

Prof. dr hab. Józefa Wiater
Katedra Technologii i Systemów
Inżynierii Środowiska
Politechnika Białostocka
15-315 Białystok
ul. Wiejska 45 a

Białystok, 31.01. 2018r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Wójcik p.t. „ Analiza efektywności kondycjonowania osadów ściekowych popiołami ze spalania biomasy”

Celowość wyboru tematu

Wiadomym jest, że w celu poprawy jakości wód w naszym kraju powstają oczyszczalnie ścieków lub istniejące poddawane są modernizacji. W związku z tym co roku wzrasta ilość osadów ściekowych, które ze względu na ich właściwości fizyczno-chemiczne oraz biologiczne stanowią bardzo uciążliwy odpad. Jednocześnie zawierają wiele cennych składników pokarmowych oraz substancji organicznej, które należałoby zwrócić do środowiska. Przemawia za tym jakość gleb w naszym kraju, które w większości są lekkimi i kwaśnymi, o niskiej zawartości próchnicy (C). Zatem zwrot do środowiska glebowego osadów ściekowych wydaje się uzasadniony. Może to nastąpić pod warunkiem poprawienia ich właściwości poprzez ich odwodnienie, zniwelowanie zagrożenia sanitarnego i poprawienia właściwości chemicznych. Jedną z metod może być kondycjonowanie osadów przy użyciu związków chemicznych i przy użyciu metod mechanicznych. Alternatywą dla tych sposobów może być użycie popiołów ze spalania biomasy, która jest uznanym źródłem energii odnawialnej w UE, a tym samym w naszym kraju. Popioły ze spalania biomasy są także odpadem, ale ich właściwości mogą przyczynić się do odwadniania osadów ściekowych, których wysokie uwodnienie jest jedną z przyczyn ograniczonego ich stosowania przyrodniczego. Dlatego wybór tematu pracy w którym zawarta jest propozycja odwadniania i poprawy właściwości osadów ściekowych poprzez stosowanie różnych popiołów ze spalania biomasy należy uważać za uzasadniony.

Konstrukcja pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marty Wójcik składa się z wstępu i dwóch zasadniczych części teoretycznej i doświadczalnej. Na obydwie części składa się dziewięć rozdziałów, następnie zamieszczono podsumowanie i wnioski, spis literatury, spis tabel, rysunków i fotografii a na końcu zamieszczono załączniki (wyniki wszystkich analiz wykonanych na potrzeby niniejszej rozprawy doktorskiej). Na część teoretyczną składa się 6 rozdziałów z których cztery podzielono na podrozdziały. Rozdział siódmy to założenia pracy w którym zawarto: cele, tezy. Kolejna część jest doświadczalną i obejmuje rozdział ósmy podzielony na osiem podrozdziałów. Rozdział dziewiąty to wyniki badań i dyskusja. Składa się z dziewięciu podrozdziałów związanych z etapami badań. Całość zakończono podsumowaniem i dwunastoma wnioskami. Rozprawa zawiera 262, a ze spisami tabel, rysunków i fotografii oraz z załącznikami 399 stron.. W pracy zamieszczono 19 tabel, 181 rysunków i 13 fotografii. W spisie występuje 312 pozycji literatury, tym 6 aktów prawnych. Literatura anglojęzyczna stanowi blisko 46% występującej w spisie.

Treść rozprawy koresponduje z jej tytułem, a tekst w większości jest zrozumiały i czytelny. Sprawia to, że studiuje się ją z dużym zainteresowaniem.

Ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowana rozprawa posiada znaczną wartość naukową, poznawczą i oraz praktyczną. Dotyczy ważnego zagadnienia zmiany właściwości osadów ściekowych poprzez ich kondycjonowanie z użyciem do tego celu popiołów ze spalania różnej biomasy, polimerów przemysłowych i równoczesnego stosowania popiołów i polimeru .

Wstęp jest nakreślonym ogólnie uzasadnieniem podjęcia tematu badań. Wprowadza w problematykę trudności z zagospodarowaniem osadów ściekowych i możliwości poprawienia ich właściwości.

Część teoretyczna została napisana w oparciu o literaturę badaczy polskich i zagranicznych. W pierwszym podrozdziale omówiono proces powstawania osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków oraz ich klasyfikację. W następnym podrozdziale scharakteryzowano osady pod kątem ich odwadniania, zwrócono uwagę na rodzaje wody występujące w osadach. Następnie omówiono skład chemiczny osadów z uwzględnieniem właściwości nawozowych i metali ciężkich oraz właściwości biologicznych. Zwrócono uwagę na właściwości filtracyjne i reologiczne osadów. W podrozdziale trzecim zostały omówione

metody zagospodarowania osadów z uwzględnieniem ich właściwości fizyko-chemicznych. Pokazano sposoby zagospodarowania osadów w Polsce, uwzględniając kryteria społeczne, ekonomiczne, ekologiczne i prawne. W rozdziale drugim części teoretycznej najpierw przedstawione zostały procesy przeróbki osadów ściekowych. Zwrócono uwagę na jednostkowe procesy w tym zakresie jak: zagęszczanie, stabilizacja, odwadnianie i higienizacja oraz dobór odpowiednich urządzeń do przeróbki w zależności od właściwości osadów w danej oczyszczalni. Następnie w rozdziale 2.2 został omówiony procesy zagęszczania różnych osadów powstających w oczyszczalni ścieków. Rozdział 2.3 poświęcony jest odwadnianiu osadów, w którym zwrócono uwagę na metody odwadniania jak naturalne, mechaniczne w ujęciu historycznym. Omówione zostały także urządzenia do prowadzenia procesu odwadniania. Poruszono także trudności związane z procesem odwadniania ze względu na właściwości osadów. W rozdziale 2.4 zostały przedstawione metody higienizacji osadów, które stanowią niebezpieczeństwo dla środowiska ze względu na obecność w nich patogenów. Rozdział trzeci poświęcony możliwościom wspomagania procesu odwadniania osadów ściekowych. W dwóch podrozdziałach zostały omówione konwencjonalne i niekonwencjonalne metody kondycjonowania osadów. Wśród niekonwencjonalnych metod Autorka podaje użycie do kondycjonowania osadów różnych materiałów w tym odpadowych. Rozdział czwarty obejmuje charakterystykę ubocznych produktów spalania różnego rodzaju paliw stałych. Przedstawiono klasyfikację popiołów ze spalania lub współspalania różnych nośników energii oraz ich charakterystykę pod względem właściwości fizycznych i chemicznych. Następnie zostały omówione sposoby zagospodarowania ubocznych produktów spalania szczególnie ze spalania biomasy ze względu na ich właściwości.

W rozdziale piątym omówiono wpływ różnych odpadów w tym ubocznych produktów spalania na procesy przeróbki osadów ściekowych. Szczegółowo zwrócono uwagę na aplikację popiołów ze spalania biomasy na zmiany właściwości fizyko-chemicznych osadów. Poruszono także aspekty ekonomiczne w stosowaniu popiołów z biomasy w odniesieniu do drogich chemicznych reagentów. W ostatnim rozdziale części teoretycznej zostały przedstawione ekologiczno-techniczne aspekty przyrodniczego zastosowania mieszanin osadowo- popiołowych. Autorka podkreśliła brak prac dotyczących tego typu mieszanin ich właściwościom i możliwościom stosowania. Przedstawiła prototyp urządzenia do stosowania osadów w tym mieszanin do gleb z natychmiastowym ich przykryciem.

W rozdziale siódmym zostały przedstawione założenia pracy. W podrozdziale 7.1. został sformułowany główny cel, który dotyczył wyznaczenia wpływu ubocznych produktów spalania biomasy w procesie odwadniania osadów ściekowych. Wyznaczono trzy cele szczegółowe, z których pierwszy obejmował wyznaczenie efektywności odwadniania osadów z dodatkiem popiołów z biomasy w procesach mechanicznych i grawitacyjnych. Drugi cel szczegółowy dotyczył wpływu dodatku popiołów z biomasy na higienizację osadów, a trzeci wpływu popiołów na właściwości reologiczne osadów. Sformułowano także cel użyteczny, w którym było opracowanie technologii wspomagania procesu odwadniania w skali technicznej.

Postawiono trzy tezy, które są zbieżne z celami szczegółowymi zawartymi w pracy. Dalej podano zakres pracy, który częściowo(w punktach 1, 2, 5, 6) zbieżny jest z celami i postawionymi tezami. W punkcie trzecim i czwartym podano że osady były poddawane kondycjonowaniu przy użyciu wybranych polielektrolitów przemysłowych oraz dualnego działania jednego z nich z popiołami ze spalania biomasy na proces odwadniania osadów. W punkcie siódmym podano przeprowadzenie badań w skali technicznej co jest zgodne z celem użytecznym, a w punkcie ósmym wykonanie analizy ekonomicznej zastosowania produktów odpadowych do odwadniania osadów w porównaniu reagentów w formie polielektrolitów.

W rozdziale „Metodyka badań” najpierw opisano materiał badawczy przeznaczony do pierwszego etapu badań i były to popioły ze spalania biomasy w elektrociepłowni w Krośnie oraz popiół ze spalania balotów ze słomy pszennej, polan drewna bukowego, batoników z wierzby energetycznej, które na potrzeby badań laboratoryjnych spalano w kotle firmy Ogniw. Osad do badań pobrano z oczyszczalni w Świlczy-Kamyszyn. W tabeli 8.1 podano parametry osadów ściekowych t.j. uwodnienie, pH, CSK_s (czas ssania kapilarnego). W następnym podrozdziale przedstawiono metodykę badań właściwości fizyko-chemicznych osadów surowych, osadów z dodatkiem popiołów po procesie grawitacyjnego zagęszczania, po procesie odwadniania w wyniku filtracji i wirowania. W osadach oznaczano pH, suchą masę, uwodnienie, zawiesinę i CSK. Oznaczenia wykonano zgodnie z obowiązującymi normami. Podano wzory wg których dokonano obliczeń stopnia zagęszczenia osadów, prędkość jego osiadania, zmniejszenia uwodnienia, średnią prędkość zagęszczania zmianę wysokości osadu po procesie zagęszczania, opór właściwy filtracji, współczynnik ściśliwości, wyznaczono parametry pracy wirówki jak przyspieszenie dośrodkowe, prędkość kątową, współczynnik zwielokrotnienia przyspieszenia, współczynnik rozdziału. Podano jak można obliczyć okres zwrotu inwestycji na potrzeby oczyszczalni po zastosowaniu popiołów do kondycjonowania osadów.

W rozdziale 8.3 podano metodykę badań właściwości fizyko-chemicznych popiołów ze spalania biomasy tj. skład granulometryczny, powierzchnia właściwa, gęstość, analizę mikromorfologiczną, skład chemiczny, skład fazowy, straty prażenia, wymywalność metali. Do każdego parametru została podana metodyka oznaczeń. W następnym rozdziale opisana została metodyka badań wpływu popiołów w czterech dawkach na procesy przeróbki osadów ściekowych w odniesieniu do osadów kontrolnych. Osady badano pod kątem zagęszczania grawitacyjnego mierząc objętość i wysokość sedymentującego osadu po 90 min. Następnie opisano metodykę zastosowaną do odwadniania osadów przy dodatku różnych popiołów biomasy tj. test odwadniania na sączku, zestaw do filtracji ciśnieniowej, filtracji próżniowej (dwa poziomy podciśnienia) i wirówki laboratoryjnej (dwie prędkości obrotowych). Następnie oznaczono uwodnienie i CKS osadów. W filtracji mierzono jego pH oraz stężenie zawiesiny. W rozdziale 8.5 przedstawiono metodykę badań nad wpływem polielektrolitów na proces odwadniania osadów. Do badań wybrano cztery kationowe polielektrolity producent Kemira. Wszystkie substancje były stosowane w czterech dawkach objętościowych stanowiących krotność $3\text{cm}^3/\text{dm}^3$ (dawki masowe 0,5-2,0g/kg s.m.). Próbkę osadu po kondycjonowaniu polielektrolitami badano tak samo jak próbki kondycjonowane popiołami z biomasy i odwadniane tymi samymi metodami. W następnym rozdziale podano metodykę badań kondycjonowania popiołami ze spalania biomasy z dodatkiem jednego polielektrolitu, który został zastosowany do wszystkich próbek osadów w tej samej dawce 1.0 mg/g s.m. zmienne były dawki popiołów 0, 5, 7,5, 15, 22,5 g/dm³ osadu. Badania nad zagęszczaniem i odwadnianiem wykonano z zastosowaniem tych samych metod jakie podano w rozdziale 8.4. W rozdziale 8.7 została przedstawiona metodyka związana z wpływem popiołów na liczebność kolonii mikroorganizmów żyjących w osadzie. Badania te wykonano pod kątem higienizacji osadów popiołami i porównano do osadów higienizowanych wapnem w trzech dawkach 0,1, 0,5, 1,0 g/g s.m. W tym samym rozdziale podano metodykę badań właściwości reologicznych osadów kondycjonowanych popiołem z elektrociepłowni, z polielektrolitem w dawce 1.0mg/g s.m. oraz osadem surowym. W rozdziale 8.8 opisano przebieg badań nad poprawą odwadniania osadów w obiekcie rzeczywistym czyli w oczyszczalni w Świlczy-Kamyszyn. Celem polepszenia procesu odwadniania osadów zastosowano jeden rodzaj popiołu ze spalania biomasy z elektrociepłowni w Krośnie, który zastosowano w dwóch dawkach 15 i 30g/dm³, które aplikowano przed podaniem osadu na prasę filtracyjną. Wykonano także badania osadu z polielektrolitem w ilości 4,0 mg/g s.m. i łączonego (2,0mg/g s.m.osadu) z popiołem (22,5g/dm³). Osad badano pod kątem uwodnienia, CSK_{pf} i liczebności mikroorganizmów. Wyniki dotyczące oznaczeń mikrobiologicznych w osadach

kondycjonowanych porównano z wynikami osadów poddanych higienizacji wapnem w ilości 0,1gCaO /gs.m. Wszystkie badania przeprowadzono w trzech seriach.

Rozdział „Wyniki Badań i Dyskusja” podzielono na osiem etapów. W pierwszym podano wyniki badań popiołów ze spalania różnej biomasy. Zamieszczono parametry uziarnienia czterech popiołów po spalania różnej biomasy. Na podstawie tych wyników Autorka stwierdziła że najdrobniejsze cząstki wystąpiły w popiele z elektrociepłowni, co ma związek z temperaturą spalania, która była wyższa w trakcie spalania w porównaniu do temperatury spalania w piecu domowym. Następnie zostały zamieszczone wyniki dotyczące parametrów fizycznych badanych popiołów. Wyniki badań właściwości fizycznych popiołów wskazują że najwyższe analizowane gęstości posiadał popiół z elektrociepłowni w porównaniu do pozostałych, a powierzchnię właściwą miał najmniejszą. Pozostałe cechy badanych popiołów były w większości zbliżone. Straty prażenia wskazują na związek z wielkością cząstek oraz rodzajem spalanego materiału. Najwyższy był w przypadku spalania słomy pszennej. Ważnymi informacjami w tym rozdziale są fotografie cząstek popiołów z analizy mikroskopii skaningowej. Ukazują one zróżnicowanie ziaren popiołów pod względem morfologicznym. Popioły uzyskane ze spalania w kotle domowym charakteryzowały się występowaniem cząstek długich, czego nie stwierdzono w przypadku popiołu z elektrociepłowni. Następne wyniki dotyczą identyfikacji minerałów występujących w popiołach przy użyciu dyfraktometrii rentgenowskiej. Stwierdzono pewne podobieństwo w występowaniu minerałów dla popiołów z drewna bukowego i wierzby energetycznej. Ważnymi wynikami w charakterystyce popiołów jest ich skład chemiczny który został wykonany metodą fluorescencji rentgenowskiej. W popiele z drewna bukowego i wierzby energetycznej najwięcej było wapnia i potasu, w popiele z elektrociepłowni wapnia, krzemu i potasu, a ze słomy żelaza i glinu. W popiele z elektrociepłowni stwierdzono niewielkie zawartości Cu, Ni, Pb, Cr, Cd, a w pozostałych Cu, Ni, i Pb-tylko w popiele z drewna bukowego i wierzby energetycznej. Wymywalność z popiołów badanych pierwiastków największa była dla wapnia ze wszystkich popiołów, a najmniejsza dla pierwiastków śladowych, co jak sugeruje Autorka związane jest pozostawanie ich formach niemobilnych.

Etap II badań obejmował analizę procesu zagęszczania i odwadniania osadów kondycjonowanych popiołami ze spalania biomasy. Dodanie popiołów do osadów poprawiło ich właściwości filtracyjne, na co wskazuje obniżenie wartości CSK. Najskuteczniejszym w obniżaniu CKS był popiół z elektrociepłowni, a najmniej skutecznym był popiół ze spalania słomy. Wśród dawek najskuteczniejsza była dawka najwyższa. Podobne zależności wystąpiły w przypadku wartości pH osadów kondycjonowanych popiołami. Dodatek popiołów wpływał

na zmniejszenie uwodnienia osadów od 2-3% przy zastosowaniu najwyższych dawek popiołów i w tym przypadku najkorzystniej wpływał popiół z elektrociepłowni. Aplikowanie popiołów do osadu wpływało na przebieg zagęszczania grawitacyjnego i najintensywniej przebiegała do 30 min. niezależnie od wysokości dawki czy rodzaju popiołu. Na wysokość i objętość osadu najlepiej działała dawka popiołów 30 g/dm^3 . Najskuteczniej działał w tym przypadku popiół ze spalania słomy, a następnie ze spalania z drewna bukowego. Na proces zagęszczania osadów najkorzystniej wpływał dodatek popiołu ze spalania słomy, a najslabiej popiół z elektrociepłowni, co Doktorantka tłumaczy zróżnicowaną strukturą popiołów. Kondycjonowanie osadów popiołami przyczyniło się do ich odwadniania o 7-10%. Zmierzony CSK po procesie odwadniania miała tendencję wzrostową w zależności od wysokości dawki popiołów. Ilość uzyskanego filtratu po procesie odwadniania malała po zastosowaniu wyższych dawek popiołów, co jak twierdzi Autorka na podstawie literatury ma związek z właściwościami puculanowymi popiołów. Natomiast w przypadku odczynu filtratów wystąpiła odwrotna zależność. Wzrost odczynu był najwyższy po zastosowaniu najwyższej dawki popiołu z elektrociepłowni o prawie 5 jednostek pH, a najniższy wzrost o 1 jednostkę był po zastosowaniu popiołu ze słomy pszennej. Stężenie zawiesiny w filtracie było najwyższe po zastosowaniu słomy pszennej, a najmniejsze po zastosowaniu popiołu z elektrociepłowni. Kolejne wyniki dotyczyły badań procesu odwadniania z użyciem filtra ciśnieniowego. Uwodnienie osadów uległo zmniejszeniu wraz ze wzrostem dawki popiołów i najskuteczniejszym był popiół z elektrociepłowni, a najmniej skutecznym był popiół ze słomy. CSK po zastosowaniu filtra wzrastał wraz ze wzrostem dawek i tutaj największy wzrost wystąpił po kondycjonowaniu osadów popiołem ze spalania wierzby i popiołu z elektrociepłowni. Podano także wyniki dotyczące ilości filtratu po tym procesie, która rosła wraz z dawkami poszczególnych popiołów. W ilości uzyskanego filtratu wyróżniał się popiół z elektrociepłowni i popiół z wierzby. Odnotowano wzrost odczynu filtratu szczególnie po zastosowaniu najwyższych dawek popiołów. Wystąpił także wzrost stężenia zawiesiny i był najwyższy po odwadnianiu osadów kondycjonowanych słomą pszenna, a najniższy w osadach z popiołem z elektrociepłowni. Kolejne wyniki dotyczyły wpływu wspomagania odwadniania osadów kondycjonowanych popiołami po zastosowaniu filtracji próżniowej. Zmniejszenie uwodnienia osadów zależało od wartości podciśnienia i dawki popiołów. Wyższe dawki skutkowały zmniejszeniem uwodnienia osadów. Najkorzystniej na odwodnienie osadów wpływały popiół z elektrociepłowni i z drewna bukowego. Również pod wpływem tych popiołów rósł CSK. Podano wyniki oporu właściwego osadów oraz wielkość współczynnika ściśliwości. Najniższy opór odnotowano w przypadku osadów kondycjonowanych popiołem

z elektrociepłowni, a ściśliwość była najwyższa i zależała od dawki tego popiołu. Wyższa wartość podciśnienia obniżała opór tego osadu. Osady z pozostałymi popiołami nie różniły się między ze względu na opór właściwy i ściśliwość. Nie odnotowano zmian tych parametrów ze względu na wartość podciśnienia. W następnej kolejności zostały przedstawione wyniki badań z procesu odwadniania osadów z dodatkiem popiołów przy użyciu wirówki laboratoryjnej. O zmniejszeniu uwodnienia osadów decydowała dawka i rodzaj popiołu oraz prędkość wirówki. Najlepsze efekty uzyskano po zastosowaniu 15 i 30 g/dm³ popiołu z elektrociepłowni i przy prędkości wirówki 2500obr/min. Najslabiej na proces odwodnienia wpływał popiół ze spalania słomy niezależnie od wysokości dawki. Wartość CSK rosła wraz z dawką popiołów i najwyższą wartość odnotowano po zastosowaniu popiołu ze spalania wierzby. Wartość CSK nieco wzrosła po zwiększeniu obrotów wirówki o 500obr/min. Objętość cieczy nadosadowej po kondycjonowaniu osadów popiołami i z użyciem wirówki zależała od rodzaju popiołów, a w mniejszym stopniu od ich dawki. W serii gdzie stosowano niższe obroty największą objętość cieczy uzyskano z osadów z dodatkiem popiołu po spalaniu drewna bukowego i popiołu z elektrociepłowni, a po zwiększeniu obrotów tylko z osadów z popiołem ze spalania drewna bukowego. Odczyn cieczy nadosadowej po wirowaniu zależał od dawki popiołów, im była wyższa tym wyższy odczyn. Najkorzystniej na ta cechę wpływał popiół z elektrociepłowni, a najslabiej popiół ze spalania słomy pszennej. W przypadku stężenia zawiesiny odnotowano odwrotną zależność(najwięcej jej było w próbkach z popiołem ze spalania słomy). Na zakończenie tego rozdziału Autorka potwierdziła założoną tezę, że mechaniczne kondycjonowanie osadów popiołami ze spalania biomasy poprawiło efektywność zagęszczania i odwadniania osadów ściekowych. Najkorzystniejszym w tych procesach okazał się popiół z elektrociepłowni, a najmniej korzystnym popiół ze spalania słomy pszennej.

Trzeci etap badań obejmował wyniki związane z procesem zagęszczania i odwadniania osadów ściekowych kondycjonowanych czterema polielektrolitami przemysłowymi w dawkach od 0,5 do 2,0 mg/g s.m. osadu. Wartość CSK po zastosowaniu koagulantów zmniejszała się wraz ze wzrostem ich dawki. Najskuteczniejszym był polielektrolit oznaczony nr 4 o nazwie Sedifloc 1050 CMMW (bardzo silnie kationowy). Po zastosowaniu flokulantów odnotowano niewielki wzrost odczynu osadów. Stosowane substancje w niewielkim stopniu wpływały na zmniejszenie uwodnienia osadów- około 1% po zastosowaniu najwyższej dawki. Wpływały na proces zagęszczania osadów, ale najbardziej po zastosowaniu ich wyższych dawek i proces ten był najbardziej intensywny w ciągu pierwszych 30 min. Dodane substancje do osadów wpływały znacząco na prędkość

sedymencie osadów. Wpłynęły także na zmniejszenie wysokości i objętości osadów po procesie zagęszczania. Polielektrolity znacząco na te cechy wpływały w dawkach 1,5 i 2,0 mg/g s.m. i najslabiej działał polielektrolit oznaczony nr 3. Odnotowano również spadek uwodnienia osadów pod wpływem tych substancji. Największe efekty osiągnięto (około 4%) po zastosowaniu dawki najwyższej i tutaj wyróżniał się polielektrolit z nr 4 i nieco słabszy był nr 3. Chemiczne kondycjonowanie osadów polielektrolitami poprawiło efektywność grawitacyjnego i mechanicznego odwadniania osadów ściekowych. Na sączku odwadnianie po zastosowaniu polielektrolitów wzrosło o 10-16% (najwyższa dawka) w porównaniu do osadów niekondycjonowanych. W tej samej metodzie uzyskano zwiększenie CSK i najwyższe wyniki wystąpiły w przypadku dawki 2,0 mg/g s.m. przy użyciu polimeru nr 3. Konsekwencją odwadniania na sączku było uzyskanie większej ilości przesączu. Najwyższe objętości uzyskano w przypadku serii z najwyższymi dawkami i wyróżniał się tutaj polimer nr 3 i 4. Odczyn filtratów oraz stężenie zawiesiny pod wpływem zastosowanych substancji nie zmienił się w odniesieniu do filtratu z osadów niekondycjonowanych. Uwodnienie osadów wykazywało tendencję spadkową o ponad 10% w przypadku dawki najwyższej (polimer 3 i 4). Również CSK wzrastał wraz z wzrostem dawek polimerów, największy wzrost o 30% tego wskaźnika uzyskano po zastosowaniu polimeru nr 3 w porównaniu do pozostałych. Opór właściwy filtracji uległ widocznemu obniżeniu po zastosowaniu wyższych dawek polimerów i najbardziej obniżeniu uległ ten parametr pod wpływem polimeru nr 1. Pod wpływem stosowanych polimerów wzrosła objętość filtratu o ponad 4 cm³ w przypadku nr 3 i 4, a pozostałych o 3 cm³. Kondycjonowanie osadów polielektrolitami nie wpłynęło na pH filtratów. Stężenie zawiesiny w filtracie było zróżnicowane. W teście z użyciem leja Buchnera zmniejszenie uwodnienia osadów najbardziej uległo obniżeniu po zastosowaniu polielektrolitów w dawkach najwyższych, wyróżniał się tutaj preparat nr 3. Wzrost podciśnienia z 0,01 MPa do wartości 0,02 MPa w niewielkim stopniu powodował obniżenie uwodnienia osadów kondycjonowanych. Wskaźnik CSK wzrastał pod wpływem dawek polimerów i najwyższy był po zastosowaniu 2 mg/g s.m., najbardziej z nr 3. Polielektrolity wpłynęły korzystnie na właściwości filtracyjne osadów. Rosnące ich dawki powodowały spadek oporu właściwego filtracji i wzrost ściśliwości osadów w pierwszym przypadku najsilniej działały polimery 3 i 4, a w drugim nr 3. Wzrost wartości podciśnienia nieco podwyższał opór właściwy w porównaniu do serii o niższej wartości. Stosowane polimery wpływały na objętość filtratu, który rósł proporcjonalnie do ich dawek i największą objętość uzyskano po zastosowaniu preparatu nr 3 i 4. Wartość pH nie uległa znaczącym zmianom pod wpływem polimerów i wartości podciśnienia w odniesieniu do pH osadów

niekondycjonowanych. Odnotowano niewielki wzrost stężenia zawiesiny w serii z podciśnieniem 0,01MPa, a niewielkie obniżenie z podciśnieniem 0,02MPa. Wykonanie badań z użyciem wirówki laboratoryjnej dowiodły wpływu na zmniejszenie uwodnienia osadów z użyciem elektrolitów szczególnie w dawkach wyższych i najlepszym okazał się polimer nr 3. Zwiększenie obrotów wirówki zmniejszyło uwodnienie osadów w niewielkim stopniu. Wskaźnik CSK wzrastał wraz z dawką polimerów, a wzrost obrotów wirówki nieco zwiększał wartość tego wskaźnika. W obu przypadkach najlepiej na jego wartość wpływały polielektrolity 3 i 4. Zwiększanie dawek polimerów skutkowało wzrostem objętości cieczy nadosadowej i najbardziej było to widoczne w przypadku polimerów 3 i 4. Zwiększenie obrotów wirówki w niewielkim stopniu zwiększało objętość cieczy. Odczyn cieczy nie ulegał zmianom w wyniku kondycjonowania osadów, a stężenie zawiesiny było zróżnicowane, ale odnotowano tendencję do mniejszego stężenia zawiesiny pod wpływem polimerów przy wyższych obrotach wirówki. Na zakończenie tego podrozdziału Autorka uszeregowała skuteczność oddziaływania polimerów na badane parametry i najskuteczniejszymi okazały się silnie kationowy nr 3 i bardzo silnie kationowy 4.

W etapie czwartym omówiono wyniki badań dotyczące procesów odwadniania i zagęszczania osadów przy zastosowaniu popiołów ze spalania czterech rodzajów biomasy oraz jednego polielektrolitu silnie kationowego Sedifloc 1050 CMMW. Łączne zastosowanie polimeru i popiołów powodowało zmianę parametrów osadów po ich kondycjonowaniu. CSK uległ znacznemu obniżeniu i spadek tego wskaźnika był najbardziej skuteczny przy najwyższych dawkach popiołów, a wśród popiołów wyróżniał się z elektrociepłowni i po spaleniu wierzby. Wzrósł odczyn kondycjonowanych osadów o ponad 5 jednostek dla osadu z popiołem z elektrociepłowni, a dla osadów z popiołem ze spalania słomy tylko o 2 jednostki. Wzrost pH zależał od dawki popiołów. Stosowane dawki popiołów współdziałając z polimerem wpływały na zmniejszenie uwodnienia osadów, które w przypadku najwyższych dawek zmniejszyło się o 2,5%. Najslabiej na odwodnienie wpływał popiół ze spalania wierzby, a pozostałe w sposób zbliżony. Stosowane popioły z polielektrolitem wpływały na poprawę właściwości sedymentacyjne osadów, co przedstawiono na krzywych zagęszczania. Najskuteczniejszym okazał się popiół z elektrociepłowni w dawce najwyższej, a pozostałe na ten parametr osadów oddziaływały podobnie. Popiół z elektrociepłowni w najwyższej dawce plus polimer skutecznie obniżał objętość i wysokość osadu. Dodatek popiołów i polimeru do osadów przyczynił się także do zwiększenia czasu zagęszczania osadu.

Zagęszczanie grawitacyjne osadów w tej serii badań wskazuje na niewielką skuteczność zmniejszenia uwodnienia poprzez łączne stosowanie polimeru i różnych popiołów.

Zmniejszenie uwodnienia osiągnięto zaledwie blisko 2% dla najwyższej dawki popiołu ze spalania wierzby i popiołu z elektrociepłowni.

W przypadku testu na sączku pod wpływem popiołów z polimerem uzyskano niewielkie zmniejszenie uwodnienia osadów już przy ich niższych dawkach. Po zastosowaniu najwyższych dawek uzyskano lepsze rezultaty o ponad 6% dla popiołu z elektrociepłowni i znacznie niższe dla pozostałych popiołów. Efektywność odwadniania ze względu na wartość CSK, który wzrastał wraz ze wzrostem dawki popiołów i najwyższy był po zastosowaniu popiołu z elektrociepłowni, a najniższy z popiołem drewna bukowego. Objętość filtratu uległa zmniejszeniu po zastosowaniu najwyższych dwóch dawek popiołów i głównie pod wpływem popiołów z elektrociepłowni i wierzby. Pod wpływem popiołów wrastała wartość pH filtratu od obojętnego do mocno zasadowego z najwyższą dawką popiołu z elektrociepłowni. Stężenie zawiesiny po zastosowaniu niższych dawek nie ulegało widocznym zmianom. Po zastosowaniu najwyższej dawki trzech popiołów pozyskanych z pieca domowego znacznie wzrosło, a wśród nich wyróżniał się popiół ze słomy.

Wyniki badań dotyczące odwadniania kondycjonowanych osadów popiołami i polimerem po procesie filtracji ciśnieniowej wskazują na ich korzystne działanie zwłaszcza wysokich ich dawek. Wartość wskaźnika CSK w tej części badań wzrastała wraz ze wzrostem dawek popiołów i największą wartość tego uzyskano po zastosowaniu popiołu z elektrociepłowni. Natomiast stosowane popioły obniżały opór właściwy filtracji najbardziej po zastosowaniu wysokich dawek popiołów, niezależnie od ich rodzajów. Przedstawione zostały zależności pomiędzy CSK po procesie filtracji, a oporem właściwym filtracji oraz uwodnieniem, a oporem właściwym w postaci regresji. Po zastosowaniu filtracji ciśnieniowej stwierdzono wzrost jego objętości pod wpływem współdziałania polimeru i popiołów głównie w ich wyższych dawkach. Największą objętość filtratu i wzrost jego odczynu odnotowano po zastosowaniu popiołu z elektrociepłowni, a najmniejszą z popiołem słomy. Pod wpływem popiołów ze spalania biomasy w kotle domowym odnotowano wzrost stężenia zawiesiny w filtracie wraz ze wzrostem ich dawek. Popiół z elektrociepłowni nie miał wpływu na stężenie zawiesiny w filtracie.

Filtracja próżniowa kondycjonowanych osadów popiołami i elektrolitem przyczyniła się do znacznego ich odwodnienia o blisko 20%. Zmniejszenie uwodnienia zależało od dawki i rodzaju popiołu. Najskuteczniejszym był popiół z elektrociepłowni z dodatkiem polimeru. Wzrost podciśnienia do wartości 0,02 MPa powodował zmniejszenie uwodnienia o kolejne blisko 7% po zastosowaniu popiołu z elektrociepłowni z dodatkiem polimeru. Wartość wskaźnika CSK rosła wraz ze wzrostem dawek popiołów. Wzrost podciśnienia powodował

dalszy wzrost tego wskaźnika głównie po zastosowaniu wysokich dawek popiołu z elektrociepłowni. Opór właściwy filtracji w tej części badań uległ znacząco obniżeniu. Zwiększenie wartości podciśnienia nieco podwyższało opór właściwy filtracji w stosunku do podciśnienia niższego. Natomiast odnotowano wysoką ściśliwość osadów i była ona wyższa po zastosowaniu wyższych dawek popiołów z polimerem. Najwyższy wzrost tego parametru wystąpił po zastosowaniu popiołu z elektrociepłowni z polimerem. Zależności tych dwóch parametrów, a popiołami potwierdzono wykresami i równaniami regresji. W procesie tym objętość filtratu była wyższa po zastosowaniu popiołów z wyjątkiem popiołu z wierzby, gdzie objętość filtratu była niższa po zastosowaniu jego dawek wyższych. Wzrost podciśnienia podwyższał objętość filtratu głównie po zastosowaniu popiołu z elektrociepłowni i ze słomy. Odczyn filtratu zależał od rodzaju popiołu i wysokości dawek. Najkorzystniej na wzrost pH wpływał PE z elektrolitem oraz popiół z wierzby w najwyższych dawkach. Odnotowano niewielki wzrost stężenia zawiesiny w filtracie pod wpływem popiołów i polimeru. Wzrost podciśnienia w większości powodował mniejsze stężenie zawiesiny.

Aplikacja popiołów w najwyższych dawkach z polimerem do osadów przyczyniła się do spadku ich odwodnienia od kilku do kilkunastu procent przy użyciu wirówki. Największe odwodnienie osadów odnotowano po aplikacji popiołu z elektrociepłowni. Wzrost obrotów poprawił proces odwodnienia o kilka procent. Wraz ze wzrostem dawki popiołów wzrastał CSK i najwyższą jego wartość odnotowano po zastosowaniu PE z polimerem przy wyższych obrotach wirówki. Na podstawie wyników uwodnienia i CSK wyznaczono liniową zależność. Objętość cieczy nadosadowej i jej pH rosła wraz ze wzrostem dawki popiołów głównie w przypadku popiołów z elektrociepłowni i z wierzby. Zwiększenie obrotów wirówki przyczyniło się do wzrostu objętości cieczy ale w przypadku zastosowania niższych dawek popiołów, nie miało wpływu na wartość pH. Wzrosło stężenie zawiesiny po aplikacji popiołów i polimeru, a najbardziej w przypadku słomy z pszenicy. Wzrost obrotów wirówki powodował wzrost stężenia zawiesiny pod wpływem popiołu ze słomy i drewna bukowego. Na końcu tego rozdziału Autorka uszeregowała działanie stosowanych substancji wg najkorzystniejszego ich działania na proces odwadniania osadów. Najkorzystniej działał PE +polimer, a najsłabiej PS+ polimer.

W rozdziale piątym przedstawiono analizę porównawczą wpływu wyników uzyskanych w etapach II,III i IV. W rozdziale tym przedstawiono wyniki dotyczące wartości CSK pod wpływem działania najwyższych dawek popiołów, polielektrolitów oraz popiołów z dodatkiem polielektrolitu nr4. Zastosowanie popiołów skutkowało obniżeniem CSK nawet 85% w przypadku zastosowania popiołu z elektrociepłowni, najmniejszy efekt osiągnięto po

zastosowaniu popiołu ze słomy pszennej. Wśród polielektrolitów wyróżniał się 3 i 4, a w przypadku łącznego stosowania wyróżniał się popiół z elektrociepłowni plus polimer nr 4. Właściwości puculanowe popiołów wpływały na odwodnienie osadów w procesie kondycjonowania bardziej niż polielektrolity przemysłowe. Łączne stosowanie popiołów z polielektrolitem odwadniały osady słabiej niż same popioły ale znacznie lepiej niż polielektrolity. Stosowane substancje w postaci popiołów oraz popiołów z polimerem podnosiły znacznie odczyn osadów i największy wpływ na ten parametr miał popiół z elektrociepłowni. Przemysłowe polimery nie miały wpływu na odczyn osadów.

Uzyskano poprawę skuteczności zagęszczania kondycjonowanych osadów różnymi substancjami. Najlepsze efekty uzyskano po zastosowaniu polimerów przemysłowych (3 i 4), nieco słabsze w dualnym działaniu popiołów i polimeru (popiół z wierzby+polimer4 i popiół z elektrociepłowni + polimer4), a najniższe po zastosowaniu różnych popiołów.

Odwadnianie na sączku najskuteczniejsze okazało się po kondycjonowaniu osadów polielektrolitem nr3 i łącznie popiołem z elektrociepłowni z polimerem nr4. Pozostałe popioły bez polielektrolitu i z polielektrolitem oraz polielektrolity nr 1,2,4 wpływały na proces odwadniania słabiej. W przypadku stosowania filtru ciśnieniowego największy ubytek wody odnotowano dla próbek osadów z popiołem z elektrociepłowni z polimerem nr 4, z samym polimerem nr3, a wśród samych popiołów wyróżniał się PE, ale efekt był niższy o kilka procent. W przypadku odwadniania osadów metodą podciśnienia najlepsze rezultaty uzyskano pod wpływem łącznego stosowania PE +polimer nr4 i PW+ polimer nr4. Wśród popiołów najkorzystniej działał PE, a polimerów nr3. Podniesienie podciśnienia do 0,02 PMa w każdym przypadku obniżało uwodnienie osadów o kilka procent. Zastosowanie wirówki do odwadniania kondycjonowanych osadów powodowało największy ubytek wody w próbce z PE +polimer nr4 i popiołu PW + polimer nr4, zarówno przy niższych jak i wyższych obrotach wirówki. Wysoki poziom odwadniania osiągnięto w przypadku zastosowania PE ale przy wyższych obrotach wirówki. Po analizie porównawczej Autorka twierdzi, że w procesie odwadniania osadów można ograniczyć chemiczne kondycjonowanie osadów lub z nich zrezygnować na rzecz aplikacji popiołów ze spalania biomasy.

W etapie V zamieszczono wyniki badań dotyczące wpływu popiołów ze spalania biomasy na skład mikrobiologiczny osadów. Na początku rozdziału zasugerowano że obecność wapnia, sodu i potasu w popiołach z biomasy może wpłynąć na higienizację osadów poprzez wzrost ich odczynu. Działanie popiołów stosowanych w czterech dawkach(5-30g/dm³) porównano do higienizacji wapnem palonym (CaO) w trzech dawkach (3,15, 30g/dm³). Po zastosowaniu niskich dawek popiołu z wierzby drzewna bukowego uzyskano

niewielki stopień destrukcji mikroorganizmów chorobotwórczych. Największy stopień destrukcji uzyskano po stosowaniu PE w dwóch najwyższych dawkach i był porównywalny do działania wapna w dawce 15 g/dm^3 . Najmniej efektywny niezależnie od dawki był popiół z wierzby i słomy pszennej. Wyniki poparte zostały analizą statystyczną zależności liczebności mikroorganizmów w osadach, a jego odczynem po zastosowaniu popiołów z biomasy. Przedstawiono także w postaci wykresu działanie trzech dawek wapna na stopień degradacji mikroorganizmów i podkreślono że najwyższy efekt uzyskano po zastosowaniu najwyższej dawki CaO. Na zakończenie tego rozdziału Autorka stwierdziła że teza nr 2 została potwierdzona, że popioły w znacznym stopniu przyczyniają do higienizacji osadów ściekowych. Jednak podkreśla że każda partia osadów kierowana do środowiska glebowego powinna być badana na obecność *Salmonelli sp.* i jaj *Ascaris*.

W etapie VI (rozdział 9.7.) podano wyniki dotyczące badań właściwości reologicznych kondycjonowanych osadów popiołami ze spalania biomasy w elektrociepłowni czterema różnymi dawkami i dla porównania polimerem nr 4 w zmniejszonej dawce 1 mg/g s.m. . Określono je na podstawie krzywych płynięcia, a do ich opisu zastosowano model potęgowy Ostwalda-de Waele'a. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem prędkości ścinania rosła wartość naprężeń stycznych. Dodatek popiołów poprawiał nieco ten parametr. Natomiast dodatek do osadów polielektrolitu 4 powodował niższe wartości naprężeń stycznych w zakresie prędkości ścinania w porównaniu do osadów niekondycjonowanych i osadów kondycjonowanych popiołami. Dalsze badania wykazały spadek lepkości wraz ze wzrostem prędkości ścinania osadów niekondycjonowanych jak i kondycjonowanych popiołami. Jednak nie stwierdzono wyraźnej zależności od dawek popiołów. Natomiast osady z polielektrolitem miały mniejszą lepkość niż pozostałe. Stwierdzono istotną zależność pomiędzy lepkością, a spadkiem uwodnienia osadów oraz pomiędzy lepkością, a wartością CSK dla wyższych prędkości ścinania. Uzyskane pętle histerezy wskazują na właściwości tiksotropowe osadów. W oparciu o pętle histerezy wyznaczono indeksy tiksotropii, które dla osadów z niższymi dawkami popiołu były wyższe niż dla osadów bez popiołu, a przy zastosowaniu dawek wyższych i polielektrolitu były niższe. Niższe indeksy tiksotropii jak twierdzi Autorka wskazują na bardziej stabilną strukturę osadów. Analiza statystyczna wykazała na zależności pomiędzy wskaźnikiem tiksotropii, a spadkiem uwodnienia i zmniejszeniem wartości CSK. W posumowaniu tego rozdziału podkreślono udowodnienie tezy nr3, że kondycjonowanie osadów popiołami z biomasy wpłynęło na zmianę parametrów reologicznych osadów. Wyniki z tej analizy należy brać pod uwagę przy ocenie wpływu popiołów na proces odwadniania

osadów. Zmiana tych parametrów może przyczynić się do trudności w eksploatacji urządzeń do transportu osadów i ich odwadniania.

Wyniki etapu VII (rozdział 9.8) dotyczyły oceny wpływu popiołów ze spalania biomasy na efektywność odwadniania osadów w skali technicznej. Badania zostały wykonane w oczyszczalni ścieków w Świlczy. Badano te same parametry osadów jak w warunkach laboratoryjnych czyli uwodnienie, CSK oraz ogólną zawartość mikroorganizmów. Proces odwadniania w oczyszczalni prowadzony jest przy użyciu prasy filtracyjno-taśmowej i wspomagany jest polielektrolitem Propam Ebo 4800w dawce $24 \text{ dm}^3 / \text{m}^3$. W tabeli 9.14 podano parametry osadów -średnie z pięciu lat. Do badań wybrano popiół z elektrociepłowni w dwóch dawkach i popiół +polielektrolit i dla porównania osad niekondycjonowany i osad z polielektrolitem. Stwierdzono, że największy spadek uwodnienia osadów uzyskano po zastosowaniu wyższej dawki popiołu, nieco gorszy wynik uzyskano dla osadu z popiołem i polielektrolitem. Wartość CSK wykazała tendencję wzrostową po zastosowaniu poszczególnych substancji. Najwyższa wartość wystąpiła w osadzie z polielektrolitem, a znacznie niższa po zastosowaniu obu dawek popiołu i popiołu z polielektrolitem. Wskazuje to na możliwość poprawy tego wskaźnika poprzez stosowanie wyższych dawek popiołu do kondycjonowania osadów. Wykazano także wpływ popiołu na liczebność mikroorganizmów w osadach. Pod ich wpływem przy dawce $30 \text{ g} / \text{dm}^3$ zmniejszyła się liczebność o ponad 50%w porównaniu do osadów bez popiołu i wynik ten był porównywalny do działania wapna w ilości $3 \text{ g} / \text{dm}^3$. Popiół z polielektrolitem działał słabiej i był zbliżony do działania dawki niższej popiołu.

Etap VIII (rozdział 9.9) poświęcony został analizie ekonomicznej kondycjonowania osadów ściekowych popiołami ze spalania biomasy. Analizę oparto o dane z oczyszczalni w Świlczy. Uwzględniono koszty inwestycyjne i eksploatacyjne związane z dawkowaniem popiołu z elektrociepłowni w Krośnie. Całość odniesiono do kosztów jakie ponosi oczyszczalnia na chemiczne kondycjonowanie osadów przy użyciu stosowanego polielektrolitu Propam Ebo4800. W kosztach inwestycyjnych wzięto pod uwagę koszt silosu na popioły i urządzeń do dawkowania i przenoszenia popiołu. W kosztach eksploatacyjnych występuje koszt transportu popiołu z oddalonego o 70 km Krosna do oczyszczalni. Po uwzględnieniu ilości wygenerowanych osadów w Świlczy na poziomie 562 Mg s.m. na rok koszty odwadniania osadów przy użyciu $30 \text{ g} / \text{dm}^3$ w pierwszym roku wynosi 81,20zł/Mg s.m. osadu, przy dawce $15 \text{ g} / \text{dm}^3$ 76,41zł/Mg. s.m. osadu. W następnych latach koszt będzie wynosił odpowiednio 10,03 i 5,23 zł / Mg s.m. osadu. Natomiast koszt zastosowanego polimeru wynosi 25,79 zł/ Mg s.m. osadu. Wykorzystanie popiołu do odwadniania osadów jak podaje

Autorka jest także konkurencyjne pod względem ekonomicznym w porównaniu do stosowania środków chemicznych.

Całość została zakończona obszernym podsumowaniem, w którym na początku nawiązano do procesów przeróbki osadów, które są odpadem trudnym do odwadniania i zagęszczania, dlatego procesy te poprzedza się kondycjonowaniem. Najczęściej wykorzystuje się drogie polielektrolity. Do tego celu jak podnosi Autorka można wykorzystać inne odpady, bezpieczne ze względu na ich właściwości jakimi są popioły ze spalania biomasy, która w naszym kraju stanowi największy odsetek jako źródło energii odnawialnej. Na podstawie uzyskanych wyników badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej do kondycjonowania osadów można polecić popioły ze spalania biomasy. Ze względu na ich właściwości fizykochemiczne jak analiza granulometryczna, powierzchnia właściwa, porowatość i niską zawartość metali ciężkich występujących w formach niemobilnych są przydatne do poprawy efektywności zagęszczania i odwadniania osadów. Obecność w nich w dużej ilości pierwiastków alkalicznych popioły nie tylko alkalizują osady spełniając znaczącą rolę w ich higienizacji porównywalną do CaO. Stosowanie popiołów może częściowo lub w niektórych przypadkach całkowicie zastąpić przemysłowe polimery używane do kondycjonowania osadów. Potwierdzają to badania reologiczne osadów, które wskazują na większą wytrzymałość flokuł osadów kondycjonowanych popiołami w porównaniu do stosowanych polimerów. Badania laboratoryjne w pewnej części zostały potwierdzone badaniami w skali technicznej na działającej oczyszczalni w Świlczy. Za stosowaniem do odwadniania osadów popiołów przemawia analiza ekonomiczna wykonana dla w/w oczyszczalni. Autorka podkreśla że koszt inwestycji, które poniesie oczyszczalnia w przypadku wprowadzenia do kondycjonowania osadów popiołami zwróci się po pięciu latach, co wynika z niższego o ponad 50% kosztu jednostkowego po zastosowaniu popiołu w porównaniu do przemysłowego polielektrolitu. Autorka podkreśla że osad kondycjonowany popiołami ze względu na wartość nawozową może być stosowany jako nawóz. Całość zakończono dwunastoma wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych badań. Pod wnioskami Autorka zawarła sugestie o potrzebie prowadzenia dalszych badań nad procesami przeróbki osadów przy użyciu różnych odpadów, między innymi makulatury. Podkreśla, że ważne są testy roślinne, które będą nawożone kondycjonowanymi osadami przy użyciu odpadów. Ważne jest do tego celu użycie odpowiedniego urządzenia do rozprowadzenia osadów po powierzchni, lub pod powierzchnię gleby które zespół badawczy w którym autorka pracuje jest w stanie zaprojektować.

Uwagi do pracy:

Wstęp i Część teoretyczna oparta o literaturę została napisana prawidłowo i obejmuje przegląd dotychczasowych badań związanych z problematyką osadów ściekowych, a szczególnie ich przeróbką oraz ubocznymi produktami ze spalania i możliwością ich wykorzystania do kondycjonowania osadów. Cała część teoretyczna nawiązuje do przeprowadzonych badań przez Doktorantkę, a jednocześnie wskazują na brak badań z zakresu kondycjonowania osadów materiałami odpadowymi, które w znacznej mierze wypełniły badania przeprowadzone przez Doktorantkę. Napisana jest w sposób jasny i zrozumiały w oparciu o literaturę polskich badaczy i zagranicznych. Uwagi do części teoretycznej:

1. Na stronie 22 wyrażenie „stężenie” azotu w osadach jest niewłaściwe, bo stężenie dotyczy ośrodków płynnych, a w osadów należy używać zawartość.
2. Na stronie 57 został zamieszczony wykres, w którym podano zużycie biomasy w elektrowniach i elektrociepłowniach i dane dotyczą lat 2005-2012. Od 2012 minęło już 5 lat, czy nie mogła Autorka podać bardziej aktualnych danych?
3. Str. 64 nie należy używać pojęcia makroskładniki i mikroskładniki, a makroelementy i mikroelementy, z których niektóre mogą być pierwiastkami śladowymi. Podobnie na str. 69 podano że w grupie mikroelementów znajdują się S, Mg, P, Cl, Na. Wszystkie wymienione zalicza się do makroelementów. Druga grupa nazwana pierwiastkami śladowymi to mikroelementy będące niezbędnymi dla roślin. Na tej samej stronie nazwa biogeny dotyczy dwóch składników pokarmowych azotu i fosforu. Należało użyć sformułowania składników pokarmowych dla roślin.
4. Na str. 79 użyto słów „zamknięcie obiegu pierwiastków w lokalnym ekosystemie”. Nie bardzo jest jasne pojęcie lokalnego ekosystemu, a poza tym nie da się zamknąć obiegu pierwiastków w ekosystemach zmienionych przez człowieka, w tym agroekosystemach.

Założenia do pracy składają się z celów i tez oraz zakresu. Jednak cele szczegółowe nie obejmują wszystkich zrealizowanych badań. Nie wspomniano o kondycjonowaniu osadów przy użyciu polielektrolitów i łącznego ich stosowania z popiołami. Podobnie tezy nie obejmują polielektrolitów i dualnej metody kondycjonowania osadów. Nie zawarto także w tezach ekonomicznej analizy, która w konsekwencji podnosi wartość rozprawy. Natomiast zakres badań jest bez zarzutu.

Część doświadczalna w większości została przedstawiona prawidłowo, ale nasuwają się następujące uwagi;

1. Na str. 85 wymieniono materiał badawczy w postaci popiołów z elektrociepłowni, ale brakuje informacji o biomase która została tam spalana. Wyniki wskazują na znaczne różnice w właściwościach tego popiołu w porównaniu do pozostałych i dlatego należy podać z jakiego rodzaju biomasy powstał popiół. Brak jest temperatury spalania biomasy w piecu domowym.

2. Na str. 96 zostały podane dawki popiołów stosowane do kondycjonowania osadów. Pytanie brzmi czym kierowano się przy ustalaniu dawki 5 i 7,5 g/dm³. ponieważ pozostałe jak 7,5, 15 i 30 są krotnością poprzedniej i można tak było przyjąć, ale w przypadku dwóch niższych takiej zależności nie ma.

4. Str. 99 brak czasu pracy wirówki.

5. Czym kierowano się w wyborze do badań czterech polielektrolitów i dlaczego nie włączono do tych badań tego który stosowany był do odwadniania osadów w oczyszczalni.

6. Dlaczego do badań dualnych wybrano polielektrolit SEDIFLOC 1050 CMMW oznaczony jako 4, a z badań wynika że nr 3 na większość parametrów działał lepiej. W tej metodyce powtórzono trzy dawki popiołów jak w przypadku samego stosowania popiołów, a ostatnią dawkę zmniejszono z 30 do 22,5 g/dm³. Dlaczego tak postanowiono? Na str. 101 zaproponowano dawki polimeru i popiołów, w dwóch różnych jednostkach: polimery w mg/g s.m., a popioły w g/dm³.

7. W metodyce brakuje wzmianki n.t. analizy porównawczej wyników podanych w rozdziale 9.5. Brak jest wyjaśnienia czy wyniki w tej analizie do średnich z dawek stosowanych popiołów i polielektrolitów czy dawek np. najwyższych. To podano pod rysunkami w omówieniu wyników.

8. Brak omówienia metod statystycznych jakie zastosowano do oceny wyników badań. Metodyka powinna być spójna z przeglądem literatury, co w dużej mierze Autorce się udało. Drugim elementem dobrze napisanej metodyki jest spójność omówienia wyników badań i ten element nie udało się w pełni.

Wyniki badań podzielono na etapy, których nie zaznaczono w metodyce. Uważam że taki podział jest zbędny, należało zostawić tylko numery podrozdziałów podrozdział 9.1 itd.

1. Na str.115 podano że „głównymi czynnikami warunkującymi charakterystykę chemiczną popiołów jest rodzaj spalanej biomasy oraz zastosowana technologia spalania”. To stwierdzenie nie do końca jest prawdziwe. Technologia spalania wierzby energetycznej, drewna bukowego i słomy była zbliżona i tu technologia tych popiołów nie różnicowała, tylko rodzaj biomasy. Inną technologię stosowano w elektrociepłowni, ale tu z kolei nie znamy rodzaju spalanej biomasy.

2. Wyjaśnienia wymagają wyniki zamieszczone w tabelach 9.4, 9.5, 9.6, 9.7. Podano w nich skład chemiczny popiołów w mg/g i okazuje się że np. wapnia było 2055,7mgCa /g, czyli dwukrotnie przewyższa gram wobec którego odnosimy wyniki. Mg jest tysięczną częścią grama, zatem skąd takie błędy, a składnik ten miał fundamentalne znaczenie dla higienizacji osadów.
 3. Nie bardzo jest zrozumiały komentarz na str.119 dotyczący obecności w popiele z elektrociepłowni metali ciężkich cyt. „Ich obecność w badanej próbce popiołu wynika prawdopodobnie z przemysłowego pochodzenia spalanej w elektrociepłowni biomasy. Proszę wyjaśnić co oznacza biomasa przemysłowa, bo rośliny rosną w większości na glebie, a nie w przemyśle, a może ten popiół pochodził z współspalania.
 4. Należy pokreślić że wartością dodaną w tym rozdziale jest analiza skaningowa popiołów, co wyjaśnia różnice ich parametrów fizycznych, a analiza dyfraktometrii rentgenowskiej zróżnicowanie mineralogiczne popiołów.
 5. Na rys. gdzie podano przyrost wartości pH osadów w procentach pod wpływem dodanych popiołów np. str.122, uważam za niewłaściwe. Lepiej było pokazać wzrost wartości pH w jednostkach, a nie w procentach.
 6. Wyjaśnienia wymagają zróżnicowane wartości parametrów nie kondycjonowanych, czyli przyjętej jako próba zerowa w stosunku do której porównywano wyniki parametrów osadów kondycjonowanych i dlatego pokolorowano te próbki tak samo jak te z popiołami.
 7. Brak wyników dla próby zerowej na rys. 9.6, 9.7, 9.8 b,
 8. Powtarzające się słowo „proporcjonalność” przy porównywaniu zależności cech jest niewłaściwe. Należy pisać wystąpiła zależność jednej cechy od drugiej bądź nie wystąpiła.
 9. W tabeli 9.12 podano dawki popiołów a nie oddzielono dawek CaO, które trudno zaliczyć do popiołów.
 10. Wyjaśnienia wymaga podanie w tab.9.14 zawartości s.m. w osadach oczyszczalni w Świlczy 11,2 do 61,2, a w tekście ten zakres występuje jako uwodnienie osadów. Jeżeli osady zawierają tak dużo suchej masy to po co je odwadniać?. Odwadnia się osady, które zawierają kilka % s.m.
- Dyskusja wyników nie jest zbyt rozbudowana i lepiej byłoby dla wartości rozprawy umieszczenie jej w odrębnym rozdziale razem z posumowaniem. Szkoda że Autorka nie zastosowała innych metod statystycznych, szczególnie do udowodnienia wzajemnego wpływu cech analizowanych osadów na proces odwadniania. Niestety spis literatury nie jest zgodny z cytowaną w tekście.

Podkreślić należy wielowątkowość rozprawy, co nie ułatwia bezbłędnego opracowania. Wprowadzenie badań popiołów przy wykorzystaniu mikroskopu skaningowego, badań reologicznych osadów jest wartością dodaną tej rozprawy. Ważnym jest rozdział związany z badaniami w oczyszczalni, co pozwoliło Autorce choć w części przenieść doświadczenie laboratoryjne na obiekt rzeczywisty. Cenną jest analiza ekonomiczna, która może przekonać eksploatatorów do zmian w technologii przeróbki osadów.

Na pewno część uwag ma charakter dyskusyjny, część należy wyjaśnić, a niektóre fragmenty pracy doprecyzować. Pracę uważam za bardzo pracowitą i wnoszącą nowe wartości w dyscyplinę Inżynieria Środowiska.

Oceniana rozprawa świadczy o dużych umiejętnościach Doktorantki w organizowaniu badań, opanowaniu metod badawczych oraz możliwościach samodzielnego postawionego celu badawczego i właściwego wnioskowania na podstawie dużej ilości wyników. Treść ocenianej pracy kwalifikuje mgr Martę Wójcik do ubiegania się o stopień doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska w pełni odpowiada wymaganiom określonym w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule sztuki (Dz. U. Nr.65 poz. 595) . Stawiam wniosek o przyjęcie pracy **mgr inż. Marty Wójcik p.t. „ Analiza efektywności kondycjonowania osadów ściekowych popiołami ze spalania biomasy”** jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Autorki do publicznej obrony.

Białystok, 31.01.2018 r.

Prof. dr hab. Józefa Wiater