

**WYKORZYSTANIE MODELU
PRZEPŁYWU GAZU DO
DOSKONALENIA KONSTRUKCJI
UKŁADU
TŁOK-PIERŚCIENIE-CYLINDER
SILNIKA
O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM**



PLAN PREZENTACJI

WPROWADZENIE

CEL BADAŃ

OBIEKT BADAŃ

MODEL USZCZELNIENIA PIERŚCIENIOWEGO

MODEL PRZEPŁYWU GAZU

MODEL PRZEMIESZCZEŃ PIERŚCIENI

MODEL USZCZELNIANIA – WYNIKI SYMULACJI

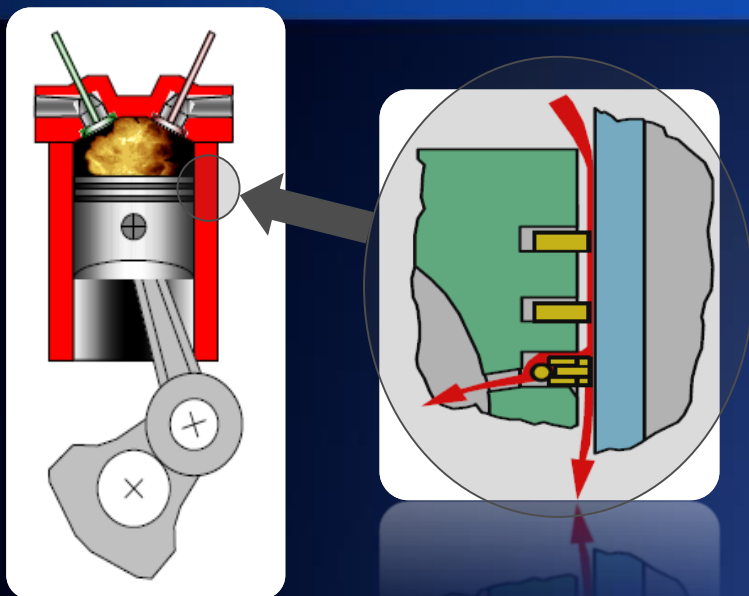
BADANIA SYMULCYJNE

WYNIKI

PODSUMOWANIE

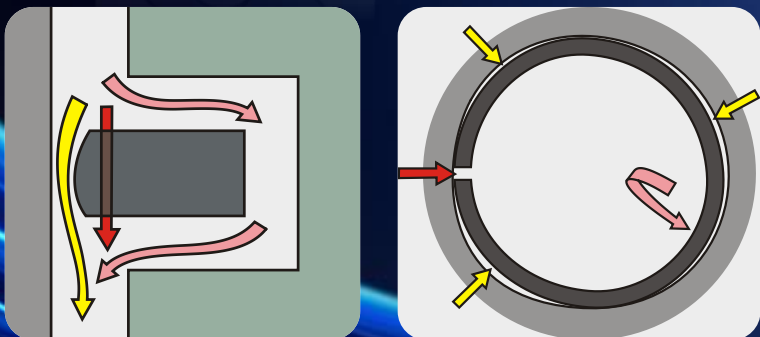


Wprowadzenie

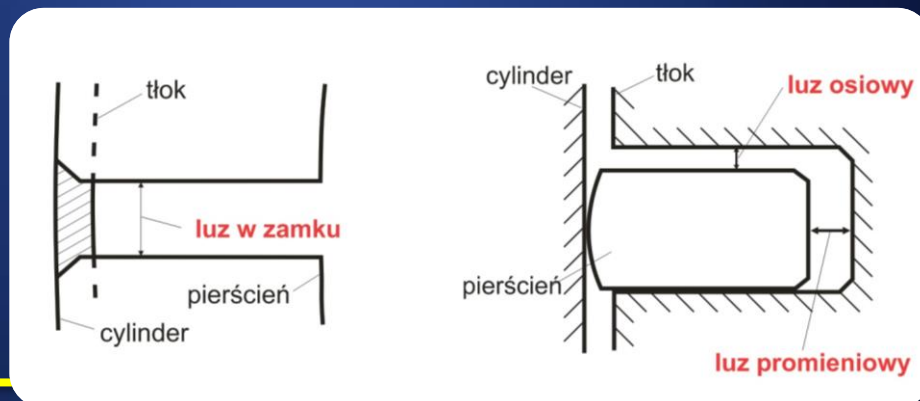


- Tłok z pierścieniami tłokowymi w cylindrze (TPC) tworzy uszczelnienie pierścieniowe komory spalania, które nie zapewnia pełnej szczelności
- Przedmuchy spalin – gazy przepływające z komory spalania przez nieszczelności uszczelnienia pierścieniowego do skrzyni korbowej

Możliwe drogi przepływu gazu:



Luzy pierścieniowe:



Wprowadzenie

Przedmuchy spalin są niekorzystne dla silnika:

- obniżają osiągi silnika
- zwiększają zużycie paliwa
- zwiększają emisję spalin
- zwiększają obciążenia cieplne elementów układu TPC i skłonność do powstawania osadów na tych elementach
- zwiększają ilościowe zużycie oleju silnikowego oraz przyspieszają jego degradację jakościową
- zwiększają intensywność zużycia elementów układu TPC i zmniejszają ich trwałość, a tym samym trwałość całego silnika

W przeszłości starano się tak projektować układ TPC, aby luzy pierścieniowe, w szczególności luz w zamku, były jak najmniejsze, co miało zapewniać możliwie najmniejsze natężenie przedmuchów spalin.



Wprowadzenie

Badania przeprowadzone w ostatnim okresie, w tym symulacyjne z wykorzystaniem zaawansowanych modeli matematycznych, dostarczyły nowych informacji nt. działania układu TPC.

Badania symulacyjne pozwoliły uzyskać dane, których nie można było uzyskać metodami empirycznymi, lub było to niezwykle trudne, np. wartości: chwilowych natężeń przepływu gazu przez poszczególne szczeliny, przemieszczeń i skręceń pierścieni w rowkach itd.

- Przedmuchy zwrotne (okresowy przepływ gazu z przestrzeni międzypierścieniowych w kierunku komory spalania) powodują zwiększone zużycie oleju silnikowego oraz emisję węglowodorów i cząstek stałych.
- Przemieszczenia osiowe pierścieni w rowkach zwiększają przepływy gazu oraz pompowanie oleju silnikowego w kierunku komory spalania, a także intensywność zużycia bocznych powierzchni pierścieni i rowków pierścieniowych, zmniejszając trwałość i niezawodność silnika.



Cel badań

Ocena możliwości poprawy działania uszczelnienia pierścieniowego poprzez modyfikację konstrukcji pierścieni uszczelniających i tłoka.

Prezentowane badania były częścią szerszych prac rozwojowych, których celem było zwiększenie osiągnięć silnika oraz spełnienie norm Euro 6.

Ograniczenia:

- modyfikowane mogły być tylko wybrane wymiary
- wymiary te mogły być zmieniane tylko tak, że nie spowoduje to zmniejszenia istniejących luzów

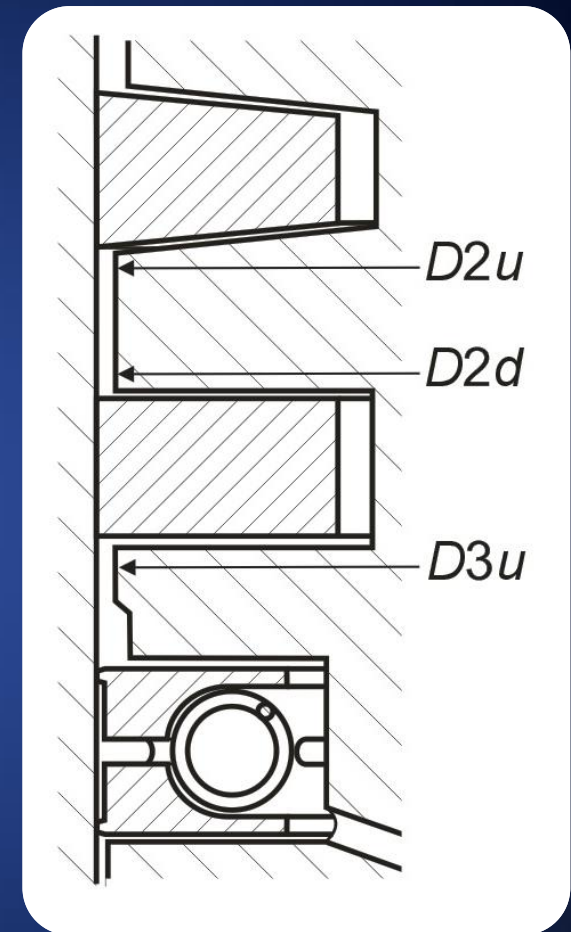


Cel badań

W szczególności poszukiwane miało być rozwiązanie, które:

- obniży ciśnienie w przestrzeniach międzypierścieniowych i zmniejszy przedmuchy zwrotne
- zminimalizuje liczbę osiowych przemieszczeń pierścieni w rowkach

Przy czym dopuszczono pewien wzrost przedmuchów spalin.

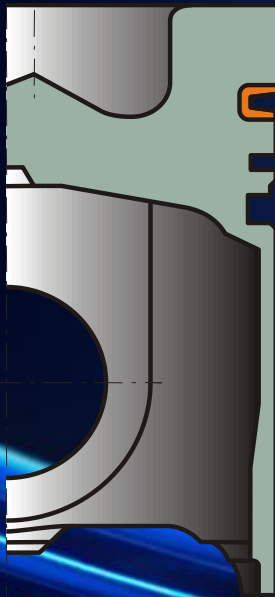


Obiekt badań

Dane silnika: 4-cylindrowy, turbodoładowany silnik Diesla z chłodnicą powietrza doładowującego i EGR, bezpośrednim wtryskiem paliwa Common Rail, $V = 2.6 \text{ dm}^3$, $P = 85 \text{ kW}$ przy 3600 obr/min, $M = 250 \text{ Nm}$ przy 1800-2200 rpm, przeznaczony do napędu samochodów dostawczych

Tuleja cylindrowa: żeliwo, $D = 94 \text{ mm}$

Tłoki: stop aluminium z żeliwną wkładką pod rowek pierwszego pierścienia, $S = 95 \text{ mm}$



pierwszy pierścień: trapezowy z baryłkową, chromowaną powierzchnią czołową



drugi pierścień: noskowy



pierścień zgarniający: jednoczęściowy ze sprężyną spiralną i chromowanymi powierzchniami czołowymi

Model uszczelniania pierścieniowego

W badaniach wykorzystano zaawansowany model uszczelnienia pierścieniowego opracowany przez autora niniejszej pracy.

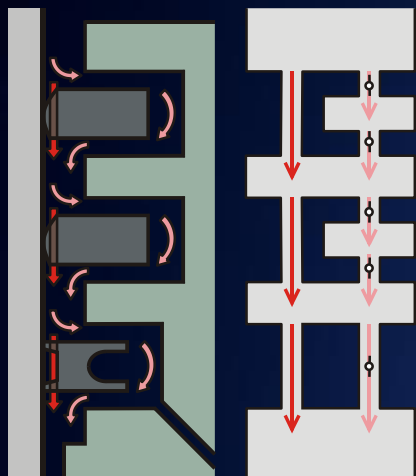
Model ten składa się z 2 zintegrowanych podmodeli:

- przepływu gazu
- przemieszczeń pierścieni

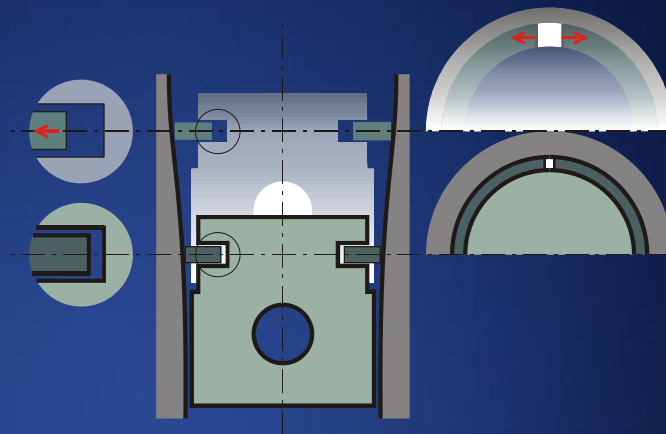


Model przyływu gazu

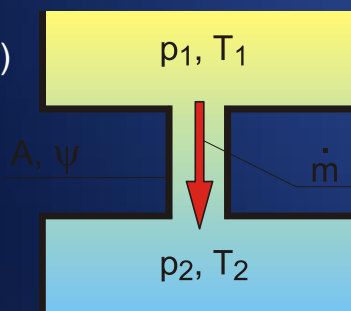
Uszczelnienie labiryntowe o strukturze szeregowo-równoległej



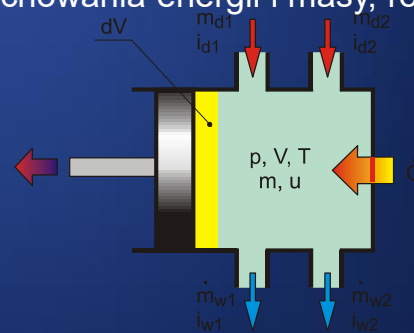
Objętości stopni i przekroje szczelin (kształty i wymiary, odkształcenia cieplne i zużycie, położenie pierścieni w rowkach)



Natężenie przepływu gazu (przepływ izotropowy przez kryzę korygowany współczynnikami przepływu)



Parametry termodynamiczne gazu (zasada zachowania energii i masy, równanie stanu)



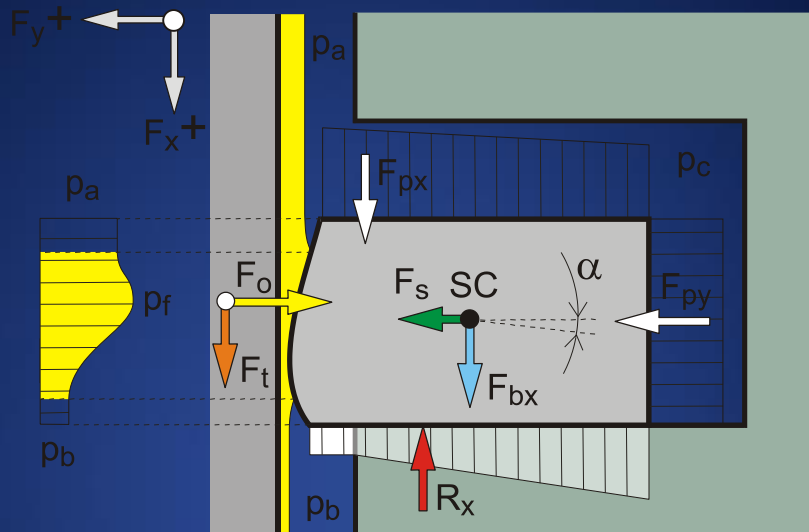
Model przemieszczeń pierścieni

$$\sum F_x = 0$$



położenie osiowe pierścienia

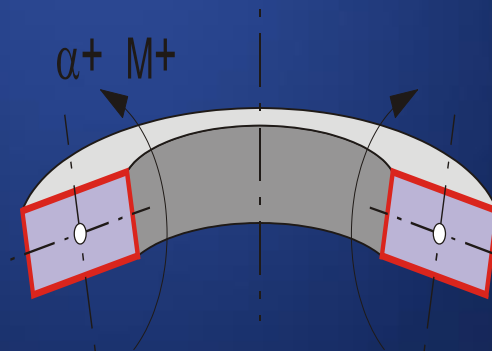
Siły działające na pierścień



$$\sum M = 0$$

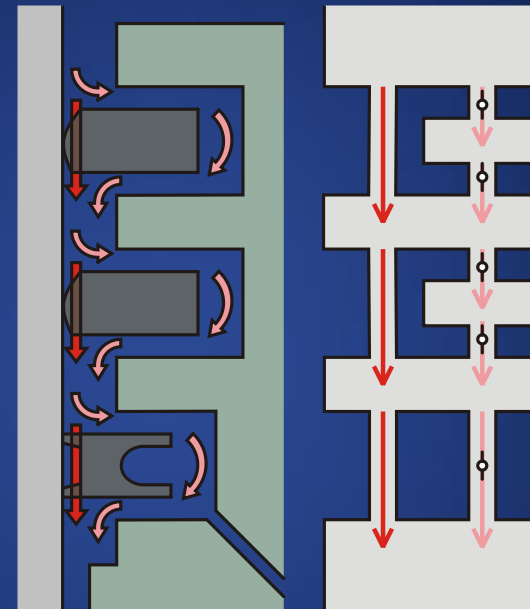
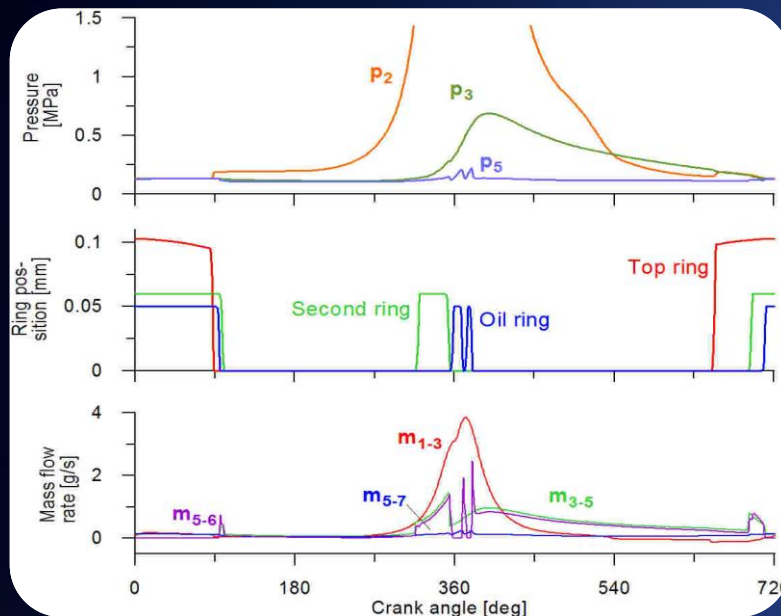


skręcenie pierścienia



Model uszczelnienia – wyniki symulacji

- Wyniki obliczeń:
- przebiegi ciśnień w przestrzeniach międzypierścieniowych,
 - położenia osiowe pierścieni w rowkach,
 - natężenia przepływu przez szczeliny w funkcji kąta obrotu wału korbowego



Natężenie przedmuchów spalin obliczane jest poprzez całkowanie chwilowych natężeń przepływu gazu przez zamek pierścienia zgarniającego oraz szczelinę pomiędzy górną powierzchnią tego pierścienia i rowka.



Badania symulacyjne

Dane wejściowe do badań symulacyjnych:

- dokumentacja techniczna silnika
- odkształcenia cieplne elementów wyznaczono wykorzystując MES
- ciśnienie w komorze spalania z pomiarów

Krok 1: Obliczenia przy wymiarach wyjściowych.

Natężenie przedmuchów spalin uzyskane w badaniach symulacyjnych było zgodne z rzeczywistym, zmierzonym na stanowisku hamownianym, co pozwoliło założyć, że wyniki symulacji są wiarygodne.

Krok 2: Ocena wpływu poszczególnych wymiarów ($G1$, $G2$, $D2u$, $D2d$ i $D3u$) na działanie uszczelnienia pierścieniowego.

Na tym etapie wariantowano tylko jeden wymiar, przy pozostałych niezmiennych i równych wyjściowym.

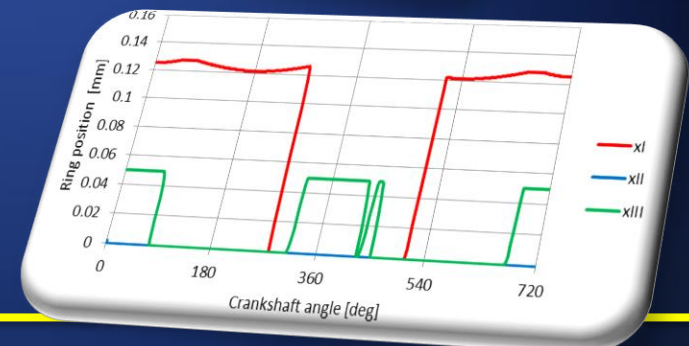
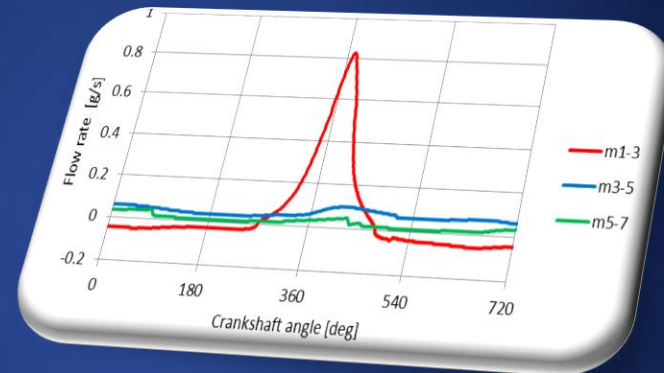
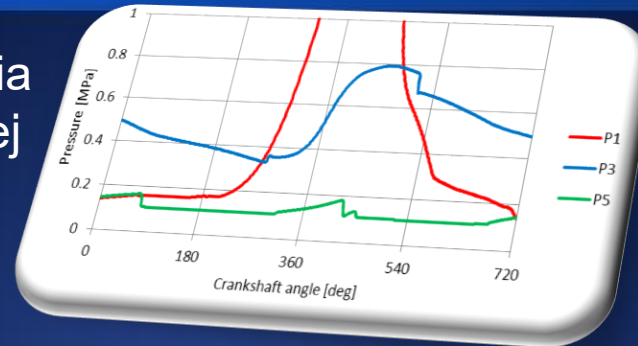
Krok 3: Wszystkie wymiary były jednocześnie zmieniane i szukano najlepszej kombinacji.



Wyniki – krok 1 (wersja wyjściowa)

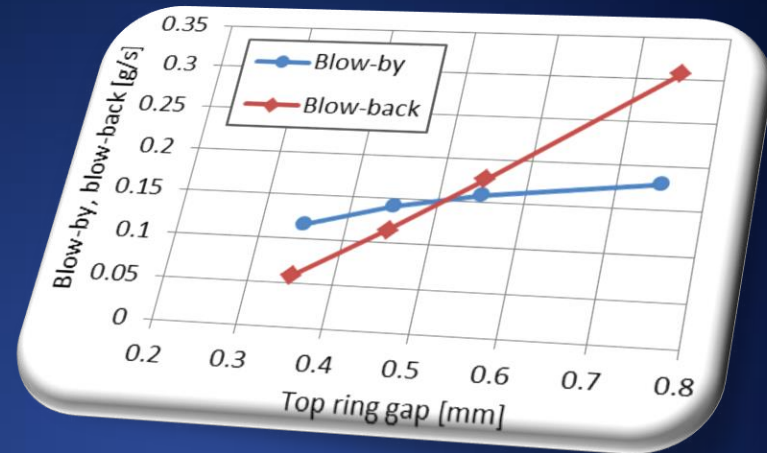
Największą wadą istniejącego rozwiązania było bardzo wysokie ciśnienie w pierwszej przestrzeni międzypierścieniowej oraz bardzo duże natężenie przedmuchów zwrotnych, równe połowie natężenia przedmuchów spalin.

Zaletami istniejącego rozwiązania były małe wartości natężenia przedmuchów spalin oraz brak osiowych przemieszczeń drugiego pierścienia uszczelniającego w roku tłoka.

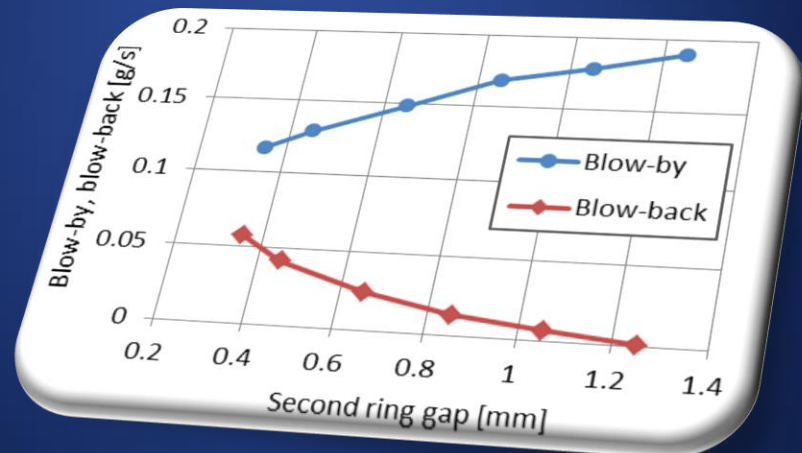


Wyniki – krok 2 (wpływ luzu w zamku)

Wpływ luzu w zamku pierwszego pierścienia na natężenie przedmuchów spalin i przedmuchów zwrotnych

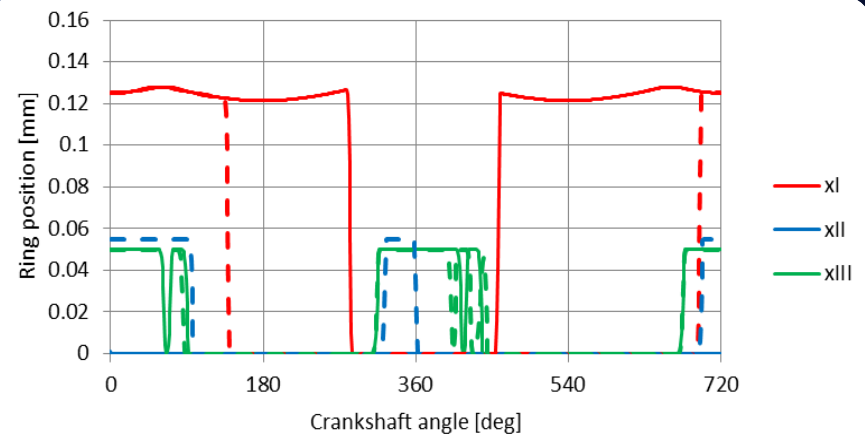
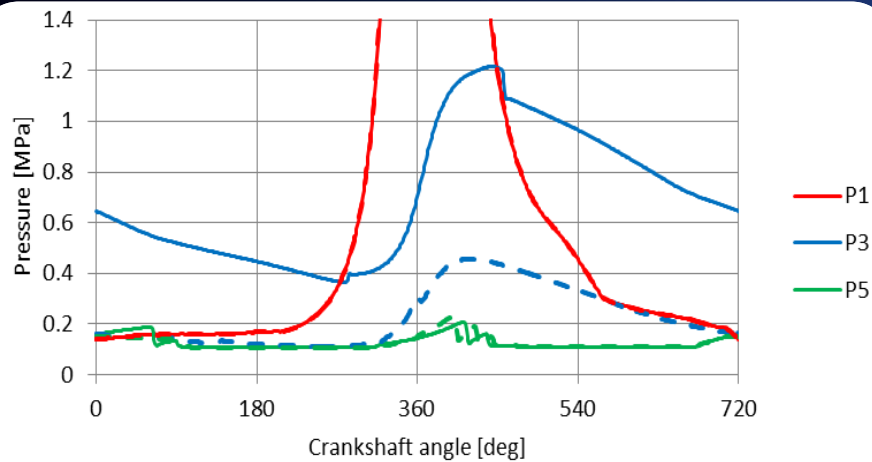


Wpływ luzu w zamku drugiego pierścienia na natężenie przedmuchów spalin i przedmuchów zwrotnych



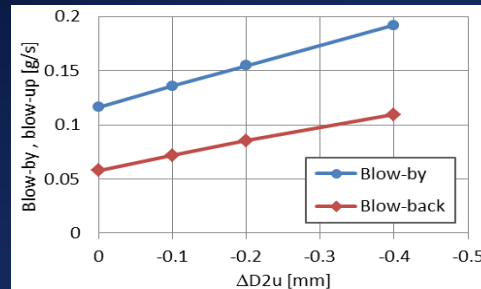
Wyniki – krok 2 (wpływ luzu w zamku)

Ciśnienie w przestrzeniach międzypierścieniowych oraz osiowe położenia pierścieni w rowkach dla luzu w zamku pierwszego pierścienia powiększonego z 0,35 mm do 0,55 mm (linia ciągła) oraz dla powiększonego z 0,35 mm do 1,25 mm luzu w zamku drugiego pierścienia (linia przerywana)

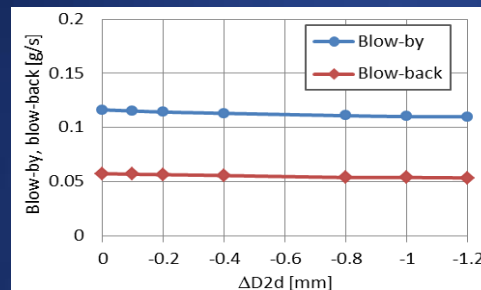


Wyniki – krok 2 (wpływ średnicy tłoka)

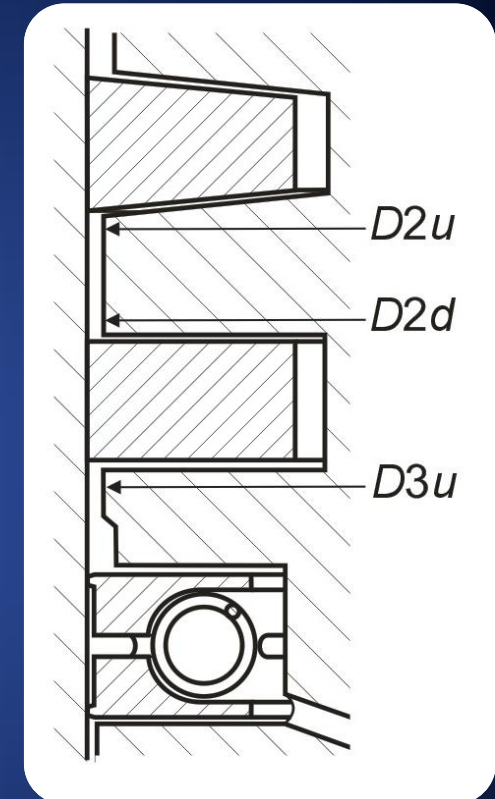
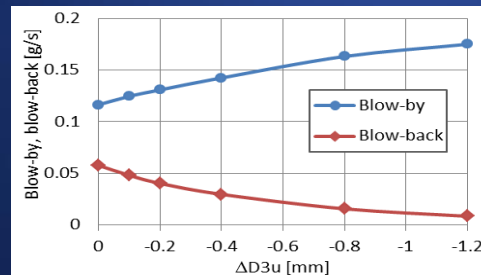
Zmniejszenie średnicy tłoka poniżej pierwszego rowka $D2u$ powoduje wzrost zarówno przedmuchów jak i przedmuchów zwrotnych



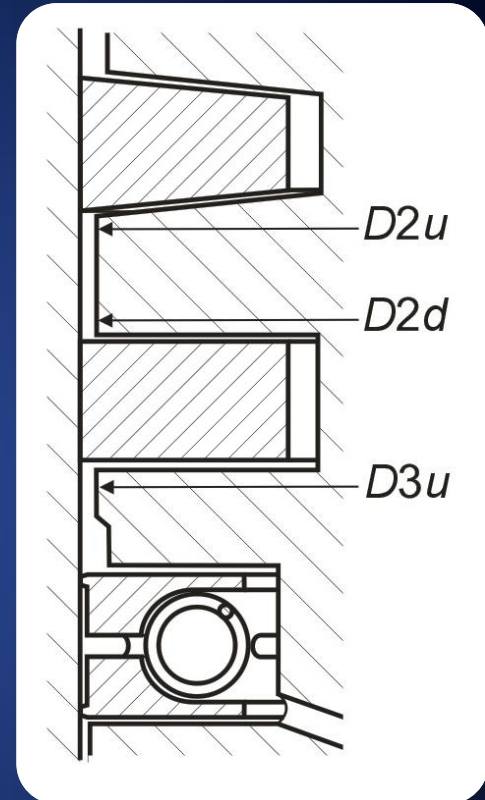
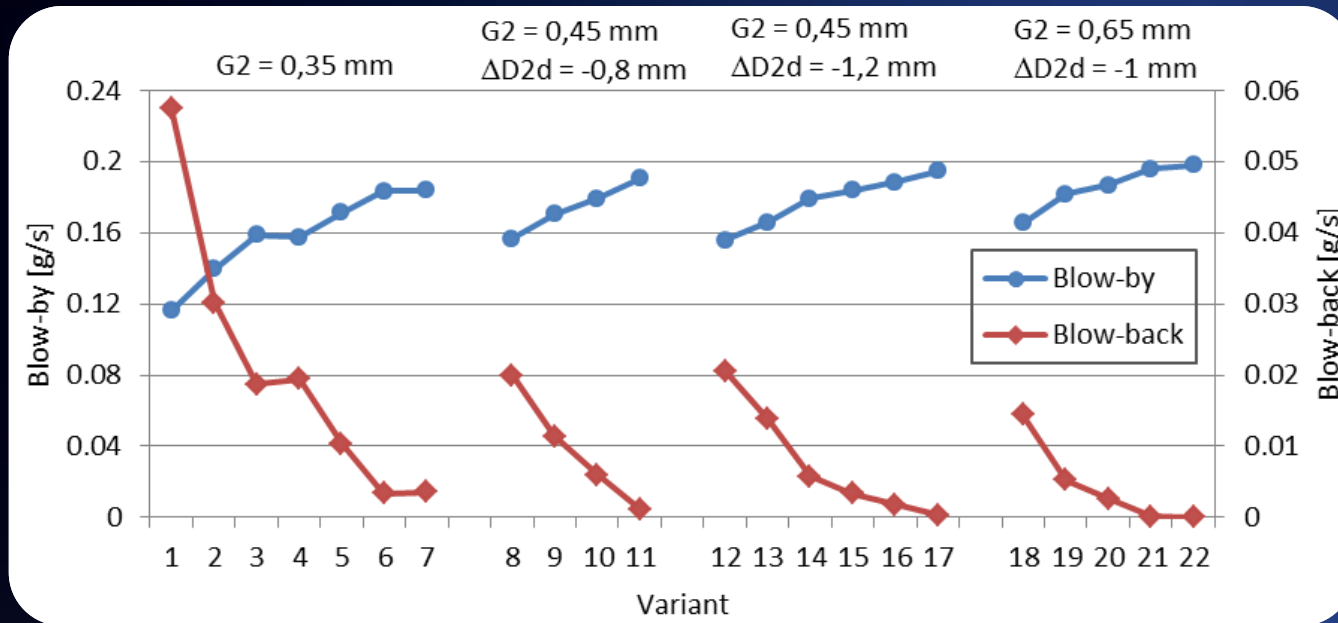
Zmniejszenie średnicy tłoka nad drugim rowkiem $D2d$ powoduje zmniejszenie zarówno przedmuchów jak i przedmuchów zwrotnych, jednak wpływ tej średnicy jest relatywnie mały



Zmniejszenie średnicy tłoka poniżej drugiego rowka $D3u$ powoduje zmniejszenie przedmuchów zwrotnych, ale wzrost przedmuchów spalin

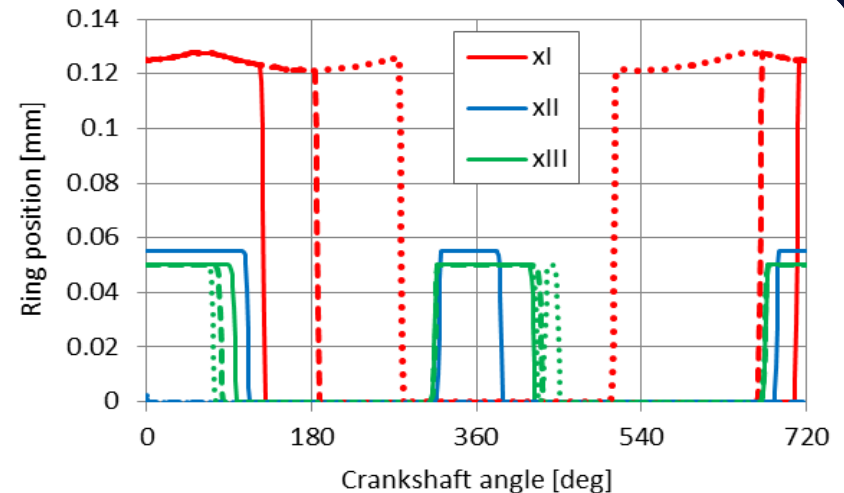
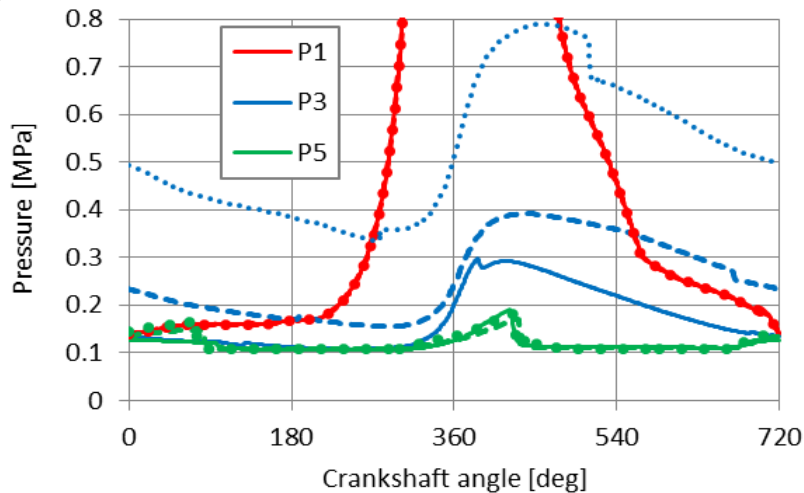


Wyniki – krok 3 (wpływ jednoczesnych zmian wielu wymiarów)



Wyniki – krok 3 (wpływ jednoczesnych zmian wielu wymiarów)

Ciśnienie w przestrzeniach międzypierścieniowych i osiowe położenia pierścieni w rowkach dla wymiarów wyjściowych (linia punktowa) oraz wybranych wariantów: pozwalającego na wyeliminowanie przedmuchów zwrotnych $G2 = 0,6$ mm, $D2d = -1,0$ mm and $D3u = -1,0$ mm (linia ciągła), oraz zapewniającego brak osiowych przemieszczeń drugiego pierścienia: $G2 = 0,45$ mm, $D2d = -1,0$ mm and $D3u = -1,0$ mm (linia kreskowana)



Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań, zaproponowano dwa rozwiązania:

- pierwsze, pozwalające na całkowite wyeliminowanie zwrotnego przepływu gazu z przestrzeni międzypięścieniowych w kierunku komory spalania.

W rozwiązaniu tym pierwszy pierścień uszczelniający raz zmienia swoje położenie osiowe w rowku w jednym cyklu pracy silnika, a drugi pierścień uszczelniający i pierścień zgarniający po dwa razy.

- drugie, które zapewnia brak osiowych przemieszczeń drugiego pierścienia oraz jedno przemieszczenie pierwszego pierścienia i tylko dwa przemieszczenia pierścienia zgarniającego, a jednocześnie pozwala na bardzo duże zmniejszenie przedmuchów zwrotnych – 3,5 razy w porównaniu do wersji wyjściowej.



Podsumowanie

W obu rozwiązaniach zmniejszenie przedmuchów zwrotnych okupione zostało zwiększeniem przedmuchów spalin do skrzyni korbowej, odpowiednio o 65% i 40%.

Wykorzystanie opracowanego modelu pozwoliło na ocenę wpływu wielu parametrów konstrukcyjnych na działanie uszczelnienia pierścieniowego i wybranie najkorzystniejszych wariantów, które zostały poddane badaniom doświadczalnym. Pozwoliło to na bardzo duże skrócenie i obniżenie kosztów badań hamownianych.



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

WYKORZYSTANIE MODELU PRZEPŁYWU GAZU DO DOSKONALENIA KONSTRUKCJI UKŁADU TŁOK-PIERŚCIENIE-CYLINDER SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

POLITECHNIKA LUBELSKA
Katedra Transportu, Silników Spalinowych
i Ekologii
dr hab. inż. Grzegorz Koszałka, prof. PL

Projekt „Politechnika Lubelska - Regionalna Inicjatywa Doskonałości”
- finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo
Nauki
i Szkolnictwa
Wyższego

