

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych

Współczesne Materiały Inżynierskie

1. Temat: Pomiar ciśnienia krytycznego i momentu tarcia uszczelnienia z cieczą magnetyczną

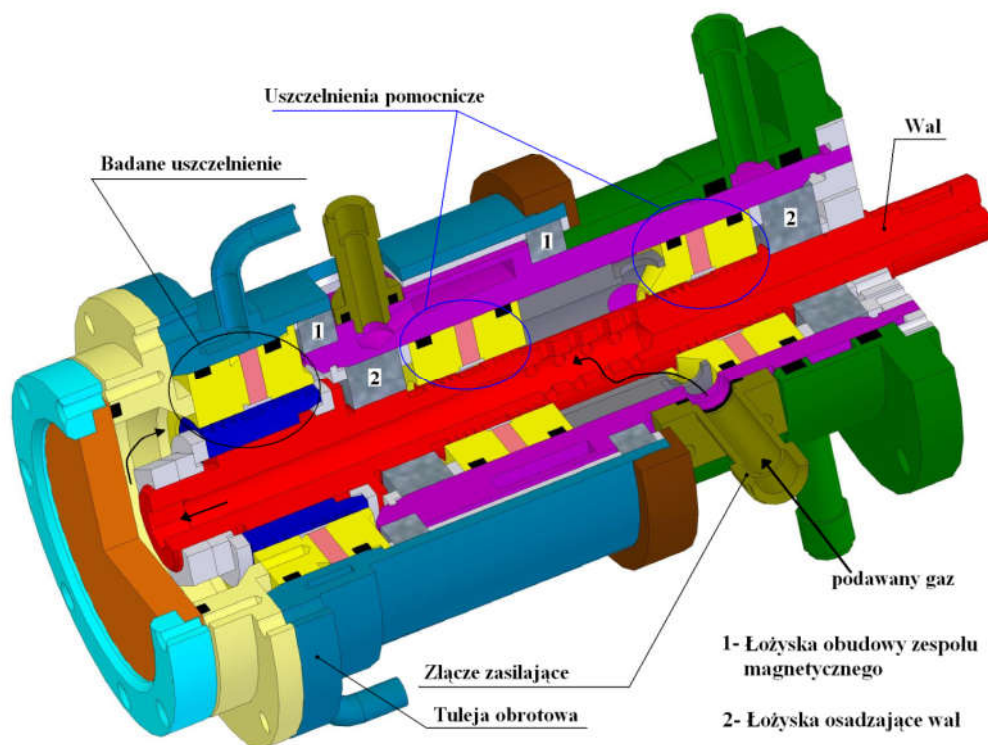
2. Cel ćwiczenia:

- zapoznanie się z zastosowaniem cieczy magnetycznych,
- badania dopuszczalnego ciśnienia pracy uszczelnień z cieczą magnetyczną.
- badania momentu tarcia uszczelnień z cieczą magnetyczną.

3. Opis stanowiska:

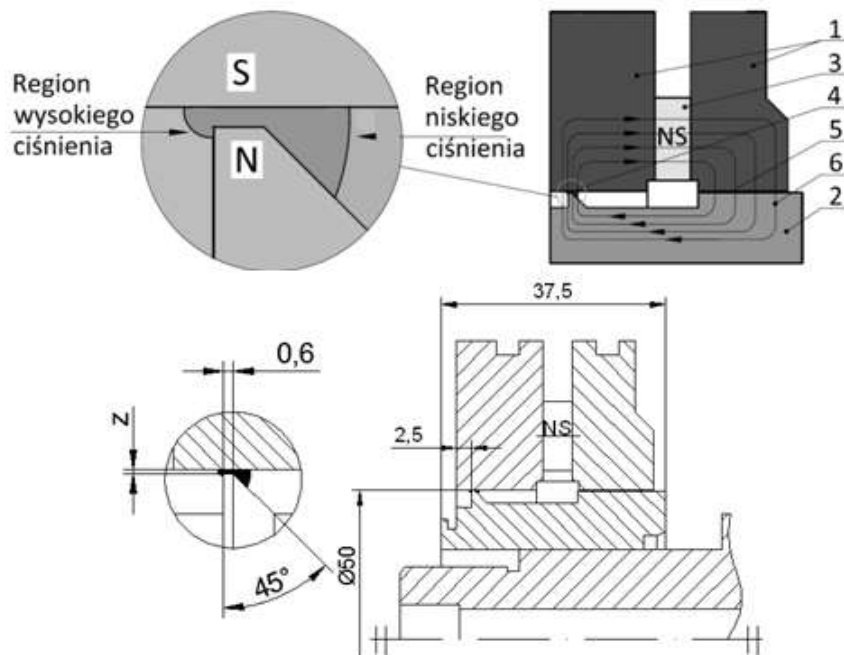
Na rysunku poniżej pokazano ogólny widok wielofunkcyjnego stanowiska badawczego MAST, przeznaczonego do badania uszczelnień z cieczą magnetyczną.





Ogólny widok stanowiska badawczego MAST do badania uszczelnień z ferrocieczą

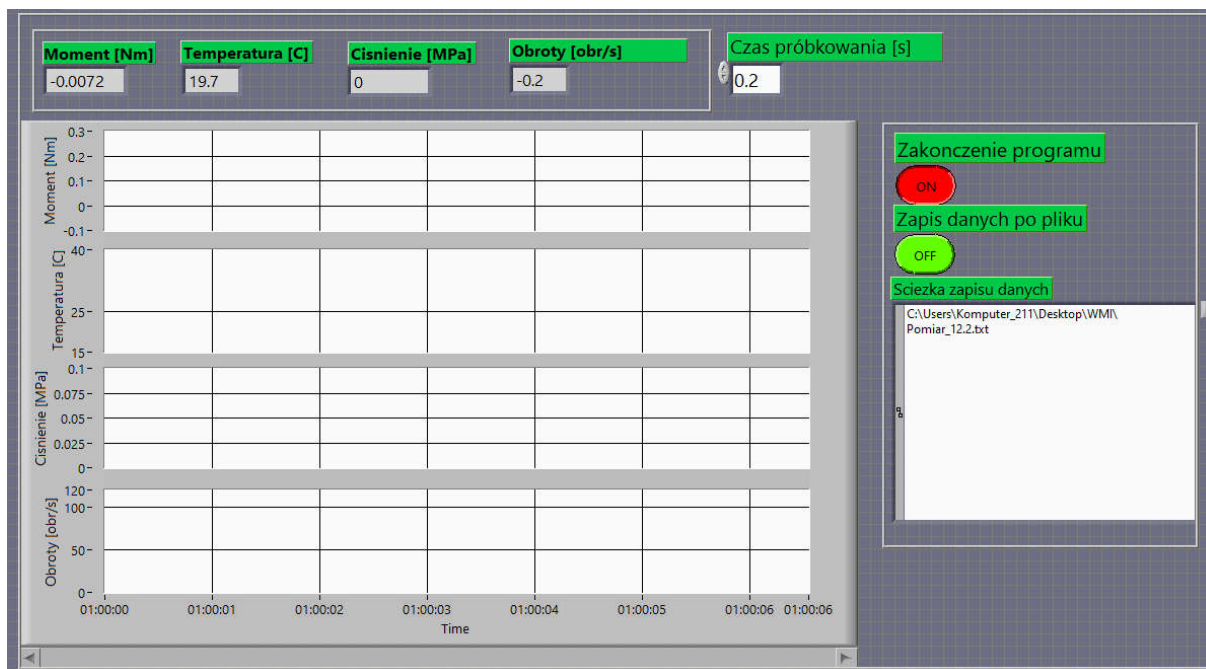
Główne parametry badanych uszczelnień przedstawione są na rysunku poniżej. Są to średnica nominalna oraz wysokość szczeliny. Na tulei uszczelnienia wykonany jest jeden występ.



Schemat badanego uszczelnienia: z- wysokość szczeliny uszczelnienia (0,1mm), D_n – średnica nominalna (50 mm), 1– nabiegunniki, 2– tuleja jedno-występowa, 3– magnes stały, 4– ferrociecz, 5– przestrzeń powietrzna, 6– linie pola magnetycznego



Dane pomiarowe zapisywane są na komputerze z wykorzystaniem programu karty pomiarowej NI-6009 i programu Labview.



Widok programu do zbierania danych pomiarowych

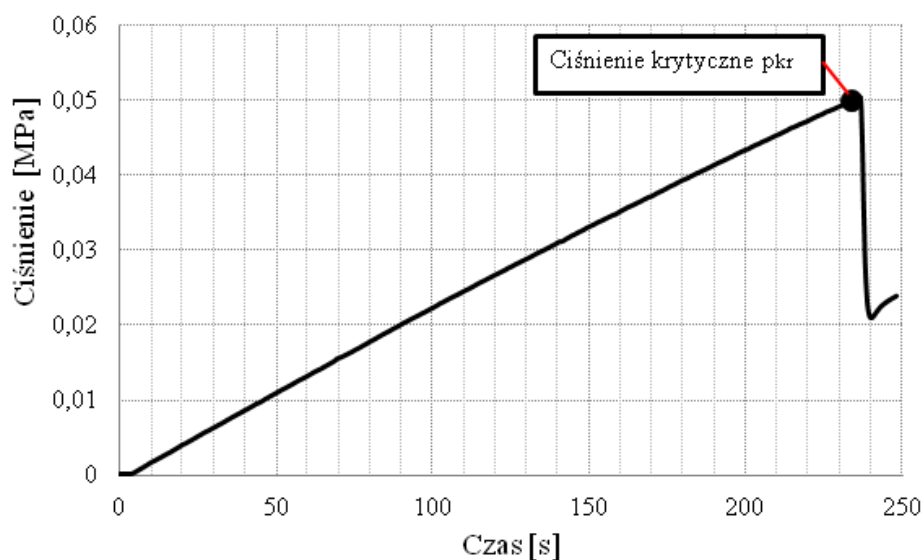
Badane ciecze FF:

Właściwości badanych cieczy przedstawiono w tabeli poniżej. Są to ciecze o podobnej wartości magnetyzacji nasycenia około 30 kA/m, ale różnej lepkości dynamicznej.

Ciecze FF	Magnetyzacja nasycenia M_s [kA/m]	Gęstość [g/ml]	Lepkość dynamiczna [mPas]
APGW05	30,66	1,299	517
APGW10	30,82	1,316	1042

4. Przebieg ćwiczenia pomiaru dopuszczalnego ciśnienia pracy uszczelnienia i momentu tarcia

Pomiar realizowany był w warunkach statycznych przy nieruchomym wale. Ciśnienie podczas próby zwiększane było w sposób ciągły, aż do wystąpienia oznak przecieku lub gwałtownego spadku zadawanego ciśnienia. Przykładowy pomiar przedstawiony jest na rysunku poniżej. Badania przeprowadzono dla cieczy APGW05 i APGW10 w przypadku różnej objętości aplikowanej ferrocieczy w region występu oraz różnej objętości magnezu.



Przykład badania ciśnienia krytycznego uszczelnienia z ferrocieczą

Uzyskane wyniki wartości ciśnienia krytycznego p_{kr} zapisujemy w tabelach poniżej:

Różna objętość ferrocieczy [ml]	APGW05 [kPa]	APGW10 [kPa]
0,05		
0,1		
0,2		
0,3		

Różna objętość magnezu [cm ³], przy objętości ferrocieczy 0,1 [ml]	APGW05 [kPa]	APGW10 [kPa]
4,4		
8,8		
17,7		
30,9		



Moment tarcia mierzony był z wykorzystaniem tensometrów przyklejonych na belce. W wyniku pojawienia się momentu oporu uszczelnienia podczas obrotów występuje obrót tulei obrotowej w głowicy badawczej na łożyskach (pozycja nr 1). Powoduje to nacisk na belkę tensometryczną. Badania przeprowadzono dla cieczy APGW05 i APGW10 w przypadku różnej temperatury uszczelnienia, objętości ferrocieczy 0,1 ml, objętości magnesów 8,8 cm³, prędkości obrotowej 1500 obr/min.

Uzyskane wyniki wartości momentu tarcia uszczelnienia zapisujemy w tabeli poniżej:

Temperatura badania [°C]	APGW05 [Nmm]	APGW10 [Nmm]
25		
35		
45		

5. Opracowanie wyników badań

Sprawozdanie powinno zawierać:

- a) schemat badanego uszczelnienia,
- b) na podstawie wyników badań opracować wykresy:

- A. Różna objętość ferrocieczy vs. Ciśnienie krytyczne dla dwóch cieczy FF
- B. Różna objętość magnesu vs. Ciśnienie krytyczne dla dwóch cieczy FF
- C. Temperatura vs. Moment tarcia uszczelnienia dla dwóch cieczy FF
- c) wnioski.

6. Pytania kontrolne

- Budowa i rodzaje cieczy magnetycznych.
- Budowa uszczelnień z cieczą magnetyczną.
- Wpływ parametrów reologicznych na wartość momentu tarcia uszczelnień z cieczą magnetyczną
- Wpływ parametrów magnetycznych na wartość ciśnienia krytycznego uszczelnień z cieczą magnetyczną

7. Wytyczne BHP

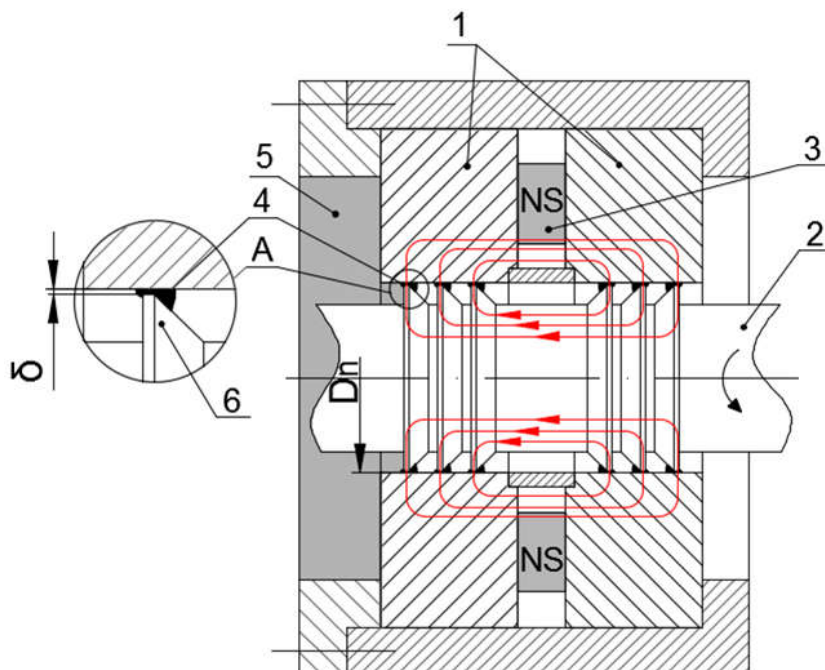
Należy postępować według szkolenia udzielonego przez opiekuna przedmiotu, prowadzącego laboratorium oraz stosować się do OGÓLNEJ INSTRUKCJI BHP UŻYTKOWANIA.

Opracowanie: dr hab. inż. Marcin Szczęch

Teoria uszczelnień z cieczą magnetyczną

Uszczelnienia z ferrocieczą pracujące w ruchu obrotowym zbudowane są z kilku podstawowych elementów. Przykład budowy oraz zasadę działania przedstawiono jest na rysunku poniżej. Źródłem pola magnetycznego najczęściej jest magnes trwały 3 spolaryzowany w kierunku osiowym. Wał obrotowy 2 i nabiegunniki 1 są wykonane z materiału o właściwościach ferromagnetycznych. Elementy te stanowią główną część obwodu magnetycznego. Całość umieszczona jest w obudowie wykonanej z materiału o właściwościach paramagnetycznych. Ciecz ferromagnetyczna 4 utrzymywana jest przez pole magnetyczne na wystęgach uszczelniających i stanowi barierę dla uszczelnianego medium, którym zwykle jest gaz.

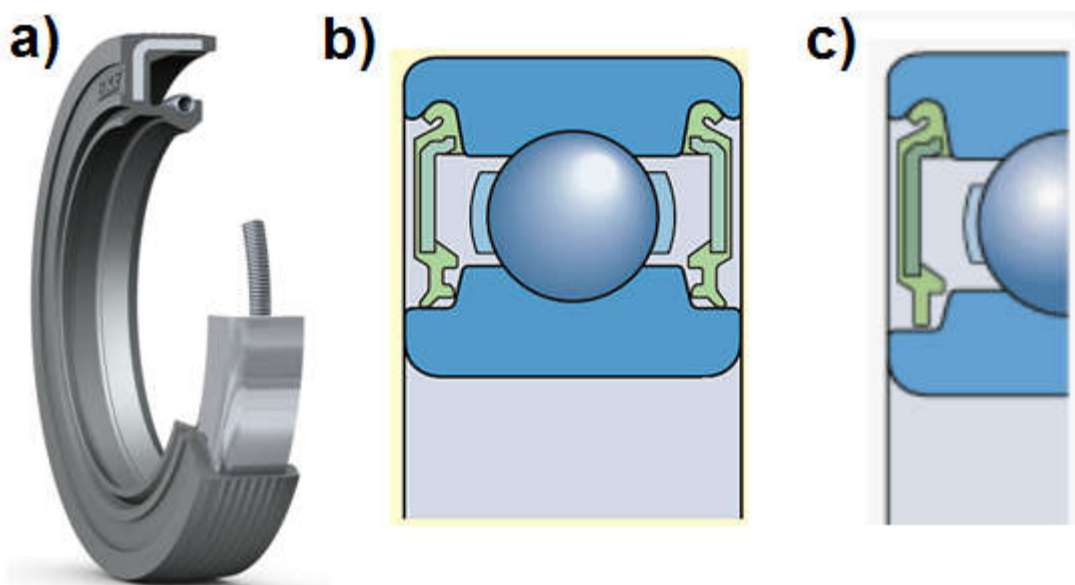
Do najważniejszych parametrów geometrycznych wyrażającą wielkość uszczelnienia można zaliczyć średnicę D_n . Kolejnym jest wysokość szczeliny „ δ ”, która wpływa na wartość oraz rozkład pola magnetycznego w regionie cieczy FF. O wyborze wysokości szczeliny decydują również możliwe niedokładności wymiarowe, kształtowe i położenia elementów konstrukcji. W przypadku niezachowania odpowiednich tolerancji może dochodzić do bicia osiowego i niekołowości występów, co może powodować zatarcie, szybkie zużycie i zniszczenie uszczelnienia. Duża wysokość szczeliny zwiększa ilość aplikowanej cieczy oraz obniża możliwy zakres ciśnień pracy. Z kolei mała wartość szczeliny wymaga narzucania wysokich dokładności i tolerancji kształtowych i wymiarowych elementów uszczelnienia. W praktycznych zastosowaniach jej wartość może wahać się w przedziale $0,05 \div 0,5$ mm. Wysokość szczeliny uzależniona jest w znacznym stopniu od wymiarów uszczelnienia.



Budowa wielowystępowego uszczelnienia z ferrocieczą

OPORY RUCHU USZCZELNIENIA

Niskie opory ruchu są jedną z głównych zalet uszczelnień z cieczą FF. Właściwość ta, związana jest z charakterem pracy uszczelnień tego typu, gdzie dyssypacja energii wynika jedynie z tarcia wewnętrznego w cieczy FF. Przykładowo w przypadku uszczelnienia jedno występowego prędkości obrotowej 3000 obr/min, ferrocieczy o lepkości 0,5 Pas, średnicy $D_n=20$ mm moment oporu wynosi 2 Nmm. Porównanie do innych rodzajów uszczelnienia przedstawiono na rysunku poniżej:



- a) Moment tarcia pierścienia gumowego -55 Nmm, b) uszczelnienie dwustronne stykowe z kauczuku (NBR), wzmocnione blaszką stalową -55,6 Nmm, c) uszczelnienie dwustronne bezstykowe o zmniejszonym tarcu, wykonane z kauczuku (NBR), wzmocnione blaszką stalową - 4 Nmm (**uszczelnienie to jednak będzie miało gorszą szczelność niż uszczelnienie z ferrocieczą**)

Wielkość momentu oporu, generowanego przez ciecz FF pracującą w uszczelnieniu, można obliczyć przez analogię do modelu łożyska o współosiowych osiach tzw. łożyska Pietrowa:

$$M_t = \frac{\eta \cdot v \cdot S \cdot D_n}{2 \cdot z} \quad (4)$$

gdzie:

η – lepkość dynamiczna cieczy,

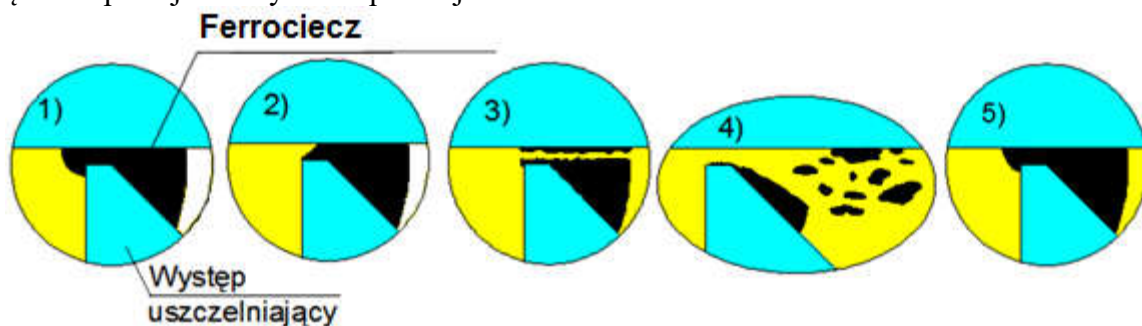
D_n – średnica nominalna uszczelnienia ($D_n=2 \cdot R$),

S – pole powierzchni kontaktu cieczy FF z elementami uszczelnienia ($S=\pi \cdot b \cdot D_n$),

v – prędkość obwodowa ($v=\omega \cdot R$).

DOPUSZCZALNE CIŚNIENIE USZCZELNIENIA (CIŚNIENIE KRYTYCZNE)

Dopuszczalne ciśnienie pracy uszczelnienia z cieczą magnetyczną określa się jako ciśnienie krytyczne. Jest to jeden z podstawowych parametrów. Definiuje się go jako maksymalną wartość ciśnienia uszczelnianego medium, dla którego uszczelnienie pracuje bez przekroczenia uznanej za dopuszczalną wartości przecieku. W przypadku wystąpienia ciśnienia krytycznego następuje nagłe przerwanie ciągłości płynnego pierścienia uszczelniającego. Mechanizm wystąpienia utraty szczelności dla warunków statycznych można przedstawić w pięciu etapach jak na rysunku poniżej:



Mechanizm utraty szczelności w uszczelnieniu

W przypadku dalszego wzrostu ciśnienia na obwodzie uszczelnienia pojawia się niewielki kanał (etap 3), przez który gaz lub ciecz dostaje się za uszczelnienie. Etap ten uważany jest za utratę szczelności uszczelnienia i charakteryzuje go wartość ciśnienia krytycznego (p_{kr}). W przypadku wyższego ciśnienia ciecz zostaje wypchnięta z regionu występu uszczelniającego (etap 4). Zbyt szybki wzrost ciśnienia również powoduje wyrzucenie cieczy poza występ uszczelniający (etap 4). W przypadku spadku ciśnienia poniżej wartości krytycznej następuje **odbudowa pierścienia** (jedna z głównych zalet tego rodzaju uszczelnień) cieczy FF jeżeli jest jej odpowiednia ilość na występie (etap 5). Odtworzony jest płynny pierścień i uszczelnienie może nadal spełniać swoją funkcję. W wyniku utraty pewnej objętości cieczy, uszczelnienie charakteryzuje się niższym ciśnieniem krytycznym niż poprzednio.

Wartość ciśnienia krytycznego można obliczyć korzystając z ferrohdrodynamicznego równania Bernoulliego:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh - \mu_0 \bar{M} H = const.$$

gdzie:

p – całkowite ciśnienie w cieczy magnetycznej [Pa],

ρ – gęstość cieczy magnetycznej [kg/m^3],

g – stała grawitacji [m/s^2],

\bar{M} – wektor magnetyzacji [A/m],

μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni [H/m],

H – natężenie pola magnetycznego [A/m],

h – wysokość odniesienia [m].



Ferrociecz w uszczelnieniu jest w większości przypadków w stanie nasycenia magnetycznego (wartość M_s). Zakładając także, że pomijamy wpływ oddziaływania pola grawitacyjnego oraz rozważając przypadek uszczelnienia statycznego (brak względnej prędkości powierzchni roboczych uszczelnienia) równanie przyjmuje postać:

$$\Delta p_{kr} = M_s \Delta B_{max}$$

gdzie:

B_{max} - maksymalna wartość indukcji magnetycznej w szczelinie uszczelnienia