

Dr hab. inż. Adam Szurlej, prof. nadzw. AGH
Katedra Inżynierii Gazowniczej
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: szua@agh.edu.pl

Kraków, 27 czerwca 2019 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama Kielaka
pt. *Efektywność transportu rurociągowego paliw gazowych*

1. Podstawa formalna recenzji

Przedmiotową recenzję opracowałem jako recenzent wyznaczony przez Radę Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej. Dziekan Wydziału Mechanicznego – prof. dr hab. inż. Dariusz MIKIELEWICZ, prof. zw. PG, wystosował do mnie pismo wynikające z uchwały Rady tegoż Wydziału o znakach l.dz.155/WM/2019 w dniu 13 czerwca 2019 r.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr. inż. Adama Kielaka powstała pod kierunkiem Pana prof. dr. hab. inż. Waldemara Kamrata, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki promotora.

Praca liczy łącznie 157 stron i składa się z 8. rozdziałów, w tym z wstępu i podsumowania oraz bibliografii i 2. załączników. W zasadniczej części pracy zamieszczono 40 rysunków oraz 46 tabele. Spis literatury obejmuje 41 pozycji reprezentatywnych dla tematu dysertacji, z tego 23 pozycje w języku angielskim, 12 pozycji w języku polskim, 1 pozycję w języku niemieckim oraz normy krajowe i zagraniczne dotyczące projektowania i budowy sieci gazowych oraz spis rysunków i tabel zawartych w pracy.

Pracę umownie można podzielić na dwie części:

- część pierwsza (ogólna), obejmująca problematykę sieci gazowej w Polsce, z podziałem na system gazu wysokometanowego oraz zaazotowanego oraz na system gazociągów przesyłowych i dystrybucyjnych (rozdział 2), efektywność transportu rurociągowego gazu w kontekście etapu projektowania, eksploatacji i modernizacji gazociągów, a także zastosowania powłok wewnętrznych w gazociągach i pracy tłoczni gazu (rozdział 3),
- część druga, zawiera cel i tezę pracy (rozdział 5), modele ekonometryczne wraz z danymi na których bazują modele, metodykę doboru funkcji aproksymującej koszty stałe i zmienne, propozycję formuły kosztów całkowitych, przeprowadzenie obliczeń modelowych umożliwiających wyznaczające racjonalnych średnic gazociągów, z punktu widzenia ekonomicznego, analizę metodą jednostkowego kosztu dynamicznego i jej wyniki (rozdział 6), a także podsumowanie i wnioski końcowe (rozdział 7) oraz wykazy bibliografii.

Struktura pracy jest ogólnie poprawna. Strona formalna – zasadniczo właściwa. Praca napisana jest dobrym językiem naukowo-technicznym.

3. Charakterystyka tematu oraz celu rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej *Efektywność transportu rurociągowego paliw gazowych* jest ważna zarówno z naukowego, jak i utylitarnego punktu widzenia. Cel rozprawy został przedstawiony w rozdziale 5 i polega na zbadaniu możliwości podwyższenia efektywności transportu rurociągowego gazu ziemnego oraz poszukiwanie najlepszych (z punktu widzenia kryteriów technicznych i ekonomicznych) rozwiązań w zakresie wymiarowania racjonalnej średnicy gazociągów.

Pozytywnie oceniam fakt, że Doktorant podjął tak złożony i bardzo aktualny problem, zajmując się w rozprawie problematyką efektywności transportu rurociągowego paliw gazowych. Jak już zaznaczyłem, zagadnienie jest złożone, a jego analiza kłopotliwa i trudna. Jednocześnie należy podkreślić, że podjęcie badań w tym temacie jest ważne nie tylko ze względu na znaczenie poznawcze, ale i utylitarne. Istotnym dla podjęcia tego złożonego tematu jest fakt, że Autor rozprawy posiada bogate, wieloletnie doświadczenie w sektorze gazu ziemnego, a szczególnie w obszarze projektowania infrastruktury, pełniąc funkcję Prezesa Zarządu PGNiG Gazoprojekt we Wrocławiu. Jak wskazano we *Wstępie* rozprawy, pod jego osobistym nadzorem na zlecenie ówczesnego Ministra Skarbu Państwa w 2015 roku powstał raport RP 3041.15.0001.01 pod tytułem „Ocena potencjału w zakresie efektywności energetycznej infrastruktury gazowej Polski” (pozycja [18] w spisie bibliograficznym). Rozprawa jest niejako zwieńczeniem powyższego opracowania, gdyż uzupełniająco wypełnia lukę w zakresie badań i analiz efektywności przesyłu paliw gazowych, a w szczególności gazu ziemnego. Rozprawa bazuje na materiałach źródłowych zebranych w trakcie realizacji ww. Raportu wraz z późniejszym uzupełnieniem, szczególnie w zakresie nakładów inwestycyjnych, które autor usystematyzował do 2017 roku włącznie.

Poznawcze znaczenie to pozyskanie nowej wiedzy przy wykorzystaniu metod i technik matematycznych, która pozwoli na opracowanie autorskiej, oryginalnej metody wyznaczania tak zwanych średnic racjonalnych dla gazociąg w systemie dystrybucyjnym i przesyłowym. Doktorant przedstawił także koncepcję obliczenia kosztów stałych i zmiennych z wykorzystaniem własnych algorytmów, które umożliwiły sformułowanie aproksymacyjnej zależności przedstawiającej koszty całkowite gazociągów. Jest to bardzo ważne mając na uwadze m.in. dynamiczny rozwój krajowego rynku gazu ziemnego (jak wskazują dane BP z 2019 r. rynek gazu ziemnego w Polsce należy do ścisłej czołówki w UE pod względem wzrostu zużycia gazu ziemnego w latach 2010-2018), a także realizowane obecnie, przez operatorów systemów gazowych, zarówno przesyłowego, jak i dystrybucyjnego, znaczące inwestycje w rozbudowę sieci gazowych przesyłowych i dystrybucyjnych. Dlatego też podjęcie realizacji tematu pracy doktorskiej z tego zakresu przez mgr. inż. Adama Kielaka jest bardzo cenne. Stąd też wynika moja pozytywna ocena zarówno tematu, jak i zakresu badań podjętych przez Doktoranta.

A. Kielak

4. Ogólne omówienie pracy

Poszczególne rozdziały dysertacji omawiam w sposób bardzo syntetyczny, formułując oceny cząstkowe składające się na finalną ocenę merytoryczną pracy.

Praca rozpoczyna się wstępem (s. 10–11) przedstawiającym istotę problematyki efektywności w krajowego gospodarce energetycznej, a także unijne i krajowe regulacje w tym zakresie. Doktorant we wstępie pracy nie wskazuje na zastosowaną procedurę badawczą, uwzględniającą metodykę badań oraz zakres przedmiotowy, a także charakterystyki i oceny wykorzystanych w pracy źródeł, co stanowić powinno metodyczne dopełnienie pracy doktorskiej.

W rozdziale 2. (s. 12–38) dokonano charakterystyki sieci gazowej w Polsce, którą rozpoczęto od przybliżenia podziału na systemy gazowe w Polsce: system gazu wysokometanowego, system gazu zaazotowanego oraz systemy innych gazów (m.in. koksowniczego). W dalszej części dokonano podziału na system gazociągów przesyłowych, dystrybucyjnych oraz tranzytowych. W rozdziale tym ponadto zestawiono obowiązujące akty prawne dotyczące projektowania i budowy sieci gazowych, scharakteryzowano punkty wejścia do systemu gazowego, przybliżono charakterystykę gazociągów, stacji gazowych oraz tłocznii gazu. Na zakończenie rozdziału wskazano zróżnicowanie stopnia gazyfikacji w podziale na województwa.

W rozdziale 3. (s.39–78) poświęcony jest efektywności transportu rurociągowego gazu. Doktorant na początku rozdziału wskazał, jak ważnym dla tytułowej problematyki pracy jest etap projektowania gazowej infrastruktury technicznej. Następnie przeanalizował zagadnienie efektywności energetycznej na etapie eksploatacji sieci gazowej przesyłowej. Z analizy tej wynika m.in: że straty ciśnienia są o około 35% niższe przy przesył gazu ziemnego (500 m³/h) przy określonej średnicy gazociągu (DN700) i długości gazociągu (150 km) przy ciśnieniu początkowym 8,4 MPa, niż przy przypadku ciśnienia początkowego 6,3 MPa. Także interesujące są wyniki analizy wpływu zastosowania wewnętrznych powłok epoksydowych na przepustowość gazociągów (około 20% wzrost po zastosowaniu wewnętrznej powłoki) oraz ich wpływu na zapotrzebowanie na moc tłocznii gazu oraz zużycia gazu paliwowego (spadek o około 70%). W kontekście zagadnienia efektywności ważny jest także problem sprawności sprężarek na tłocznich gazu oraz analizy strat gazu, co także zostało przybliżone w rozdziale 3.

W rozdziale 4. (79–103) omówiono projektowanie gazociągów przesyłowych, które jak już wspomniano wcześniej, jest istotne dla kompleksowej analizy efektywności transportu paliw gazowych. Rozdział rozpoczyna się od przybliżenia kryteriów technicznych, a więc obliczenia stosowane do wyznaczenia standardowej grubości stalowej ścianki rury, maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia eksploatacyjnego, naprężenia dopuszczalnego, współczynników bezpieczeństwa oraz straty liniowej ciśnienia gazu. W dalszej części skupiono uwagę na kryterium ekonomicznym, scharakteryzowano strukturę kosztów w przypadku inwestycji rurociągowych, przybliżono metodykę obliczenia ekonomicznie uzasadnionej średnicy wewnętrznej gazociągu i dostosowano ją do jednostek układu SI. Celem tego rozdziału jest wprowadzenie zależności, które będą istotne dla realizacji określonego w pracy celu.

Cel pracy został wcześniej przedstawiony w niniejszej recenzji. Zakres i teza pracy o następującym brzmieniu: *zastosowanie zaproponowanej w rozprawie metodyki określenia kosztów całkowitych transportu rurociągowego gazu umożliwia dobór racjonalnej średnicy*

gazociągu, tworząc warunki do ekonomicznie efektywnego zarządzania procesem transportu gazu, zostały przedstawione w rozdziale 5. (s.104).

W rozdziale 6. (105–151), kluczowym dla realizacji celu pracy, w oparciu o modele ekonometryczne i zaproponowaną metodykę doboru funkcji aproksymującej koszty zmienne, a także propozycję opracowanych formuł kosztów całkowitych, wyznaczono średnice referencyjne gazociągów z punktu widzenia kryterium ekonomicznego w podziale na gazociągi dystrybucyjne i przesyłowe. Wyniki dla średnic zilustrowano na odpowiednio rys. 6.2 oraz rys. 6.3. Należy podkreślić, że do budowy modeli dotyczących nakładów inwestycyjnych zostały wykorzystane dane rzeczywiste z lat 2008–2017, które uwzględniają zarówno wartości ciśnienia, jak i warunki terenowe, zostały zestawione w tabelach 6.1-6.5.

Rozdział 7. (s.152) stanowi wnioski, które zwracają rozprawę doktorską.

Podsumowując, stwierdzam że zarówno struktura pracy, jak i sekwencja kolejnych rozdziałów oraz ich objętość są właściwe.

5. Rozwiązanie postawionego problemu

Problem naukowy i użyteczny został rozwiązany w rozdziałach 5–6, gdzie Doktorant sprecyzował najważniejsze założenia metodyczne i zaproponował nową metodę modelowania kosztów. Warto podkreślić, że Doktorant do budowy modeli opisujących nakłady inwestycyjne wykorzystał dane rzeczywiste (jednostkowych nakładów inwestycyjnych gazociągów wysokiego ciśnienia w Polsce) z ostatnich lat, co w opinii recenzenta jest niezaprzeczalnym atutem pracy. Dane te były pomocne przy sformułowaniu równań opisujących koszty całkowite. Wykorzystując autorskie modele jednostkowych kosztów całkowitych, przeprowadzono stosowne obliczenia referencyjnych średnic dla gazociągów dystrybucyjnych i przesyłowych. Przeprowadzone przez Doktoranta badania modelowe i obliczenia umożliwiły przedstawienie własnych propozycji dotyczących średnic racjonalnych ekonomicznie, zarówno dla gazociągów przesyłowych, jak i dystrybucyjnych. Jak już wcześniej zasygnalizowałem w recenzji, zważywszy na dynamiczny rozwój krajowego rynku gazu ziemnego w ostatnich latach, a także wyzwania na najbliższe lata, w tym, m.in. aktywne włączenie się sektora gazowego do walki z smogiem, wnioski z pracy mają istotne znaczenie dla sektora gazu ziemnego, a w konsekwencji także dla krajowej gospodarki.

Za oryginalne osiągnięcia Doktoranta uważam:

- sformułowanie równań opisujących koszty całkowite w podziale na gazociąg przesyłowy i dystrybucyjny wraz z propozycjami odpowiednich modeli;
- zaproponowanie „średnic racjonalnych” dla gazociągów przesyłowych i dystrybucyjnych.

6. Uwagi i kwestie dyskusyjne

Uważam, że rozprawa została napisana stosunkowo zwięźle, klarownie i logicznie. Układ pracy jest prawidłowy, a kolejność rozdziałów nie budzi większych zastrzeżeń. Język użyty w pracy jest prawidłowy i tylko w niewielu miejscach wymaga korekty. Doktorant nie ustrzegł się jednak drobnych usterek o różnym charakterze, w tym redakcyjnych, stylistycznych. W tekście występują błędy literowe.

Uwagi

1. Porównanie tytułu pracy z jej treścią upoważnia do sformułowania sugestii, że zakres pracy mógłby być wzbogacony o inne elementy, pozaekonomiczne, mające wpływ na efektywności transportu rurociągowego paliw gazowych.
2. Z uwarunkowań natury formalnoprawnej wynika, że aby nadać pewnej części pracy rangę rozdziału, powinna ona mieć określoną, minimalną objętość. W związku z powyższym *Wstęp*, *Podsumowanie i wnioski końcowe* oraz *Bibliografia*, to części pracy, które nie spełniając określonych kryteriów, zatem nie powinny posiadać rangi rozdziału.
3. Należy w pracy ujednolicić tabele (styl, czcionka, używanie separatorów w danych liczbowych).
4. Należy ujednolicić *Spis rysunków* oraz *Spis tabel*.
5. Błędny zapis: ZSSRR (s. 13).
6. Po *ok* powinna być „.” (s. 13, 15, ...).
7. Informacje zestawione w tabeli i na rysunku powtarzają się – dotyczy: tab.2.3 i rys.2.4 (s. 17) oraz tab.2.5 i rys.2.5 (s.18).
8. Ustawy, rozporządzenia i normy nie są przywołane w literaturze (s.22-25).
9. W tab. 2.7 i 2.14 w nagłówku ostatniej kolumny powinien być wyraz „Liczba” zamiast „ilość”. Ta sama uwaga dotyczy 1 wiersza od dołu (s.74).
10. Dane zawarte w Tab. 2.13 (s.28) odbiegają od aktualnego stanu pojemności czynnych przedstawionego na stronie internetowej firmy Gas Storage Poland Sp. z o.o. W związku tym inna jest też obecnie „sumaryczna pojemność czynna” (s. 29).
11. Brak przywołania Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w spisie literatury.
12. Prawidłowa nazwa: Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A. (s.47).
13. Opis rys.2.9-2.11 nie jest precyzyjny, legenda zbędna (s.32-33).
14. W podpisie rys.3.12 brak jednostki ciśnienia (MPa) (s.61).
15. Zastosowano inny sposób przywołania literatury (s.80, 84 i 90).
16. Normy nie są przywołane w spisie bibliograficznym (s.86).
17. We wzorze (4.28) jest: [m³scf/day], a czy nie powinno być: [MMscf/day]? (s.97).
18. Na rys. 6.1 jest: obciąż., powinno być: obniż. (s.129).
19. Jak jest źródło wzoru 6.5 (s.130)?
20. Dotyczy wzoru: (6.4) jest: tys. zł/km, powinno być: tys. zł/km (s.131).
21. $D = 0,377$ [m] (s. 132).
22. Czy 11 i 26 pozycja bibliograficzna to ta sama pozycja?
23. W 41 pozycji bibliograficznej: powinno być „Norske” a jest: „norske” (s.155).
24. Sposób prezentacji schematów w Załączniku Z-2 jest mało czytelny.

Reasumując, pragnę jednocześnie stwierdzić, że nie mam wątpliwości co do tego, że Doktorant prawidłowo zrealizował zamierzony cel pracy i udowodnił postawioną tezę. Oceniana praca jest udanym eksperymentem badawczym, a omawiany w niej problem ma duże znaczenie użyteczne jak i poznawcze. Tym samym chcę zaznaczyć, że wymienione powyżej uwagi nie umniejszają mojej pozytywnej oceny dysertacji.

Pytania do Doktoranta

Wnikliwa lektura pracy nasunęła mi następujące pytania:

1. W pracy stwierdza Pan, że zastosowanie wewnętrznej powłoki gazociągu prowadzi do obniżenia strat ciśnienia na przesyle i w rezultacie do obniżenia wymaganej mocy tłoczni o około 70%. Proszę przybliżyć jakie wartości chropowatości bezwzględnej gazociągu wziął Pan pod uwagę do obliczeń, które przełożyły się finalnie na tak znaczący spadek mocy tłoczni gazu?
2. We wzorach w *Iteracji I* na a_1 , b_1 i c_1 pominięto odpowiednio α_a , α_b i α_c . Czy wyniki obliczeń uwzględniają: α_a , α_b i α_c ?

Uważam, że zarówno zakres pracy, jak również opracowanie i przedstawienie problemu są właściwie ujęte i odpowiednio dobrane. Przedstawienie w pracy doktorskiej tak szerokiego materiału wymagało od Doktoranta bardzo dobrej znajomości problemów konstrukcyjnych związanych z uzbrojeniem wylotów otworów wiertniczych i odwiertów naftowych. Otrzymane wyniki pracy stanowią oryginalny dorobek naukowy i praktyczny Doktoranta.

7. Wniosek końcowy

Reasumując, stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Kielaka: *Efektywność transportu rurociągowego paliw gazowych* dzięki wartości poznawczej oraz użytkowej spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 565; Dz. U. z 2005, nr 164, poz. 1365; Dz. U. z 2010 r., nr 96, poz. 620, nr 182, poz. 1229; Dz. U. z 2011, nr 84, poz. 455; Dz. U. z 2016 r., nr 0, poz. 882), stawiane rozprawom doktorskim. Zawiera bowiem oryginalne wyniki z zakresu efektywności transportu rurociągowego paliw gazowych oraz dowodzi odpowiedniej wiedzy Doktoranta, przede wszystkim w dyscyplinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn i urządzenia energetyczne.

Uważam, że podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest trudna, ale istotna przede wszystkim dla intensywnie się rozwijającego krajowego sektora gazowniczego. Uzyskane przez Niego wyniki badań analitycznych mają, w moim przekonaniu, dużą wartość zarówno merytoryczną, jak i praktyczną. Jestem również przekonany, że mgr inż. Adam Kielak jest w pełni przygotowany do samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej.

Na tej podstawie wnioskuję do Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama Kielaka: *Efektywność transportu rurociągowego paliw*. Przedkładam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

A. Szurlej