku. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut można uzyskać spadek zagęszczenia odcieku o 1098,2 mg/dm³. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. 3185,93 mg/dm³ uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu krzywej wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania do 8 minut następuje szybkie obniżanie zagęszczenia odcieku, a powyżej 8 minut spadek jest zdecydowanie mniejszy.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.32 i na rysunku 3.50, które wskazują, że wraz ze wzrostem prędkości wirowania maleje zagęszczenie odcieku. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek zagęszczenia odcieku z 6089,66 mg/dm³ do wartości 3635,41 mg/dm³, czyli o 2454,25 mg/dm³. Kształt przebiegu zależności wskazuje, że wraz ze wzrostem prędkości do 2500 obr/min następuje szybkie obniżanie zagęszczenia odcieku. Wzrost prędkości powyżej 2500 obr/min powoduje coraz mniejszy spadek.

Wyniki badań wpływu dawki olejku eterycznego z pomarańczy na zagęszczenie odcieku po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.33 i na rysunku 3.52. Analiza wyników badań wskazuje, że wzrost dawki olejku z pomarańczy wpływa na zmniejszenie zagęszczenia odcieku. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. 2862,93 mg/dm³ uzyskano przy dawce olejku eterycznego z pomarańczy równej 48 ml/dm³. Kształt przebiegu tej zależności pokazuje, że przy dawce olejku z pomarańczy do 18 ml/dm³ następuje wzrost zagęszczenia odcieku, po czym od 18 ml/dm³ do 28 ml/dm³ ma miejsce gwałtowny spadek, od 28 ml/dm³ do 38 ml/dm³ spadek jest zdecydowanie mniejszy, a powyżej 38 ml/dm³ następuje gwałtowne zwiększenie spadku zagęszczenia odcieku. Reasumując dawka olejku z pomarańczy 48 ml/dm³ nie jest dawką optymalną i dalszy jej wzrost przyczyni się do obniżenia wartości zagęszczenia odcieku.

Czas utrzymywania się zapachu w osadzie

Ostatnim parametrem wynikowym w procesie sedymentacji odśrodkowej, jaki badano, był czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie. Wyniki badań wpływu czasu wirowania na czas utrzymywania się zapachu olejku w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.34 i na rysunku 3.53. Analiza wyników badań wskazuje, że wraz ze wzrostem czasu wirowania maleje czas utrzymywania się zapachu olejku eterycznego w osadzie. Ze wzrostem czasu wirowania od 1 do 10 minut zanotowano spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie o 30 minut. Najniższą wartość, tj. 28 minut uzyskano przy czasie wirowania równym 10 minut. Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że największy spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie następuje przy wzroście czasu wirowania do pięciu minut. Dalsze wydłużenie czasu wirowania nie wpływa w znaczący sposób na zmniejszenie czasu utrzymywania się zapachu w osadzie.

Wyniki badań wpływu prędkości obrotowej na czas utrzymywania się zapachu olejku z pomarańczy w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.35 i na rysunku 3.54. Analiza wyników badań wskazuje, że wzrost prędkości wirowania powoduje spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie. Ze wzrostem prędkości wirowania z 1000 do 3000 obr/min zanotowano spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie o 25 minut. Najniższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 40 minut uzyskano przy prędkości wirowania 3000 obr/min. Kształt przebiegu krzywej pokazuje, że wzrost prędkości wirowania będzie powodował dalszy spadek czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie.

Wyniki badań wpływu dawki olejku eterycznego z pomarańczy na czas utrzymywania się zapachu w osadzie po procesie sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabeli 3.36 i na rysunku 3.56. Obserwując wyniki badań można zauważyć, że wzrost dawki olejku z pomarańczy powoduje wzrost czasu utrzymywania się zapachu w osadzie. Najwyższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 69 minut uzyskano przy dawce olejku z pomarańczy 48 ml/dm^3 . Kształt przebiegu tej zależności wskazuje, że dalsze zwiększanie dawki olejku z pomarańczy będzie powodowało wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie.

3.4.8.5. Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych z zastosowaniem różnych proporcji olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28 \text{ [ml/dm}^3\text{]}$

Wilgotność osadu

Wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na wilgotność osadu przedstawiono w tabeli 3.37 i na rysunku 3.57. Najniższą wartość wilgotności osadu, tj. 90,02% uzyskano przy udziale $U_{O/F1}$ (0% olejku z pomarańczy (0 ml/dm^3) + 100% flokulanta PRAESTOL 855BS (28 ml/dm^3)). Natomiast najwyższą wartość wilgotności w osadzie uzyskano przy udziale $U_{O/F7}$ (100% olejku z pomarańczy (28 ml/dm^3) + 0% flokulanta PRAESTOL 855BS (0 ml/dm^3)), tj. 91,35%. Wraz ze zwiększaniem udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$, następuje pogorszenie warunków odwadniania, zwiększa się procentowa zawartość wilgoci w osadzie o 1,33%. Rysunek 3.57 pokazuje, że dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ udział $U_{O/F4}$ (50% olejku z pomarańczy (14 ml/dm^3) + 50% flokulanta PRAESTOL 855BS (14 ml/dm^3)) jest optymalny. Dalsze zwiększanie udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ powoduje wzrost wilgotności osadu, który zaczyna być coraz wyraźniejszy (szczególnie dotyczy to udziału $U_{O/F7}$). Można to tłumaczyć tym, że olejek w mniejszym stopniu niż flokulant wpływa na łączenie drobnych cząstek zawiesiny w flokuły, które łatwiej oddają wodę i szybciej ulegają sedymentacji.

Zagęszczenie odcieku

Wyniki badań dotyczące wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku przedstawiono w tabeli 3.38 i na rysunku 3.58. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku, tj. 1733 mg/dm^3 uzyskano przy udziale $U_{O/F1}$ (0% olejku z pomarańczy (0 ml/dm^3) + 100% flokulanta PRAESTOL 855BS (28 ml/dm^3)). Natomiast najwyższą wartość zagęszczenia odcieku uzyskano przy udziale $U_{O/F7}$ (100% olejku z pomarańczy (28 ml/dm^3) + 0% flokulanta PRAESTOL 855BS (0 ml/dm^3)), tj. $3802,35 \text{ mg/dm}^3$. Wraz ze zwiększaniem udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ następuje pogorszenie warunków odwadniania, zwiększa się zagęszczenie odcieku o $2069,35 \text{ mg/dm}^3$. Rysunek 3.58 pokazuje, że dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ udział $U_{O/F4}$ (50% olejku z pomarańczy (14 ml/dm^3) + 50% flokulanta PRAESTOL 855BS (14 ml/dm^3)) jest

optymalny. Dalsze zwiększanie udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ powoduje znaczący wzrost zagęszczenia odcieku. Można to tłumaczyć tym, że olejek w mniejszym stopniu niż flokulant łączy drobne cząstki koloidalne zawiesiny w większe aglomeraty, które łatwiej podlegają oddziaływaniu siły odśrodkowej przechodząc do osadu. Wpływ na powyższą sytuację może mieć również gęstość olejku, która jest mniejsza od gęstości wody i powoduje, iż wypływa on na powierzchnię odcieku unosząc koloidalne ziarna zawiesiny.

Czas utrzymywania się zapachu w osadzie

Wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie przedstawiono w tabeli 3.39 i na rysunku 3.59. Najniższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie, tj. 19 minut uzyskano przy udziale $U_{O/F2}$ (21% olejku z pomarańczy (6 ml/dm^3) + 79% flokulanta PRAESTOL 855BS (22 ml/dm^3)). Natomiast najwyższą wartość czasu utrzymywania się zapachu w osadzie uzyskano przy udziale $U_{O/F7}$ (100% olejku z pomarańczy (28 ml/dm^3) + 0% flokulanta PRAESTOL 855BS (0 ml/dm^3)), tj. 44 minuty. Wraz ze zwiększaniem udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ wzrasta czas utrzymywania się zapachu w osadzie o 25 minut. Rysunek 3.59 pokazuje, że największy wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ następuje do udziału $U_{O/F5}$ (64% olejku z pomarańczy (18 ml/dm^3) + 36% flokulanta PRAESTOL 855BS (10 ml/dm^3)) i jest optymalny. Dalsze zwiększanie udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ w znaczący sposób nie wpływa na wydłużenie czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie. Ogólnie można przyjąć, że wraz ze zwiększaniem udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$, zwiększa się jego objętość w odwodnionym osadzie, a tym samym wzrasta czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów w osadzie.

3.4.8.6. Porównanie wyników badań w skali laboratoryjnej

Proces odwadniania komunalnych osadów ściekowych w skali laboratoryjnej wspomagany był flokulantem Praestol 855BS, mieszaniną w proporcji flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniną w proporcji flokulant

Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) oraz olejkiem z pomarańczy. Wyniki badań wpływu tych roztworów na proces sedymentacji odśrodkowej przedstawiono w tabelach 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, 3.36, 3.40, 3.41, 3.42, 3.43, 3.44, 3.45, 3.46, 3.47, 3.48 i na rysunkach 3.13, 3.14, 3.16, 3.17, 3.18, 3.20, 3.21, 3.22, 3.24, 3.25, 3.26, 3.28, 3.29, 3.30, 3.32, 3.33, 3.34, 3.36, 3.37, 3.38, 3.40, 3.41, 3.42, 3.44, 3.45, 3.46, 3.48, 3.49, 3.50, 3.52, 3.53, 3.54, 3.56, 3.60, 3.61, 3.62, 3.63, 3.64, 3.65, 3.66, 3.67, 3.68. Analiza wyników badań wskazuje, że wszystkie te roztwory wpływają na zmniejszenie procentowej zawartości wilgoci w osadzie, spadek zagęszczenia odcieku oraz wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie. Porównując skuteczność procesu odwadniania, można stwierdzić, że z czterech badanych roztworów najskuteczniejszy okazał się flokulant Praestol 855BS.

Pierwszym parametrem wynikowym, jaki badano po procesie odwadniania to wilgotność osadu. Najniższe wartości wilgotności osadu w zależności od czasu wirowania przy stałej prędkości wirowania i dawce uzyskano w przypadku flokulanta Praestol 855BS. Natomiast najwyższe wartości wilgoci w osadzie przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku eterycznego z pomarańczy. Nastąpił wzrost wilgotności w osadzie o 1,17–1,72%. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) odnotowano wzrost procentowej zawartości wilgoci w osadzie o 0,05–0,34%, natomiast w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) o 0,16–0,69%. Wyniki wskazują, że przy zastosowaniu tych dwóch roztworów wzrost procentowej zawartości wilgoci nie jest tak istotny, jak w przypadku olejku z pomarańczy.

Najniższe wartości wilgotności osadu w zależności od prędkości wirowania przy stałym czasie wirowania i dawce uzyskano w przypadku flokulanta Praestol 855BS. Natomiast najwyższe wartości wilgoci w osadzie przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku eterycznego z pomarańczy. Nastąpił wzrost wilgotności w osadzie o 1,01–1,67%. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) odnotowano wzrost procentowej zawartości wilgoci w osadzie o 0,18–0,72%, natomiast w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) o 0,45–0,95%. W tym przypadku również wyniki wskazują, że przy zastosowaniu tych dwóch roztworów

wzrost procentowej zawartości wilgoci nie jest tak znaczący, jak w przypadku olejku z pomarańczy.

Najniższe wartości wilgotności osadu w zależności od dawki przy stałym czasie i prędkości wirowania uzyskano w przypadku flokulanta Praestol 855BS. Natomiast najwyższe wartości wilgoci w osadzie przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku z pomarańczy. Nastąpił wzrost wilgotności w osadzie o 0,59–1,34%. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) odnotowano wzrost procentowej zawartości wilgoci w osadzie o 0,03–0,34%, natomiast w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) o 0,13–0,52%. Podsumowując wyniki, wskazują one, że przy zastosowaniu tych dwóch roztworów wzrost procentowej zawartości wilgoci nie jest tak istotny, jak w przypadku olejku z pomarańczy.

Drugim parametrem wynikowym, jaki badano po procesie sedymentacji odśrodkowej to zagęszczenie odcieku. Najniższe wartości zagęszczenia odcieku w zależności od czasu wirowania przy stałej prędkości wirowania i dawce roztworu uzyskano w przypadku flokulanta Praestol 855BS. Natomiast najwyższe wartości zagęszczenia odcieku przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku z pomarańczy. Nastąpił wzrost zagęszczenia odcieku o 1565,58–2318,57 mg/dm³. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) odnotowano wzrost zagęszczenia odcieku o 32,36–146,05 mg/dm³, natomiast w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) o 327,41–490,92 mg/dm³. Wyniki wskazują, że przy zastosowaniu tych dwóch roztworów wzrost zagęszczenia odcieku nie jest tak znaczący, jak w przypadku roztworu olejku z pomarańczy.

Najniższe wartości zagęszczenia odcieku w zależności od prędkości wirowania przy stałym czasie wirowania i dawce roztworu uzyskano w przypadku flokulanta Praestol 855BS. Natomiast najwyższe wartości zagęszczenia odcieku przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku z pomarańczy. Nastąpił wzrost zagęszczenia odcieku o 1967,65–3842,05 mg/dm³. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) odnotowano wzrost zagęszczenia odcieku o 146,05–1078,4 mg/dm³, natomiast w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) o 457,5–1831,62 mg/dm³. Wyniki wskazują, że przy zastosowaniu tych dwóch roztworów wzrost zagęszczenia odcieku nie jest tak istotny, jak w przypadku olejku z pomarańczy.

Najniższe wartości zagęszczenia odcieku w zależności od dawki roztworu przy stałym czasie i prędkości wirowania uzyskano w przypadku flokulanta Praestol 855BS. Natomiast najwyższe wartości zagęszczenia odcieku przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku z pomarańczy. Nastąpił wzrost zagęszczenia odcieku o 1266,34–2281,7 mg/dm³. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%) odnotowano wzrost zagęszczenia odcieku o 3,12–292,77 mg/dm³, natomiast w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) o 6,1–670,4 mg/dm³. Wyniki wskazują, że stosując te dwa roztwory nie spowodują one znacznego wzrostu zagęszczenia odcieku, jak w przypadku olejku z pomarańczy.

Ostatnim parametrem wynikowym, jaki badano po procesie odwadniania to czas utrzymywania się zapachu olejku w osadzie. Najniższe wartości czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie w zależności od czasu wirowania przy stałej prędkości wirowania i dawce roztworu uzyskano w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%). Natomiast najwyższe wartości czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku z pomarańczy. Nastąpił wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie o 15–34 minut. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) odnotowano wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie o 10–14 minut. Wyniki wskazują, że przy zastosowaniu mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) wzrost czasu utrzymywania się zapachu w osadzie nie jest tak duży, jak w przypadku olejku z pomarańczy.

Najniższe wartości czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie w zależności od prędkości wirowania przy stałym czasie wirowania i dawce roztworu uzyskano w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%). Natomiast najwyższe wartości czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku z pomarańczy. Nastąpił wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie o 23–36 minut. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) odnotowano wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie o 12–16 minut. Wyniki wskazują, że przy zastosowaniu mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) wzrost czasu utrzymywania się zapachu w osadzie nie jest tak znaczący, jak w przypadku olejku z pomarańczy.

Najniższe wartości czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie w zależności od dawki roztworu przy stałym czasie i prędkości wirowania uzyskano w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%). Natomiast najwyższe wartości czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie przy zachowaniu tych samych parametrów zanotowano w przypadku olejku z pomarańczy. Nastąpił wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie o 21–28 minut. W przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) odnotowano wzrost czasu utrzymywania się zapachu olejku w osadzie o 11–13 minut. Podsumowując wyniki, wskazują one, że przy zastosowaniu mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) wzrost czasu utrzymywania się zapachu w osadzie nie jest tak istotny, jak w przypadku olejku z pomarańczy.

3.4.9. Próba analizy przyczynowo-skutkowej stwierdzonych zależności

3.4.9.1. Wilgotność osadu

Analiza przebiegów zależności przedstawionych na rysunkach 3.13, 3.21, 3.33, 3.45 wskazuje, że zarówno w przypadku flokulanta Praestol 855BS, mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%), jak i również olejku z pomarańczy wraz ze wzrostem czasu wirowania, następuje zmniejszenie procentowej zawartości wilgoci w osadzie. Spadek wilgotności osadu można tłumaczyć tym, że wraz ze wzrostem czasu wirowania, wydłuża się czas działania siły odśrodkowej (największa zdecydowanie, co do wartości siła działająca na ziarenko osadu w procesie sedymentacji odśrodkowej), która powoduje sedymentację i zgęszczenie coraz mniejszych ziarenek osadu.

Również wraz ze wzrostem prędkości wirowania obserwuje się zmniejszenie wilgotności osadu (rysunek 3.14, 3.22, 3.34, 3.46). Wraz ze wzrostem prędkości wirowania rośnie siła odśrodkowa, która powoduje odsączenie z por osadu zawartej w porach resztek wody.

Wraz ze wzrostem dawki flokulanta Praestol 855BS, mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%), a także olejku z pomarańczy, następuje spadek zawartości wilgoci w osadzie (rysunek 3.16, 3.24, 3.36, 3.48). Flokulant i olejek z pomarańczy wpływają na spadek wilgotności osadu w taki sposób, że łączą drobne cząstki koloidalne zawiesiny w większe aglomeraty, tzw. kłaczkę znacznie lepiej

podlegające oddziaływaniu siły odśrodkowej, gdyż mają większą masę ($m\omega r^2$) przyspieszając w ten sposób proces sedymentacji odśrodkowej.

3.4.9.2. Zagęszczenie odcieku

Obserwując przebiegi zależności przedstawione na rysunkach 3.17, 3.25, 3.37, 3.49 można stwierdzić, że zarówno w przypadku flokulanta Praestol 855BS, mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%), mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%), a także olej z pomarańczy ze wzrostem czasu wirowania maleje zagęszczenia odcieku. Można przyjąć, że wraz ze wzrostem czasu wirowania wydłuża się czas tworzenia osadu, którego jest coraz więcej, a tym samym coraz mniej cząstek stałych może przechodzić do odcieku.

Wzrost prędkości wirowania wpływa na zmniejszenie zagęszczenia odcieku (rysunek 3.18, 3.26, 3.38, 3.50). Można to tłumaczyć tym, że wzrost siły odśrodkowej spowodowany wzrostem prędkości wirowania, zmusza nawet najmniejsze ziarna zawiesiny do sedymentacji, a więc usuwa je z odcieku.

Wraz ze wzrostem dawki flokulanta Praestol 855BS, mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olej z pomarańczy (21%), mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%), a także olej z pomarańczy następuje spadek zagęszczenia odcieku (rysunek 3.20, 3.28, 3.40, 3.52). Flokulant i olej wpływają na spadek zagęszczenia odcieku w taki sposób, że łączą one drobne cząstki koloidalne zawiesiny w większe aglomeraty, które znacznie łatwiej podlegają oddziaływaniu siły odśrodkowej, a więc przechodzą do osadu.

Przy dawce flokulanta Praestol 855BS równej 48 ml/dm^3 (rysunek 3.20) nastąpił wzrost zagęszczenia odcieku. Najprawdopodobniej jest to skutkiem przedawkowania flokulanta, co jednocześnie spowodowało wzrost lepkości medium. Dlatego też w praktyce bardzo ważne jest ustalenie optymalnej dawki flokulanta, ponieważ zbyt duża dawka, tak jak w tym przypadku, może powodować pogorszenie efektów odwadniania osadów.

Nietypowy przebieg zależności w przypadku zastosowania olejku eterycznego (rysunek 3.52) można tłumaczyć tym, iż prawdopodobnie pierwsza, a więc ta najniższa dawka olejku jako flokulanta $C_0 = 18 \text{ ml/dm}^3$ nie spowodowała jeszcze utworzenia flokuł, a więc na tyle dużych kłaczków, dla których siła odśrodkowa przy danych obrotach umożliwiłaby już ich sedymentację z jednej strony oraz niestety równocześnie ta najniższa dawka olejku eterycznego była na tyle duża, że zwiększyła lepkość cieczy

na tyle, że małe bardzo niewielkie zbliżone do rzędu mikronowych cząstki zawiesiny nie były w stanie szybko sedymentować. W następnych seriach doświadczenia zwiększane dawki olejku eterycznego, mimo oczywistego wzrostu lepkości były na tyle wystarczające, że zaistniało efektywne tworzenie się flokuł, czyli kłaczków.

3.4.9.3. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie

Po wprowadzeniu olejku eterycznego z pomarańczy do osadu ściekowego nastąpiło złagodzenie, a nawet zanik nieprzyjemnego zapachu osadu. Spowodowały to związki należące do grupy terpenów m.in. limonen i nerol, które wchodzi w skład olejku eterycznego z pomarańczy. Związki te mają najwyższe progi węchowej wyczuwalności i to one decydują o charakterystycznym zapachu olejku eterycznego z pomarańczy.

Mechanizm neutralizacji zapachu nie został dotychczas wyjaśniony. W tym przypadku najprościej można wytłumaczyć go w taki sposób, że nastąpiło zablokowanie części receptorów nabłonka węchowego poprzez związki decydujące o charakterystycznym zapachu olejku eterycznego z pomarańczy, co przyczyniło się do zmiany charakteru zapachu odwodnionych osadów z nieprzyjemnego na przyjemny, w których wyczuwalna była woń olejku eterycznego z pomarańczy.

Analiza przebiegów zależności przedstawionych na rysunkach 3.29, 3.41, 3.53 wskazuje, że zarówno w przypadku mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%), a także olejku z pomarańczy wraz ze wzrostem czasu wirowania następuje zmniejszenie czasu utrzymywania się zapachu w osadzie. Spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie można tłumaczyć tym, że im dłuższy czas wirowania, tym dłuższy czas oddziaływania siły odśrodkowej na odwadniany osad, która wypiera zarówno cząsteczki wody, jak i olejku z sedymentowanego osadu, powodując, że większa objętość olejku przedostaje się do odcieku. Należy również wziąć pod uwagę fakt, iż gęstość olejku jest mniejsza od gęstości wody, co powoduje, iż unosi się on na powierzchni odcieku.

Również wraz ze wzrostem prędkości wirowania obserwuje się zmniejszenie czasu utrzymywania się zapachu w osadzie (rysunek 3.30, 3.42, 3.54). Spadek czasu utrzymywania się zapachu w osadzie można tłumaczyć tym, że wraz ze wzrostem prędkości wirowania rośnie siła odśrodkowa, która wypiera cząsteczki wody i olejku z sedymentowanego osadu, powodując, że większa ilość olejku przedostaje się do

odcieku. W tym przypadku również należy uwzględnić gęstość olejku, która jest mniejsza od gęstości wody i pod wpływem siły odśrodkowej wypływa on na powierzchnię odcieku.

Wraz ze wzrostem dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%), mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%), a także olejku z pomarańczy, następuje wzrost czasu utrzymywania się zapachu w osadzie (rysunek 3.32, 3.44, 3.56). Można to tłumaczyć tym, że wraz ze wzrostem dawki, zwiększa się objętość olejku w odwodnionym osadzie, a tym samym wzrasta czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów w osadzie.

3.5. Badania procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych oraz neutralizacji odorów w skali przemysłowej

3.5.1. Badania na Oczyszczalni Ścieków Jamno

3.5.1.1. Metodyka badań

Proces odwadniania komunalnych osadów ściekowych w skali przemysłowej badano na wirówce dekantacyjnej typu NOXON DC-20 na terenie Oczyszczalni Ścieków Jamno (rysunek 3.69).



Rys. 3.69. Wirówka dekantacyjna typu NOXON DC-20

Wirówka przemysłowa Noxon jest typową wirówką dekantacyjną o działaniu przeciwwąadowym. Centralną częścią maszyny jest wirujący bęben, posiadający wewnątrz niezależnie wirujący ślimak. Osad dostarczany jest poprzez rurę dolotową do komory mieszania, w której następuje zmieszanie go z roztworem polielektrolitu w celu flokulacji osadu. Osad, na skutek wirowania, zostaje wyrzucony poprzez otwory w komorze mieszania w kierunku ścianek wewnętrznych bębna i rozpoczyna się proces odwadniania. Odwodniony osad transportowany jest na zewnątrz maszyny przy pomocy zwojów ślimaka. Na skutek ciśnienia odciek wypychany jest otwory we flanszy bębna od strony dolotu osadu. Wzajemne przemieszczanie się osadu i odcieku w wirówce jest przeciwwąadowe – osad przesuwany jest po wewnętrznej powierzchni bębna przez ślimak od miejsca w którym osad wyrzucany jest z komory mieszania do gardzieli wysypu osadu. Odciek przemieszcza się w kierunku przeciwnym, opuszczając bęben przez 6 otworów we flanszy bębna. Bęben i ślimak wirują niezależnie od siebie – bęben do 2200 obr/min, ślimak o 1–15 obr/min szybciej od bębna – w zależności od rodzaju osadu [76].

Parametrem stałym procesu odwadniania była:

- prędkość wirowania n [obr/min] – $n = 2500$ obr/min,
- czas przebywania osadu w wirówce t [s] – $t = 12$ s,
- dawka C [dm³/m³] – $C = 665$ dm³/17 m³.

Parametry zmienne niezależne procesu odwadniania:

- x_1 – udział olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665$ dm³/17 m³ $U_{O/F}$ [%] – przyjęto:
 $U_{O/F1} = [0\%/100\%]$, $U_{O/F2} = [25\%/75\%]$, $U_{O/F3} = [50\%/50\%]$,
 $U_{O/F4} = [75\%/25\%]$.

Parametry zmienne zależne (wynikowe) procesu odwadniania:

- y_1 – procentowa zawartość wilgoci w osadzie W [%],
- y_2 – zagęszczenie odcieku β [mg/dm³],
- y_3 – stężenie zapachu olejku eterycznego w odwirowanym osadzie c_{od} [ou_E/m³].

Bezpośrednio po pobraniu próbek w czasie do 1h od chwili pobrania, oznaczano parametry fizyczne osadu, tworzącego nadawę do procesu odwadniania, tj.: pH [-], temperaturę [°C], barwę, strukturę, zapach, wilgotność W_N [%] i zagęszczenie β_N [mg/dm³]. Próbki były przechowywane w lodówce w temperaturze 4°C. Próbki pobrano z wylotu osadu na wirówce dekantacyjnej NOXON DC-20, będącej własnością Oczyszczalni Ścieków Jamno.

3.5.1.1.1. Charakterystyka osadu ściekowego

Do badań użyto ściek zawiesinowy o następującej charakterystyce:

- pH: 7,2,
- temperatura: 20°C,
- barwa: czarna,
- struktura osadu: jednolita, trudno opadający, zawiesinowy,
- zapach: gnilny,
- wilgotność W_N : 97,48 %,
- zagęszczenie β_N : 25163,91 mg/dm³.

3.5.1.1.2. Charakterystyka flokulanta kationowego PRAESTOL 855BS

Proces odwadniania w przemysłowej wirówce dekantacyjnej NOXON DC-20 na terenie Oczyszczalni Ścieków Jamno wspomagany był flokulantem kationowym o nazwie handlowej PRAESTOL 855BS o stężeniu rzeczywistym roztworu 0,3%.

Informacje na temat podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych flokulantu PRAESTOL 855BS użytego do badań przedstawiono w tabeli 3.2.

3.5.1.1.3. Charakterystyka olejku eterycznego z pomarańczy

Do badań procesu mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych w skali przemysłowej wykorzystano naturalny olejek eteryczny z pomarańczy, który zakupiono w Fabryce Substancji Zapachowych „POLLENA-AROMA” Sp. z o.o.

W tabeli 3.49 przedstawiono informacje na temat podstawowych właściwości fizyczno-chemicznych olejku eterycznego z pomarańczy zastosowanego do badań.

Tabela 3.49. Charakterystyka olejku eterycznego z pomarańczy [193]

Wygląd	Ciecz
Barwa	Żółta do czerwonożółtej
Zapach	Pomarańczowy
Gęstość d_{20}^{20}	0,844 g/cm ³
Współczynnik załamania światła n_D^{20}	1,4730
Skręcalność α_D^{20}	+ 96,4°
Liczba kwasowa	-
Liczba estrowa	-
Rozpuszczalność w etanolu	-
Zawartość związków karbonylowych	1,2%

3.5.1.1.4. Pomiar stężenia zapachowego olejku eterycznego w odwodnionym osadzie

Metodyka badań

Pomiarów stężenia zapachowego olejku eterycznego z odwodnionych osadów dokonano metodą olfaktometrii dynamicznej zgodnie z normą PN-EN 13725:2007 [167].

Dobór członków zespołu oceniających zapach

Pomiary stężeń zapachowych wykonywane były przez zespół pomiarowy składający się z pięciu osób (czterech probantów oraz jednego operatora), który został wyselekcjonowany zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN 13725:2007 [167].

Według normy członkami zespołu mogą zostać osoby o podobnej wrażliwości węchu na wskazany materiał odniesienia, spełniający określone kryteria sensorycznej sprawności. Jako materiał odniesienia należy stosować n-butanol w azocie. Jako wartość odniesienia przy oznaczeniach jego progu wyczuwalności uznaje się stężenie $c = 123 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podstawą selekcji oceniających są wyniki co najmniej dziesięciu ocen indywidualnego progu wyczuwalności n-butanolu. Dane powinny być zebrane w co najmniej 3 sesjach w oddzielnych dniach, z co najmniej jednodniową przerwą między sesjami. Oceniający może zostać członkiem zespołu, jeżeli [167]:

- średnia geometryczna indywidualnych oznaczeń stężenia progowego n-butanolu mieści się w zakresie 62–246 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- spełnia kryterium wymaganej powtarzalności ocen indywidualnych wyrażone wzorem $10S \leq 2,3$, gdzie s jest odchyleniem standardowym.

Pomieszczenie do przeprowadzenia pomiarów stężeń zapachowych

Pomieszczenie w którym przeprowadzano pomiar stężenia zapachowego było zgodne z wytycznymi normy PN-EN 13725:2007 [167].

Jak podaje norma pomieszczenie do badań powinno być wyposażone w instalację wentylacyjną. Maksymalna dopuszczalna temperatura otoczenia powinna wynosić 25°C. Zmiany temperatury w czasie serii pomiarów nie powinny być większe niż $\pm 3^{\circ}\text{C}$. W tak utrzymanym pomieszczeniu osoby oceniające zapach powinny przebywać przez co najmniej 15 minut poprzedzających pomiary. Trzydzieści minut przed rozpoczęciem ocen zapachu muszą zrezygnować z palenia papierosów, jedzenia, picia płynów innych niż woda lub żucia gumy. W pomieszczeniu nie wolno używać odświeżaczy powietrza i dezodorantów [167].

Pobór prób do badań

Po każdej zastosowanej dawce mieszaniny olejku eterycznego wraz z flokulantem, z odwodnionych osadów pobrano próbki gazów do trzech worków przy użyciu próbnika standardowego (rysunek 3.70). Worki do poboru próbek wykonane są z PTFE (politetrafluoroetylenu) charakteryzującego się brakiem pochłaniania bądź wydzielania zapachu. Również i inne elementy zestawu do poboru próbek są wykonane z materiałów bezwonnych, nie pochłaniających zapachu. Zgodnie z zaleceniami worki były wcześniej kondycjonowane. Pobór próbki opierał się na zasadzie pracy płuc [167].



Rys. 3.70. Próbnik standardowy do poboru próbek do oznaczeń olfaktometrycznych

Przebieg pomiaru stężenia zapachowego

Bezpośrednio po poborze próbki były przewożone do laboratorium, gdzie dokonywano oznaczenia stężeń zapachowych. Pomiar wykonywany był metodą olfaktometrii dynamicznej zgodnie z wytycznymi opisanymi w PN-EN 13725 Jakość powietrza. Oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej przy użyciu czterostanowiskowego olfaktometru T08 (rysunek 3.71) wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem. Zespół pomiarowy składał się z operatora oraz czterech probantów wyselekcjonowanych zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie przy użyciu n-butanolu jako substancji odniesienia. Zgodnie z normą badania były prowadzone w wyciszonym i odizolowanym pomieszczeniu o stabilnych warunkach temperaturowych i oświetleniowych.



Rys. 3.71. Olfaktometr T08

Podczas pomiaru próbka gazu z odwirowanego osadu podłączana była do olfaktometru, a zadaniem probantów było sygnalizowanie, czy wyczuwają zapach w prezentowanym strumieniu gazów. Gazy rozcieńczane były bezwonnyim powietrzem w sposób dynamiczny. Początkowe rozcieńczenie zostało dobrane tak, aby nie było

możliwe stwierdzenie obecności zapachu. Prezentowane rozcieńczenia były malejące. Wśród prezentowanych prób znajdowały się tzw. „ślepe próbki” lub „zerowe próby”, w których zamiast zapachu było prezentowane czyste, bezwonne powietrze. Olfaktometr był połączony z komputerem z zainstalowanym specjalnym oprogramowaniem. Jeden pomiar składał się z czterech serii pomiarowych. Zebrane w komputerze wyniki zostały obliczone jako wynik pomiaru zespołowego ($Z_{ite,pan}$) – średnia geometryczna ze wszystkich pomiarów indywidualnych. Była to jednocześnie wartość stężenia odorów w danej próbce (c_{od}) wyrażona w europejskich jednostkach zapachowych w metrze sześciennym (ou_E/m^3) zgodnie z PN-EN 13725:2007.

Obliczenie stężenia zapachowego w próbce na podstawie zbioru odpowiedzi członków zespołu

Stopień rozcieńczenia do progu zespołowego $\bar{Z}_{ITE,pan}$ jest takim stopniem rozcieńczenia próbki, po którym fizjologiczna reakcja zespołu jest równoważna reakcji odpowiadającej $1\ ou_E/m^3$. Stopień rozcieńczenia do progu zespołowego $\bar{Z}_{ITE,pan}$ jest obliczany jako średnia geometryczna ocen progu indywidualnego (ITE) członków zespołu, po weryfikacji powtórnej. Stężenie zapachowe wyrażone w ou_E/m^3 jest zatem równe liczbowej wartości stopnia rozcieńczenia $\bar{Z}_{ITE,pan}$ [167].

Obliczenie ocen progu indywidualnego (ITE) w metodzie tak/nie

Ocena progu indywidualnego Z_{ITE} jest obliczana na podstawie jednej serii rozcieńczeń.

Ocena progu indywidualnego jest określana na podstawie dwóch prezentacji należących do jednej serii rozcieńczeń, ułożonej według malejącego stężenia zapachowego, między którymi występuje istotna (pewna) zmiana konsekwentnie udzielanych odpowiedzi PRAWDA na pojawiające się odpowiedzi FAŁSZ. Ocena progu indywidualnego Z_{ITE} jest obliczana jako średnia geometryczna ze stopni rozcieńczenia w tych dwóch określonych prezentacjach [167].

Powtórna weryfikacja członków zespołu po każdym pomiarze

Zbiór wartości Z_{ITE} uzyskanych w pomiarze powinien być poddany powtórnej weryfikacji zgodnie z niżej podaną procedurą. Ma to na celu wyłączenie członków zespołu, którzy wykazują odchylenia odpowiedzi spowodowane czynnikami zdrowotnymi (przeziębienia, alergie, stosowanie inhalacji) lub swoistą wężową nadwrażliwość (hiperosmię) lub anosmię w stosunku do zapachu analizowanej próbki.

Zakłada się, że po powtórnej weryfikacji większość członków zespołu wykaże prawidłowe zachowanie sensoryczne, w zakresie granic określonych w procedurze

selekcji zespołu na podstawie reakcji na materiały odniesienia. Zakłada się, że nie więcej niż jedna trzecia członków zespołu wykaże odchylenie od przewidywanego zachowania.

Wsteczne przesiewanie jest przeprowadzone na podstawie parametru ΔZ , proporcji między oceną progę indywidualnego Z_{ITE} i średnią geometryczną $\bar{Z}_{ITE}$ wszystkich ocen progów indywidualnych w pomiarze [167].

$$\text{Jeżeli } Z_{ITE} \geq \bar{Z}_{ITE} \text{ to } \Delta Z = \frac{Z_{ITE}}{\bar{Z}_{ITE}} \quad (3.39)$$

i

$$\text{jeżeli } Z_{ITE} < \bar{Z}_{ITE} \text{ to } \Delta Z = -\frac{\bar{Z}_{ITE}}{Z_{ITE}}. \quad (3.40)$$

Parametr ΔZ powinien spełniać kryterium [167]: $-5 \leq \Delta Z \leq 5$.

Jeżeli jedna lub więcej ocen progę indywidualnego jednego lub większej liczby członków zespołu nie spełnia tego kryterium w czasie pomiaru, wszystkie oceny progę indywidualnego dla członka zespołu o największym ΔZ powinny być wyłączone ze zbioru danych do obliczeń progę zespołowego dla tego pomiaru. Następnie po powtórny obliczeniu $\bar{Z}_{ITE}$ dla tego pomiaru powtarza się procedurę powtórnej weryfikacji. Jeśli ponownie jeden członek zespołu lub większa liczba członków zespołu nie spełnia tego kryterium członek zespołu o największym ΔZ powinien być wyłączony.

Procedura powtórnej weryfikacji jest powtarzana dopóki odpowiedzi wszystkich członków zespołu nie spełniają kryteriów zbioru danych. Ostatnia uzyskana wartość $\bar{Z}_{ITE}$ jest stopniem rozcieńczenia do progę zespołowego $\bar{Z}_{ITE,pan}$ [167].

Minimalne wymagania dotyczące zbioru odpowiedzi członków zespołu

Pomiar zmierzający do wyznaczenia progę zespołowego powinien składać się co najmniej z 8 ocen progę indywidualnego, po powtórnej weryfikacji. Od każdego z członków zespołu powinno się uzyskać tę samą liczbę wartości ITE.

Jeżeli zbiór odpowiedzi członków zespołu nie spełnia wymagań, powinny być przedstawione dodatkowe prezentacje dodatkowym członkom zespołu. Te dodatkowe prezentacje powinny być wykonane tego samego dnia i z użyciem tej samej próbki, którą stosowano w pierwszej części danego pomiaru [167].

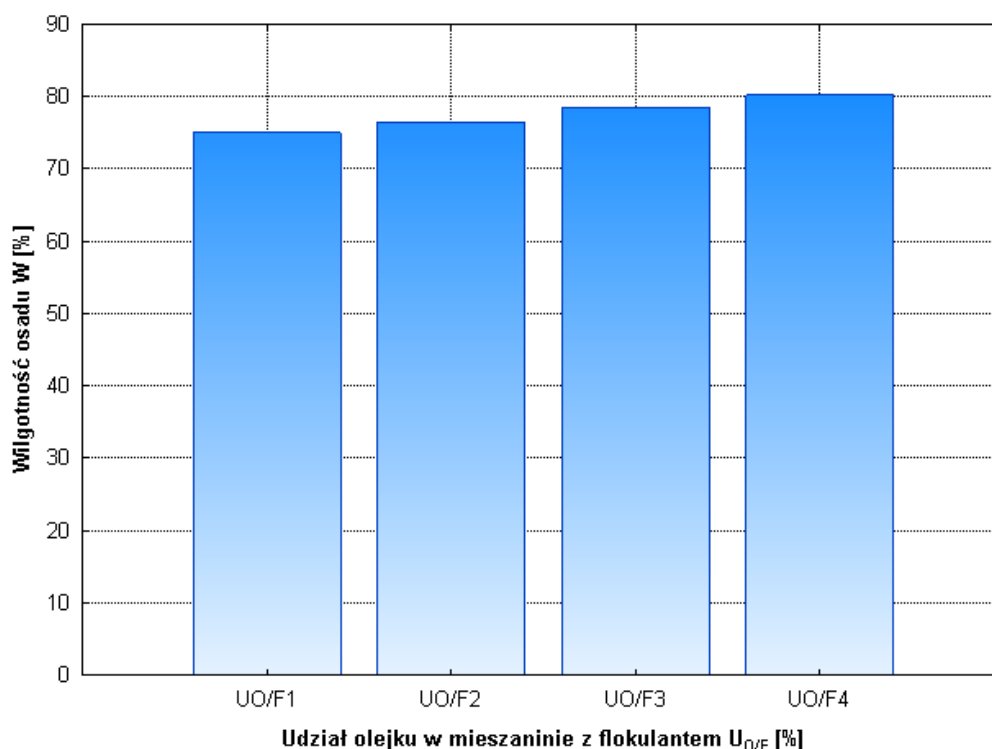
3.5.1.2. Zestawienie wyników badań

W tabeli 3.50 przedstawiono wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS U_{OF} [%] dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ na wilgotność osadu W [%] i zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]:

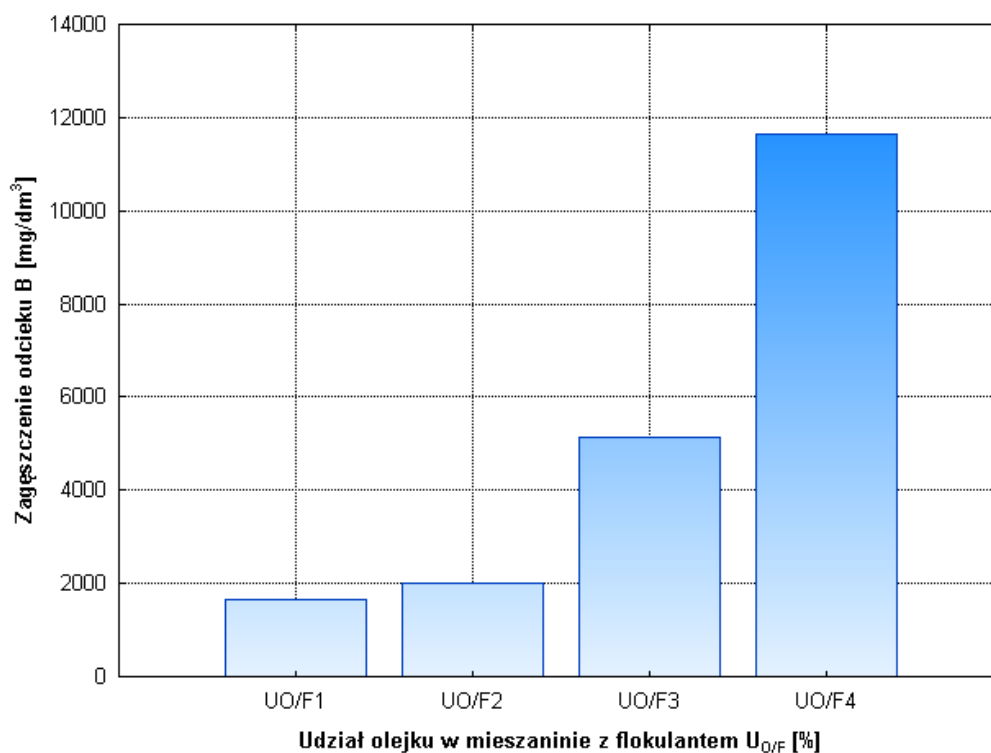
- **Udział $U_{O/F1}$** – 0% olejku z pomarańczy (0 dm^3) + 100% flokulanta PRAESTOL 855BS (665 dm^3)/ 17 m^3 ,
- **Udział $U_{O/F2}$** – 25% olejku z pomarańczy (166 dm^3) + 75% flokulanta PRAESTOL 855BS (499 dm^3)/ 17 m^3 ,
- **Udział $U_{O/F3}$** – 50% olejku z pomarańczy ($332,5 \text{ dm}^3$) + 50% flokulanta PRAESTOL 855BS ($332,5 \text{ dm}^3$)/ 17 m^3 ,
- **Udział $U_{O/F4}$** – 75% olejku z pomarańczy (499 dm^3) + 25% flokulanta PRAESTOL 855BS (166 dm^3)/ 17 m^3 .

Tabela 3.50. Wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$ na wilgotność osadu W [%] i zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Udział $U_{O/F}$ [%]	Wilgotność osadu W [%]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]
$U_{O/F1}$	75,05	1646,42
$U_{O/F2}$	76,55	2022,64
$U_{O/F3}$	78,51	5130,93
$U_{O/F4}$	80,26	11650,30



Rys. 3.72. Wpływ udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$ na wilgotność osadu W [%]



Rys. 3.73. Wpływ udziału oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

W tabelach 3.51 i 3.52 przedstawiono wyniki badań wpływu udziału oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ na stężenie zapachu oleju w odwirowanym osadzie c_{od} [ou_E/m^3].

Ogólnie stężenie nieprzyjemnego zapachu osadu ściekowego wynosi $c_{od} = 1068 [\text{ou}_E/\text{m}^3]$.

Tabela 3.51. Dane do obliczania wyniku pomiaru stężenia zapachowego (metoda tak/nie)

Nr dawki	Nr próbki	Nr serii	Z_{tak1}	Z_{tak2}	Z_{tak3}	Z_{tak4}	Z_{ITE1}	Z_{ITE2}	Z_{ITE3}	Z_{ITE4}	$\bar{Z}_{ITE,pan}$	ΔZ_1	ΔZ_2	ΔZ_3	ΔZ_4
$U_{O/F1}$	1	1	2048	512	2048	512	2896	724	2896	724	1649	1,8	-2,3	1,8	-2,3
		2	512	2048	512	2048	724	2896	724	2896		-2,3	1,8	-2,3	1,8
		3	1024	2048	2048	2048	1448	2896	2896	2896		-1,1	1,8	1,8	1,8
		4	512	512	2048	2048	724	724	2896	2896		-2,3	-2,3	1,8	1,8
	2	1	512	512	512	2048	724	724	724	2896	861	-1,2	-1,2	-1,2	3,4
		2	512	512	512	1024	724	724	724	1448		-1,2	-1,2	-1,2	1,7
		3	512	256	512	1024	724	362	724	1448		-1,2	-2,4	-1,2	1,7
		4	512	512	512	1024	724	724	724	1448		-1,2	-1,2	-1,2	1,7
	3	1	512	512	256	1024	724	724	362	1448	693	1,0	1,0	-1,9	2,1
		2	512	512	512	512	724	724	724	724		1,0	1,0	1,0	1,0
		3	256	512	512	256	362	724	724	362		-1,9	1,0	1,0	-1,9
		4	2048	256	256	1024	2896	362	362	1448		4,2	-1,9	-1,9	2,1
$U_{O/F2}$	1	1	1024	1024	1024	4096	1448	1448	1448	5793	1512	-1,0	-1,0	-1,0	3,8
		2	1024	1024	512	4096	1448	1448	724	5793		-1,0	-1,0	-2,1	3,8
		3	1024	1024	512	1024	1448	1448	724	1448		-1,0	-1,0	-2,1	-1,0
		4	1024	512	512	2048	1448	724	724	2896		-1,0	-2,1	-2,1	1,9
	2	1	1024	2048	512	1024	1448	2896	724	1448	1328	1,1	2,2	-1,8	1,1
		2	1024	1024	512	512	1448	1448	724	724		1,1	1,1	-1,8	-1,8
		3	1024	1024	1024	2048	1448	1448	1448	2896		1,1	1,1	1,1	2,2
		4	1024	512	512	2048	1448	724	724	2896		1,1	-1,8	-1,8	2,2
	3	1	1024	1024	512	4096	1448	1448	724	5793	1579	-1,1	-1,1	-2,2	3,7
		2	1024	512	512	2048	1448	724	724	2896		-1,1	-2,2	-2,2	1,8
		3	512	1024	1024	4096	724	1448	1448	5793		-2,2	-1,1	-1,1	3,7
		4	1024	1024	512	4096	1448	1448	724	5793		-1,1	-1,1	-2,2	3,7

Tabela 3.51. Cd.

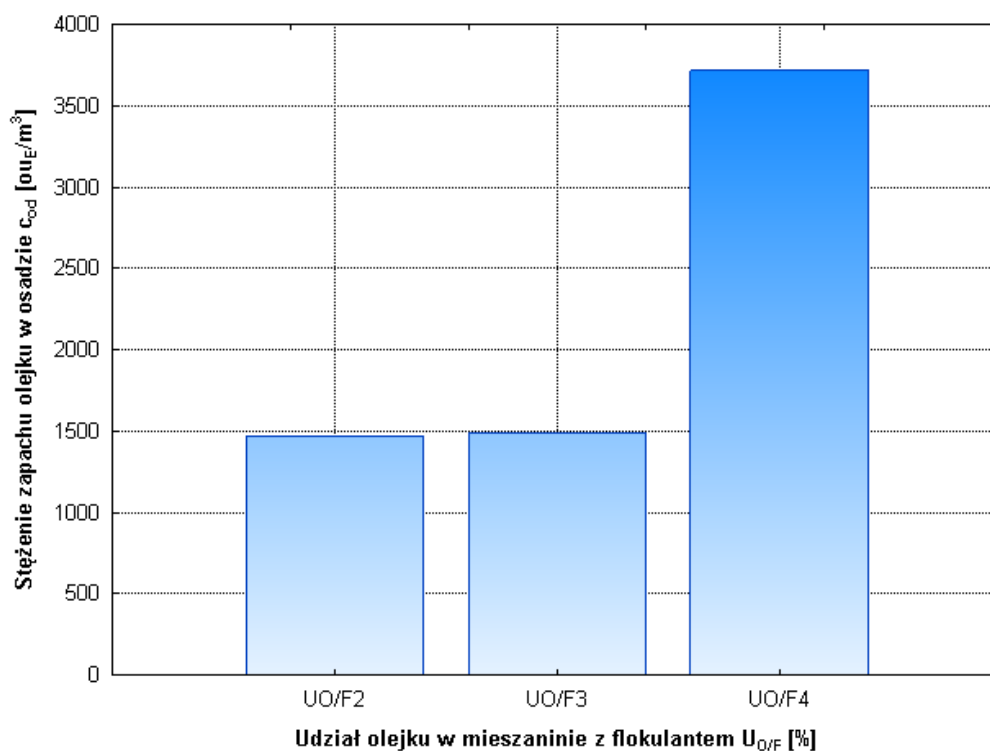
Nr dawki	Nr próbki	Nr serii	Z_{tak1}	Z_{tak2}	Z_{tak3}	Z_{tak4}	Z_{ITE1}	Z_{ITE2}	Z_{ITE3}	Z_{ITE4}	$\bar{Z}_{ITE,pan}$	ΔZ_1	ΔZ_2	ΔZ_3	ΔZ_4
$U_{O/F3}$	1	1	2048	2048	2048	256	2896	2896	2896	362	1512	1,9	1,9	1,9	-4,2
		2	256	2048	2048	256	362	2896	2896	362		-4,2	1,9	1,9	-4,2
		3	256	2048	512	512	362	2896	724	724		-4,2	1,9	-2,1	-2,1
		4	4096	2048	2048	2048	5793	2896	2896	2896		3,8	1,9	1,9	1,9
	2	1	2048	2048	1024	512	2896	2896	1448	724	1512	1,9	1,9	-1,0	-2,1
		2	2048	1024	512	512	2896	1448	724	724		1,9	-1,0	-2,1	-2,1
		3	2048	1024	512	1024	2896	1448	724	1448		1,9	-1,0	-2,1	-1,0
		4	1024	1024	1024	2048	1448	1448	1448	2896		-1,0	-1,0	-1,0	1,9
	3	1	1024	1024	2048	2048	1448	1448	2896	2896	1448	1,0	1,0	2,0	2,0
		2	512	2048	512	512	724	2896	724	724		-2,0	2,0	-2,0	-2,0
		3	1024	2048	512	4096	1448	2896	724	5793		1,0	2,0	-2,0	4,0
		4	1024	1024	256	1024	1448	1448	362	1448		1,0	1,0	-4,0	1,0
$U_{O/F4}$	1	1	4096	2048	4096	2048	5793	2896	5793	2896	3597	1,6	-1,2	1,6	-1,2
		2	4096	4096	2048	4096	5793	5793	2896	5793		1,6	1,6	-1,2	1,6
		3	8192	2048	1024	4096	11585	2896	1448	5793		3,2	-1,2	-2,5	1,6
		4	1024	2048	512	4096	1448	2896	724	5793		-2,5	-1,2	-5,0	1,6
	2	1	4096	4096	4096	8192	5793	5793	5793	11585	4664	1,2	1,2	1,2	2,5
		2	2048	4096	2048	2048	2896	5793	2896	2896		-1,6	1,2	-1,6	-1,6
		3	2048	4096	2048	8192	2896	5793	2896	11585		-1,6	1,2	-1,6	2,5
		4	4096	4096	1024	4096	5793	5793	1448	5793		1,2	1,2	-3,2	1,2
	3	1	2048	2048	1024	4096	2896	2896	1448	5793	2896	1,0	1,0	-2,0	2,0
		2	4096	2048	1024	2048	5793	2896	1448	2896		2,0	1,0	-2,0	1,0
		3	2048	1024	1024	4096	2896	1448	1488	5793		1,0	-2,0	-2,0	2,0
		4	2048	2048	2048	4096	2896	2896	2896	5793		1,0	1,0	1,0	2,0

Na podstawie wartości stopnia rozcieńczenia do progu zespołowego $\bar{Z}_{ITE,pan}$ wyznaczono stężenia zapachowe w badanych próbkach:

- Udział $U_{O/F1}$, próbka nr 1: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 1649$, stąd
 $c_{od} = 1649 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 1649 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F1}$, próbka nr 2: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 861$, stąd
 $c_{od} = 861 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 861 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F1}$, próbka nr 3: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 693$, stąd
 $c_{od} = 693 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 693 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F2}$, próbka nr 1: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 1512$, stąd
 $c_{od} = 1512 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 1512 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F2}$, próbka nr 2: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 1328$, stąd
 $c_{od} = 1328 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 1328 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F2}$, próbka nr 3: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 1579$, stąd
 $c_{od} = 1579 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 1579 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F3}$, próbka nr 1: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 1512$, stąd
 $c_{od} = 1512 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 1512 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F3}$, próbka nr 2: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 1512$, stąd
 $c_{od} = 1512 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 1512 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F3}$, próbka nr 3: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 1448$, stąd
 $c_{od} = 1448 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 1448 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F4}$, próbka nr 1: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 3597$, stąd
 $c_{od} = 3597 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 3597 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F4}$, próbka nr 2: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 4664$, stąd
 $c_{od} = 4664 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 4664 \text{ ou}_E/\text{m}^3$,
- Udział $U_{O/F4}$, próbka nr 3: $\bar{Z}_{ITE,pan} = 2896$, stąd
 $c_{od} = 2896 \cdot 1 \text{ ou}_E/\text{m}^3 = 2896 \text{ ou}_E/\text{m}^3$.

Tabela 3.52. Wyniki badań wpływu udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ na stężenie zapachu olejku w osadzie $c_{od} [\text{ou}_E/\text{m}^3]$

Udział $U_{O/F}$ [%]	Wartość średnia stężenia zapachu olejku w osadzie $c_{od} [\text{ou}_E/\text{m}^3]$
$U_{O/F2}$	1473
$U_{O/F3}$	1491
$U_{O/F4}$	3719



Rys. 3.74. Wpływ udziału oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ [%] dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ na stężenie zapachu oleju w osadzie c_{od} [ou_E/m³]

3.5.1.3. Opis i analiza wyników

Na Oczyszczalni Ścieków Jamno badano wilgotność osadu po procesie wirowania w zależności od udziału oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$, przy stałej prędkości wirowania 2500 obr/min i stałym czasie przebywania osadu w wirówce 12 s. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.50 i na rysunku 3.72. Analiza wyników badań pozwala stwierdzić, że zwiększanie udziału oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ powoduje wzrost wilgotności osadu o 5,21%. Najniższą wartość wilgotności osadu uzyskano przy udziale $U_{O/F1}$ (0% oleju z pomarańczy (0 dm^3) + 100% flokulanta PRAESTOL 855BS (665 dm^3)/ 17 m^3), tj. 75,05%. Natomiast najwyższą zawartość wilgoci w osadzie odnotowano przy udziale $U_{O/F4}$ (75% oleju z pomarańczy (499 dm^3) + 25% flokulanta PRAESTOL 855BS (166 dm^3)/ 17 m^3), tj. 80,26%. 25 % udział oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ spowodował wzrost wilgotności osadu o 1,5%. Wzrost procentowej zawartości wilgoci w osadzie można tłumaczyć tym, że olejek z pomarańczy ma gorsze

właściwości flokulacyjne w porównaniu do flokulanta Praestol 855BS, czyli nie łączy tak dobrze wszystkich drobnych cząstek koloidalnych zawiesiny w większe aglomeraty, które znacznie lepiej podlegają oddziaływaniu siły odśrodkowej, przyspieszając w ten sposób sedymentację.

Kolejnym parametrem wynikowym jaki badano po procesie odwadniania w zależności od udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$, przy stałej prędkości wirowania 2500 obr/min i stałym czasie przebywania osadu w wirówce 12 s było zagęszczenie odcieku. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.50 i na rysunku 3.73. Obserwacja wyników badań pozwala stwierdzić, że zwiększanie udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ powoduje wzrost zagęszczenia odcieku o $10003,88 \text{ mg/dm}^3$. Najniższą wartość zagęszczenia odcieku uzyskano przy udziale $U_{O/F1}$ (0% olejku z pomarańczy (0 dm^3) + 100% flokulanta PRAESTOL 855BS ($665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$), tj. $1646,42 \text{ mg/dm}^3$. Natomiast najwyższą wartość zagęszczenia odcieku odnotowano przy udziale $U_{O/F4}$ (75% olejku z pomarańczy (499 dm^3) + 25% flokulanta PRAESTOL 855BS ($166 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$), tj. $11650,30 \text{ mg/dm}^3$. 25 % udział olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ spowodował wzrost zagęszczenia odcieku o $376,22 \text{ mg/dm}^3$. Wzrost zagęszczenia odcieku można tłumaczyć tym, że olejek w porównaniu do flokulanta nie łączy tak dobrze wszystkich drobnych cząstek koloidalnych zawiesiny w większe aglomeraty, które w ten sposób szybciej ulegają procesowi sedymentacji. Część drobnych cząstek osadu przenika do odcieku wraz z olejkiem, ponieważ gęstość olejku jest mniejsza od gęstości wody i wypływa on na powierzchnię odcieku.

Ostatnim parametrem wynikowym jaki badano po procesie odwadniania w zależności od udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$, przy stałej prędkości wirowania 2500 obr/min i stałym czasie przebywania osadu w wirówce 12 s było stężenie zapachu olejku eterycznego z pomarańczy w osadzie. Wyniki badań przedstawiono w tabelach 3.51, 3.52 i na rysunku 3.74. Analiza wyników badań pozwala stwierdzić, że zwiększanie udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17\text{m}^3$ powoduje wzrost stężenia zapachu olejku w osadzie o $2246 \text{ ou}_E/\text{m}^3$. Najniższą wartość stężenia zapachu olejku w osadzie uzyskano przy udziale $U_{O/F2}$ (25% olejku z pomarańczy (166 dm^3) + 75% flokulanta

PRAESTOL 855BS ($499 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$), tj. $1473 \text{ ou}_E/\text{m}^3$. Natomiast najwyższą wartość stężenia zapachu olejku w osadzie odnotowano przy udziale $U_{O/F4}$ (75% olejku z pomarańczy (499 dm^3) + 25% flokulanta PRAESTOL 855BS ($166 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$), tj. $3719 \text{ ou}_E/\text{m}^3$. 25 % wzrost udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$ spowodował niewielki wzrost stężenia zapachu olejku w osadzie, zaledwie o $18 \text{ ou}_E/\text{m}^3$. Największy wzrost stężenia zapachu olejku w osadzie odnotowano przy udziale $U_{O/F4}$ (75% olejku z pomarańczy (499 dm^3) + 25% flokulanta PRAESTOL 855BS ($166 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$). Wzrost stężenia zapachu olejku w osadzie można tłumaczyć tym, że wraz ze zwiększaniem udziału olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$ zwiększa się jego objętość w odwodnionym osadzie, a tym samym wzrasta czas skutecznej neutralizacji nieprzyjemnych zapachów w odwirowanym osadzie.

3.6. Porównanie wyników badań w skali laboratoryjnej i przemysłowej

Z uwagi na ograniczoną ilość badań przeprowadzonych w skali przemysłowej do ich porównania wybrano tylko te wyniki z badań laboratoryjnych, które w miarę możliwości odpowiadały tym samym parametrom technologicznym, tj. prędkość wirowania, czas wirowania, dawka oraz udział olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS, jakie wynikały z badań w przemyśle. Parametrem znacznie różniącym się od siebie był czas wirowania. Czas przebywania osadu w wirówce, w warunkach przemysłowych wynosił 12 s. Z uwagi na ograniczone możliwości techniczne, najniższy możliwy do uzyskania czas procesu wirowania na wirówce laboratoryjnej MPW-350 wynosił 1 minutę. Jest to dosyć duża różnica, ale z uwagi na warunki techniczne nie udało się tego uniknąć. Kolejnym parametrem różniącym się od siebie, ale zdecydowanie już w mniejszym stopniu była dawka. W warunkach przemysłowych dawka wynosiła 39 ml/dm^3 , natomiast w warunkach laboratoryjnych 38 ml/dm^3 .

W tabeli 3.53 przedstawiono wyniki wilgotności osadu po procesie odwadniania na wirówce dekantacyjnej typu Noxon DC-20 oraz na wirówce laboratoryjnej typu MPW-350.

Tabela 3.53. Wilgotność osadu po procesie odwadniania na wirówce dekantacyjnej typu Noxon DC–20 oraz na wirówce laboratoryjnej typu MPW–350

Wirówka dekantacyjna typu Noxon DC–20		Wirówka laboratoryjna typu MPW–350	
Parametry technologiczne procesu odwadniania: - prędkość wirowania – n = 2500 obr/min - czas wirowania – t = 12 s - dawka – C = 39 ml/dm ³		Parametry technologiczne procesu odwadniania: - prędkość wirowania – n = 2500 obr/min - czas wirowania – t = 60 s - dawka – C = 38 ml/dm ³	
Udział oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS U_{0/F} [%]	Wilgotność osadu W [%]	Udział oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS U_{0/F} [%]	Wilgotność osadu W [%]
0% oleju z pomarańczy + 100% flokulanta Praestol 855BS	75,05	0% oleju z pomarańczy + 100% flokulanta Praestol 855BS	90,56
50% oleju z pomarańczy + 50% flokulanta Praestol 855BS	78,51	50% oleju z pomarańczy + 50% flokulanta Praestol 855BS	90,91

Analiza wyników badań przedstawionych w tabeli 3.53 pozwala stwierdzić, iż wilgotność osadu uzyskana po procesie wirowania w warunkach laboratoryjnych jest znacznie wyższa w porównaniu do wilgotności osadu uzyskanej w procesie wirowania w przemysłowej wirówce dekantacyjnej. Różnica w wilgotności osadu między skalą laboratoryjną a przemysłową przy udziale oleju w mieszaninie z flokulantem w proporcji (0% oleju z pomarańczy + 100% flokulanta Praestol 855BS) wynosi 15,51%, natomiast przy udziale U_{0/F} (50% oleju z pomarańczy + 50% flokulanta Praestol 855BS) – 12,4%. Najprawdopodobniej lepszy efekt odwadniania osadów w skali przemysłowej wynika z większej siły odśrodkowej działającej na osad, która determinuje wartość ciśnienia sedimentacji odśrodkowej.

W tabeli 3.54 przedstawiono wyniki zagęszczenia odcieku po procesie odwadniania na wirówce dekantacyjnej typu Noxon DC–20 oraz na wirówce laboratoryjnej typu MPW–350.

Tabela 3.54. Zagęszczenie odcieku po procesie odwadniania na wirówce dekantacyjnej typu Noxon DC–20 oraz na wirówce laboratoryjnej typu MPW–350

Wirówka dekantacyjna typu Noxon DC–20		Wirówka laboratoryjna typu MPW–350	
Parametry technologiczne procesu odwadniania: - prędkość wirowania – n = 2500 obr/min - czas wirowania – t = 12 s - dawka – C = 39 ml/dm ³		Parametry technologiczne procesu odwadniania: - prędkość wirowania – n = 2500 obr/min - czas wirowania – t = 60 s - dawka – C = 38 ml/dm ³	
Udział oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS U _{0/F} [%]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]	Udział oleju eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS U _{0/F} [%]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm³]
0% oleju z pomarańczy + 100% flokulanta Praestol 855BS	1646,42	0% oleju z pomarańczy + 100% flokulanta Praestol 855BS	1508,92
50% oleju z pomarańczy + 50% flokulanta Praestol 855BS	5130,93	50% oleju z pomarańczy + 50% flokulanta Praestol 855BS	2188,54

Natomiast w przypadku parametru zagęszczenia odcieku (tabela 3.54) wartości te są niższe w warunkach laboratoryjnych, niż uzyskane w warunkach przemysłowych. W przypadku udziału oleju w mieszaninie z flokulantem w proporcji (0% oleju z pomarańczy + 100% flokulanta Praestol 855BS), wartości zagęszczenia odcieku są zbliżone do siebie, różnica między nimi wynosi 137,5 mg/dm³. Natomiast przy udziale U_{0/F} (50% oleju z pomarańczy + 50% flokulanta Praestol 855BS) ta różnica jest zdecydowanie większa i wynosi 2942,39 mg/dm³.

Istnieje zatem problem przeniesienia skali rezultatów badań laboratoryjnych na możliwe do przewidzenia rezultaty jakości odwadniania osadów w skali przemysłowej. Oczywiście ten problem przeniesienia skali jest trudny, gdyż możliwości badań procesu odwadniania w laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej o działaniu periodycznym są inne niż w wirówce sedymentacyjnej o działaniu ciągłym.

4. Próba szacunkowej oceny kosztów mechanicznego odwadniania w wirówce dekantacyjnej przy zastosowaniu olejku eterycznego jako częściowego substytutu flokulantów

- **Koszt zakupu olejku eterycznego z pomarańczy**

Firma handlowa AROMAOILS w swoim asortymencie oferuje naturalny olejek eteryczny z pomarańczy, którego cena wynosi 69,00 zł/kg.

- **Koszt zakupu flokulanta Praestol 855BS**

Firma KLIMAPOL oferuje flokulant Praestol 855BS, którego cena wynosi 23 zł/kg.

- **Koszt stosowania flokulanta Praestol 855BS na Oczyszczalni Ścieków Jamno**

Na Oczyszczalni Ścieków Jamno stosowany jest flokulant PRAESTOL 855BS o stężeniu rzeczywistym roztworu 0,3% w dawce $665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3/\text{h}$.

- 1,995 kg (jest to niezbędna ilość flokulanta Praestol 855BS potrzebna do stworzenia roztworu 0,3% na 17 m^3 osadu/h) – $1,995 \text{ kg} \cdot 23 \text{ zł} = \underline{45,88 \text{ zł/h}}$;
 - $663,00 \text{ dm}^3$ wody (jest to niezbędna ilość wody potrzebna do stworzenia roztworu o stężeniu 0,3% na 17 m^3 osadu/h) – $0,663 \text{ m}^3 \cdot 7,84 \text{ zł} = \underline{5,20 \text{ zł/h}}$.
- Łączny koszt zastosowania flokulanta Praestol 855BS wynosi 51,08 zł/h.

- **Koszt stosowania olejku eterycznego z pomarańczy, jako częściowego substytutu flokulanta Praestol 855BS na Oczyszczalni Ścieków Jamno**

- $332,5 \text{ dm}^3$ roztworu flokulanta Praestol 855BS o stężeniu 0,3% (jest to niezbędna ilość roztworu flokulanta na $17 \text{ m}^3/\text{h}$) – $51,08 \text{ zł/h} / 2 = \underline{25,54 \text{ zł/h}}$;

- $332,5 \text{ dm}^3$ olejku z pomarańczy (jest to niezbędna ilość olejku na $17 \text{ m}^3/\text{h}$) – $332,5 \text{ dm}^3 \cdot 69 \text{ zł} = \underline{22942,50 \text{ zł/h}}$.

Koszt zastosowania mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%) dla dawki $665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3/\text{h}$ wynosi 22968,04 zł/h.

Na podstawie przeprowadzonej oceny kosztów mechanicznego odwadniania osadów w wirówce dekantacyjnej przy zastosowaniu flokulanta Praestol 855BS i mieszaniny w proporcji 50% flokulanta Praestol 855BS i 50% olejku z pomarańczy można stwierdzić, że koszty stosowania flokulanta są zdecydowanie niższe w porównaniu do olejku (chodzi tutaj o wysoką cenę olejku). Zapewne gdyby uruchomiono produkcję olejku na tej samej zasadzie co istnieje w laboratorium (rysunek 3.3), tylko wielkogabarytową i byłaby to produkcja z odpadów, na pewno koszt $1 \text{ dm}^3 \approx 1 \text{ kg}$ olejku eterycznego z pomarańczy (skórek), traktowanych jako odpad byłby mniejszy niż $69,00 \text{ zł/kg}$. Równocześnie od strony energetycznej – gdyby taką instalację postawiono przykładowo na terenie Oczyszczalni Ścieków Jamno, można by wykorzystać energię ciepłą suszarni osadów. Pamiętajmy jednak o efekcie zmniejszenia uciążliwości zapachowej i miejmy świadomość tego, że oczyszczanie środowiska (podczyszczanie) po prostu kosztuje.

5. Kompleksowy zapis modelu matematycznego analityczno-empirycznego

5.1. Sedymentacja odśrodkowa

5.1.1. Z dodatkiem flokulanta Praestol 855BS

Wilgotność osadu

$$W(t) = 87,5782 + \exp(1,65664 - 0,39717 \cdot t)$$

$$W(t, n) = 82,715 + \exp(1,6566 - 0,3972 \cdot t) + \exp(2,4062 - 3,1845 \cdot 10^{-4} \cdot n)$$

$$W(t, n, C_F) = 81,896 + \exp(1,6566 - 0,3972 \cdot t) + \exp(2,4062 - 3,1845 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \\ + \exp(1,1795 - 0,0491 \cdot C_F)$$

Zagęszczenie odcieku

$$\beta(t) = 1656,53 + \exp(7,10113 - 1,369 \cdot t)$$

$$\beta(t, n) = 1,4889 \cdot 10^3 + \exp(7,1011 - 1,369 \cdot t) + \exp(7,4792 - 9,5680 \cdot 10^{-4} \cdot n)$$

$$\beta(t, n, C_F) = -209,269 + \exp(7,1011 - 1,369 \cdot t) + \exp(7,4792 - 9,5680 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \\ + \exp(8,1588 - 0,0260 \cdot C_F)$$

5.1.2. Z dodatkiem mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%)

Wilgotność osadu

$$W(t) = 87,6718 + \exp(1,67539 - 0,37707 \cdot t)$$

$$W(t, n) = 85,586 + \exp(1,6754 - 0,3771 \cdot t) + \exp(2,1426 - 4,8799 \cdot 10^{-4} \cdot n)$$

$$W(t, n, C_{F/O}) = 84,351 + \exp(1,6754 - 0,3771 \cdot t) + \exp(2,1426 - 4,8799 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \\ + \exp(1,1446 - 0,0517 \cdot C_{F/O})$$

Zagęszczenie odcieku

$$\beta(t) = 1710,81 + \exp(6,6048 - 0,69417 \cdot t)$$

$$\beta(t, n) = 1,6448 \cdot 10^3 + \exp(6,6048 - 0,6942 \cdot t) + \exp(9,1788 - 0,0019 \cdot n)$$

$$\beta(t, n, C_{F/O}) = 1,128 \cdot 10^3 + \exp(6,6048 - 0,6942 \cdot t) + \exp(9,1788 - 0,0019 \cdot n) + \\ + \exp(7,6811 - 0,0504 \cdot C_{F/O})$$

Czas utrzymywania się zapachu w osadzie

$$T(t) = -9,805 + \exp(3,53239 - 0,05456 \cdot t)$$

$$T(t, n) = 4,33 + \exp(3,5324 - 0,0546 \cdot t) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot n$$

$$T(t, n, C_{F/O}) = -27,367 + \exp(3,5324 - 0,0546 \cdot t) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot n + 1,15 \cdot C_{F/O}$$

5.1.3. Z dodatkiem mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%)

Wilgotność osadu

$$W(t) = 87,3791 + \exp(1,60186 - 0,23898 \cdot t)$$

$$W(t, n) = 83,932 + \exp(1,6019 - 0,2390 \cdot t) + \exp(2,28 - 3,6290 \cdot 10^{-4} \cdot n)$$

$$W(t, n, C_{F/O}) = 81,749 + \exp(1,6019 - 0,2390 \cdot t) + \exp(2,28 - 3,6290 \cdot 10^{-4} \cdot n) + \\ + \exp(1,1755 - 0,0203 \cdot C_{F/O})$$

Zagęszczenie odcieku

$$\beta(t) = 1943,63 + \exp(6,18135 - 0,28432 \cdot t)$$

$$\beta(t, n) = 1,834 \cdot 10^3 + \exp(6,1813 - 0,2843 \cdot t) + \exp(9,9523 - 0,0024 \cdot n)$$

$$\beta(t, n, C_{F/O}) = 1,637 \cdot 10^3 + \exp(6,1813 - 0,2843 \cdot t) + \exp(9,9523 - 0,0024 \cdot n) + \\ + \exp(7,3536 - 0,0719 \cdot C_{F/O})$$

Czas utrzymywania się zapachu w osadzie

$$T(t) = 18,725 + \exp(3,10601 - 0,21771 \cdot t)$$

$$T(t, n) = 36,552 + \exp(3,1060 - 0,2177 \cdot t) - 7 \cdot 10^{-3} \cdot n$$

$$T(t, n, C_{F/O}) = 3,351 + \exp(3,1060 - 0,2177 \cdot t) - 7 \cdot 10^{-3} \cdot n + 1,15 \cdot C_{F/O}$$

5.1.4. Z dodatkiem olejku eterycznego z pomarańczy

Wilgotność osadu

$$W(t) = 88,6975 + \exp(1,6495 - 0,31191 \cdot t)$$

$$W(t, n) = 93,556 + \exp(1,6495 - 0,3119 \cdot t) - 1,995 \cdot 10^{-3} \cdot n$$

$$W(t, n, C_O) = 94,262 + \exp(1,6495 - 0,3119 \cdot t) - 1,995 \cdot 10^{-3} \cdot n - 0,033 \cdot C_O$$

Zagęszczenie odcieku

$$\beta(t) = 3198,37 + \exp(7,40975 - 0,4494 \cdot t)$$

$$\beta(t, n) = 2,6797 \cdot 10^3 + \exp(7,4097 - 0,4494 \cdot t) + \exp(9,0491 - 0,0011 \cdot n)$$

$$\beta(t, n, C_O) = 1,712 \cdot 10^3 + \exp(7,4097 - 0,4494 \cdot t) + \exp(9,0491 - 0,0011 \cdot n) + \\ + 407,06 \cdot C_O - 31,1388 \cdot C_O^2 + 0,865 \cdot C_O^3 - 0,0082 \cdot C_O^4$$

Czas utrzymywania się zapachu w osadzie

$$T(t) = 28,6114 + \exp(3,94083 - 0,5737 \cdot t)$$

$$T(t, n) = 62,663 + \exp(3,9408 - 0,5737 \cdot t) - 0,014 \cdot n$$

$$T(t, n, C_O) = 18,664 + \exp(3,9408 - 0,5737 \cdot t) - 0,014 \cdot n + 1,5152 \cdot C_O$$

6. Weryfikacja równań procesu sedymentacji odśrodkowej w przestrzeni aproksymacyjnej

6.1. Wprowadzenie – opis wybranej metody weryfikacji

Podstawowym rodzajem wnioskowania statystycznego jest weryfikacja (testowanie) hipotez statystycznych. Weryfikacja hipotezy statystycznej odbywa się przez zastosowanie specjalnego narzędzia, zwanego testem statystycznym. Jest to reguła postępowania, która każdej możliwej próbie losowej (tj. każdemu punktowi przestrzeni próby) przyporządkowuje decyzję przyjęcia lub odrzucenia sprawdzanej hipotezy. W zależności od postaci podstawionej hipotezy zerowej (tzn. bezpośrednio sprawdzanej) oraz postaci hipotezy alternatywnej (tzn. konkurencyjnej w stosunku do hipotezy zerowej), sposób budowy testu jest różny. Testy istotności, pozwalające jedynie odrzucać sprawdzaną hipotezę zerową (z określonym, małym ryzykiem popełnienia błędu pierwszego rodzaju) są w ogromnej większości przypadków zupełnie wystarczające dla potrzeb praktyki [67].

Test-t jest najbardziej powszechnie stosowaną metodą oceny różnic między średnimi w dwóch grupach. Teoretycznie test-t może być stosowany także w małych próbkach (np. próbkach o liczebności 10, zaś niektórzy badacze twierdzą, że nawet w mniej licznych); jedynym warunkiem jest normalność rozkładu zmiennych oraz brak istotności różnic między wariancjami [134].

Jeśli populacja generalna ma rozkład normalny $N(m, \sigma)$, przy czym odchylenie standardowe σ populacji jest znane, wtedy, w oparciu o wyniki małej, n -elementowej próby losowej można zweryfikować hipotezę $H_0: m = m_0$, wobec hipotezy alternatywnej $H_1: m \neq m_0$. Test istotności dla powyższej hipotezy H_0 jest następujący: z wyników próby oblicza się średnią arytmetyczną $\bar{x}$ oraz odchylenie standardowe z próby s , a następnie wartość statystyki t według wzoru:

$$t = \frac{\bar{x} - m_0}{s} \sqrt{n - 1} \quad (6.1)$$

Statystyka ta ma przy założeniu prawdziwości hipotezy H_0 rozkład Studenta o $n - 1$ stopniach swobody. Z tablicy tego rozkładu, dla ustalonego poziomu istotności α i dla $n - 1$ stopni swobody, odczytuje się taką wartość t_α , że $P\{|t| \geq t_\alpha\} = \alpha$. Nierówność $|t| \geq t_\alpha$ określa obszar krytyczny (dwustronny) w tym teście. Wystarczy więc porównać obliczoną z próby według wzoru (6.1) wartość zmiennej t z wartością krytyczną t_α , odczytaną z tablic rozkładu Studenta. Jeżeli zajdzie nierówność $|t| \geq t_\alpha$ to hipotezę H_0 należy odrzucić na korzyść hipotezy H_1 , natomiast gdy zajdzie nierówność przeciwna $|t| < t_\alpha$ to nie podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 [67].

6.2. Wyniki weryfikacji statystycznej

Równania opisujące proces sedymentacji odśrodkowej zostały poddane weryfikacji. Weryfikacja polegała na wykonaniu badań dla dowolnie wybranych wartości poszczególnych zmiennych niezależnych mieszczących się w badanych poprzednio przedziałach zmian, celowo dobranych w taki sposób, aby nie kojarzyły się te wartości z centralnym punktem aproksymacji, lecz tylko z przestrzenią wokół tego punktu – a więc przestrzenią, w której przyjmuje się, iż otrzymane równania można stosować.

W tabelach 3.55, 3.56, 3.57 i 3.58 przedstawiono otrzymane wyniki uzyskane w trakcie prowadzenia badań laboratoryjnych i porównano je z wartościami obliczonymi na podstawie równań analityczno-empirycznych dotyczących procesu sedymentacji odśrodkowej.

Dokładność równań oceniono testem t-studenta. Dla $n - 1 = 6$ stopni swobody i przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ z tablic rozkładu t-studenta odczytano wartość graniczną t_α wynoszącą:

$$t_{0,05} = 2,447$$

Porównując uzyskane wartości poszczególnych funkcji testowych t z wartością graniczną $t_{0,05}$ widać, że wszystkie te wartości są mniejsze od wartości granicznej. Oznacza to, że nie znajdujemy się w obszarze krytycznym, zatem różnice między wartościami uzyskanymi z doświadczenia, a obliczonymi wzorami nie są w stosunku do wartości hipotetycznej (0) statystycznie istotne, tzn. da się je usprawiedliwić przypadkiem. Oznacza to także iż ewentualnie interakcje są mało istotne.

W związku z tym należy stwierdzić, że przy 95% pewności testowane równania dają wyniki zgodne z wynikami otrzymanymi w warunkach laboratoryjnych.

Tabela 3.55. Statystyczna weryfikacja wartości otrzymanych wyników doświadczeń a wyników obliczeniowych równaniami analityczno-empirycznymi (proces sedymentacji odśrodkowej z zastosowaniem flokulanta Praestol 855BS)

Wskaźnik	Jednostka	Parametry niezależne			Równanie	Doświadczenie	d	Średnia $\bar{d}$	Suma kwadratów Σd^2	Wariancja S	Odchylenie standardowe S^2	Wartość testu t
		Prędkość wirowania n	Czas wirowania t	Dawka C								
Wilgotność osadu W	[%]	1000	1	18	94,83	94,52	0,31	0,42	2,37	0,19	0,44	2,338
		3000	5	18	88,23	88,48	0,25					
		1500	10	18	90,22	90,32	0,1					
		3000	1	23	90,74	90,84	0,1					
		2000	10	23	88,91	88,59	0,32					
		1500	8	33	89,64	90,13	0,49					
		1000	8	38	90,68	92,04	1,36					
Zagęszczenie odcieku β	[mg/dm ³]	1000	1	18	2967,68	4197,1	1229,42	362,98	1870056	157964,9	397,45	2,237
		3000	5	18	2080,51	2058,3	22,21					
		1500	10	18	2400,43	2018,57	381,86					
		3000	1	23	2121,09	1911,3	209,79					
		2000	10	23	1973,40	1694,66	278,74					
		1500	8	33	1693,81	1522,21	171,60					
		1000	8	38	1771,85	1524,63	247,22					

Tabela 3.56. Statystyczna weryfikacja wartości otrzymanych wyników doświadczeń a wyników obliczeniowych równaniami analityczno-empirycznymi (proces sedymentacji odśrodkowej z zastosowaniem mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek z pomarańczy (21%))

Wskaźnik	Jednostka	Parametry niezależne			Równanie	Doświadczenie	d	Średnia $\bar{d}$	Suma kwadratów Σd^2	Wariancja S	Odchylenie standardowe S^2	Wartość testu t
		Prędkość wirowania n	Czas wirowania t	Dawka C								
Wilgotność osadu W	[%]	1500	5	18	90,5	90,51	0,01	0,32	1,37	0,11	0,33	2,375
		3000	1	23	90,94	90,74	0,2					
		2000	5	23	89,33	89,45	0,12					
		2000	5	33	88,94	89,12	0,18					
		3000	8	33	87,15	87,45	0,3					
		1500	8	38	89,15	89,56	0,41					
		2000	1	48	91,49	92,5	1,01					
Zagęszczenie odcieku β	[mg/dm ³]	1500	5	18	2586,16	2414,27	171,89	127,88	215742,84	16878,3	129,92	2,411
		3000	1	23	2209,22	2282,24	73,02					
		2000	5	23	2047,59	2000,23	47,36					
		2000	5	33	1778,44	1853,45	75,01					
		3000	8	33	1574,00	1659,78	85,78					
		1500	8	38	2010,57	2047,35	36,78					
		2000	1	48	1906,54	2311,86	405,32					
Czas utrzymywania się zapachu T	[min]	1500	5	18	10,37	15	4,63	1,38	26,29	2,17	1,47	2,3
		3000	1	23	13,47	14	0,53					
		2000	5	23	13,12	14	0,88					
		2000	5	33	24,62	24	0,62					
		3000	8	33	14,68	16	1,32					
		1500	8	38	29,43	29	0,43					
		2000	1	48	48,22	47	1,22					

Tabela 3.57. Statystyczna weryfikacja wartości otrzymanych wyników doświadczeń a wyników obliczeniowych równaniami analityczno-empirycznymi (proces sedymentacji odśrodkowej z zastosowaniem mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek z pomarańczy (50%))

Wskaźnik	Jednostka	Parametry niezależne			Równanie	Doświadczenie	d	Średnia $\bar{d}$	Suma kwadratów Σd^2	Wariancja S	Odchylenie standardowe S^2	Wartość testu t
		Prędkość wirowania n	Czas wirowania t	Dawka C								
Wilgotność osadu W	[%]	3000	1	18	91,2	91,48	0,28	0,48	3,37	0,3	0,54	2,177
		3000	5	18	88,79	88,73	0,06					
		2000	10	18	89,18	88,97	0,21					
		2000	8	23	89,24	89,4	0,16					
		2000	10	23	88,97	88,85	0,12					
		1500	8	33	89,81	90,9	1,09					
		1000	8	38	90,78	92,2	1,42					
Zagęszczenie odcieku β	[mg/dm ³]	3000	1	18	2444,74	2234,86	209,88	222,57	763412,71	69440,33	263,52	2,069
		3000	5	18	2197,52	2082,47	115,05					
		2000	10	18	2266,12	2126,67	139,45					
		2000	8	23	2158,41	2142,93	15,48					
		2000	10	23	2136,84	2078,72	58,12					
		1500	8	33	2406,16	2181,48	224,68					
		1000	8	38	3693,50	2898,15	795,35					
Czas utrzymywania się zapachu T	[min]	3000	1	18	21,01	24	2,99	2,11	61,22	5	2,23	2,318
		3000	5	18	10,57	17	6,43					
		2000	10	18	12,58	13	0,42					
		2000	8	23	19,71	22	2,29					
		2000	10	23	18,33	16	2,33					
		1500	8	33	34,71	35	0,29					
		1000	8	38	43,96	44	0,04					

Tabela 3.58. Statystyczna weryfikacja wartości otrzymanych wyników doświadczeń a wyników obliczeniowych równaniami analityczno-empirycznymi (proces sedymentacji odśrodkowej z zastosowaniem oleju z pomarańczy)

Wskaźnik	Jednostka	Parametry niezależne			Równanie	Doświadczenie	d	Średnia $\bar{d}$	Suma kwadratów Σd^2	Wariancja S	Odchylenie standardowe S^2	Wartość testu t
		Prędkość wirowania n	Czas wirowania t	Dawka C								
Wilgotność osadu W	[%]	2000	1	18	93,49	93,51	0,02	0,41	2,29	0,19	0,43	2,336
		1500	5	18	91,77	92,47	0,7					
		3000	8	18	88,11	88,82	0,71					
		1000	10	23	91,74	92,86	1,12					
		1500	1	33	93,99	93,95	0,04					
		3000	10	33	87,42	87,58	0,16					
		3000	10	38	87,25	87,37	0,12					
Zagęszczenie odcieku β	[mg/dm ³]	2000	1	18	5130,97	5015,08	115,89	409,45	3298913,67	354232,2	595,17	1,685
		1500	5	18	4943,13	4582,49	360,64					
		3000	8	18	3493,25	3392,81	100,44					
		1000	10	23	5683,20	3944,71	1738,49					
		1500	1	33	5284,24	5533,31	249,07					
		3000	10	33	2928,15	2990,99	62,84					
		3000	10	38	2914,39	2675,64	238,75					
Czas utrzymywania się zapachu T	[min]	2000	1	18	46,93	47	0,07	5,07	380,43	33,42	5,78	2,149
		1500	5	18	27,86	32	4,14					
		3000	8	18	4,46	22	17,54					
		1000	10	23	39,68	43	3,32					
		1500	1	33	76,66	71	5,66					
		3000	10	33	26,83	30	3,17					
		3000	10	38	34,41	36	1,59					

7. Podsumowanie pracy – wnioski ogólne

Na podstawie przeprowadzonych badań i ich analizy można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Olejki eteryczne, tu na przykładzie olejku z pomarańczy stanowią skuteczny, dobry flokulant, który można stosować jako wspomaganie w procesie sedymentacji odśrodkowej.
2. Działanie olejków eterycznych, tu na przykładzie olejku z pomarańczy jest niewiele mniej skuteczne, a więc nieco gorsze dla jakości odwadniania osadów w wirówce dekantacyjnej niż typowych flokulantów, tu na przykładzie flokulanta Praestol 855BS; w warunkach laboratoryjnych przy założeniu dawkowania flokulanta oraz olejku eterycznego w proporcji po 50% wobec sumy dawki stanowi to rząd około 0,54% przeciętnie wyższej zawartości wilgoci w osadzie odwodnionym oraz rząd około 0,92 g/dm³ wyższego zagęszczenia odcieku. Natomiast przy tym samym dawkowaniu w warunkach przemysłowych wynik jest nieco gorszy i stanowi rząd około 3,46% wyższego uwodnienia osadu oraz rząd około 3,48 g/dm³ wyższego zagęszczenia odcieku.
3. Nieco gorsza jakość odwadniania osadu (nieco wyższa zawartość wilgoci) oraz niewiele wyższe zagęszczenie odcieku, jak to stwierdzono w wyniku badań – jest od strony technologicznej do przyjęcia; osad utrzymuje nadal konsystencję transportabilną, a odciek jest zawracany do obiegu oczyszczalni.
4. W rezultacie przeprowadzonych badań mając na uwadze zarówno dobre jakościowo odwadnianie osadów z równoczesnym, częściowym, ale wyraźnym i odczuwalnym przez wiele minut obniżeniem uciążliwości odorów wydzielających się zarówno z osadów, jak i z odcieku, przyjmuje się i zaleca do aplikacji dawkowanie równoczesne obydwu odczynników,

- tj. flokulanta (tu flokulant Praestol 855BS) 50% oraz olejku eterycznego (tu olejek eteryczny z pomarańczy) także 50% udziału objętościowego.
5. Dozowanie olejków eterycznych, tu na przykładzie olejku z pomarańczy ma tę ważną zaletę, że obniża w pewnym stopniu ogromną uciążliwość zapachową zarówno odwodnionych osadów, jak i odcieku (choć zaznacza się w odniesieniu do odcieku, że nie prowadzono pomiarów w tym zakresie); można to ocenić na rząd około 20–52 minut utrzymywania się pozytywnego zapachu odwodnionego osadu przed ponownym przejściem w uciążliwy zapach odorowy, przy założeniu dawkowania flokulanta oraz olejku eterycznego w proporcji po 50% wobec sumy dawki.
 6. Oczywiście ewentualne zastosowanie olejku eterycznego zwiększy koszt zastosowania łącznie obydwu flokulantów, ale musimy się liczyć z tym, że ochrona środowiska, tu powietrza po prostu kosztuje.
 7. Celowe jest prowadzenie dalszych badań nad zastosowaniem olejków z innych roślin jako flokulantów w szeroko rozumianych procesach techniki wodno-mułowej, a także prowadzenia prac nad ekonomiczną produkcją olejków z odpadów z uwzględnieniem logistyki ich wydzielania na etapie selekcji odpadów, bądź też ich pozyskiwania z zakładów przetwórstwa owocowego.

Spis używanych symboli

B	– zagęszczenie odcieku [mg/dm^3],
β_N	– zagęszczenie osadu nadanego do procesu sedymentacji odśrodkowej [mg/dm^3],
C	– dawka [ml/dm^3],
C_F	– dawka flokulanta Praestol 855BS [ml/dm^3],
$C_{F/O}$	– dawka mieszaniny flokulanta Praestol 855BS + olejek eteryczny z pomarańczy [ml/dm^3],
C_O	– dawka olejku eterycznego z pomarańczy [ml/dm^3],
c_{od}	– stężenie zapachu [ou_E/m^3],
ΔZ	– parametr weryfikacji zespołu [-],
m	– masa surowca nadana do procesu destylacji [g/dm^3],
n	– prędkość wirowania [obr/min],
S_P	– sucha pozostałość [mg/dm^3],
S_R	– substancje rozpuszczone [mg/dm^3],
T	– czas utrzymywania się zapachu w osadzie [min],
T_D	– temperatura prowadzenia procesu destylacji [$^{\circ}\text{C}$],
t	– czas wirowania [min],
t_D	– czas destylacji [h],
$U_{O/F}$	– udział olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem PRAESTOL 855BS dla dawki $C = 28 \text{ ml}/\text{dm}^3$,
V_O	– objętość olejku [cm^3],
V_W	– objętość wody użyta do procesu destylacji [dm^3],
W	– wilgotność osadu [%],
W_N	– wilgotność osadu nadanego do procesu sedymentacji odśrodkowej [%],
Z_{ITE}	– ocena progu indywidualnego, wyrażona jako stopień rozcieńczenia [-],
$\bar{Z}_{ITE,pan}$	– średnia geometryczna ocen progu indywidualnego Z_{ITE} dla wszystkich uprawnionych członków zespołu po powtórnej weryfikacji [-],
Z_O	– zawiesina ogólna [mg/dm^3].

Literatura

1. **Abu-Orf M.M., Dentel S.K.:** *Polymer dose assessment using the streaming current detector.* Water Environment Research Vol. 69, No. 6, pp. 1075–1085, 1997.
2. **Aksielrud G.A., Łysianski W.M.:** *Ekstrakcja w układzie ciało stałe-ciecz.* Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978.
3. **Albertson O.E., Kopper M.:** *Fine coal-aided centrifugal dewatering of waste activated sludge.* Journal of Water Pollution Control Federation Vol. 55, No. 2, pp. 145–152, 1983.
4. **Andriyevska L., Juraszka B., Kowalczyk A., Piecuch T., Pol K., Zimoch A.:** *Neutralizacja przykrych zapachów poprzez rozpylanie roztworów powstałych na bazie ekstraktów z owoców cytrusowych, imbiru oraz goździków.* Rocznik Ochrona Środowiska Tom 10, s. 707–723, Koszalin 2008.
5. **Andriyevski B., Andriyevska L., Piecuch T., Juraszka B., Kowalczyk A.:** *Densimetric and refractive properties of oils from Anise, Juniper and Black cumin for masking of odours.* Polish Journal of Environmental Studies Vol. 5, pp. 10–15, 2009.
6. **Andriyevsky B., Andriyevska L., Piecuch T.:** *Intermolecular interaction in plant oils from refractive and density measurements.* Optics and Spectroscopy Vol. 109, No. 6, pp. 932–937, 2010.
7. **Anielak A., Nowak R.:** *Analiza pracy miejskiej oczyszczalni ścieków JAMNO w Koszalinie.* Zeszyty Naukowe Politechniki Koszalińskiej Nr 11, s. 7–18, Koszalin 1996.
8. **Anielak A.M., Nowak R.:** *Ocena możliwości poprawy pracy Miejskiej Oczyszczalni Ścieków „JAMNO” w Koszalinie.* Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: Współczesne Problemy Gospodarki Wodno-Ściekowej, s. 57–69, Kołobrzeg 1997.
9. **Anielak A.M.:** *Analityczno-empiryczne kryterium filtracji ciśnieniowej i rotacyjnej.* Praca doktorska, promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch, Politechnika Śląska 1983.
10. **Anielak A.M.:** *Wybrane zagadnienia z technologii ścieków przemysłowych. Przewodnik do ćwiczeń laboratoryjnych.* Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 1997.
11. **ASHLAND** Karta charakterystyki flokulanta PRAESTOL 855BS. Nr karty: R0308409.
12. **Bandrowski J., Troniewski L.:** *Destylacja i rektyfikacja.* Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.
13. **Barbusiński K., Filipek K., Kulczak A.:** *Intensyfikacja tlenowej stabilizacji osadów nadmiernych z wykorzystaniem nadtlenu wodoru i odczynnika Fentona.* Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa: Studia-Rozprawy-Monografie Nr 841, Katowice 2000.

14. **Barbusiński K., Filipek K.:** *Aerobic sludge digestion in the presence of hydrogen peroxide and Fenton's reagent*. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 12, No. 1, pp. 35–40, 2003.
15. **Barbusiński K.:** *Intensyfikacja procesu oczyszczania ścieków i stabilizacji osadów nadmiernych z wykorzystaniem odczynnika Fentona*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr 50 (Inżynieria Środowiska), Gliwice 2004.
16. **Barbusiński K.:** *Zastosowanie odczynnika Fentona do wspomagania unieszkodliwiania osadów ściekowych* [w:] **Heidrich Z.:** *Kierunki przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych*, s. 97–107. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2010.
17. **Bartoszewski K.:** *Ocena efektywności mechanicznego zagęszczania i mechanicznego odwadniania osadów*. Konferencja międzynarodowa nt.: Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków, s. 152–160, Częstochowa 1995.
18. **Bień B.:** *Badania charakterystyk reologicznych i odwadniania chemicznie preparowanych osadów ściekowych*. Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 14, Nr 4, s. 323–332, 2011.
19. **Bień J., Bień J., Matysiak B.:** *Gospodarka odpadami w oczyszczalniach ścieków*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1999.
20. **Bień J., Bień J., Wystalska K.:** *Problemy gospodarki osadowej w ochronie środowiska*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1998.
21. **Bień J., Kowalczyk M., Kamizela T.:** *Skuteczność odwadniania osadów kondycjonowanych substancjami chemicznymi w metodach łączonych z ultradźwiękami*. Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 11, Nr 1, s. 65–72, Częstochowa 2008.
22. **Bień J., Kowalczyk M., Kamizela T.:** *Wpływ parametrów warstwy filtracyjnej oraz sposobu preparowania osadów ściekowych na efekty odwadniania*. Gospodarka Odpadami Komunalnymi Tom V, s. 129–138, Koszalin 2009. Praca zbiorowa pod redakcją Kazimierza Szymańskiego.
23. **Bień J., Matysiak B., Bień J.:** *Wpływ dawki wybranych polielektrolitów na właściwości reologiczne osadów ściekowych*. Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 4, Nr 1, s. 27–39, 2001.
24. **Bień J., Matysiak B., Wystalska K.:** *Stabilizacja i odwadnianie osadów ściekowych*. Monografie Nr 60. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1999.
25. **Bień J., Stępnia L., Wolny L.:** *Ultradźwięki w dezynfekcji wody i preparowaniu osadów ściekowych przed ich odwadnianiem*. Monografie Nr 37. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1995.
26. **Bień J., Wolny L., Wolski P.:** *Działanie ultradźwięków i polielektrolitów w procesie odwirowania osadów ściekowych*. Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 4, Nr 1, s. 41–50, Częstochowa 2001.
27. **Bień J., Wolny L.:** *Wpływ fal ultradźwiękowych na wybrane parametry osadów ściekowych*. Ochrona Środowiska Vol. 18, No. 3, s. 37–39, 1996.
28. **Bień J.:** *Ultradźwięki w gospodarce osadowej*. II Międzynarodowa i XII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt.: Nowe spojrzenie na osady ściekowe, odnawialne źródła energii, s. 19–32, Częstochowa 2003.
29. **Bień J.B., Wolny L., Jabłońska A.:** *Sewage Sludges Preparation for Dewatering with Ultrasonic Field Application*. Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 4, Nr 1, s. 9–16, Częstochowa 2001.

30. **Bień J.B., Wystalska K.:** *Osady ściekowe – teoria i praktyka*. Wydanie III. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.
31. **Bień J.B.:** *Osady ściekowe – teoria i praktyka*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
32. **Bodzek M., Konieczny K., Kwiecińska A.:** *Application of membrane processes in drinking water treatment state of art*. Desalination and Water Treatment Vol. 35, pp. 164–184, 2011.
33. **Bodzek M.:** *Usuwanie anionowych mikrozanieczyszczeń ze środowiska wodnego z zastosowaniem technik membranowych*. Technologia Wody Nr 3, s. 22–30, 2011.
34. **Boruszko D.:** *Przeróbka i unieszkodliwianie osadów ściekowych – ćwiczenia laboratoryjne*. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2001.
35. **Breza-Boruta B., Hermann J., Paluszak Z., Troczyński M., Borowski S., Gutarowska B., Wojewódzki P.:** *Prognozowanie i zapobieganie emisji odorów i bioareozoli w środowisku w przemyśle rolno-spożywczym i gospodarce komunalnej* [w:] **Szynkowska M., Zwoździak J.:** *Współczesna problematyka odorów*, s. 408–451. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
36. **Brudniak A., Dębowski M., Zieliński M.:** *Określenie zapachowego oddziaływania wybranej oczyszczalni ścieków na tereny objęte opracowaniem planu zagospodarowania przestrzennego*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 15, Nr 2, s. 1759–1771, 2013.
37. **Brunner K.:** *Erfuhrzngen mit dem Einsatz von Seperatoren bei der Aufbereitung von industriellen Ahwässern*. Abdruck eines Vortrages vor dem Arbeitskreis Verfahrenstechnik des Württ. Ingenieur Verienes (VDI) am 19.5.1981. Westfalia-Separator-Oelde.
38. **Buyukkamaci N.:** *Biological sludge conditioning by Fenton's reagent*. Process Biochemistry Vol. 39, No. 11, pp. 1503–1506, 2004.
39. **Christensen J.R., Sorensen P.B., Christensen G.L., Hansen J.A.:** *Mechanisms for overdosingin in sludge conditioning*. Journal of Environmental Engineering Vol. 119, No. 1, pp. 159–171, 1993.
40. **Chrzanowska H., Kozak M.:** *Zastosowanie wielopunktowego chemicznego strącania na Oczyszczalni Ścieków „JAMNO”*. Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Nowoczesne systemy aplikacji chemii na obiektach komunalnych i przemysłowych, s. 133–140, Dolina Charlotty 2012.
41. **Ciborowski M.:** *Możliwość zastosowania koagulantu PIX w przeróbce osadów ściekowych*. Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Nowe zastosowania chemii w technologii oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych, s. 56–66, Mikołajki 2008.
42. **Ciborowski M.:** *Możliwość zastosowania koagulantu PIX w technologii osadów ściekowych*. Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Wszechstronność zastosowań chemicznych procesów oczyszczania ścieków na obiektach komunalnych i przemysłowych, s. 39–46, Karpacz 2010.
43. **Ciborowski M.:** *Możliwości zastosowania koagulantów nieorganicznych do kondycjonowania osadów ściekowych przed zagęszczaniem lub odwadnianiem*. Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Wszechstronność zastosowań chemikaliów na obiektach gospodarki wodno-ściekowej: nowe aplikacje 2005÷6, s. 108–119, Szczecin-Berlin-Poczdami-Brandenburg 2006.
44. **Ciborowski M.:** *Możliwości zastosowania koagulantów nieorganicznych do kondycjonowania osadów ściekowych przed zagęszczaniem lub odwadnianiem*. Gaz Woda i Technika Sanitarna Nr 12, s. 34, 2006.

45. **Cywiński I., Gdula S., Kempa E., Kurbiel J., Płoszański H.:** *Oczyszczanie ścieków miejskich. Podstawy technologiczne i zasady projektowania oczyszczalni.* Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1972.
46. **Czerwiński J., Ozonek J.:** *Elimination of odorous in off-gases from food production by means of ozone.* Chemical Engineering Transactions Vol. 15, s. 177–182, 2008.
47. **Dąbrowski J.:** *Wpływ warunków spalania wybranych grup odpadów na emisję szkodliwych substancji.* Praca doktorska, promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch, Politechnika Koszalińska 2010.
48. **Dąbrowski T.:** *Oczyszczanie ścieków z zakładu przetwórstwa ryb.* Praca doktorska, promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch, Politechnika Warszawska 2004.
49. **Dadej W.:** *Likwidacja uciążliwości zapachowych w oczyszczalni ścieków w Lublinie.* Przegląd Komunalny Nr 11, Zeszyty Komunalne, s. 123–129, 2005.
50. **Dębowski M., Zieliński M., Krzemieniewski M.:** *Możliwość wykorzystania odczynnika Fentona w procesach usuwania uciążliwości zapachowych powstających w sieciach kanalizacyjnych i zbiornikach bezodpływowych.* Gaz Woda i Technika Sanitarna Nr 2, s. 19–23, 2006.
51. **Dębowski M., Zieliński M., Krzemieniewski M.:** *Skuteczność kondycjonowania osadów ściekowych metodą Fentona.* Ochrona Środowiska Vol. 30, No. 2, pp. 43–47, 2008.
52. **Don J.A., Feenstra L.:** *Odour abatement through biofiltration,* Materials Symposium: Characterization and control of odoriferous pollutants in process industries, Louvain-Neuve (Belgium) 1984, pp. 337–349. Ed. SBF, Louvain 1984.
53. **Draimad-Technobag.** *Wytyczne projektowania.* Wydanie III zmienione. Wyd. EKOFINN-POL., Gdańsk 2002.
54. **Dymaczewski Z., Oleszkiewicz J.A., Sozański M.M., Lemański J.F., Bartoszewski K.:** *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków.* Praca zbiorowa, Wydanie II. Wydawca Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań 1997.
55. **Dymaczewski Z.:** *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków.* Praca zbiorowa, Wydanie III. Wydawca Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań 2011.
56. **Ebert F.:** *Berechnung der Trenchschärfe eines Fliehkraftsichters.* Vervahrenstechnik 8 Nr 9, 1974.
57. **EN 13725** „Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry”, CEN, 2003.
58. **Fischer K., Bardtke D.:** *Biodeodorization: the biofilter and its design.* Materials Symposium: Characterization and control of odoriferous pollutants in process industries, Louvain-Neuve (Belgium) 1984, pp. 351–363. Ed. SBF, Louvain 1984.
59. **Franz A.:** *Odwadnianie osadów w wirówkach.* Materiały Międzynarodowego Seminarium Szkoleniowego nt.: Podstawy oraz praktyka przeróbki i zagospodarowania osadów, Kraków 1998.
60. **Gielert M., Herman A.:** *Próby wspomagania odwadniania osadów koagulantem PIX-113 w Oczyszczalni Ścieków „Wschód” w Gdańsku.* Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Różne aspekty chemicznych procesów oczyszczania ścieków ze szczególnym uwzględnieniem ich energochłonności, s. 11–20, Sopot 2009.
61. **Gösele W.:** *Aus Legungsversuche und Masstuhsübertragung bei Dekantern.* Frankenthal Verlag Chemie, GmbH, Weinheim.

62. Gösele W.: *Scale-up of Helical Conveyor Type Decanter Centrifuges*. Germ. Chem. Eng. 3, 1980.
63. Gösele W.: *Schichtströmung In Röhrenzentrifugen*. Chemie-Ing.-Technik 40 Nr 13, 1968.
64. Grabas M., Sowiński W., Zamorska J., Pastuszak S.: Zgłoszenie patentowe Nr P 385673 z dnia 2008-07-16 pt.: *Sposób utylizacji osadów ściekowych w stawie*.
65. Grabas M., Sowiński W., Zamorska J.: Zgłoszenie patentowe Nr P 380867 z dnia 2006-10-23 pt.: *Sposób przetwarzania odpadów ściekowych*.
66. Grabas M., Tomaszek J. A., Czerwieniec E., Zamorska J., Kukula E., Masłoń A., Łuczyszyn J.: *Stosowanie biopreparatu EM-BIO w celu ograniczenia uciążliwości zapachowej odpadów ściekowych* [w:] Szynkowska M., Zwoździak J.: *Współczesna problematyka odorów*, s. 479–502. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
67. Greń J.: *Statystyka matematyczna modele i zadania*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1974.
68. Guz Ł., Sobczuk H., Suchorab Z.: *Pomiar odorów za pomocą przenośnego miernika z matrycą półprzewodnikowych czujników gazu*. Przemysł Chemiczny Tom 89, Nr 4, s. 378–381, 2010.
69. Haba J., Szpaczyński J.: *Hydrodynamika wirówek sedymentacyjnych*. Materiały I Ogólnopolskiego Seminarium nt.: Rozdzielanie zawiesin ciał stałych w cieczach. NOT SIiTPCh, 15/16.IX., Warszawa 1981.
70. Heidrich Z., Witkowski A.: *Urządzenia do oczyszczania ścieków – projektowanie, przykłady obliczeń*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2005.
71. Hemfort H.: *Zentrifugal-Seperatoren für die Lebensmittelindustrie. Entwicklung spezieller zentrifugaler Ahscheideverfahren im Hinblick auf besondere Anforderungen in der Lebensmittelindustrie*. Thematik eines Vortrages während der Tagung des Forschungskreieses der Ernährungsindustrie e. V. 14. Nov., München 1980.
72. Herman I.: *Wstępne zasady techniczno-organizacyjne zagospodarowania osadów ściekowych w środowisku przyrodniczym*. Ekologia i Technika Nr 1, s. 22–27, 1993.
73. Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Koziorowski B.: *Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1976.
74. Higa T.: *Microbiological metod for disposing of organic waste materials*. Unitet States Patent Nr 5, 707, 856, styczeń 1998.
75. Higa T.: *Rewolucja w ochronie naszej planety*. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa 2003.
76. Instrukcja obsługi wirówki NOXON® typ DC20 FC LM CC HS Claes Gustafson.
77. Juraszka B.: *Oczyszczanie ścieków przemysłowych pochodzących z klejenia w produkcji drzwi i okien drewnianych*. Praca doktorska, promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch, Politechnika Koszalińska 2007.
78. Kaatze U.: *Fundamentals of microwaves. Radiation Physics and Chemistry* Vol. 45, No. 4, p. 539–548, 1995.
79. Kabsch-Korbutowicz M., Majewska-Nowak K., Winnicki T.: *Water treatment using MIE X DOC/ultrafiltration process*. Desalination Vol. 221, pp. 338–344, 2008.
80. Kabsch-Korbutowicz M., Urbanowska A., Majewska-Nowak K., Kawiecka-Skowron J.: *Usuwanie substancji organicznych z roztworów wodnych z wykorzystaniem ceramicznych membran ultrafiltracyjnych*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 12, s. 467–478, 2010.

81. **Kabsch-Korbutowicz M.:** *Ultrafiltration as a method of natural organic matter separation from water.* Rocznik Ochrona Środowiska Tom 10, s. 17–27, 2008.
82. **Kempa E.S.:** *Modeling of wastewater sludges – theoretical conditions and realities.* I Scientific-Technical Conference, pp. 16–23, Częstochowa 1995.
83. **Kempa E.S.:** *Osady ściekowe paliwem.* Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: Osady ściekowe – przepisy i rozporządzenia, Częstochowa 1999.
84. **Kliber S., Wiśniewski J.:** *Membranowy proces wymiany anionów jako metoda zmiany składu jonowego wody.* Rocznik Ochrona Środowiska Tom 11, s. 995–1005, 2009.
85. **Klimek R.:** *Olejki eteryczne.* Wydawnictwo Przemysłu Lekkiego i Spożywczego, Warszawa 1957.
86. **Kohler H.:** *Reduction of odour emissions from painting facilities with the aid of biological exhaust air treatment.* Materials Symposium: Characterization and control of odoriferous pollutants in process industries, Louvain-Neuve (Belgium) 1984, pp. 365–375. Ed. SBF, Louvain 1984.
87. **Komorowska-Czepiewska E.:** *Podstawy technologii sorbentów.* Materiały pomocnicze do wykładów, Kraków 2004.
88. **Konieczny P.:** *Ferrox – metody likwidacji odorów i innych zagrożeń powodowanych przez siarkowodór.* Forum Eksploatatora Nr 6, s. 47–49, 2006.
89. **Konieczny P.:** *Ferrox – metody likwidacji odorów i innych zagrożeń powodowanych przez siarkowodór.* Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Różnorodność zastosowania chemii na nowoczesnych oczyszczalniach ścieków, s. 49–57, Dźwirzyno-Ronne 2004. Miejskie Wodociągi i Kanalizacja sp. z o.o. w Kołobrzegu, KEMIPOL sp. z o.o. w Policach.
90. **Korzekwa-Wojtal A., Wolny L.:** *Wpływ dawki polielektrolitu na charakterystyki osadów ściekowych w procesach sedymentacji w małych oczyszczalniach ścieków.* Proceedings of ECOpole Vol. 2, No. 2, s. 445–449, Opole 2008.
91. **Kośmider J. i wsp.:** *Koncepcja krajowej strategii ograniczenia odorowej uciążliwości powietrza w Polsce.* Materiały Seminarium: Integrated air quality control for industrial and commercial sectors, Międzyzdroje 1997, s. 275–283, Wyd. EKOCHÉM, Szczecin 1997.
92. **Kośmider J. i wsp.:** *Przygotowanie materiałów dla krajowej strategii zmniejszenia uciążliwości odorowych, opracowanie wykonane na zamówienie Ministra OŚZNiL, Szczecin 1997.*
93. **Kośmider J., Krajewska B.:** *Determining Temporary Odour Concentration under Field Conditions – Comparison of Methods.* Polish Journal of Environmental Studies Vol. 16, No. 2, pp. 215–225, 2007.
94. **Kośmider J., Mazur-Chrzanowska B., Wyszyński B.:** *Odory.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
95. **Kośmider J.:** *Ograniczenie emisji odorów.* Proponowane procedury licencyjne i kontrolno-pomiarowe. Materiały Seminarium: Integrated air quality control for industrial and commercial sectors, Międzyzdroje 1997, s. 283–291, Wyd. EKOCHÉM, Szczecin 1997.
96. **Kośmider J.:** *Pomiary stężenia zapachowego – olfaktometria dynamiczna.* Wodociągi-Kanalizacja Nr 10, s. 34–35, 2007.
97. **Kośmider J.:** *Uciążliwość zapachowa. Klasyfikacja terenów i źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza.* Archiwum Ochrony Środowiska Nr 1–2, s. 31–41, 1994.

98. **Kowalczyk A., Kutryn J., Piecuch T.:** *Neutralizacja nieprzyjemnych zapachów powstających podczas odwadniania komunalnych osadów ściekowych w procesie sedymentacji odśrodkowej.* Rocznik Ochrona Środowiska Tom 12, s. 365–380, 2010.
99. **Kowalczyk A., Piecuch T., Andriyevska L.:** *Zastosowanie olejku eterycznego z sosny do maskowania uciążliwych zapachów wydzielających się w procesie mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych.* Rocznik Ochrona Środowiska Tom 15, s. 807–822, 2013.
100. **Kowalczyk A., Piecuch T.:** *Zastosowanie olejku eterycznego z pomarańczy do maskowania nieprzyjemnych zapachów powstających podczas odwadniania komunalnych osadów ściekowych.* Inżynieria Ekologiczna Nr 25, s. 124–134, 2011.
101. **Kowalczyk M., Kamizela T.:** *Efektywność separacji fazy stałej z osadów ściekowych w procesie odwadniania przy dawkowaniu substancji chemicznych.* Gospodarka Odpadami Komunalnymi Tom VI, s. 301–308, Koszalin 2010. Monografia pod redakcją Kazimierza Szymańskiego.
102. **Kowalczyk M., Parkitna K., Kamizela T.:** *Wpływ kondycjonowania osadów ściekowych polem ultradźwiękowym wspomaganych substancjami chemicznymi na efektywność procesu odwadniania.* Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 14, Nr 1, s. 87–94, 2011.
103. **Kowalczyk M.:** *Modelowanie procesu wirowania osadów ściekowych przy użyciu sieci neuronowych.* Gospodarka Odpadami Komunalnymi Tom VI, s. 199–209, Koszalin 2010. Monografia pod redakcją Kazimierza Szymańskiego.
104. **Kowalczyk M.:** *Zastosowanie sieci neuronowych w klasyfikacji parametrów procesu odwadniania względem metod kondycjonowania osadów ściekowych.* Gospodarka Odpadami Komunalnymi Tom VII, s. 117–127, Koszalin 2011. Monografia pod redakcją Kazimierza Szymańskiego.
105. **Kowska I., Kabsch-Korbutowicz M., Majewska-Nowak K., Winnicki T.:** *Separation of anionic surfactants on ultrafiltration membranes.* Desalination Vol. 162, pp. 33–40, 2004.
106. **Kozak M., Kozak H.:** *Wspomaganie chemiczne przeróbki osadów ściekowych na Oczyszczalni Ścieków Jamno.* Materiały Seminarium nt.: Wszechstronność zastosowań chemikaliów na obiektach gospodarki wodno-ściekowej: nowe aplikacje 2005÷6, s. 95–107, Szczecin-Berlin-Poczdami-Brandenburg 2006. Zakład Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o. w Szczecinie, KEMIPOL sp. z o.o. w Policach, KEMIRA GmbH-Niemcy.
107. **Kozak M.:** *Sterowanie procesem oczyszczania ścieków w zmodernizowanej Oczyszczalni Ścieków JAMNO ze szczególnym uwzględnieniem strącania wstępnego.* Materiały do Seminarium nt.: Różnorodność zastosowania chemii na nowoczesnych oczyszczalniach ścieków, s. 5–17, Dźwirzyno-Ronne 2004. Miejskie Wodociągi i Kanalizacja sp. z o.o. w Kołobrzegu, KEMIPOL sp. z o.o. w Policach.
108. **Kozak M.:** *Sterowanie pracą urządzeń technologicznych części ściekowej oczyszczalni na przykładzie zmodernizowanej Oczyszczalni Ścieków JAMNO.* Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Nr 23, s. 577–597, Koszalin 2007.
109. **Krywiński C.:** *Złota struga ze słońcem w tle.* Forum Eksploatatora Nr 7/8, s. 60–62, 2009.
110. **Krzywy E., Iżewska A.:** *Gospodarka ściekami i osadami ściekowymi.* Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Szczecinie, 2004.

111. Kulig A., Lelicińska-Serafin K., Podedworna J., Sinicyn G., Heidrich Z., Czyżkowski B.: *Inwentaryzacja źródeł odorantów w gospodarce ściekowej i odpadowej w Polsce oraz ocena ich uciążliwości na podstawie badań ankietowych*. Przemysł Chemiczny Tom 88, Nr 5, s. 484–492, 2009.
112. Kulig A., Lelicińska-Serafin K., Podedworna J., Sinicyn G., Heidrich Z., Czyżkowski B.: *Charakterystyka i ocena oddziaływania zapachowego źródeł odorantów w gospodarce ściekowej i odpadowej w Polsce na podstawie badań ankietowych*. Chemik Nr 11, s. 414–420, 2009.
113. Kulig A., Lelicińska-Serafin K., Podedworna J., Sinicyn G., Heidrich Z., Czyżkowski B.: *Identyfikacja, inwentaryzacja i charakterystyka źródeł odorantów w gospodarce komunalnej w Polsce* [w:] Szynkowska M., Zwoździak J.: *Współczesna problematyka odorów*, s. 14–53. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
114. Kulig A., Sinicyn G., Czyżkowski B., Lelicińska-Serafin K., Heidrich Z., Podedworna J.: *Identification and survey of the sources of potential olfactory impact in municipal management in Poland*. Modern Chemical Technology in Agriculture and Environment Protection Vol. 9, pp. 549–563. Ed. by CzechPolTrade, Prague 2008.
115. Kulig A.: *Źródła i oddziaływanie odorantów emitowanych z obiektów gospodarki ściekowej*. Przegląd Komunalny Nr 11, Zeszyty Komunalne, s. 99–103, 2005.
116. Kunicka-Partyka J.: *Doświadczenia ze stosowania FERROX-U jako środka do likwidacji odorów w kanalizacji ściekowej i zapobiegania jej korozji*. Materiały do Seminarium nt.: Wszechstronność zastosowań chemikaliów na obiektach gospodarki wodno-ściekowej: nowe aplikacje 2005÷6, s. 120–130, Szczecin-Berlin-Poczdnam-Brandenburg 2006. Zakład Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o. w Szczecinie, KEMIPOL sp. z o.o. w Policach, KEMIRA GmbH-Niemcy.
117. Kutryn J., Piecuch T.: *Odwadnianie komunalnych osadów ściekowych na laboratoryjnej wirówce sedymentacyjnej typu MPW-350 oraz na przemysłowej wirówce typu Noxon DC20 – problem przeniesienia skali*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 11, s. 517–542, 2009.
118. Langer S.J., Klute R.: *Rapid mixing of sludge conditioning with polymers*. Water Science and Technology Vol. 30, No. 8, pp. 81–86, 1993.
119. Lee C.H., Liu J.C.: *Sludge dewaterability and floc structure in dual polymer conditioning*. Advances in Environmental Research Vol. 5, pp. 129–136, 2001.
120. Leschber R., Loll U.: *ATV – Handbuch. Klärschlamm Ernst & Sohn*. 4. Auflage, Berlin 1996.
121. Lu M.-C., Liao C.-H., Ting W.-P., Huang R.-Y.: *Influence of pH on the dewatering of activated sludge by Fenton's reagent*. Water Science & Technology Vol. 44, No. 10, pp. 327–332, 2001.
122. Lu M.-C., Lin C.-J., Liao C.-H., Huang R.-Y., Ting W.-P.: *Dewatering of activated sludge by Fenton's reagent*. Advances in Environmental Research Vol. 7, No. 3, pp. 667–670, 2003.
123. Machocki A.: *Technologia chemiczna – ćwiczenia laboratoryjne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 2002.
124. Maćkiewicz E., Szynkowska M., Maniukiewicz W., Paryczak T.: *Usuwanie amoniaku metodą katalitycznego utleniania za pomocą układów typu Me_xO_y /zeolit*. Przemysł Chemiczny Tom 90, Nr 5, s. 896–899, 2011.
125. Makles Z., Galwas-Zakrzewska M.: *Złowne gazy w środowisku pracy*. Bezpieczeństwo pracy Nr 9, s. 12–16, 2005.

126. **Malej J., Majewska A., Boguski A.:** *Wybrane problemy oczyszczania wód osadowych*. Rocznik Ochrona środowiska Tom 4, s. 11–48, 2002.
127. **Malej J.:** *Odpady i osady ściekowe. Charakterystyka – unieszkodliwianie – zagospodarowanie*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004.
128. **Malej J.:** *Wybrane problemy przeróbki osadów ściekowych*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 2, s. 39–69, Koszalin 2000.
129. **Marcinkowski K., Rubinowicz R., Rutkowski J.:** *Dezodoryzacja gazów metodą biodegradacji*. Chemik Nr 4, s. 99–102, 1998.
130. **Marcinkowski T.:** *Alkaliczna stabilizacja komunalnych osadów ściekowych*. Prace naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Seria: Monografie, Wrocław 2004.
131. **Marecka B.:** *Ocena zapachowego oddziaływania oczyszczalni ścieków*. Wodociągi-Kanalizacja Nr 10, s. 40–42, 2007.
132. **Mechaniczne odwadnianie osadu ściekowego**. Materiały pomocnicze ATV-DVWK – M 366 P. Październik 2000. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2001.
133. **Młoczek A., Uberta A.:** *Zwalczanie odorów na obiektach kanalizacji ściekowej. Doświadczenia z wdrożenia systemu FERROX w PWiK Bolesławiec*. Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Wszechstronność zastosowań chemicznych procesów oczyszczania ścieków na obiektach komunalnych i przemysłowych, s. 129–135, Karpacz 2010.
134. **Nalimow W., Czernowa.:** *Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1967.
135. **Neyens E., Baeyens J., Dewil R., De Heyder B.:** *Advanced sludge treatment effects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering*. Journal of Hazardous Materials 106B, pp. 83–92, 2004.
136. **Neyens E., Baeyens J., Weemaes M., De Heyder B.:** *Advanced biosolids treatment using H₂O₂ – Oxidation*. Environmental Engineering Science Vol. 19, No. 1, pp. 27–35, 2002.
137. **Nicell J.:** *Assessment and regulation of odour impacts*. Atmospheric Environment Vol. 43, No. 1, pp. 196–206, 2009.
138. **Nowak A.:** *Charakterystyki rozdziału jednorodnych ziarn mineralnych w wirówkach klasyfikujących*. Praca doktorska, AGH Kraków 1979.
139. *Ochrona Środowiska 2009*, Główny Urząd Statystyczny, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2009.
140. *Ochrona Środowiska 2010*, Główny Urząd Statystyczny, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2010.
141. *Ochrona Środowiska 2011*, Główny Urząd Statystyczny, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2011.
142. *Ochrona Środowiska 2012*, Główny Urząd Statystyczny, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2012.
143. *Ochrona Środowiska 2013*, Główny Urząd Statystyczny, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2013.
144. **Oleszkiewicz J. przy współpracy Kalinowskiej E.:** *Gospodarka osadami ściekowymi*. Poradnik decydenta. Wydawca LEM, Kraków 1998.
145. **Oleszkiewicz J.:** *Unieszkodliwianie biomasy z procesów biologicznego usuwania azotu i fosforu (BUNP)*. Warsztaty Szkoleniowe. Wydawnictwo LEMTECH KONSULTING sp. z o.o., Kraków 2006.

146. **Ozonek J., Jaholkowski, Czerwiński J.:** *Ograniczenie uciążliwości zapachowej w zakładach utylizacji odpadów zwierzęcych*. Przemysł Chemiczny Tom 88, Nr 5, s. 544–547, 2009.
147. **Ozonek J., Szulżyk-Cieplak J., Czerwiński J.:** *Ograniczenie emisji odorów z wód popłucznych przemysłu cukrowniczego z wykorzystaniem zjawiska kawitacji hydrodynamicznej*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 11, s. 1054–1062, 2009.
148. **Ozonek J.:** *Dezodoryzacja gazów odlotowych metodą ozonowania* [w:] **Szynkowska M., Zwoździak J.:** *Współczesna problematyka odorów*, s. 166–187. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
149. **Paderewski M.:** *Adsorpcja i adsorbenty*. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1982.
150. **Peryam D.R., Pilgrima F.J.:** *Hedonic scale method of measuring food references*. Symposium: Food Technology, pp. 9–14, September 1957.
151. **Piaskowski K.:** *Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych*. Przewodnik do ćwiczeń laboratoryjnych. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2005.
152. **Piecuch T., Andriyevski B., Andriyevska L., Juraszka B., Kowalczyk A.:** *Produkcja i rozpylanie roztworów neutralizujących przykre zapachy powstałych na podstawie ekstraktów z geranium, kminku zwyczajnego, anyżu, jałowca pospolitego oraz czarnuszki*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 11, s. 607–629, Koszalin 2009.
153. **Piecuch T., Kowalczyk A., Kozak M., Juraszka B., Piekarski J., Dąbrowski J., Andriyevska L.:** Zgłoszenie Patentowe nr P 390476 z dnia 2010-02-17 pt.: *Sposób neutralizacji odorów powstających podczas odwadniania komunalnych osadów ściekowych*.
154. **Piecuch T., Kowalczyk A., Kupś D., Gomółka D.:** *Sposób likwidacji uciążliwych zapachów powstających w procesie mechanicznego odwadniania komunalnych osadów ściekowych*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 13, s. 747–768, 2011.
155. **Piecuch T., Piekarski J.:** *Analysis of centrifugal sedimentation process of postproduction suspension from timber processing plant using Floccel type flocculant*. Env. Prot. Eng. Vol. 28, No. 2, pp. 105–117, 2002.
156. **Piecuch T., Piekarski J.:** *Badanie procesu odwirowania zawiesiny poprodukcyjnej zakładu przetwórstwa drewna POLSPAN-KRONOSPAN*. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Nr 15, s. 323–344, Koszalin-Ustronie Morskie 1999.
157. **Piecuch T., Piekarski J.:** *Metodyka określania zanieczyszczeń w odciekach ze składowisk wirów i pyłów drzewnych*. Ogólnopolskie sympozjum nt.: Metody badań powietrza, wody i gleby wokół składowisk odpadów, s. 97–126, Kraków 1996.
158. **Piecuch T., Sasinowski M., Nowak A., Dąbrowski J., Kościerzyńska-Siekan G., Dworaczek J., Zaremba W.:** *Produkcja i rozpylanie roztworów neutralizujących przykre zapachy w hali technologicznej Przedsiębiorstwa SUPERFISH*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 8, s. 239–261, Koszalin 2006.
159. **Piecuch T., Sasinowski M., Nowak A., Dąbrowski J., Kościerzyńska-Siekan G.:** *Produkcja i rozpylanie roztworów neutralizujących przykre zapachy w hali technologicznej Przedsiębiorstwa SUPERFISH budowanych na bazie ekstraktów z igliwia tui i sosny pospolitej*. Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Nr 22, s. 187–208. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2005.

160. **Piecuch T.:** Analiza studialna procesu rozdziału w wirówce sedymentacyjnej. Monografia Nr 39. Wydawnictwo Uczelniane Wyższej Szkoły Inżynierskiej, Koszalin 1992.
161. **Piecuch T.:** *Technika hydroszlamowa*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 1999.
162. **Piecuch T.:** *Technika wodno-mułowa – urządzenia i procesy*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2007.
163. **Piekarski J.:** *Opracowanie technologii oczyszczania ścieków przemysłowych pochodzących z produkcji płyt wiórowych*. Praca doktorska, promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch, Politechnika Warszawska 2000.
164. **Pietraszek P.:** *Ćwiczenia laboratoryjne z technologii osadów ściekowych*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1980.
165. **Pikoń J.:** *Aparatura chemiczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1978.
166. **Pleśniak Z.:** *Zapobieganie powstawaniu uciążliwych zapachów w sieci kanalizacyjnej*. Przegląd Komunalny Nr 5, s. 62, 2003.
167. **PN-EN 13725:2007** „Jakość powietrza. Oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej”.
168. **PN-ISO 6571:2001** „Przyprawy i zioła. Oznaczanie zawartości olejku eterycznego”.
169. **Podedworna J., Bisak A.:** *Właściwości filtracyjne osadów ściekowych i metody ich wyznaczania* [w:] **Heidrich Z.:** *Kierunki przeróbki i zagospodarowania osadów ściekowych*, s. 47–60. Praca zbiorowa. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2010.
170. **Podedworna J., Kulig A., Heidrich Z., Sinicyn G.:** *Ocena oddziaływania zapachowego procesów mechanicznego oczyszczania ścieków*. Przemysł Chemiczny Tom 89, Nr 4, s. 517–523, 2010.
171. **Podedworna J., Kulig A., Heidrich Z.:** *Oddziaływanie zapachowe obiektów technologicznych „średnich” oczyszczalni ścieków (400÷100 000 RLM) – analiza na podstawie badań ankietowych*. Gaz Woda i Technika Sanitarna Nr 10, s. 22–29, 2010.
172. **Podedworna J., Umiejewska K.:** *Ćwiczenia laboratoryjne z technologii osadów ściekowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
173. **Podedworna J., Umiejewska K.:** *Technologia osadów ściekowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
174. Praca zbiorowa: *Biotechnologie. Neue Chancen fuer den Umweltschutz*. Umwelt Stiftung, Osnabrueck 2000.
175. Prawo ochrony środowiska (ustawa z dnia 27 kwietnia 2001). Dz. U. 62, poz. 627 z dnia 20 czerwca 2001.
176. Prawo ochrony środowiska (ustawa z dnia 27 kwietnia 2001). Dz. U. 06.129.902 z dnia 19 lipca 2006.
177. **Roman M.:** *Kanalizacja. Oczyszczanie ścieków*. Tom II. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1986.
178. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 w sprawie określenia rodzajów inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska oraz wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko tych inwestycji. Dz. U. 93, poz. 589 (1998).

179. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko inwestycji nie zaliczonych do inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska, obiektów oraz robót zmieniających stosunki wodne. Dz. U. 93, poz. 590 (1998).
180. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 grudnia 2002 roku w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu. Dz. U. 03.01.12 z dnia 8 stycznia 2003.
181. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 roku w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu. Dz. U. 02.87.798 z dnia 27 czerwca 2002.
182. **Rutkowski J.:** *Unormowania formalno-prawne zapachowej jakości powietrza atmosferycznego*. Przegląd Komunalny Nr 10, s. 72–75, 2005.
183. **Sarikaya Z., Al-Marshoud S.:** *Improvement of dewatering characteristics of aerobically digested sludges*. Water Science and Technology Vol. 28, No. 1, pp. 47–51, 1993.
184. **Schamp P.N., Van Langenhove H.:** *Biofilters in the purification of odorous air*. Materials Symposium: Characterization and control of odoriferous pollutants in process industries, Louvain – Neuve (Belgium) 1984, pp. 323–335. Ed. SBF, Louvain 1984.
185. **Selecki A.:** *Rozdzielanie mieszanin. Metody niekonwencjonalne*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972.
186. **Skalmowski K.:** *Poradnik gospodarowania odpadami*. Praca zbiorowa, Wydawnictwo Verlag Dashöfer, Warszawa 2000.
187. **Sobczyk R., Kolasiński A.:** *Słoneczna suszarnia osadów w oczyszczalni ścieków w Iławie*. Forum Eksploatatora Nr 11/12, s. 7–9, 2007.
188. **Sokolov V.J.:** *Centrifugирование*. Chimia, Moskva 1976.
189. **Sokolov V.J.:** *Sovremennyye promyshlennyye centrifugi*. Nedra, Moskva 1961.
190. **Sówka I., Kita U., Skrętowicz M., Nych A., Zwoździak J.:** *Warunki i wymogi niezbędne do prawidłowego funkcjonowania Laboratorium Badań Olfaktometrycznych*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 15, s. 1207–1215, 2013.
191. **Sówka I.:** *Metody identyfikacji odorotwórczych gazów emitowanych z obiektów przemysłowych*. Monografie Nr 55. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.
192. **Suszyński A.:** *Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych w Polsce*. Forum Eksploatatora Nr 2, s. 34–37, 2011.
193. Świadek badania olejku eterycznego z pomarańczy Nr 81/12.
194. **Szklarczyk M., Zwoździak J., Sówka I.:** *Przemysłowe źródła emisji zapachów* [w:] **Szynkowska M., Zwoździak J.:** *Współczesna problematyka odorów*, s. 54–85. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
195. **Szklarczyk M.:** *Biologiczne oczyszczanie gazów odlotowych*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1991.
196. **Szklarczyk M.:** *Metody pomiaru stężenia zapachu*. Przegląd Komunalny Nr 11, Zeszyty Komunalne, s. 111–113, 2005.
197. **Szklarczyk M.:** *Odory w oczyszczalniach ścieków*. Wodociągi-Kanalizacja Nr 10, s. 30–33, 2007.
198. **Szwabowska E.:** *Projektowanie procesów odwadniania osadów ściekowych*. Skrypt Politechniki Śląskiej Nr 1845, Gliwice 1994.

199. **Szynkowska M., Wojciechowska E., Węglińska A., Paryjczak T.:** *Katalizatory stosowane w reakcji utleniania związków złoconnych*. Przemysł Chemiczny Tom 87, Nr 8, s. 834–843, 2008.
200. **Szynkowska M., Wojciechowska E., Węglińska A., Paryjczak T.:** *Odory. Aktualny problem w ochronie środowiska*. Przemysł Chemiczny Tom 88, Nr 6, s. 712–720, 2009.
201. **Tchobanoglous G., Burton F., Stensel H.D.:** *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse*. Metcalf & Eddy 4 th edition. Mc Graw-Hill Inc., New York 2003.
202. **Trawiński H.:** *Das schlämmen von Koalin in Zentrifugal-Stromklassieren*. Keramische Zeitschrift 1/1963.
203. **Uberna A., Siciński T.:** *Zastosowanie produktu FERROX na obiektach sieci kanalizacyjnej Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji we Wrocławiu*. Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Nowe zastosowania chemii w technologii oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych, s. 80–86, Mikołajki 2008.
204. **Uberna A.:** *Proces FERROX – zmiana agresywnego charakteru ścieków oraz eliminacja uciążliwości zapachowych wywołanych przez powstały w ściekach siarkowodor*. Materiały do Seminarium nt.: Różnorodność zastosowań chemii w oczyszczaniu ścieków, obróbce osadów i zwalczaniu odorów, s. 145–152, Darłówek 2007.
205. **VDI 3880 Draft.** *Olfactometry – Static sampling*, Berlin, Beuth Verlag, 2009.
206. **VDI 3882 Part 1.** *Olfactometry – determination of odour intensity*, 1992.
207. **VDI 3882 Part 2.** *Olfactometry – Determination of hedonic odour tone*, 1994.
208. **VDI 3940 B.3 (Draft),** *Measurement of odour in ambient air by field inspections – Determination of odour intensity and hedonic odour tone*, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Beuth Verlag, 2008.
209. **VDI 4285 Sheet 2:2006-09:** *Determination of diffusive emissions by measurements – Industrial halls and livestock farming*. Berlin, Beuth Verlag, 2006.
210. **Voorburg I.H.:** *Odours from livestock productions; Application of biological scrubbers*. Materiały Seminarium: ODOURS'93: Odours – Control, Measurement, Regulations, Świnoujście 1993, pp. 300-310. Wyd. EKOCHM, Szczecin 1993.
211. **Wiśniewski J., Kabsch-Korbutowicz M., Łakomska S.:** *Usuwanie bromków i bromianów z wody w procesie wymiany anionów przez membranę jonowymienną*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 15, s. 1260–1273, 2013.
212. **Wojciechowska E., Kowalik P.:** *Zastosowanie promieniowania mikrofalowego na kondycjonowanie osadów ściekowych*. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna i XII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt.: Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródło energii, s. 107–114, Częstochowa 2003.
213. **Wolny L.:** *Ultradźwiękowe wspomaganie procesu przygotowania osadów ściekowych do odwadniania*. Monografie Nr 104. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2005.
214. **Wolski P., Wolny L., Zawieja I.:** *Kondycjonowanie osadów nadmiernych poddanych stabilizacji a ich odwadnialność*. Inżynieria i Ochrona Środowiska Tom 13, Nr 1, s. 67–77, Częstochowa 2010.

- 215. **Woroszyło W.:** *Zastosowanie reagenta FERROX w celu ograniczenia zagniwania ścieków dopływających do Oczyszczalni ścieków „CENTRALNA” w Bytomiu.* Materiały do Seminarium Naukowo-Techniczne nt.: Różnorodność zastosowań chemii w oczyszczaniu ścieków, obróbce osadów i zwalczaniu odorów, s. 127–135, Darłówek-Koszalin-Słupsk 2007.
- 216. **Zaremba W., Piecuch T.:** *Zastosowanie środków maskujących odory, powstałych na bazie olejków eterycznych owoców cytrusowych.* Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Nr 23, s. 195-207. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2007.
- 217. **Zhao Y.Q., Bache D.H.:** *Conditioning of alum sludge with polymer and gypsum.* Colloids and Surfaces, Physicochemical and Engineering Aspects 194, pp. 213–220, 2001.
- 218. **Zhao Y.Q.:** *Enhancement of alum sludge dewatering capacity by using gypsum as skeleton builder.* Colloids and Surfaces, Physicochemical and Engineering Aspects 211, pp. 205–212, 2002.

Zastosowanie olejków eterycznych ekstrahowanych z surowców odpadowych jako substytutu flokulantów

mgr inż. Anna Kowalczyk
Katedra Techniki Wodno-Mułowej
i Utylizacji Odpadów

Słowa kluczowe: odory, zapach, olejki eteryczne, flokulant, osady ściekowe, odwadnianie, wilgotność osadu, zagęszczenie odcieku

Streszczenie

Najważniejszym celem pracy było znalezienie optymalnych warunków prowadzenia procesu odwadniania komunalnych osadów ściekowych na wirówkach zarówno w skali laboratoryjnej, jak i przemysłowej z zastosowaniem do tego procesu olejku eterycznego z pomarańczy w miejsce tradycyjnych flokulantów, a także zmniejszenie uciążliwości pracy obsługi wirówek zainstalowanych na terenie Oczyszczalni Ścieków Jamno w budynku odwadniania osadów, w którym emitowane są nieprzyjemne zapachy.

Zakres badań własnych obejmował badania laboratoryjne oraz badania w skali przemysłowej. Składał się z trzech etapów.

W pierwszym etapie, w laboratorium pozyskiwano z naturalnych odpadów organicznych (głównie skórki owoców cytrusowych, tj.: pomarańczy, cytryn i grejpfrutów) oraz tanich i łatwo dostępnych na naszym rynku roślin i kwiatów (imbir lekarski, goździki, geranium, kminek zwyczajny, jałowiec pospolity, anyż, czarnuszka) olejki eteryczne, w procesie destylacji z parą wodną. Uzyskane wyniki poddano ocenie pod względem objętości uzyskanego olejku, odczynu, zawiesiny ogólnej, substancji rozpuszczonych, suchej pozostałości oraz wskaźnika uzysku olejku.

Drugi etap badań wykonano również w laboratorium, gdzie prowadzono proces odwadniania komunalnych osadów ściekowych na wirówce MPW-350 z zastosowaniem flokulanta Praestol 855BS, mieszaniny flokulant Praestol 855BS (79%) + olejek eteryczny z pomarańczy (21%), mieszaniny flokulant Praestol 855BS

(50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) oraz olejku eterycznego z pomarańczy pozyskanego w pierwszym etapie badań. Ocenie poddano: wilgotność osadu, zagęszczenie odcieku oraz czas skutecznej neutralizacji odorów w odwirowanym osadzie.

Trzeci etap badań wykonano na terenie Oczyszczalni Ścieków Jamno, gdzie prowadzono proces odwadniania komunalnych osadów ściekowych na wirówce NOXON DC-20 z zastosowaniem różnych proporcji olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS dla dawki $C = 665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$. Ocenie poddano: wilgotność osadu, zagęszczenie odcieku oraz stężenia zapachu olejku eterycznego z pomarańczy w odwirowanym osadzie.

Przeprowadzone badania wykazały, że olejki eteryczne, tu na przykładzie olejku z pomarańczy stanowią skuteczny, dobry flokulant, który można stosować jako wspomaganie w procesie sedimentacji odśrodkowej.

Działanie olejków eterycznych, tu na przykładzie olejku z pomarańczy jest niewiele mniej skuteczne, a więc nieco gorsze dla jakości odwadniania osadów w wirówce dekantacyjnej niż typowych flokulantów, tu na przykładzie flokulantu Praestol 855BS; w warunkach laboratoryjnych przy założeniu dawkowania flokulantu oraz olejku eterycznego w proporcji po 50% wobec sumy dawki stanowi to rząd około 0,54% przeciętnie wyższej zawartości wilgoci w osadzie odwodnionym oraz rząd około $0,92 \text{ g/dm}^3$ wyższego zagęszczenia odcieku. Natomiast przy tym samym dawkowaniu w warunkach przemysłowych wynik jest nieco gorszy i stanowi rząd około 3,46% wyższego uwodnienia osadu oraz rząd około $3,48 \text{ g/dm}^3$ wyższego zagęszczenia odcieku.

W rezultacie przeprowadzonych badań mając na uwadze dobre jakościowo odwadnianie osadów z równoczesnym, częściowym, ale wyraźnym i odczuwalnym przez wiele minut obniżeniem uciążliwości odorów wydzielających się zarówno z osadów, jak i z odcieku, przyjmuje się i zaleca do aplikacji dawkowanie równoczesne obydwu odczynników, tj. flokulantu (tu flokulant Praestol 855BS) 50% oraz olejku eterycznego (tu olejek eteryczny z pomarańczy) także 50% udziału objętościowego.

Dozowanie olejków eterycznych, tu na przykładzie olejku z pomarańczy do osadu ściekowego spowodowało obniżenie w pewnym stopniu ogromnej uciążliwości zapachowej zarówno odwodnionych osadów, jak i odcieku (choć zaznacza się w odniesieniu do odcieku, że nie prowadzono pomiarów w tym zakresie); można to ocenić na rząd około 20–52 minut utrzymywania się pozytywnego zapachu

odwodnionego osadu przed ponownym przejściem w uciążliwy zapach odorowy, przy założeniu dawkowania flokulanta oraz olejku eterycznego w proporcji po 50% wobec sumy dawki.

Application of Essential Oils Extracted from Waste Materials as a Replacement of Flocculants

MSc. Anna Kowalczyk
Chair of Water and Sludge Technology
and Waste Utilization

Keywords: odor, scent, essential oils, flocculant, sewage sludge, dewatering, moisture content in sludge, solids concentration in effluent

Abstract

The first main objective of the thesis was to find optimal conditions of dewatering process of municipal sewage sludge in centrifuges, both in laboratory and industrial scale with application of essential oil from oranges, which replaced traditional flocculants during process of dewatering. The other main objective was to reduce nuisances during operation of centrifuges installed in the Jamno Sewage Treatment Plant, in the sludge dewatering building, in which odors are emitted, by applying essential oils to dewatering.

The range of own research included laboratory and industrial scale tests. It consisted of three stages.

In the first stage, essential oils were extracted in the laboratory from natural organic waste (mainly peel from citrus fruits, such as: oranges, lemons and grapefruits) and cheap and available in Poland plants and flowers (ginger root, cloves, geranium, caraway, common juniper, star anise, black cumin). Oils were obtained using process of steam distillation. Obtained results were evaluated in terms of the volume of the obtained oil, pH, total suspended solids, dissolved substances, dry residue and oil yield ratio.

The second stage of the study was also performed in the laboratory, where the process of dewatering of municipal sewage sludge was carried out in MPW-350 centrifuge using Praestol 855BS flocculant, mixture of Praestol 855BS flocculant (79%) + essential oil from orange (21%), mixture of flocculant Praestol 855BS (50%) + orange

essential oil (50%) and orange essential oil obtained in the first stage. Following parameters were evaluated: moisture content in the sludge, solids concentration in effluent and time of effective odor neutralization in the centrifuged sediments.

The third stage of the research was carried out in the Jamno Sewage Treatment Plant, where the process of municipal sewage sludge dewatering in centrifuge NOXON DC-20 with application of different proportions of mixtures of essential oil from orange and Praestol 855BS flocculant for dose of flocculant $C = 665 \text{ dm}^3/17 \text{ m}^3$ was performed. Following parameters were evaluated: moisture content in the sludge, solids concentration in effluent and the concentration of fragrance of essential oil from orange in the centrifuged sediment.

The study showed that essential oils, in this case essential oil from orange, are effective, good flocculant, which may be used as an adjunct in the process of centrifugal sedimentation.

Application of essential oils, in this case essential oil from orange, is a little less effective, that is slightly worse for the quality of sludge dewatering in decanter centrifuge than conventional flocculants, in this case Praestol 855BS flocculant; in numbers: dose of 50% of flocculant and 50% of essential oil – average moisture content in the centrifuged sludge is 0.54% higher and solids concentration in the effluent is 0.92 g/dm^3 higher. The same dosage but under industrial conditions gives worse results: average moisture content in the centrifuged sludge is 3.46% higher and solids concentration in the effluent is 3.48 g/dm^3 higher.

As a result of studies, taking into consideration good quality dewatering of sludge with simultaneous, partial, but clear and noticeable for several minutes reduction of nuisance of odors emitted from both the sludge and the effluent, the simultaneous application of the two reagents, that is flocculant (in this case Praestol 855BS flocculant) 50% and essential oil (in this case essential oil from orange) also 50% of the volume is assumed and recommended.

Dosage of essential oils, in this case essential oil from orange to the sludge resulted in a reduction, in certain extent, of odor nuisance of both dewatered sludge and effluent (although must be pointed out that for the effluent no measurements were carried out); the effect may be evaluated in numbers as follows: positive scent of dewatered sludge lasted for 20–52 minutes before it became onerous odor again, assuming application of flocculant and the essential oil, each in proportions of 50% of the total dose.

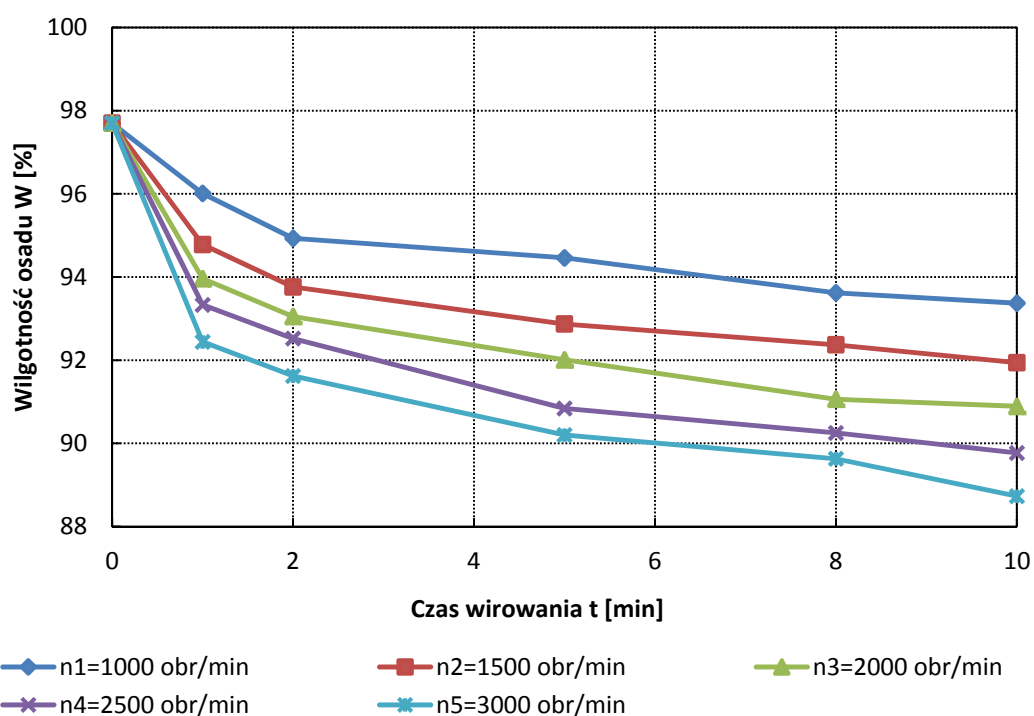
**ZESTAWIENIE TABEL I WYKRESÓW WYNIKÓW
BADAŃ ODWADNIANIA KOMUNALNYCH
OSADÓW ŚCIEKOWYCH
ORAZ NEUTRALIZACJI ODORÓW**

FLOKULANT PRAESTOL 855BS

Dawka flokulanta PRAESTOL 855BS $C_{F0} = 0 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 1. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F0} = 0 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

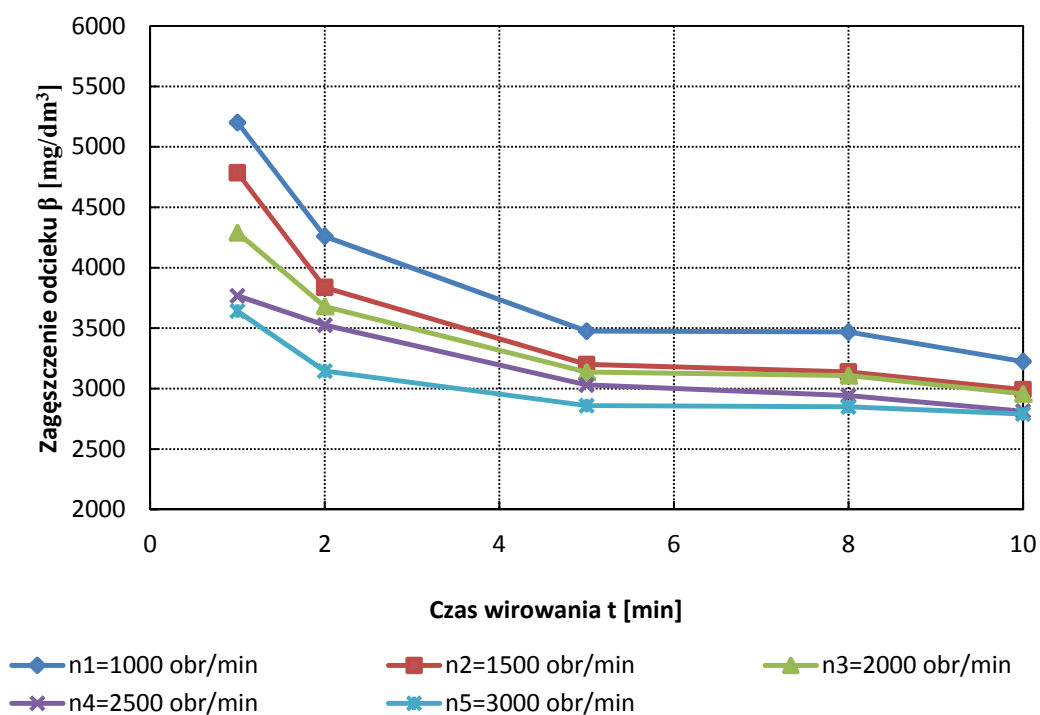
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	96,01	94,93	94,46	93,62	93,37
1500	94,78	93,76	92,87	92,37	91,94
2000	93,96	93,05	92,01	91,06	90,89
2500	93,33	92,52	90,84	90,25	89,77
3000	92,44	91,62	90,20	89,63	88,73



Rys. 1. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F0} = 0 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 2. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F0} = 0 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	5201,49	4259,59	3474,82	3468,26	3224,33
1500	4784,63	3837,31	3199,93	3138,39	2991,67
2000	4289,02	3679,83	3136,33	3106,92	2956,03
2500	3767,63	3525,08	3029,91	2942,45	2813,58
3000	3641,40	3145,65	2859,63	2848,89	2790,18

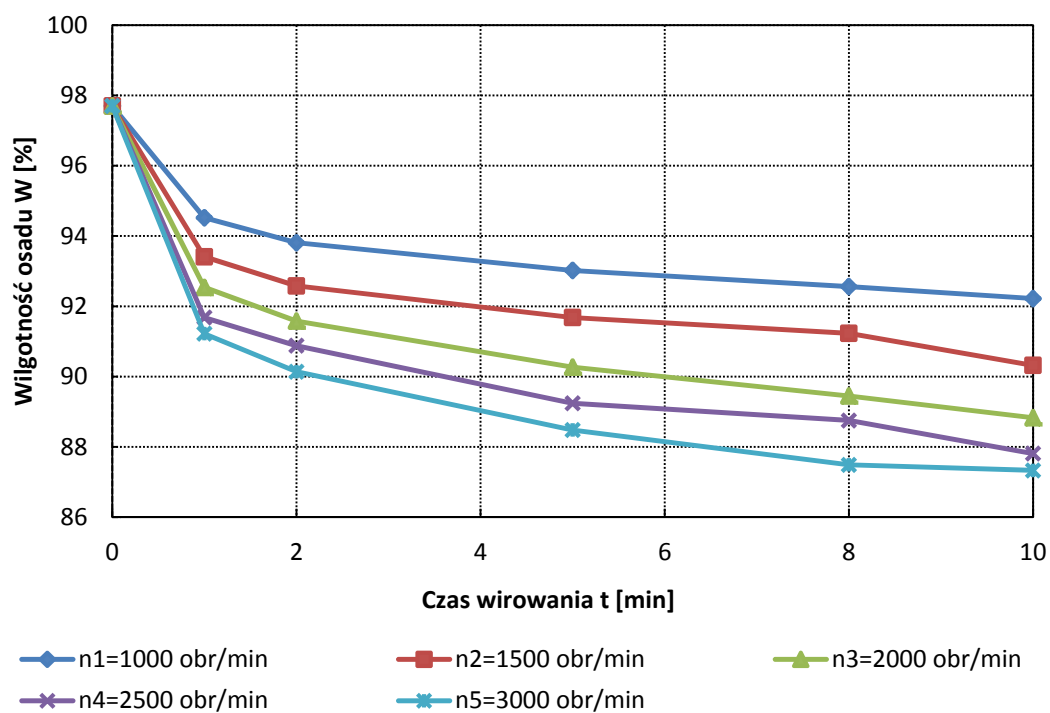


Rys. 2. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F0} = 0 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulanta PRAESTOL 855BS $C_{FI} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 3. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{FI} = 18 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

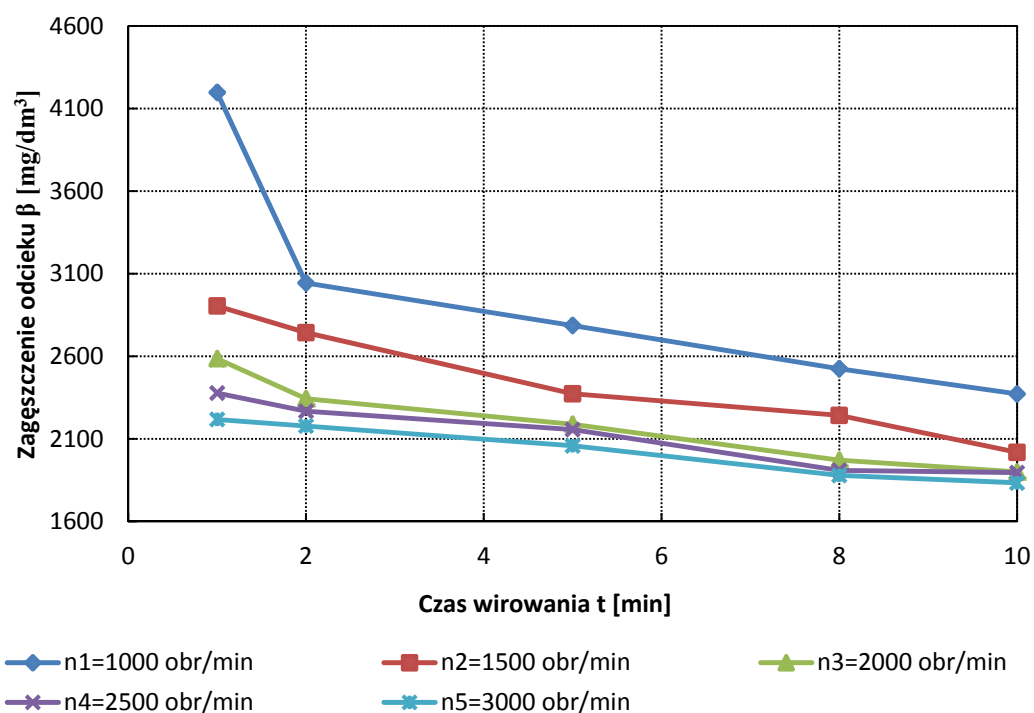
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,52	93,81	93,02	92,56	92,22
1500	93,41	92,58	91,68	91,23	90,32
2000	92,54	91,58	90,27	89,45	88,83
2500	91,68	90,88	89,24	88,75	87,81
3000	91,22	90,14	88,48	87,49	87,33



Rys. 3. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{FI} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 4. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F1} = 18 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	4197,10	3043,89	2786,37	2524,69	2372,09
1500	2904,42	2743,00	2373,09	2242,26	2018,57
2000	2585,74	2343,34	2188,39	1971,53	1900,43
2500	2377,33	2267,51	2156,41	1909,32	1895,39
3000	2217,82	2178,04	2058,30	1879,09	1833,35

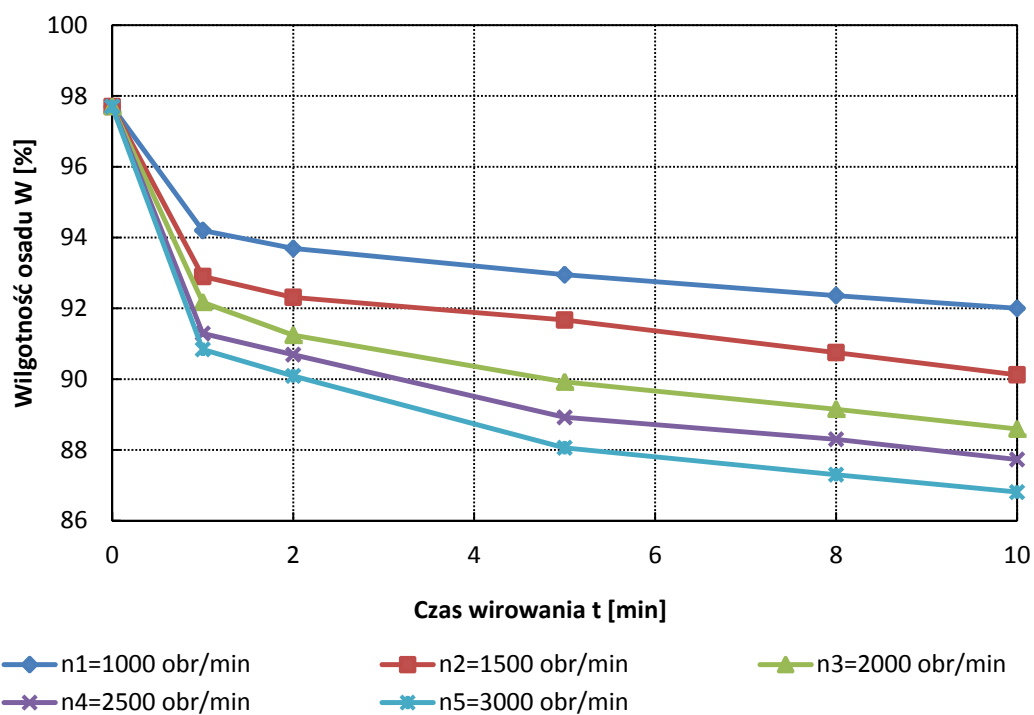


Rys. 4. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F1} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulanta PRAESTOL 855BS $C_{F2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 5. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F2} = 23 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

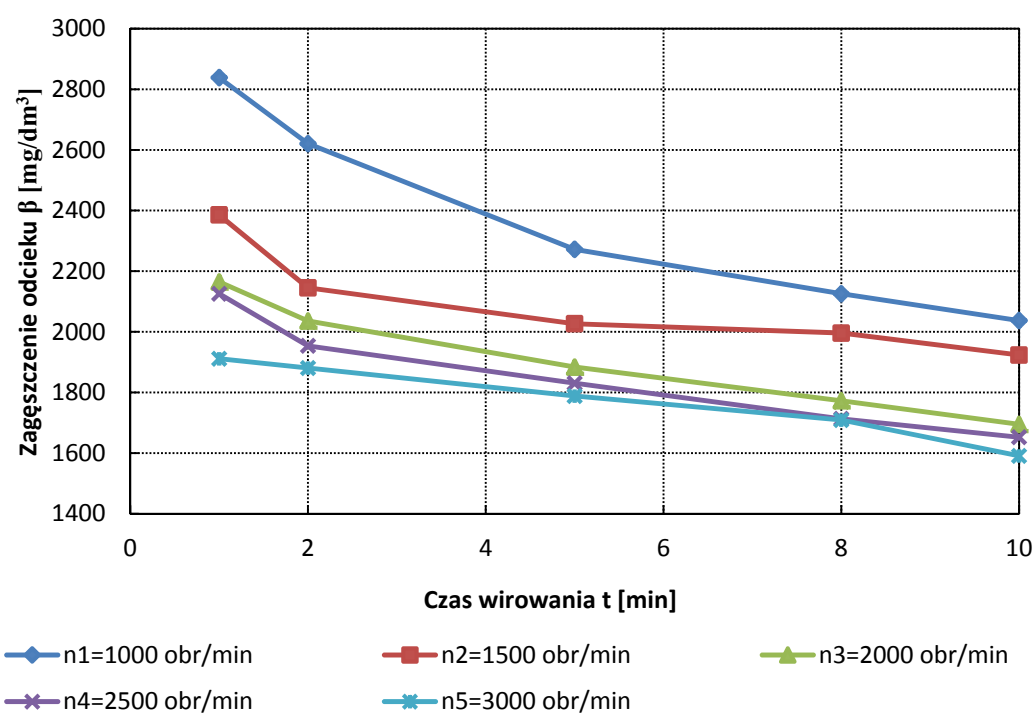
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,20	93,69	92,95	92,36	92,00
1500	92,90	92,31	91,67	90,75	90,12
2000	92,17	91,24	89,92	89,15	88,59
2500	91,29	90,69	88,92	88,30	87,73
3000	90,84	90,09	88,06	87,30	86,81



Rys. 5. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 6. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F2} = 23 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	2838,54	2620,72	2272,02	2125,52	2037,15
1500	2385,55	2145,08	2026,45	1995,65	1923,32
2000	2164,64	2035,71	1883,70	1772,56	1694,66
2500	2125,52	1953,61	1830,49	1712,90	1652,37
3000	1911,30	1880,68	1788,32	1708,94	1590,77

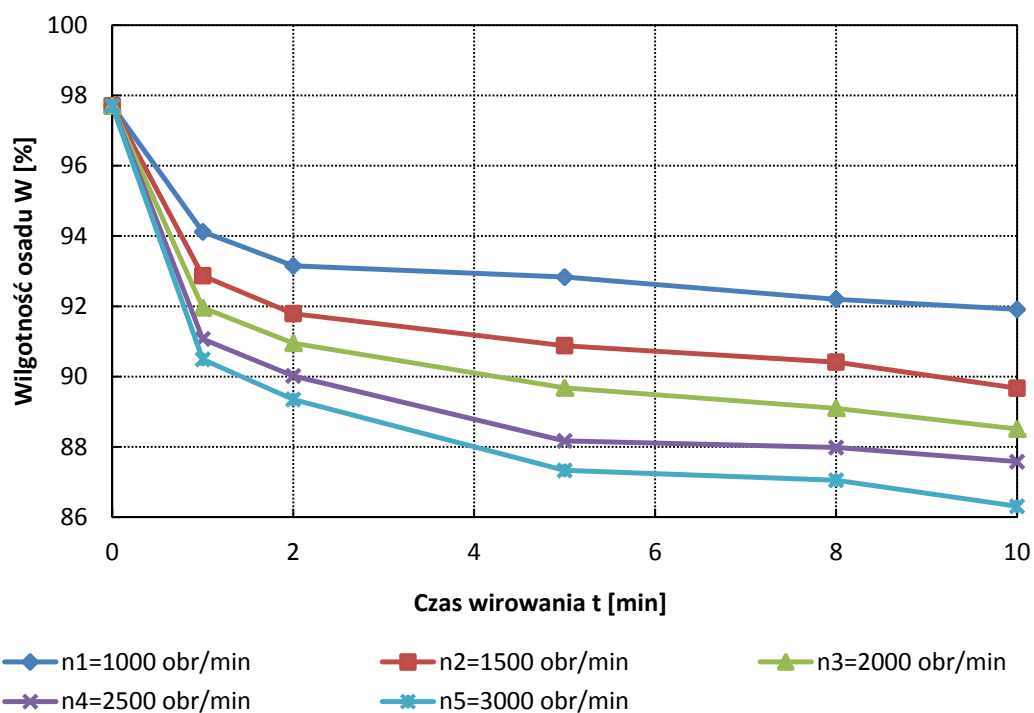


Rys. 6. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulanta PRAESTOL 855BS $C_{F3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 7. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F3} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

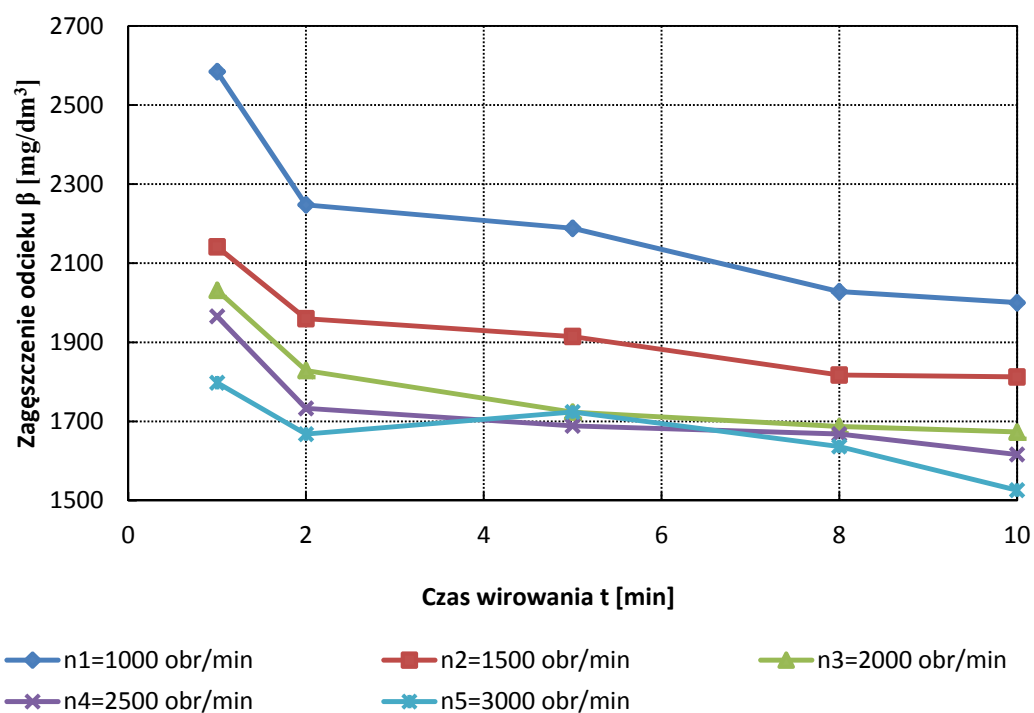
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,12	93,15	92,83	92,20	91,91
1500	92,87	91,79	90,88	90,41	89,67
2000	91,96	90,95	89,68	89,10	88,51
2500	91,07	90,02	88,17	87,98	87,58
3000	90,49	89,35	87,33	87,05	86,31



Rys. 7. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 8. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F3} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	2584,22	2247,61	2188,38	2028,05	2000,07
1500	2141,34	1959,53	1914,59	1817,11	1812,32
2000	2031,48	1828,68	1723,41	1686,77	1673,03
2500	1965,56	1733,00	1688,58	1667,76	1616,22
3000	1797,64	1667,76	1723,72	1636,45	1525,91

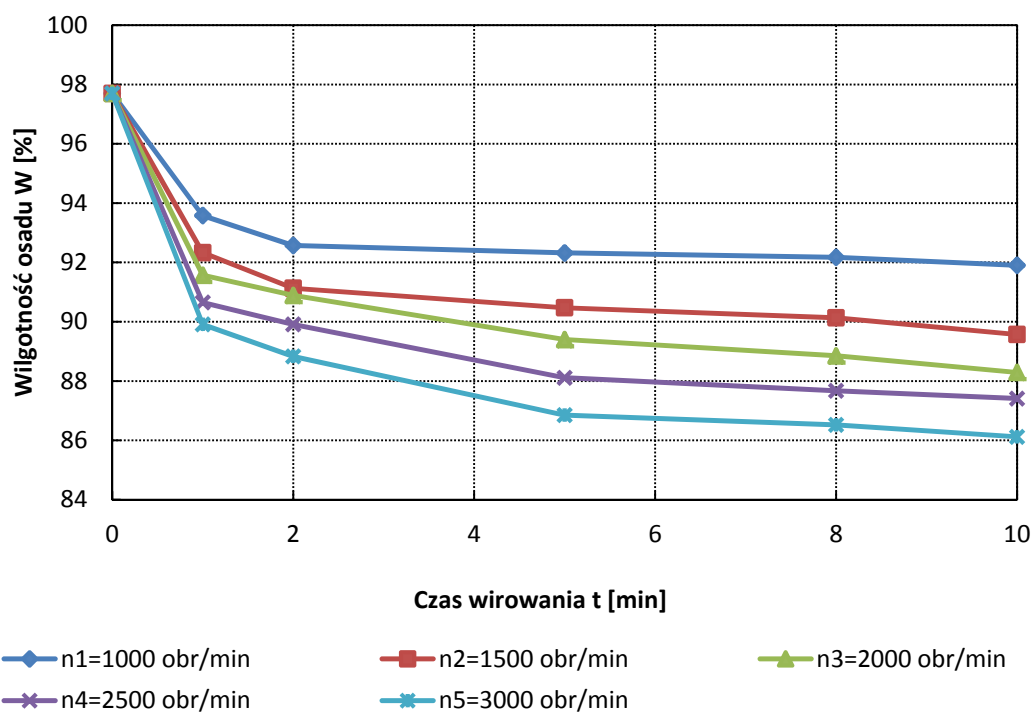


Rys. 8. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulanta PRAESTOL 855BS $C_{F4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 9. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F4} = 33 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

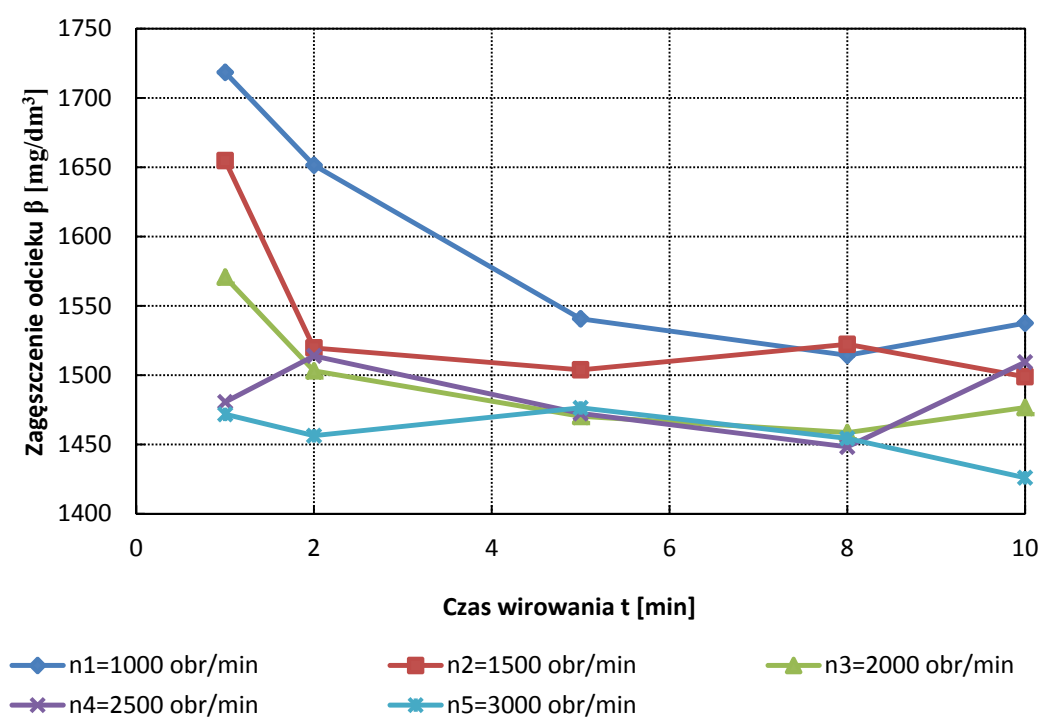
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	93,58	92,57	92,32	92,17	91,90
1500	92,33	91,13	90,47	90,13	89,57
2000	91,57	90,89	89,40	88,85	88,29
2500	90,65	89,91	88,11	87,67	87,41
3000	89,91	88,83	86,85	86,52	86,12



Rys. 9. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 10. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F4} = 33 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	1718,47	1651,52	1540,61	1514,33	1537,54
1500	1654,77	1519,60	1503,78	1522,21	1498,82
2000	1570,78	1503,09	1470,26	1458,52	1476,65
2500	1480,59	1513,84	1472,34	1448,21	1509,32
3000	1471,74	1456,28	1476,37	1454,37	1425,99

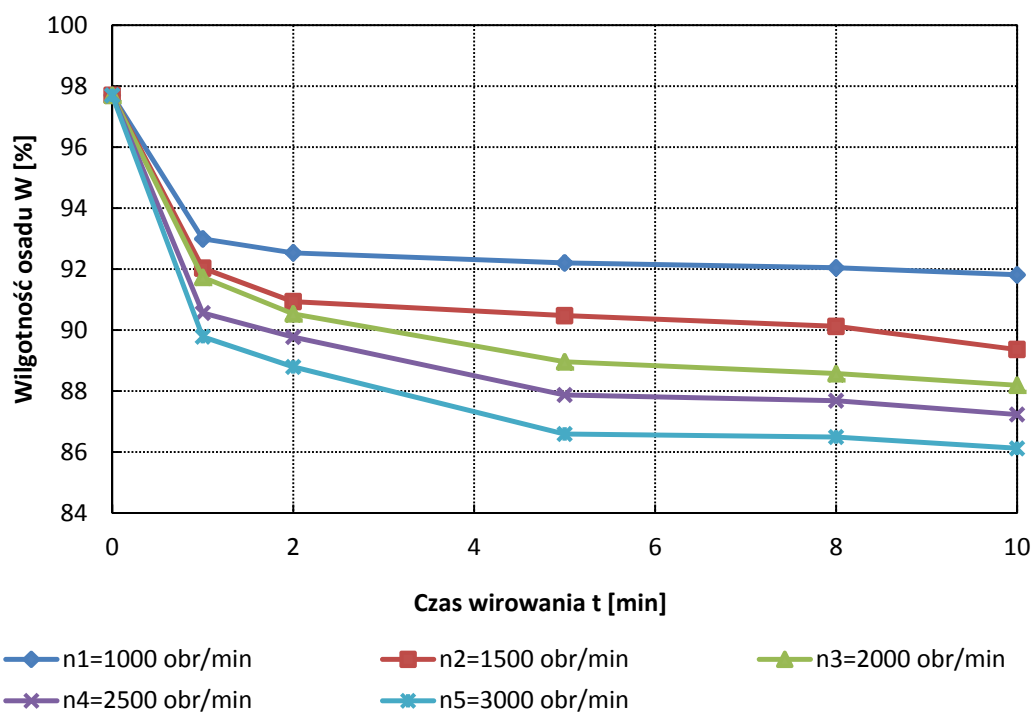


Rys. 10. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulanta PRAESTOL 855BS $C_{F5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 11. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F5} = 38 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

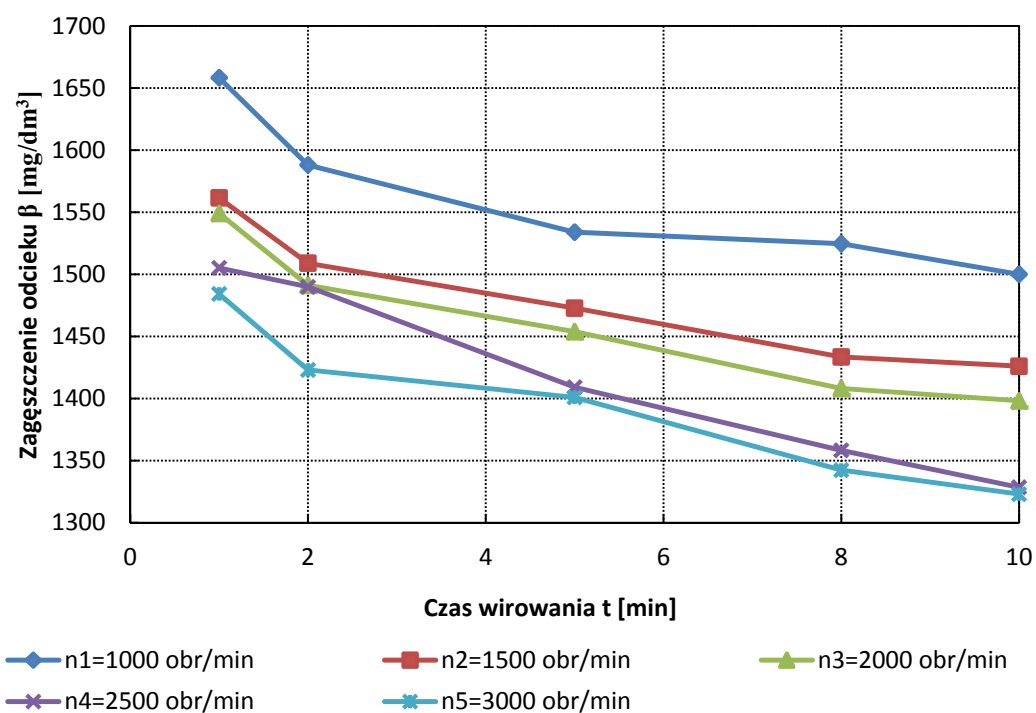
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	92,99	92,53	92,20	92,04	91,81
1500	92,03	90,93	90,47	90,12	89,36
2000	91,73	90,53	88,96	88,57	88,19
2500	90,56	89,77	87,87	87,68	87,23
3000	89,78	88,79	86,59	86,49	86,12



Rys. 11. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 12. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F5} = 38 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	1658,27	1588,04	1533,93	1524,63	1500,03
1500	1561,49	1508,92	1472,78	1433,48	1425,98
2000	1549,05	1491,20	1453,86	1408,17	1398,17
2500	1505,17	1489,92	1409,05	1358,27	1328,49
3000	1484,17	1423,02	1400,93	1342,37	1323,02

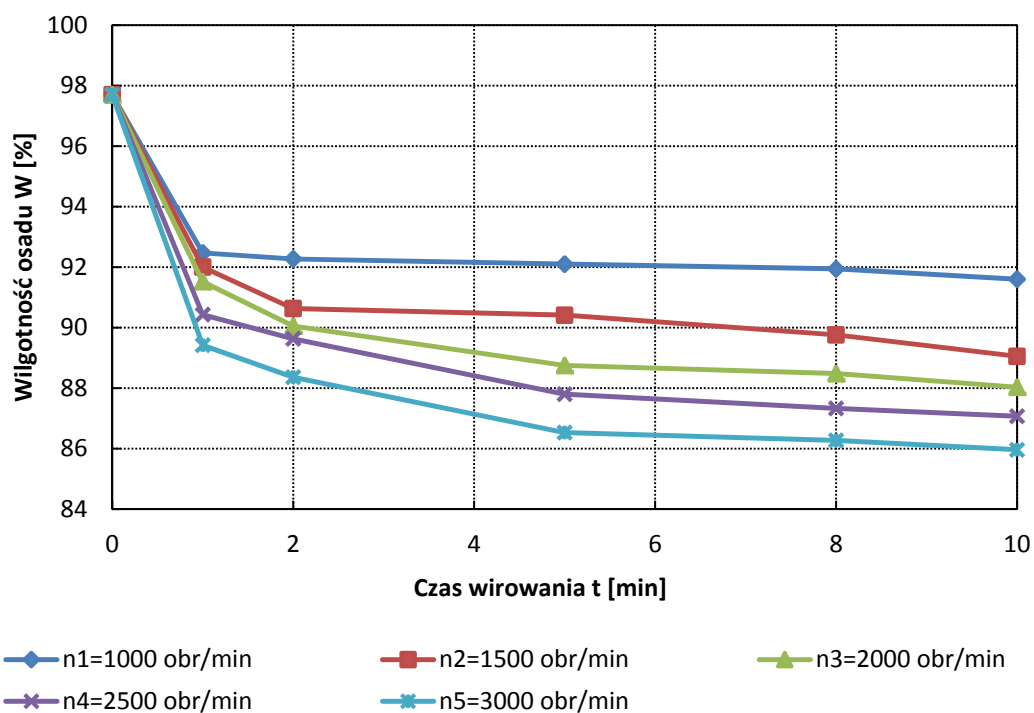


Rys. 12 Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulanta PRAESTOL 855BS $C_{F6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 13. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F6} = 48 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

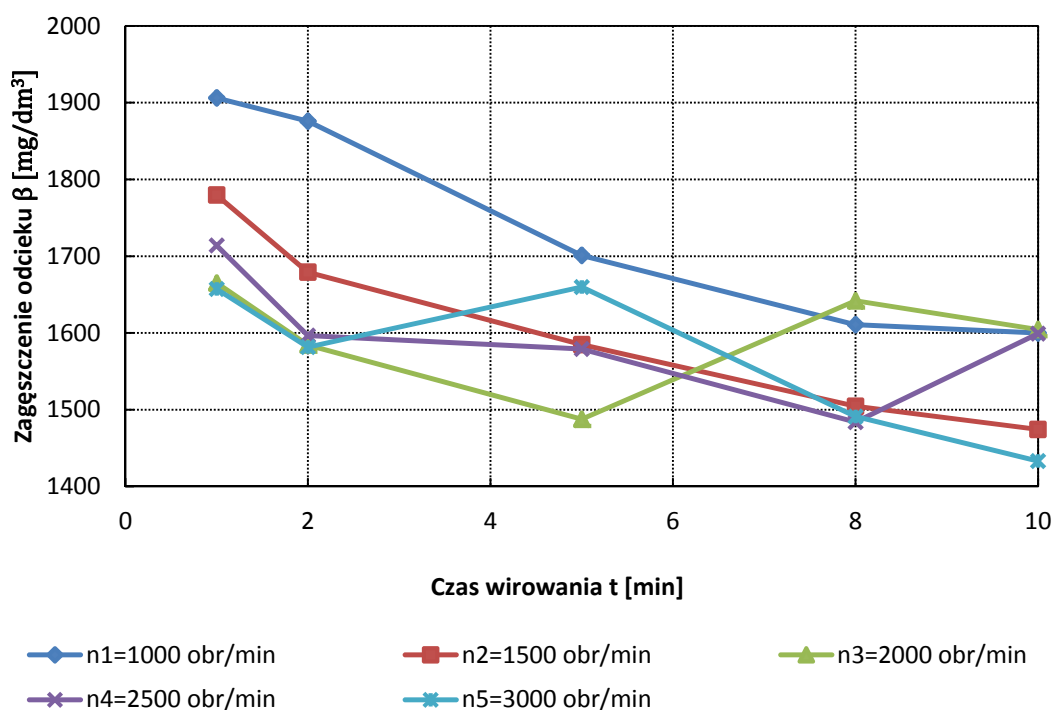
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	92,47	92,27	92,10	91,94	91,60
1500	92,00	90,63	90,41	89,76	89,05
2000	91,52	90,05	88,75	88,48	88,03
2500	90,43	89,63	87,80	87,33	87,07
3000	89,42	88,36	86,53	86,27	85,96



Rys. 13. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 14. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta $C_{F6} = 48 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	1906,19	1875,82	1700,98	1610,78	1599,91
1500	1779,67	1679,08	1584,77	1504,51	1474,25
2000	1665,02	1584,21	1487,56	1641,96	1604,51
2500	1713,96	1596,59	1579,05	1483,81	1599,13
3000	1657,23	1581,53	1659,88	1491,17	1433,07



Rys. 14. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki flokulanta Praestol 855BS $C_{F6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

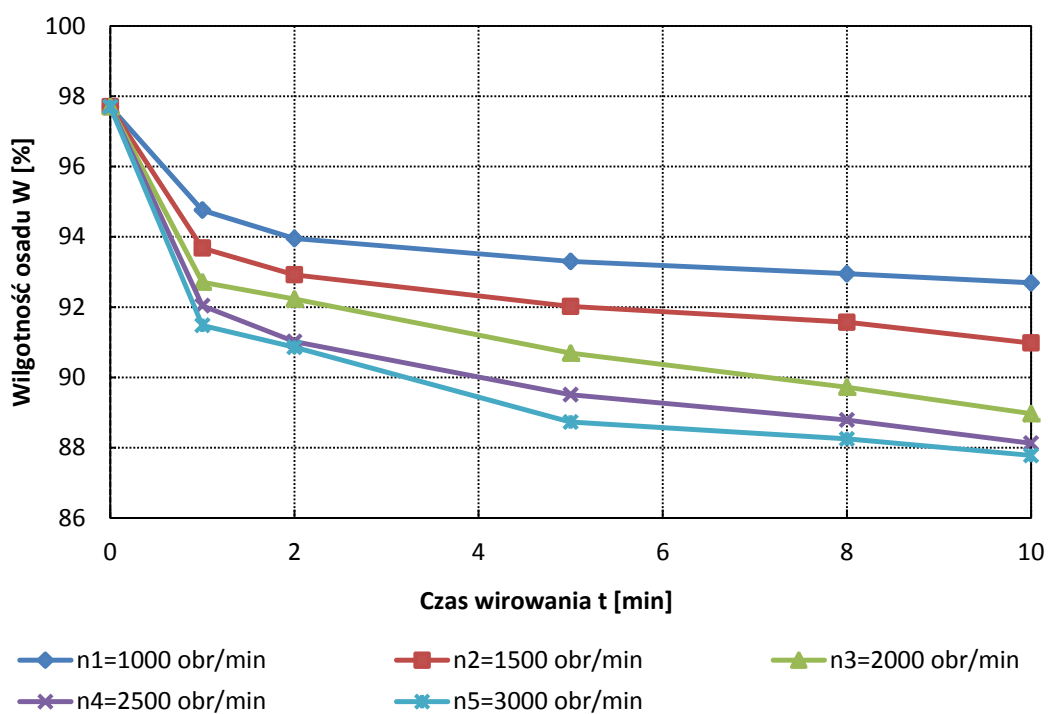
FLOKULANT PRAESTOL 855BS (50%) + OLEJEK ETERYCZNY Z POMARAŃCZY (50%)

Dawka flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%)

$$C_{F/O1} = 18 \text{ ml/dm}^3$$

Tabela 15. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O1} = 18 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

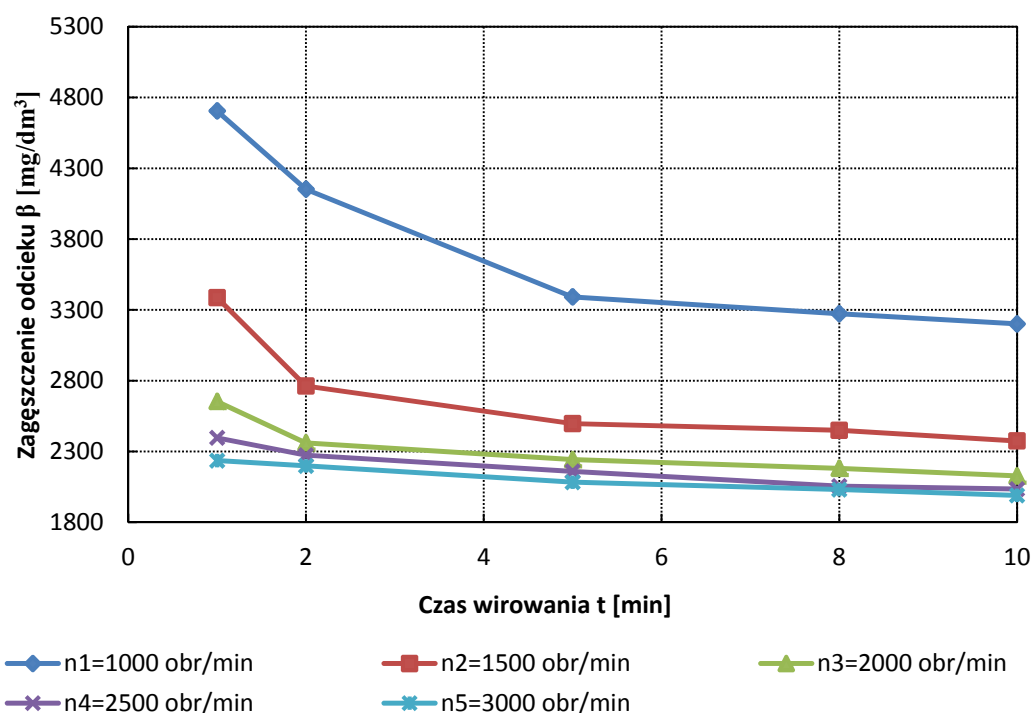
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,76	93,95	93,30	92,95	92,69
1500	93,68	92,92	92,02	91,57	90,98
2000	92,71	92,23	90,69	89,72	88,97
2500	92,04	91,02	89,51	88,79	88,13
3000	91,48	90,86	88,73	88,25	87,78



Rys. 15. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O1} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 16. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/OI} = 18 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

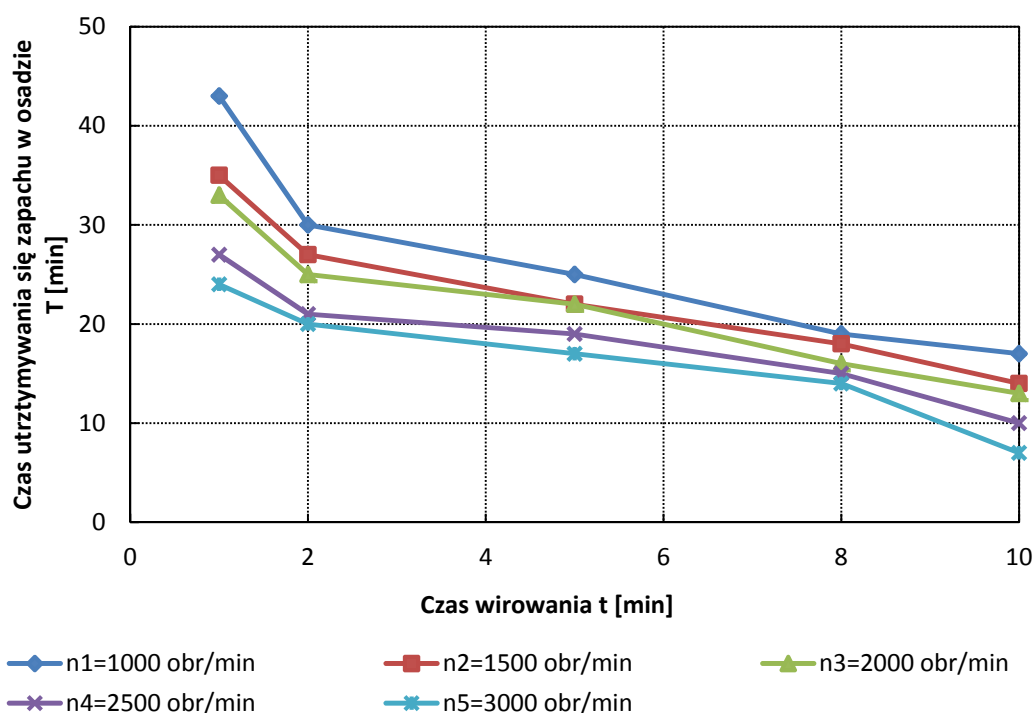
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	4704,69	4151,49	3391,13	3272,43	3200,43
1500	3385,79	2761,79	2496,5	2448,5	2373,8
2000	2653,01	2359,95	2242,04	2180,07	2126,67
2500	2396,17	2273,61	2158,81	2054,76	2033,75
3000	2234,86	2197,86	2082,47	2030,71	1989,31



Rys. 16. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/OI} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 17. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/OI} = 18 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	43	30	25	19	17
1500	35	27	22	18	14
2000	33	25	22	16	13
2500	27	21	19	15	10
3000	24	20	17	14	7



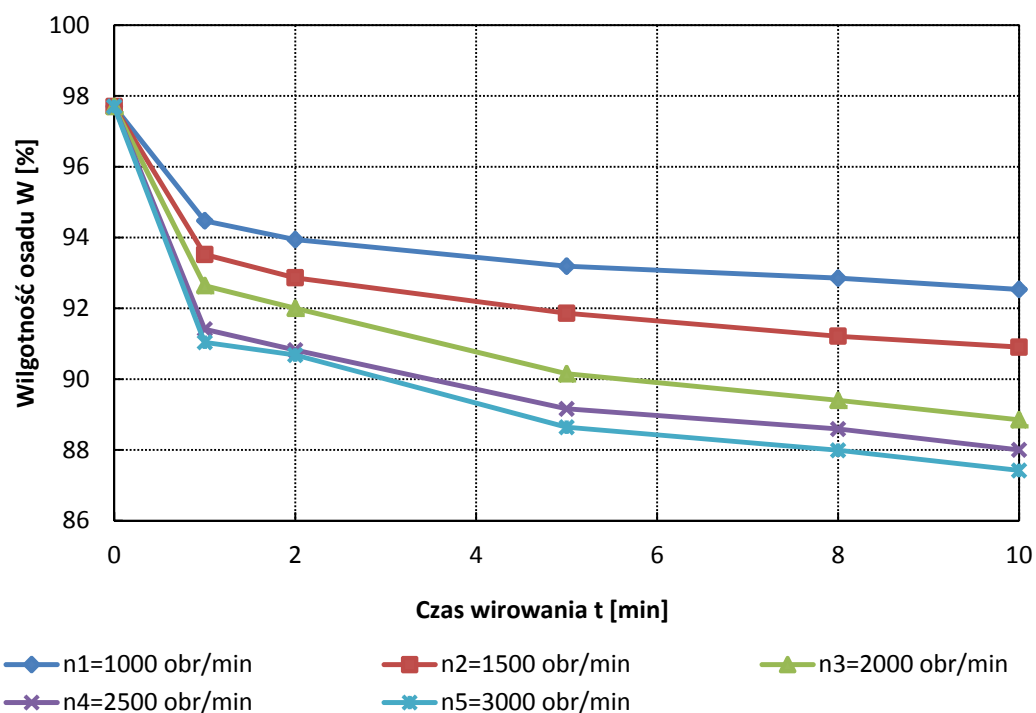
Rys. 17. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/OI} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%)

$$C_{F/O2} = 23 \text{ ml/dm}^3$$

Tabela 18. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O2} = 23 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

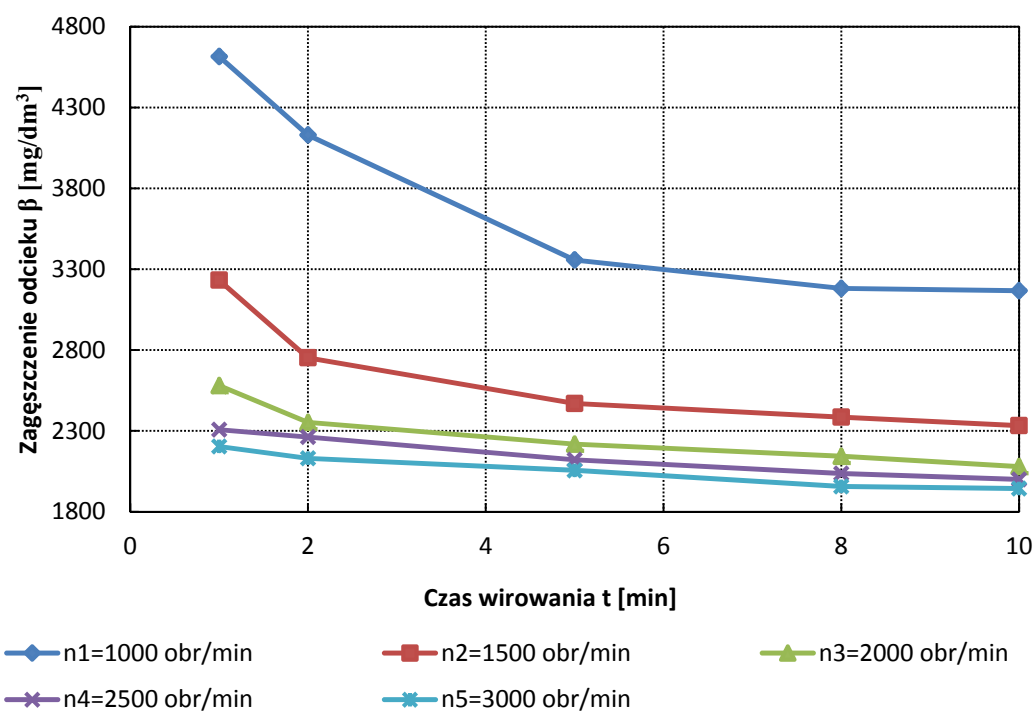
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,47	93,94	93,19	92,85	92,53
1500	93,52	92,86	91,86	91,21	90,90
2000	92,64	92,00	90,15	89,40	88,85
2500	91,41	90,82	89,16	88,59	88,00
3000	91,04	90,68	88,64	87,99	87,42



Rys. 18. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 19. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O2} = 23 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

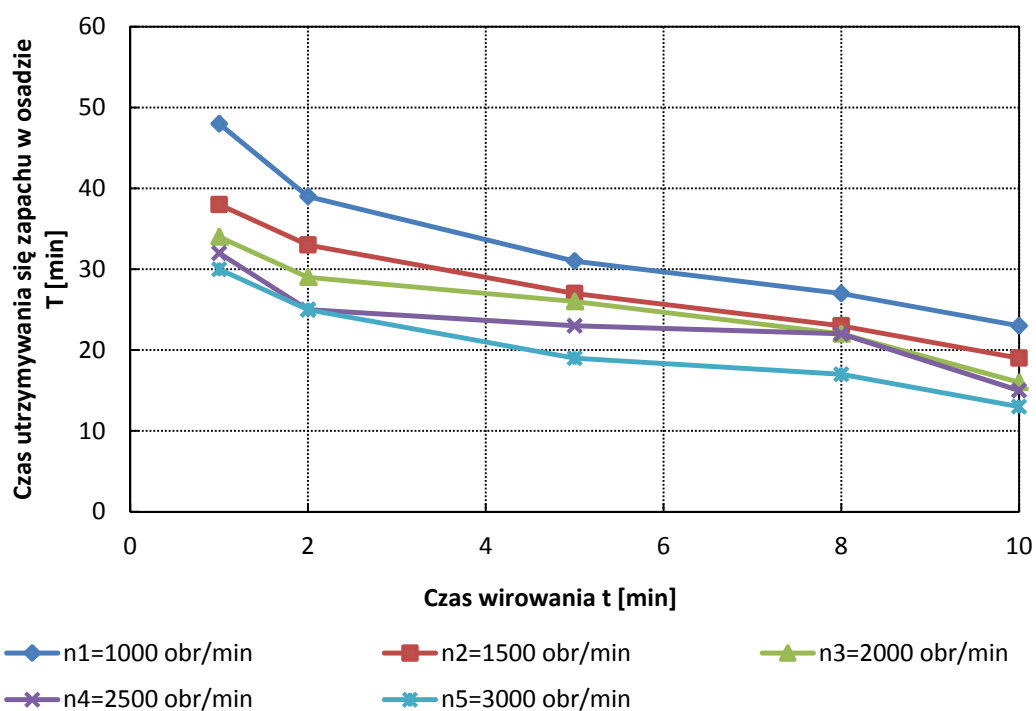
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	4615,65	4129,91	3356,84	3181,10	3166,84
1500	3232,12	2752,17	2469,69	2384,63	2332,37
2000	2580,1	2352,78	2218,16	2142,93	2078,72
2500	2307,85	2261,91	2121,3	2036,38	1999,72
3000	2203,9	2130,66	2055,48	1955,98	1943,25



Rys. 19. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 20. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O2} = 23 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	48	39	31	27	23
1500	38	33	27	23	19
2000	34	29	26	22	16
2500	32	25	23	22	15
3000	30	25	19	17	13



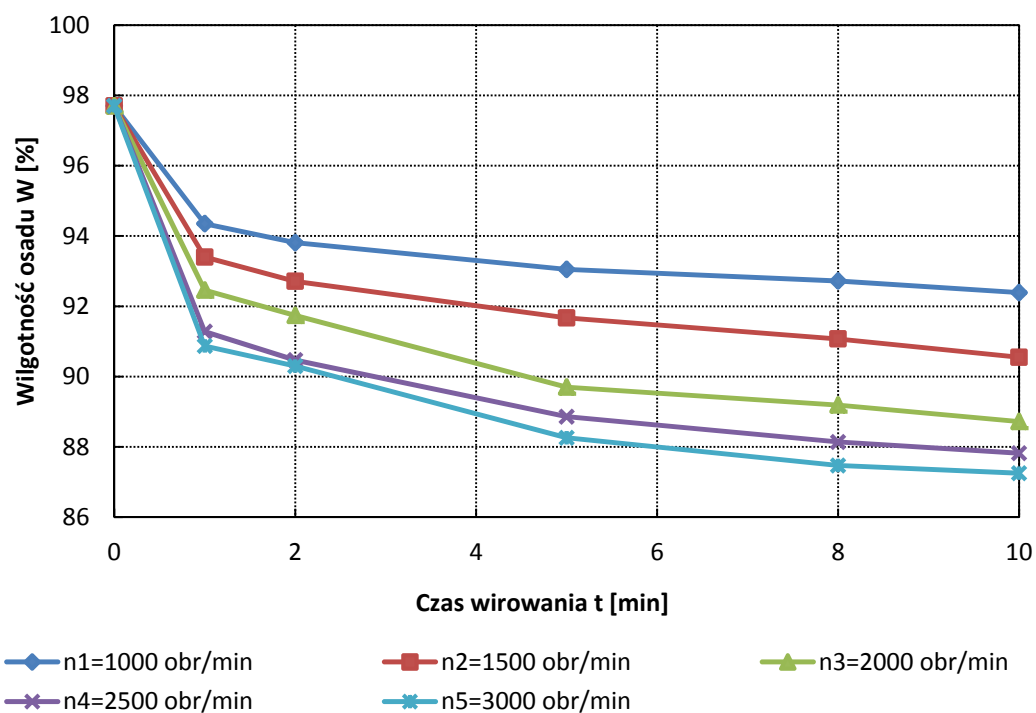
Rys. 20. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) $C_2 = 23 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%)

$$C_{F/O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$$

Tabela 21. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

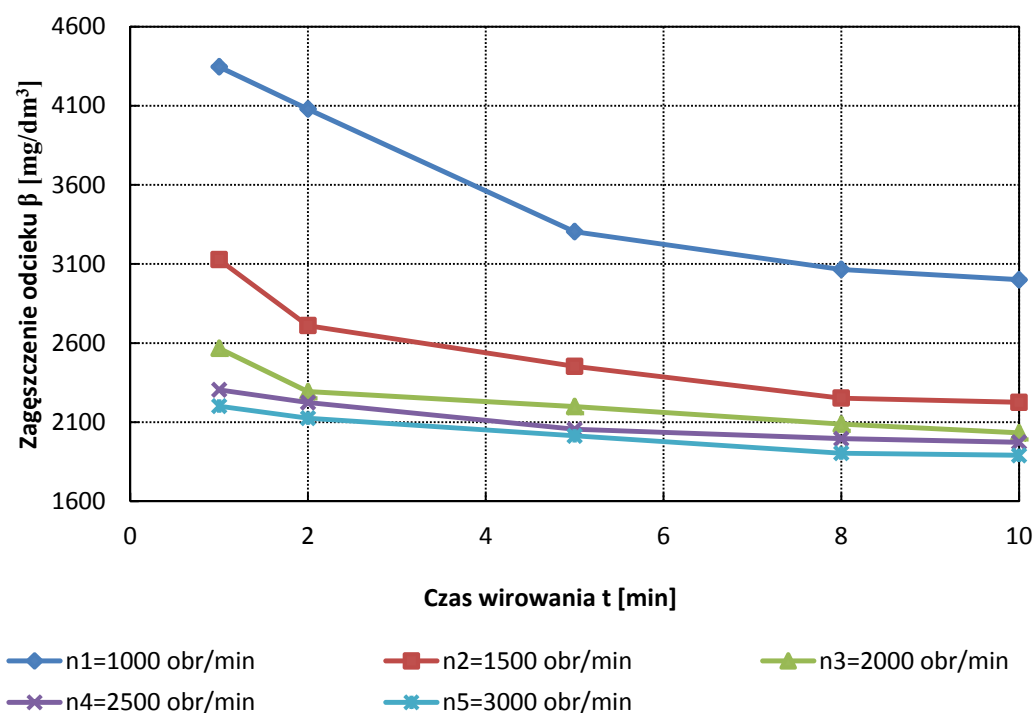
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,35	93,81	93,05	92,72	92,39
1500	93,40	92,71	91,67	91,07	90,55
2000	92,46	91,74	89,70	89,19	88,72
2500	91,28	90,47	88,86	88,14	87,82
3000	90,87	90,30	88,26	87,47	87,25



Rys. 21. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%) $C_{F/O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 22. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

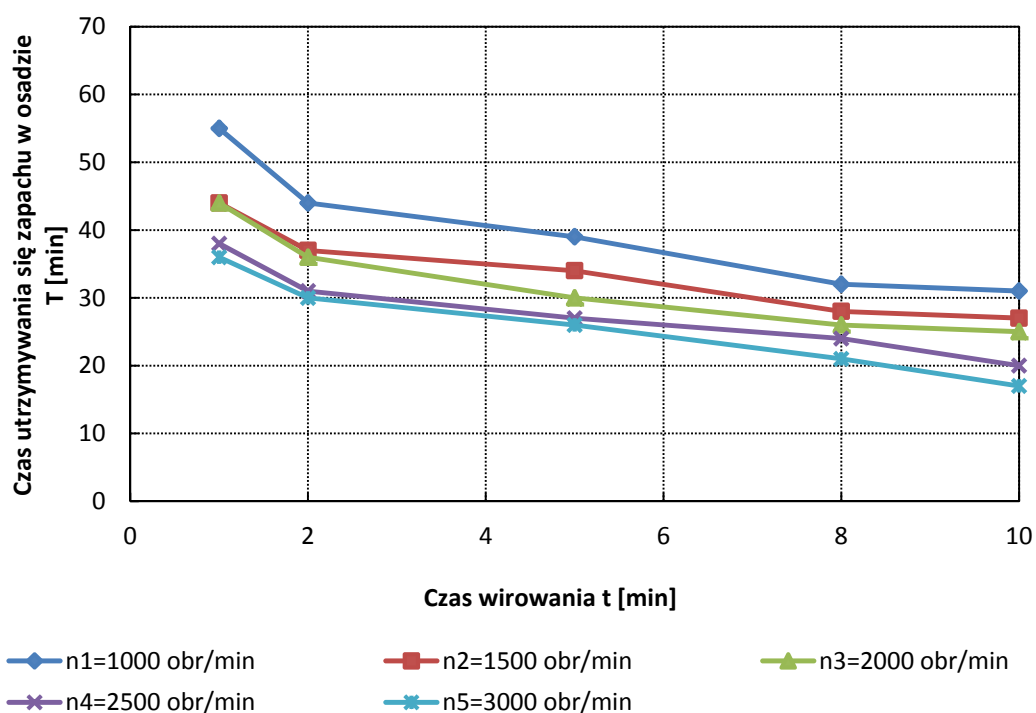
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	4346,04	4079,23	3303,98	3065,49	3000,23
1500	3127,13	2710,29	2452,47	2251,69	2224,72
2000	2566,61	2292,94	2197,94	2087,34	2032,44
2500	2304,22	2223,92	2054,94	1995,17	1972,39
3000	2201,13	2125,26	2013,42	1903,83	1890,01



Rys. 22. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 23. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	55	44	39	32	31
1500	44	37	34	28	27
2000	44	36	30	26	25
2500	38	31	27	24	20
3000	36	30	26	21	17



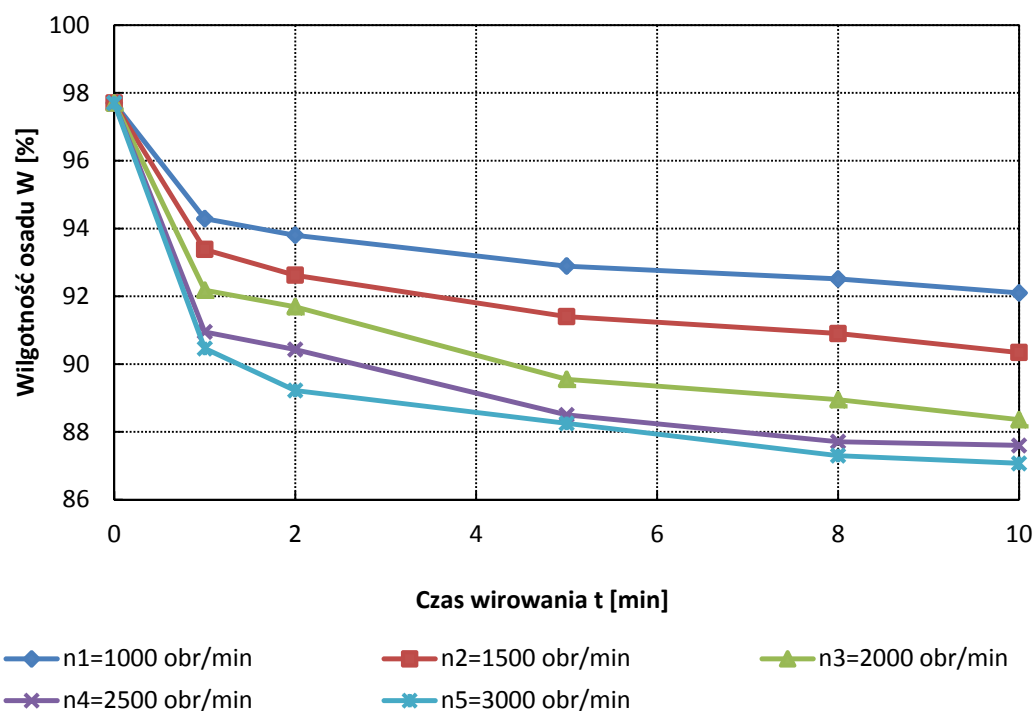
Rys. 23. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%)

$$C_{F/O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$$

Tabela 24. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

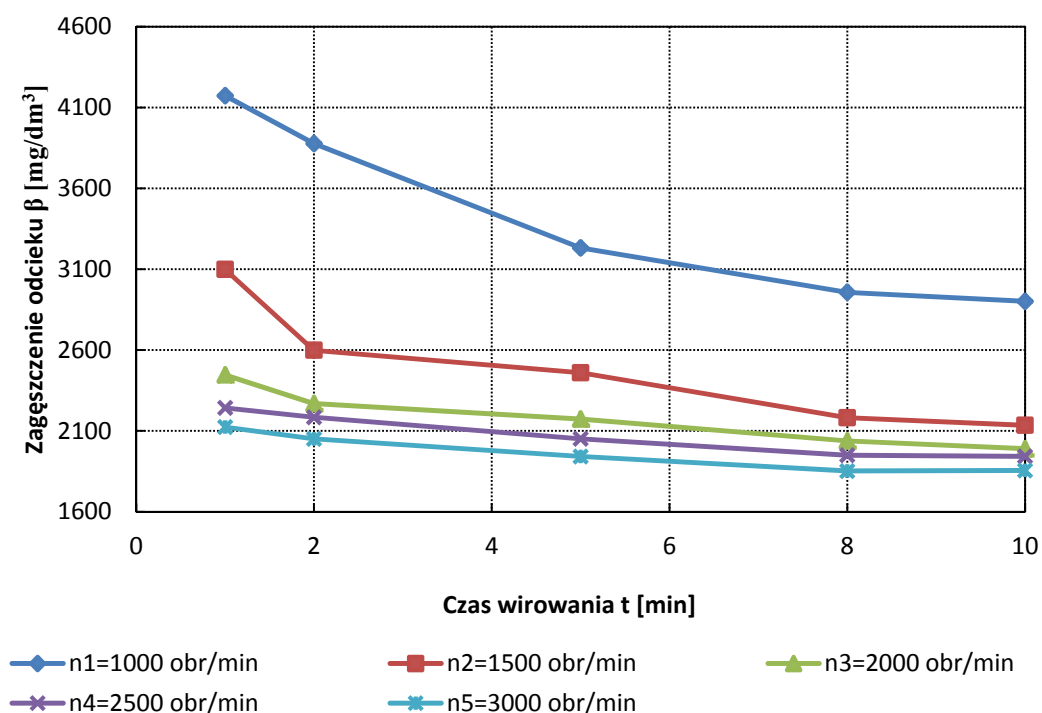
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,29	93,80	92,89	92,51	92,10
1500	93,38	92,62	91,40	90,90	90,34
2000	92,18	91,69	89,55	88,95	88,36
2500	90,95	90,43	88,50	87,71	87,60
3000	90,46	89,22	88,25	87,30	87,07



Rys. 24. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 25. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

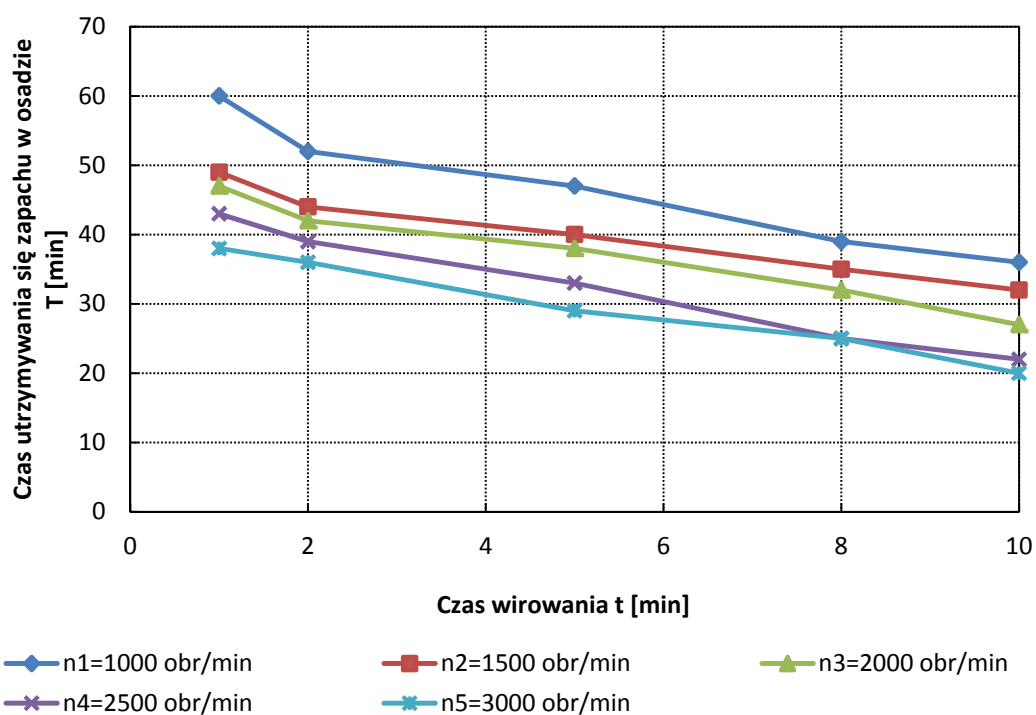
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	4173,08	3877,1	3231,81	2957,14	2900,78
1500	3098,31	2598,59	2459,38	2181,48	2134,16
2000	2446,04	2269,16	2173	2037,66	1989,23
2500	2242,23	2184,24	2050,95	1949,34	1942,36
3000	2123,24	2050,7	1941,72	1851,65	1855,41



Rys. 25. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 26. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	60	52	47	39	36
1500	49	44	40	35	32
2000	47	42	38	32	27
2500	43	39	33	25	22
3000	38	36	29	25	20



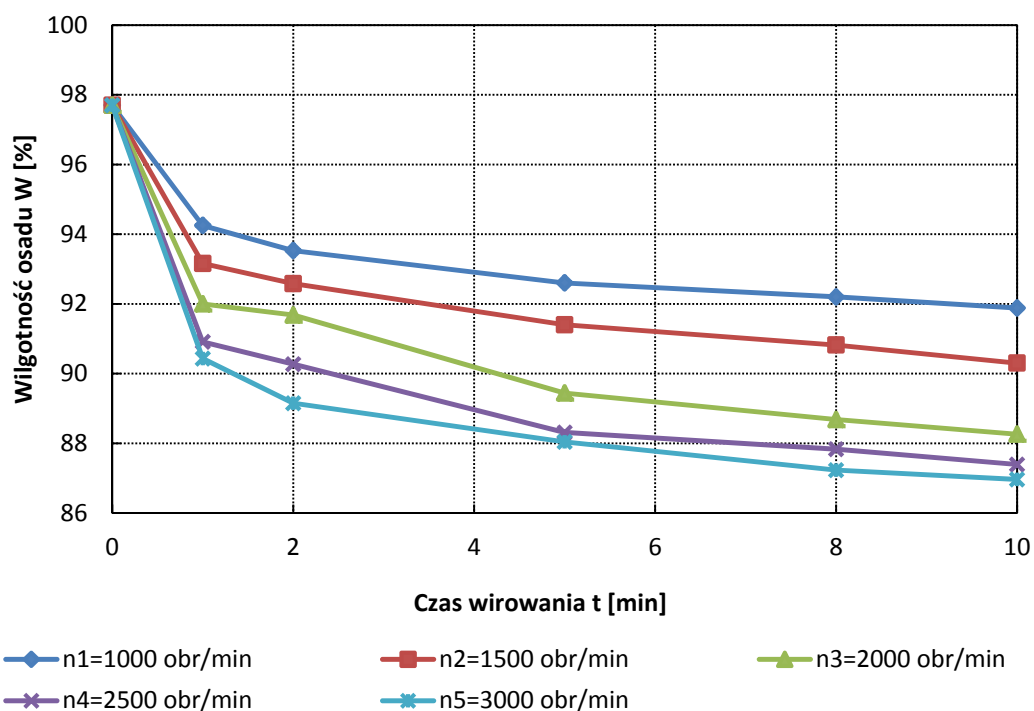
Rys. 26. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%)

$$C_{F/O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$$

Tabela 27. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

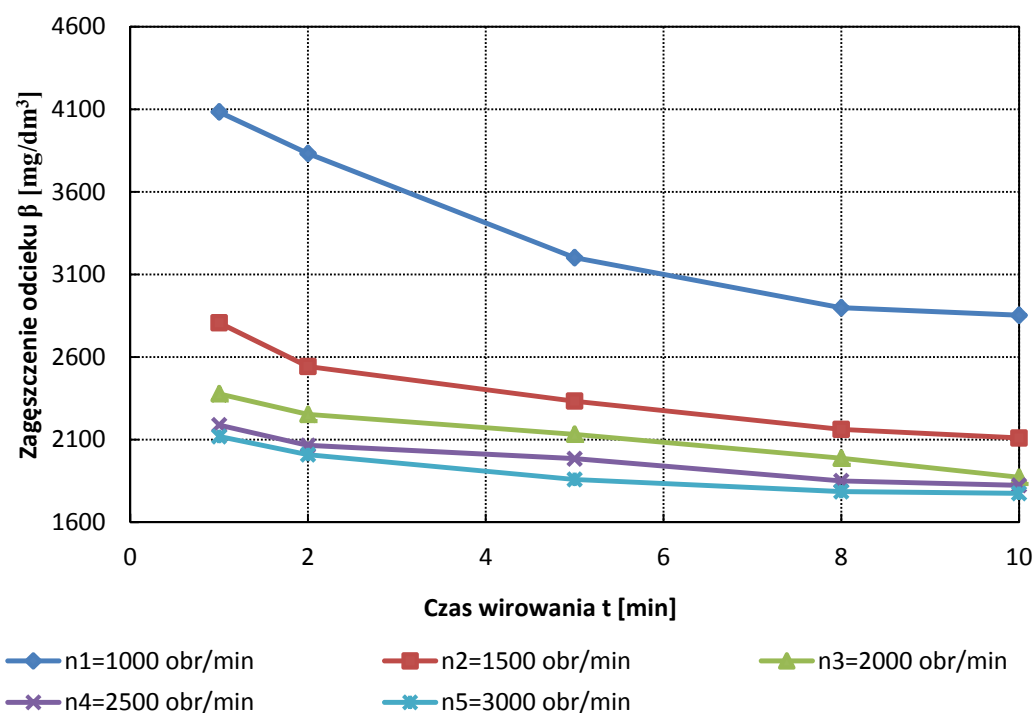
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,25	93,53	92,60	92,20	91,88
1500	93,16	92,58	91,40	90,82	90,30
2000	92,00	91,68	89,44	88,68	88,26
2500	90,91	90,27	88,31	87,83	87,39
3000	90,43	89,15	88,04	87,23	86,96



Rys. 27. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 28. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

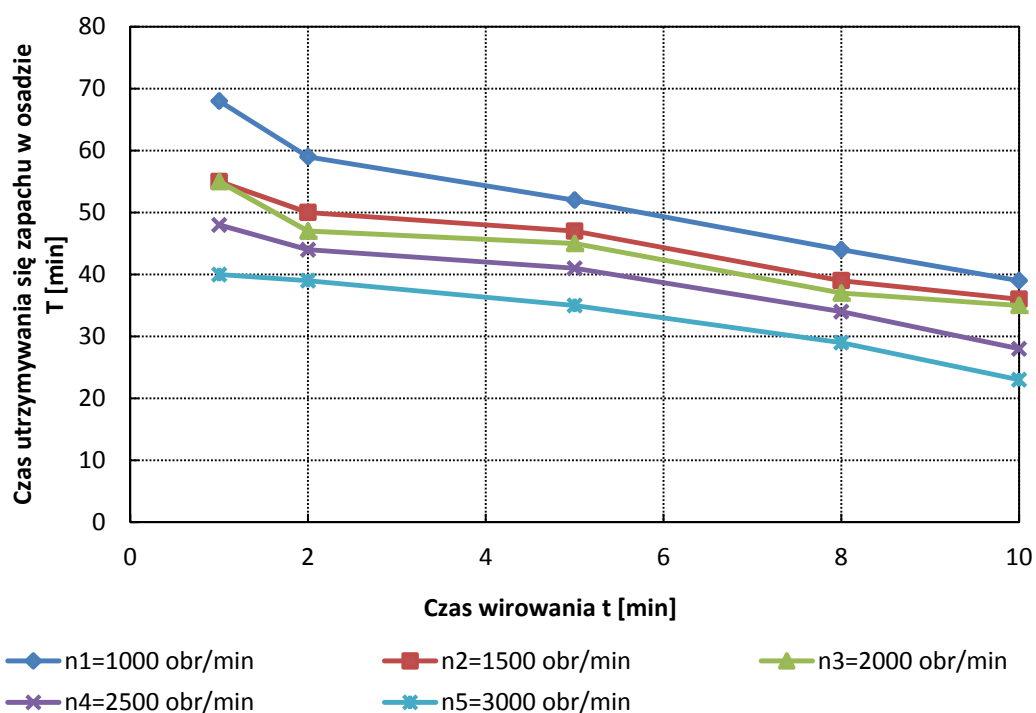
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	4083,58	3832,18	3201,47	2898,15	2852,52
1500	2807,4	2542,49	2333,01	2161,86	2109,79
2000	2377,23	2252,99	2132,37	1987,72	1872,14
2500	2188,54	2064,83	1984,75	1850,16	1823,15
3000	2119,41	2009,24	1858,91	1785,54	1774,61



Rys. 28. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 29. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	68	59	52	44	39
1500	55	50	47	39	36
2000	55	47	45	37	35
2500	48	44	41	34	28
3000	40	39	35	29	23



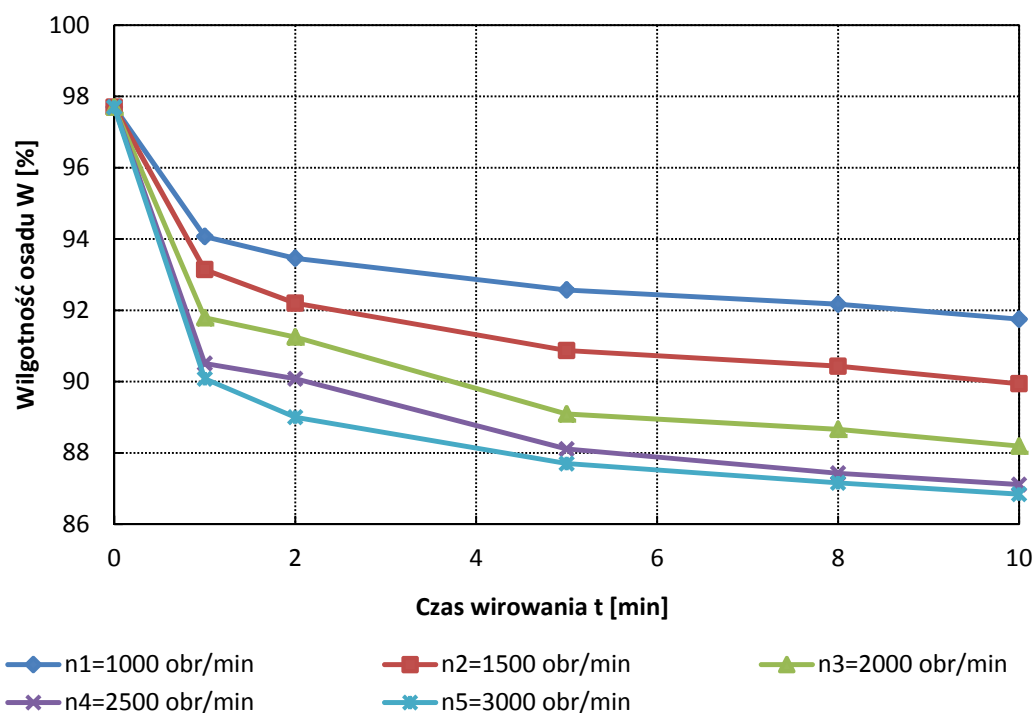
Rys. 29. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Dawka flokulant PRAESTOL 855BS (50%) + olej z pomarańczy (50%)

$$C_{F/O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$$

Tabela 30. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

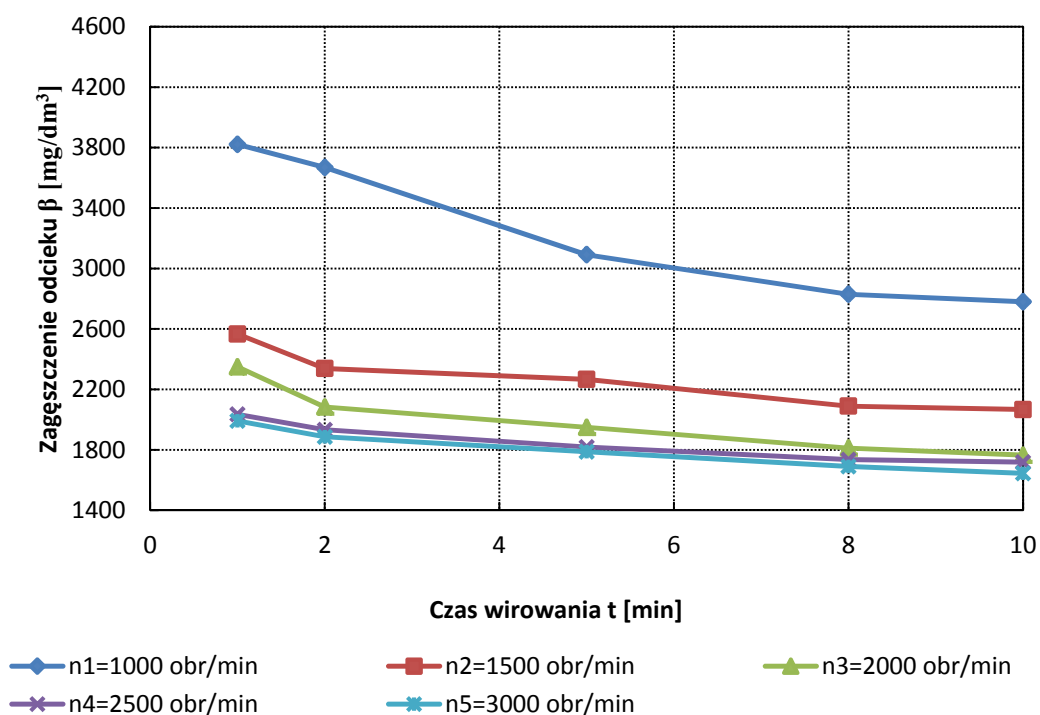
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,07	93,46	92,57	92,17	91,75
1500	93,14	92,20	90,87	90,43	89,94
2000	91,79	91,25	89,09	88,66	88,19
2500	90,51	90,08	88,11	87,43	87,11
3000	90,08	89,00	87,70	87,16	86,84



Rys. 30. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryiczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 31. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olej (50%) $C_{F/O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

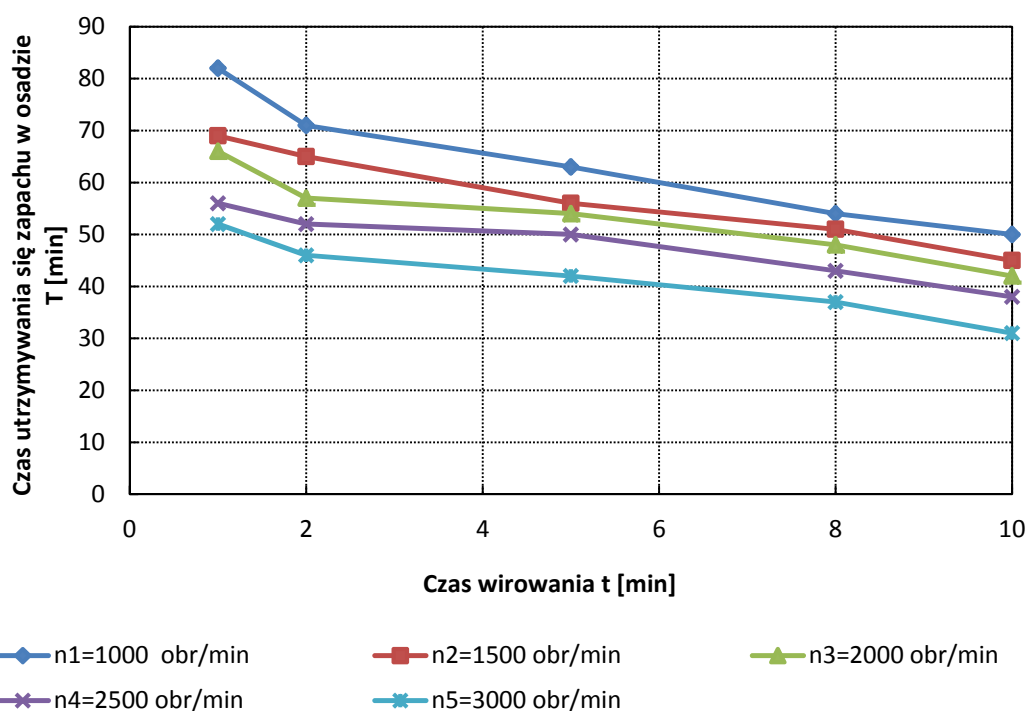
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	3821,12	3668,6	3091,12	2829,45	2779,61
1500	2566,18	2337,98	2266,18	2089,15	2066,34
2000	2349,21	2083,25	1949	1811,65	1764,64
2500	2035,28	1932,75	1818,52	1734,68	1718,41
3000	1991,85	1886,42	1787,27	1689,81	1644,52



Rys. 31. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olej eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 32. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant (50%) + olejek (50%) $C_{F/O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	82	71	63	54	50
1500	69	65	56	51	45
2000	66	57	54	48	42
2500	56	52	50	43	38
3000	52	46	42	37	31



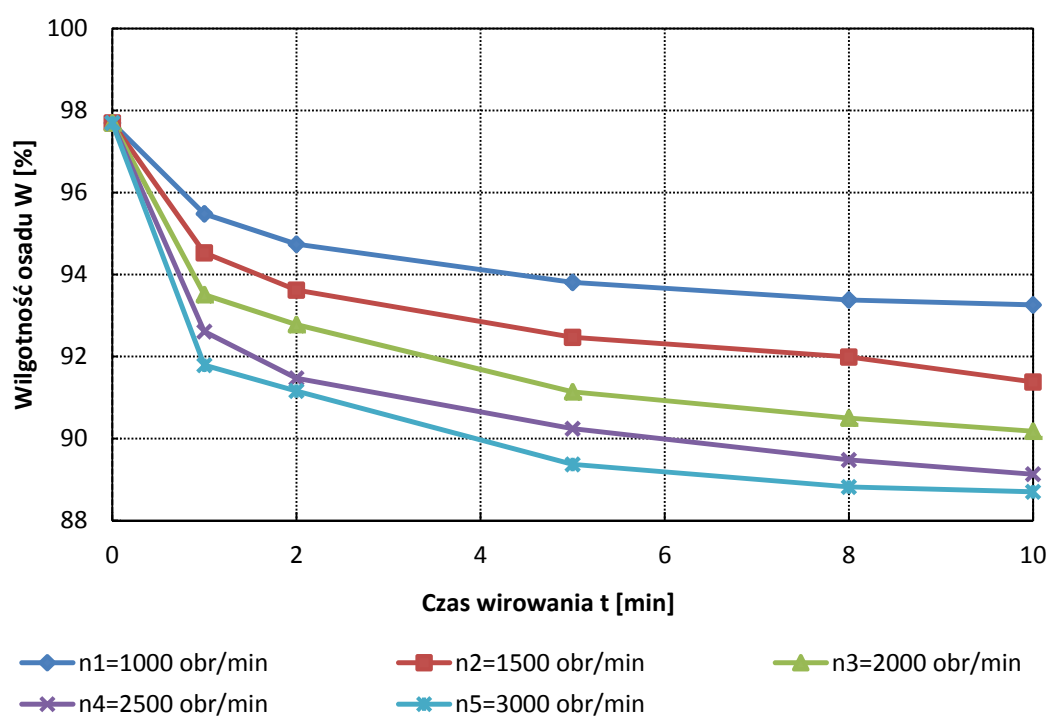
Rys. 32. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki mieszaniny flokulant Praestol 855BS (50%) + olejek eteryczny z pomarańczy (50%) $C_{F/O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

OLEJEK ETERYCZNY Z POMARAŃCZY

Dawka olejku z pomarańczy $C_{O1} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 33. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O1} = 18 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

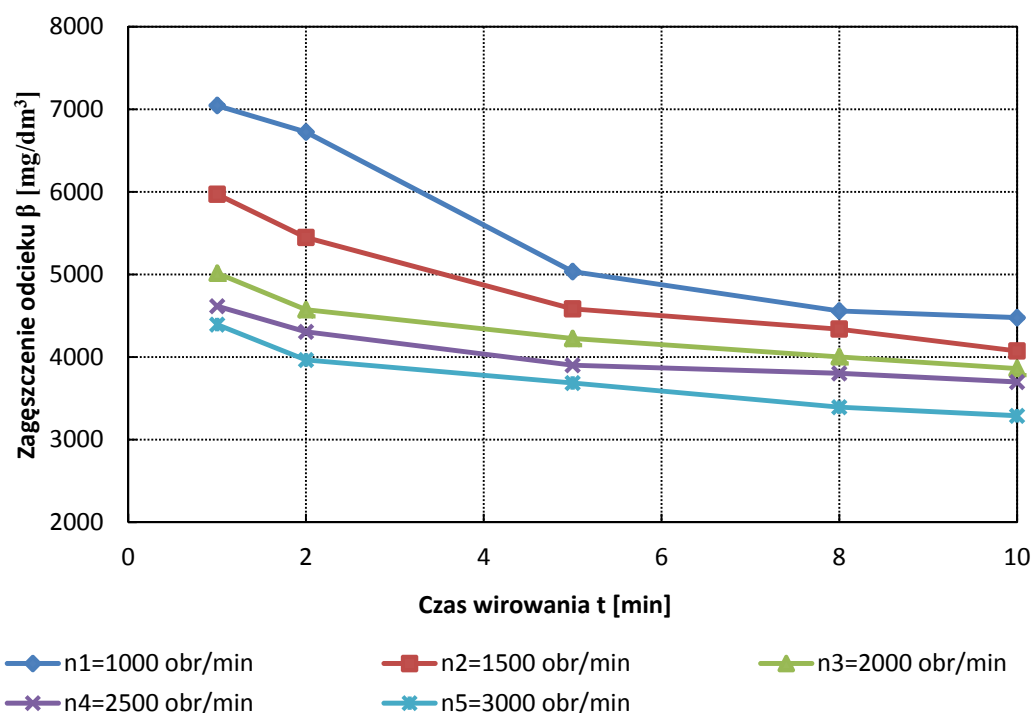
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	95,48	94,74	93,81	93,38	93,26
1500	94,53	93,62	92,47	91,99	91,38
2000	93,51	92,78	91,14	90,50	90,18
2500	92,61	91,47	90,24	89,48	89,13
3000	91,79	91,16	89,37	88,82	88,70



Rys. 33. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O1} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 34. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O1} = 18 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

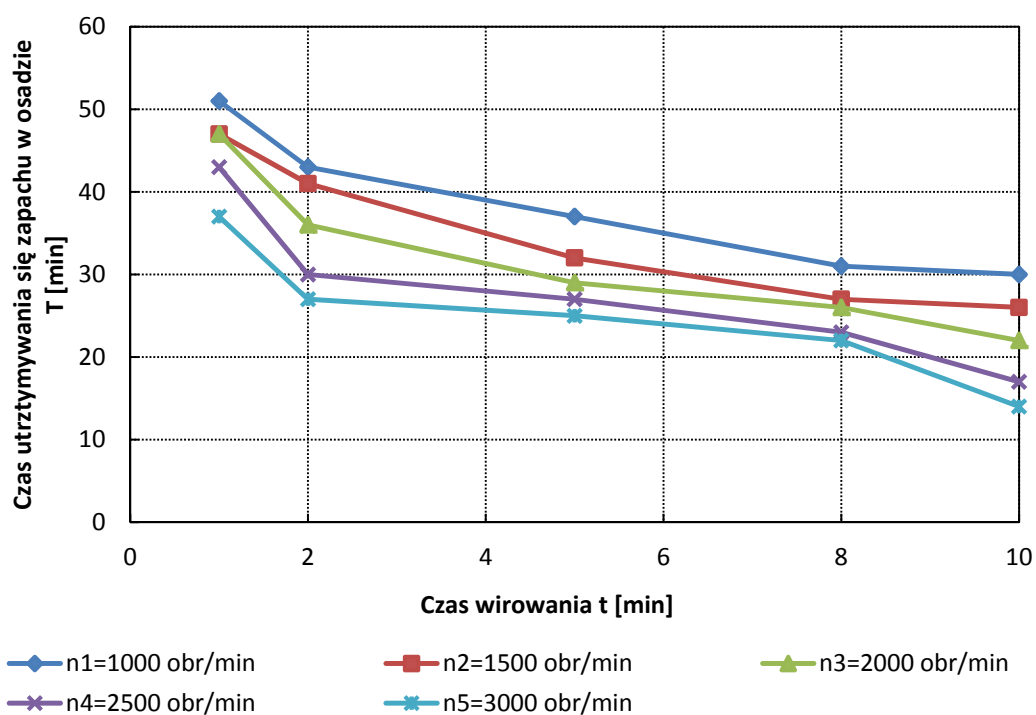
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	7045,25	6724,13	5034,56	4557,34	4476,6
1500	5970,42	5446,79	4582,49	4337,97	4073,59
2000	5015,08	4573,01	4224,6	4002,45	3860,63
2500	4615,91	4306,28	3900,94	3802,39	3697
3000	4393,1	3964,87	3685,3	3392,81	3288,29



Rys. 34. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O1} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 35. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{OI} = 18 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	51	43	37	31	30
1500	47	41	32	27	26
2000	47	36	29	26	22
2500	43	30	27	23	17
3000	37	27	25	22	14

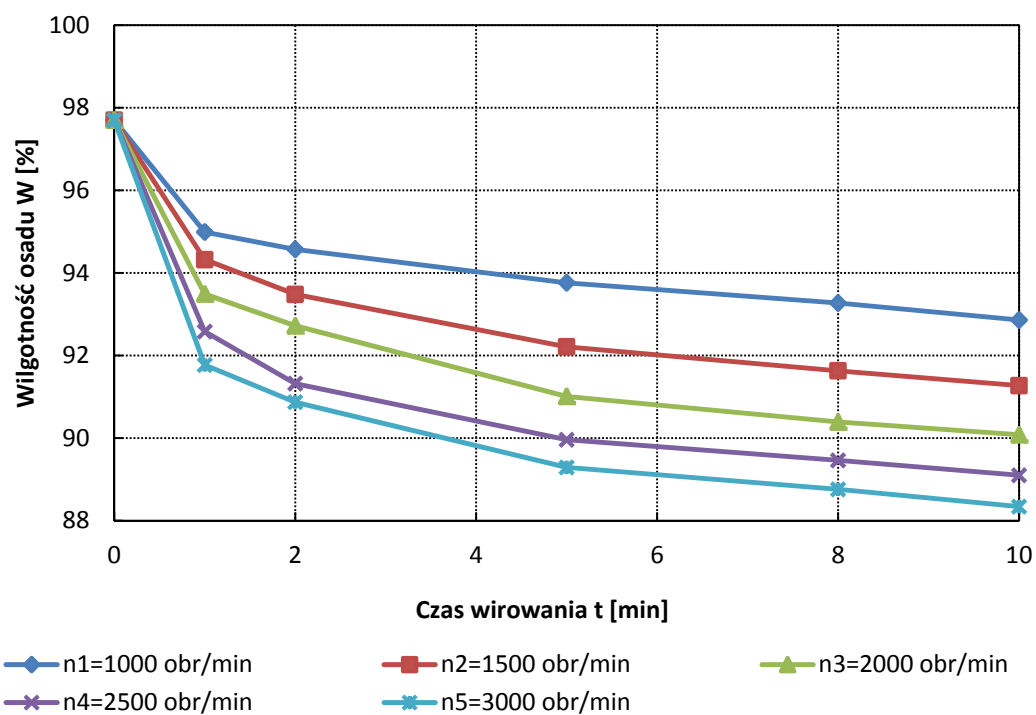


Rys. 35. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{OI} = 18 \text{ ml/dm}^3$

Dawka olejku z pomarańczy $C_{O_2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 36. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O_2} = 23 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

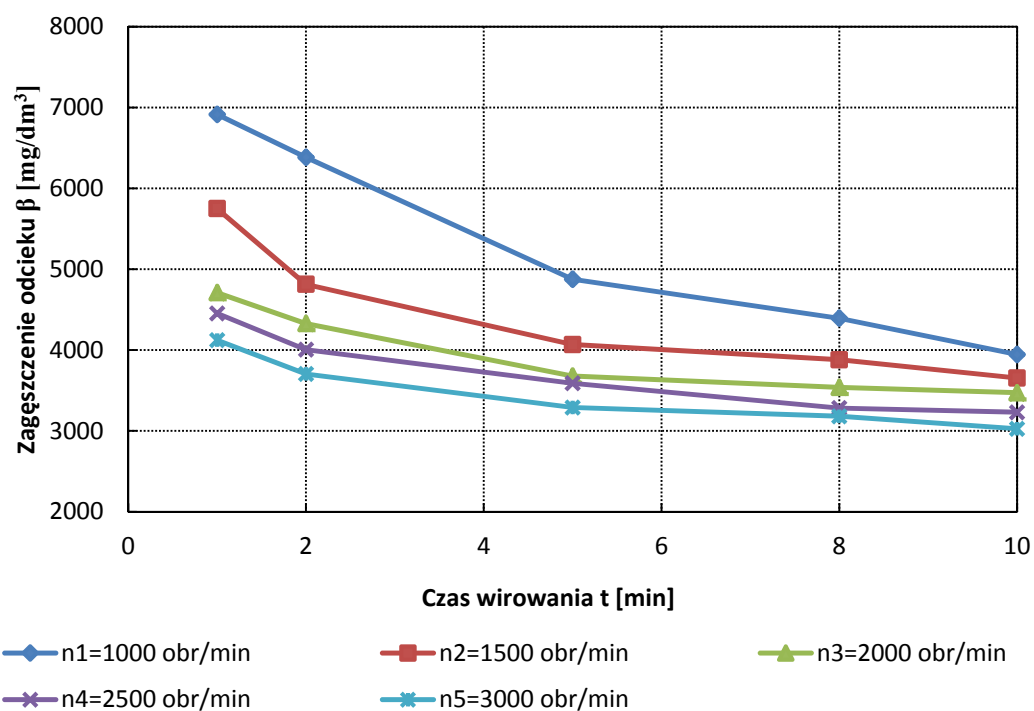
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,99	94,57	93,76	93,27	92,86
1500	94,32	93,48	92,21	91,63	91,27
2000	93,49	92,72	91,01	90,39	90,08
2500	92,58	91,32	89,96	89,46	89,10
3000	91,77	90,87	89,29	88,76	88,34



Rys. 36. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O_2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 37. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O_2} = 23 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

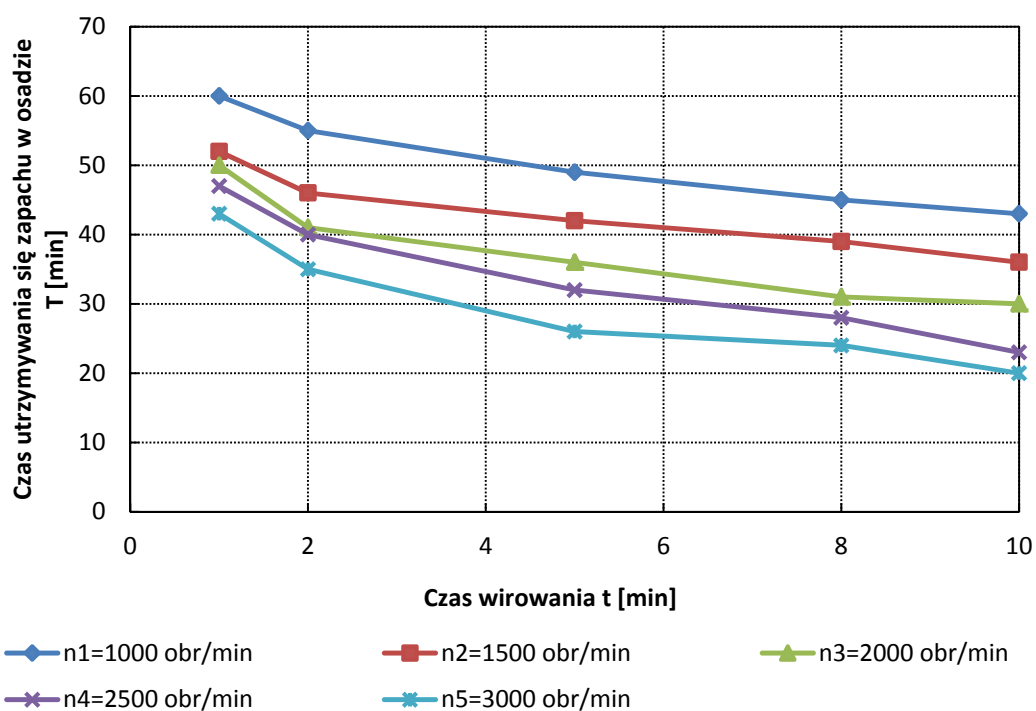
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	6914,27	6383,86	4875,07	4393,1	3944,71
1500	5749,61	4812,82	4067,34	3878,96	3653,38
2000	4709,8	4327,95	3677,75	3538,01	3471,77
2500	4453,06	4005,12	3589,77	3282,66	3230,36
3000	4121,67	3704,18	3288,93	3180,16	3025,65



Rys. 37. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O_2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 38. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O_2} = 23 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	60	55	49	45	43
1500	52	46	42	39	36
2000	50	41	36	31	30
2500	47	40	32	28	23
3000	43	35	26	24	20

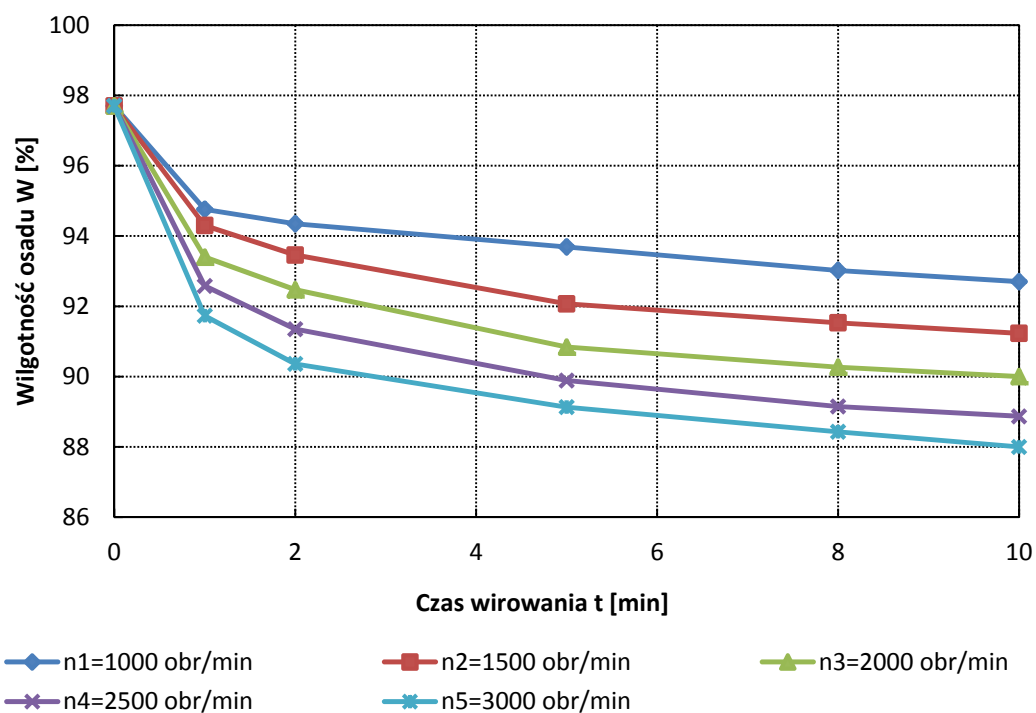


Rys. 38. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O_2} = 23 \text{ ml/dm}^3$

Dawka olejku z pomarańczy $C_{O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 39. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

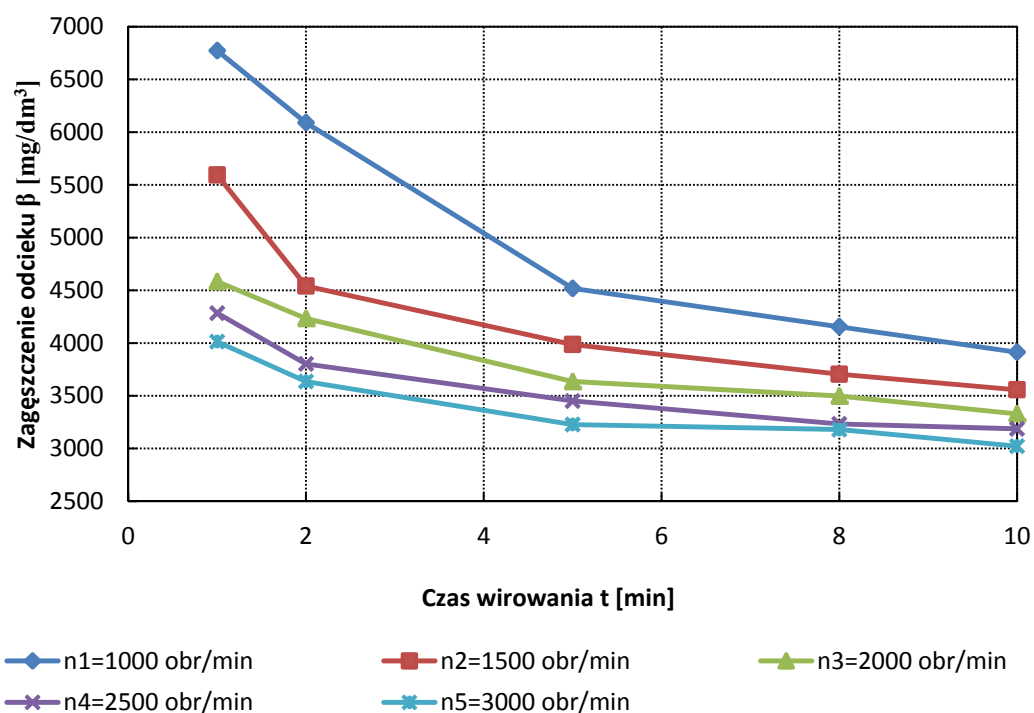
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,76	94,35	93,69	93,02	92,70
1500	94,30	93,46	92,07	91,53	91,23
2000	93,40	92,47	90,84	90,27	90,00
2500	92,58	91,35	89,89	89,15	88,87
3000	91,73	90,36	89,13	88,43	88,00



Rys. 39. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 40. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O_3} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

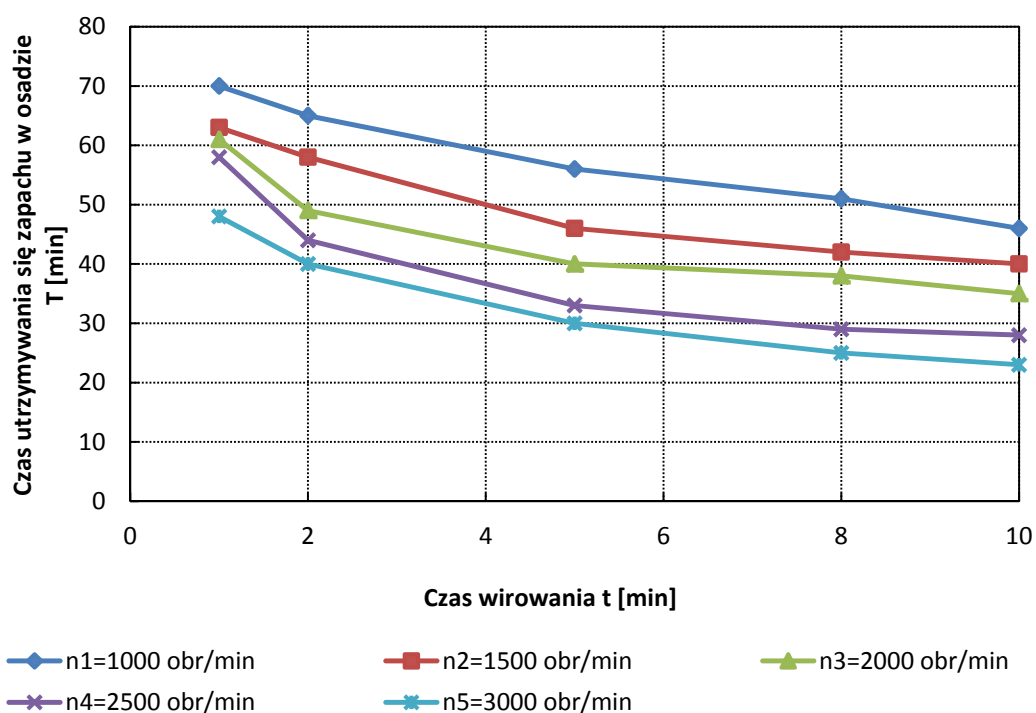
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	6773,5	6089,66	4517,96	4154,49	3912,97
1500	5593,72	4540,56	3986,29	3704,79	3556,23
2000	4583,07	4232,71	3634,39	3496,46	3329,28
2500	4284,13	3802,35	3451,03	3233,34	3185,93
3000	4013,27	3635,41	3227,15	3179,47	3022,06



Rys. 40. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O_3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 41. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O_3} = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	70	65	56	51	46
1500	63	58	46	42	40
2000	61	49	40	38	35
2500	58	44	33	29	28
3000	48	40	30	25	23

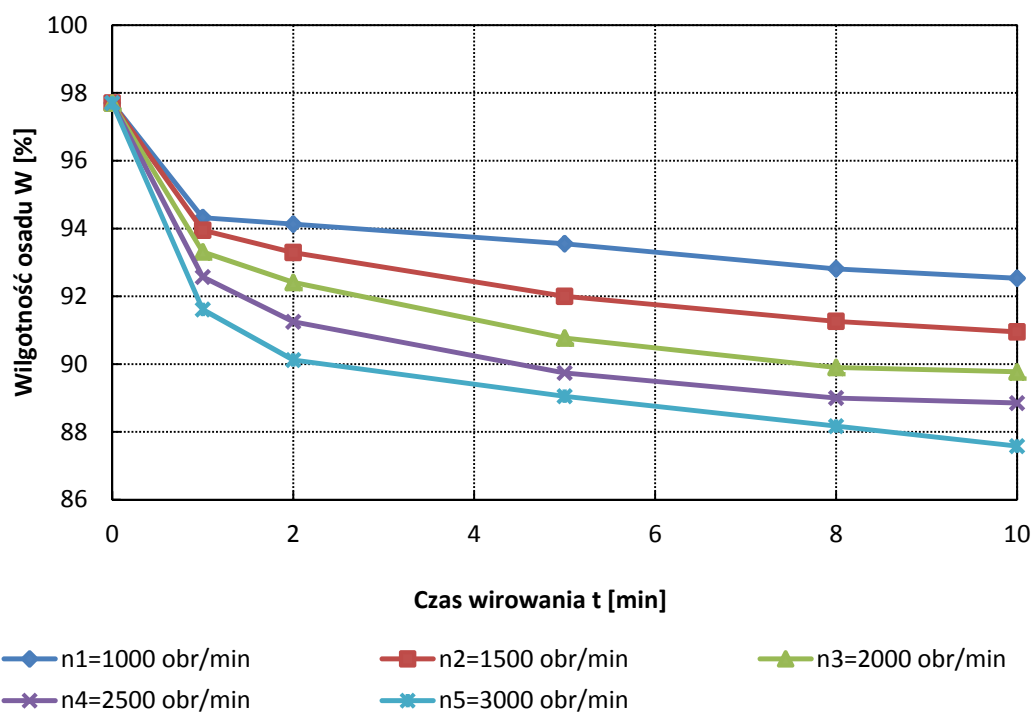


Rys. 41. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O_3} = 28 \text{ ml/dm}^3$

Dawka olejku z pomarańczy $C_{O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 42. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

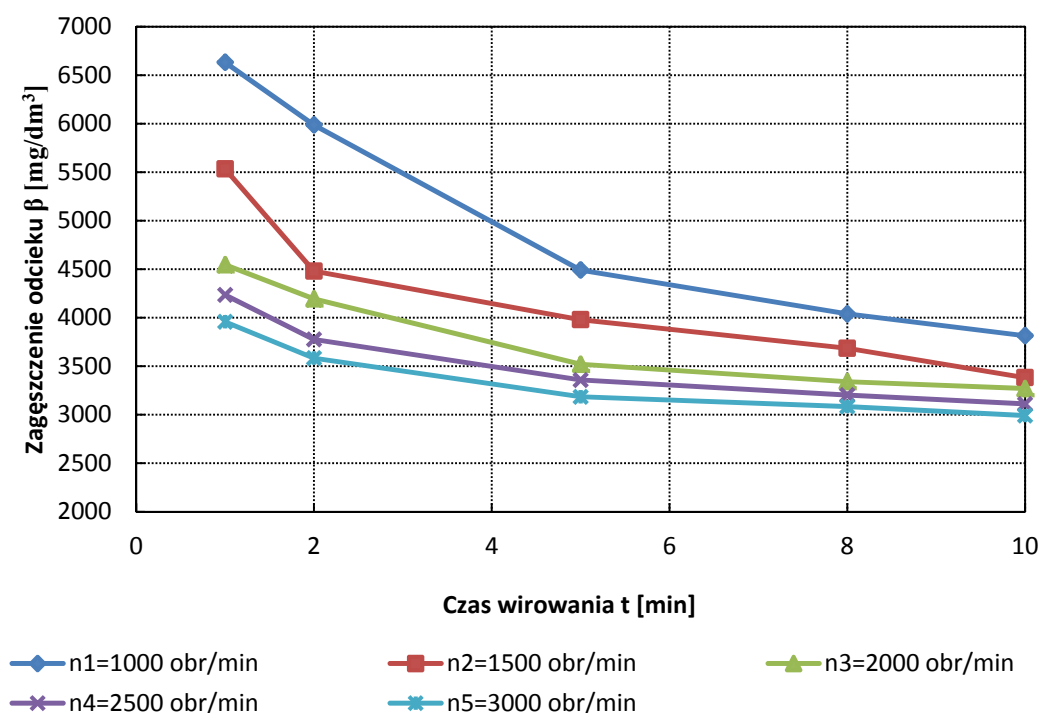
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,32	94,13	93,55	92,81	92,53
1500	93,95	93,29	92,00	91,26	90,95
2000	93,31	92,41	90,77	89,90	89,77
2500	92,57	91,25	89,74	89,00	88,85
3000	91,61	90,12	89,05	88,17	87,58



Rys. 42. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 43. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

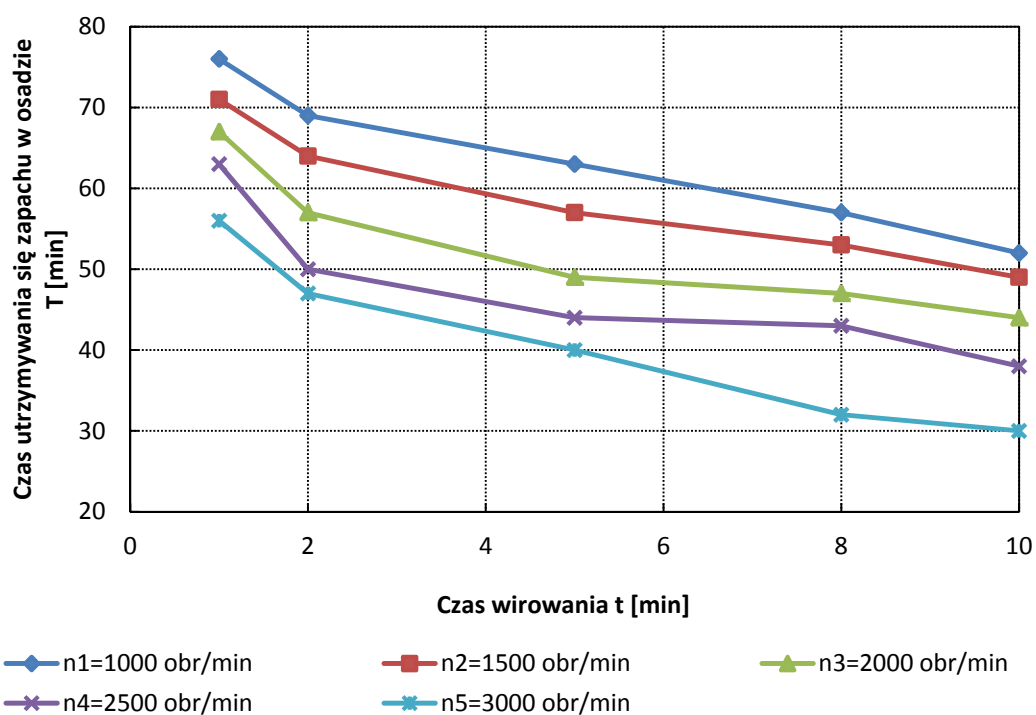
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	6632,22	5987,23	4490,78	4039,59	3814,71
1500	5533,31	4479,98	3979,17	3684,97	3381,99
2000	4545,45	4194,2	3519,85	3341,14	3269
2500	4235,43	3776,83	3358,08	3202,31	3110,46
3000	3958,3	3583,84	3185,33	3083,42	2990,99



Rys. 43. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 44. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	76	69	63	57	52
1500	71	64	57	53	49
2000	67	57	49	47	44
2500	63	50	44	43	38
3000	56	47	40	32	30

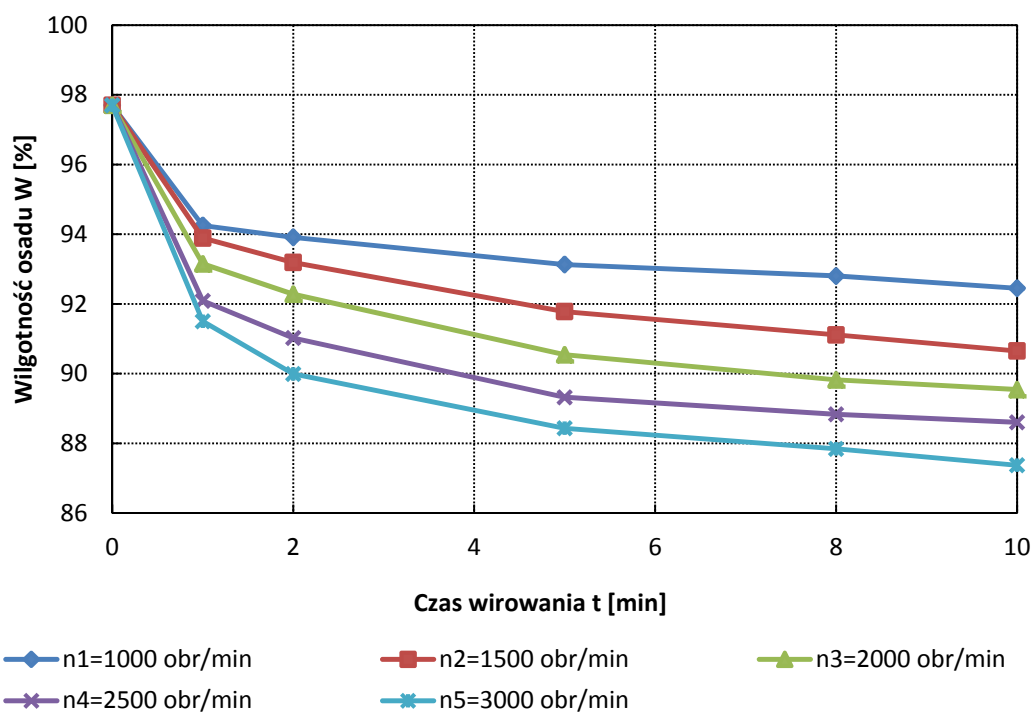


Rys. 44. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O4} = 33 \text{ ml/dm}^3$

Dawka olejku z pomarańczy $C_{O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 45. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

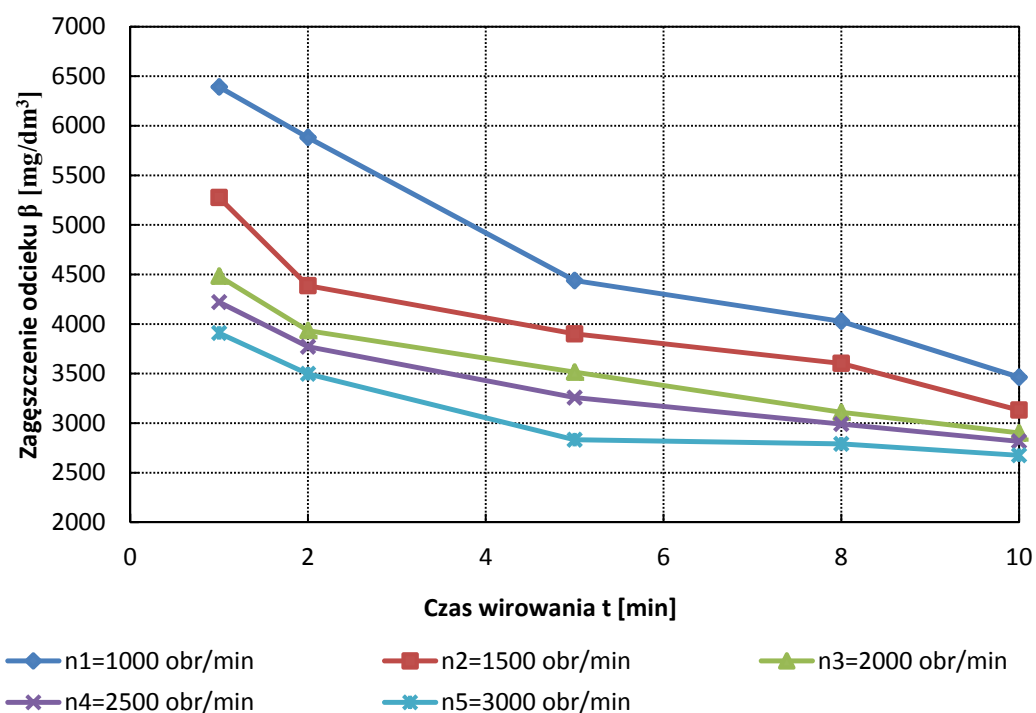
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,25	93,91	93,13	92,80	92,45
1500	93,89	93,19	91,78	91,11	90,65
2000	93,15	92,28	90,54	89,82	89,54
2500	92,09	91,02	89,32	88,83	88,60
3000	91,50	89,99	88,43	87,84	87,37



Rys. 45. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 46. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

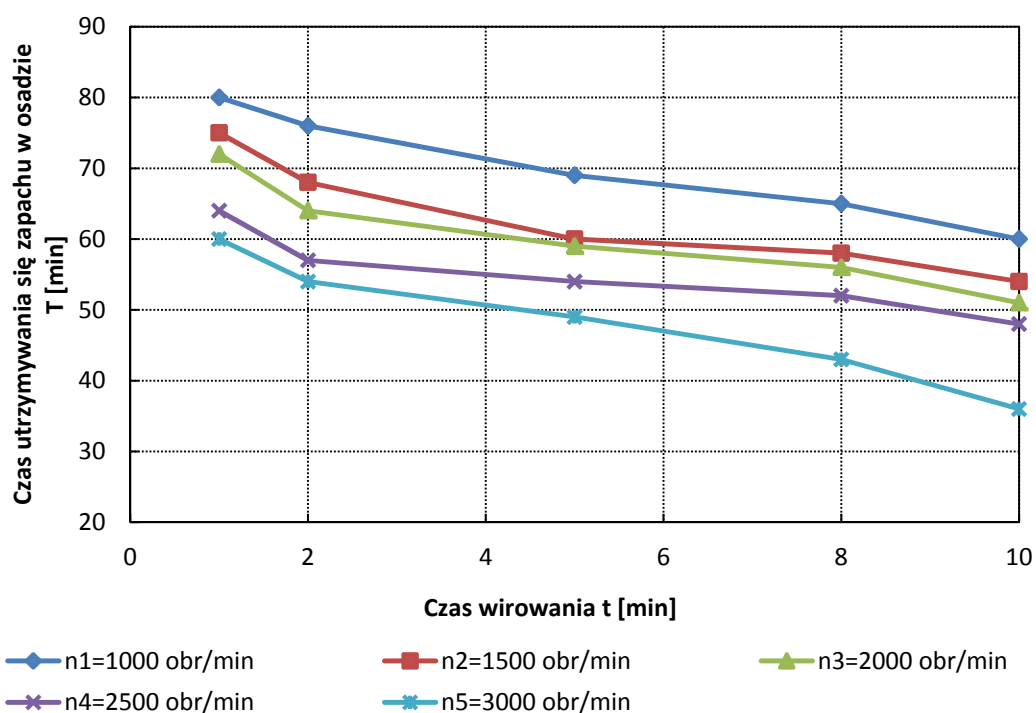
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	6391,15	5881,45	4438,26	4027,68	3462,81
1500	5275,28	4386,22	3900,18	3602,62	3130,74
2000	4482,57	3933,99	3514,21	3108,95	2901,24
2500	4220,7	3771,62	3258,16	2990,28	2816,27
3000	3909,43	3497,37	2832,63	2789,96	2675,64



Rys. 46. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 47. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	80	76	69	65	60
1500	75	68	60	58	54
2000	72	64	59	56	51
2500	64	57	54	52	48
3000	60	54	49	43	36

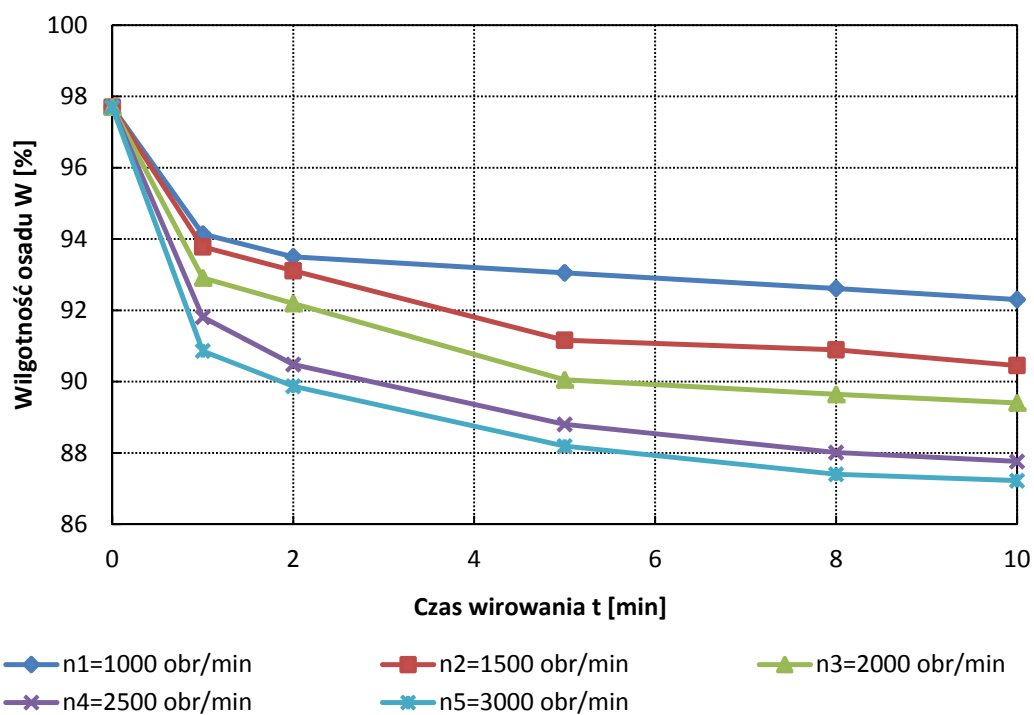


Rys. 47. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O5} = 38 \text{ ml/dm}^3$

Dawka olejku z pomarańczy $C_{O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 48. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

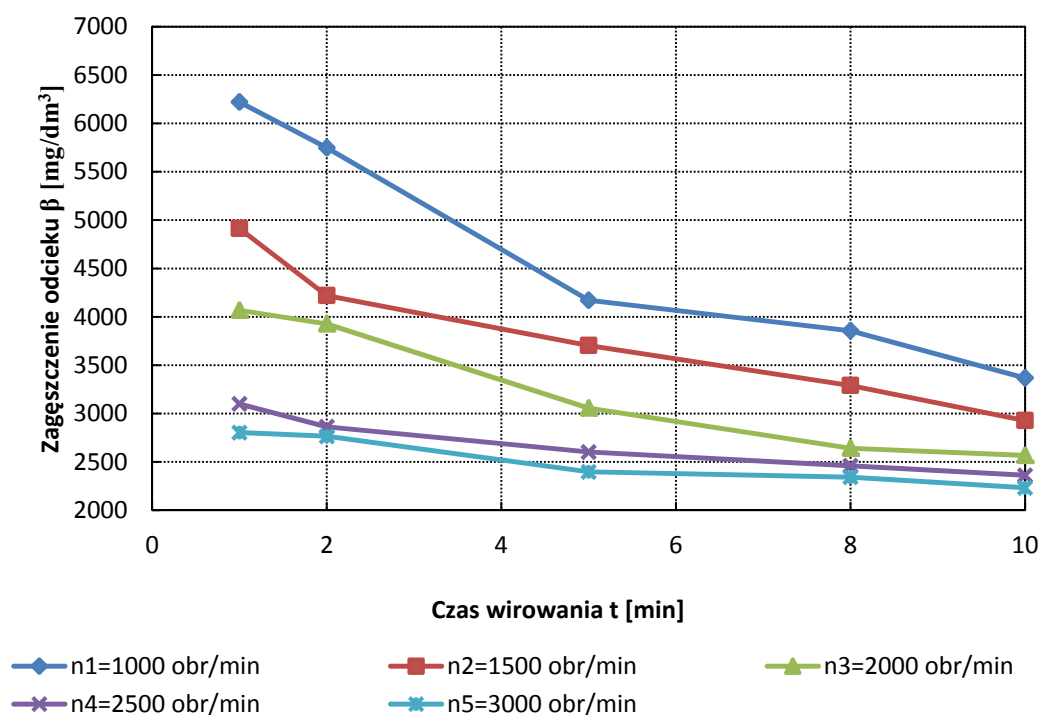
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,14	93,50	93,05	92,61	92,30
1500	93,78	93,11	91,16	90,89	90,45
2000	92,91	92,19	90,05	89,64	89,40
2500	91,81	90,48	88,80	88,01	87,76
3000	90,86	89,87	88,19	87,40	87,22



Rys. 48. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 49. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

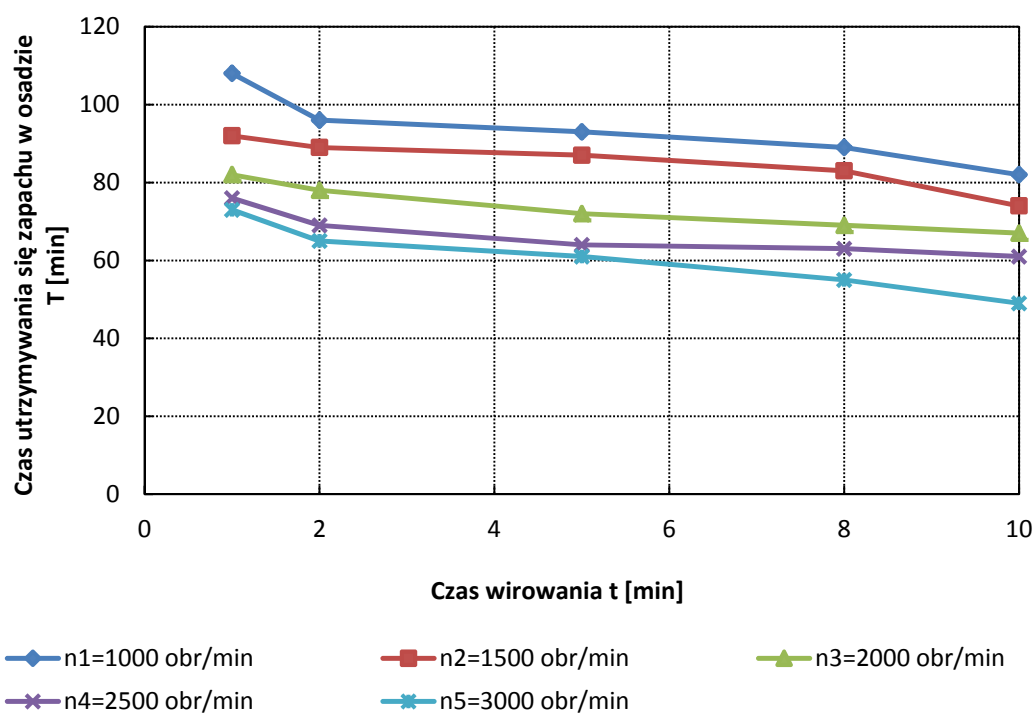
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	6221,21	5748,36	4171,41	3855,94	3367,57
1500	4913,46	4219,88	3704,17	3289,79	2927,62
2000	4068,19	3927,43	3056,5	2641,88	2566,99
2500	3100,23	2862,93	2602,83	2459,49	2361,26
3000	2803,06	2765,1	2397,73	2342	2232,06



Rys. 49. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 50. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku z pomarańczy $C_{O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	108	96	93	89	82
1500	92	89	87	83	74
2000	82	78	72	69	67
2500	76	69	64	63	61
3000	73	65	61	55	49



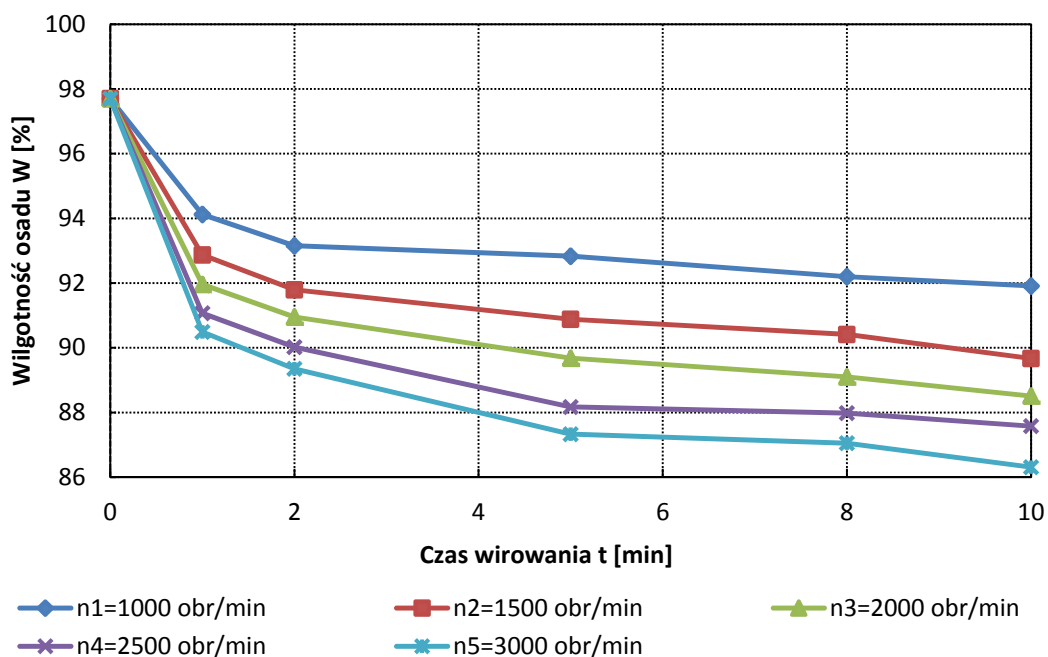
Rys. 50. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] dla dawki olejku eterycznego z pomarańczy $C_{O6} = 48 \text{ ml/dm}^3$

UDZIAŁ OLEJKU ETERYCZNEGO Z POMARAŃCZY W MIESZANINIE Z FLOKULANTEM PRAESTOL 855BS $U_{O/F}$ DLA DAWKI $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Udział $U_{O/F1} - 0\%$ olejku z pomarańczy (0 ml/dm^3) + 100% flokulantu PRAESTOL 855BS (28 ml/dm^3)

Tabela 51. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F1}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

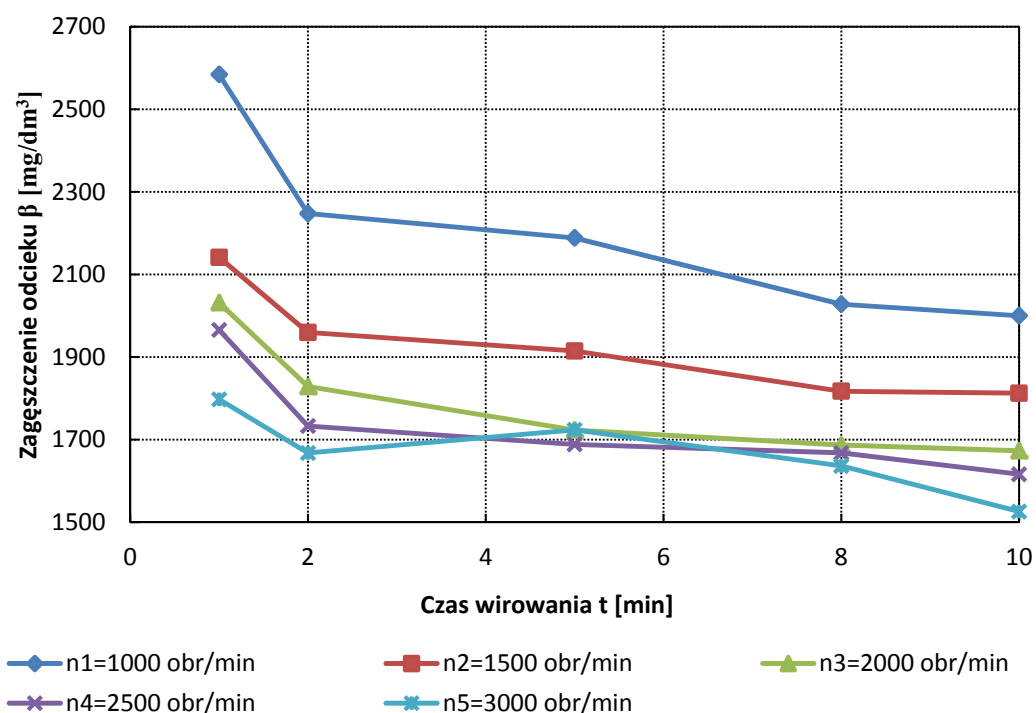
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,12	93,15	92,83	92,20	91,91
1500	92,87	91,79	90,88	90,41	89,67
2000	91,96	90,95	89,68	89,10	88,51
2500	91,07	90,02	88,17	87,98	87,58
3000	90,49	89,35	87,33	87,05	86,31



Rys. 51. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F1}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 52. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F1}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	2584,22	2247,61	2188,38	2028,05	2000,07
1500	2141,34	1959,53	1914,59	1817,11	1812,32
2000	2031,48	1828,68	1723,41	1686,77	1673,03
2500	1965,56	1733	1688,58	1667,76	1616,22
3000	1797,64	1667,76	1723,72	1636,45	1525,91

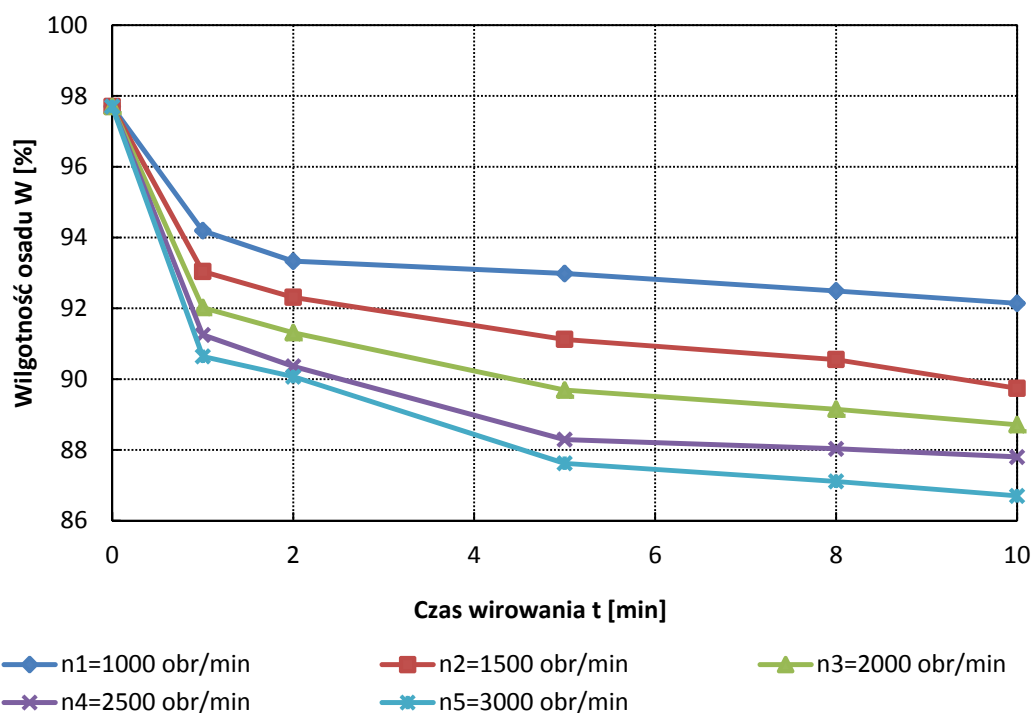


Rys. 52. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F1}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Udział $U_{O/F2}$ – 21% olejku z pomarańczy (6 ml/dm^3) + 79% flokulanta PRAESTOL 855BS (22 ml/dm^3)

Tabela 53. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F2}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

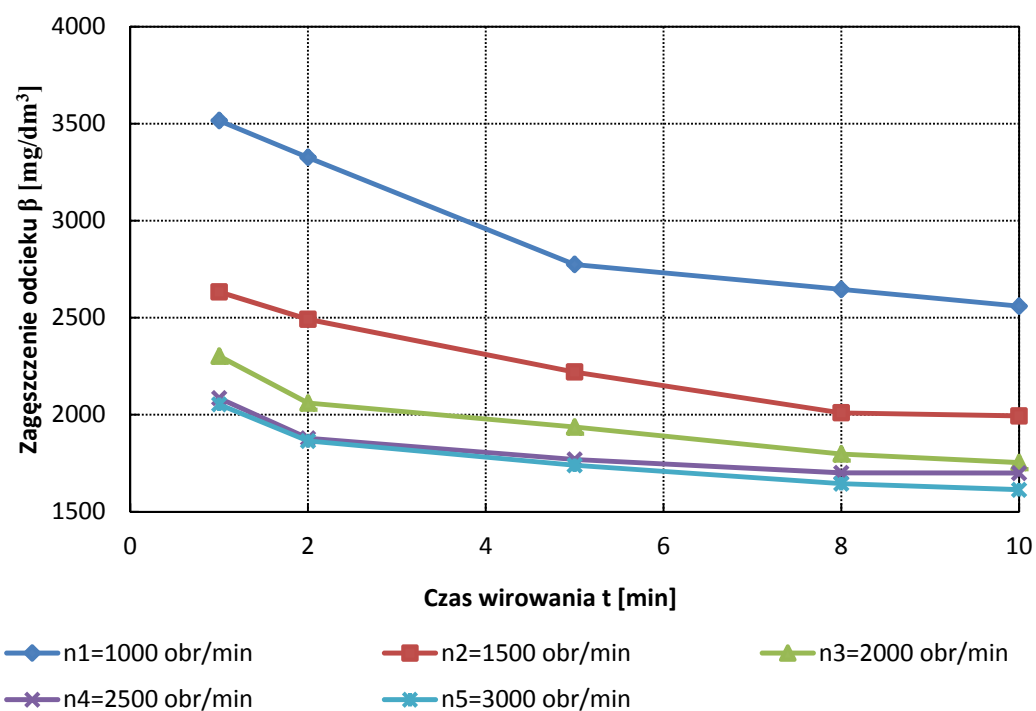
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,19	93,33	92,98	92,49	92,14
1500	93,04	92,31	91,12	90,55	89,74
2000	92,02	91,31	89,69	89,15	88,71
2500	91,25	90,36	88,29	88,03	87,80
3000	90,64	90,07	87,62	87,11	86,70



Rys. 53. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F2}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 54. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F2}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

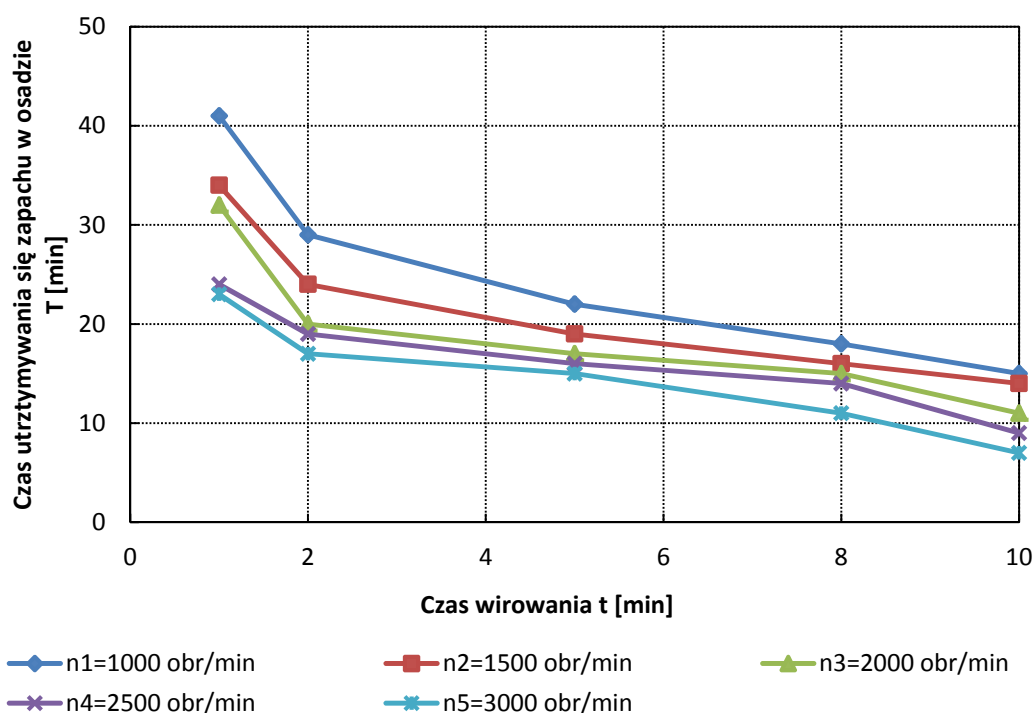
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	3515,92	3326,01	2774,31	2646,01	2559,56
1500	2632,94	2491,94	2220,14	2009,67	1993,54
2000	2301,87	2060,33	1936,75	1797,55	1753,22
2500	2085,65	1879,05	1769,76	1700,12	1699,23
3000	2053,22	1864,8	1739,54	1644,75	1613,21



Rys. 54. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F2}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 55. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F2}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	41	29	22	18	15
1500	34	24	19	16	14
2000	32	20	17	15	11
2500	24	19	16	14	9
3000	23	17	15	11	7

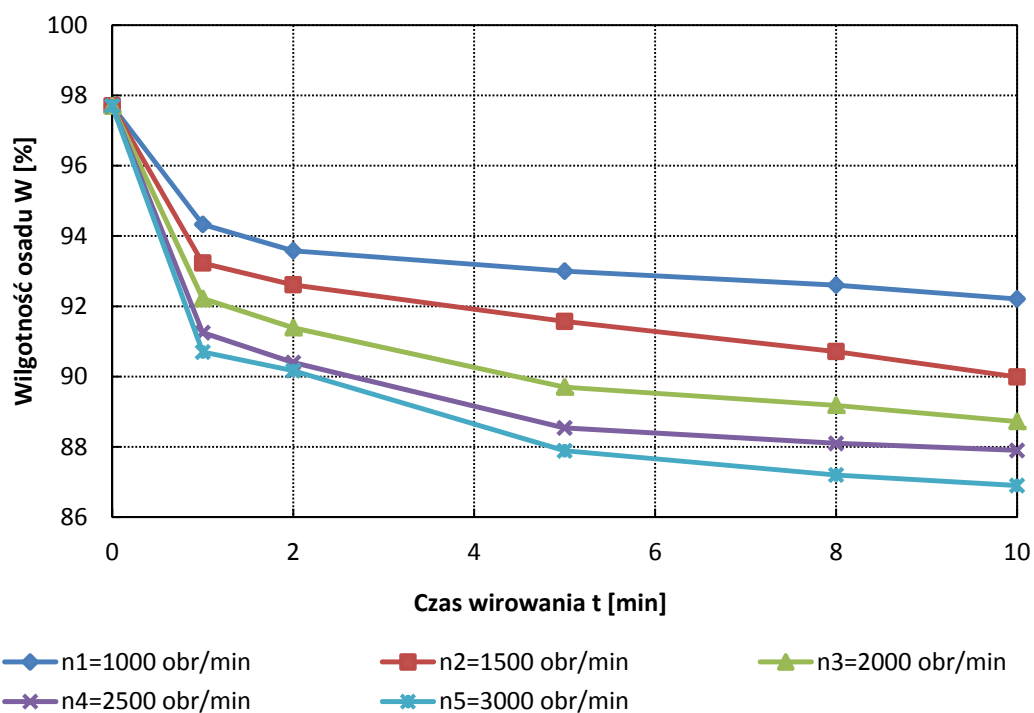


Rys. 55. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F2}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Udział $U_{O/F3}$ – 36% olejku z pomarańczy (10 ml/dm^3) + 64% flokulanta PRAESTOL 855BS (18 ml/dm^3)

Tabela 56. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F3}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

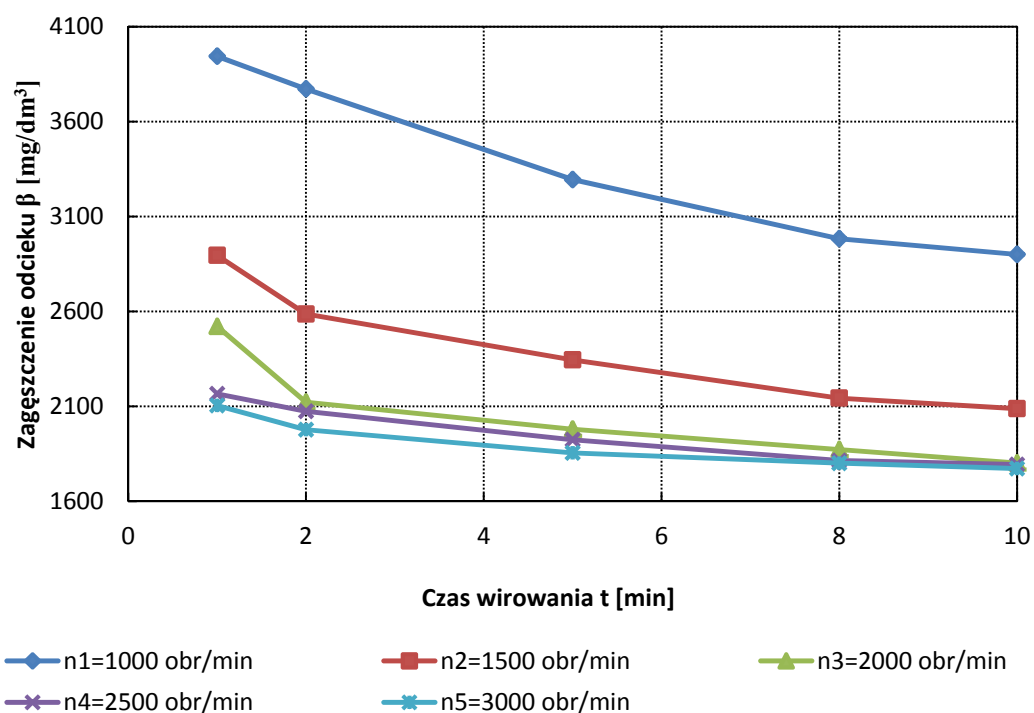
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,33	93,58	93,00	92,60	92,21
1500	93,23	92,61	91,57	90,71	89,99
2000	92,22	91,39	89,70	89,18	88,72
2500	91,25	90,40	88,54	88,10	87,90
3000	90,70	90,17	87,89	87,20	86,90



Rys. 56. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F3}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 57. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F3}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

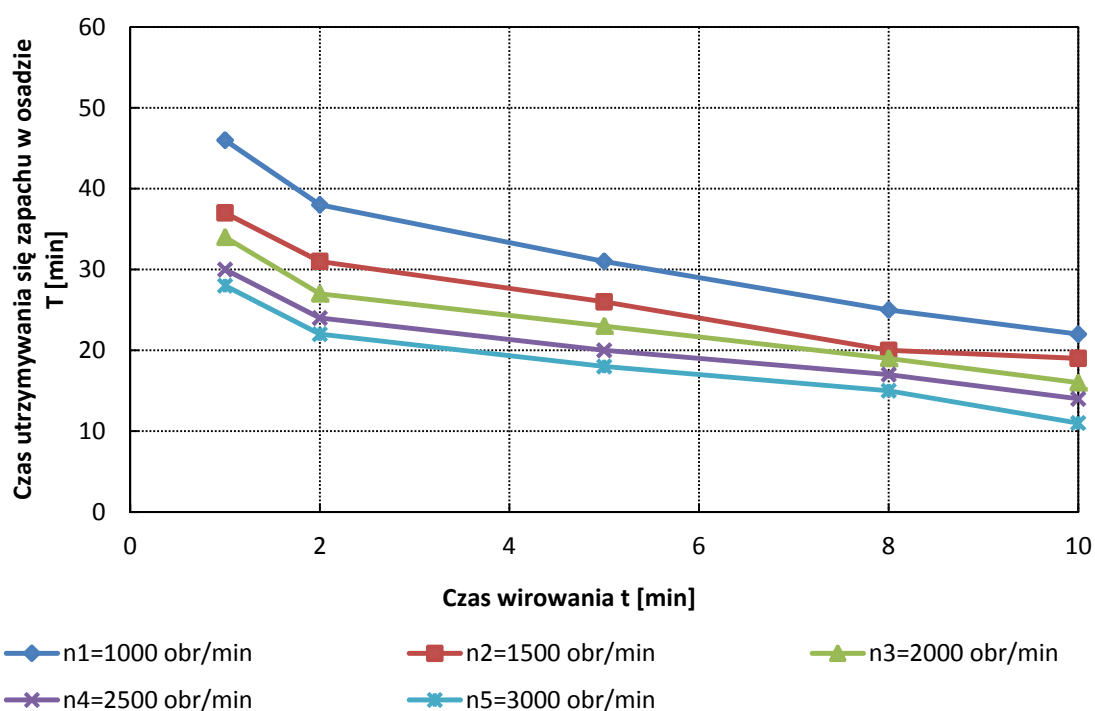
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	3944,18	3772,05	3294,53	2983,06	2900,44
1500	2895,38	2586,19	2344,52	2143,17	2087,54
2000	2521,17	2122,17	1979,63	1872,4	1801,76
2500	2165,78	2073,88	1923,98	1814,71	1793,21
3000	2104,31	1977,17	1854,93	1800,35	1772,1



Rys. 57. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F3}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 58. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F3}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	46	38	31	25	22
1500	37	31	26	20	19
2000	34	27	23	19	16
2500	30	24	20	17	14
3000	28	22	18	15	11

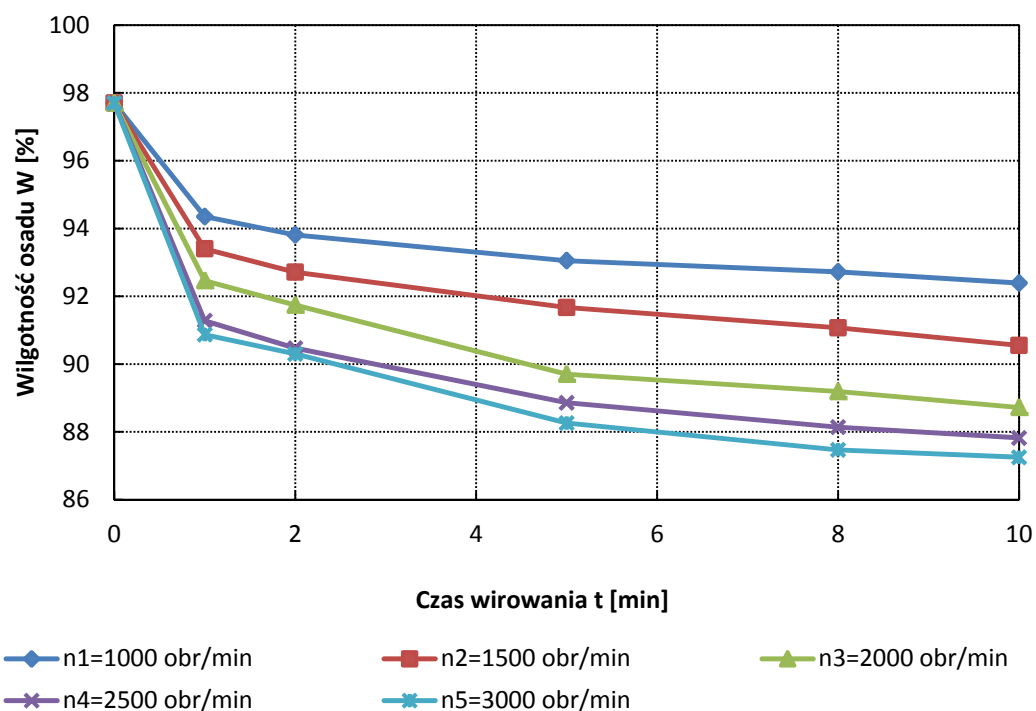


Rys. 58. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F3}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Udział $U_{O/F4}$ – 50% olejku z pomarańczy (14 ml/dm^3) + 50% flokulanta PRAESTOL 855BS (14 ml/dm^3)

Tabela 59. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F4}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

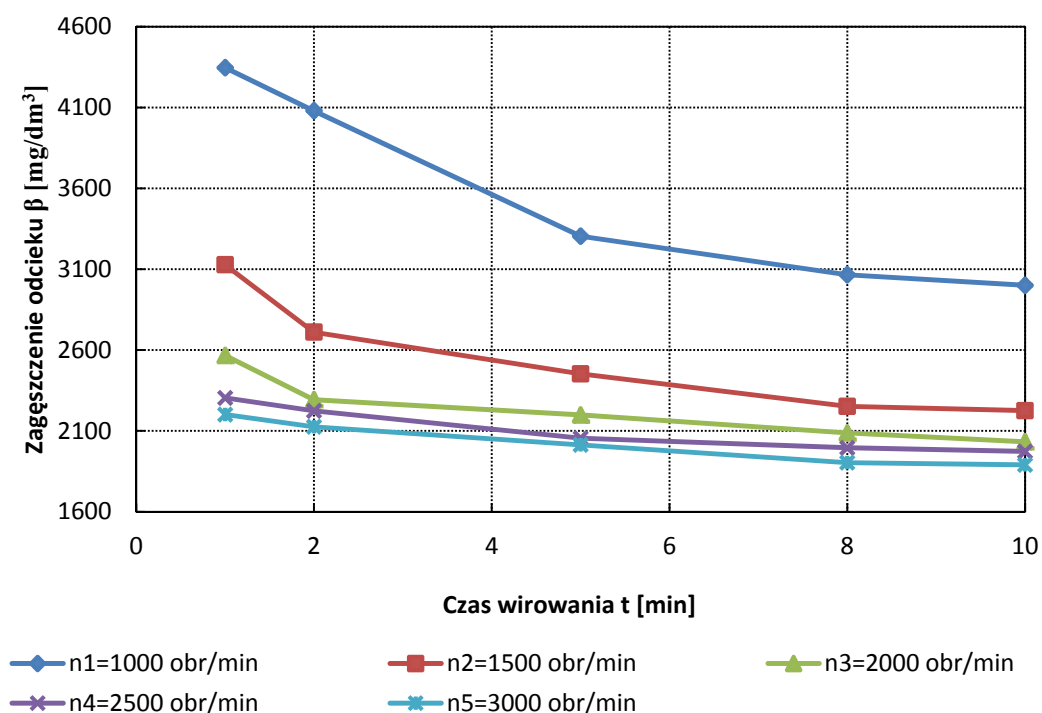
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,35	93,81	93,05	92,72	92,39
1500	93,40	92,71	91,67	91,07	90,55
2000	92,46	91,74	89,70	89,19	88,72
2500	91,28	90,47	88,86	88,14	87,82
3000	90,87	90,30	88,26	87,47	87,25



Rys. 59. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F4}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 60. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F4}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

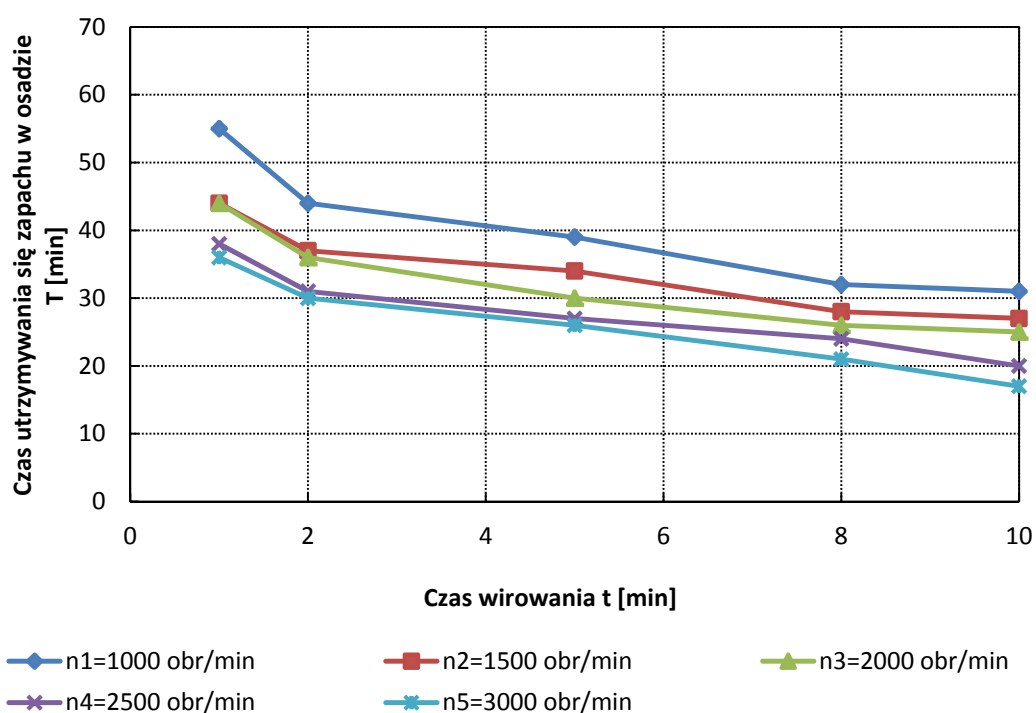
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	4346,04	4079,23	3303,98	3065,49	3000,23
1500	3127,13	2710,29	2452,47	2251,69	2224,72
2000	2566,61	2292,94	2197,94	2087,34	2032,44
2500	2304,22	2223,92	2054,94	1995,17	1972,39
3000	2201,13	2125,26	2013,42	1903,83	1890,01



Rys. 60. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F4}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 61. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F4}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	55	44	39	32	31
1500	44	37	34	28	27
2000	44	36	30	26	25
2500	38	31	27	24	20
3000	36	30	26	21	17

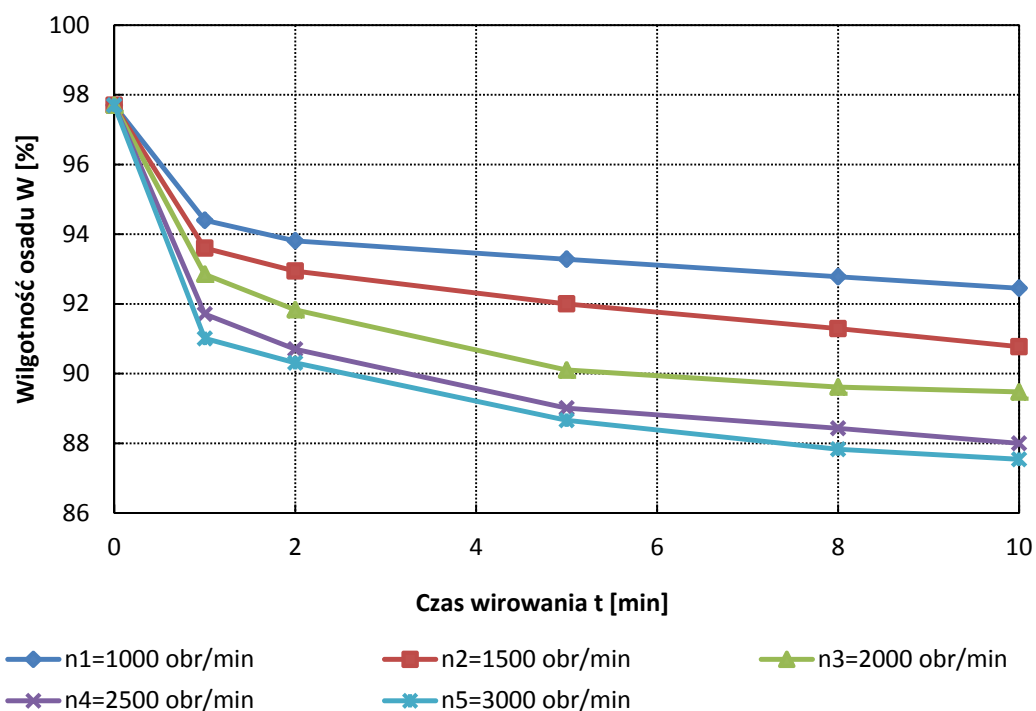


Rys. 61. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F4}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Udział $U_{O/F5}$ – 64% olejku z pomarańczy (18 ml/dm^3) + 36% flokulanta PRAESTOL 855BS (10 ml/dm^3)

Tabela 62. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F5}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

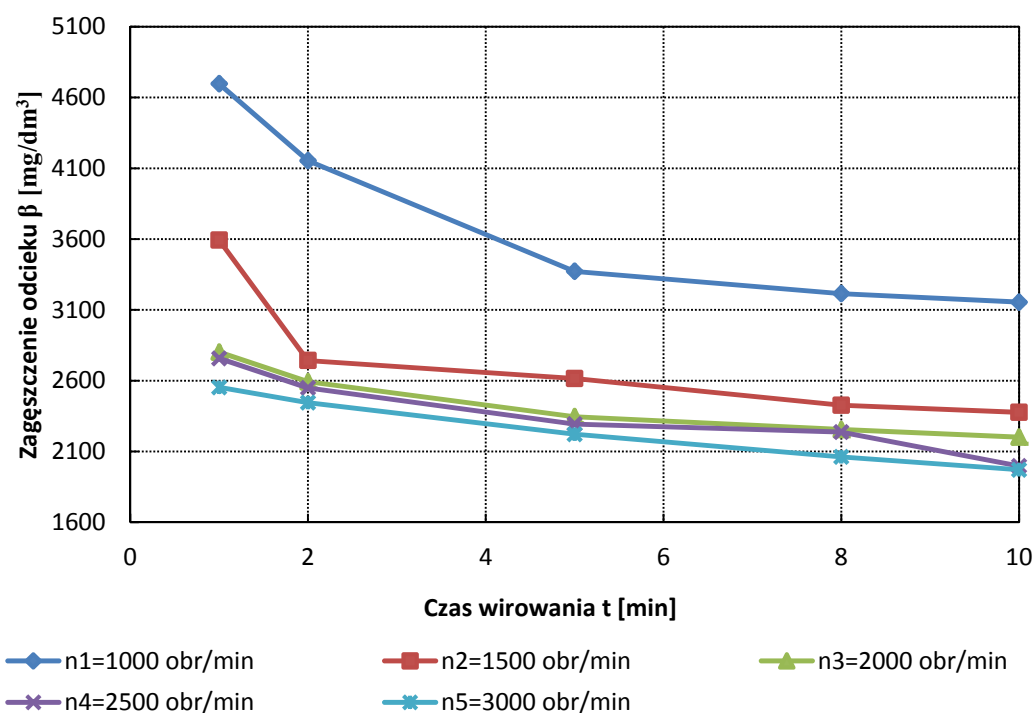
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,40	93,81	93,28	92,78	92,45
1500	93,60	92,94	92,00	91,29	90,77
2000	92,85	91,83	90,10	89,61	89,47
2500	91,71	90,70	89,01	88,43	88,00
3000	91,01	90,31	88,66	87,83	87,54



Rys. 62. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F5}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 63. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F5}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

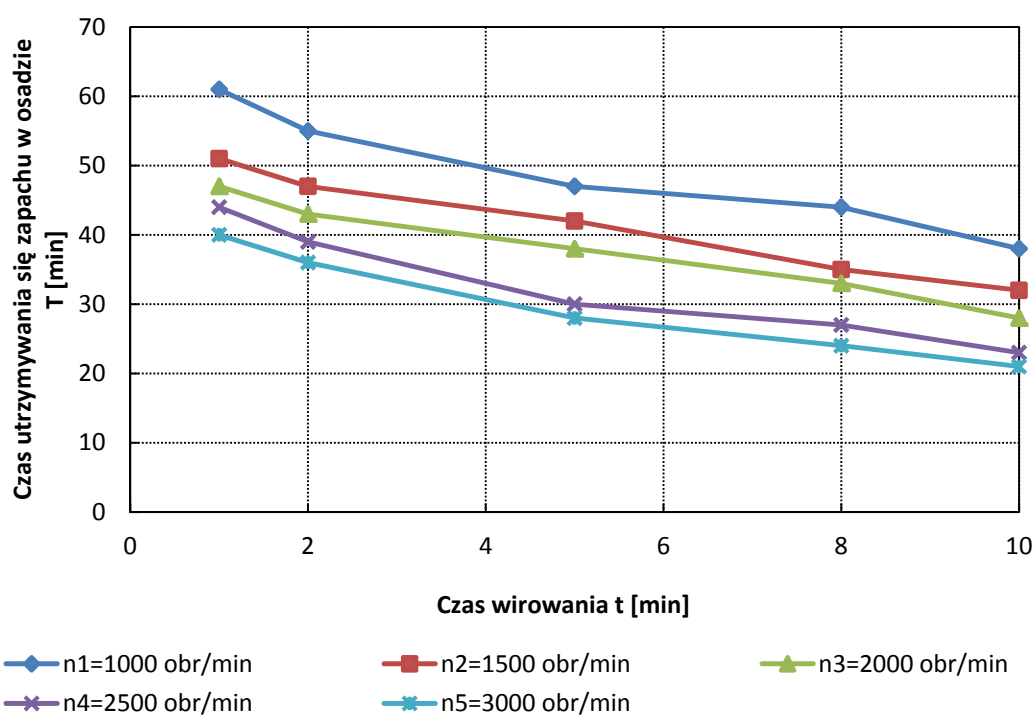
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	4696,37	4153,41	3372,05	3214,53	3154,23
1500	3592,85	2742,31	2615,27	2426,13	2375,76
2000	2801,36	2592,16	2345,14	2254,34	2200,99
2500	2757,18	2548,84	2293,5	2237,13	1997,14
3000	2552,56	2445,11	2221,4	2061,46	1970,61



Rys. 63. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F5}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 64. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F5}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	61	55	47	44	38
1500	51	47	42	35	32
2000	47	43	38	33	28
2500	44	39	30	27	23
3000	40	36	28	24	21

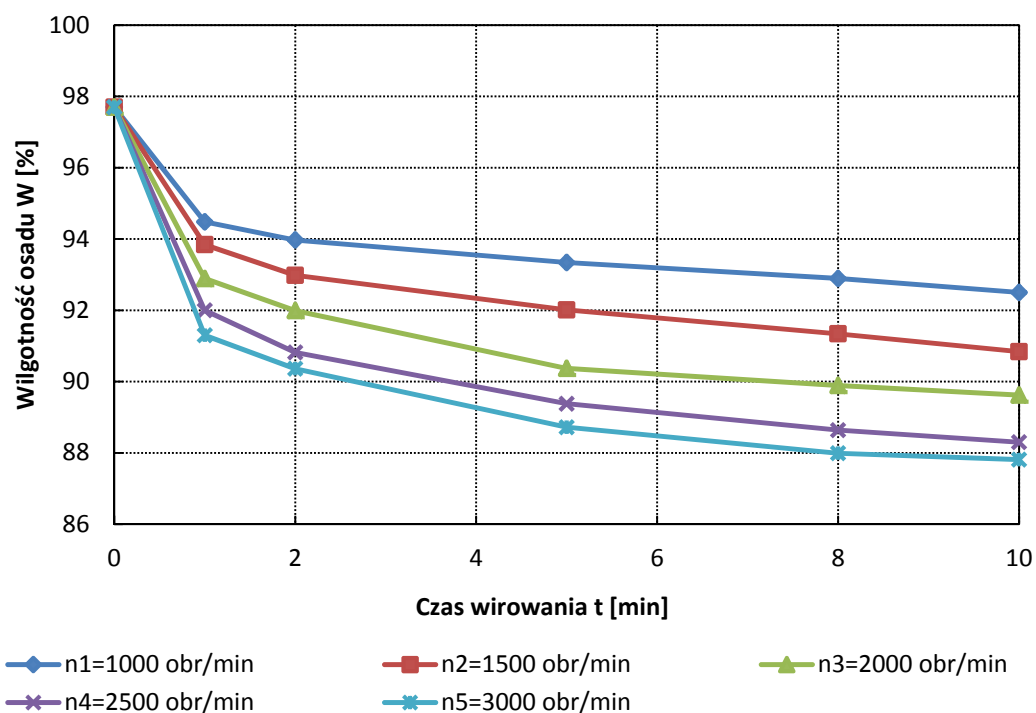


Rys. 64. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F5}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Udział $U_{O/F6}$ – 79% olejku z pomarańczy (22 ml/dm^3) + 21% flokulanta PRAESTOL 855BS (6 ml/dm^3)

Tabela 65. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F6}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

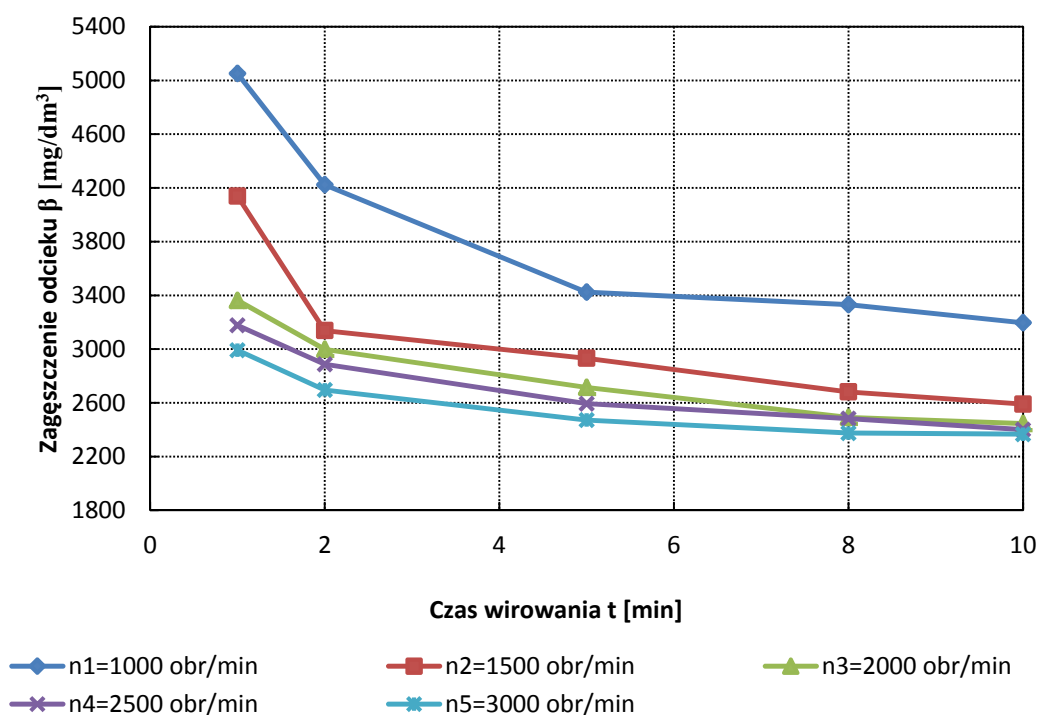
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,48	93,97	93,34	92,89	92,50
1500	93,84	92,98	92,01	91,34	90,84
2000	92,89	91,99	90,37	89,89	89,62
2500	92,00	90,82	89,38	88,64	88,30
3000	91,30	90,36	88,72	87,99	87,81



Rys. 65. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F6}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 66. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F6}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

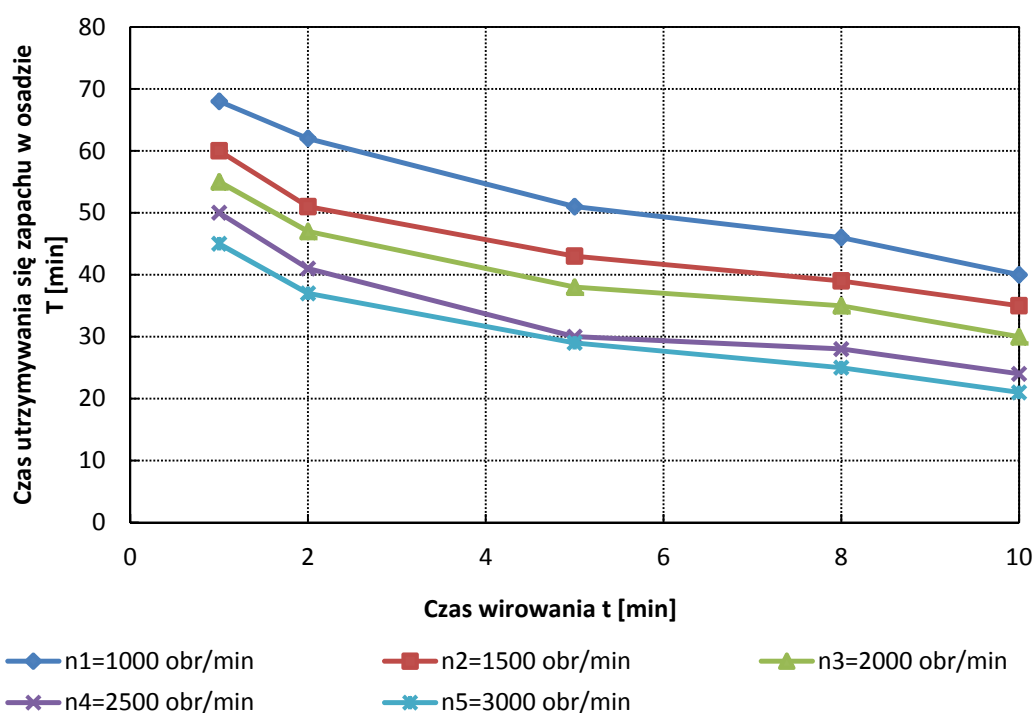
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	5051,27	4223,11	3423,63	3330,44	3196,17
1500	4138,35	3137,76	2931,28	2681,35	2589,99
2000	3362,01	2998,24	2714,63	2491,78	2445,34
2500	3177,03	2886,66	2593,78	2482,4	2400,27
3000	2991,62	2695,33	2471,88	2374,34	2365,89



Rys. 66. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F6}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 67. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F6}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	68	62	51	46	40
1500	60	51	43	39	35
2000	55	47	38	35	30
2500	50	41	30	28	24
3000	45	37	29	25	21

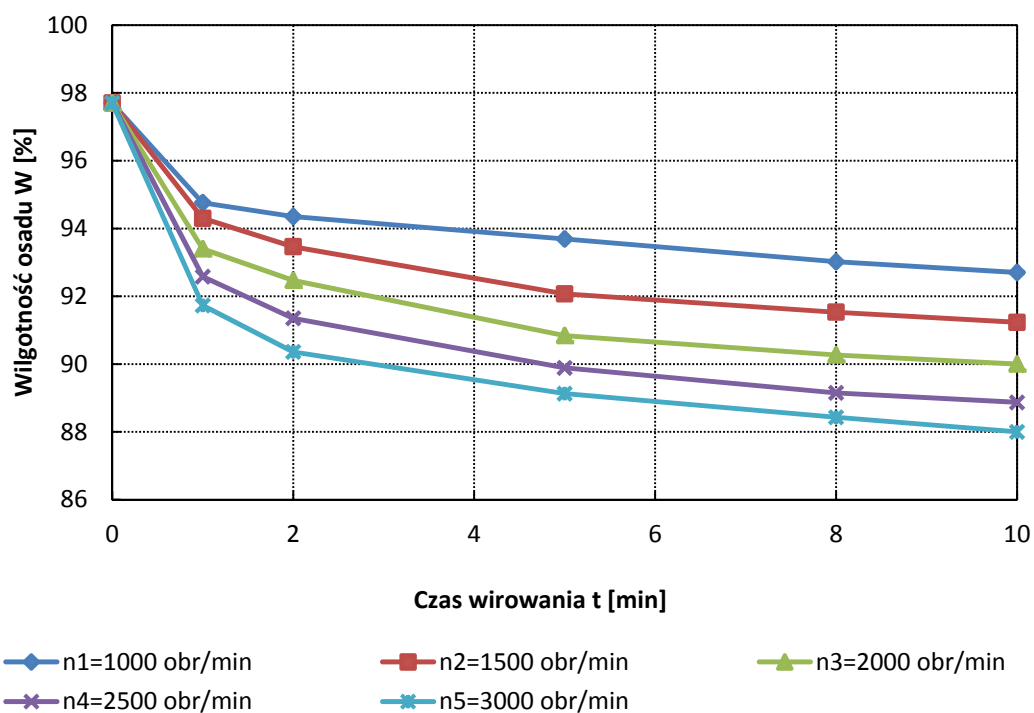


Rys. 67. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F6}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Udział $U_{O/F7}$ – 100% olejku z pomarańczy (28 ml/dm^3) + 0% flokulanta PRAESTOL 855BS (0 ml/dm^3)

Tabela 68. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F7}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na uwodnienie osadów W [%]

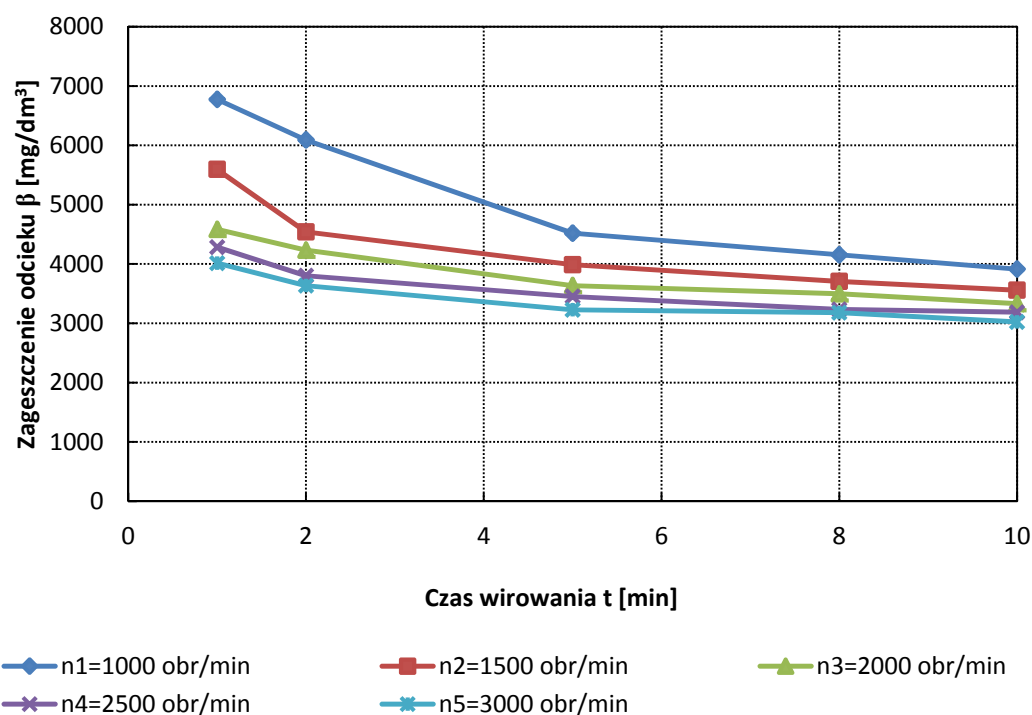
Prędkość wirowania n [obr/min]	Wilgotność osadu W [%]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	94,76	94,35	93,69	93,02	92,70
1500	94,30	93,46	92,07	91,53	91,23
2000	93,40	92,47	90,84	90,27	90,00
2500	92,58	91,35	89,89	89,15	88,87
3000	91,73	90,36	89,13	88,43	88,00



Rys. 68. Wilgotność osadu W [%] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F7}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 69. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F7}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]

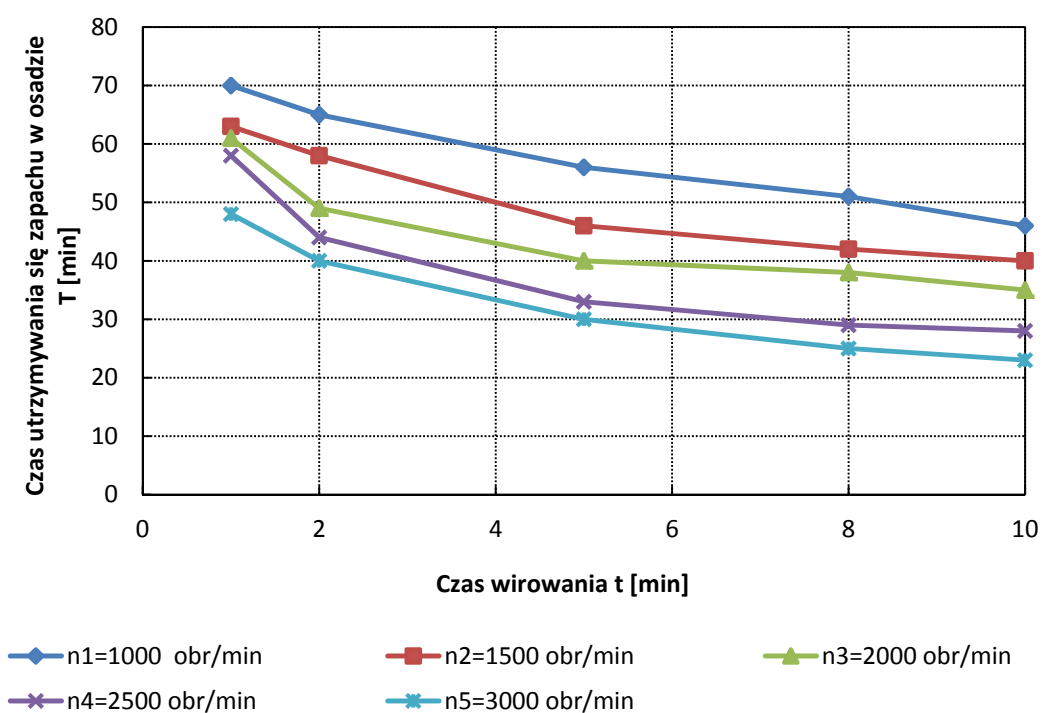
Prędkość wirowania n [obr/min]	Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	6773,5	6089,66	4517,96	4154,49	3912,97
1500	5593,72	4540,56	3986,29	3704,79	3556,23
2000	4583,07	4232,71	3634,39	3496,46	3329,28
2500	4284,13	3802,35	3451,03	3233,34	3185,93
3000	4013,27	3635,41	3227,15	3179,47	3022,06



Rys. 69. Zagęszczenie odcieku β [mg/dm^3] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F7}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$

Tabela 70. Wyniki badań wpływu prędkości wirowania n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku w mieszaninie z flokulantem $U_{O/F7}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$ na czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]

Prędkość wirowania n [obr/min]	Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min]				
	Czas wirowania t [min]				
	1	2	5	8	10
1000	70	65	56	51	46
1500	63	58	46	42	40
2000	61	49	40	38	35
2500	58	44	33	29	28
3000	48	40	30	25	23



Rys. 70. Czas utrzymywania się zapachu w osadzie T [min] w zależności od liczby obrotów n [obr/min] i czasu wirowania t [min] przy udziale olejku eterycznego z pomarańczy w mieszaninie z flokulantem Praestol 855BS $U_{O/F7}$ [%] dla dawki $C = 28 \text{ ml/dm}^3$