



Prof. dr hab. inż. Gabriel Wróbel
Katedra Mechaniki Technicznej i Stosowanej
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice
Politechnika Śląska



Gliwice, 18.08.2025

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ Pana mgr. inż. Konrada Adamka

pt. Analiza wpływu kształtu taśmy stalowej i miękkomateriałowej w uszczelnieniu spiralnym na szczelność i wytrzymałość połączenia kołnierzowo-śrubowego w funkcji obciążenia

Rozprawa doktorska napisana pod kierunkiem

Promotora: dr. hab. inż. Janusza Skrzypacza

Promotora pomocniczego: dr. hab. inż. Przemysław Jaszaka

w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych,
w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna

Recenzja sporządzona na zlecenie:

Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Wrocławskiej, z dnia 2025.07.09.

1. Przedmiot pracy

Recenzowana praca jest pracą naukowo-badawczą. Przedmiotem badań są uszczelnienia spiralne. Doktorant podjął zadanie optymalizacji konstrukcyjnej uszczelnień spiralnych, zmierzającej do poprawy ich jakości, której miarą jest zdolność skutecznej pracy w warunkach obciążeń eksploatacyjnych. Uszczelnienie spiralne składa się z profilowanej taśmy stalowej, zwiniętej naprzemiennie z taśmą miękkomateriałową, co umożliwia połączenie sprężystości stali ze zdolnościami uszczelniającymi taśmy miękkomateriałowej wykonanej, według założeń pracy, z PTFE. Układ ten może być usztywniony i wzmocniony stalowymi pierścieniami: wewnętrznym, zewnętrznym bądź oboma jednocześnie. Uszczelnienia spiralne są zalecane w zakładach petrochemicznych, rafineriach, w instalacjach chemicznych, energetycznych. Główne charakterystyki robocze to rodzaj medium, ciśnienie, temperatura, klasa szczelności. Konstrukcja uszczelnień spiralnych, jej cechy materiałowe i geometryczne, umożliwiają, drogą właściwego doboru, osiągnięcie zróżnicowanych charakterystyk użytkowych, odpowiednich do wymagań eksploatacyjnych. Jak to podkreśla Doktorant, charakteryzują się dużą niezawodnością, odpornością termiczną, odpornością na wydmuchanie oraz niepalnością. Są integralnym elementem połączeń kołnierzowo-śrubowych, zapewniając szczelność w warunkach roboczych. Cechy konstrukcyjne uszczelnień pozostawiają możliwość kształtowania ich charakterystyk eksploatacyjnych, a przez to otwierają możliwość formułowania zadań optymalizacji w warunkach przyjętych kryteriów.

Autor pracy podjął zadanie opracowania uszczelnienia spiralnego z wypełnieniem miękkomateriałowym o niskiej ściśliwości, charakteryzującego się zwiększonym poziomem szczelności i wytrzymałości mechanicznej w porównaniu do standardowej konstrukcji. Za referencyjną przyjął konstrukcję uszczelnień produkowanych w przedsiębiorstwie GAMBIT LUBAWKA Spółka z o.o.

Program badań opracował kierując się sformułowanymi hipotezami badawczymi:

- poziom szczelności uszczelnienia spiralnego w połączeniu kołnierzowo-śrubowym zależy od rozkładu nacisku stykowego pomiędzy uszczelnieniem a uszczelnianymi powierzchniami,
- im rozkład nacisku stykowego na powierzchni styku uszczelnienia spiralnego z przyłgami kołnierza jest bardziej równomierny tym wyciek uszczelnianego czynnika jest mniejszy,
- właściwy kształt taśmy stalowej uszczelnienia pozwala zarządzać rozkładem nacisku stykowego pomiędzy taśmą miękkomateriałową a powierzchnią przyłgi kołnierza,
- relacje geometryczne poszczególnych wymiarów charakteryzujących kształt taśmy stalowej umożliwiają poprawę wytrzymałości mechanicznej elementu spiralnego w odniesieniu do maksymalnych dopuszczalnych nacisków na jego powierzchnię.

Hipotezom tym nadał syntetyczną formę tezy:

Dla odpowiedniego kształtu zwoju taśmy stalowej i miękkomateriałowej istnieje pewien zbiór parametrów geometrycznych, umożliwiający wzrost wytrzymałości mechanicznej oraz poprawę szczelności przy zachowaniu stałej szerokości spirali.

2. Analiza treści rozprawy

Praca liczy 106 stron, podzielona została na 8 rozdziałów, z których 1. jest Wprowadzeniem, a 8. zawiera bibliografię liczącą 70 pozycji, w tym 6 norm przedmiotowo powiązanych z badanymi połączeniami kołnierzowymi i warunkami ich uszczelnienia.

We Wprowadzeniu Doktorant przedstawił ogólną charakterystykę będących przedmiotem badań układów uszczelnienia oraz ogólne, znormalizowane klasyfikacje szczelności, stosowane między innymi w odniesieniu do połączeń kołnierzowo-śrubowych.

Rozdział 2. zawiera krótki opis stanu wiedzy z zakresu przedmiotowych uszczelnień, metod i modeli stosowanych w analizie i projektowaniu połączeń kołnierzowo-śrubowych. Przedstawione zostały metody oraz literaturowe przykłady wyników badań modelowych i eksperymentalnych uszczelnień, w tym uszczelnień spiralnych.

W Rozdziale 3. sformułowane zostały cel oraz teza pracy. Autor przedstawił koncepcję rozprawy i plan badań własnych.

W kolejnym, 4. Rozdziale opisane zostały badania wstępne. Doktorant sformułował cel badań oraz określił ich przedmiot. Badaniom poddał uszczelnienie złożone z 3., jak to określił, „pustych zwojów” taśmy stalowej, osadzonych na stalowym pierścieniu wewnętrznym, 9 naprzemiennie nawiniętych zwojów z taśmy miękkomateriałowej i taśmy stalowej oraz 5 pustych zwojów taśmy stalowej na średnicy zewnętrznej. Cechy geometryczne przekroju zespolonej taśmy zależą od odpowiednich cech stosunkowo znacznie sztywniejszej taśmy stalowej. Porównawczo, w pierwszej kolejności badaniami objęte zostały uszczelki wykonane z taśmy stalowej, charakteryzującej się profilem wykorzystywanym w bieżącej produkcji w przedsiębiorstwie GAMBIT LUBAWKA Spółka z o.o. Uszczelki posiadały wypełnienie miękkomateriałowe, z taśmy z politetrafluoroetylenem (PTFE). Zamieszczony został opis stanowiska badawczego oraz metody badań eksperymentalnych. W ramach badań Doktorant wyznaczył charakterystykę sztywności elementów ściskanych prasy stanowiska *TEMES_{fl.all}*, wykorzystywanego w pomiarach. Następnie poddał próbie ściskania wybrane uszczelki. Próby prowadzone były zgodnie z procedurą zawartą w normie PN-EN 13555. Na podstawie zarejestrowanych charakterystyk, kierując się stopniem uplastycznienia uszczelki pierścieniowej w warunkach określonego normą przebiegu obciążenia, ustalona została maksymalna wartość nacisku na uszczelkę Q_{Smax} , po przekroczeniu której następuje znaczne odkształcenie plastyczne uszczelki. Wyznaczył wartości współczynnika relaksacji P_{QR} dla 2 wartości nacisku montażowego oraz charakterystykę szczelności uszczelnienia spiralnego DN40 PN40 z pierścieniem wewnętrznym z wypełnieniem PTFE. Stwierdził brak możliwości osiągnięcia kryterialnego poziomu szczelności wg normy ASME B16.20, zarówno dla metanu jak i helu jako gazów testowych. W celu osiągnięcia wymaganej normą klasy szczelności Doktorant podjął badania zmierzające do opracowania konstrukcji uszczelki o korzystniejszych charakterystykach wytrzymałości i szczelności. Z uwagi na przewidywaną wielowymiarowość obszaru poszukiwań korzystnego rozwiązania założył wykorzystanie wspomagania numerycznego MES. W celu walidacji modelu numerycznego wyznaczył charakterystykę ściskania uszczelki określając przedziały sprężystego i plastycznego odkształcenia.

Rozdział 5 zawiera opis modelu numerycznego, geometrycznych warunków brzegowych, własności materiałowych, sposobu i kryteriów dyskretyzacji. Przedstawione zostały wyniki analizy stanu obciążenia połączenia z uszczelnieniem spiralnym, uzyskane metodą numeryczną, z wykorzystaniem modelu MES, dla przypadku ściskania. Porównanie z wyznaczoną eksperymentalnie charakterystyką ściskania połączenia z badaną uszczelką, pozwoliło na ocenę błędu będącego miarą zgodności wyników obu eksperymentów, z wyznaczoną eksperymentalnie charakterystyką ściskania uszczelki. Stwierdzoną dobrą zgodność wyników pomiarów z wynikami

badan modelowych Doktorant przyjął za podstawę rozszerzenia badań modelowych na obszar wyznaczony zmiennymi wartościami wybranych 3 charakterystycznych wymiarów uszczelki, niesparametryzowanych normami, które mają wpływ na zmianę kształtu przekroju poprzecznego, a tym samym na właściwości uszczelnienia. Wybrane charakterystyczne wymiary to:

- wysokość segmentu pionowego,
- kąt rozwarcia profilu „V”,
- grubość wypełnienia miękkomateriałowego.

Na podstawie wyników analizy, z wykorzystaniem planu dwupoziomowego, wyznaczył charakterystyki ściskania oraz zależność maksymalnego dopuszczalnego nacisku na powierzchnie uszczelnienia od wariantowanych wymiarów. Metodą najmniejszych kwadratów zależności tej nadał postać analityczną. Analizując wpływ wymiarów przekroju taśmy wskazał rozwiązanie umożliwiające uzyskanie największej wartości docisku Q_{Smax} . Najkorzystniejszy wariant znalazł się na brzegu badanego obszaru, co wynika z liniowego charakteru analitycznej funkcji określającej zależność intensywności docisku od wyróżnionych wymiarów, dla największych wartości wysokości segmentu pionowego i kąta rozwarcia profilu oraz najmniejszej grubości wypełnienia miękkomateriałowego. Na podstawie wyników analizy numerycznej określił również rozkłady obciążeń kolejnych zwojów wypełnienia miękkomateriałowego w poszczególnych wariantach wymiarowych.

Analizując stan odkształcenia zbadanego profilu sformułował wniosek - hipotezę, że sposobem na poprawę charakterystyki uszczelnienia, której miarą jest dopuszczalny nacisk na uszczelkę, jest zmodyfikowanie standardowego profilu na kształt określony jako asymetryczny. Wynikiem analogicznych badań modelowych wpływu wymiarów przekroju wzmacniającej taśmy stalowej było wyznaczenie funkcji opisującej zależność Q_{Smax} od parametrów geometrycznych przekroju spirali. Na podstawie wyników analizy numerycznej stanu obciążeń, porównawczo, wyznaczył rozkłady nacisków na powierzchni kontaktowej kolejnych zwojów taśmy uszczelniającej. Określił charakterystyczne cechy rozkładu obciążeń. Porównując wyliczone wartości Q_{Smax} odpowiadające poszczególnym wariantom postaci wzmocnienia, wybrał najkorzystniejszy, w celu weryfikacji wyników na podstawie badań eksperymentalnych.

W Rozdziale 6 zawarty został opis badań doświadczalnych uszczelnienia o postaci i wymiarach odpowiadających wariantowi modelu analitycznego, w którym wyznaczona wartość Q_{Smax} okazała się największa. Na podstawie wyników badań uszczelki zweryfikowana została wartość obciążenia Q_{Smax} . Wyliczone zostały wartości współczynnika relaksacji P_{QR} oraz charakterystyka szczelności uszczelnienia. Porównanie wyników badań doświadczalnych, przeprowadzonych na uszczelkach pierwotnej i zmodyfikowanej konstrukcji, potwierdziło wzrost wartości dopuszczalnych nacisków Q_{Smax} na uszczelnienie do wartości spełniającej wymagania założonej klasy szczelności L0,0001. Na tej podstawie Doktorant ocenił jako udowodnioną sformułowaną tezę pracy, co do możliwości osiągnięcia wzrostu wytrzymałości mechanicznej przy jednoczesnej poprawie szczelności złącza kołnierzo-śrubowego w drodze odpowiedniego doboru kształtu zwoju taśmy stalowej i miękkomateriałowej, przy zachowaniu stałej szerokości elementu spiralnego.

3. Ocena poprawności naukowej.

Praca charakteryzuje się poprawną strukturą logiczną. W sposób jasny i zgodny z tematem pracy opisany został problem badawczy. Sformułowana na tej podstawie teza jest poprawna logicznie, jasna i ukierunkowana na rozwiązanie postawionego problemu badawczego. Jest przy tym oryginalna, choć zawartym w niej wyrażeniem „odpowiedniego kształtu”, „pewien zbiór parametrów” można by zarzucić zbytnią ogólnikowość. Ponadto zamiast „zbiór parametrów”

lepiej „postać geometryczna i charakteryzujący ją zbiór liczb wymiarowych (wartości parametrów geometrycznych)”. Zastrzeżenie budzi zestawienie w Rozdziale 3. hipotez badawczych oraz określenie tezy, jako sformułowanej „na podstawie stwierdzeń”, w rozumieniu, że chodzi o wcześniej postawione hipotezy. Pod względem logicznym „stwierdzenie” to nie to samo co „hipoteza”. Z kolei zamieszczenie w pracy hipotez należałoby rozumieć jako zapowiedź ich eksperymentalnej weryfikacji. Zasadniczym celem jest wykazanie poprawności tezy, mówiącej o wzroście wytrzymałości mechanicznej oraz poprawie szczelności związanych ze zmianą kształtu taśmy stalowej, co zostało wykazane. Co do wpływu rozkładu nacisków na szczelność połączenia to należy zauważyć, że rozkład ten jest charakterystyką w pełni zależną od cech geometrycznych i materiałowych układu oraz docisku Q_S . W pracy formułowane są oceny wpływu rozkładu na podstawie wyników szczelności uzyskanych dla różnych wartości sił docisku Q_{Smax} . Chcąc ocenić wpływ rozkładu docisku uszczelki na szczelność połączenia należałoby przeprowadzić próby szczelności przy stałych wartościach docisku Q_S , a następnie zbadać korelację szczelności z wybranymi charakterystykami rozkładu obciążeń, np. jakąś miarą równomierności rozkładu. Stąd też i 7. spośród wniosków końcowych, wiążący szczelność z równomiernością rozkładu nacisków, jest nieuprawniony. Sama ocena poprawności sformułowanej tezy znajduje uzasadnienie w wynikach eksperymentów i odnosi się jedynie do relacji postaci geometrycznej przekroju taśmy stalowej do szczelności połączenia.

Program podjętych badań jest właściwy dla oceny wartości sformułowanej tezy. Wstępnie przeprowadzone zostały badania wytrzymałości i szczelności referencyjnej uszczelki spiralnej, z pierścieniem wewnętrznym, wyprodukowanej przez firmę Gambit Lubawka Sp. z o.o. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 13555 wyznaczony został zakres dopuszczalnego obciążenia, a następnie charakterystyka szczelności oraz osiągalna klasa szczelności. Uszczelnienie nie zapewniło szczelności spełniającej wymagania rozpatrywanego standardu według kryterium ASME. Potwierdziło to celowość poszukiwania nowego rozwiązania konstrukcyjnego, spełniającego odpowiednie wymagania. Hipoteza skuteczności tych poszukiwań zawarta została w tezie pracy. W celu przeprowadzenia procedury poszukiwania Doktorant określił zbiór charakterystyk geometrycznych uszczelki parametryzujących jej postać konstrukcyjną. W pierwszym kroku obszar poszukiwań ograniczył do standardowego profilu zwojów uszczelki typu „V”, sparametryzowany wymiarami geometrycznymi: h_{sv} – wysokość segmentu pionowego; t_{PTFE} – grubość taśmy PTFE; α – kąt rozwarcia profilu. W obszarze tym mieści się standardowe rozwiązanie konstrukcyjne. W celu jak najdokładniejszego odwzorowania kształtu profilu taśmy standardowo produkowanego uszczelnienia typu „V”, wymiary przekroju taśmy stalowej określił za pomocą mikroskopu optycznego. Wykorzystując model MES uszczelnienia, założony obszar poszukiwań oraz plan eksperymentu, wyznaczył analityczną postać zależności kluczowej charakterystyki obciążenia, opisującej zmianę dopuszczalnego nacisku na uszczelnienie Q_{Smax} , w badanym obszarze parametrów przekroju poprzecznego spirali. Pokazał graficznie rozkłady nacisków płyty dociskowej na zwoje uszczelki dla charakterystycznych stanów: odkształcenia 0,2 mm, do szerokości taśmy stalowej oraz dla obciążenia równego Q_{Smax} . Wyniki analizy wskazały na możliwość zwiększenia dopuszczalnego nacisku. Doktorant stwierdził wpływ modyfikacji na wytrzymałość mechaniczną oraz postać odkształcenia i nierównomierność rozkładu nacisku stykowego na powierzchni uszczelnienia. Nie podejmuje dyskusji wpływu modyfikacji na szczelność połączenia, w tym możliwości jej poprawy. Przystępuje natomiast do analizy alternatywnego rozwiązania konstrukcyjnego uszczelnienia, charakteryzującego się odmienną postacią taśmy stalowej. Kieruje się przy tym, wyprzedzająco, oczekiwaniem osiągnięcia tym sposobem korzyści dominujących. Symetria osiowa figury przekroju taśmy typu „V” zostaje zastąpiona symetrią środkową. Dalsze poszukiwania korzystnego rozwiązania prowadzi w obszarze wyznaczonym analogicznymi parametrami geometrycznymi przekroju „asymetrycznego”, jak go nazywa Doktorant, do opisujących wcześniejszy przekrój „V”. Taka

zmiana postaci przekroju taśm ma zasadniczy wpływ, jak to potwierdziły dalsze badania, na zmianę charakterystyk ściskania i szczelności. Można postawić pytanie czym kierował się Doktorant przy wyborze alternatywnego rozwiązania. Formalnie jednak dokonany wybór nie podważa poprawności postępowania i przedmiotowości sformułowanej tezy. Zawężony w ten sposób obszar poszukiwań ogranicza jednak możliwość znalezienia konkurencyjnych rozwiązań. Powtarzając procedurę badań numerycznych zmodyfikowanego uszczelnienia uzyskuje wyniki, z których zamieszczone w pracy to wykorzystane do porównania rozkłady nacisku pomiędzy zwojami taśmy uszczelki a powierzchnią dociskową kołnierzy połączenia w badanych wariantach obszaru poszukiwania oraz obciążenia Q_{Smax} . Kierując się możliwością uzyskania maksymalnej wartości obciążenia Q_{Smax} podejmuje badania eksperymentalne z uszczelką charakteryzującą się odpowiednią postacią figury przekroju taśmy. Otrzymane w rezultacie charakterystyki szczelności wykazały możliwość poprawy wytrzymałości uszczelnienia do $Q_{Smax} = 80\text{MPa}$ oraz osiągnięcia wyższych klas szczelności, do $L = 10^{-3} \text{ mg/(m}\cdot\text{s)}$. Stanowi to dowód prawdziwości sformułowanej tezy.

Obok stwierdzenia tej ogólnej poprawności naukowej należy jednak zwrócić uwagę na liczne, choć zróżnicowanej wagi, błędy merytoryczne i językowe. W wielu miejscach brak precyzji utrudnia interpretację i zrozumienie treści rozprawy

Zauważone błędy i nieścisłości:

1 - Analiza wpływu kształtu taśmy stalowej i miętko- materiałowej - Jeśli jeden z członów przymiotnika złożonego stanowi określenie drugiego, wówczas zapisujemy je łącznie - miękkomateriałowej.

3₆ - przy pomocy – za pomocą

9_{14,12} - $Q_{min(L)}$, $Q_{Smin(L)}$ – w objaśnieniu brakuje uściślenia „dla klasy szczelności L”

9₁₁ - Q_z – zacisk - Q_z – nacisk

12⁷ - na poziomie miligrama na metr obwodu - wyrażony w miligramach na metr długości obwodu

13⁶ - agresywnie chemicznym medium - chemicznie agresywnym medium

13₄ - zarówno na (...), a także - zarówno na (...), jak też

13₃ - Istotnymi parametrami, (...) jest właściwe ukształtowanie elementów
- Istotnymi parametrami, (...) są charakteryzujące ukształtowanie elementów

15⁵ poprawia - poprawiają

16⁷ liczba zgrzein (...) łącząca pierwszy zwój - liczba zgrzein (...) łączących pierwszy zwój

16⁹ liczba zgrzein (...) łącząca ostatni zwój - liczba zgrzein (...) łączących ostatni zwój

16₁₁ - skierowanej w kierunku zbieżnym (...) - skierowanej punktem zbieżności (...)

16₂ - na tą samą- na tę samą

179 - Wartością przeciwną do maksymalnego dopuszczalnego nacisku - Wartość przeciwna to różniąc się znakiem (lepiej: Ograniczeniem jest też wartość minimalna nacisku ...)

18⁸ - poniżej wartości $Q_{min(L)}$ i $Q_{Smin(L)}$ - Która z tych wartości jest większa?; wystarczy chyba: poniżej wartości $Q_{Smin(L)}$

217 - oraz obciążenie ściskające pozostałych elementów złącza równe sile F_{2p} - oraz spadek obciążenia ściskającego pozostałych elementów złącza równy sile F_{2p}

237 - optymalna praca złącza kołnierzowo-śrubowego z uszczelnieniem ma miejsce w przypadku, kiedy śruby charakteryzują się niską sztywnością, a pozostałe łączone elementy wysoką. Taka konfiguracja zapewnia jednocześnie równomierne rozłożenie obciążenia oraz elastyczną reakcję na jego zmiany - O jakie kryterium optymalności tu chodzi? Niska wartość stosunku sztywności śruby do uszczelnienia oznacza dominujący wpływ obciążenia ciśnieniem na uszczelnienie, a nieznaczny na śrubę, co jest raczej niekorzystne; o jaką równomierność i elastyczność chodzi? Kryterium powinna być trwałość docisku uszczelnienia, co ma miejsce przy znacznie wyższej sztywności śrub od uszczelnienia.

28 Rys.2.26 - schematowi należałoby nadać formę algorytmu stosując umowne elementy odpowiadające wprowadzanym danym wejściowym, pętlom iteracji, badanym warunkom, relacjom następstwa operacji, wielkościom wyjściowym; schemat jest niejasny; brak w nim wyróżnika scenariusza I, zestawienie jego wartości niczego nie wnosi. Norma nie jest publikacją naukową, więc taka metodologia i formalizm naukowy nie są obowiązujące.

29⁵ - (wzór 2.17) - (wzór 2.16)

Rys.2.17 - w opisie wymiarów brak objaśnienia określenia „efektywna” w odniesieniu do wymiarów połączenia;

31¹⁰ - moment dokręcenia śrub zależy również od wielkości nieuwzględnionych w przedstawionym „algorytmie”, np. rodzaju gwintu, stanu i materiału śrub, nakrętek, podkładek.

Rys.2.19 - jaka jest startowa wartość Q_{smax}

34³ - Wzorem (2.21) - wzorem (2.22)

36² - Dodatkowo przy użyciu MES można ocenić i przewidzieć rozrzut napięcia śrub, a to z kolei pozwala zapobiec potencjalnemu poluzowaniu którejkolwiek z nich. - Ten rozkład jest wprost mierzalny kluczem dynamometrycznym.

Rys.2.26 - jak ten rozkład ma się do przedstawionego na Rys.2.15? Oś odciętych odpowiada chyba promieniowi zwoju uszczelnienia a nie jego szerokości .

38¹⁵ - jest związana z problemem w osiągnięciu odpowiednio wysokiego poziomu szczelności - jest związana z problemem osiągnięcia odpowiednio wysokiego poziomu szczelności

39⁹ - tą - tę

42¹¹ - tą - tę

47 Rys.4.10 - brak skali temperatury

47₃ - Oznacza to, że uszczelnienie po przekroczeniu Q_{Smax} traci zdolność do powrotu sprężystego – zdolność ta jest zachowana (patrz wykres Rys.4.11, tylko w warunkach znacznego odkształcenia plastycznego co zbliża wartość $Q_{Smin(L)}$ do wartości $Q_{min(L)}$.

48₃ - (...) po odciążeniu zwoje taśmy uległy całkowitemu odkształceniu (...) - (...) po odciążeniu zwoje taśmy pozostały całkowicie odkształcone (...)

Rys. 4.13 b) – opisany w tekście profil V nie jest widoczny na rysunku

49₃ - P_{QR} to stosunek odpowiednich wartości intensywności docisku w procesie relaksacji, w odstępie 4 h obciążenia (miara relaksacji) Wykresy Rys.4.14, 4.15 ukazują przebieg odkształcenia, w warunkach pełzania. Jak zatem wyliczono wartości P_{QR} będący stosunkiem naprężeń w warunkach relaksacji? Względna miara pełzania zbliżona jest do miary relaksacji, czy zatem widoczna na wykresie Rys.4.15 odkształcenie można ocenić jako nieznaczne przyjmując wartość maksymalną nacisku Q_{Smax} ?

49₂ - W ten sposób potwierdzono maksymalny dopuszczalny nacisk na powierzchnię uszczelnienia równy $Q_{Smax} = 60$ MPa. – Jaka wartość współczynnika P_{QR} (pomierzono 0,88) jest dopuszczalna?

Rys.4.16 – linia czerwona jest prosta (nie krzywa jak w opisie)

52⁹ - o jakie kryterium optymalności tu chodzi? Z badań wybranego uszczelnienia wynika, że zakres skutecznego uszczelnienia (wymaganej klasy) w analizowanym przypadku jest nieosiągalny. Jeżeli miarą optymalności ma być stabilizacja wycieku w warunkach zmiany nacisku, to jej miarą może być kąt nachylenia charakterystyki odciążania, a ten (wg Rys.4.16) jest podobny dla mniejszych nacisków. Optymalizacji może zatem podlegać np. dobór uszczelnienia spełniającego kryterium szczelności, przy dodatkowym kryterium np. wielkości przedziału ($Q_{min(L)}$, $Q_{Smin(L)}$) czy kosztu.

52₉ - nacisku w funkcji odkształcenia - odkształcenia w funkcji nacisku

52₆ - Pierwszy z nich to odkształcenie taśmy międko-materiałowej do szerokości taśmy stalowej. – Czy szerokość taśmy stalowej nie zmienia się podczas ściskania uszczelki w 1. etapie?

52₃ - pomimo spadku naprężenia w śrubach, spowodowanego wzrostem (...) ciśnienia wewnętrznego –wzrost ciśnienia powoduje wzrost naprężenia w śrubach.
(...) uszczelnienie nadal może efektywnie pracować – to zależy od wcześniej dyskutowanych charakterystyk uszczelnienia

53⁵ - Wzrost nacisku (...) poziomem szczelności uzyskanym przy nacisku Q_{min} a Q_{Smin} - Wzrost montażowego nacisku (...) poziomem szczelności uzyskanym przy nacisku Q_{min} a uzyskanym przy nacisku Q_{Smin}

53 - p.5 - przebiegiem krzywej charakterystyki Q_{Smax} , gdzie początek odkształcenia plastycznego odpowiada wartości Q_{Smax} . – to niejasne, czy Q_{Smax} to przebieg krzywej (albo przebieg, albo krzywa, bo to jest to samo) charakterystyki, czy wartość

54⁸ - (MES) jest obecnie – od kilkudziesięciu lat

54₁₈ - przy pomocy - za pomocą

54₃ - (...) który został wyprodukowany (...) - wyprodukowanego

55₇ - (...) składał się z płyty górnej i dolnej, pomiędzy którymi umieszczono odwzorowaną standardową geometrię uszczelnienia (...) – (...) składał się z modeli: płyty górnej, dolnej oraz charakteryzującego się standardową (?) geometrią uszczelnienia (...)

55₄ - geometrię (...) przy pomocy - model geometryczny (...) za pomocą

56 - jakie własności płyt skoro przyjęto model odkształcalny i czy podatność płyty była istotna? Dlaczego nie skorzystano z symetrii względem przekroju poprzecznego uszczelnienia?

56¹⁰ - W modelu obejmującym górną i dolną płytę prasy hydraulicznej, zwoje taśmy stalowej oraz pierścień wewnętrzny przypisano właściwości stali kwasoodpornej 316L. -

W modelu obejmującym górną i dolną płytę prasy hydraulicznej, zwoje taśmy stalowej oraz pierścień wewnętrzny elementom stalowym przypisano właściwości stali kwasoodpornej 316L

65 (5.8) - W jaki sposób przyjęto wartości dopuszczalnych nacisków na uszczelnienie Q_{Smax} w poszczególnych wariantach konstrukcyjnych uszczelnień? Wykresy z Rys.5.11. nie dają jednoznacznej odpowiedzi.

72₉ - obrazuje moment osiągnięcia maksymalnego nacisku - obrazuje stan obciążenia (taśmy PTFE) w warunkach maksymalnego nacisku.

Rys.5.18, 5.19 - jak te rozkłady obciążenia mają się do przedstawionych na Rys.2.15 i 2.26?

75⁶ - pionowe odcinki uzwojenia ulegają odkształceniu poprzez katowe odchylenie segmentów pionowych w kierunku średnicy wewnętrznej uszczelnienia. - o jakie segmenty chodzi? Chyba lepiej: pionowe odcinki uzwojenia ulegają ugięciu w kierunku średnicy wewnętrznej uszczelnienia. ;

75¹⁷ - skąd wiadomo, że „największe znaczenie ma przebieg rozkładu nacisku stykowego na powierzchni kontaktu pomiędzy uszczelnieniem a przylgą kołnierza”?

75¹⁹ - przedstawiona na rys. 5.20a - przedstawionego na rys. 5.20a.

– skąd stwierdzenie zasadności zmiany profilu na asymetryczny na tym etapie analizy, pomijając, że tak założony kształt również charakteryzuje się symetrią, tylko środkową?

75 wzór (5.25) - we wzorze zamiast $\sin\alpha$ powinno być $\tan\alpha$, a składnik $s/3$ również, jako określający położenie środka geometrycznego trapezu jest błędny (może dotyczyć trójkąta); ponadto chcąc jakościowo opisać stan deformacji nie można obciążenia rozłożonego zredukować do momentu, bo wynik będzie różny. Brak komentarza dotyczącego wpływu naprężeń

obwodowych. Dla analizowanego numerycznie przypadku nie pokazano postaci odkształconego przekroju uszczelki

76 wzór (5.26) – poza wcześniejszymi błędami jest błędny wymiarowo; dalej – r_i to chyba promień nie średnica

Cała analiza jakościowa stanu odkształcenia zwoju, zawierająca do tego w końcowym wniosku określenia „prawdopodobny efekt”, „wydaje się” jest chybiona i nienaukowa.

79₁ - przy pomocy metody – metodą

80⁶ - przy pomocy funkcji – funkcją lub za pomocą funkcji

Rys.5.30, 5.31 - jak te rozkłady obciążenia mają się do przedstawionych na Rys.2.15 i 2.26?

89⁴ - krzywa koloru niebieskiego odpowiada za odkształcenie, kiedy został osiągnięty nacisk równy wartości parametru Q_{Smax} . - A jakie są naciski na taśmy stalowe - obciążenie $Q_{Smax} > Q_{0,2mm}$, zatem rozkłada się również na taśmy stalowe?

91⁵ - Niezależnie od przyjętego zakresu (...) - W przyjętym zakresie (...)

91 – Wniosek 4 – chodzi o równomierność na długości czy grubości taśmy teflonowej?

Wniosek 5 – co to są „lepsze wartości nacisku średniego” lub ich pogorszenie? Suma tych nacisków jest stała, zatem i średnia (?)

91₁₃ – Natomiast na rozkład (...) - Natomiast w przypadku (...); na jakiej podstawie stwierdzono związek szczelności nie tylko z naciskiem ale też z jego rozkładem?

91₃ Znając te relacje możliwa jest poprawa jakości uszczelnień spiralnych, szczególnie w tych przypadkach, gdzie na wypełnienie przewidziany jest materiał charakteryzujący się niską ściśliwością. – wskazanie „szczególnie w tych przypadkach” nie zostało w pracy wyjaśnione

93_{1,2} - tą – tę

94¹ - Nacisk o wartości równej $Q = 160$ MPa nie spowodował uszkodzenia elementu spiralnego – czy trwałe odkształcenie i niemal całkowite sprasowanie to nie uszkodzenie? Które zwoje są dolne?

94 Rys.6.3 b – uwagi jak do Rys.4.13.

95-96 - Wykresy Rys.6.5 – 6.7 – uwagi jak do Rys.4.14, 4.15

97₅ - (...) Krzywa koloru czerwonego (...) – (...) Prosta koloru czerwonego (...)

98⁴ - (...) w momencie przekroczenia nacisku $Q = 40$ MPa, ponieważ w momencie spadku nacisku do wartości równej $Q_{Smin} = 14,9$ MPa (...) - (...) dla nacisku $Q \geq 40$ MPa, ponieważ w warunkach spadku nacisku do wartości równej $Q_{Smin} = 14,9$ MPa (...)

100₆ - 8. Na podstawie analizy statystycznej wykazano, że na wytrzymałość mechaniczną, w aspekcie parametru Q_{Smax} , największy wpływ mają wysokość segmentu pionowego oraz kąt

rozwarcia profilu „V” dla standardowej konstrukcji, a także kąt rozwarcia pomiędzy segmentem pionowym a środkowym w przypadku konstrukcji asymetrycznej. –

8. Na podstawie analizy statystycznej wykazano, że na wartość obciążenia Q_{smax} profilu „V” największy wpływ ma wysokość segmentu pionowego oraz kąt rozwarcia. W przypadku konstrukcji asymetrycznej kluczowym jest kąt rozwarcia pomiędzy segmentem pionowym a środkowym.

100₃ - 9. Wskazane jest (...) - W badanym obszarze wymiarów wskazane jest (...)

Podsumowanie

Praca podejmuje interesujący, aktualny temat związany z ważnym problemem szczelności instalacji rurowych z rozłącznymi połączeniami kołnierzowo-śrubowymi. Bezpośrednio dotyczy stosowanych uszczelnień statycznych w zakresie średnich i wysokich ciśnień oraz temperatur, o postaci uszczeliek spiralnych, których charakterystyczną cechą strukturalną jest połączenie stalowych taśm usztywniających z podatnymi taśmami uszczelniającymi. Pole rozwiązań konstrukcyjnych tego typu uszczeliek pozostawia pewną dowolność w kształtowaniu profili współpracujących taśm, co uzasadnia celowość poszukiwań optymalnych rozwiązań zmierzających do poprawy charakterystyk tego typu uszczelnień, rozszerzając możliwości ich efektywnego stosowania w zakresie wyższych ciśnień i temperatur roboczych instalacji. Szczególne znaczenie, ze względu na własności materiałowe tworzywa, mają uszczelnienia z wypełnieniem PTFE, o stosunkowo bardzo dobrej wytrzymałości, korzystnych charakterystykach podatności i tarcia, odporności na agresywność środowiska i wysoką temperaturę. Możliwa jest optymalizacja struktury w zakresie wskazanym w pracy. Obszar poszukiwań nowych rozwiązań może być ograniczony technologicznością lub kosztami wytwarzania. Doktorant wykazał możliwość poprawy charakterystyk użytkowych uszczelnienia w założonym obszarze zmian parametrów konstrukcyjnych bez szkody dla technologiczności czy ekonomiki produkcji. Na podstawie liniowego równania regresji uzyskał rozwiązanie w postaci dominującego zestawu parametrów geometrycznych w założonym obszarze poszukiwania. Poprawność modelowego rozwiązania została potwierdzona wynikami programu badań doświadczalnych. Daje to możliwość bezpośredniego wdrożenia wyników w patronującej wykonaniu badań firmie Gambit Lubawka Sp. z o.o. produkującej uszczelki przedmiotowej klasy, co znacznie podnosi wartość pracy.

Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia naukowe Pana mgr. inż. Konrada Adamka, a w szczególności:

1. Wysoką ocenę osiągnięcia naukowego, jakim jest opracowana dysertacja pt. „Analiza wpływu kształtu taśmy stalowej i miękkomateriałowej w uszczelnieniu spiralnym na szczelność i wytrzymałość połączenia kołnierzowo-śrubowego w funkcji obciążenia;
2. Poprawne sformułowanie oraz wartość praktyczną sformułowanego celu pracy;
3. Znajomość metod badawczych. umiejętność posługiwania się aparaturą badawczą i trafność koncepcji części eksperymentalnej programu pracy;
4. Poprawność metodologiczną planu i realizacji prowadzonych badań;
5. Umiejętność wykorzystania statystycznych metod w opracowaniu wyników eksperymentów;

6. Świadomość poziomu osiągniętych wyników i dalszych perspektyw pracy w podjętym temacie;
7. Znajomość stanu wiedzy z dziedziny pracy, udokumentowaną 70 pozycjami cytowanej literatury, z okresu ostatnich lat;

stwierdzam, że Pan mgr inż. Konrad Adamiak, spełnia w stopniu bardzo dobrym wymagania stawiane kandydatom do uzyskania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Mechaniczna, zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024, poz. 1571)

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Konrada Adamka, do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.


prof. dr hab. inż. Gabriel Wróbel