

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Szczepana Bielatowicza
pt. „Geoinformatyczny model gospodarki osadami ściekowymi i odpadami
komunalnymi na przykładzie Województwa Śląskiego”

Podstawą formalną niniejszej recenzji jest uchwała Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechniki Śląskiej w Gliwicach, z dnia 25.01.2019 oraz pismo (RIE BD/4/247/2018/2019) Pani Prodzikan Wydziału ds. Nauki i Organizacji, dr hab. inż. Joanny Kalki, z dnia 18.02.2019.

Recenzowana rozprawa mgr inż. Szczepana Bielatowicza została napisana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Krzysztofa Gaski na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Praca dotyczy możliwości opracowania modelu geoinformatycznego gospodarki osadami ściekowymi i odpadami komunalnymi w wybranym regionie. Wciąż rozbudowywane przepisy prawne w zakresie inżynierii środowiska, a w szczególności gospodarki odpadami generują problemy administracyjne oraz logistyczne w rozwiązywaniu zagadnień dotyczących szeroko pojętej gospodarki komunalnej. Omawiana w pracy tematyka stanowi jeden z elementów gospodarowania odpadami, łatwy i dopracowany technologicznie, ale administracyjnie wciąż wymagający wielu decyzji, często nie tylko na poziomie lokalnym czy wojewódzkim, ale na poziomie samej instalacji. Zaproponowany model geoinformatyczny może stanowić rozwiązanie rozległych i wieloaspektowych systemów gospodarki osadami ściekowymi oraz odpadami komunalnymi.

Zasadność podjęcia tematyki

W europejskiej hierarchii postępowania z odpadami swoje miejsce mają m. in. procesy odzysku energii i recyklingu organicznego. W świetle zapisów dyrektywy „składowiskowej” [1999/31/WE] Państwa Członkowskie powinny ustanowić strategię krajową dotyczącą zmniejszenia ilości odpadów ulegających biodegradacji, które trafiają na składowiska.

Strategia taka wskazuje na konieczność redukcji ilości odpadów, w szczególności poprzez recykling, kompostowanie, produkcję biogazu i odzyskiwanie materiałów i energii.

Komisja Europejska przyjęła w dniu 2 grudnia 2016 roku nowy, ambitny pakiet dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym ułatwiający europejskim przedsiębiorstwom i konsumentom przejście na silniejszą gospodarkę o zamkniętym obiegu, w której zasoby wykorzystuje się w bardziej zrównoważony sposób. Działania takie pozwalają przynieść kolejne korzyści środowisku i gospodarce, zapewnią wykorzystanie surowców i energii, przyczyniając się przy tym do oszczędności i zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, ale stanowiąc będą kolejne wyzwania w zakresie odzysku, recyklingu i konieczności przetwarzania odpadów biodegradowalnych, w tym również osadów ściekowych.

W Polsce obecnie powstaje bardzo dużo inicjatyw, technologii i nakazów administracyjnych dotyczących konieczności zagospodarowania komunalnych odpadów biodegradowalnych i w zasadzie można powiedzieć, że kwestie ich odzysku i recyklingu w znacznej mierze są rozwiązane. W myśl ustawy z dnia 1 lipca 2011 roku o zmianie ustawy o *utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych* ustaw (Dz. U. z 2013 poz. 1399 z późn. zm.) gminy są zobowiązane do realizacji zadań polegających m. in. na zapewnieniu budowy, utrzymania i eksploatacji regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów, jak również są zobowiązane do organizacji zbiórki i unieszkodliwiania odpadów komunalnych w taki sposób, by ograniczyć masę odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania, (do dnia 16 lipca 2020 r.) do poziomu 35% wagowo masy odpadów komunalnych ulegających biodegradacji przekazywanych do składowania w roku 1995. Procesy biologicznego przetwarzania odpadów oraz termicznego przekształcania odpadów obwarowane są zapisami restrykcyjnie określającymi możliwości składowania odpadów biodegradowalnych po przetworzeniu; przede wszystkim w zakresie ubytku masy organicznej w odpadach przetworzonych, czy wartością opałową składowanych odpadów po procesach przetwarzania.

Osady ściekowe jako odpad biodegradowalny to problem większości krajów europejskich, Polski również. Z uwagi na charakter oczyszczanych ścieków, osady z oczyszczalni ścieków komunalnych i oczyszczalni przemysłowych mogą mieć różne charakterystyki, często mało stabilne i znacznie zróżnicowane. Komunalne osady ściekowe charakteryzują się występowaniem sporej zawartości związków organicznych, mikrozanieczyszczeń, obecnością organizmów chorobotwórczych, niską zdolnością do oddawania wody przy jej dużej zawartości oraz uciążliwością odorową. Przemysłowe osady ściekowe charakteryzują się bardzo zmiennym składem, zależnym od zastosowanych

procesów technologicznych oraz stosowanych zabiegów mechanicznych. Ponadto zawierają zwykle więcej metali ciężkich i innych substancji niebezpiecznych. Ogólnie mówiąc, osady ściekowe charakteryzują się wysokim uwodnieniem (ponad 99 % dla osadów surowych, 80 - 55 % dla osadów odwodnionych, poniżej 10 % po termicznym suszeniu), wysoką zawartością związków organicznych (szacuje się, iż jest to około 75 % dla osadów surowych, 45- 55 % dla osadów ustabilizowanych), wysoką zawartością związków azotu (2 - 7% s.m.) oraz niższą zawartością fosforu i potasu. Dotychczas, główną metodą zagospodarowania komunalnych i przemysłowych osadów ściekowych było ich zagospodarowanie poprzez składowanie na składowiskach odpadów. Jest to metoda najprostsza i wydaje się być ekonomicznie uzasadniona, gdyż dotychczas składowanie osadów ściekowych było metodą najtańszą, wśród metod dostępnych na rynku. W zależności od formy, w jakiej są przekazywane do unieszkodliwienia, osady ściekowe mogą być termicznie przekształcane w spalarniach lub współspalarniach odpadów (m.in. w cementowniach), poddane odzyskowi w kompostowniach lub biogazowniach, bądź też wykorzystane bezpośrednio na powierzchni ziemi do ulepszania gleby, po ich uprzednim ustabilizowaniu. O ile duże oczyszczalnie zazwyczaj mają rozwiązane problemy administracyjne w zakresie gospodarki odpadami (w tym osadami ściekowymi) o tyle niewielkie jednostki zazwyczaj działają na podstawie umów zleceń w zakresie wywożenia i unieszkodliwiania osadów z oczyszczalni ścieków. Zmieniające się i wciąż zaostrzane regulacje prawne wymuszają zmiany w dotychczasowym postępowaniu z osadami ściekowymi. Zapisy w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami już od 2014 wskazują, iż należy podejmować działania dążące do ograniczania składowania osadów, poprzez zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przetwarzanych przed wprowadzeniem do środowiska oraz osadów przekształcanych metodami termicznymi oraz maksymalizację stopnia wykorzystania substancji biogenych zawartych w osadach przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego i chemicznego.

Cały kompleksowy system gospodarowania osadami ściekowymi wymaga rozwiązań dużych, wieloaspektowych i wielozadaniowych. Wskazane rozwiązania i narzędzia muszą być pomocne zarówno dla oczyszczalni komunalnych, jak i przemysłowych, małych i dużych jednostek, powinny uwzględniać bezpieczeństwo środowiskowe w zakresie logistycznym, administracyjnym, wskazywać możliwości przetworzenia, gwarantując ostateczne składowanie, wykorzystanie energii lub związków biogenych, powinny uwzględniać koszty całego systemu, bilansować strumień odpadów ze wszystkimi jego charakterystykami oraz dodatkowo pozwalać na uwzględnienie specyfiki regionu.

Podjęta tematyka należy bez wątpienia do aktualnych i ważnych, a jednocześnie bardzo wymagających z uwagi na istniejące już opracowania w zakresie przetwarzania osadów ściekowych i możliwości ich wykorzystania. Recenzowaną dysertację można uplasować w głównym nurcie badań nad osadami ściekowymi i odpadami.

Wykorzystanie technologii GIS wydaje się doskonałym rozwiązaniem dla opracowania interdyscyplinarnego w tym zakresie. Pozwala na osadzenie występujących w systemie obiektów, zdarzeń, daje możliwość wykorzystania cyfrowych map terenu (wektorowych, rastrowych) analizowanego obszaru wraz z uwzględnieniem jego specyfiki, daje możliwość prowadzenia analiz przestrzennych w rzeczywistej przestrzeni geograficznej. Ujęcie geograficzne rozważanych zagadnień ułatwia wskazanie metod odzysku lub recyklingu jako elementów w zamykaniu obiegów energetycznych (lub materiałowych) w regionie, a tym samym na wpisanie się w trend gospodarki o obiegu zamkniętym.

Cel pracy i metodyka badawcza

Celem pracy było opracowanie geoinformatycznego modelu systemu gospodarki osadami ściekowymi i odpadami komunalnymi w aspekcie wykorzystania ich potencjału energetycznego i z uwzględnieniem uwarunkowań logistycznych regionu. Wykorzystanie technologii GIS pozwoliło na opracowanie georelacyjnej bazy danych zawierającej atrybuty odwzorowania przestrzennego lokalizacji oczyszczalni ścieków oraz dane nie posiadające atrybutów odwzorowania przestrzennego, tj. strumieni i właściwości osadów ściekowych w wybranym okresie czasowym. Metodyka pracy polegała na wyznaczeniu, w oparciu o założone parametry technologiczne osadów ściekowych i dane georelacyjne, najdogodniejszych obszarów dla budowy spalarni z odzyskiem energii oraz wykorzystania jej na potrzeby energetyczne regionu.

Cel pracy sformułowany został jasno i prawidłowo. Metodyka pracy jest prezentowana w kilku rozdziałach, ale nie stanowi jednego spójnego punktu. Pomimo tego, jest przedstawiona w dość przejrzysty i zrozumiały sposób.

Struktura rozprawy i jej zawartość merytoryczna

Recenzowana praca obejmuje 63 strony tekstu oraz dodatkowo 230 załączników, streszczenie w językach polskim i angielskim. Załączniki stanowią integralną część pracy, a ich analiza i szeroko zaprezentowany przykład aplikacyjny stanowi niezwykle cenny przykład case study. Praca zawiera 39 rysunków, 10 tabel oraz bibliografię liczącą 59 pozycji. W omawianej dysertacji znalazły się wszystkie niezbędne jej komponenty, a mianowicie:

przeгляд stanu wiedzy, cel pracy, założenia modelu, zestawienie danych, opis modelu oraz algorytmów optymalizacji dyskretnej, walidacja modelu na podstawie przyjętych założeń, wnioski końcowe i bibliografia.

W krótkim wstępie Autor zarysował kontekst tematyki, podkreślając złożoność tematu, którym się zajął. W kolejnym rozdziale zaprezentowany jest stan wiedzy w omawianym zakresie. Rozdział podzielony na 3 podrozdziały porządkuje stan wiedzy właściwej dla analizowanych zagadnień w zakresach: analizy systemów gospodarowania odpadami, gospodarowania komunalnymi osadami ściekowymi oraz metod termicznego przekształcania tych osadów. Należy zauważyć, że analiza literaturowa jest dosyć skąpa i dotyczy głównie źródeł polskich. Nie wynika z niej również uzasadnienie podjętego tematu pracy, a szkoda, ponieważ źródeł zagranicznych w tym zakresie jest sporo i na pewno pozwoliłyby to ubogacić pracę.

Rozdział 3 to cel i zakres pracy zapisane w sposób krótki, ale poprawny. W celu wskazano dedykację modelu dwóm parametrom: minimalizacji kosztów i maksymalizacji efektywności energetycznej osadów ściekowych. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że takie przedstawienie celu pracy jest dosyć skromne. Można byłoby w tym miejscu zaznaczyć bardzo szerokie możliwości optymalizacji i wykorzystania modelu, a skupić się na dwóch, tak jak zaproponował Doktorant. Podniosłoby to zdecydowanie wartość pracy i zaprezentowało wagę problemu, którym zajął się Doktorant.

Zakres pracy przedstawiono w sposób zwięzły i wyczerpujący.

Kolejny obszerny rozdział 4 dotyczy charakterystyki komunalnych osadów ściekowych i ich parametrów; przedstawiona charakterystyka pozwala dokonać założeń do opracowywanego później modelu optymalizacyjnego. Założenia dotyczą wilgotności osadów oraz ich wartości opałowej, czyli podstawowych parametrów energetycznych. Dodatkowo w kolejnym podrozdziale, wykorzystując technologię GIS, opisano charakterystyki ilościowe oraz sieci drogowe (w rozdziale 5) jako kolejne założenia do optymalizacji. Opisy założeń wykonane są jasno i przejrzysto, chociaż wg mnie warto byłoby je zawrzeć w jednym spójnym rozdziale, jako np. założenia do obliczeń. Znacznie uprościłoby to czytanie i analizę pracy.

Kolejny rozdział to model geoinformatyczny – jego opis wraz z algorytmami optymalizacji dyskretnej. Autor wykorzystał algorytm Dijkstry, elementy logiki rozmytej oraz analizę wielokryterialną. Wykonana walidacja modelu zaprezentowana w załącznikach prezentuje wyniki w postaci mapy planowanych potencjalnych możliwości lokalizacji

instalacji do termicznego przekształcania osadów ściekowych. Zaprezentowane przez Doktoranta wyniki potwierdzają słuszność założeń oraz prawidłowe wykonanie obliczeń.

Ostatni 7 rozdział pracy podsumowuje całość i formułuje wnioski końcowe, potwierdzające osiągnięcie założonych celów badawczych.

Przedstawiona dysertacja charakteryzuje się poprawną strukturą logiczną, zachowana jest prawidłowa kolejność rozdziałów. Prawidłowo przyjęte są założenia do modelu, prawidłowo przedstawione zagadnienia optymalizacyjne, prawidłowo opracowane i omówione wyniki. Praca napisana jest w sposób zwarty, krótki i jasny. Opracowane założenia metodologiczne i tezy pracy są prawidłowe, a zastosowane techniki i narzędzie badawcze pozwoliły na udowodnienie założonych celów i tez badawczych.

Wartość naukowa i aplikacyjna rozprawy

Oceniając całość rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Szczepana Bielatowicza należy powiedzieć, że:

1. Temat rozprawy jest prawidłowo sprecyzowany i jego wybór uzasadniony.
2. Dobór literatury mało wyczerpujący, ale zgodny z profilem pracy, rozbudowanie analizy literaturowej stanowiłoby uzupełnienie naukowej części rozprawy.
3. Rozprawa ma poprawną strukturę, zachowaną prawidłową kolejność rozdziałów i uzasadnione wnioski.
4. Praca ma charakter interdyscyplinarny i stanowi twórcze rozwinięcie zagadnień praktycznych, a osiągnięte przez Doktoranta wyniki i rezultaty można uważać za istotnie liczące się w wielu dziedzinach (inżynieria środowiska, logistyka, optymalizacja, aspekty socjologiczne).
5. Opracowane i wykorzystane narzędzie obliczeniowe ma wartość aplikacyjną i może stanowić narzędzie podejmowania decyzji w zakresie lokalizacji wszelkich trudnych inwestycji, nie tylko w gospodarce odpadami czy osadami ściekowymi.
6. Wykorzystane zaawansowane narzędzia obliczeniowe i walidacja modelu zapewnia wiarygodność uzyskanych rezultatów.
7. Osiągnięte przez Doktoranta wyniki i rezultaty można uważać za istotnie liczące się w dziedzinach: inżynieria środowiska a zwłaszcza gospodarka osadami ściekowymi i odpadami, a omawiana problematyka ma duże znaczenie zarówno poznawcze oraz użytkowe.
8. Prawidłowo przeprowadzona jest dyskusja wyników, sposób ich interpretacji oraz prawidłowo sformułowane są wnioski rozprawy doktorskiej.

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się następujące uwagi i pytania:

- w rozdziale 6.1.1. Autor przedstawił opis algorytmu Dijkstry, wykorzystywanego do rozwiązania problemu najkrótszej ścieżki w acyklicznym ważonym grafie skierowanym (Dagu). Pominięto analizę złożoności obliczeniowej (dla algorytmu Dijkstry – złożoność klasy $O(n^2)$) tego algorytmu. Z uwagi na bardzo złożoną strukturę grafu (graf gęsty) odwzorowującego całą sieć dróg w rozpatrywanej aglomeracji śląskiej lepszym rozwiązaniem byłaby adaptacja zaproponowanego algorytmu dla równoległej architektury obliczeniowej z wykorzystaniem np. technologii NVidia CUDA.
- w rozdziale 6.1.4.1. Analizy sieciowe – Autor definiuje krawędzie i wierzchołki, odpowiadające sieci dróg (krawędzie) oraz skrzyżowaniom dróg (wierzchołki), z pominięciem definicji grafu odwzorowującego atrybuty odwzorowania przestrzennego obiektów zlokalizowanych na mapie, w tym również jego reprezentacji w postaci macierzowej. Algorytmiczna teoria grafów specyfikuje wyraźnie definicję tego typu struktur danych.
- w rozdziale 6.2 Autor przeprowadził walidację modelu, która powinna zostać poprzedzona kalibracją modelu geoinformatycznego ze wskazaniem błędu kalibracji parametrów, np. w formie błędu RMSE (ang. Root Mean Squared Error).
- w opisie modelu w rozdziale 6.1.4 Autor odwołuje się do działającej w czasie rzeczywistym usługi mapowej z projektu OpenStreetMap. Nie podano układu współrzędnych geograficznych jak również dokładności mapy w kontekście odwzorowania atrybutów przestrzennych obiektów rzeczywistych, zlokalizowanych w rozpatrywanym systemie gospodarki odpadami i osadami ściekowymi.
- W założeniach do modelu przyjęto konkretną wartość opałową i wilgotność osadu, czy przyjęcie takich wartości w pewnym zakresie byłoby możliwe? Czy nie rozszerzyłyby to możliwości modelu?
- Czy używając bazy danych GIS, dla lokalizacji obiektów uwzględniane były, oprócz omówionych w założeniach wartości, parametry lokalizacyjne np. wody gruntowe, geologia terenu, tereny zalewowe itp.? Czy jest taka możliwość?
- Rysunki w dysertacji naukowej nie mogą być skanem z literatury, dodatkowo każdy zaczerpnięty materiał powinien mieć odwołanie do źródła.
- Tabele również powinny mieć odwołania, jeżeli nie są opracowaniem własnym Autora

- Praca pisana jest w niektórych miejscach językiem żargonowym, zwłaszcza w częściach technologicznych, chociaż biorąc pod uwagę, że Doktorant nie jest pracownikiem naukowym, jednak go to usprawiedliwia np. str. 11 „...*W Polsce według stanu na rok 2017 funkcjonuje sześć spalarni odpadów, jednaście monospalarni osadów ściekowych oraz osiem cementowni...*“; nie znam pojęcia monospalarni, a cementownie to nie spalarnie tylko producenci cementu wykorzystujący energię z odpadów; podobnie ze słowem „*utyliczacja*” używanym w rozprawie; w nomenklaturze dotyczącej gospodarki odpadami sposoby postępowania z nimi to odzysk, recykling i unieszkodliwianie.

Moje uwagi i pytania nie umniejszają jednak wartości naukowej przedstawionego opracowania.

Podsumowanie

Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i interesujące studium badawcze. Doktorant dowiódł, że ma wystarczający poziom wiedzy teoretycznej, posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, dysponuje bardzo dobrym przygotowaniem do prowadzenia badań, swobodnie porusza się w zakresie modelowania systemów.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Szczepana Bielatowicza, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Andrzej Gencowicz

Kraków, 25 luty 2019.