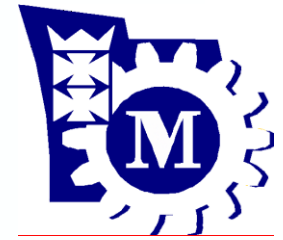




Politechnika Gdańska  
Wydział Mechaniczny

Katedra Konstrukcji Maszyn i Pojazdów



Michał Wasilczuk Leszek Dąbrowski

# Środki smarowe

## Woda jako czynnik smarujący

### Łożyska smarowane wodą

# Rola środka smarowego w łożysku

Osborne Reynolds – teoria 1886

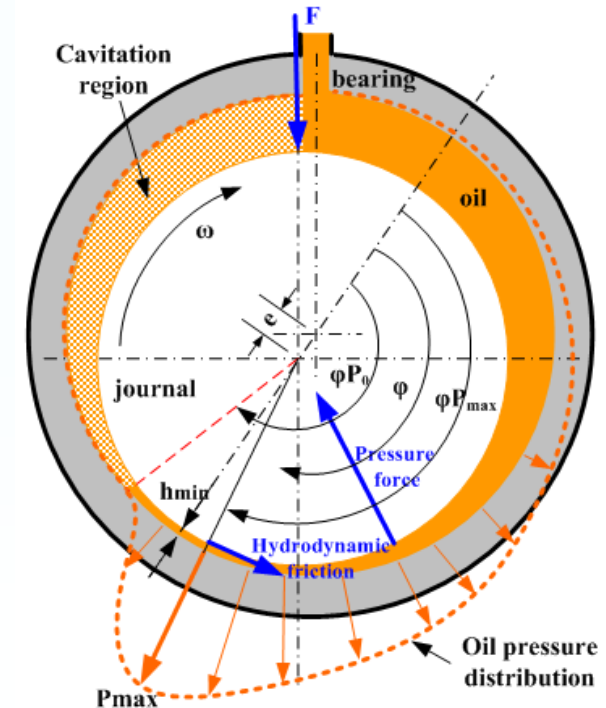
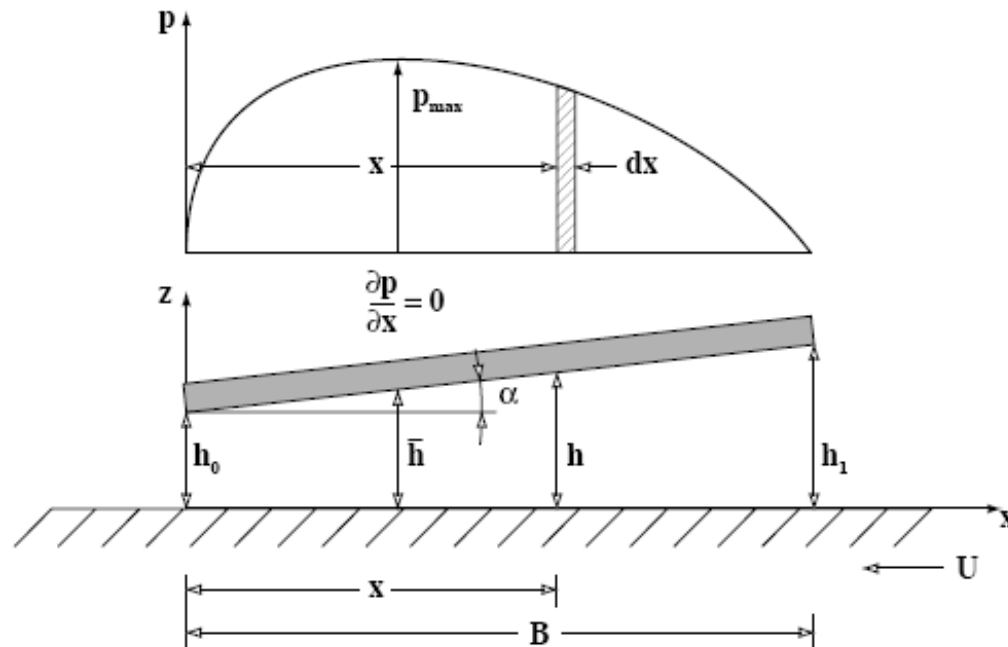
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\rho h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6(U_1 - U_2) \frac{\partial(\rho h)}{\partial x} + 12\rho V$$

Przyrost ciśnienia hydrodynamicznego

Hydrostatyczne dosmarowywanie

Klin smarowy

Wyciskanie smaru



Do hydrodynamicznego smarowania potrzebna jest lepkość środka smarowego

# Rola środka smarowego w łożysku

## Bilans energetyczny w szczelinie smarowej łożyska

$$\rho \left[ u \frac{\partial(cT)}{\partial x} + v \frac{\partial(cT)}{\partial y} + w \frac{\partial(cT)}{\partial z} \right] + p \left[ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] = \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] + \Phi$$

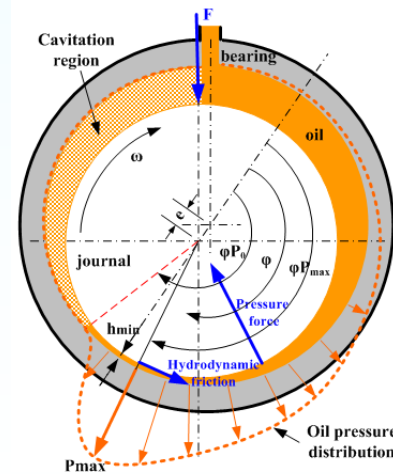
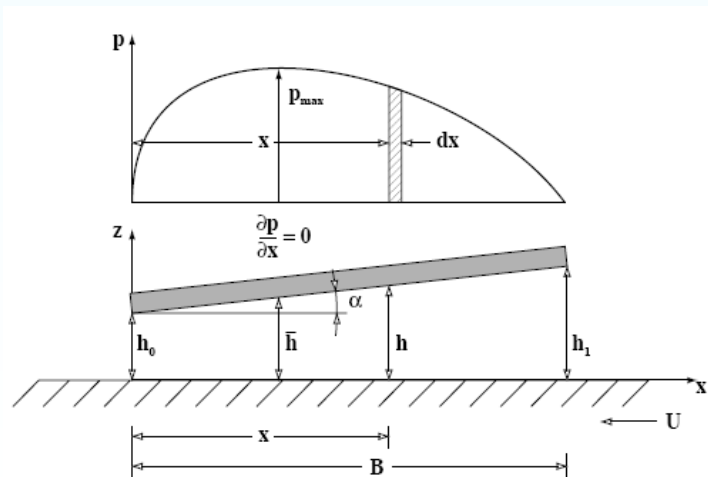
Konwekcja wymuszona

Praca ciśnienia

Przewodność cieplna cieczy

## Zamiana energii kinetycznej cieczy na ciepło (w wyniku ścinania)

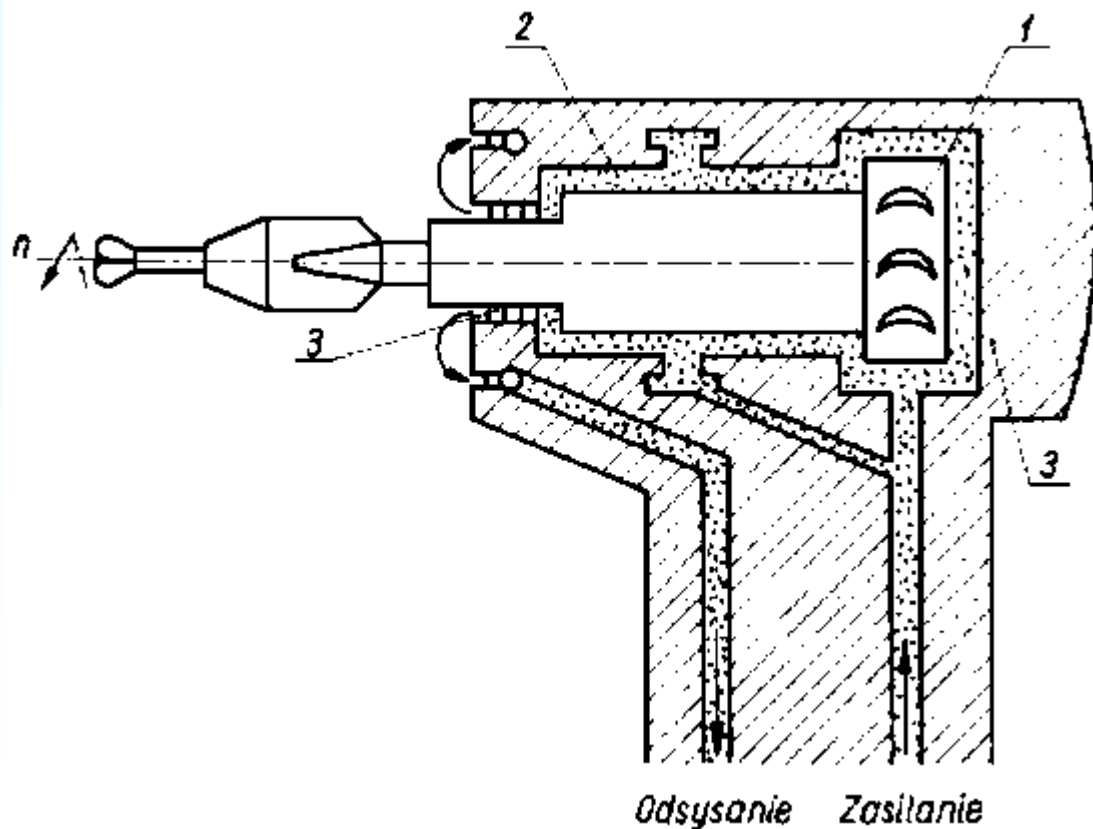
$$\Phi = \eta \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right]$$



Lepkość jest winna za straty tarcie (małe) i rozgrzewanie się łożyska (problem dla  $v > 20 \text{ m/s}$ )

Do odprowadzania ciepła z łożyska potrzebne jest duże ciepło właściwe środka smarowego

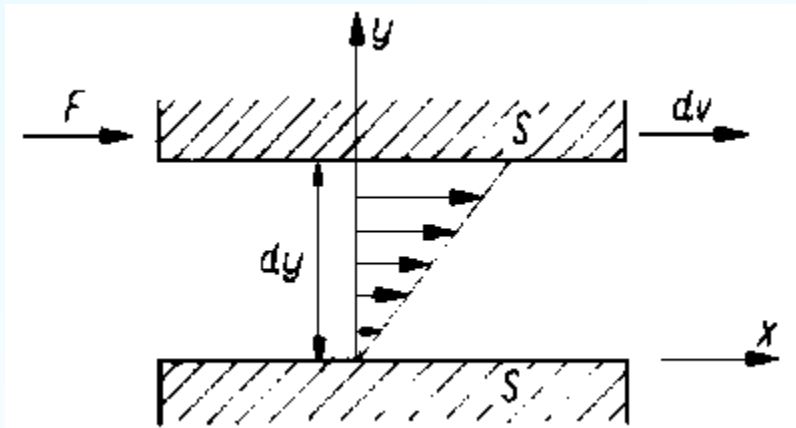
Jako środek smarowy nadaje się każdy płyn (bo posiada lepkość)



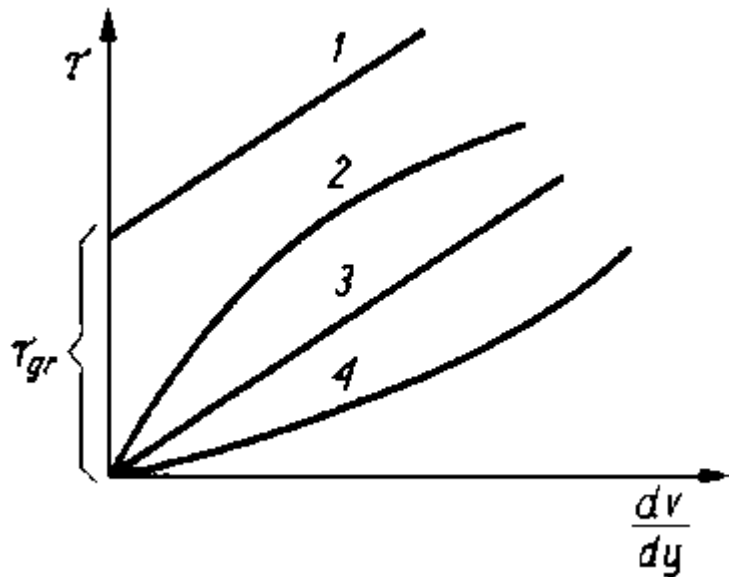
- 1 - turbina
- 2 - łożysko gazodynamiczne
- 3 - łożysko gazostatyczne

Smarowanie gazodynamiczne i gazostatyczne łożysk wrzeciona wiertarki dentystycznej

# Lepkość - zjawisko



$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{v}{y}$$
$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dy}$$



Linia płynięcia cieczy nienewtonowskiej

1 - ciecz binghamowska

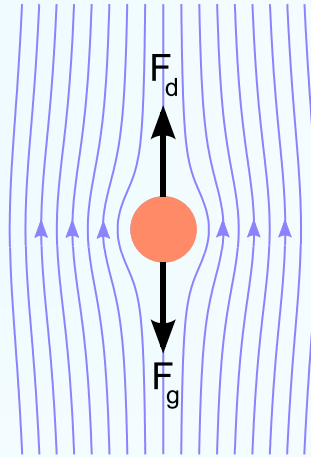
2 - ciecz pseudoplastyczna

3 - ciecz newtonowska  $\eta = \text{const}$

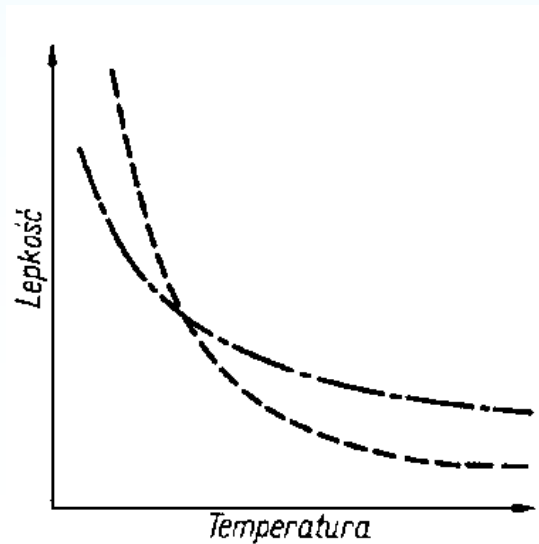
4 - ciecz dylatacyjna

# Lepkość - pomiar

np. lepkościomierz Hopflera



$$\eta = A \cdot (\rho_k - \rho_k) \cdot t$$





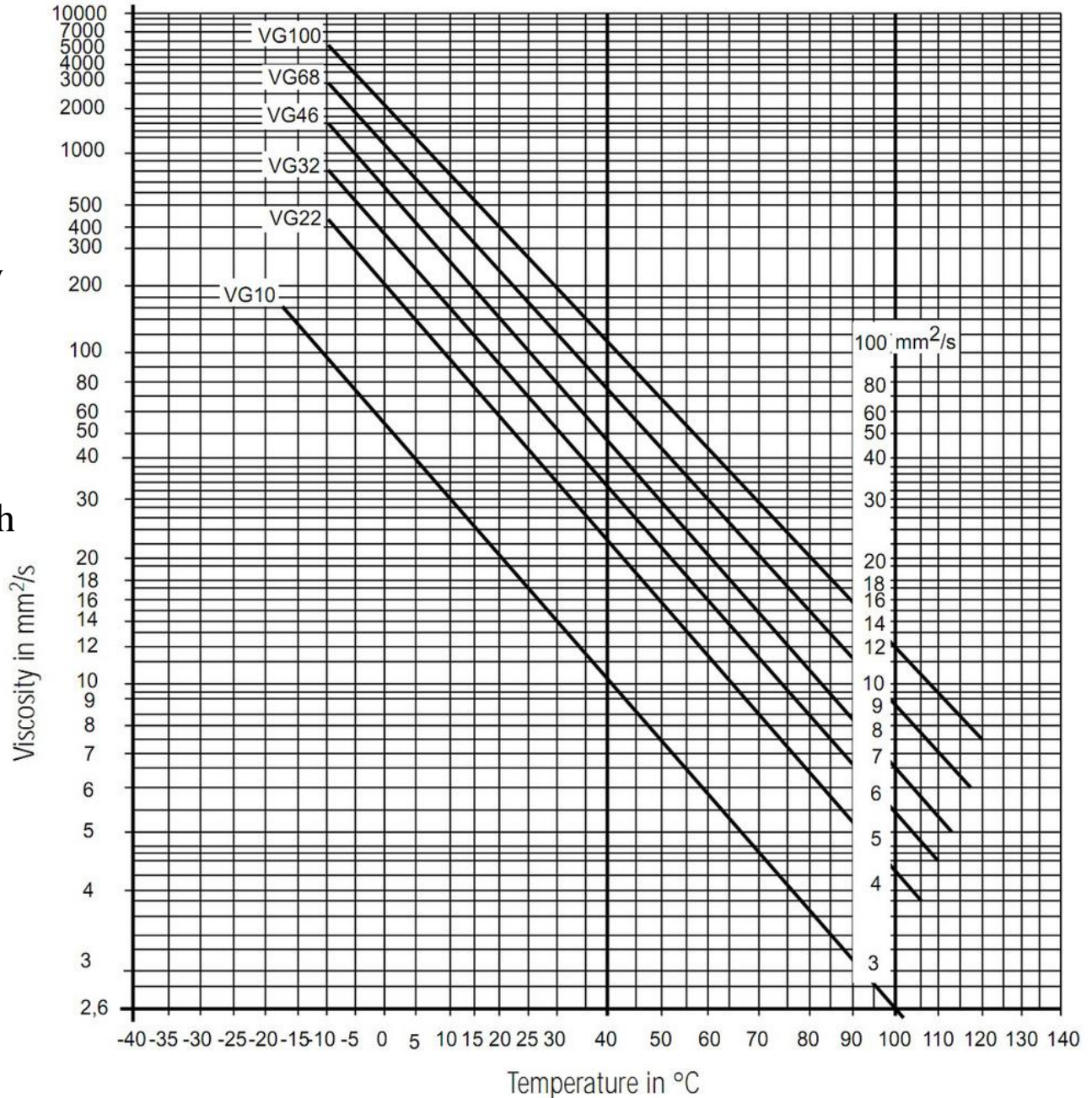
# Lepkość – zależność od temperatury

prosta posiada dwa parametry

$$\eta_{\log}(T) = a \cdot T_{\log} + \eta_{40^{\circ}\text{C}}$$

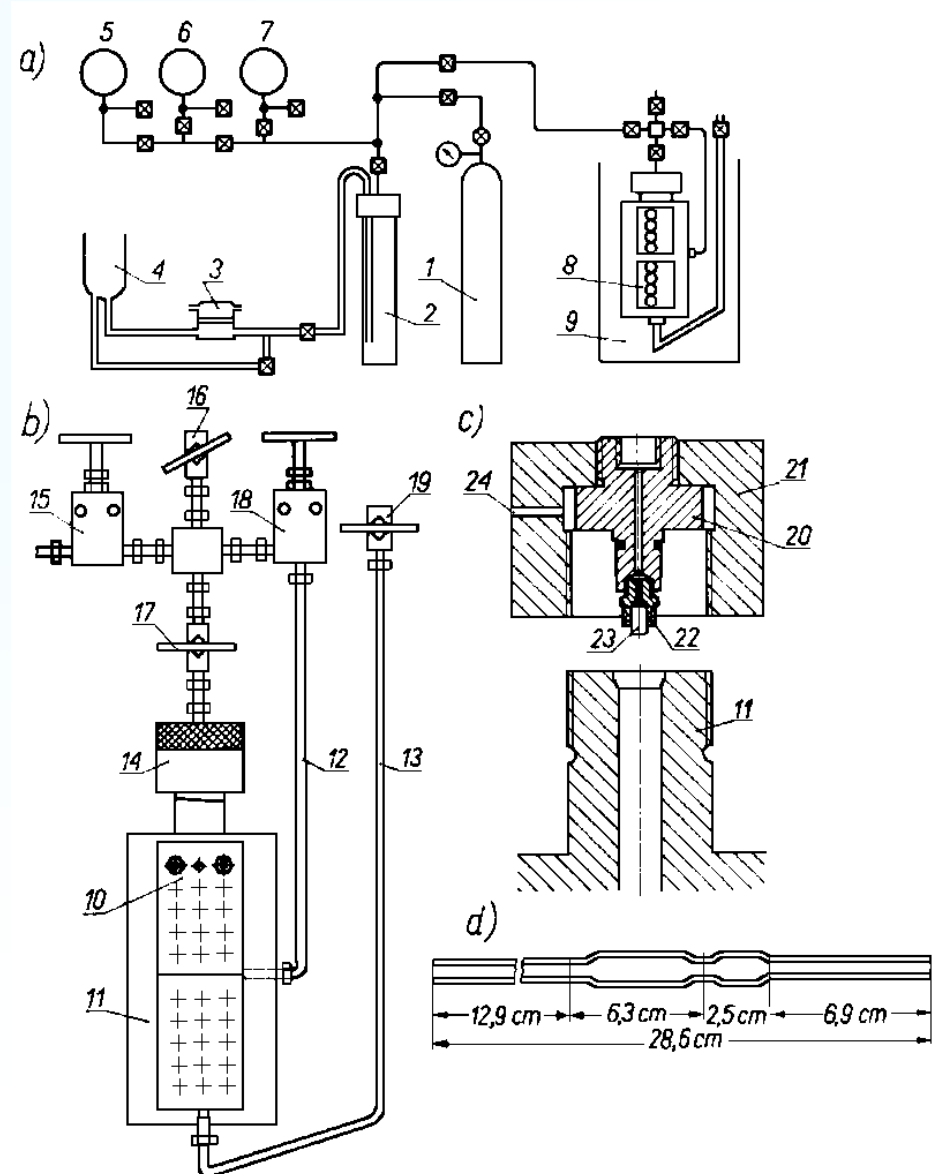
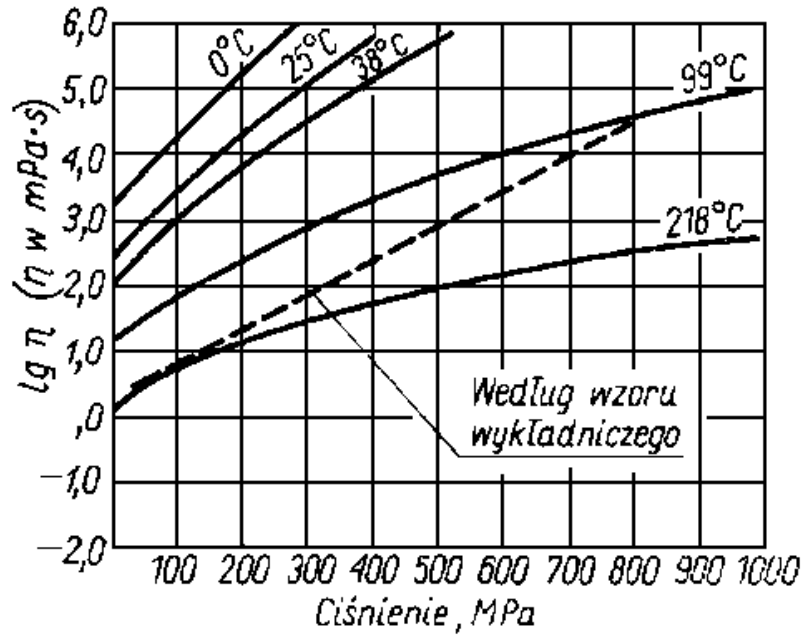
a – odpowiednik indeksu wiskozowego WL (który jest oparty na olejach wzorcowych L i H)

$$WL = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100\%$$



# Lepkość - pomiar

np. lepkościomierz wysokociśnieniowy doc. Romanowski (1978, nagroda państwowa)



- 1- zasilająca butla gazowa
- 2 - pojemnik manipulacyjny
- 3 - pompa oleju
- 4- zbiornik oleju
- 5 do 7 - zawory wysokociśnieniowe
- 8 - lepkościomierz ciśnieniowy
- 9 - łaźnia do utrzymania stałej temperatury
- 10-okienka wziernikowe,
- 11 - pojemnik ciśnieniowy,
- 12 - przewód wyrównawczy,
- 13 - przewód napełniania,
- 14 - głowica zamykająca,
- 15 do 19 - zawory ciśnieniowe



# Oleje syntetyczne o dużym wskaźniku lepkości (WL - VI)

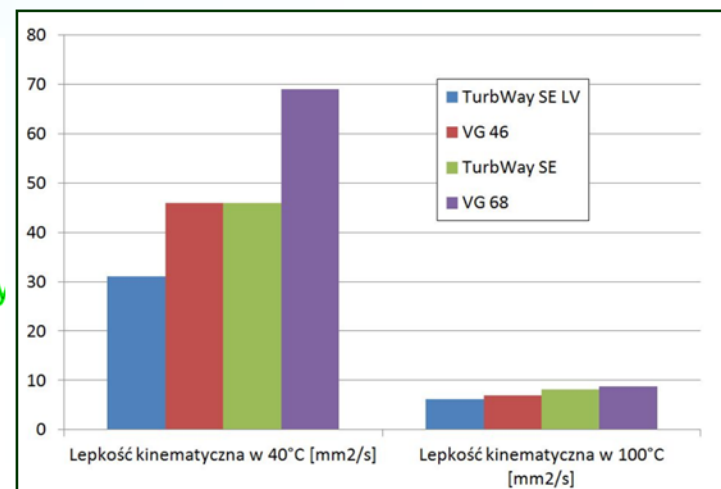
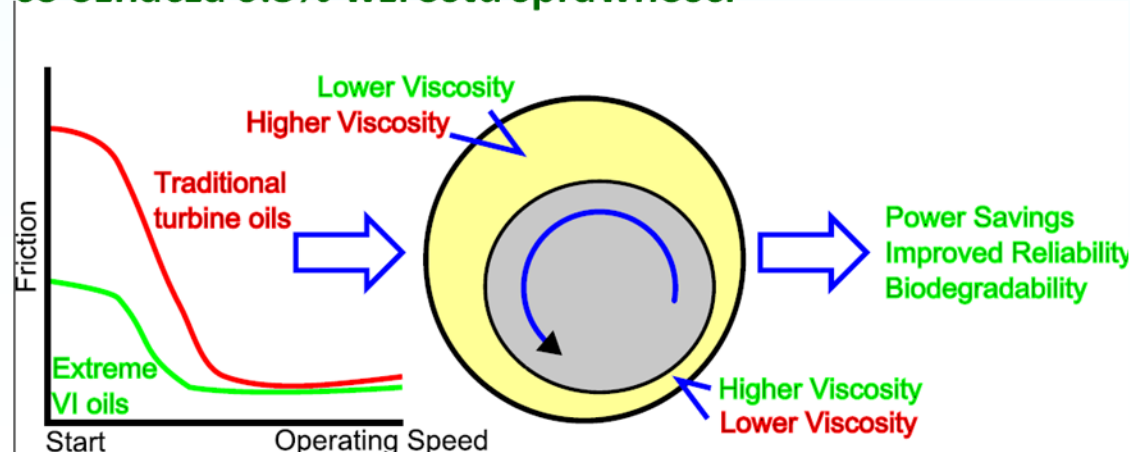
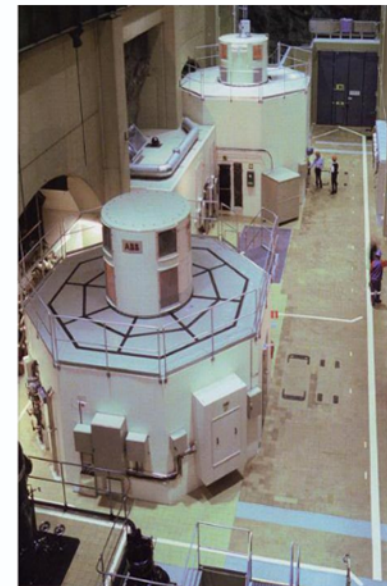
Badania eksploatacyjne zainicjowane przez S. Glavatskiego w 10 MW turbinie badawczej w elektrowni Porjus (Szwecja)

**Porównano straty tarcia dla dwóch olejów smarowych: mineralnego ISO VG-68, and syntetycznego (Turbway SE) o WL=150 i lepkości @ 40°C odpowiadającej ISO VG-46**

**Wyniki:**

Maksymalna temperatura łożyska obniżyła się o 7°C, film smarowy był grubszy, z drugiej strony wyższa temperatura kąpieli olejowej (o 5°C) zmniejszyła straty tarcia o 18.5%,

Całkowitą korzyść energetyczną oceniono na 30 kW, co oznacza 0.3% wzrostu sprawności



# Przyczyny rezygnacji z tradycyjnych środków smarowych

---

- *ekologiczne - brak niekorzystnego oddziaływania środka smarowego na środowisko (półśrodkami są stosowanie uszczelnień i biodegradowalnych środków smarowych)*
- *eksploatacyjne - lepsza wydajność maszyn, brak przestojów związanych z uzupełnianiem smaru, prostsza obsługa, niższe koszty eksploatacji itp.*
- *konstrukcyjne - upraszczanie konstrukcji maszyn, zapewnienie poprawnej pracy w nietypowych warunkach*
- *„procesowe” (technologiczne) - brak smaru oznacza czystość węzła łożyskowego i brak oddziaływania smaru (jego wycieków) na procesy - włókiennictwo, przemysł spożywczy, papierniczy*

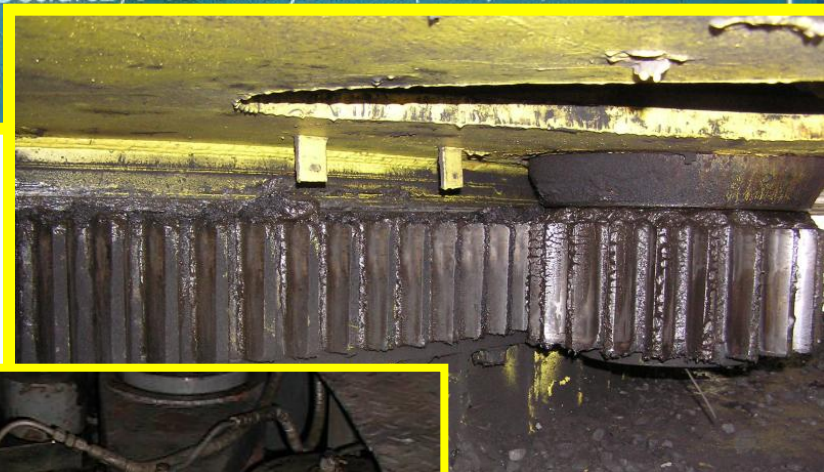




# Dlaczego (konwnecjonalne) smarowanie może stanowić problem?



Unikać długotrwałego lub powtarzającego się kontaktu ze skórą. W przypadku zabrudzenia skóry, umyć ją niezwłocznie wodą z mydłem. W przypadku spożycia nie wywoływać wymiotów - zwrócić się o pomoc lekarską. Chronić środowisko - nie wylewać zużytego oleju do otoczenia, szczególnie ścieków lub gleby. Dostarczyć do autoryzowanej firmy utylizacji odpadów. Wyprodukowano w Warszawskiej 1920



• Bardzo łatwopalny. Szkodliwy dla organizmów wodnych; Zawiera niebezpieczne substancje dla środowiska wodnego. Nie wdychać oparów i rozpylonego produktu. W przypadku wchłonięcia należy natychmiast zasięgnąć porady lekarskiej, okazując opakowanie lub etykiетkę. Stosować tylko przy dobrej wentylacji. Trzymać z dala od źródeł zapłonu. Nie palić. Trzymać z dala od dzieci. Pojemnik ciśnieniowy. Chronić od światła słonecznego i nie wystawiać na oddziaływanie temperatury powyżej 50°C. Nie przebijać i nie spalać po użyciu. Przy niedostatecznej wentylacji może powstać wybuchowa mieszanka powietrza z parami.

• Εξαιρετικά ευφλεκτό. Επιβλαβές για τους υδρόβιους οργανισμούς, μπορεί



# Dlaczego (konwencjonalne) smarowanie może stanowić problem?

---

- *Wiele środków smarowych jest szkodliwych dla człowieka*
- *Zanieczyszczeniu ulega środowisko naturalne*
- *Zanieczyszczeniu ulegają produkty wytwarzane w procesach przemysłowych (żywność, leki itp.)*
- *Brud pogarsza walory estetyczne*

# Jak dotkliwe są zanieczyszczenia?

---

Zużycie ropopochodnych środków smarowych

Świat ok. 39.3 mln ton (prognoza na 2008)



**Pociąg takich cystern o  
długości 14 tys. km  
(od Gibraltaru po krańce  
Syberii)**

Roczne zużycie w Zachodniej Europie wyniesie 5.3 mln ton (2008)

Szacuje się że w Europie do środowiska trafia 13% to jest 690 tys. ton  
(pociąg o dług. 240 km),

(w USA 32% z 11.4 mln ton to jest 3.6 mln ton – pociąg o dł. 1250 km)



## Jak dotkliwe są zanieczyszczenia?

---

Zużycie w Polsce ok. 300 tys. ton, do środowiska trafia co najmniej 40 tys. ton (przy bardzo optymistycznym założeniu, że tak jak w Europie Zachodniej do środowiska trafia 13%)



**1100 takich cystern –  
3 każdego dnia**

W Europie z 4.7 mln ton jedynie 3.6% to środki przyjazne dla środowiska



## Jak dotkliwe są zanieczyszczenia?

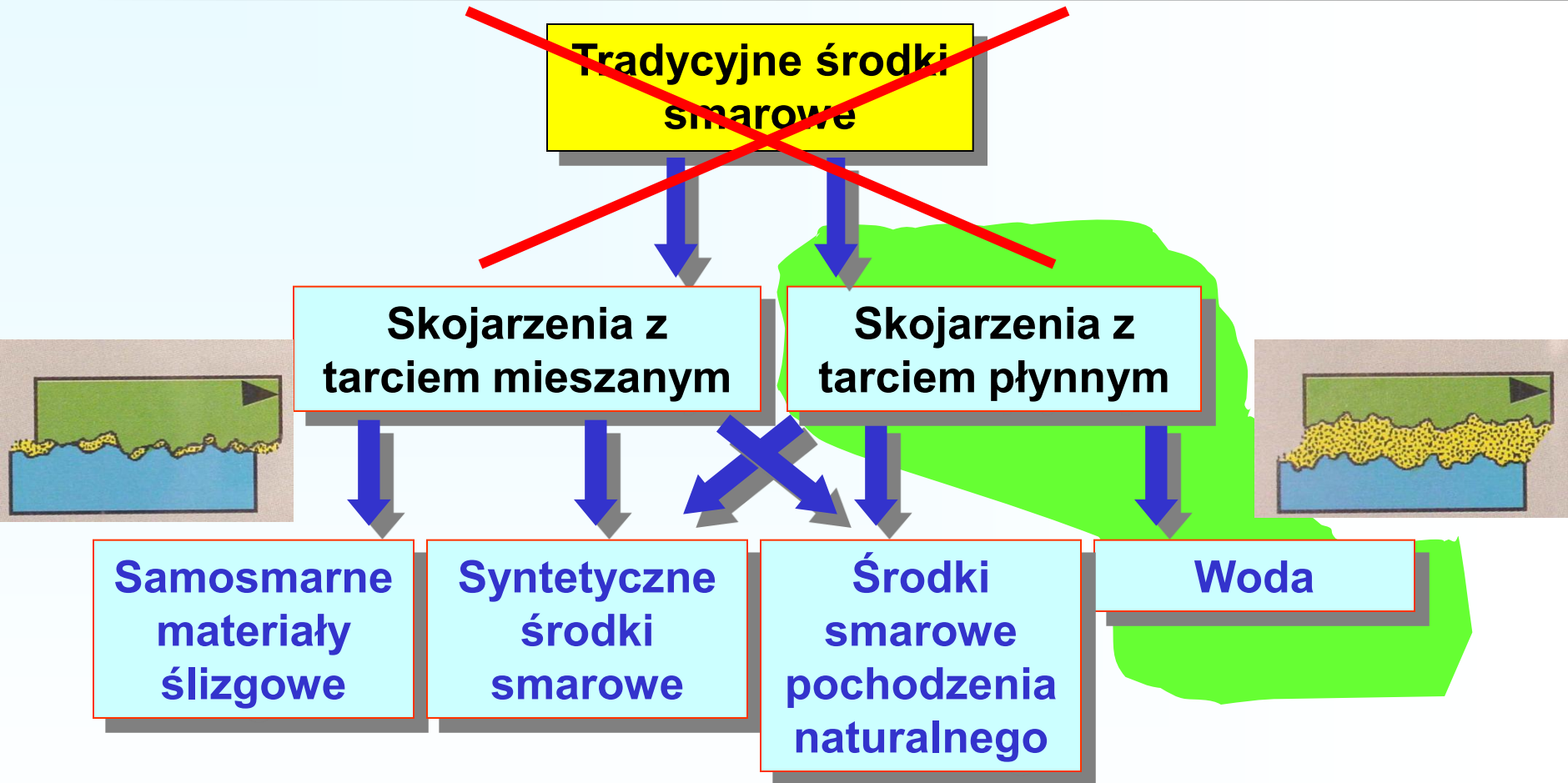
Olej bazowy zawiera wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) o dużej szkodliwości dla człowieka (rakotwórcze, mutagenne). Zawartość WWA w oleju nowym jest niewielka ale w wyniku zużycia może się zwiększyć 30-100-krotnie...

Klasyfikacja WWA i niektórych produktów (mieszanin) zawierających te związki ze względu na prawdopodobieństwo działania rakotwórczego (IARC, 1983)

GRUPA 1 Uznany kancerogen	GRUPA 2A Prawdopodobny kancerogen	GRUPA 2B Możliwy kancerogen
pak węglowy smoła węglowa dymy koksoownicze <u>oleje mineralne</u> oleje łupkowe sadze dymy tytoniowe	benzo(a)antracen benzo(a)piren oleje krezotowe  dibenzo(a,h)antracen	benzo(b)fluoranten benzo(j)fluoranten benzo(k)fluoranten ekstrakt sadzy dibenzo(a,e)piren dibenzo(a,h)piren dibenzo(a,i)piren dibenzo(a,l.)piren indeno(1,2,3-c,d)piren 5-metylochryzen dibenzo(a,h)antracen dibenzo(a,j)antracen H-dibenzo(c,g)karbazol

**jedna kropla oleju dodana do 100 l wody  
powoduje niezdatność tej wody do spożycia**

# Co w zamian (tradycyjnego środka smarowego)?

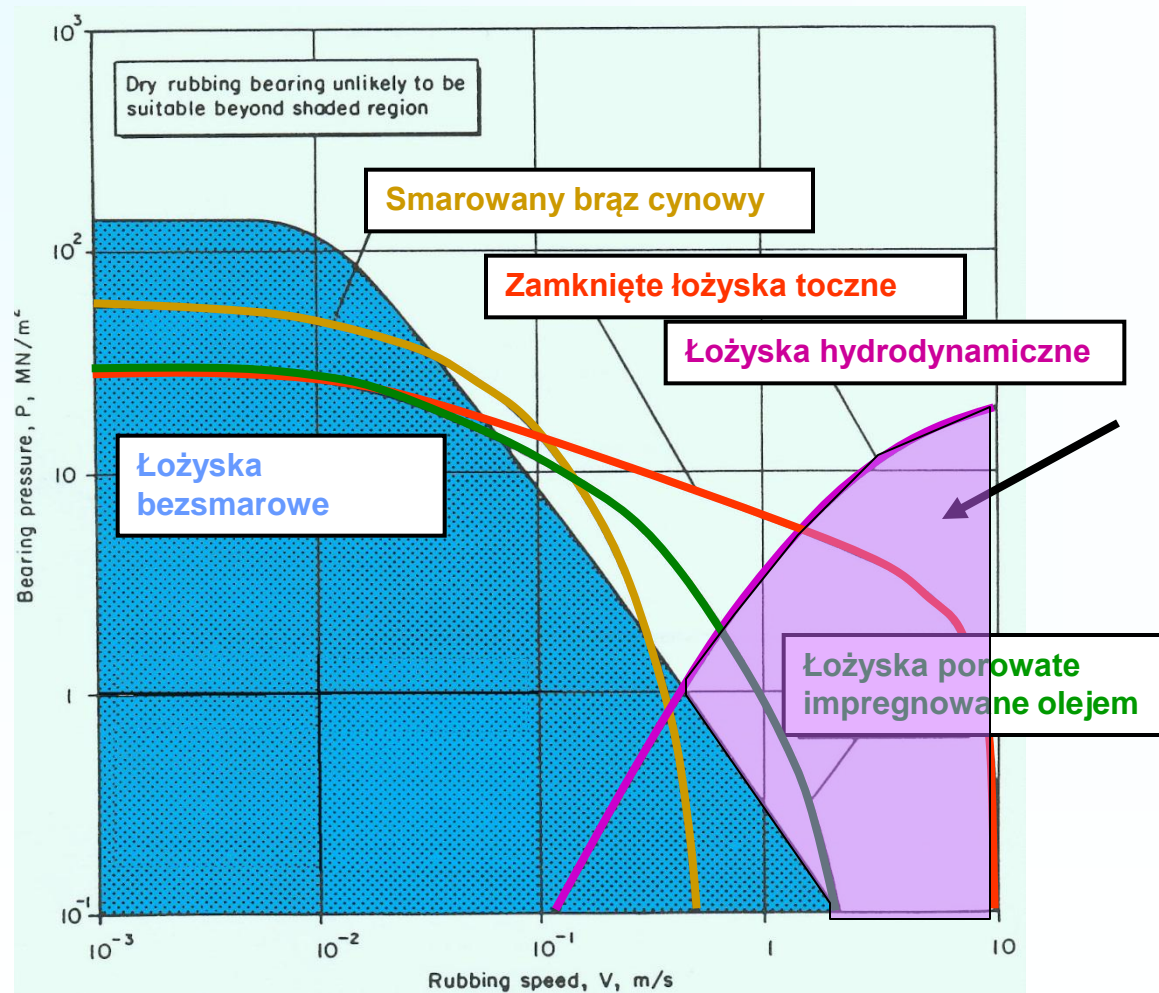


## Inne przypadki wykorzystania wody do smarowania

---

- *woda jako ciecz robocza w układach hydraulicznych - smarowanie współpracujących elementów układów napędowych*
- *woda jako środek chłodząco-smarujący podczas obróbki skrawaniem - stosowane są emulsje olejowo wodne i wodne roztwory kompleksów metali (miedzi i miedzi z cynkiem)*
- *woda jako środek smarowy w obróbce plastycznej - tłoczenie na zimno - stosuje się wodne roztwory ortofosforanów etanoloamin*

# W jakich warunkach smarowanie jest konieczne?



**Smarowanie konieczne !**

# Cechy charakterystyczne wody jako środka smarowego

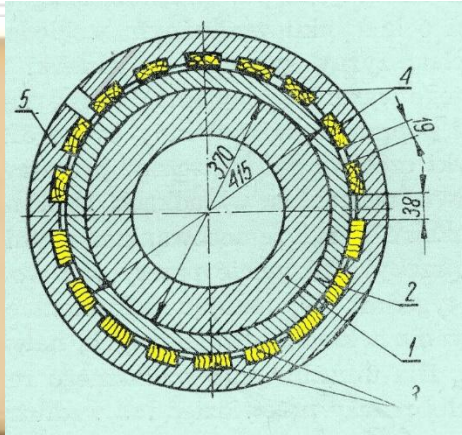
---

Wielkość	Woda	Olej (ISO VG-32)
Lepkość dynamiczna w temp. 40°C [ $10^{-3}$ Ns/m <sup>2</sup> ]	0.66	34 (50 x większa)
Ciepło właściwe [J/kgK]	4186	~2000

- Brak dodatków - mała smarność, słabe właściwości przeciwzatarciowe
- Korozyjne oddziaływanie na typowe materiały konstrukcyjne

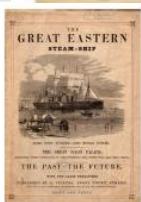
# Historia 1854

1854 – John Penn - pierwsze udokumentowane wdrożenie



Breadth over paddle boxes	120 feet
Height (keel to deck)	58 feet
Gross Tonnage	18,914 tons
Displacement	27,384 tons
Speed	14 1/2 knots
Floats	30 at 13 ft x 3 feet
Weight of one paddle with floats	185 tons
Paddle wheels diameter (Later reduced to)	56 feet 50 feet
Diameter of screw	24 feet
Pitch of screw	44 feet
Number of blades	4
Weight of screw	36 tons
Paddle engines	836 tons
Screw engines	500 tons
Boilers (Paddle engines)	4
Boilers (Screw engines)	6
Coaling capacity	12,000 tons
Sails	6,500 square yards

Great Eastern at sea in the 1870s



- Gwajak – (lignum vitae) holywood, ironwood  $1,3\text{g/cm}^3$ ,  $Z_g$  150MPa, ściskanie 100MPa wrodzona trwałość, niepodatny na impregnację, wypełniony żywicą twardość, odporność na wodę i organizmy,

- Great Eastern zbyt szybkie zużywanie łożysk wału śrubowego. Zastąpienie łożysk wylanych białym metalem łożyskiem „gwajakowym”



## 1920 – Łożyska gwajakowe



- Conowingo Hydroelectric Plant” oryginalne turbiny wyposażone były w łożyska gwajakowe

## 1922 – Łożyska gumowe

- **Charles F. Sherwood** amerykański inżynier Kopalnia w Kalifornii - uszkodzone metalowe panwie łożysk zostają awaryjnie, w obliczu zalewania kopalni, zastąpione kawałkiem gumowego węża - 1922 kupno patentu przez BF Goodrich

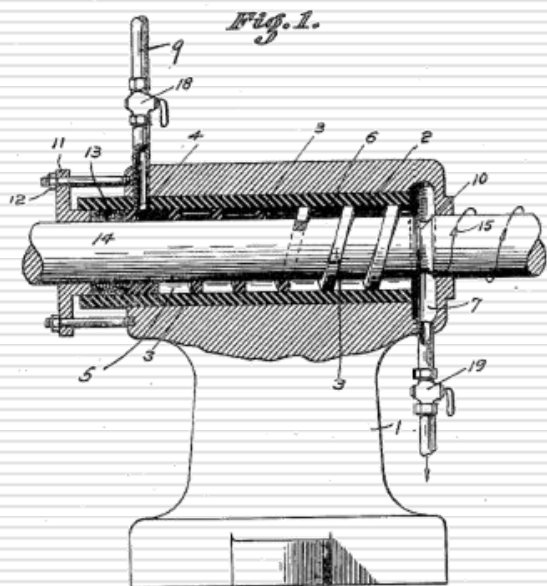


Fig. 2.

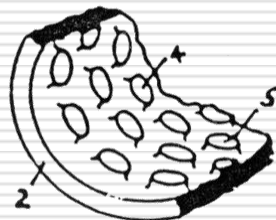


Fig. 3.

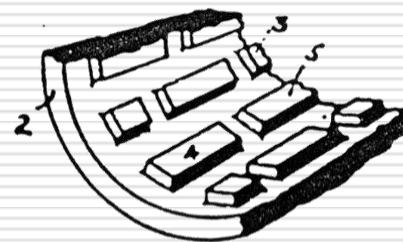


Fig. 2.

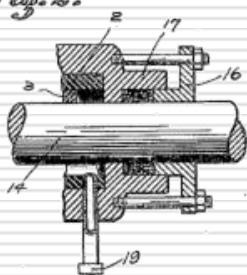
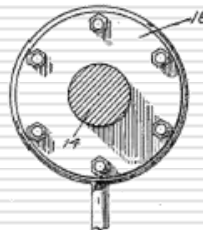


Fig. 3.



UNITED STATES PATENT OFFICE.

CHARLES FREDERIC SHERWOOD, OF LOS ANGELES, CALIFORNIA.

SHAFT-BEARING.

1,376,043.

Specification of Letters Patent. Patented Apr. 26, 1921.

Application filed February 24, 1920. Serial No. 360,703.

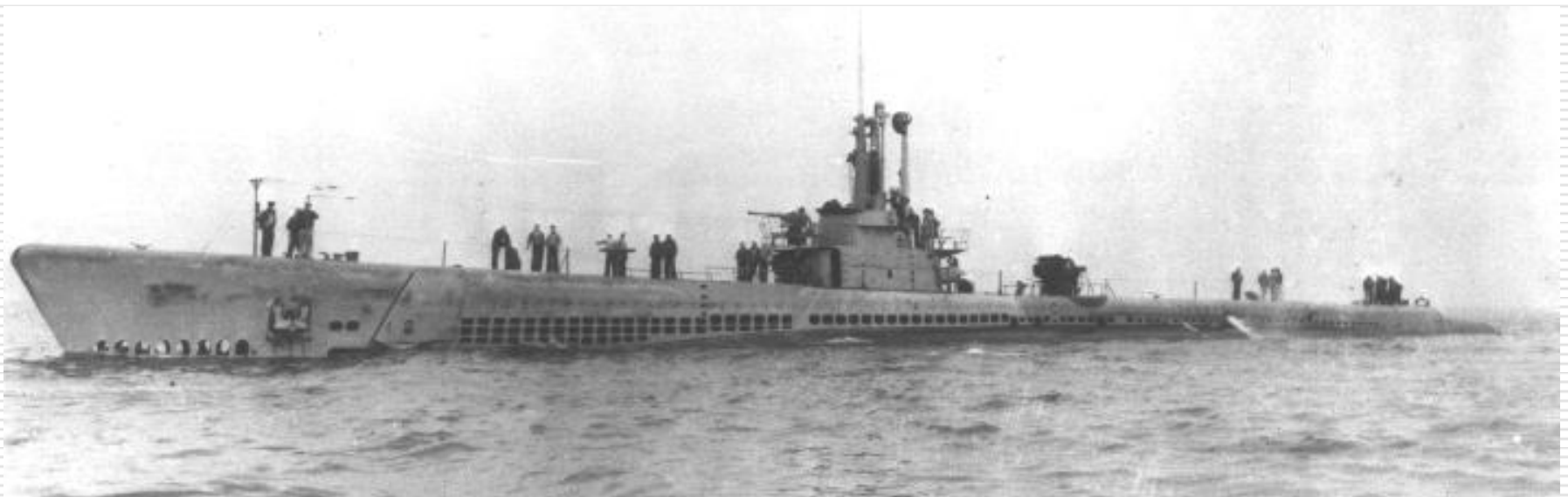
INVENTOR  
CHARLES FREDERIC SHERWOOD

By *Arthur Bayler*  
ATTORNEY.

# Historia 1939

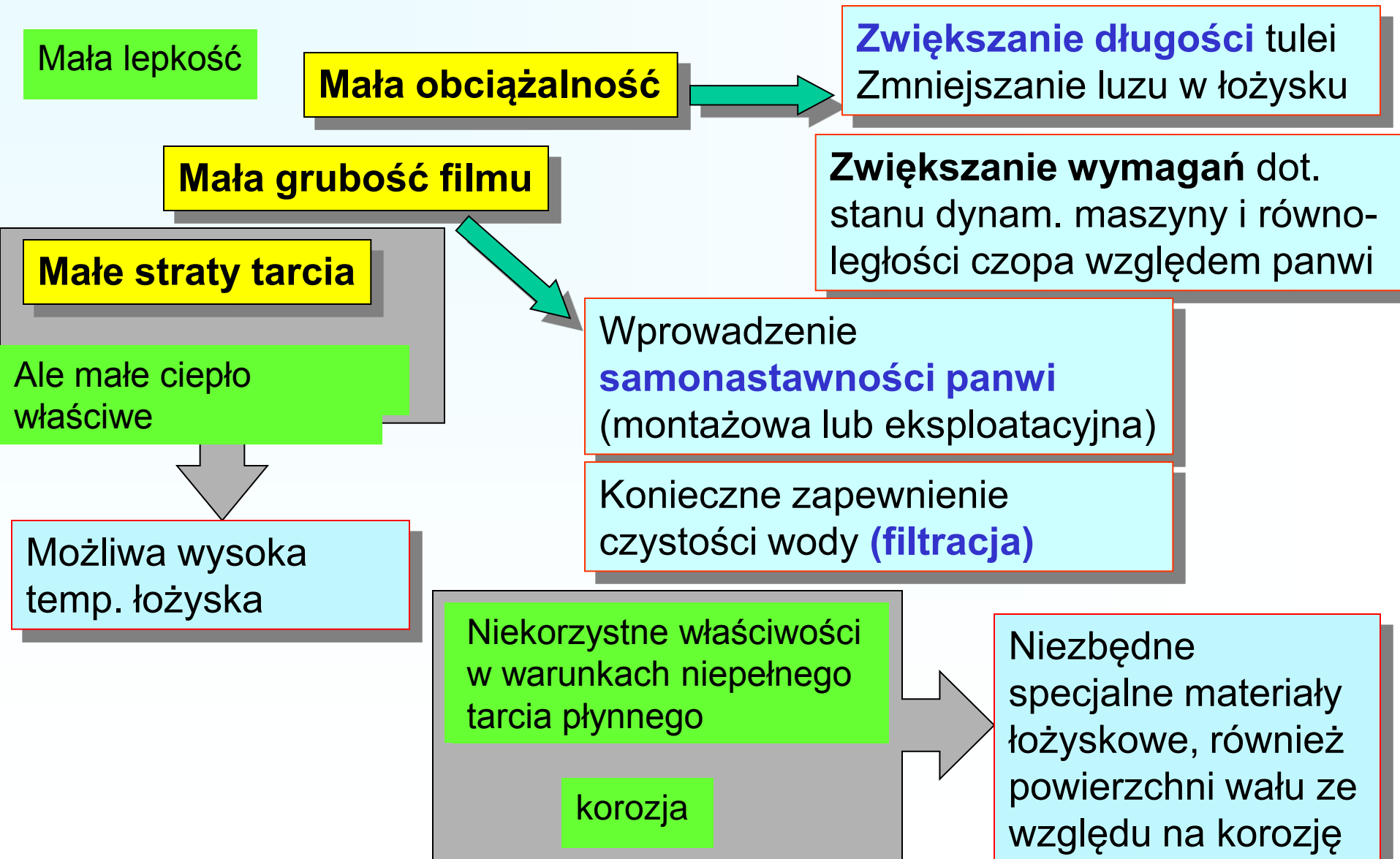
---

**II WŚ – USA – łodzie podwodne wyposażono w rufowe łożyska gwajakowe w celu eliminacji możliwości wycieku oleju i wykrycia okrętu**

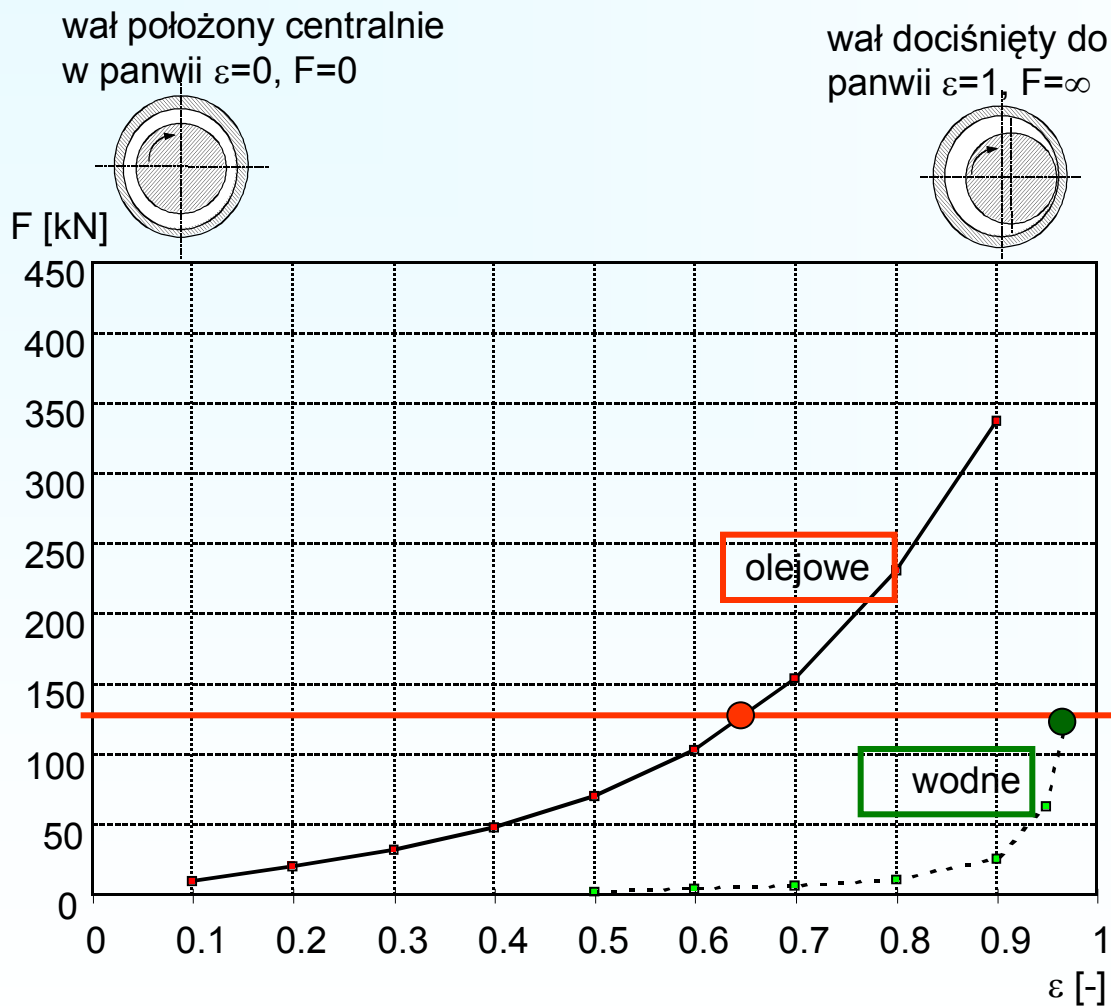


- USS Pampanito (SS-383)

# Konsekwencje charakterystycznych cech wody



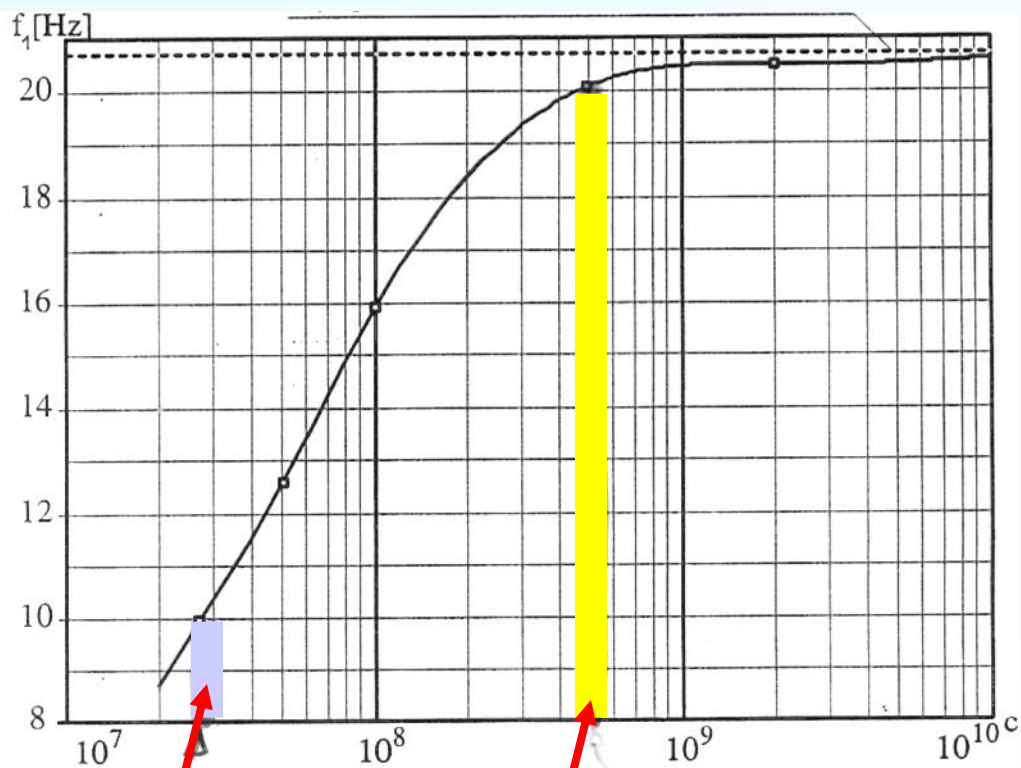
# Charakterystyki łożysk



Podobnie niekorzystne są proporcje współczynników sztywności i tłumienia łożysk

Przy danym obciążeniu grubość filmu w łożysku smarowanym wodą jest znacznie mniejsza

# Wpływ sztywności na dynamikę wału



Łożysko  
smarowane  
wodą

Łożysko  
smarowane  
olejem

W wyniku mniejszej sztywności łożysk częstość drgań własnych zmniejszyła się dwukrotnie



# WADY łożysk smarowanych wodą



- Mała smarność, brak dodatków - słabe właściwości przeciwzatarciowe

**Smarność** – zdolność środka smarnego do zmniejszania tarcia inaczej niż poprzez zmianę lepkości.

Spośród dwóch substancji o jednakowej lepkości, w tych samych warunkach smarowania, lepszą smarność ma ta substancja, która bardziej zmniejszy tarcie występujące w skojarzeniu trącym. Smarność nie jest właściwością materii, ponieważ musi być odniesiona do właściwości i warunków pracy skojarzenia trącego:



- Słabe odprowadzanie ciepła z panwi
- Korozyjne oddziaływanie na typowe materiały konstrukcyjne

- Konieczność stosowania stali nierdzewnych
- Stosowanie skojarzeń materiałowych o małym współczynniku tarcia smarowanych wodą

# Konstrukcyjne konsekwencje małej obciążalności

---

## Zwiększona długość panwi łożyskowej

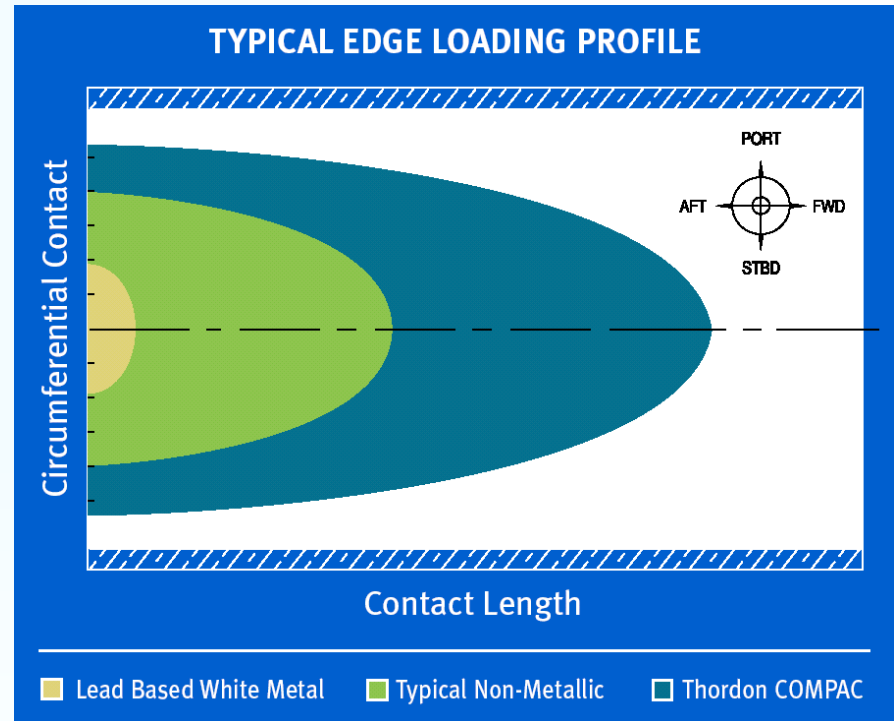


Pożądanym byłoby zmniejszony luz względny w łożysku, ale:

- stabilność wymiarowa materiałów w obecności wody
- stabilność wymiarowa w podwyższonej temperaturze
- zużycie zmieniałoby charakterystyki łożyska
- dokładność linii wału + ukosowanie wału

# Konstrukcyjne konsekwencje małej obciążalności

**Samonastawność -  
zukosowanie wału mniejsze  
niż minimalna grubość filmu**



**Filtracja - zanieczyszczenia  
mniejsze niż minimalna  
grubość filmu**



# Charakterystyka materiałów

**Drewno (lignoston, lignofol, gwajak)** - praktycznie wyszło z użycia (wg producentów materiałów polimerowych)

**Guma** - znajduje zastosowanie w łożyskach wałów śrubowych, pomp, turbin wodnych. Siarka zawarta w gumie oddziałuje korozyjnie na wał stąd konieczne są napawane powłoki lub tuleje

**Polimery bez napełniaczy** - grupa niedrogich materiałów często o dobrej odporności na zużycie ściernie. Rzadko możliwa jest ich praca w war. dużych nacisków i wysokich temperatur. Typowe przykłady to PTFE, poliacetale, poliamidy, polietyleny (HD oraz UHMW)

**Polimery z napełniaczami** - dodatek napełniacza poprawia własności mechaniczne ale może pogorszyć odporność na zużywanie. Typowe napełniacze to włókno szklane i stałe smary (grafit,  $\text{MoS}_2$ ), stosuje się też olej mineralny

**PTFE z napełniaczami** - (osobna grupa z racji częstości występowania) Typowe napełniacze to włókno szklane i stałe smary (grafit,  $\text{MoS}_2$ ), minerały (mika) i metale (brąz). Duża odporność na temperaturę (duże prędkości). Niezbyt duże dopuszczalne naciski. Duża odporność chemiczna.





# Charakterystyka materiałów

**Wzmacniane materiały termoutwardzalne** - wzmocnienie (zbrojenie) stanowią tkaniny, włókna poliestrowe. Stałe smary często stanowią domieszkę. Większa sztywność niż w łożyskach polimerowych ale zwykle większa intensywność zużycia. Odporne na krótkotrwałe przegrzanie temperatury.



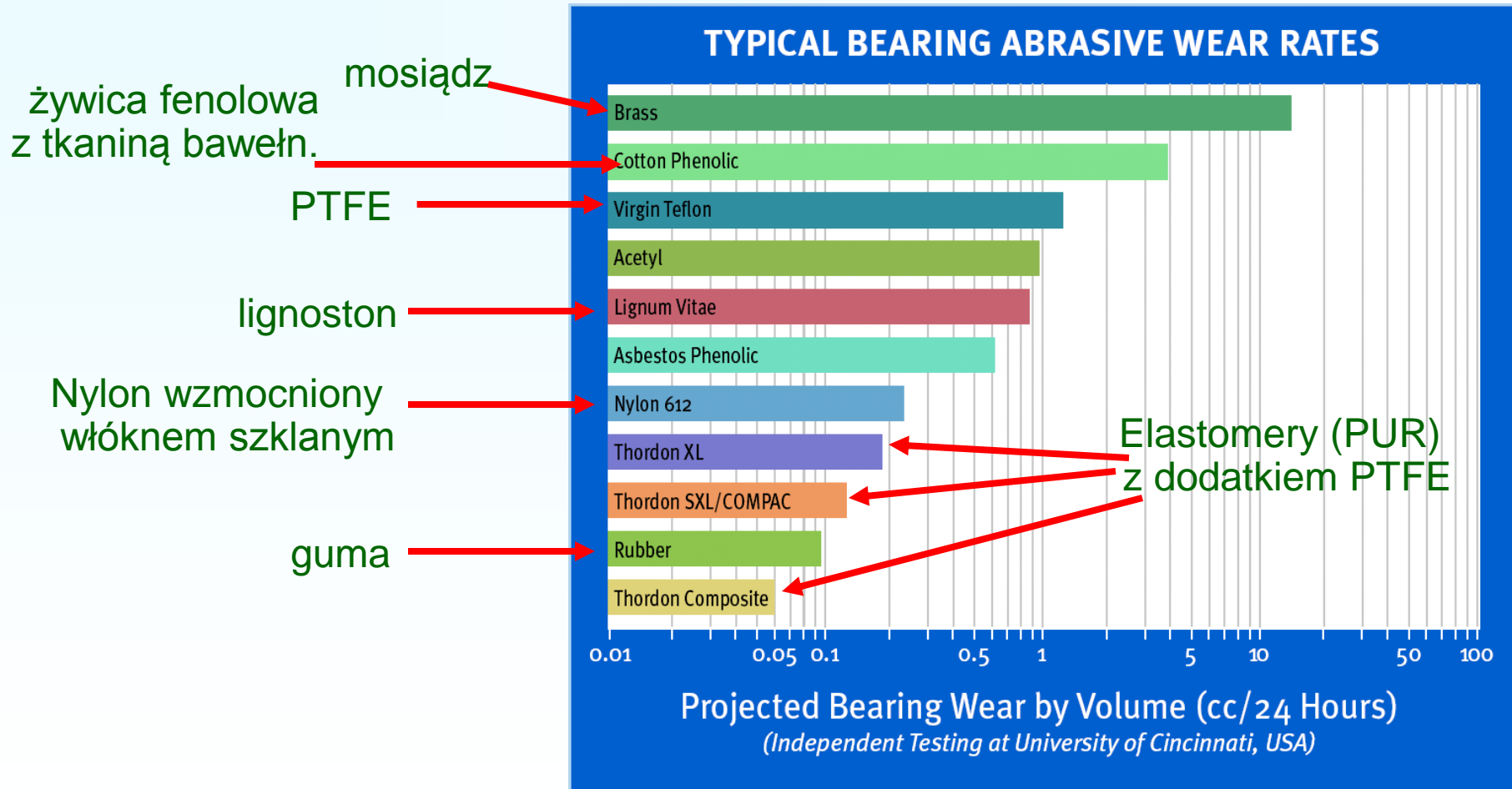
**Metale impregnowane smarami stałymi** - stały smar, zwykle grafit, równomiernie wprowadzony do struktury materiału lub obecny w postaci wyodrębnionych wkładek. Odporne na wysoką temperaturę i duże naciski, dobra przewodność cieplna i elektryczna. Niezbyt przydatne w warunkach małych oscylacji.



**Materiały ceramiczne** - odporne na ekstremalne temperatury i duże prędkości. Kruche - źle znoszą ukosowanie wału i koncentrację nacisków. W warunkach smarowania wodą zachodzą reakcje tribochemiczne polepszające właściwości filmu smarowego.



# Materiały łożyskowe - porównanie intensywności zużycia przy smarowaniu zanieczyszczoną wodą





# Korzyści ze smarowania wodą

## 1. Małe straty tarcia

Porównanie dwóch łożysk:  $d=300$  mm  $n=115$  obr/min

Łożysko	$h_{\min}$ [ $\mu\text{m}$ ]	P [kN]	Straty tarcia [W]
Wodne	7	46	50
Smar. TU-68	26	48	460

A. Smar. wodą  $L=590$  mm

B. Smar. olejem TU-68  $L=250$

przy 5000 godzin pracy 620 zł/rok

## 2. Korzyści ekologiczne =

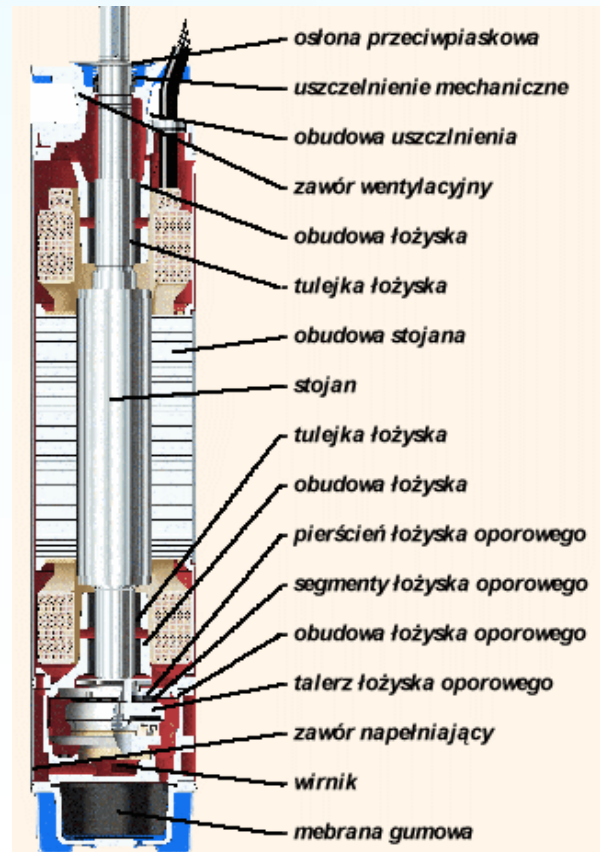
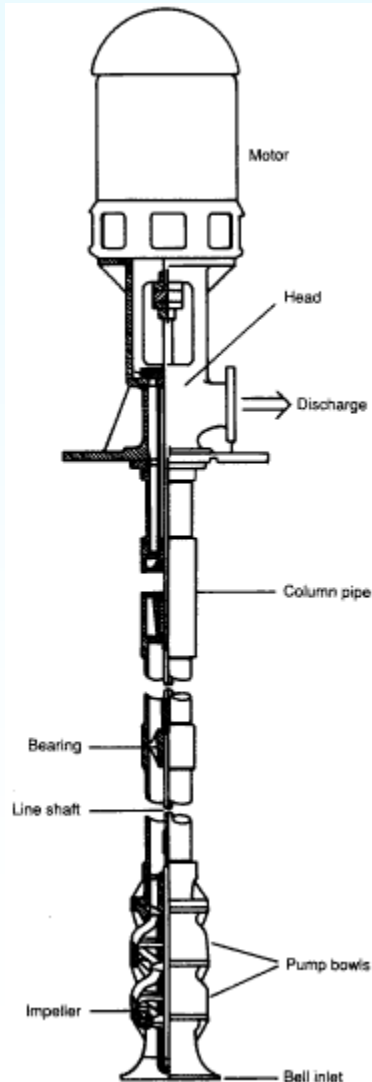
uniknięcie konsekwencji zanieczyszczania + aspekty marketingowe

Pollution of the world's oceans and rivers has become a matter of increasing international concern. New regulations are being considered, and many have already been enacted by a number of countries, particularly the European Union and United States. Violations of international, national and local environment laws are resulting in numerous penalties – criminal (such as large fines or jail terms), civil and judicial or administrative (such as loss of government contracts or permits). These penalties can be applicable to any company or individual – the master, the chief engineer, the owner, the operator, the charterer of the ship and the Classification Society.

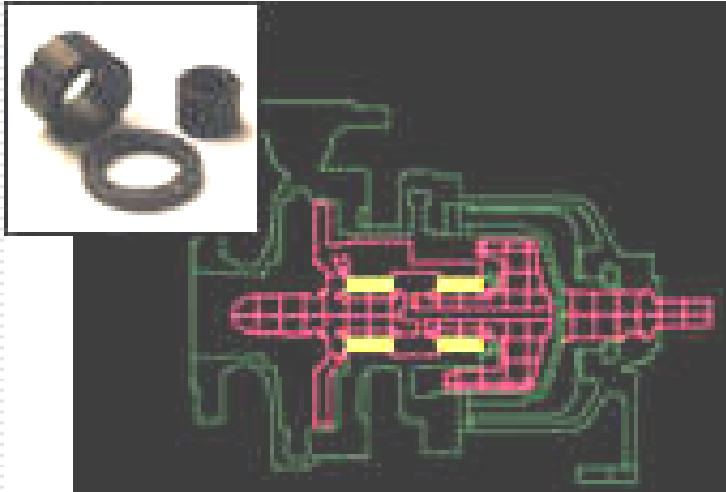
The safest way for today's ship owners and managers to ensure there is no risk of environmental violations is to completely eliminate oil from the stern tube. With over 25 years of bearing experience using

# Korzyści - ciąg dalszy

**3. Uproszczenie konstrukcji** W niektórych przypadkach (bardzo czysta woda i/lub łożyska niewrażliwe na zużycie ścierne) możliwa rezygnacja z uszczelnień i/lub układów smarowania



# Zalety łożysk smarowanych wodą

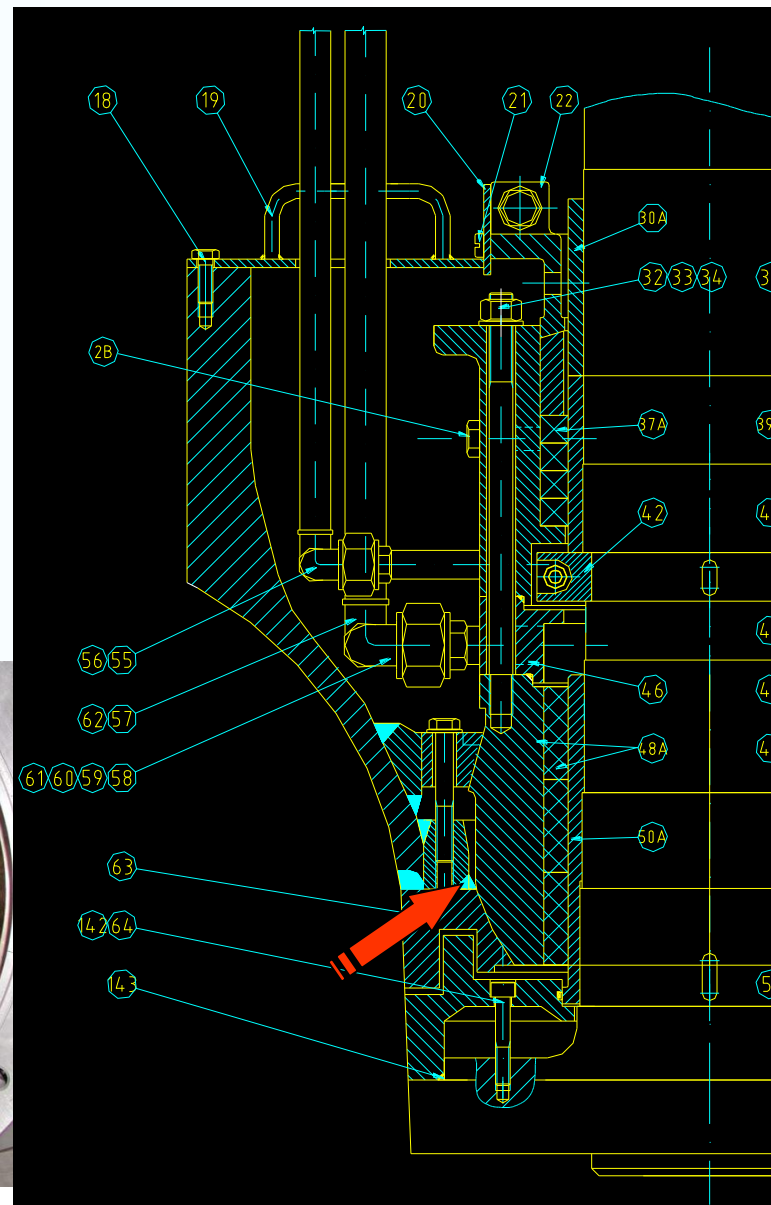
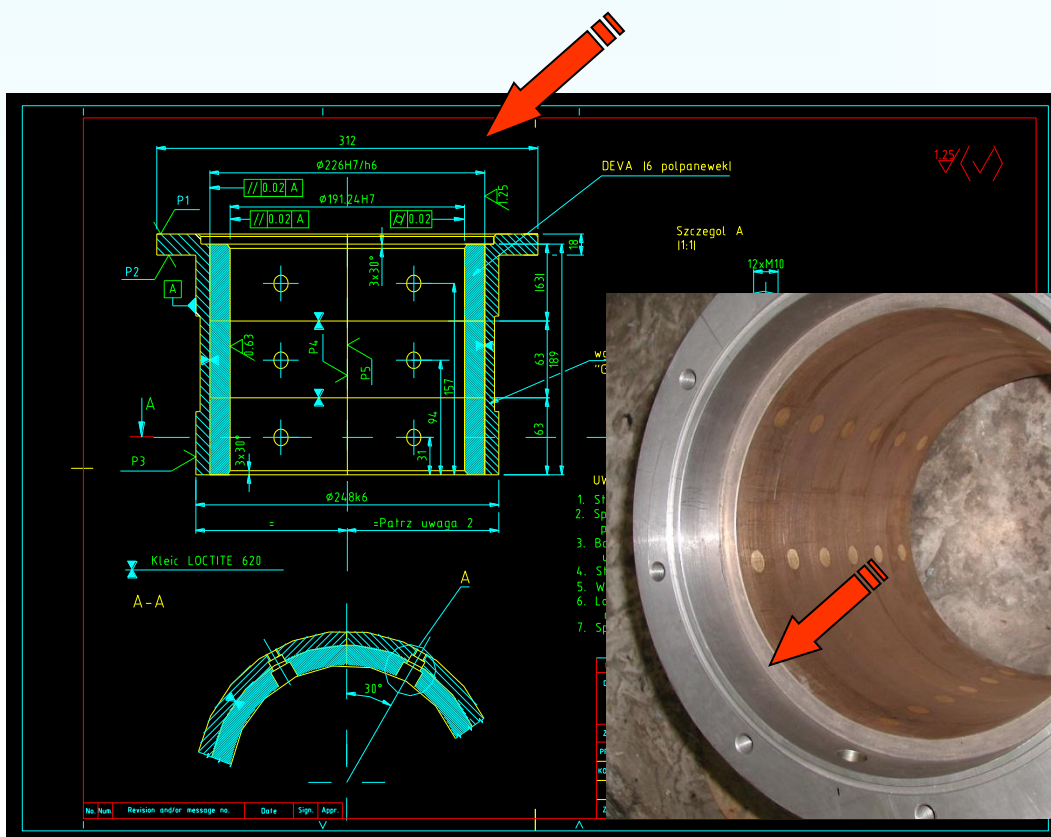


**Możliwość eliminacji lub redukcji uszczelnień**

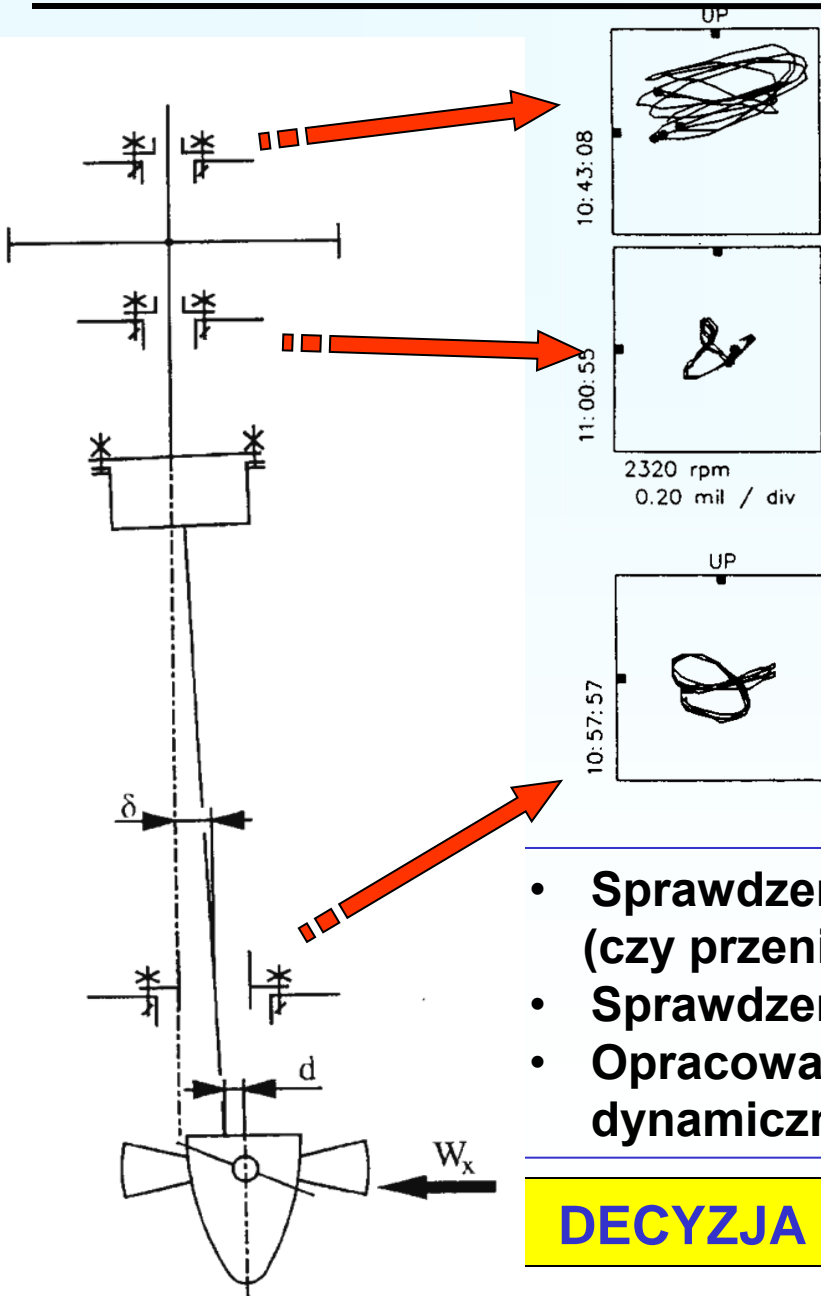
- Pompy – łożyska smarowane pompowanym medium
  - Łożyska okrętowe, łożyska EW – przecieki usuwane na zewnątrz.
- Pojawienie się przecieku w większości przypadków nie jest przesłanką do awaryjnego zatrzymania urządzenia, powoduje jedynie zwiększone zużycie „smaru - wody”. Zużycie uszczelnienia nie powoduje zatrucia środowiska

## Projekt A&O Expert, realizacja ZRE Gdańsk

- Materiał - brąz z grafitem
- Samonastawność montażowa panwi
- Układ smarowania i filtracji



# Analiza możliwości zastosowania łożyska wodnego <sup>38</sup>



Jeżeli znamy:

- Orbitsy przemieszczeń czopów w modernizowanym HZ
- Wymiary wału
- Charakterystyki filmu olejowego istniejących łożysk

Możemy wyznaczyć **wartości sił obciążających** modernizowane łożysko w konkretnej turbinie

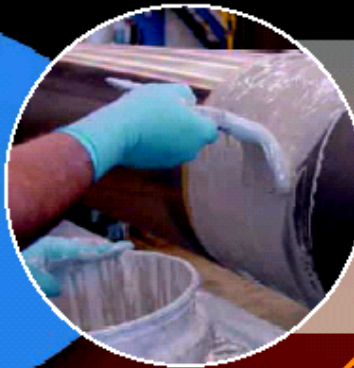
- Sprawdzenie działania **łożyska smarowanego wodą** (czy przeniesie zadane obciążenie)
- Sprawdzenie wpływu łożysk na drgania wału
- Opracowanie wymagań dotyczących stanu dynamicznego maszyny, dokładności filtracji ...

**DECYZJA dot. MODERNIZACJI: TAK? NIE?**



# Łożyska wałów śrubowych smarowane wodą

## COMPAC WATER LUBRICATED PROPELLER SHAFT BEARING SYSTEM



### Powłoka wału

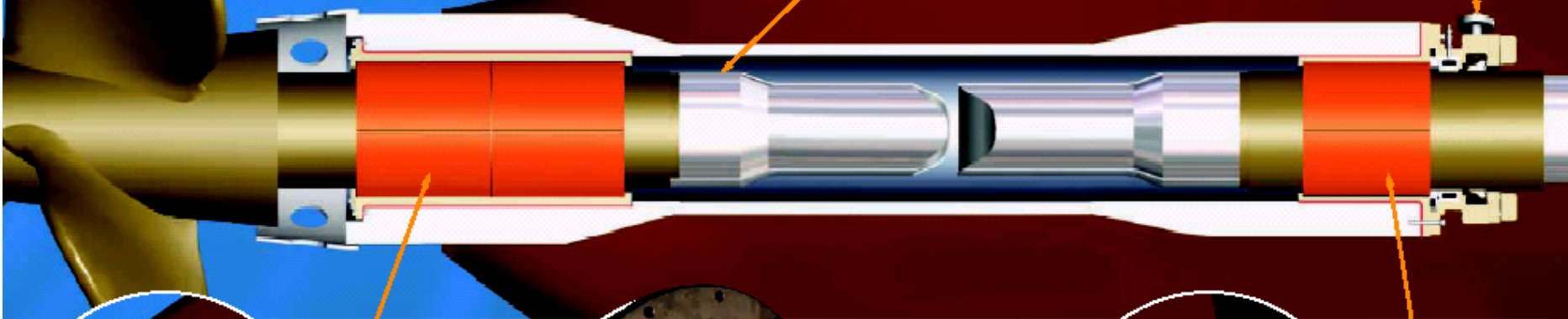
to prevent micropitting  
against corrosion



THORDON WATER

### Układ smarowania

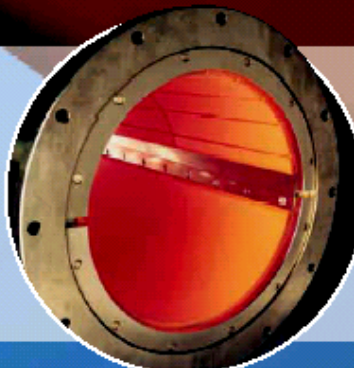
conditioned water is  
both the FWD seal and  
all bearings



### Łożysko tylne

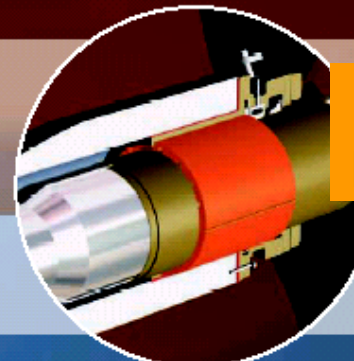
shaft liner in way of the  
bearings

- No AFT seal required



### Łożysko dzielone

inspected and re-installed  
in a matter of hours with  
the shaft in place



### Łożysko przednie

shaft liner in way of  
the bearings

- Face type FWD shaft seal  
shown here



# Łożyska gumowe

---



Metalowo-gumowe wkładki do łożyska turbiny wodnej - EW Włocławek

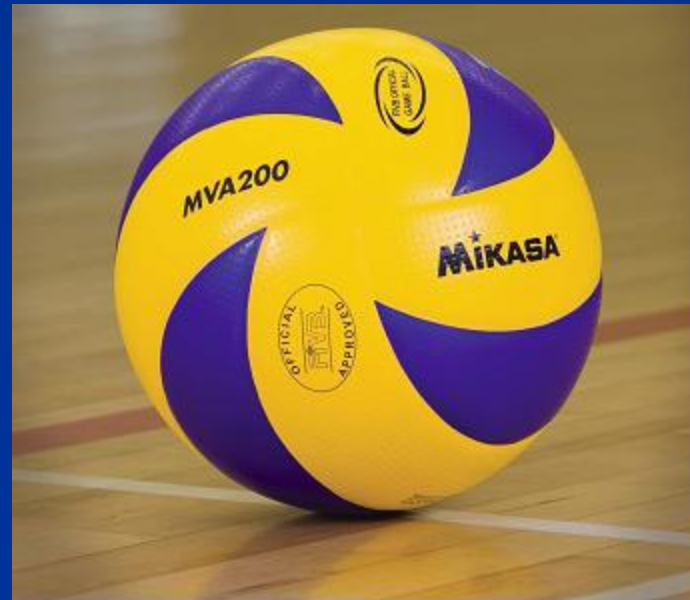


Tuleje metalowo gumowe z profilowanymi segmentami do zastosowań w małych jednostkach pływających

# London Olympic Official Game Ball



Water Pro



Volleyball



Beach Volleyball

# Sales Ratio



Propeller Shaft Coating 5%



Rubber Roll 7%

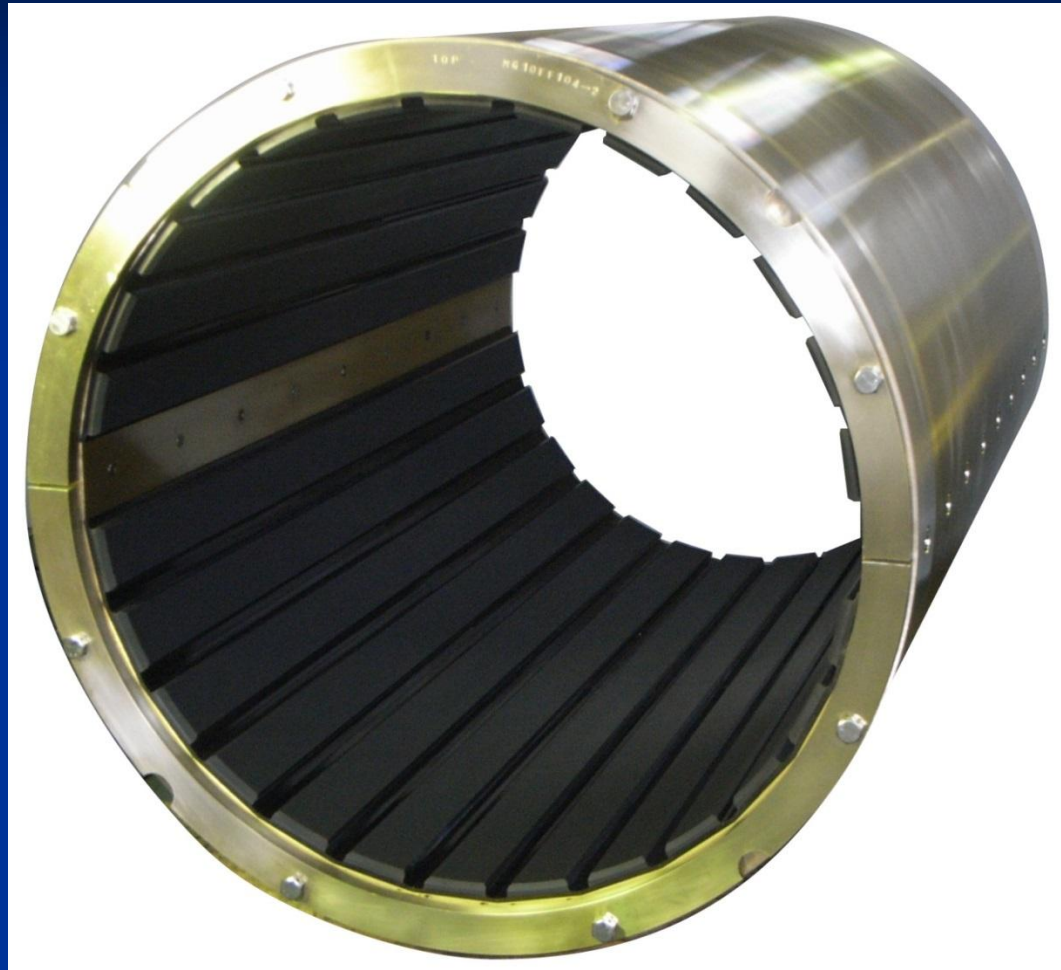


Ball 70%

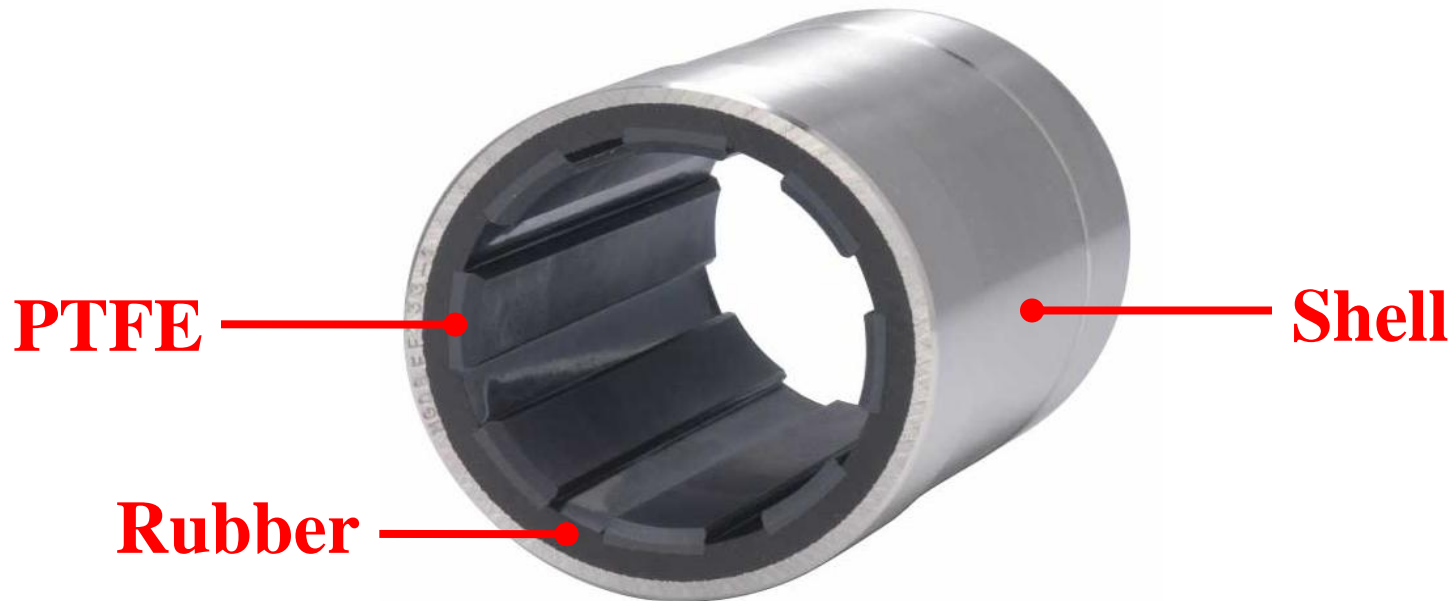
Water Lubricated Bearing 18%



# Friction Free Bearings (F.F. Bearings)



# Structure of F.F. Bearing



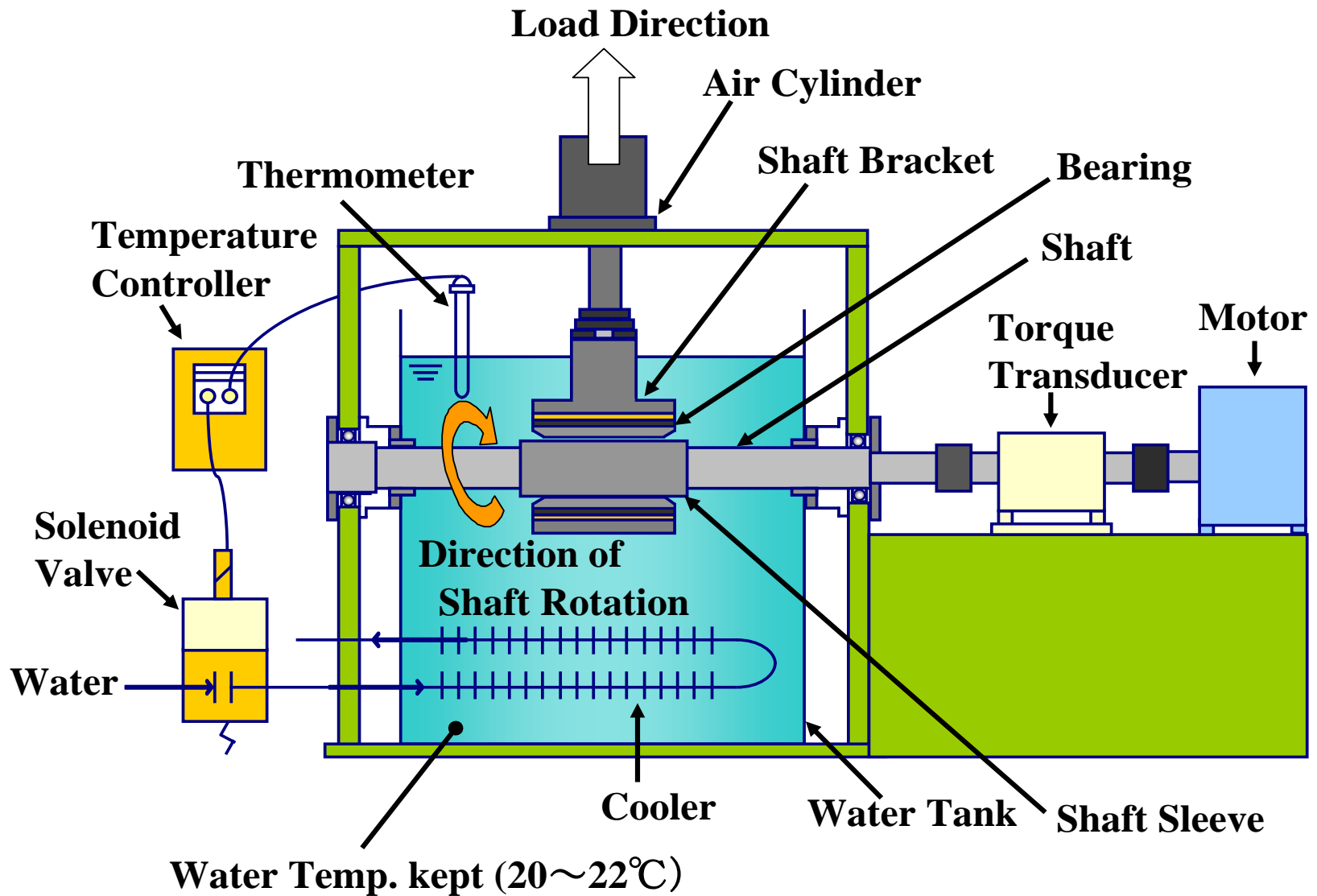
F.F. Bearings have a unique three-layer structure:  
They are strips of self-lubricating PTFE as the sliding material,  
elastic rubber as the buffer, and a metal shell as the retainer.

# Characteristics of three-layer bearing

Required Performance		Rubber	Plastic	Three-Layer Bearing
Excellent Performance Against Wear	→ Material must be hard.	Soft	Hard	Hard
Flexible Against Poor Alignment	→ Material must be flexible to make bearing pressure small	Flexible	Not flexible	Flexible

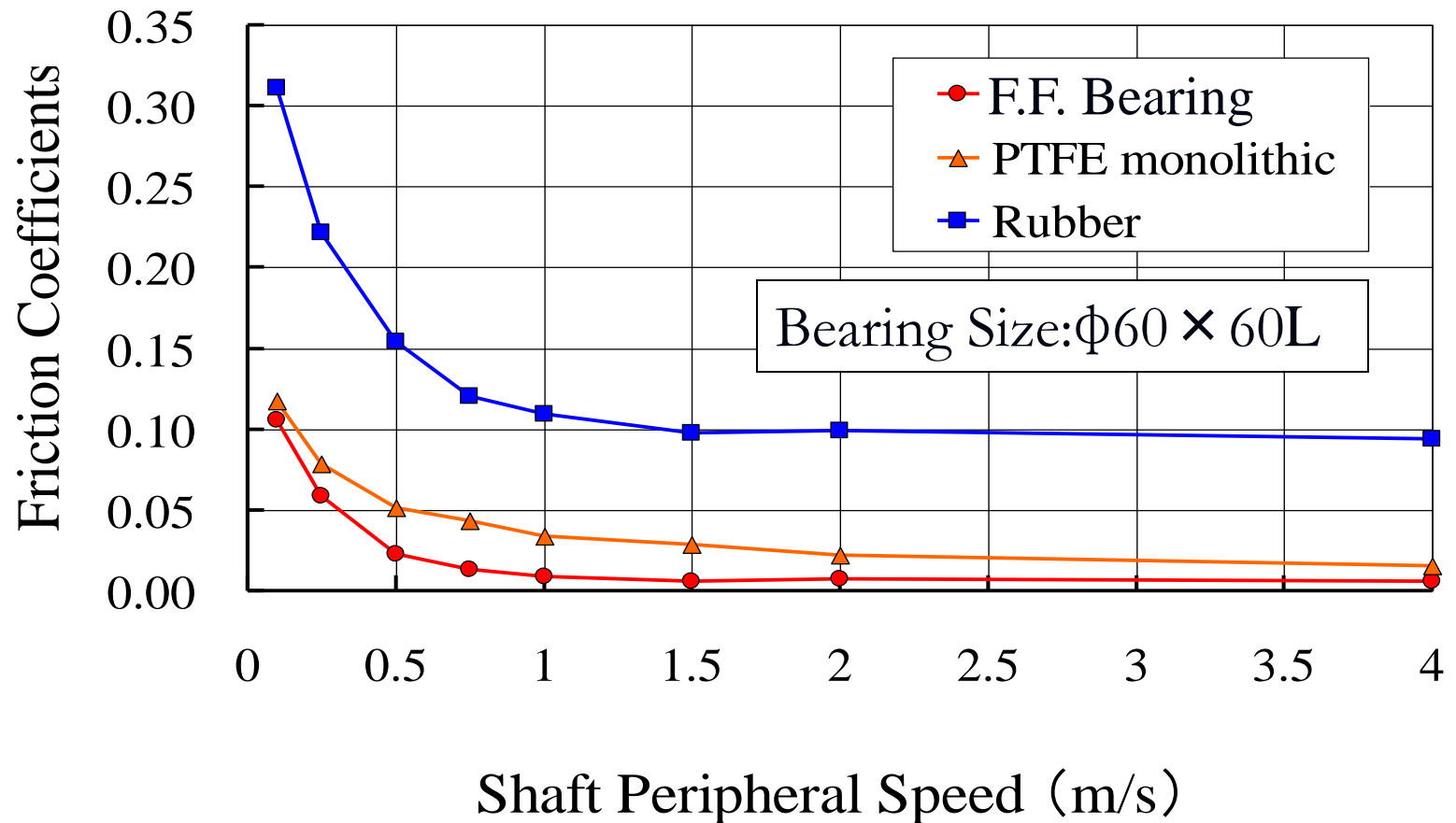


# Measurement of Friction Coefficients



# Comparison of Friction Coefficients

Bearing Pressure = 0.25MPa



## Łożyska ceramiczne - wzdluzne



Firma Waukesha podaje wiele przykładów zastosowań wzdluznych lozysk ceramicznych smarowanych wodą - typowe srednie naciski przy smarowaniu wodą do 8.5 MPa, prędkości obrotowe do 18 000 obr/min



W przypadku lozysk z polimerowym pokryciem (PEEK) smarowanych wodą srednie naciski w zastosowaniach f-my Waukesha dochodzą do 5.5 MPa - typowe zastosowania to pompy

## ... i poprzeczne

Panewka ceramiczna



Ceramiczna tuleja czopa



Segmenty ceramiczne

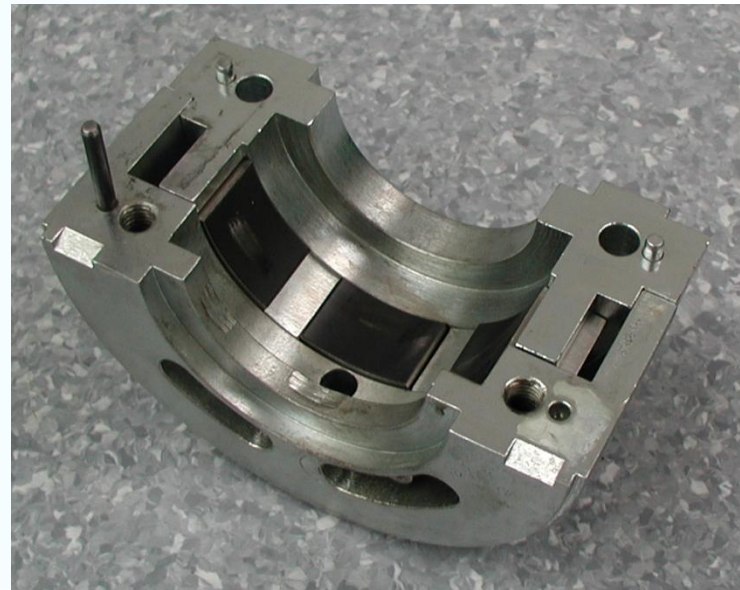
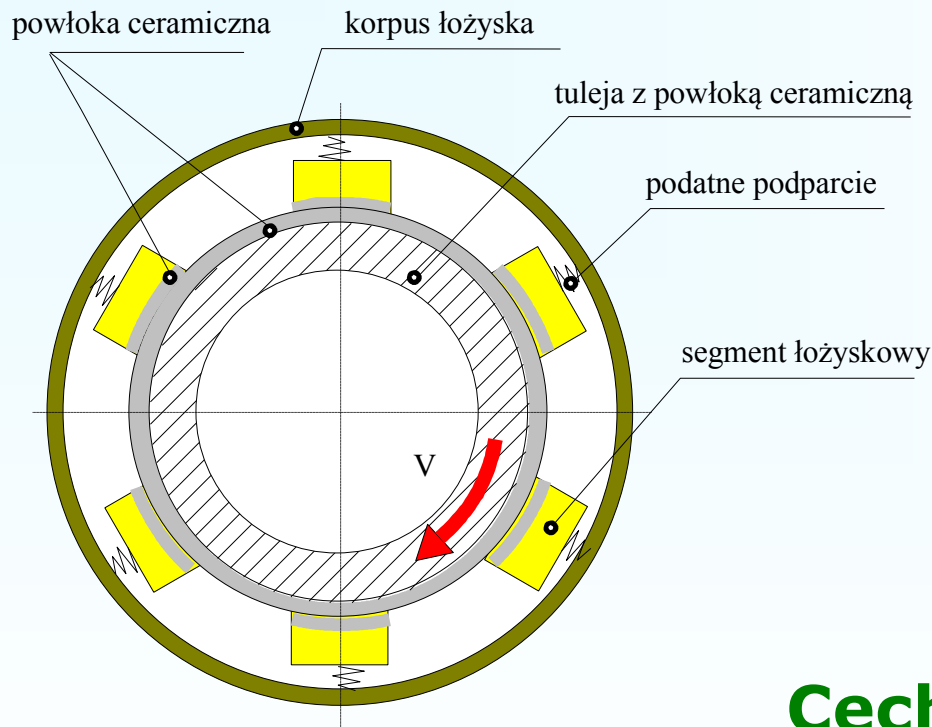


Ceramiczna tuleja czopa

Stosunkowo mała obciążalność handlowych ceramicznych łożysk poprzecznych

**Materiał elementów ślizgowych:  
Monolityczne ceramiki- kosztowne zwłaszcza przy dużych średnicach!**

# Alternatywne rozwiązanie - konforemne łożysko ceramiczne - jeszcze nie zastosowanie...



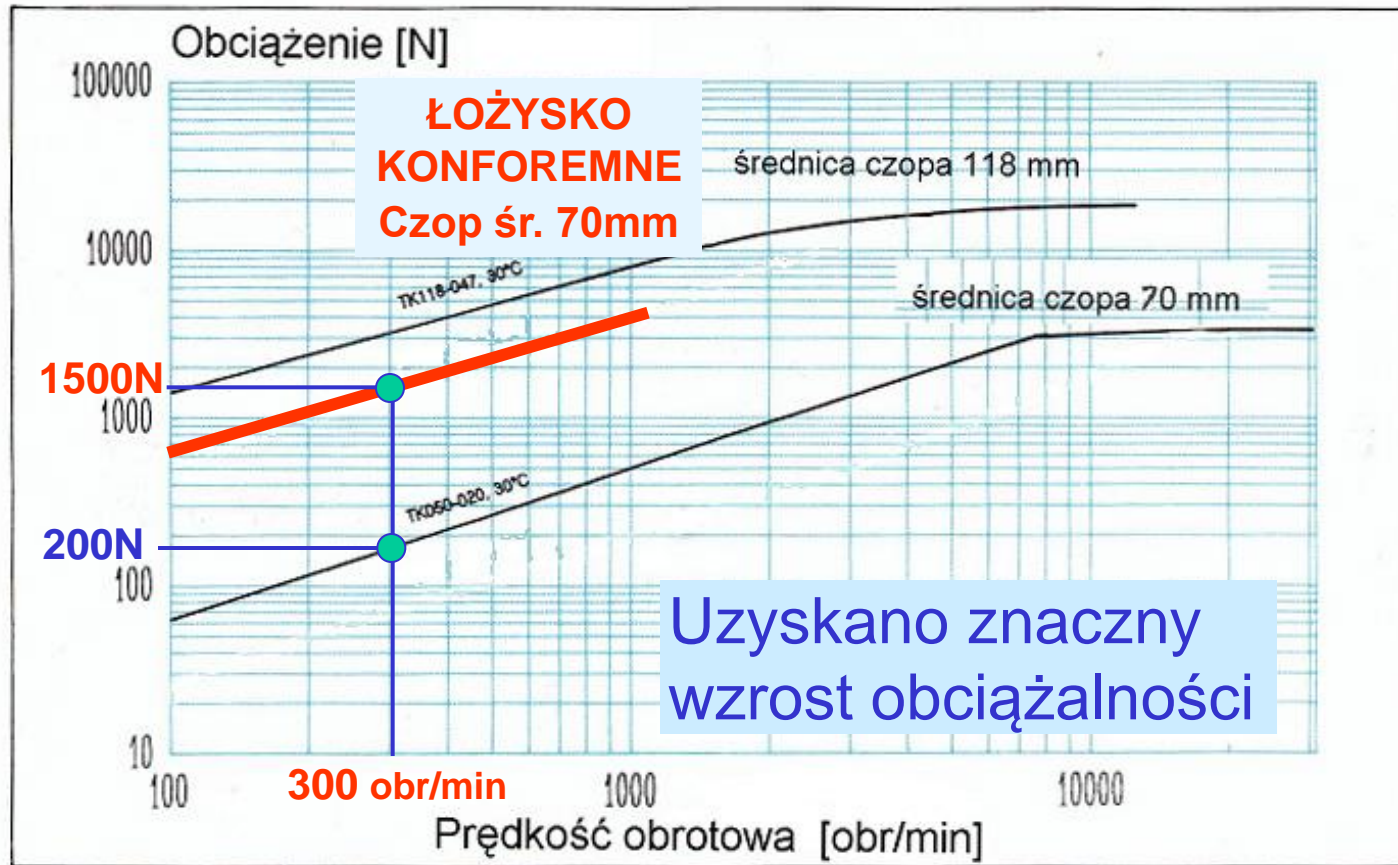
**Schemat budowy ceramicznego łożyska konforemnego (praca dokt. A. Olszewski)**

## Cechy charakterystyczne

- Powierzchnie ślizgowe są **konforemne**
- Segmenty łożyskowe **podparte podatnie**
- Elementy ślizgowe wykonano stosując **powłokę ceramiczną** , a nie monolity



# Łożyska ceramiczne - porównanie obciążalności



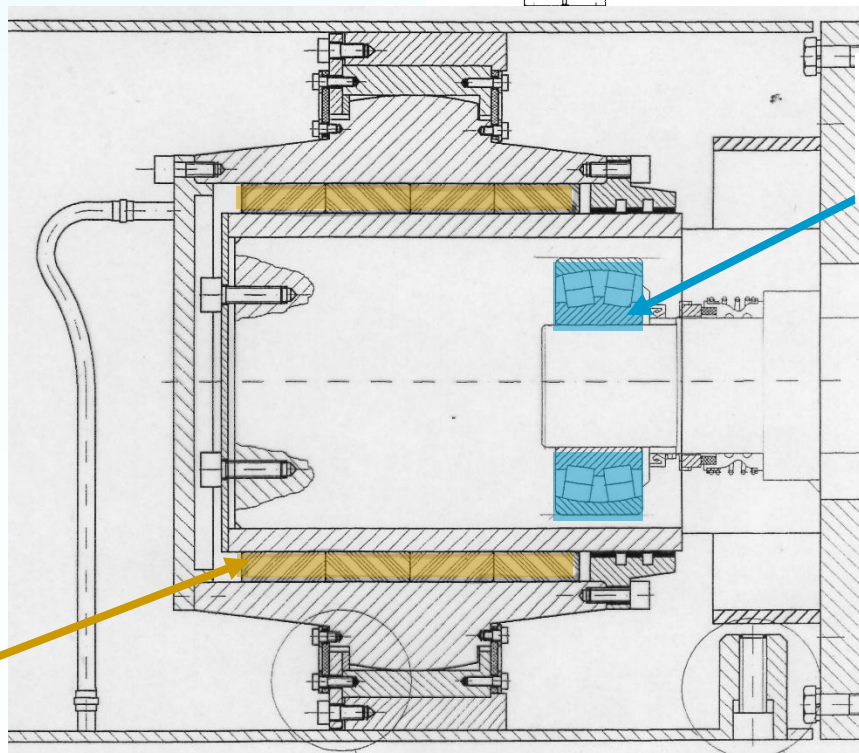
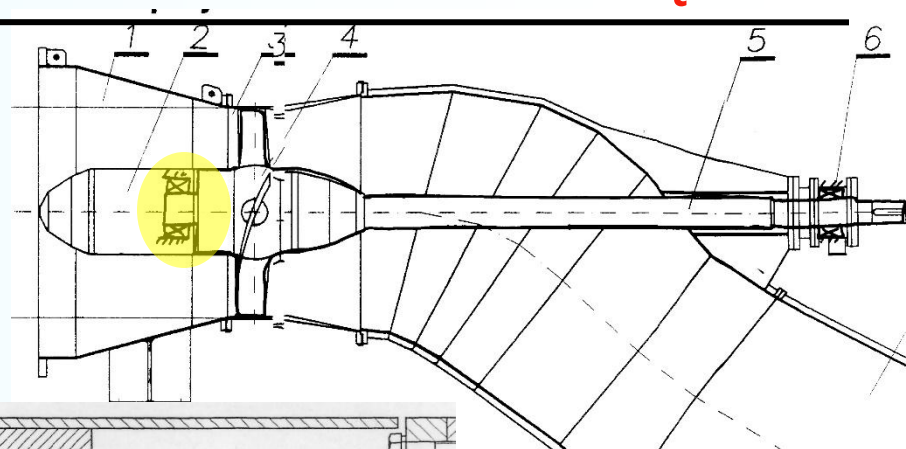
- **Charakterystyki obciążalności w funkcji prędkości obrotowej dostępnych seryjnych łożysk ceramicznych poprzecznych firmy KEMEL Bearing. Smarowanie wodą. Średnice czopa 70 i 118 mm**

# Łożysko turbiny wodnej - metalowy materiał ślizgowy przystosowany do smarowania wodą

Nie zawsze „przymiarki” do zastosowania łożyska smarowanego wodą są zachęcające...

Projekt łożyska smarowanego wodą do turbiny rurowej (praca dyplomowa)

Proponowane łożysko wodne

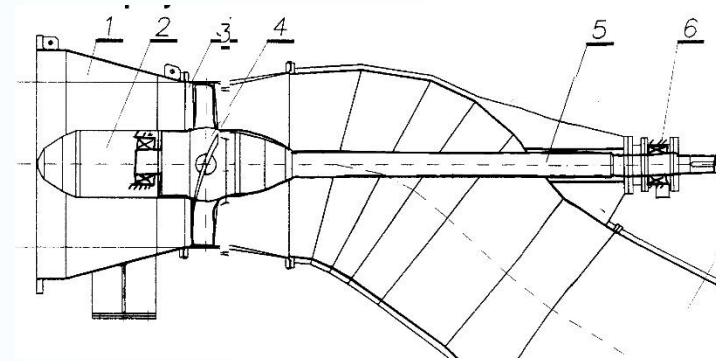


Dotychczasowe łożysko toczne

# Łożysko turbiny wodnej z polimerowego materiału ślizgowego

**Nie wszystkie próby zastosowania łożysk smarowanych wodą są udane...**

**zdarzają się przypadki awarii z powodu przekroczenia granicznej temperatury, pewien wpływ może mieć także zbyt mały luz po nasiąknięciu materiału**



## Wnioski

---

- Zastosowanie wody jako środka smarowego w wielu przypadkach przynosi uproszczenie konstrukcji maszyn i ułatwienia w ich eksploatacji
- Istotnym argumentem za wprowadzaniem smarowania wodnego jest dostosowywanie maszyn do coraz bardziej rygorystycznych przepisów ochrony środowiska
- Zastosowanie łożysk smarowanych wodą z reguły wymaga daleko idących zmian konstrukcji węzłów łożyskowych