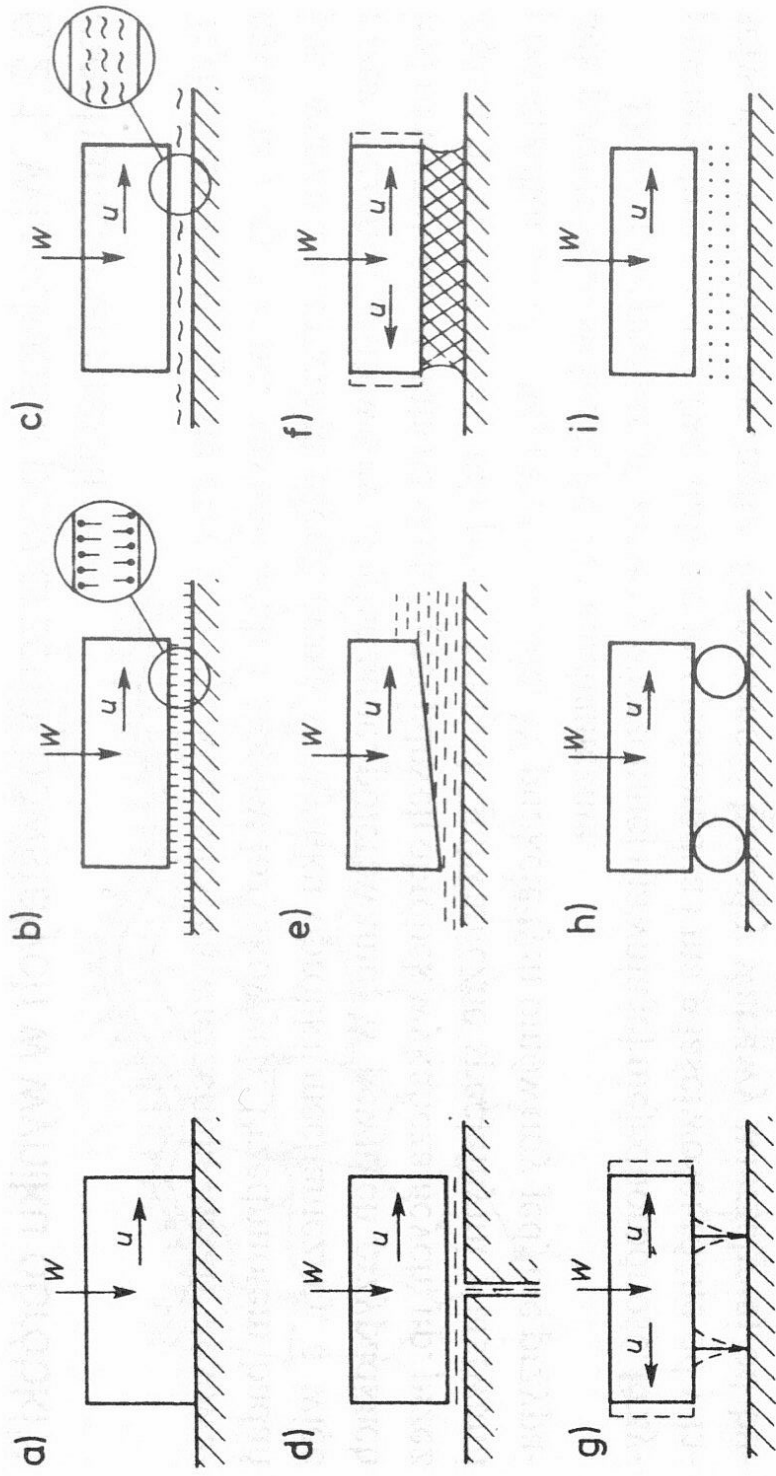


Łożyskowanie toczne

Taka jest maszyna, jakie są jej łożyska

Prof. Vodelpohl





RYŚ. 6.1. Dziewięć różnych możliwości rozwiązania podpór w budowie maszyn: a) podpora o kontakcie suchym w warunkach atmosferycznych lub w próżni, b) podpora o kontakcie przez graniczne warstwy smaru związane chemicznie z podłożem, c) podpora smarowana smarami stałymi o budowie płytkowej (np. grafitem), d) podpora smarowana – łożysko hydrostatyczne wymagające dostarczenia smaru pod ciśnieniem, e) podpora smarowana, łożysko hydrodynamiczne; dla powstania nośnej warstwy smaru muszą być spełnione pewne warunki odnośnie lepkości smaru, względnego ruchu powierzchni, zbieżności szczeliny, f) podpora z przegubem sprężystym z warstwą elastomeru; dopuszczalne są jedynie niewielkie ruchy postępowo-zwrotne, g) podpora z przegubem sprężystym ze sprężynami metalowymi; ruchy jak w przypadku f, h) podpora toczna, łożysko toczne, i) podpora magnetyczna

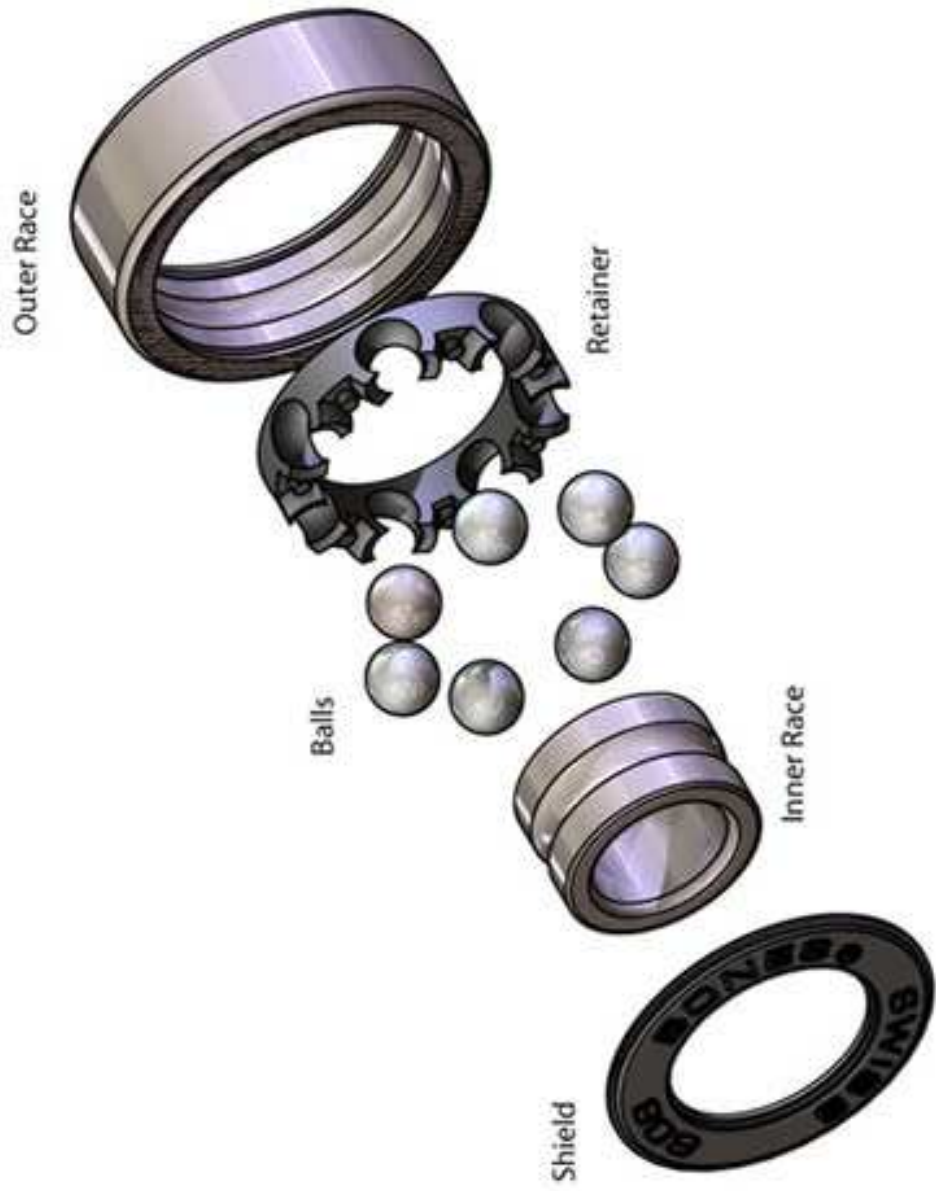
Wybór rodzaju łożyska i sposobu łożyskowania powinien uwzględniać:

- warunki pracy maszyny, tj. obciążenie, prędkość, temperaturę, ciśnienie,
- chemiczną agresywność otoczenia,
- wymagania dotyczące gabarytów,
- dokładności i precyzji ruchu, luzów,
- dopuszczalności drgań, hałasu,
- warunki technologiczne, tj. dostępność materiałów, pracochłonność wykonania,
- kryteria ekonomiczne, tj. koszt łożyska, jego trwałość, czynności obsługowe, koszt materiałów eksploatacyjnych.

Wynika z tego, że wybór właściwego łożyska i łożyskowania, tj. rozmieszczenia, osadzenia, uszczelnienia łożysk, określenia warunków ich użytkowania, jest trudnym etapem projektowania maszyny.

Łożyska toczne





Outer Race

Retainer

Balls

Inner Race

Shield

BALL BEARING CAGES

PRESSED-STEEL WELDED CAGES

This cage type consists of two formed cage halves welded together. This type of cage is standard for most radial non-filling-slot ball bearings and provides high strength and rigidity as well as good uniformity of ball to pocket clearance. It is suitable for very high-temperature applications, but does not accommodate application misalignment.



Fig. 52. Pressed-steel welded cage.

MOLDED-NYLON FINGER-TYPE CAGES



These types of cages consist of a one-piece molded design. Rolling elements simply snap into place. These cages are molded of Nylon 66 which is heat stabilized and moisture conditioned. This cage type is used in the majority of wide inner ring (WIR) ball bearings. The polymer can withstand continuous operating temperatures up to 120° C (250° F) with spikes up to 150° C (300° F) and provides a non-corrosive, self-lubricating material with good resistance to abrasion, wear, most solvents, oils, and greases. This cage type can accommodate application misalignment.

Fig. 53. Molded-nylon cage.

Care also needs to be exercised when using aggressive lubrications with extreme-pressure (EP) additives in combination with elevated temperatures greater than 107° C (225° F).

MACHINED PHENOLIC-TYPE CAGES

Cages of this type are a one-piece design and are usually ring piloted. The cage is light weight, has oil-absorbing capability, and is suitable for high-speed applications. Cages of this type can be precisely machined, which reduces inertial ball and cage impact forces at high speeds. It does not provide for retention of the balls for handling purposes.

BRASS- AND STEEL-TYPE CAGES

Ball bearing cages made of brass or steel are designed for heavily loaded applications. Cage design variations include one-piece machined-steel or machined-brass and two-piece riveted cast brass. Most designs are ring piloted. Cages of this type also can be silver plated for applications requiring high reliability. The silver plating provides lubrication at the ball-cage interface during start-up to prevent skidding of the balls.



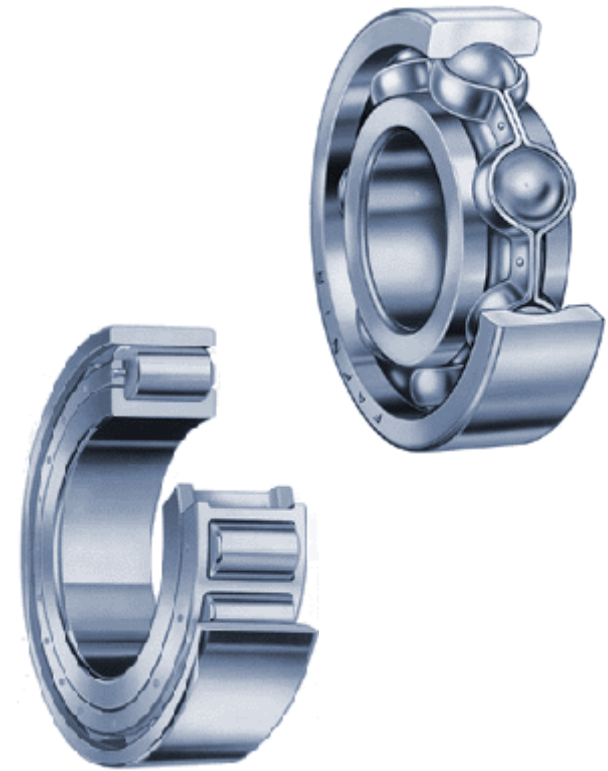
Fig. 55. Cast-brass cage.



Fig. 56. Machined-brass cage.

Główne typy łożysk tocznych:

- kulkowe zwykłe,
- kulkowe skośne,
- kulkowe dwurzędowe, nastawne,
- wałeczkowe,
- igiełkowe,
- stożkowe,
- baryłkowe,
- wzdłużne kulkowe, igiełkowe, walcowe i baryłkowe



BEARING TYPES



Tapered roller bearing



Thrust tapered roller bearing



Cylindrical roller bearing



Thrust cylindrical roller bearing



Spherical roller bearing



Thrust spherical roller bearing



Radial ball bearing



Thrust ball bearing



Angular contact ball bearing

TABLE 1. RELATIVE OPERATING CHARACTERISTICS OF VARIOUS BEARING TYPES

Characteristic	Tapered Roller Bearing	Thrust Tapered Roller Bearing	Cylindrical Roller Bearing	Thrust Cylindrical Roller Bearing	Spherical Roller Bearing	Thrust Spherical Roller Bearing	Radial Ball Bearing	Thrust Ball Bearing	Angular Contact Ball Bearing
Pure radial load	Good	Unsuitable	Excellent	Unsuitable	Good	Unsuitable	Good	Poor	Fair
Pure axial load	Good	Excellent	Unsuitable	Good	Fair	Excellent	Fair	Excellent	Good
Combined load	Excellent	Poor	Fair	Unsuitable	Good	Fair	Good	Poor	Excellent
Moment load	Excellent	Poor	Unsuitable	Unsuitable	Unsuitable	Unsuitable	Fair	Poor	Good
High stiffness	Excellent	Excellent	Good	Excellent	Good	Good	Fair	Good	Good
Low friction	Good	Good	Excellent	Poor	Fair	Fair	Excellent	Good	Good
Misalignment	Poor	Poor	Poor	Unsuitable	Excellent	Excellent	Good	Poor	Poor
Locating position (fixed)	Excellent	Good	Fair	Fair	Good	Good	Good	Excellent	Good
Non-locating position (floating)	Good	Unsuitable	Excellent	Unsuitable	Good	Unsuitable	Good	Unsuitable	Good
Speed	Good	Good	Excellent	Poor	Fair	Fair	Excellent	Excellent	Excellent

Nośność dynamiczna C łożyska tocznego wyrażona w daN określa jego zdolność do przeniesienia stałego w czasie obciążenia **P** daN w założonym okresie czasu wyrażonym w milionach obrotów **L** [1].

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

L – *trwałość nominalna* łożyska w mln obrotów,

C – *nośność łożyska* daN (lub N),

P – siła obciążająca łożysko daN (lub N),

p – wykładnik potęgowy wynoszący dla łożysk kulkowych 3, wałeczkowych 10/3.

Dla przykładowej maszyny ilość milionów obrotów łożyska można obliczyć mnożąc założoną liczbę lat pracy razy ilość dni w roku razy ilość godzin pracy dziennie razy ilość obrotów w ciągu jednej godziny pracy a ostatecznie dzieląc uzyskany wynik przez jeden milion.

$$L = \frac{i_{lat} \cdot i_{dni} \cdot i_{godzin} \cdot 3600 \cdot n_s}{10^6}$$

W wielu przypadkach konieczne jest uwzględnienie wpływu, jaki na trwałość łożyska mają parametry pracy, często znacznie odbiegające od założonych dla *trwałości nominalnej*, dodatkowo może zaistnieć potrzeba zwiększenia niezawodności maszyny. Dlatego wprowadzono pojęcie **trwałości efektywnej** L_e .

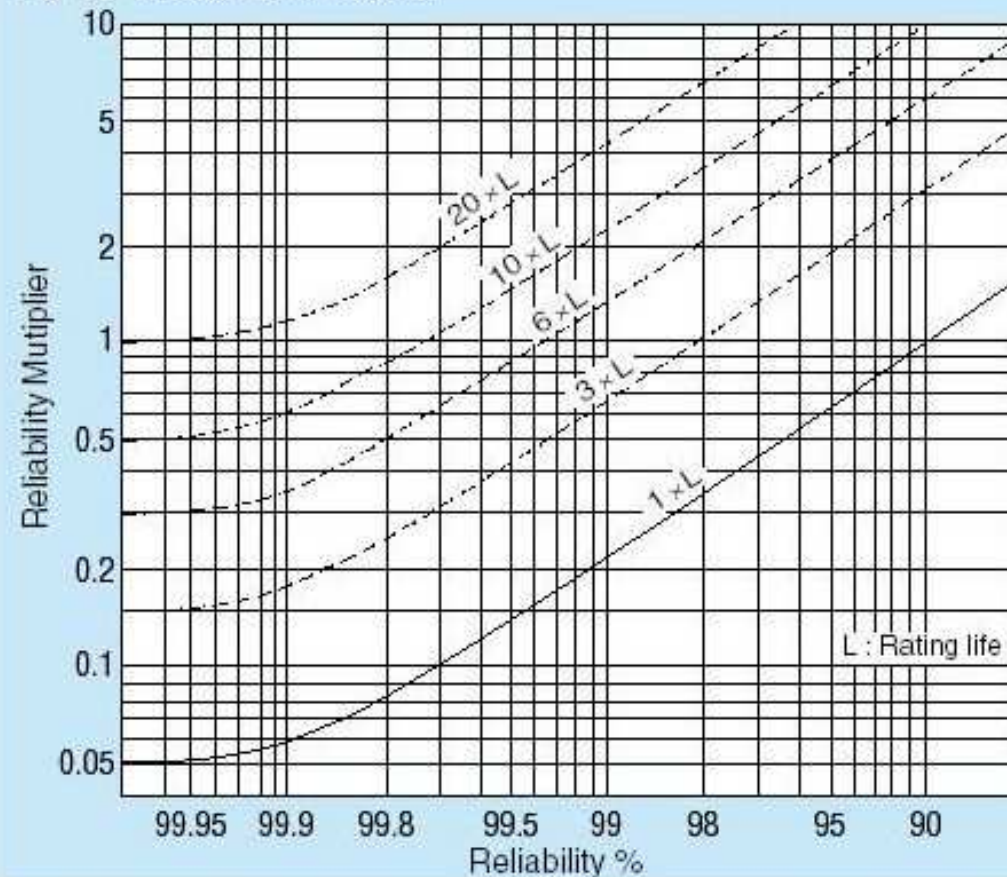
$$L_e = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \left(\frac{C_e}{P_e} \right)^p$$

Wartość współczynnika materiałowego a_2 zależy od gatunku i jakości materiału zastosowanego do wykonania pierścieni i elementów tocznych łożysk. Dla typowej stali ŁH15 lub ŁH15SG wynosi on **$a_2=1$** . W przypadku zastosowania lepszego materiału współczynnik ten może przekroczyć jedność.

Table 3.5 Reliability Factor a_1

Reliability %	99	98	97	96	95	90
a_1 factor	0.21	0.33	0.44	0.53	0.62	1

Fig 3.6 Reliability Multiplier



Wartość współczynnika warunków pracy **a3** zależy przede wszystkim od skuteczności smarowania. Jeżeli środek smarny ma wystarczającą lepkość zapewniającą utworzenie filmu smarnego rozdzielającego powierzchnie styku dodatkowo prawidłowo zmontowany węzeł łożyskowy zabezpieczony jest przed zanieczyszczeniami i wilgocią to współczynnik **a3** może być większy od 1. W innym przypadku współczynnik będzie mniejszy od jedności.

Typ maszyny	czas pracy [h]*1000
maszyny używane sporadycznie (urządzenia pokazowe)	0,5
silniki lotnicze	0,5 ÷ 1
wały korbowe, rozrządy, korbowody	1 ÷ 5
samochodowe przekładnie zębate	4 ÷ 6
maszyny o krótkich okresach pracy (podnośniki, maszyny gospodarstwa domowego)	4 ÷ 8
maszyny o pracy ciągłej (konieczna wysoka niezawodność, maszyny pomocnicze w siłowniach, walce robocze w walcarkach)	8 ÷ 12
maszyny do pracy 8h dziennie, nie w pełni wykorzystywane	12 ÷ 20
maszyny do pracy 8h dziennie, w pełni wykorzystywane np. obrabiarki	20 ÷ 32
pojazdy szynowe, generatory prądu, silniki trakcyjne	32 ÷ 50
maszyny do pracy ciągłej (generatory, pompy, sprężarki)	50 ÷ 63
okrętowe wały napędowe, urządzenia główne i pomocnicze, pompy i silniki	63 ÷ 100
odpowiedzialne maszyny do pracy całodobowej (linie produkcyjne)	100 ÷ 200

3.5 Dynamic Equivalent Load

Dynamic equivalent load refers to a load having constant direction and size such that theoretical calculations of bearing life using this load will simulate actual bearing life. This load is called dynamic equivalent radial load when calculated for radial bearings and dynamic equivalent axial load when calculated for thrust bearings.

In formula (3.1) expressing the relation between the bearing load and bearing life, P , is either radial or axial load. Since radial and axial loads often occur simultaneously, the radial and axial loads must be converted to composite load within the dynamic equivalent load formula.

3.5.1 Dynamic Equivalent Radial Load

Dynamic equivalent radial load for radial bearings is calculated using the formula:

$$P_r = X F_r + Y F_a \quad \text{..... (3.20)}$$

where:

- P_r : Dynamic equivalent radial load (N)
- F_r : Radial load (N)
- F_a : Axial load (N)
- X : Radial load factor
(from dimensional tables)
- Y : Axial load factor
(from dimensional tables)

In the above formula, if the axial load to radial load ratio, F_a/F_r , is less than or equal to e (a value determined by the bearing size and load as shown in the dimension tables), X , Y , and P_r will be as follows:

$$\begin{aligned} X &= 1 \\ Y &= 0 \\ P_r &= F_r \end{aligned}$$

3.5.2 Dynamic Equivalent Axial Load

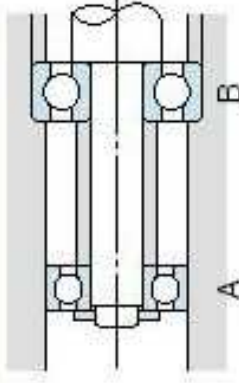
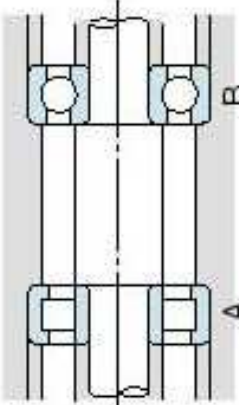
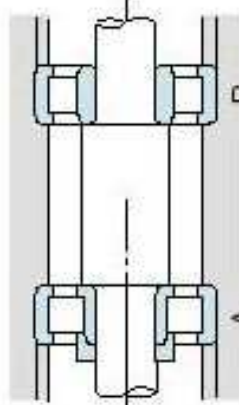
While most thrust bearings are incapable of supporting any radial load, Spherical roller thrust bearings will support some radial load. For Spherical roller thrust bearings, the dynamic equivalent axial load is derived using the formula:

$$P_a = F_a + 1.2 F_r \quad \text{..... (3.21)}$$

where:

- P_a : Dynamic equivalent axial load (N)
- F_a : Axial load (N)
- F_r : Radial load (N)
- F_r / F_a must be ≤ 0.55

Table 2.3 Examples of Bearing Arrangements

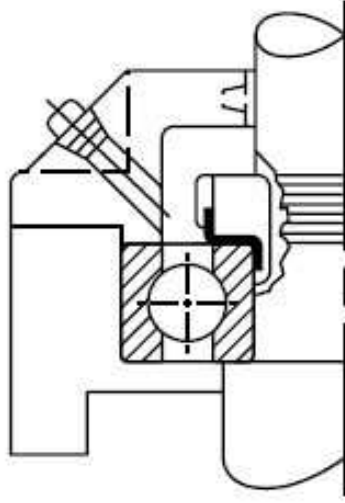
No.	Mounting examples	Applicable bearings		Application & design considerations
		A	B	
①		Deep Groove Ball	Deep Groove Ball	<p>Popular mounting. Ball bearings can support light-to-moderate axial loads.</p> <p>Spherical roller bearings are good for heavy radial loads and light axial loads.</p> <p>One of the bearing outer ring must be free to move axially to handle thermal expansion.</p>
②		Cylindrical Roller; N, NU configuration	Deep Groove Ball	<p>Popular mounting. Axial expansion of shaft taken by inner ring of Cylindrical roller bearing.</p> <p>Use a Cylindrical roller bearing for the heavy load position.</p> <p>The Deep groove ball bearing carries the axial load.</p> <p>Not recommended for handling angular misalignment.</p>
③		Cylindrical Roller; NH configuration	Cylindrical Roller; N, NU configuration	<p>Easy mounting arrangement where interference fit is required for both inner and outer rings.</p> <p>Not recommended for handling angular misalignment.</p> <p>Thermal expansion taken internally.</p> <p>Suitable for light axial load applications.</p>



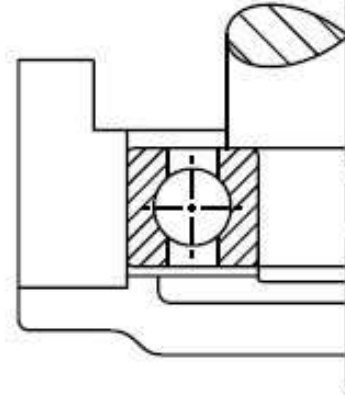
**Suffix K
Conrad**



**Suffix W
Filling Slot**



Fixed mounting



Floating mounting

Fig. 1. Typical mountings for radial ball bearings.

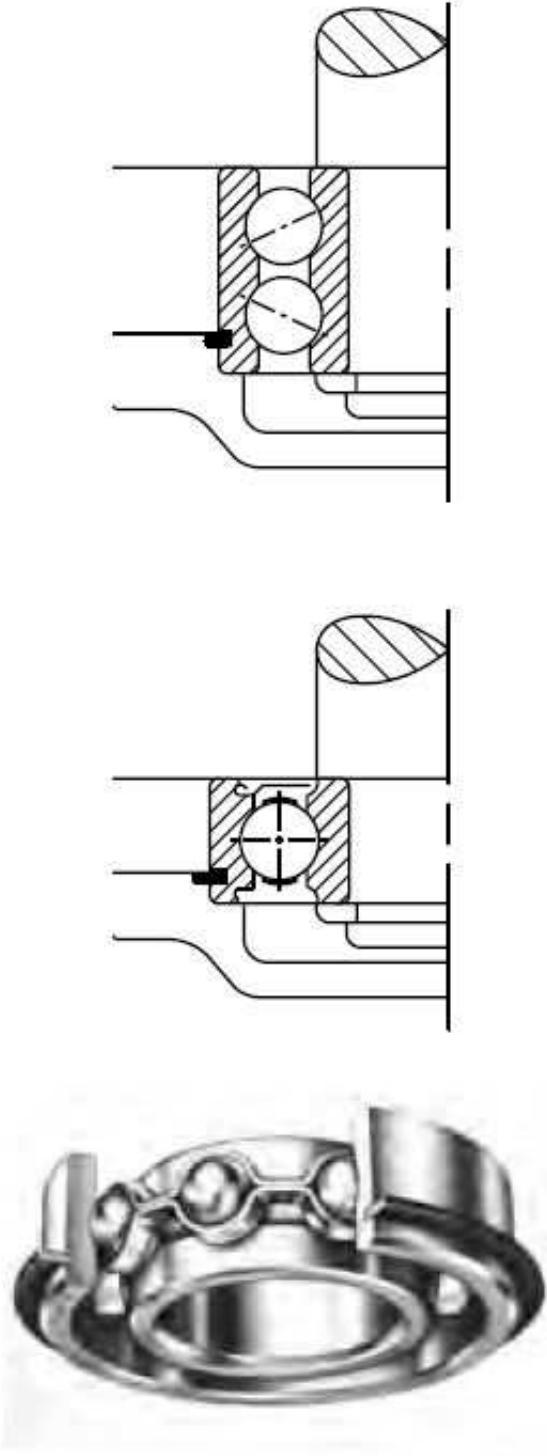


Fig. 2. Typical mountings for snap ring bearings.

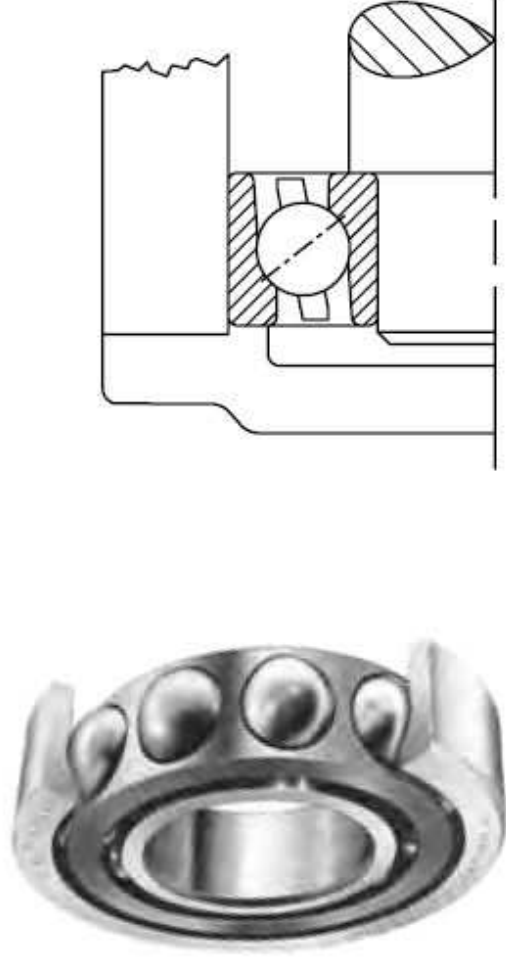


Fig. 3. Typical mounting for single-row, angular contact ball bearings.

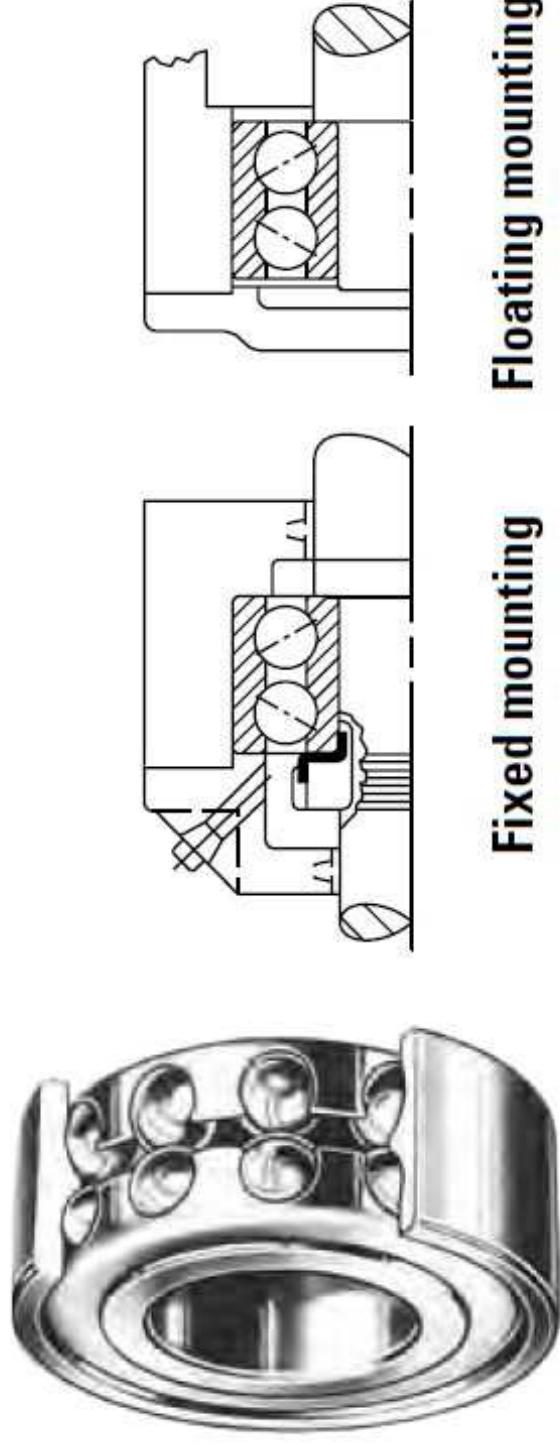


Fig. 4. Typical mountings for double-row, angular contact ball bearings.

Table 8.4 Shaft Tolerances (1) for Radial Bearings

(2/3)

Operating conditions	Shaft diameter (mm)				Tolerance symbols	Remarks	Examples of application (Reference)
	Ball bearings	Cylindrical roller bearings Tapered roller bearings	Spherical roller bearings				
Light load or fluctuating load	18 under and incl.	-	-	-	h5	When high precision is required, adopt j5, k5 and m5 instead of j6, k5 and m6 respectively	Electrical appliance, machining tool, pump, blower, haulage car
	18 Over 100 Incl.	40 under and incl.	-	-	j6		
	100 Over 200 Incl.	40 Over 140 Incl.	-	-	k6		
	-	140 Over 200 Incl.	-	-	m6		
Rotating inner ring load or indeterminate direction load	18 under and incl.	-	-	-	j5	The tolerances of k6 and m6 instead of k5 and m5 can be used for single row tapered roller bearings and single row angular contact ball bearings.	Electric motor, turbine, pump, internal combustion engine, wood working machine, bearing application in general.
	18 Over 100 Incl.	40 under and incl.	40 under and incl.	40 under and incl.	k5		
	100 Over 200 Incl.	40 Over 100 Incl.	40 Over 65 Incl.	40 Over 65 Incl.	m5		
	-	100 Over 140 Incl.	65 Over 100 Incl.	65 Over 100 Incl.	m6		
	-	140 Over 200 Incl.	100 Over 140 Incl.	100 Over 140 Incl.	n6		
	-	200 Over 400 Incl.	140 Over 200 Incl.	140 Over 200 Incl.	p6		
	-	-	280 Over	280 Over	r6		
	-	50 Over 140 Incl.	50 Over 100 Incl.	50 Over 100 Incl.	n6		
	-	140 Over 200 Incl.	100 Over 140 Incl.	100 Over 140 Incl.	p6		
	-	200 Over	140 Over	140 Over	r6		
Composite load	-	200 Over	140 Over	140 Over	r6	A bearing with an internal clearance larger than the normal clearance is required	Axles of locomotive and passenger train, traction motor

Note: (1) Shaft tolerances in this table are applied to solid steel shaft for bearings with tolerance class 0 and 6.

Remarks: Heavy load $P > 0.12Cr$; Normal Load $0.06Cr < P \leq 0.12Cr$; Light Load $P \leq 0.06Cr$; Cr: Basic Dynamic Load Rating

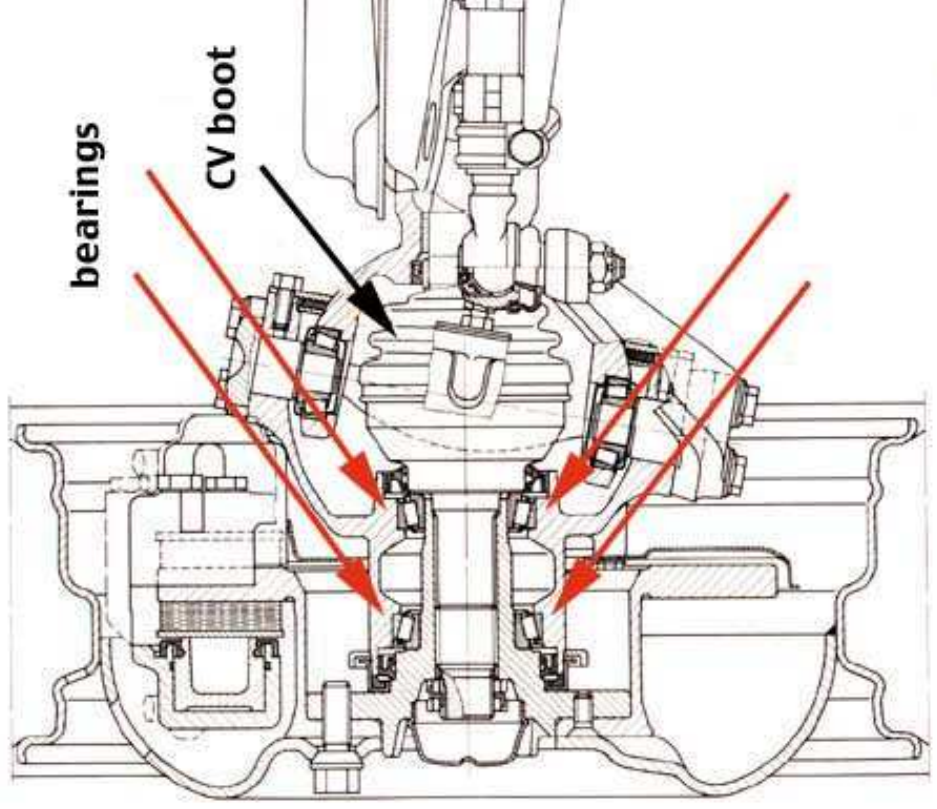
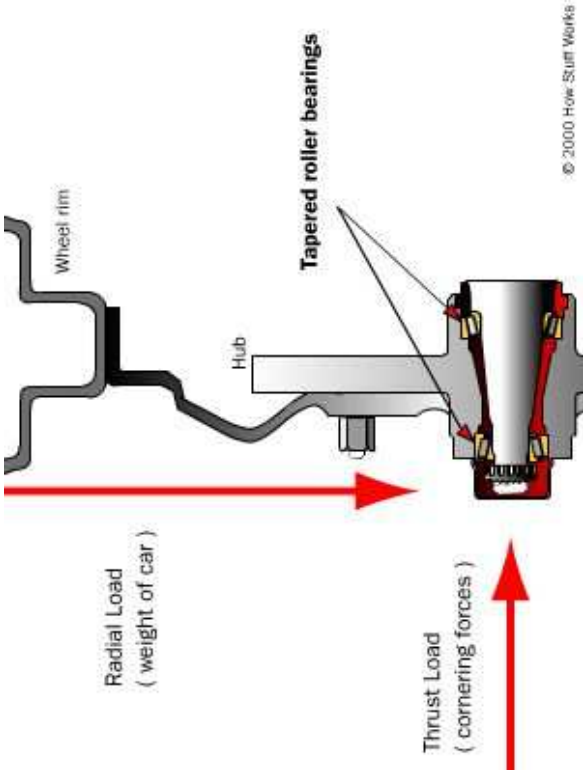
Table 8.6 Housing Bore Tolerances ⁽¹⁾ for Radial Bearings (Except Inch-series Tapered Roller Bearings) (1/2)

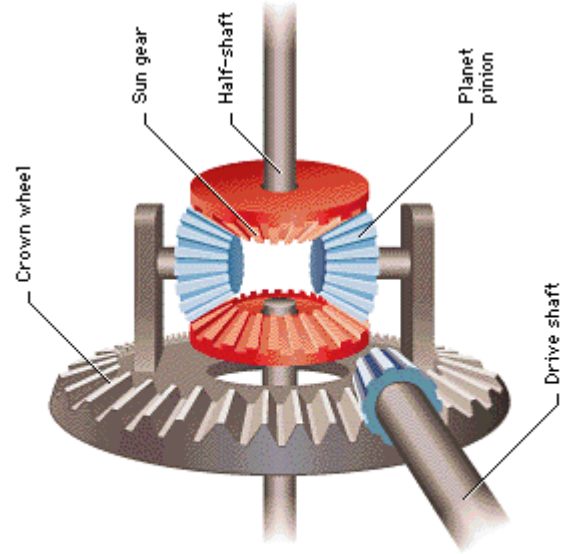
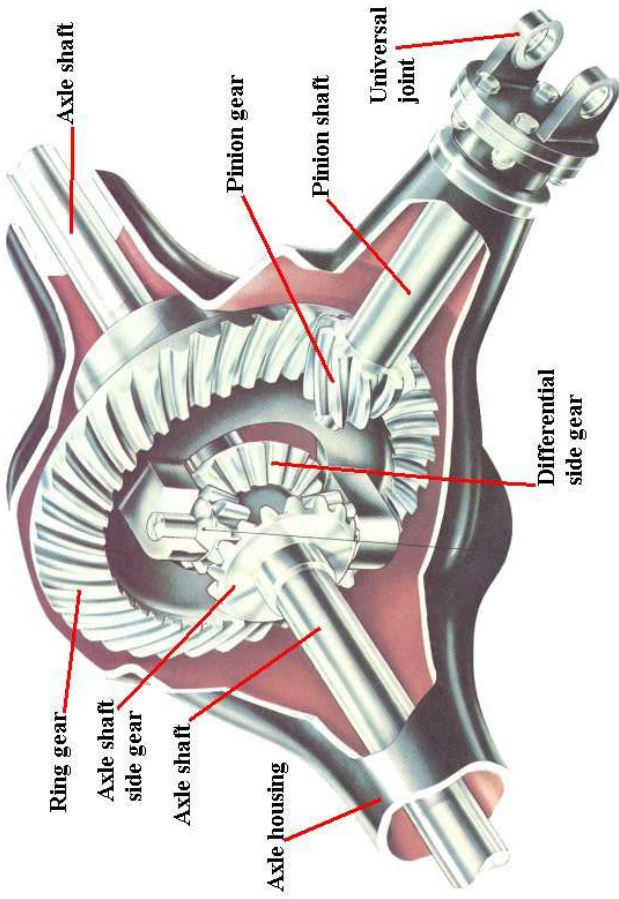
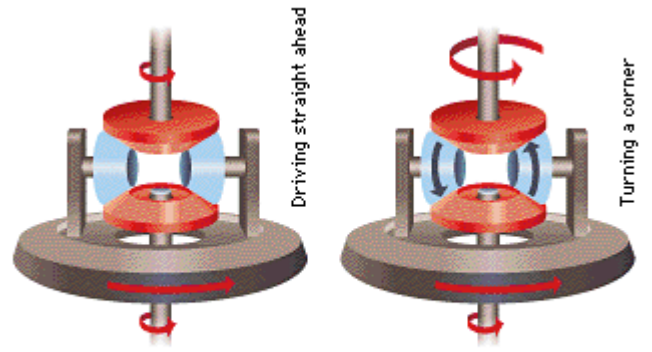
Operating conditions		Tolerance symbols	Outer ring movement ⁽²⁾	Examples of application (Reference)
Monoblock housing	Rotating outer ring load	P7	Outer ring can not be moved in axial direction.	Automotive wheel (roller bearing)
		N7		Automotive wheel (ball bearing)
	Heavy impact load	M7		Conveyer roller, pulley, tension pulley
				Traction motor
Indeterminate direction load	Heavy load or normal load; When the outer ring is not required to move in axial direction	K7	Outer ring can not be moved in axial direction as a rule.	Electric motor, pump, crank shaft
				Normal load or light load; When it is desirable that the outer ring can be moved in axial direction
	Impact load; When no-load condition occurs instantaneously	J7		
Monoblock or split housing	Rotating inner ring load	H7	Outer ring can be moved easily in axial direction.	Railroad car axle, bearing application in general
		H8		Gear transmission
	When thermal conduction through the shaft is caused	G7		Paper mill (Drying cylinder)

Note: (1) The tolerances in this table are applied to cast iron or steel housing for bearings with tolerance class 0 and 6.

Tighter fit is adopted for light alloy housing.

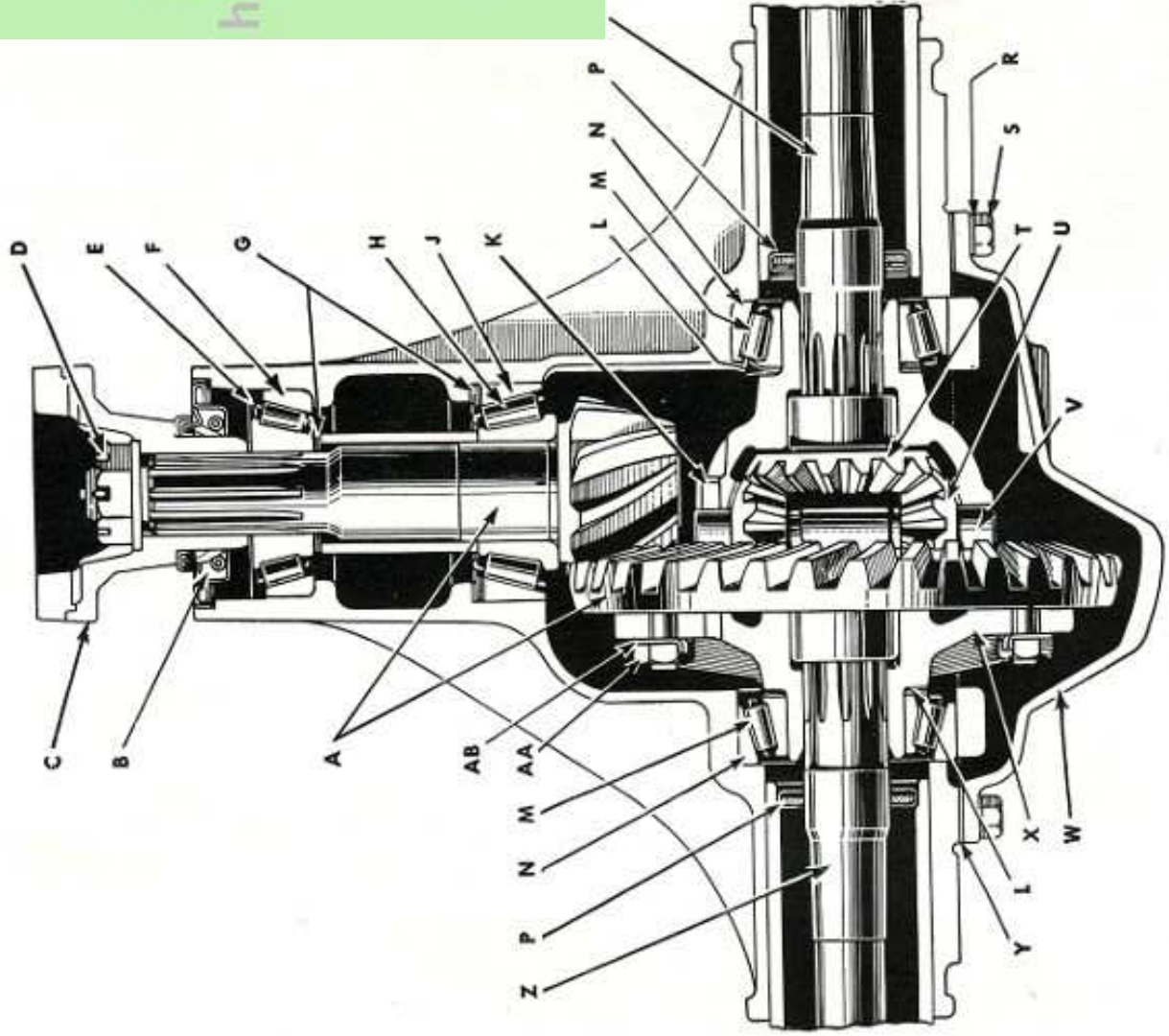
(2) Outer ring of non-separable bearing

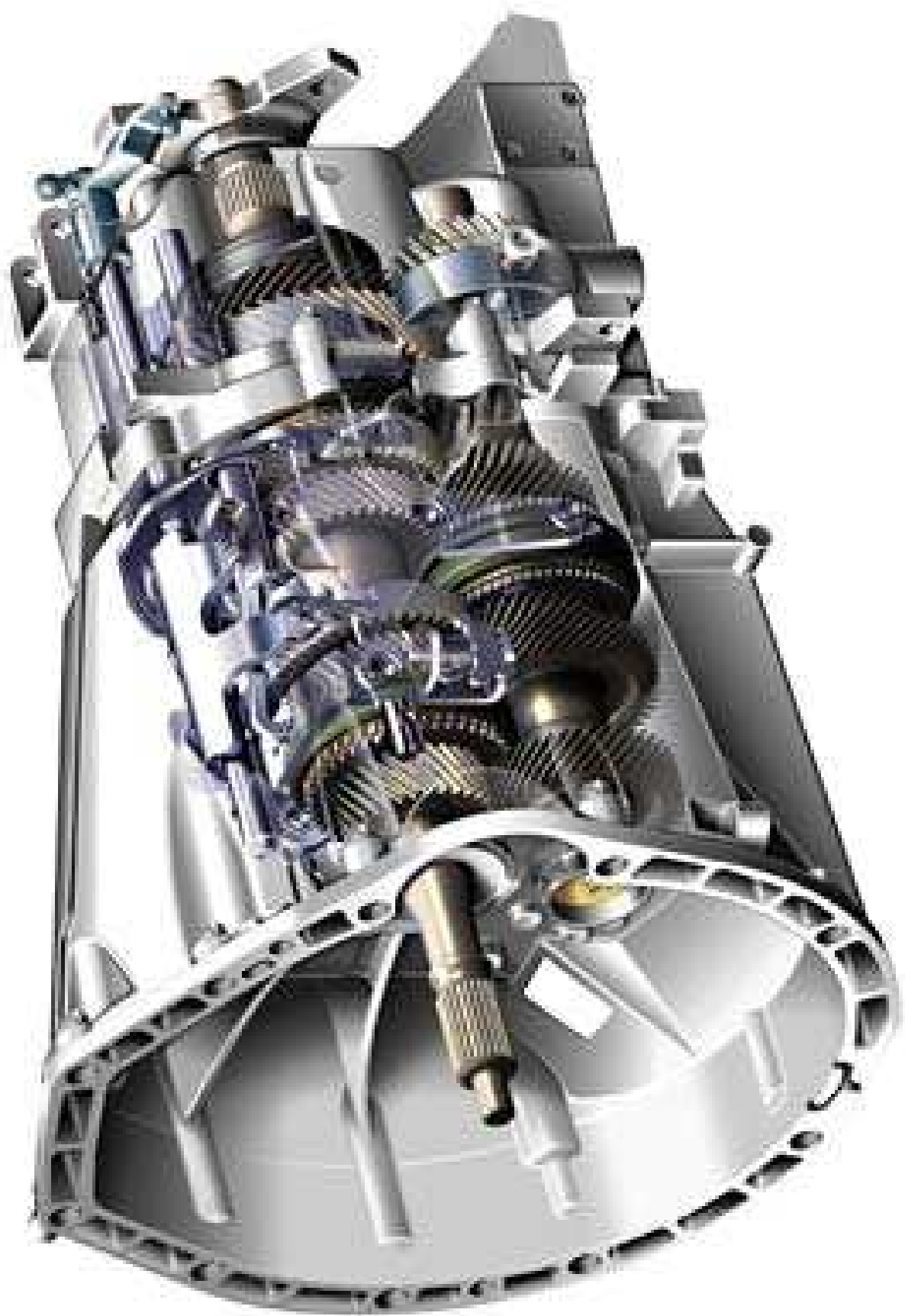


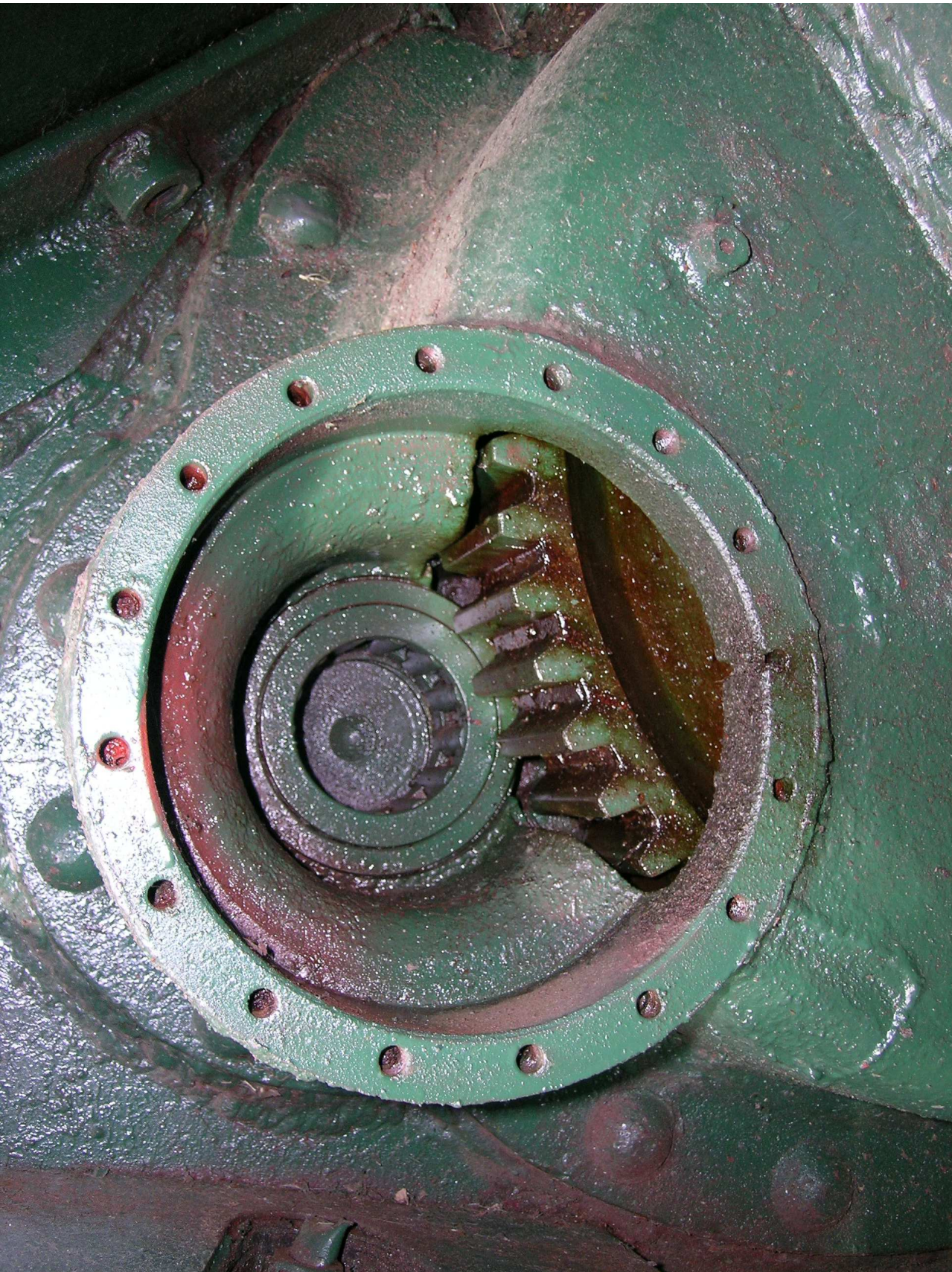




Material: 20CrMnTi





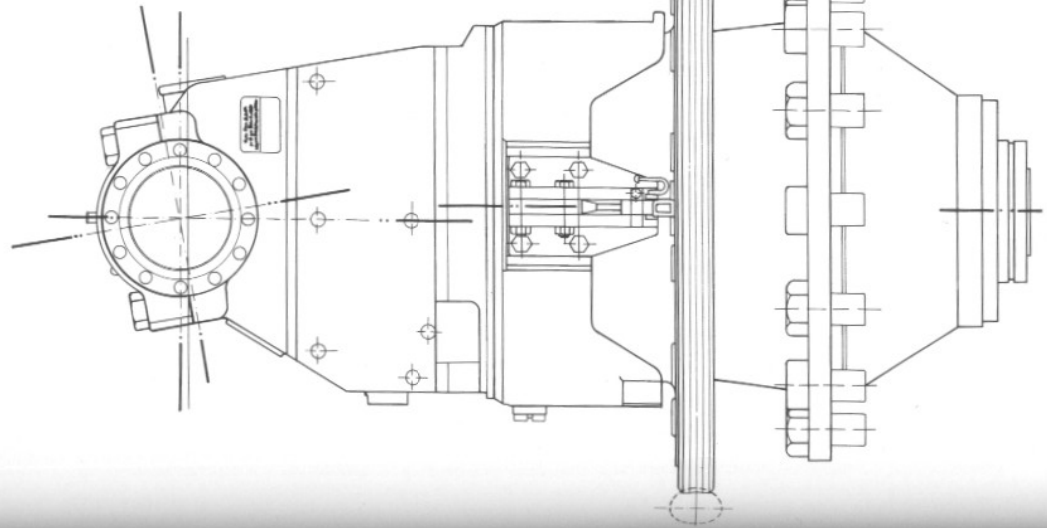
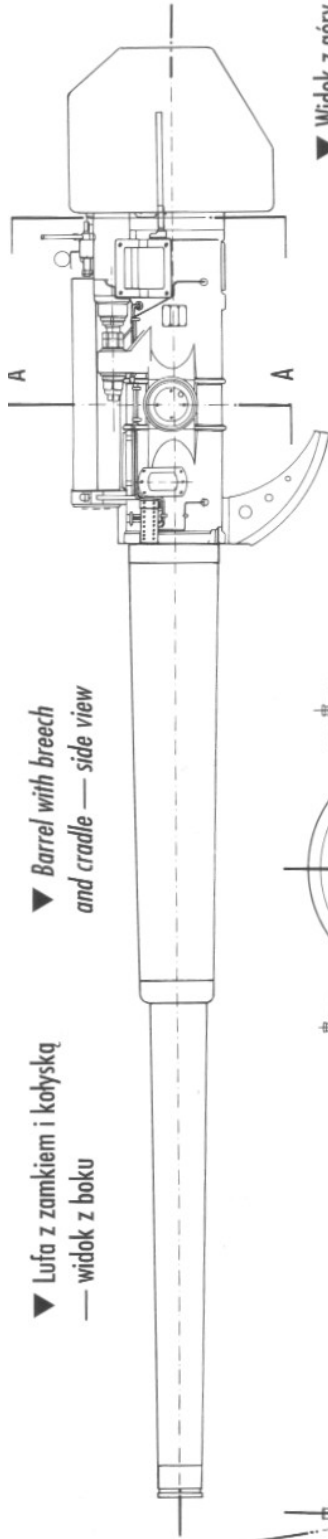




Opracował i kreślił M. Skwiot

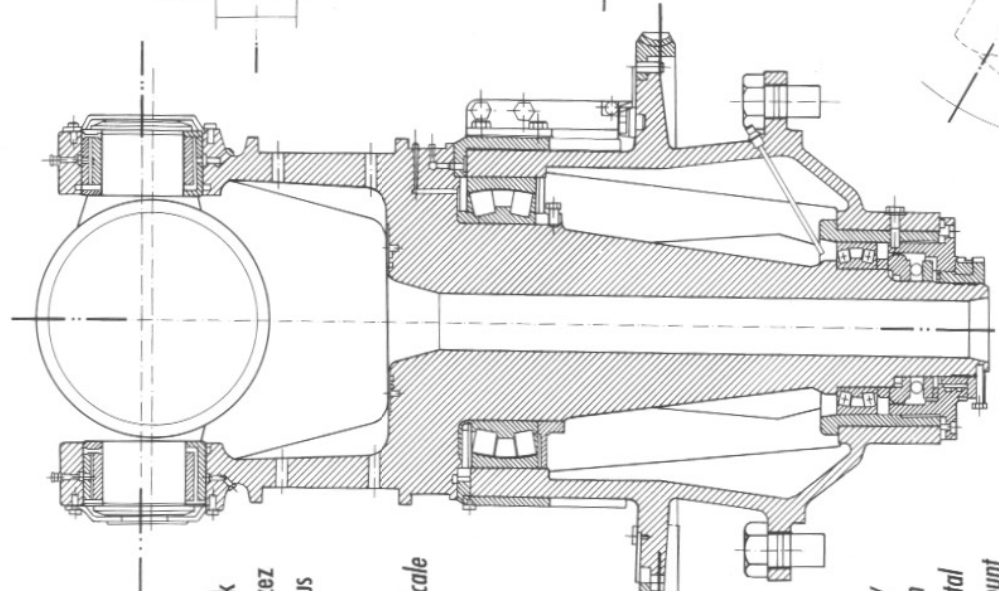
Drawn and traced by M. Skwiot

Skala 1 : 50 scale



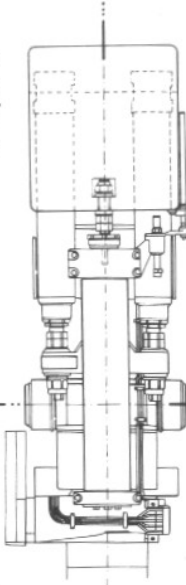
◀◀ Widok i przekrój przez cokół i korpus lawety

Skala 1 : 20 scale



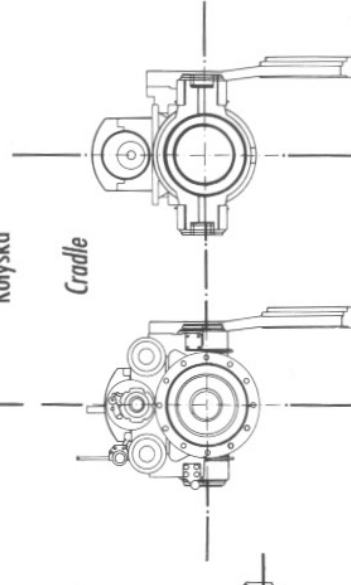
▼ Widok z góry

▼ Top view



Kotyska

Cradle



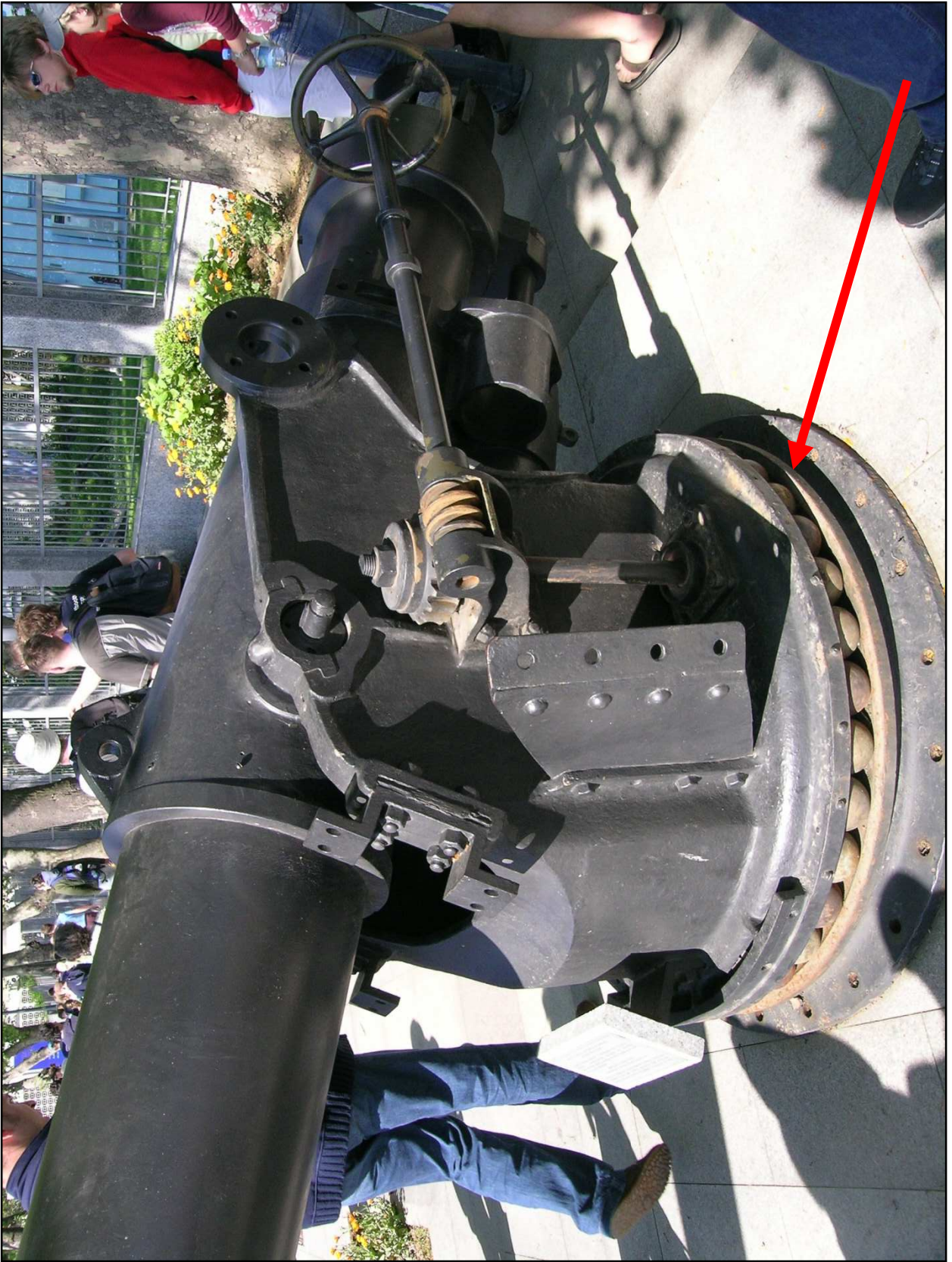
▲ Widok od przodu

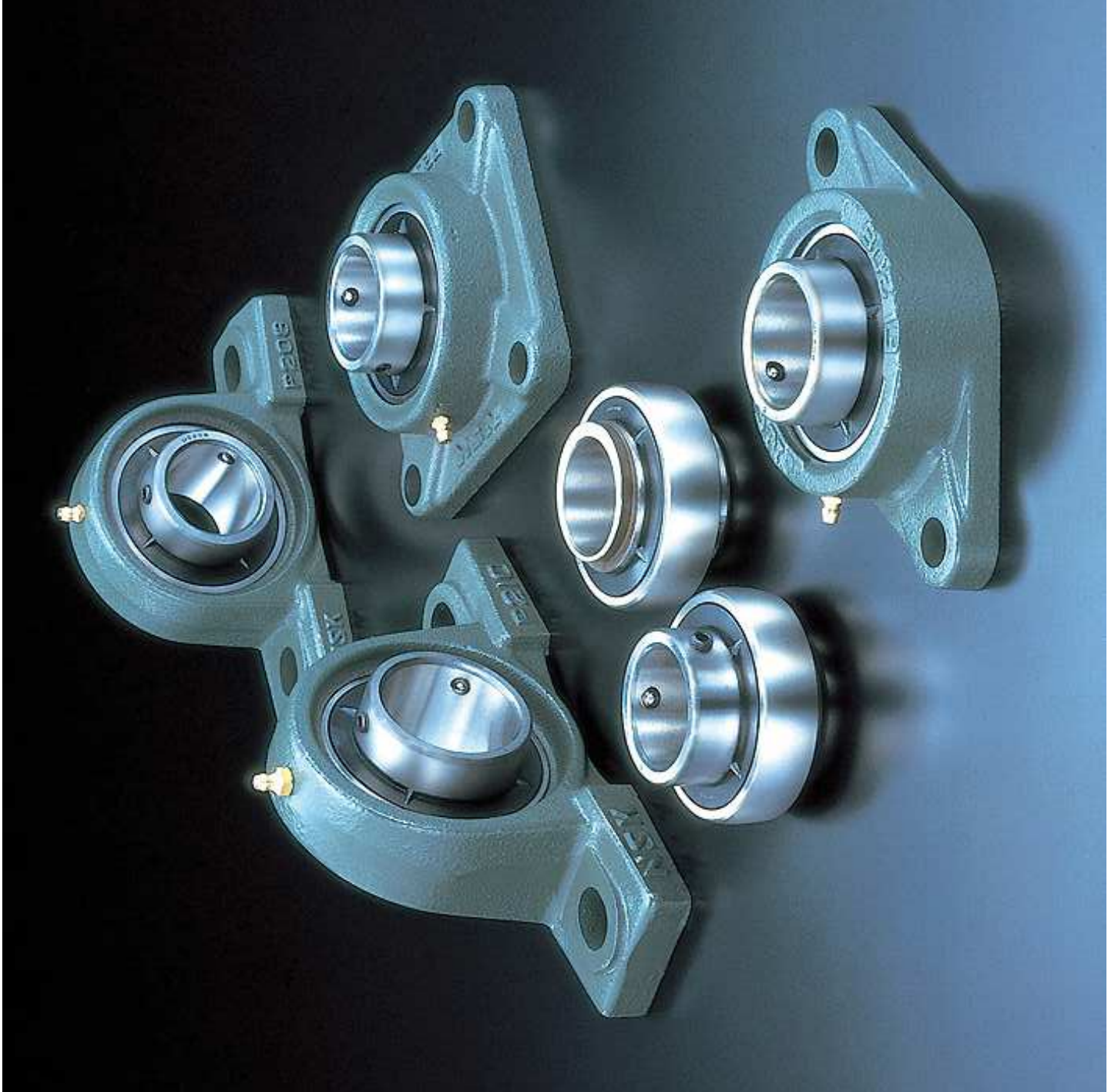
▲ Przekrój A-A

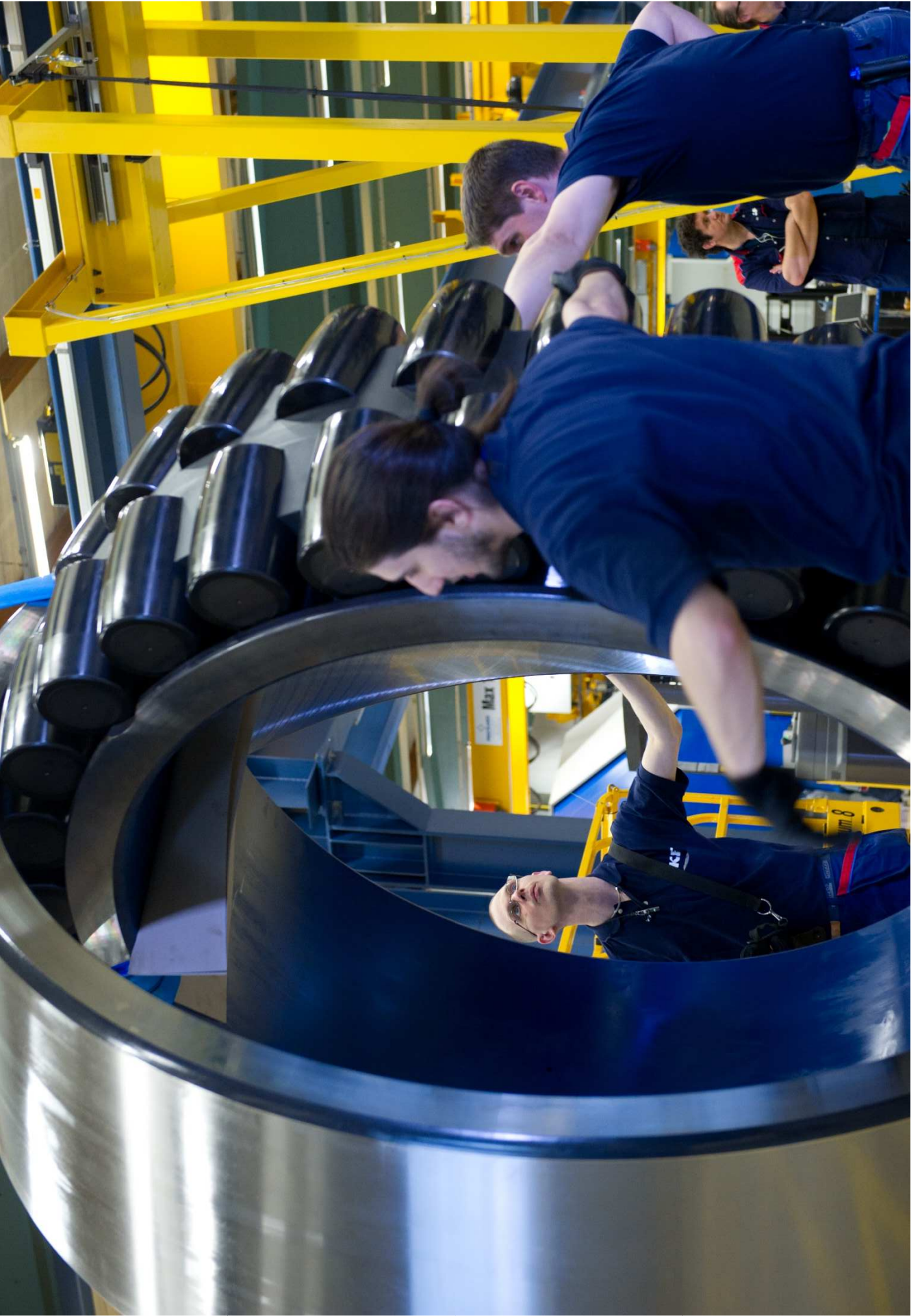
▲ Front view

▲ Section A-A



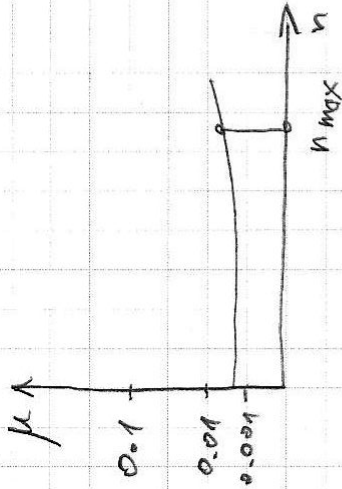






tożyska taczne

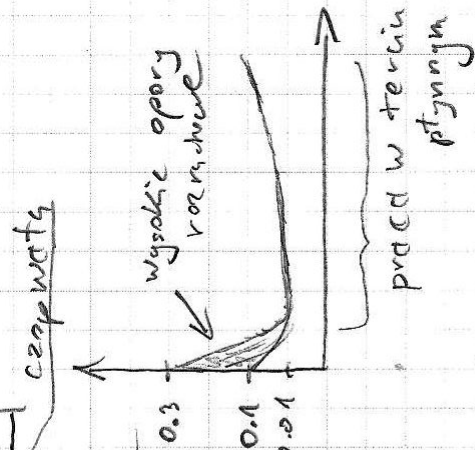
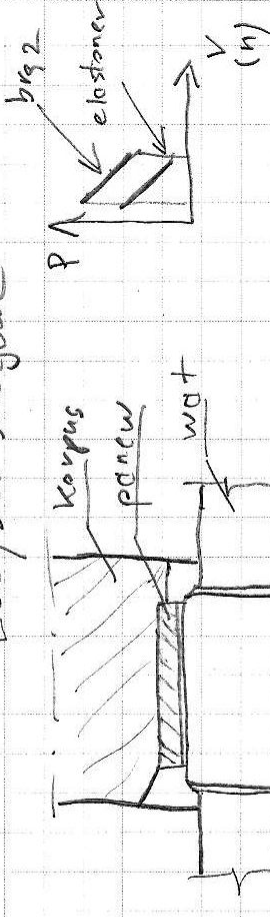
- budowa (typowe toż.)
- bieżnia zewnętrzna
- elementy taczne
- kozytki



- + niskie opory ruchu (w tym podatnos rozruchowa)
- + duzy wybor typowch rozmiarow
- + latwe (wzplodnie) obliczenie $L = \left(\frac{C}{F}\right)^3$
- + ciete zuzycie zechodu wewnetrzn tozyska
 ↳ po odymianiu odzyskujemy pefne wdoby

- duze rozmiary
- + wzrost natasu sygnalizacji postepujace zuzycie

tożyska szlęgowe



- wysokie opory przy rozruchu (iluzycie)
- trudne obliczenie
- trudne naprawe (wymiane panewit regeneracyjne)
- + ciekawna (mote) panew z mozliwoscia podiatk
- + podnos pracy w obszarze tercie plynnej brak untycie i niske wip. tercie