



**AKADEMIA KALISKA**  
im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego

# **Podstawy technologii kół zębatach**

Kierunek - Mechanika i Budowa Maszyn  
Kalisz / Wrzeźnia - semestr V

---

Rok akademicki 2020 / 2021  
**Opracował: dr inż. Paweł Knast**

**UWAGA: Materiały dydaktyczne przeznaczone dla Studentów PWSZ w Kaliszu – kopiowanie i przegrywanie bez zgody autora zabronione.**  
Kontakt do autora: [pawel@knast.pl](mailto:pawel@knast.pl)

# Zastosowanie kół zębatach, ślimacznic i ślimaków w technice

## Koła zębate w mechanizmach zegarków

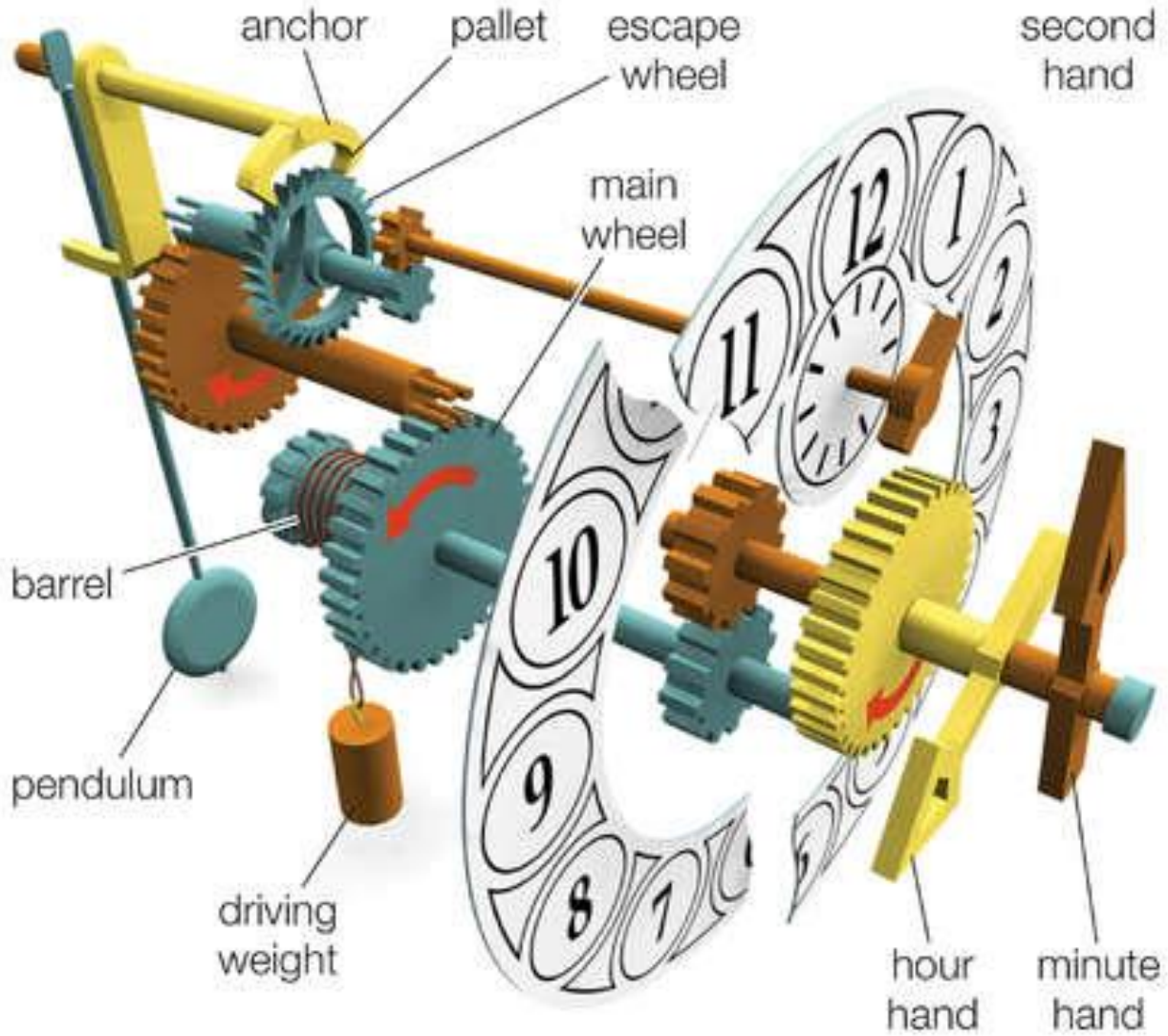


Na podstawie:

<https://www.watchcollectinglifestyle.com/home/news-rare-and-historical-panerai-ref-6152/1-luminor-sells-for-425000-swiss-francs-sothebys-important-watches-auction-in-geneva>

<https://www.bobswatches.com/watch-resources/perpetual-movement>

## Koła zębate w mechanizmach zegarów



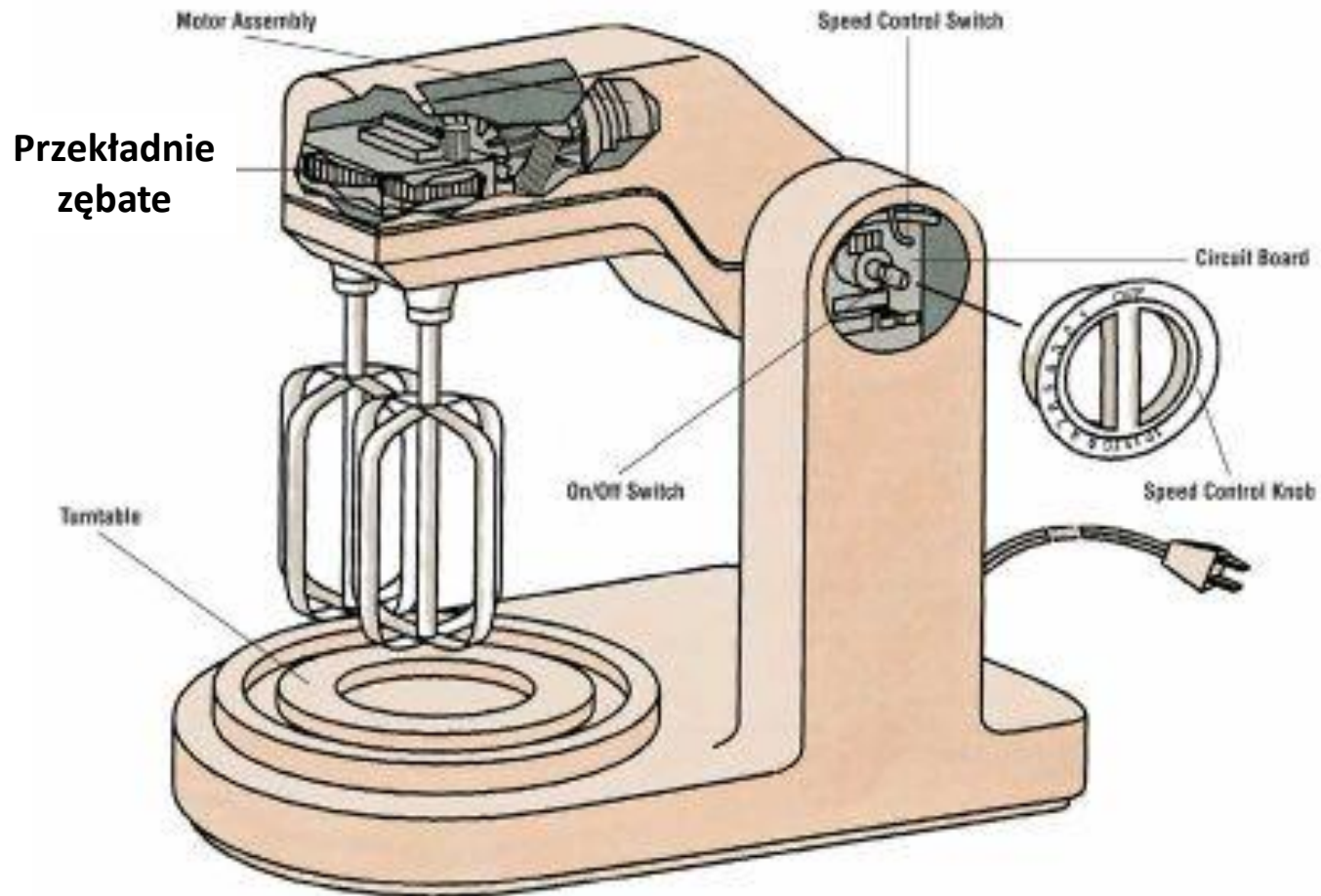
Na podstawie:  
<https://www.falmouthpacket.co.uk/news/11169577.ever-wondered-what-the-inside-of-penryn-clock-tower-looks-like-pictures/>  
<https://www.anatomynote.com/building-houseware-tools/houseware/clock/clock-anatomy/>

## Koła zębate w mechanizmach bram



Na podstawie [http://szlabany24.pl/napedy\\_do\\_bram\\_warszawa](http://szlabany24.pl/napedy_do_bram_warszawa)  
<https://grupaogrodzeniowa.pl/napedy-do-bram-przesuwnych-i-dwuskrzydlowych-podstawowe-charakterystyki/>

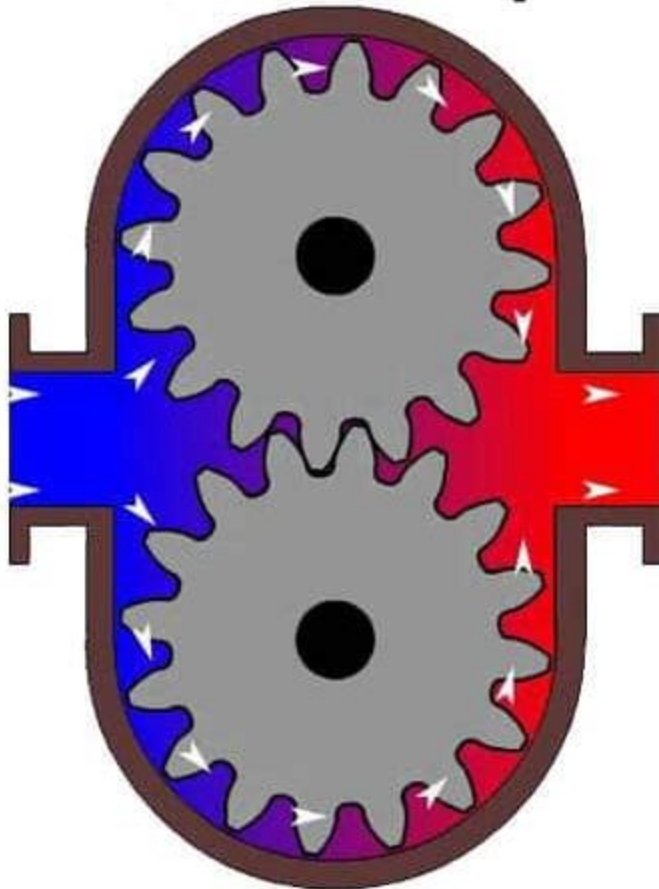
## Koła zębate w mechanizmach bram i sprzęcie AGD



Na podstawie [http://szlabany24.pl/napedy\\_do\\_bram\\_warszawa](http://szlabany24.pl/napedy_do_bram_warszawa)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Bevel\\_gear#/media/File:Crown\\_gears\\_on\\_roller-door\\_at\\_Ngcobo.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Bevel_gear#/media/File:Crown_gears_on_roller-door_at_Ngcobo.jpg)  
<https://home.howstuffworks.com/how-to-repair-small-appliances4.htm>

## Koła zębate w mechanizmach pomp

Low Pressure inlet  
Niskie ciśnienie -  
wejście

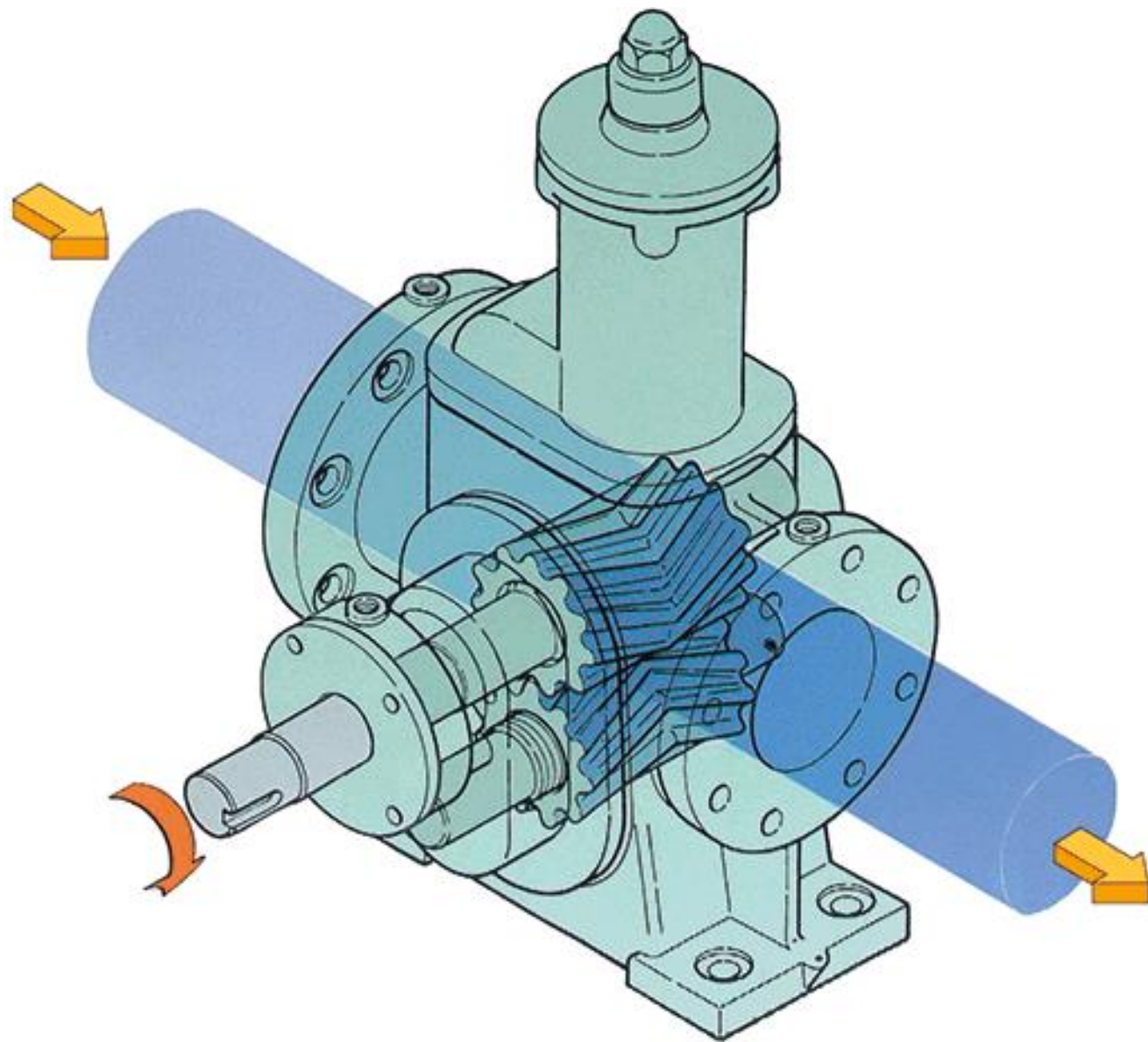


The white arrows  
show the fluid path

High pressure exit  
Wysokie ciśnienie  
- wyjście



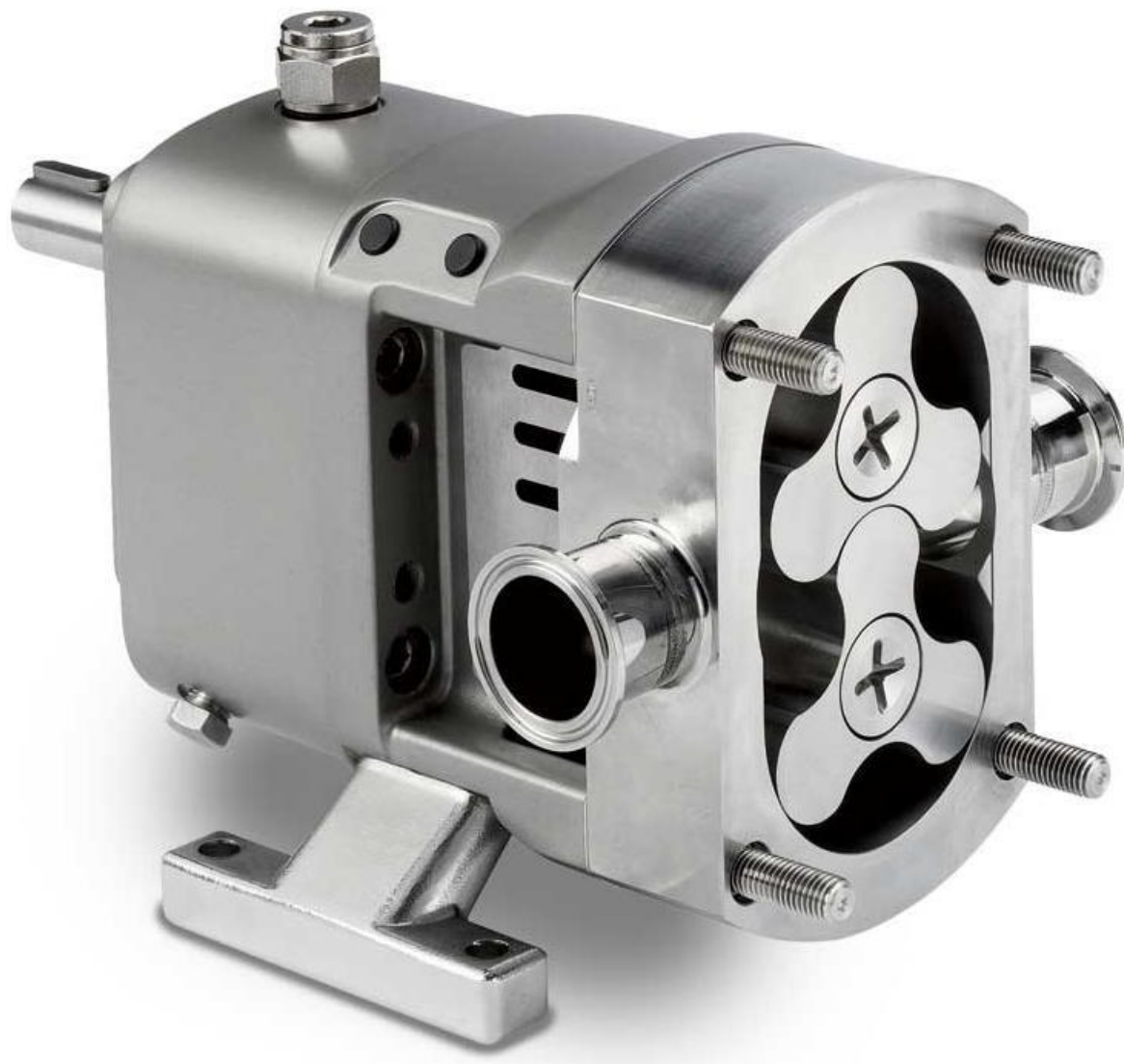
## Koła zębate w mechanizmach pomp – przykład 2 rozwiązań konstrukcyjnych



Na podstawie:  
<https://www.taiko-kk.com/en/product/index.html>  
<https://www.casconpump.com/gerotors/>

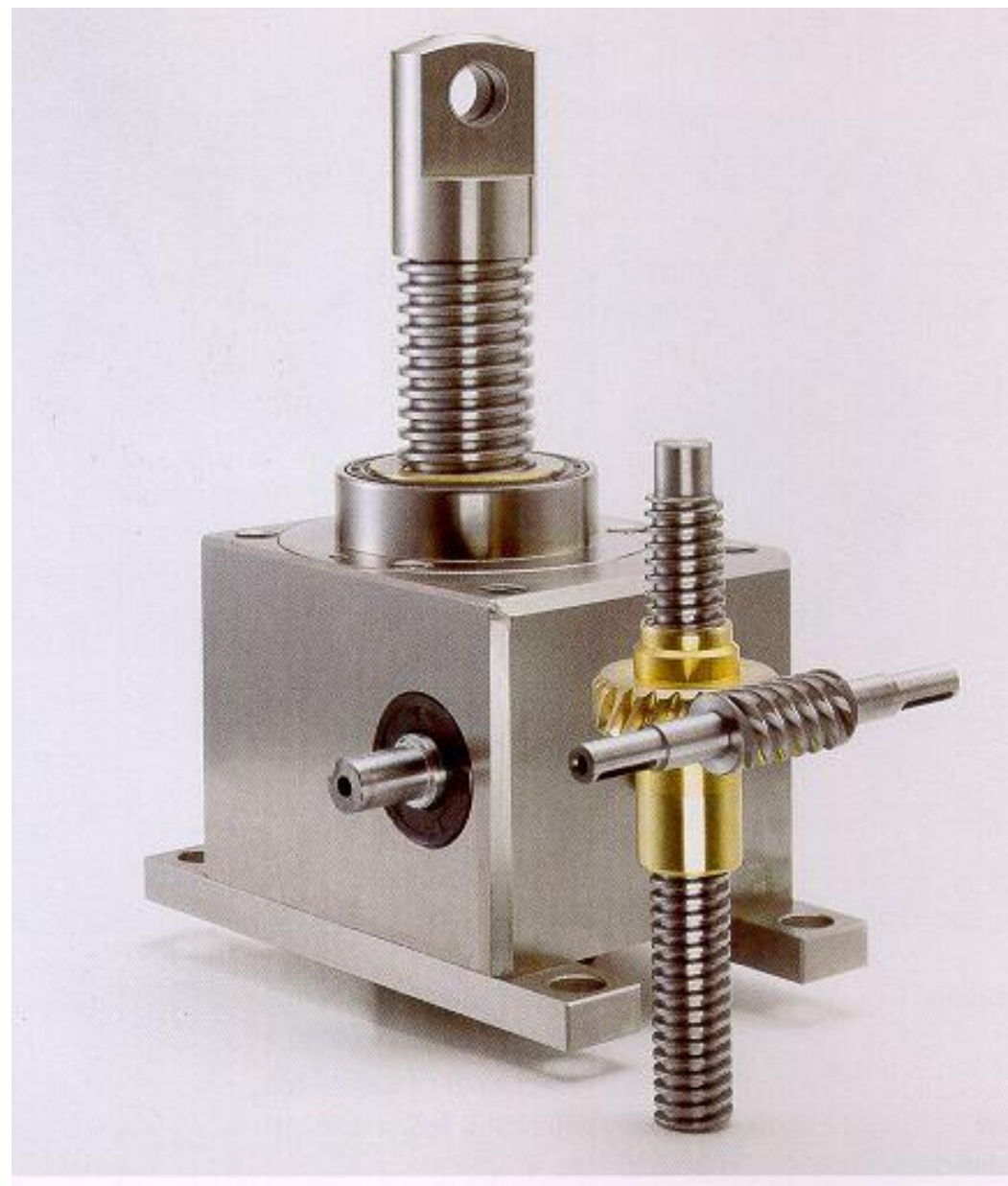
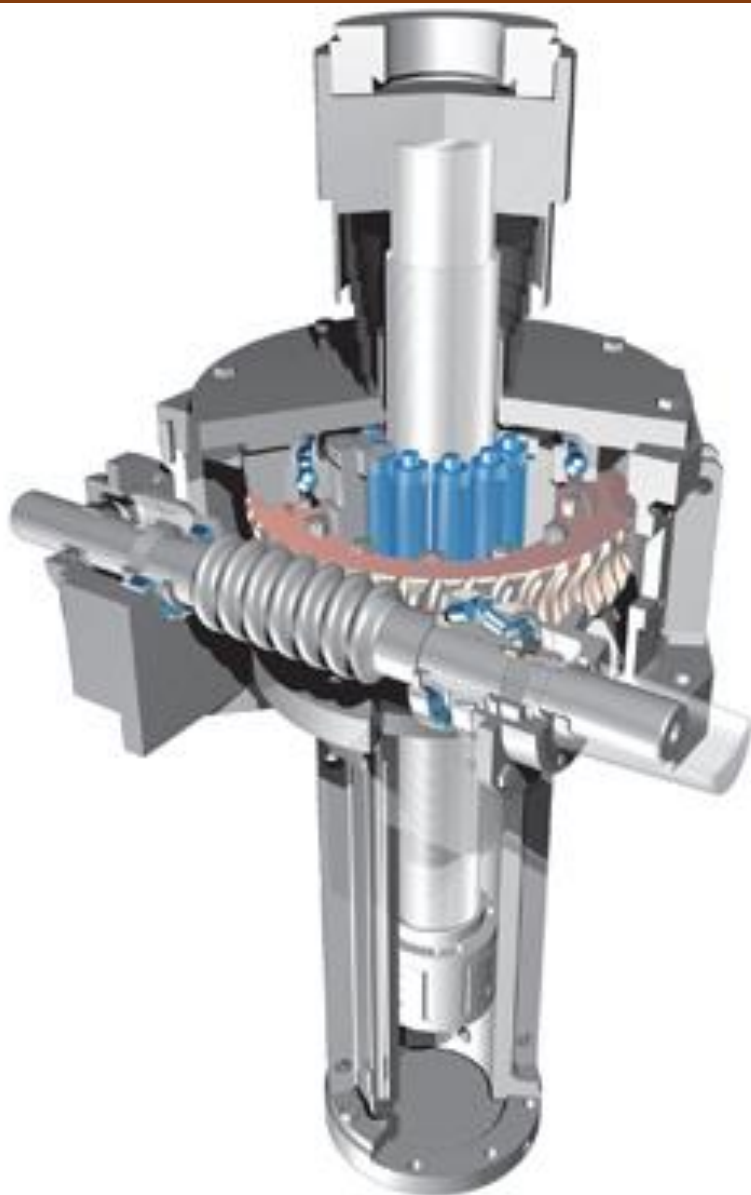


## Koła zębate w mechanizmach pomp – przykład 2 rozwiązań konstrukcyjnych



Na podstawie: <http://www.pumpschool.com/intro/selection.php>

## Mechanizmy ślimaka i ślimacznicy w urządzeniach podnośnikowych

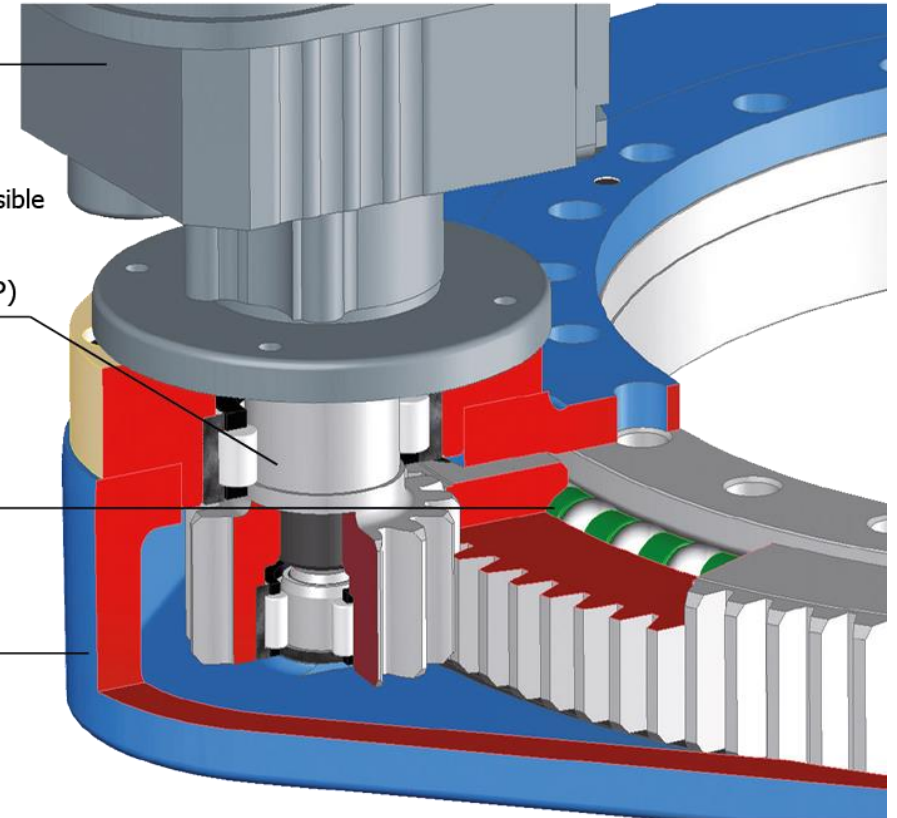
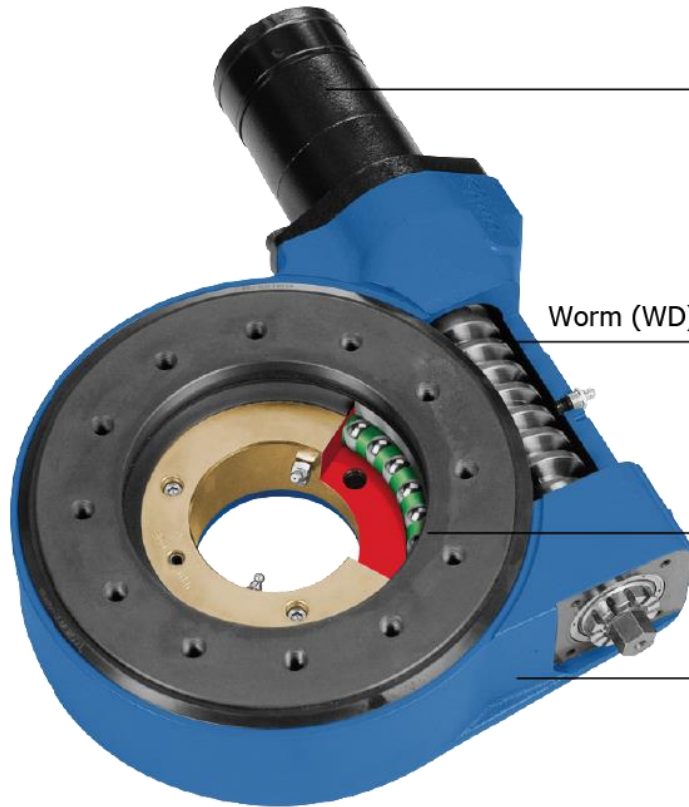


Na podstawie: <https://www.designworldonline.com/roller-screw-jack-actuators/>

# Mechanizmy ślimaka i ślimacznicy oraz kół zębatach w mechanizmach obrotowych maszyn

worm gear driven  
WD-L series

spur gear driven  
SP-I and SP-H series



## Drive motors

- hydraulic / electric
- with / without transmission gear
- industry standard motor connection
- partially 2 motors for double torque capacity possible (standard for WD, special for SP-H)

## Worm (WD)

## Shaft drive

- hardened
- high gear ratio / high torque
- highest load carrying capacity / service life
- low tooth flank backlash

## Spur (SP)

## Ball Slewing Ring

- outer ring as geared worm wheel
- high load carrying capacity

## Housing

- closed
- self-supporting
- sealed

# Mechanizmy ślimaka i ślimacznicy oraz kół zębatach w mechanizmach obrotowych maszyn



This gripper has a slew drive from the SP range installed as a rotary linkage



Special design slew drive from the SP series for the foundation gripper on a heavy-duty construction machine



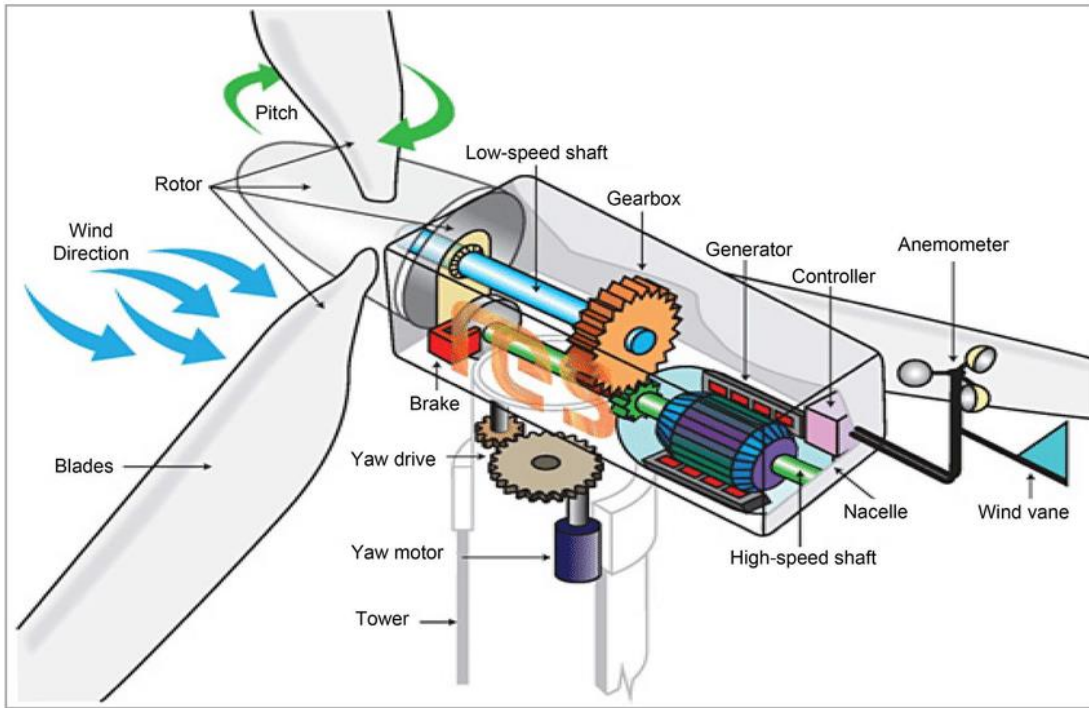
Special products for specialty vehicles

Customer-specific IMO slew drives and slewing rings have proved their worth for years in fire-fighting and rescue deployment with their long service life and reliability.

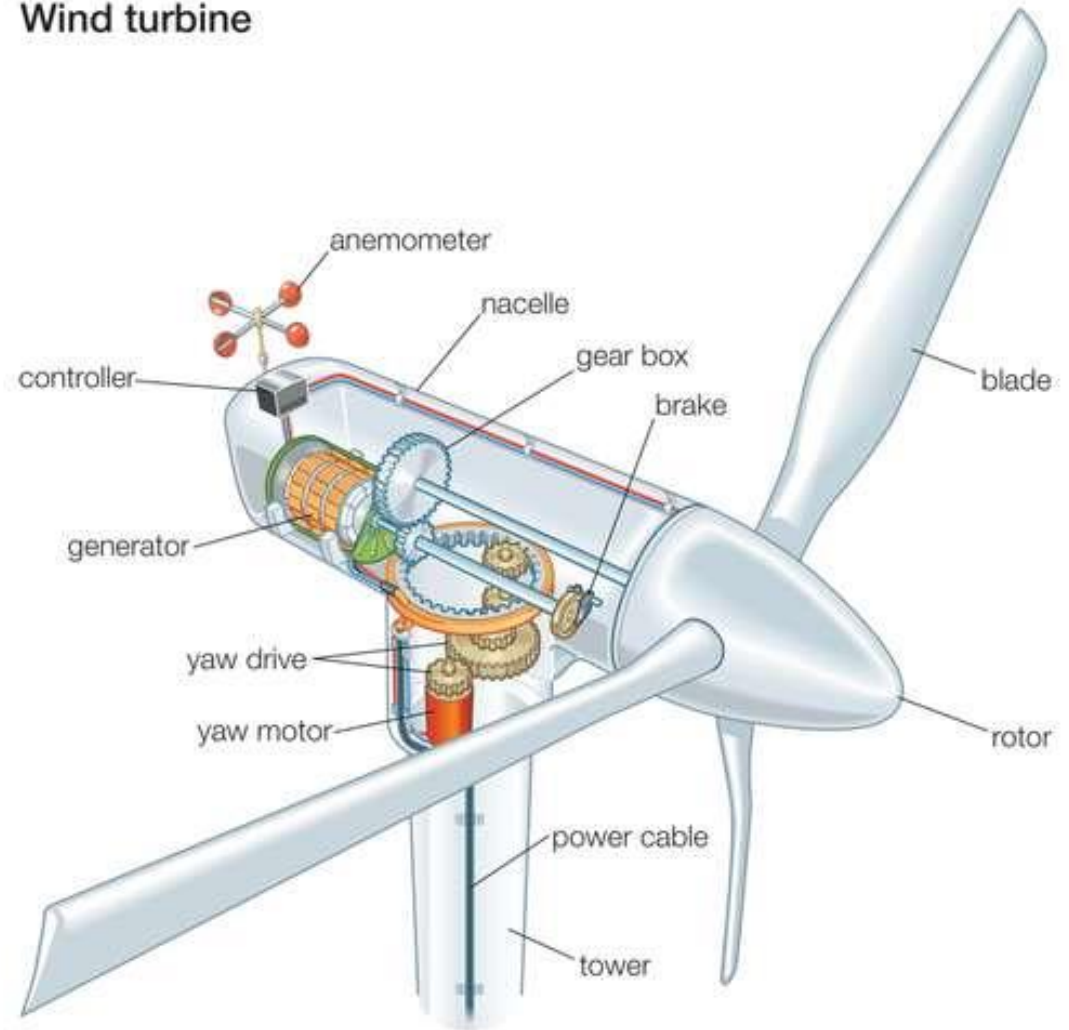
A single-row ball slewing ring with internal gear is being used in the turntable ladder shown below



# Mechanizmy zębate w elektrowniach wiatrowych



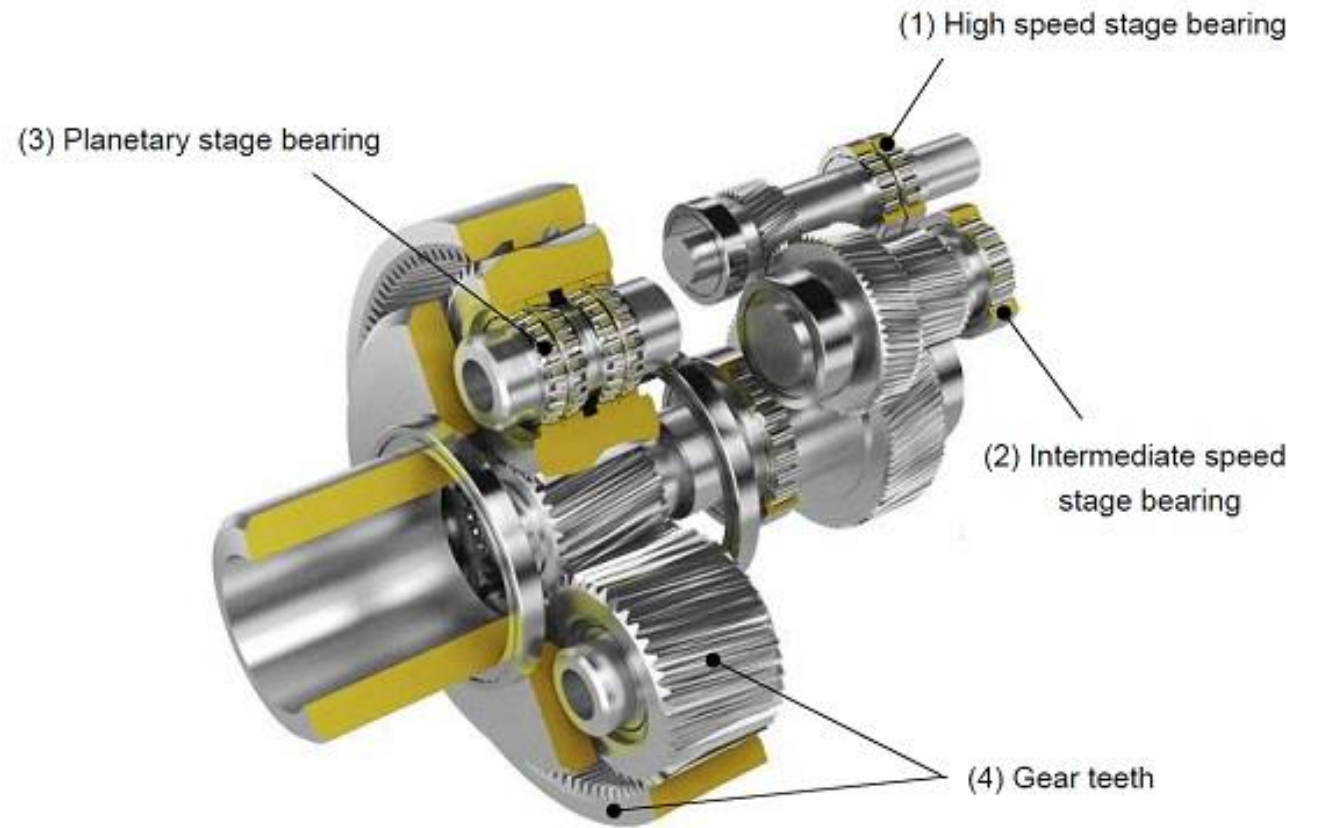
Wind turbine



© 2011 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Na podstawie: <https://www.britannica.com/technology/wind-turbine>  
[https://www.researchgate.net/figure/Wind-turbine-components-1\\_fig1\\_322761950](https://www.researchgate.net/figure/Wind-turbine-components-1_fig1_322761950)

## Mechanizmy zębate w elektrowniach wiatrowych - przekładnia turbiny wiatrowej



Film dotyczący produkcji przekładni do elektrowni wiatrowych:  
<https://www.youtube.com/watch?v=CTstfwxsWNQ>

*ZF Wind Power to uznany projektant, producent i dostawca niezawodnych przekładni do turbin wiatrowych. ZF dostarcza przekładnie do głównych producentów turbin wiatrowych stosowanych w lądowych i morskich farmach wiatrowych*



## Pitch on the safe side

IMO Blade & Yaw Bearings for offshore environments rely on more than 25 years experience in wind turbine applications.



Na podstawie: <https://www.imo.de/en/products-services/slew-drives>



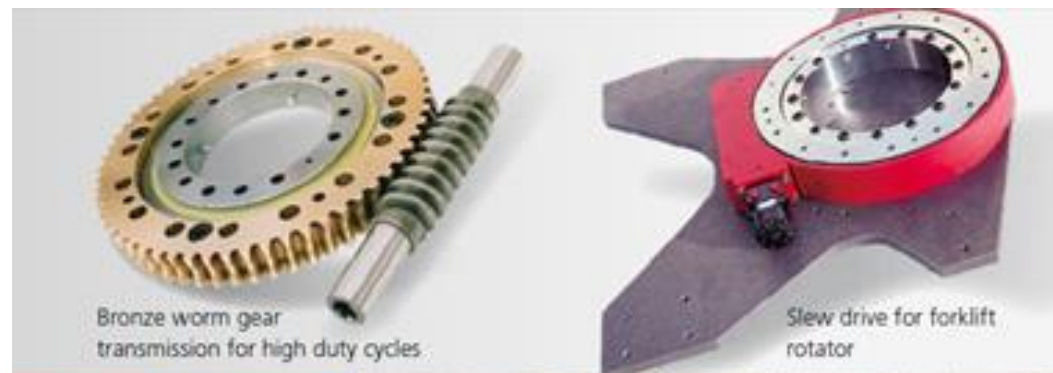
## Pitch on the safe side

Proven IMO designed technology for more than 25 years - 8 years successfully in tidal stream systems.



15.05.2020

# Mechanizmy zębate w maszynach wiertniczych i innych maszyn przemysłowych



Bronze worm gear transmission for high duty cycles.

Slew drive for forklift rotator



Na podstawie: <https://www.imo.de/en/products-services/slew-drives>



## Mechanizmy zębate w urządzeniach medycznych



Na podstawie: <https://www.imo.de/en/contact-service-center/download-portal#download-blade-bearings-for-tidal-stream-systems>

# Mechanizmy zębate w urządzeniach spotykanych w wesołych miasteczkach

## for service

- reduced servicing costs
- longer service life
- worldwide service & spare parts

## for end customers

- highest degree of operational safety
- customized sturdy solutions
- maximum durability
- low overall costs

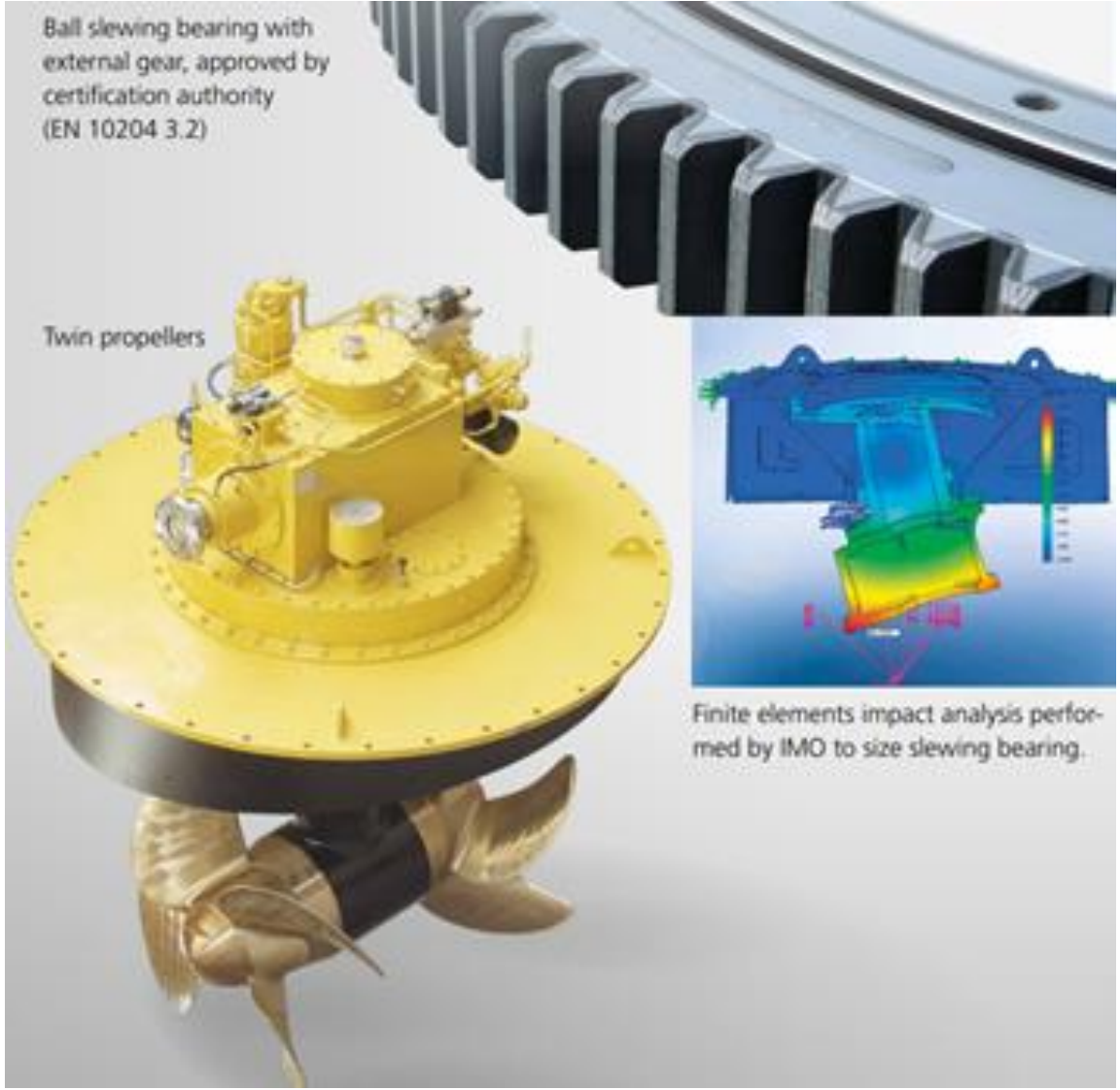


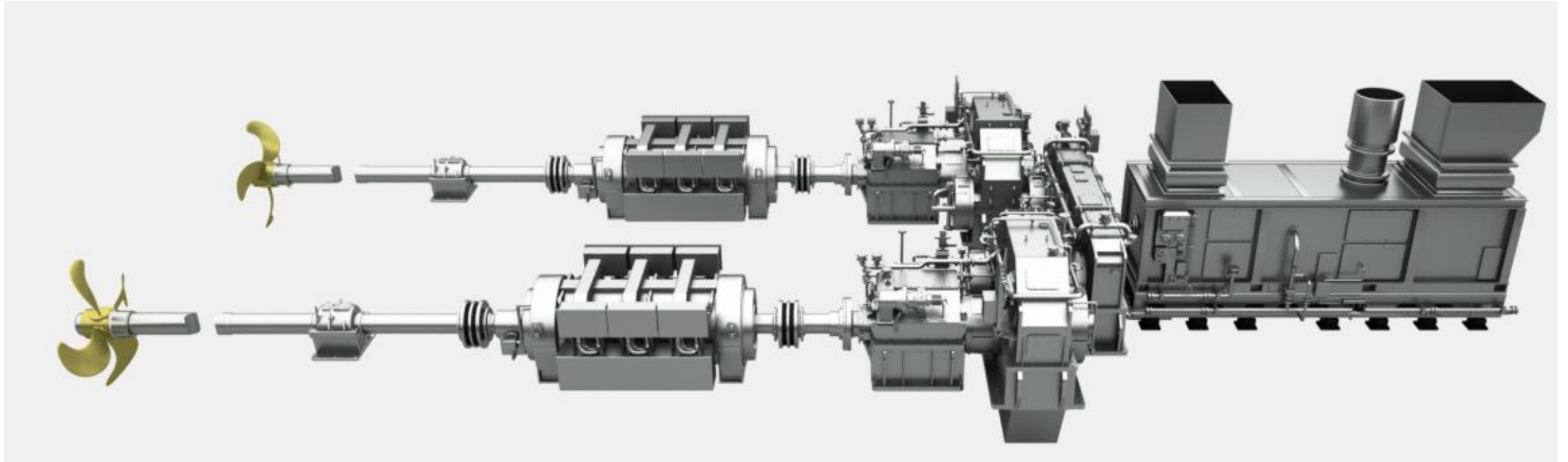
# Mechanizmy zębate w urządzeniach przeładunkowych (portowych i na lotniskach)



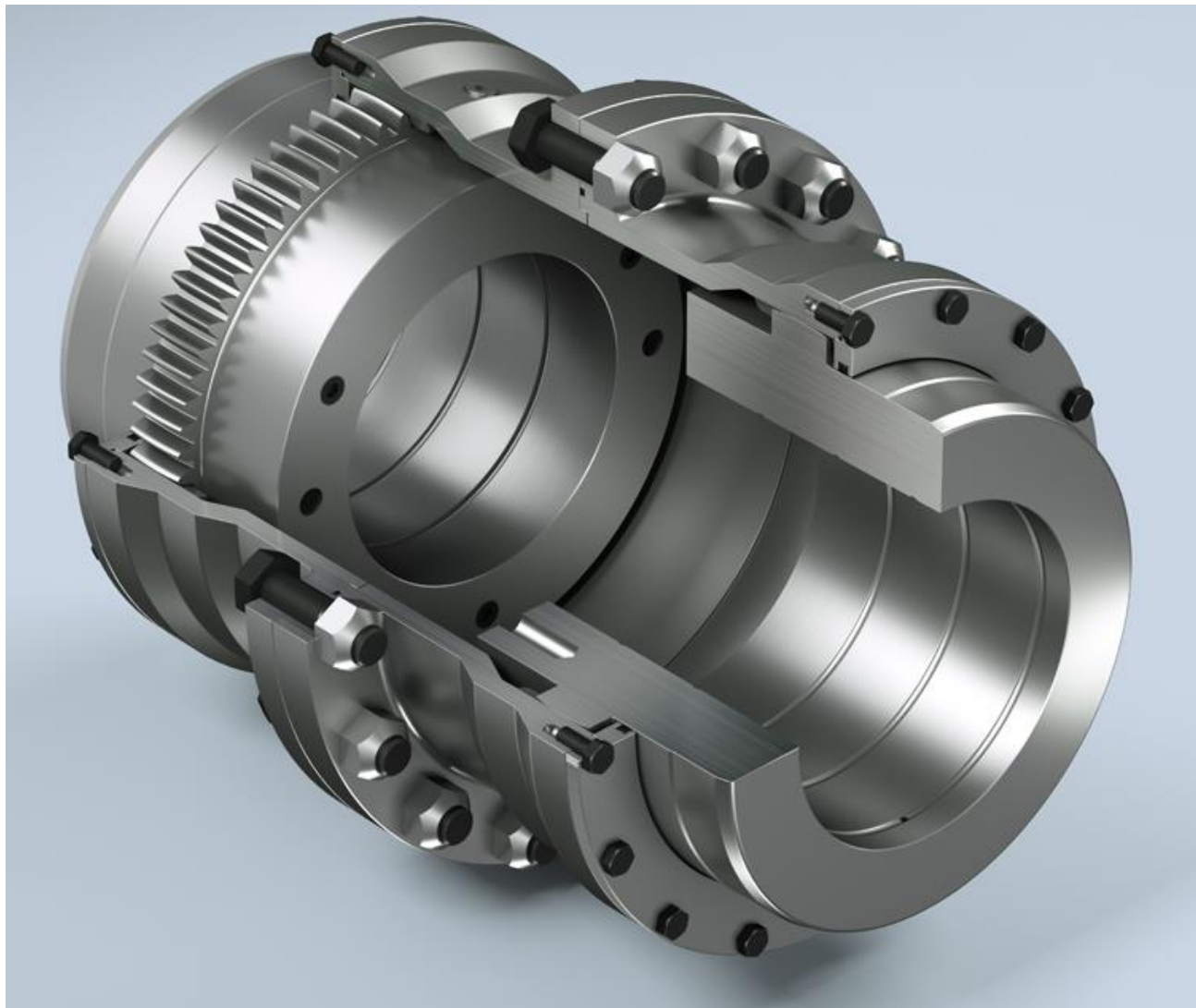
Na podstawie: <https://www.imo.de/en/contact-service-center/download-portal#download-blade-bearings-for-tidal-stream-systems>

# Mechanizmy zębate w wykorzystywane do ustawiania położenia napędu statku i urządzeń przeładunkowych





- Koła zębate znalazły zastosowanie do przenoszenia mocy w morskich układach napędowych, takich jak główna i / lub pomocnicza przekładnia, sprzęgła, wał i / lub łożyska wzdużne.
- Przekładnie zębate współpracują i służą do przeniesienia napędu z silnika elektrycznego, silników napędowych (w tym z funkcją generatora), przetwornic częstotliwości i niezbędne połączenie z układem elektrycznym.
- Przeniesienie napędu z silników na śmigła i układ wałów, a także maszyn napędowych.



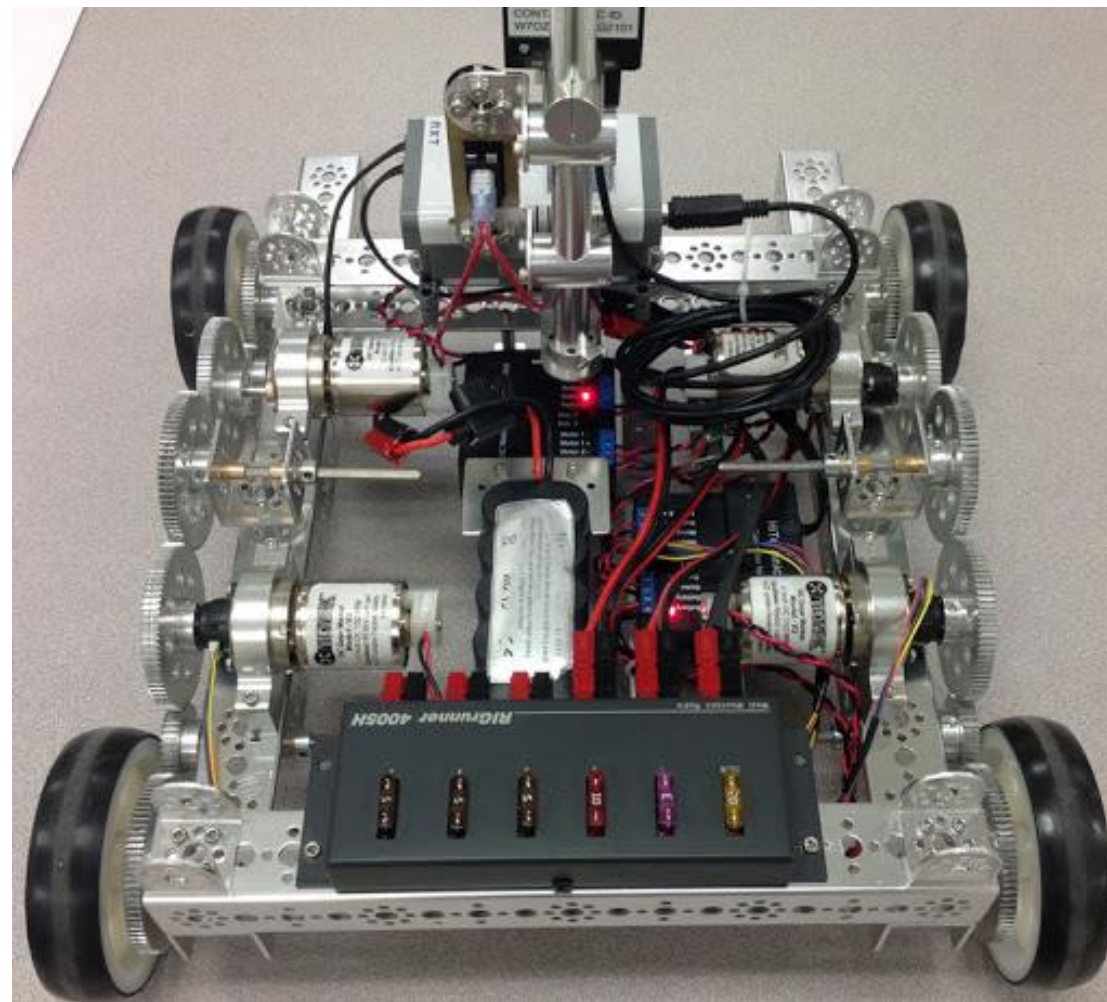
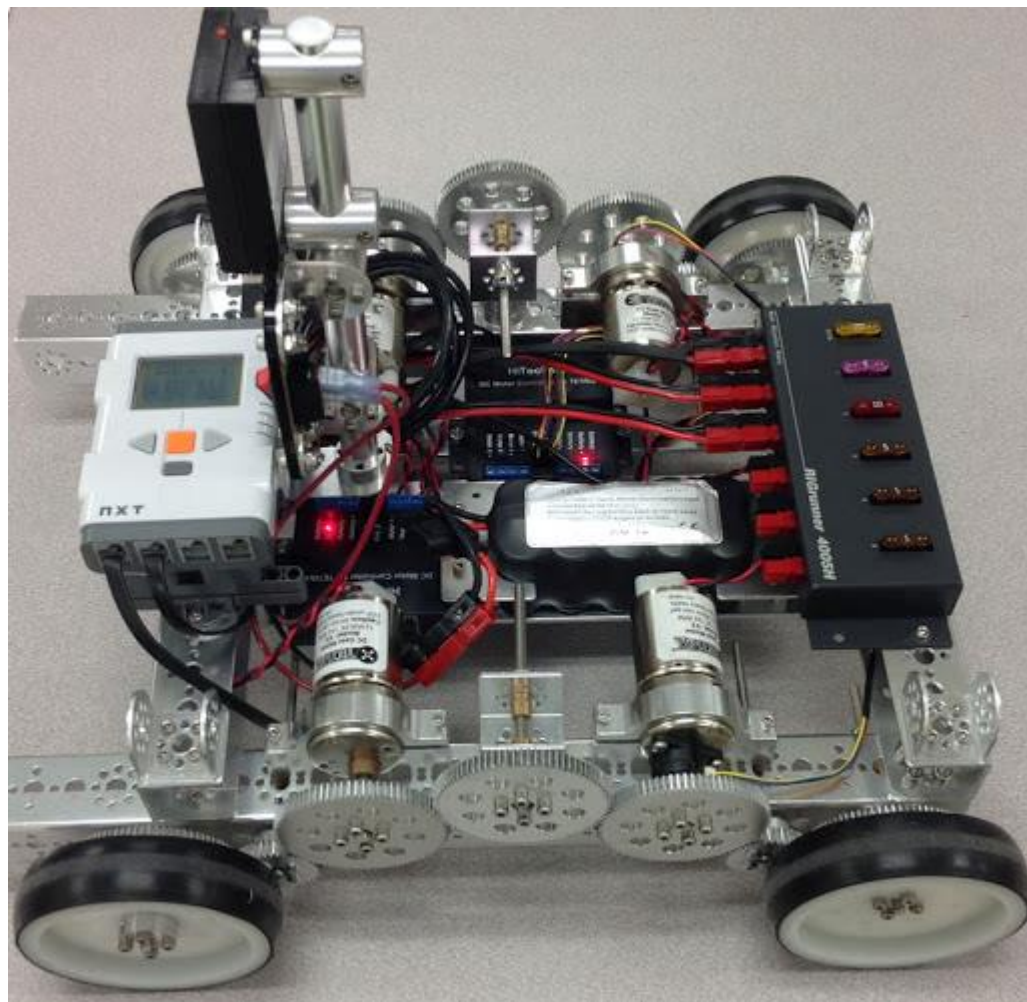
Sprzęgła zębate wyróżniają się długą żywotnością. W każdej serii wymagany jest system smarowania olejem lub smarem.

Sprzęgła zębate mogą być wykonywane do sztywnych i skrętnych połączeń wałów w celu zapewnienia dodatniego przeniesienia momentu obrotowego i zapewniają kompensację przesunięć osiowych, promieniowych i kątowych wałów.

Sprzęgła zębate są uniwersalne i są wykorzystywane w wielu różnych zastosowaniach.



## Mechanizmy zębate w napędach robotów mobilnych



Na podstawie: [https://www.google.com/search?q=gear+drive+robot&tbm=isch&ved=2ahUKEwiApHfjbbpAhVDihoKHRWRBKQQ2-cCegQIABAA&oq=gear+drive+robot&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoECAAQEzoICAAQBRAeEBM6CAGAEAgQHhATUJTsAViV9AFgqfYBaABwAHgAgAFxiAHjA5IBAzQuMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1n&scIent=img&eI=8aq-XsDnEcOUapWikqAK&bih=881&biw=1730&hl=pl#imgrc=MWAVdnqf6ly3BM&imgdii=EZUOKTa5K9ADbM](https://www.google.com/search?q=gear+drive+robot&tbm=isch&ved=2ahUKEwiApHfjbbpAhVDihoKHRWRBKQQ2-cCegQIABAA&oq=gear+drive+robot&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECAAQEzoICAAQBRAeEBM6CAGAEAgQHhATUJTsAViV9AFgqfYBaABwAHgAgAFxiAHjA5IBAzQuMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1n&scIent=img&eI=8aq-XsDnEcOUapWikqAK&bih=881&biw=1730&hl=pl#imgrc=MWAVdnqf6ly3BM&imgdii=EZUOKTa5K9ADbM)



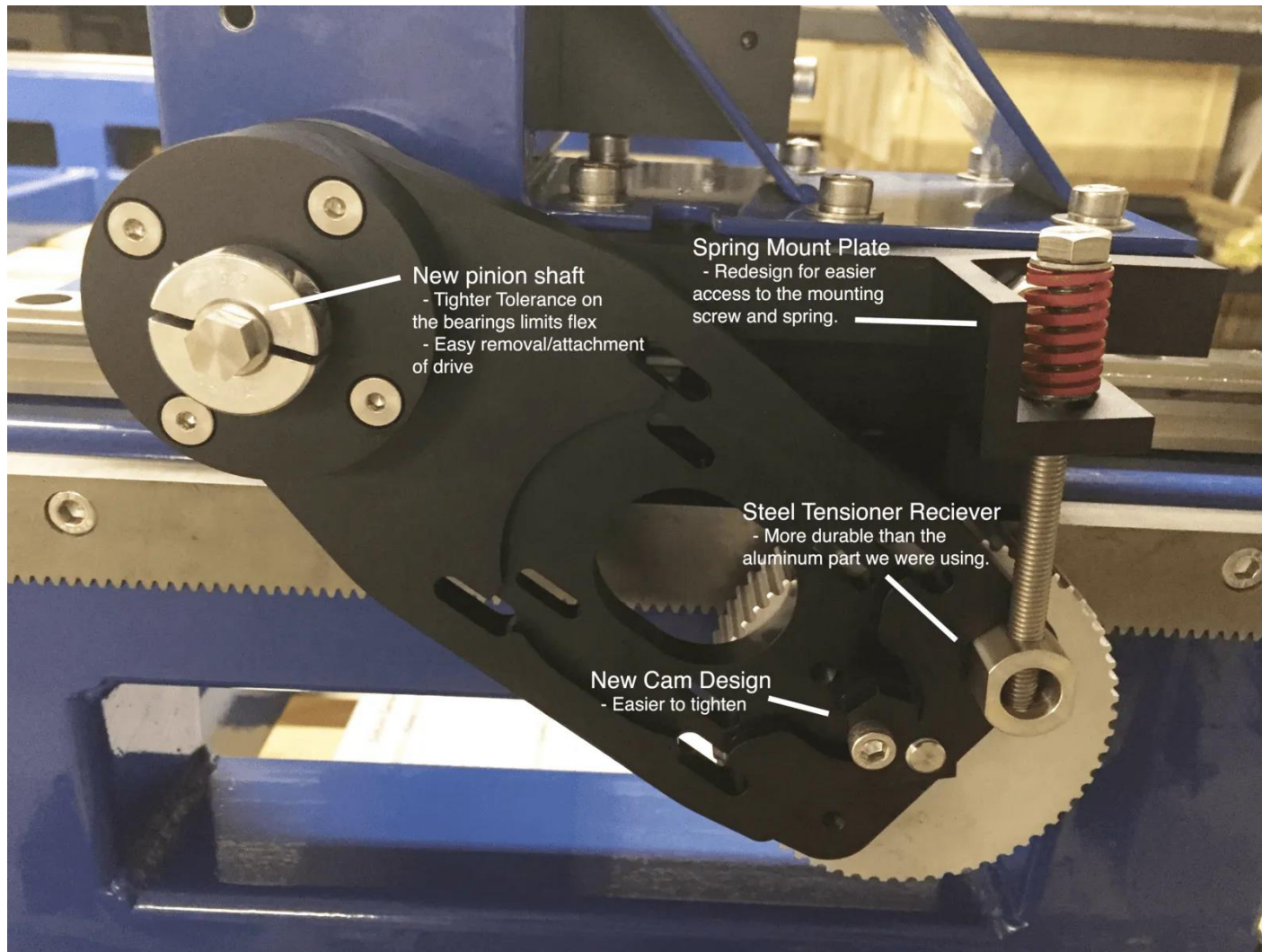
Film:  
<https://www.youtube.com/watch?v=xrpBUDTMJdc>



Film:  
[https://www.youtube.com/watch?v=xZ\\_S04pXB\\_k](https://www.youtube.com/watch?v=xZ_S04pXB_k)



## Mechanizmy zębate w napędach obrabiarek i ustawiania elementów na maszynach drukujących



## Mechanizmy zębate zastosowane do urządzeń przeznaczonych do testowania pojazdów



Na podstawie: <https://www.renk-ag.com/en/products-and-service/products/test-systems/commercial-vehicles/>

# Mechanizmy zębate do ustawienia położenia radarów i anten



A single-row ball slewing ring is used as an axial bearing for this 10 m antenna.

## IMO Slew Drives

- pinion and worm driven versions
- closed housing for harsh environmental conditions
- max. torques up to 450 kNm
- max. breakaway torque load up to 1200 kNm
- raceway diameters up to approx. 1000 mm



Worm driven sleew drive in combination with an output pinion. Used for satellite dishes.



Yaw and pitch joint of this sun table (string motor) are moved by the sleew drives in the WD-L range.



## IMO slewing rings continued to impress with the highest precision and running accuracy in antennas, radars, telescopes and mirrors for many years.



Single-row cross roller bearing with external gear for an antenna.

## IMO slewing rings

- diameters exceeding 6 m
- cross roller slewing rings
- single row and double row ball slewing rings
- 3-row roller slewing rings
- external gear, internal gear or without gear
- reduced bearing gaps for precision operation
- special sealing
- special raceway geometries
- surface coatings

This 4.5 m antenna uses an IMO ball slewing ring with internal gear for azimuth and elevation axis bearing and control.

Single-row ball slewing rings are usually installed in weather radars and observatories.



## Mechanizmy zębate do obrotu zespołów maszyn górniczych



# Mechanizmy zębate do obrotu wieży z celowaniem i innych elementów obrotowych w pojazdach wojskowych

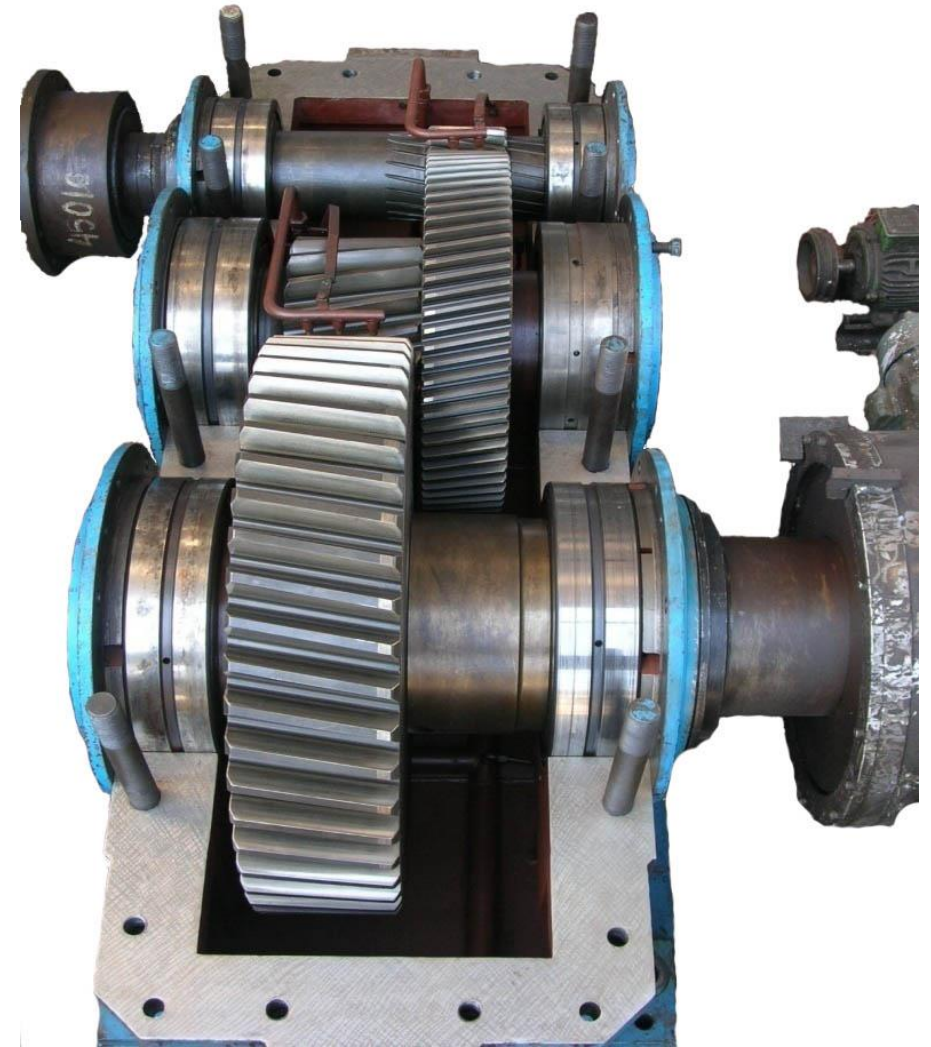


## IMO Slew Drives

- pinion and worm driven versions
- closed housing for harsh environmental conditions
- max. torques up to 450 kNm
- max. breakaway torque load up to 1200 kNm
- raceway diameters up to approx. 1000 mm



## Przykłady przekładni walcowej



Na podstawie: <http://www.aahengineers.com/products.html>

<https://www.augsburger-allgemeine.de/wirtschaft/Piraten-sorgen-fuer-Auftrag-bei-Augsburger-Getriebehersteller-id4749531.html>

## Przykłady przekładni walcowej



Na podstawie:  
<https://www.renk-ag.com/de/karriere/uebersicht/>

## Przykład przekładni kątowej (zęby łukowe /cykloidalne)



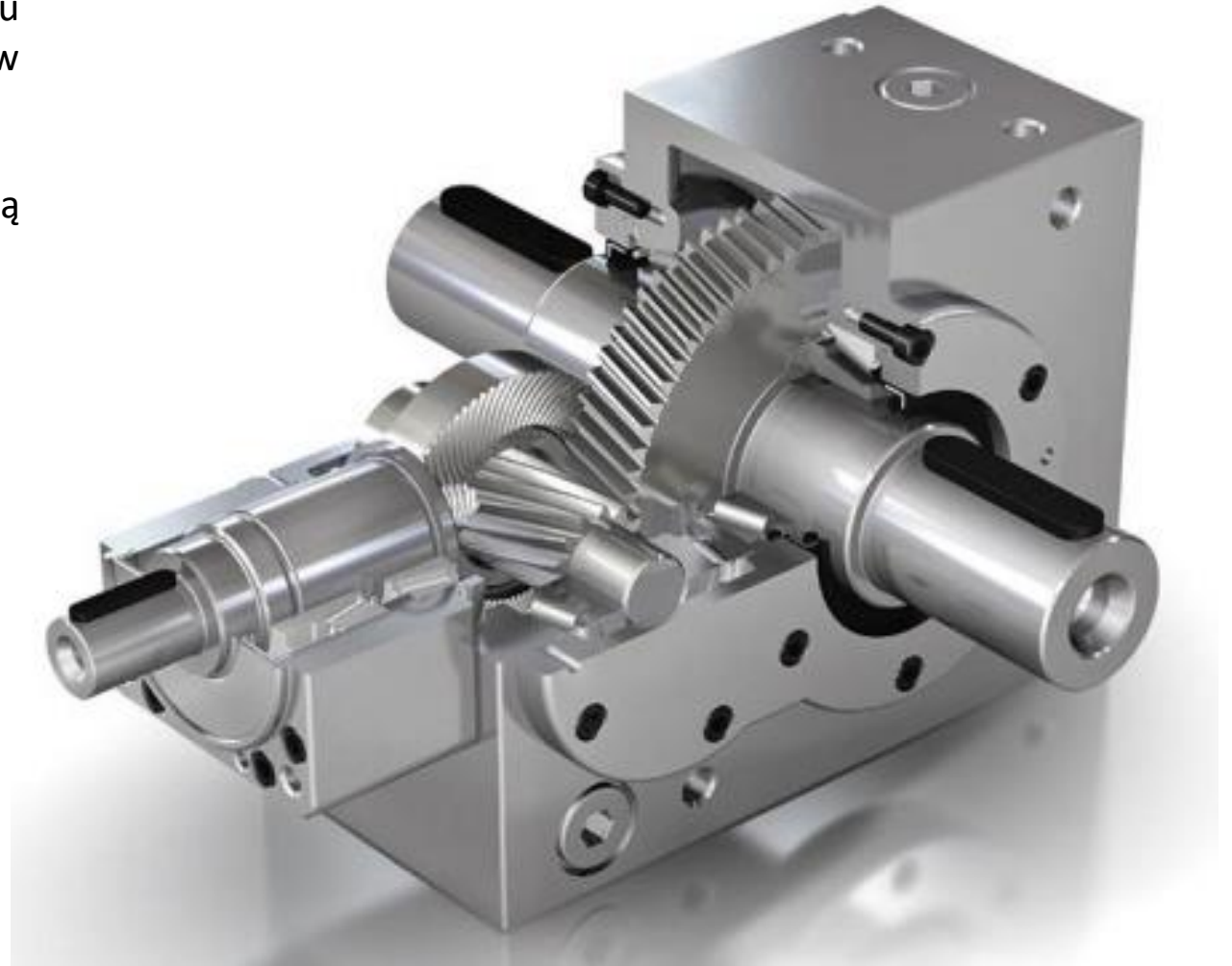
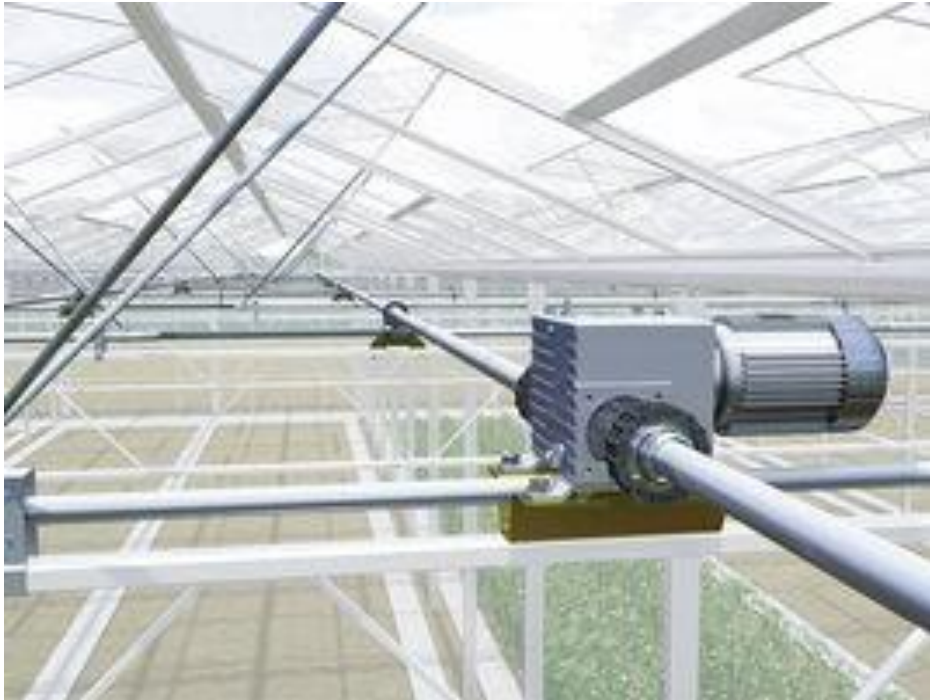
Na podstawie: <https://www.flohr-industrietechnik.de/de/produkte/getriebe/01-kegelradgetriebe/01-index.php>



## Przykład przekładni kątowej (stożkowo – walcowej)

Przekładnie kątowe, ze względu na mnogość opcji montażu oraz dużą efektywność, znajdują szereg zastosowań w budowie maszyn i urządzeń.

Przekładnie umożliwiają przenoszenie dużych obciążeń, są precyzyjne, wydajne i niezawodne.

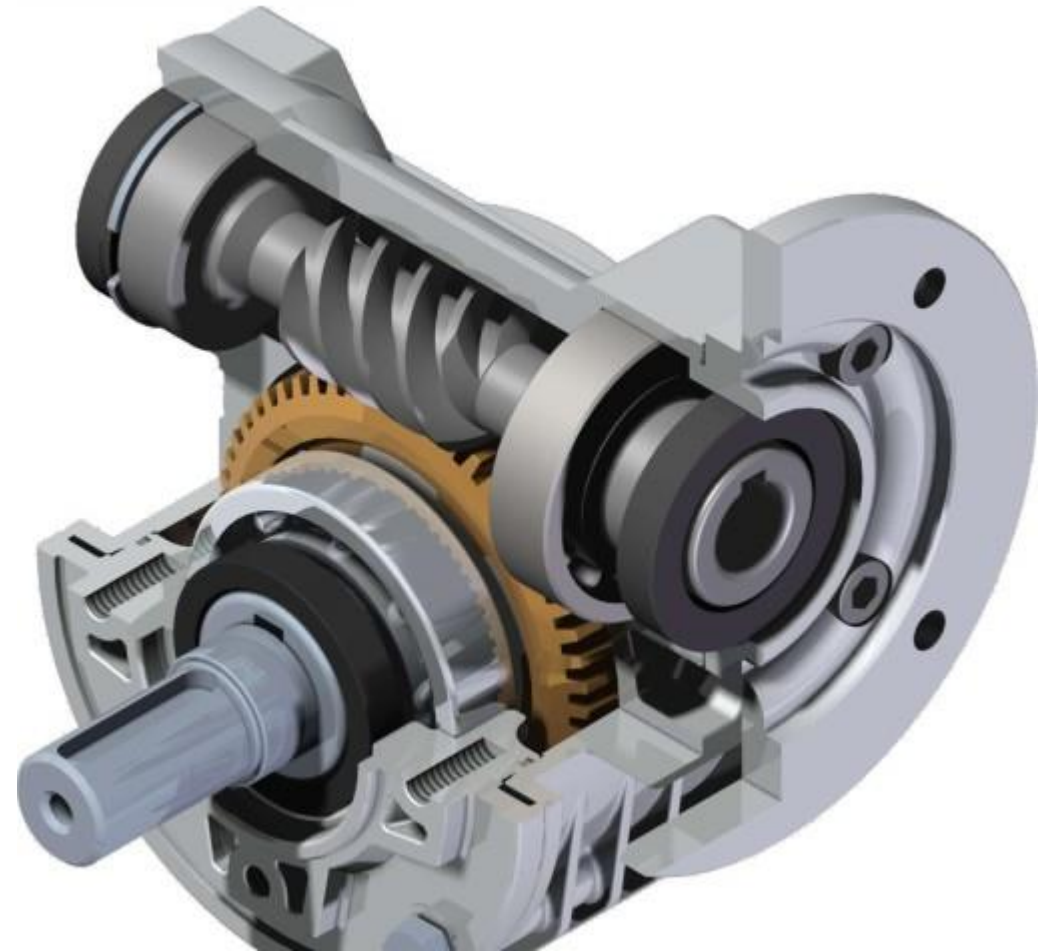


Na podstawie: <https://pl-protech.com/wp-content/uploads/2016/09/Przek%C5%82adnia-k%C4%85towa-510x497.jpg>  
<https://www.lockdrives.com/en/applications/rail-ventilation/rail-ventilation/>

## Przykład przekładni kątovej (ślimakowej)

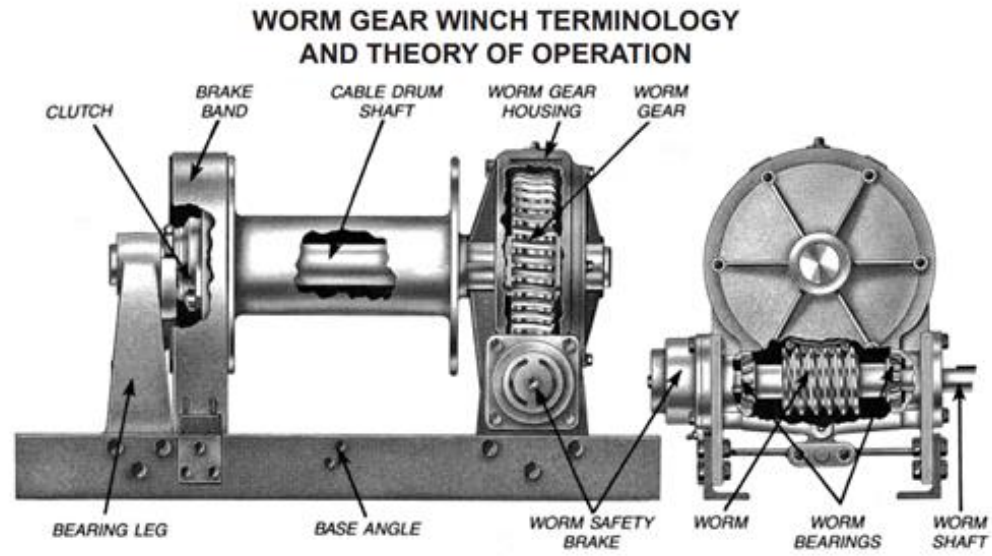
Przekładnie ślimakowe służą do przenoszenia ruchu obrotowego przy osiach skrzyżowanych wickrowato. Uniwersalność mocowań, mnogość opcji wałów zdawczych oraz możliwość zastosowania różnorodnych silników elektrycznych sprawiają, iż przekładnie ślimakowe znajdują szereg zastosowań w budowie maszyn i urządzeń.

Przekładnie umożliwiają przenoszenie dużych obciążeń przy dużej dynamice pracy, są precyzyjne, wydajne i niezawodne.



*Na podstawie: <https://pl-protech.com/wp-content/uploads/2016/09/Przek%C5%82adnia-%C5%9Blimakowa-510x496.jpg>  
<http://www.mechanical-aptitude-tests.com/wp/gears>*

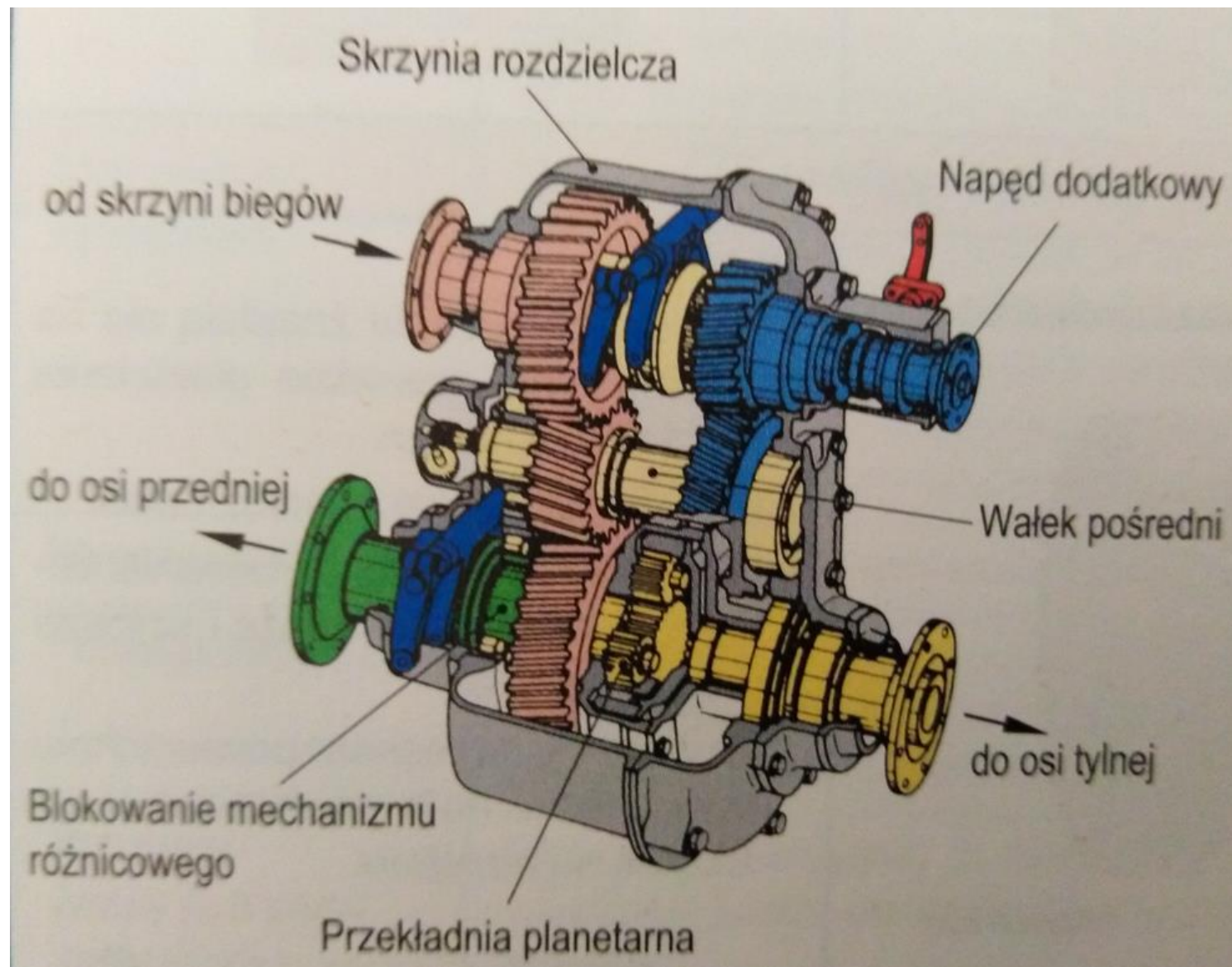
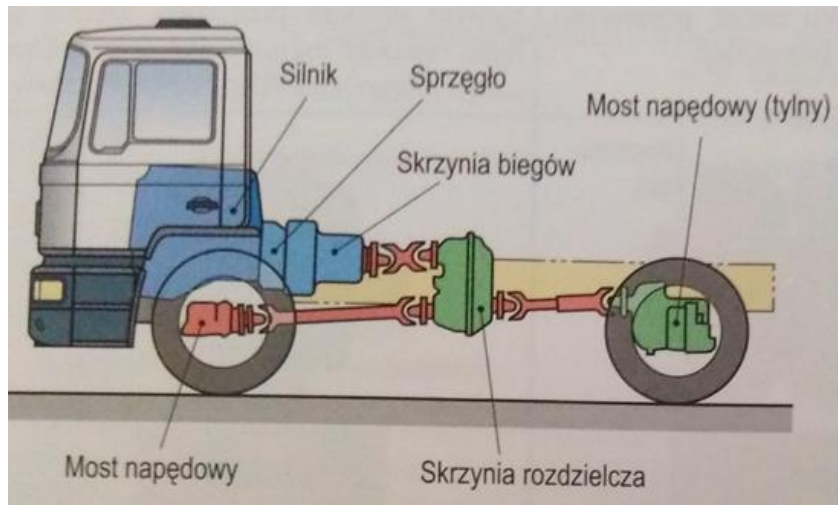
# Wykorzystanie mechanizmów zębatych jako wciągarki do suwnic, samochodów itp.



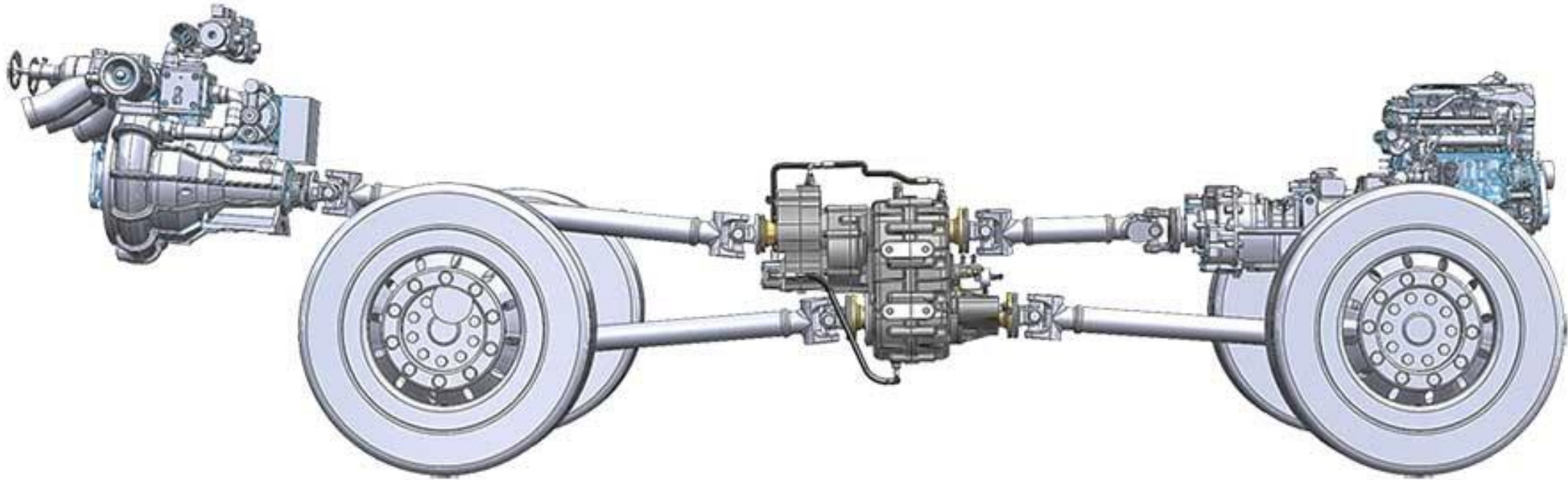
Film wciągarki na bazie mechanizmów zębatych:  
<https://www.youtube.com/watch?v=btk97Tdu6OY>

Na podstawie: <https://www.flickr.com/photos/139194555@N05/34100967346>  
<http://www.gdansk.rzgw.gov.pl/index.php?mod=content&path=2,7,8,41,1021>  
<https://sprzedajemy.pl/wyciagarka-wciagarka-elektryczna-suwnica-udzwig-500-kg-czestochowa-2-3d3332-nr34343902>  
<https://www.paccarwinch.com/companyInfo/page/service>

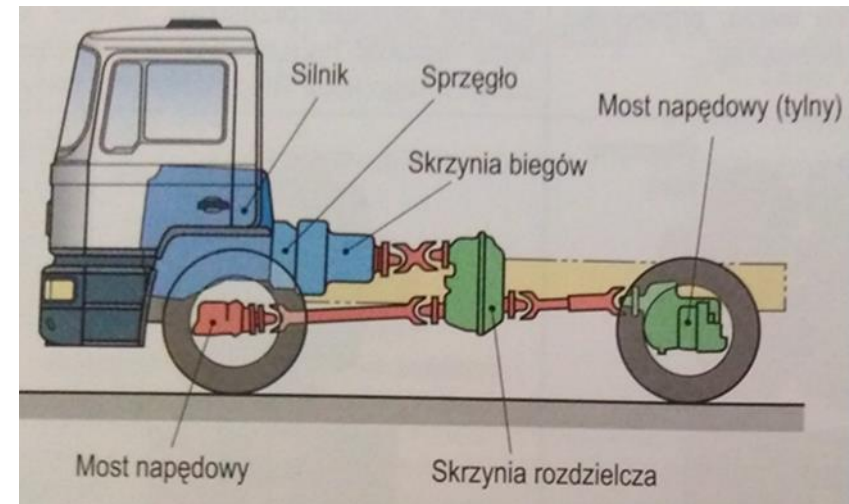
## Przykład wykorzystania zespołów uzębionych w budowie ciężarówki



## Przykład wykorzystania zespołów uzębionych w budowie ciężarówki

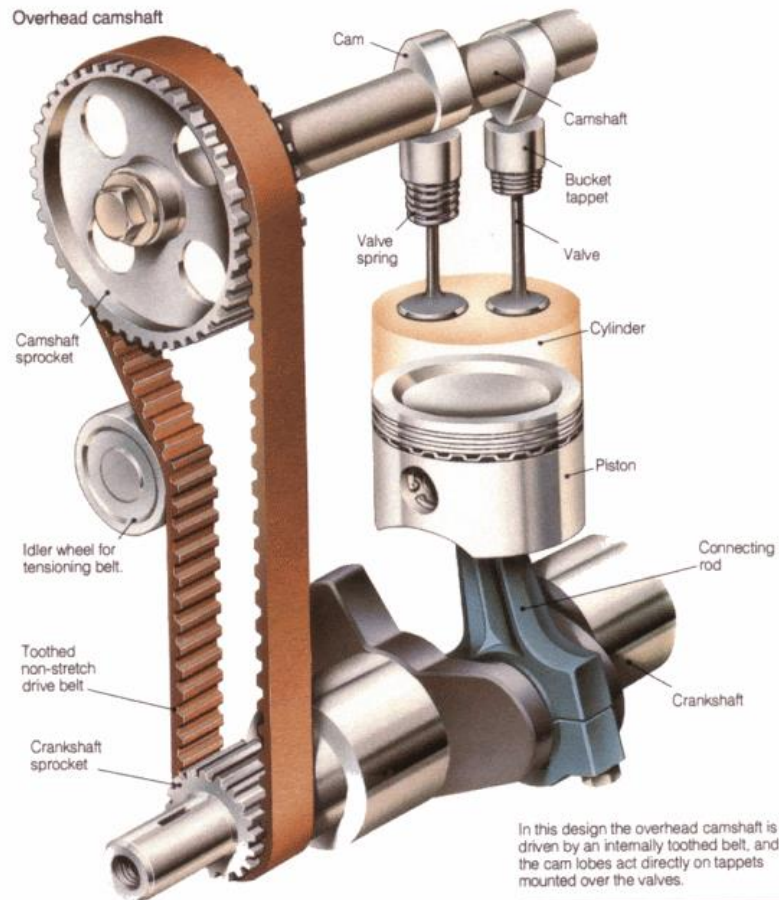


Skrzynie przenoszące Kozmaksan serii 300 mają blokadę mechanizmu różnicowego, która pozwala bez problemu kontynuować jazdę po drodze. Po włączeniu blokady mechanizmu różnicowego przedni i tylny mechanizm różnicowy uzyskują jednakowy moment obrotowy. W przypadku blokady mechanizmu różnicowego jest dezaktywowany; moment obrotowy jest przenoszony na dyferencjały w razie potrzeby. Te skrzynki transferowe mogą zapewnić 100% prędkości wejściowej podczas jazdy 4x2. Kozmaksan Skrzynka rozdzielcza sprawia ciężarówkę podwójną prędkość jako wysokim biegu i niskich obrotach.

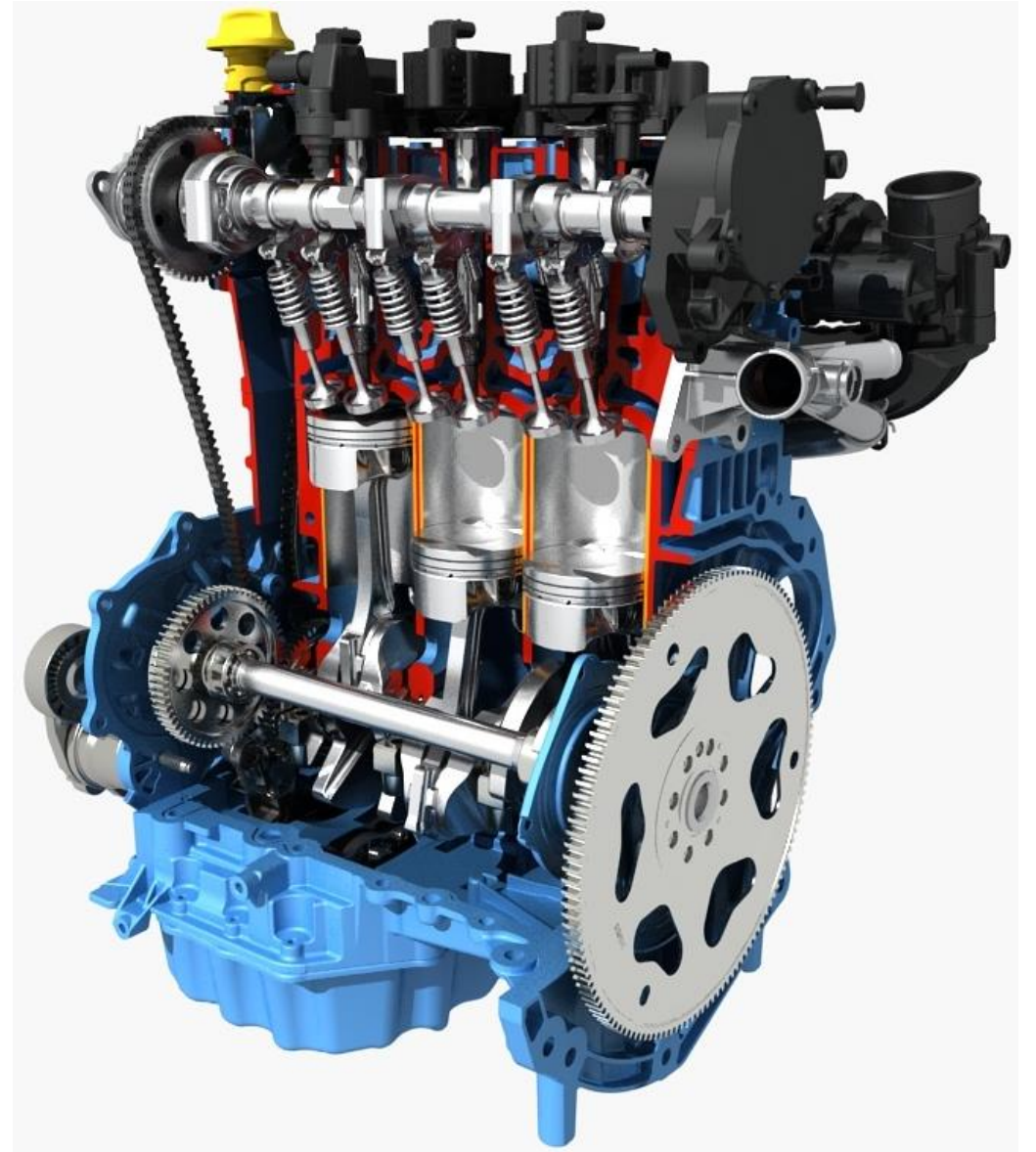
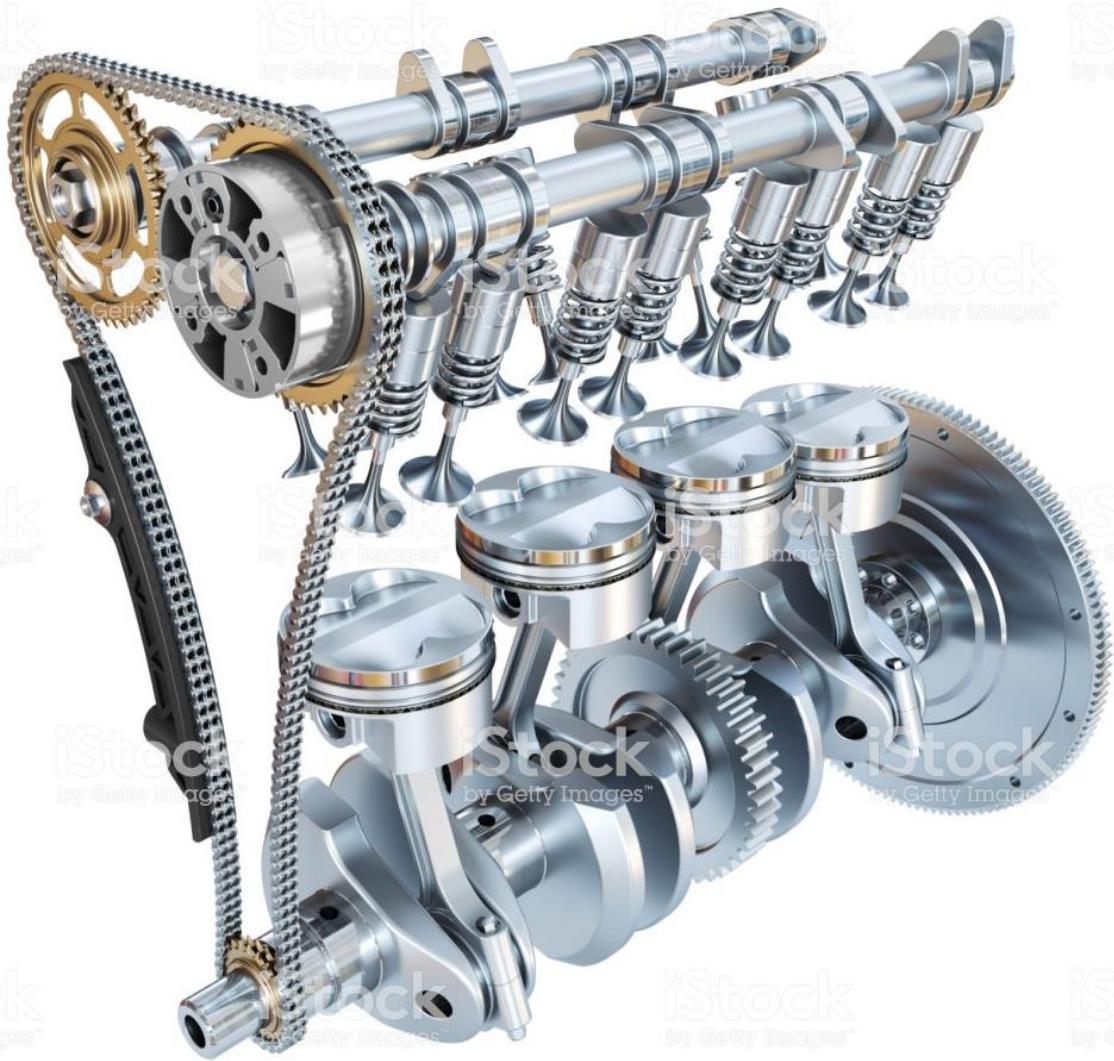


Na podstawie: <https://www.kozmaksan.net/4x4-transfercase-dtb-14>

## Koła zębate (na pasek zębaty lub łańcuch) w mechanizmach silników spalinowych



## Koła zębate w mechanizmach silników spalinowych



## Koła zębate w mechanizmie skrzyni rozdzielczej napędu w pojazdach mechanicznych

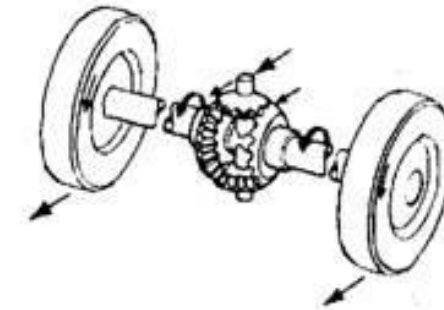
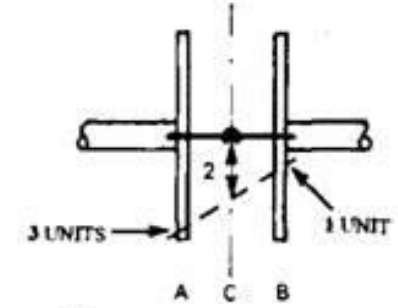
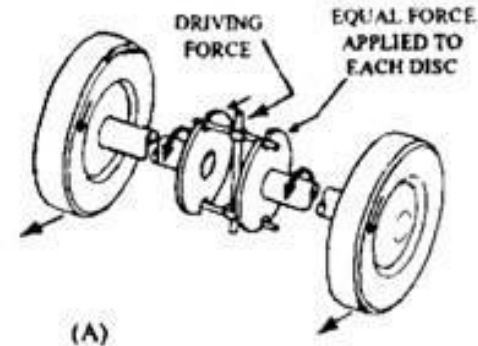
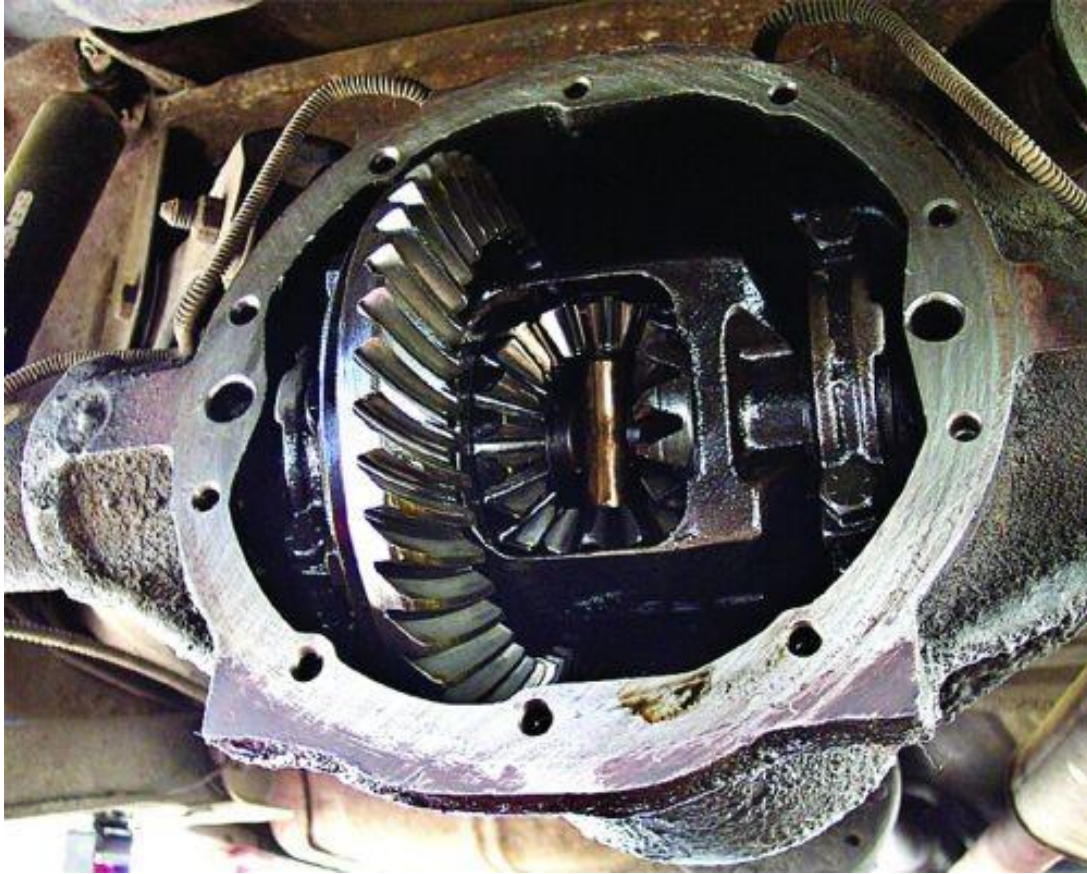
Atlas 2 jest w pełni zmontowaną „gotową do zainstalowania” skrzynką rozdzielczą. Posiada w pełni niezależne zsynchronizowane przełączanie napędu przedniego i tylnego.

[https://www.wildhorses4x4.com/product/Atlas\\_Tcase/Bronco\\_Atlas\\_Transfer\\_Case](https://www.wildhorses4x4.com/product/Atlas_Tcase/Bronco_Atlas_Transfer_Case)

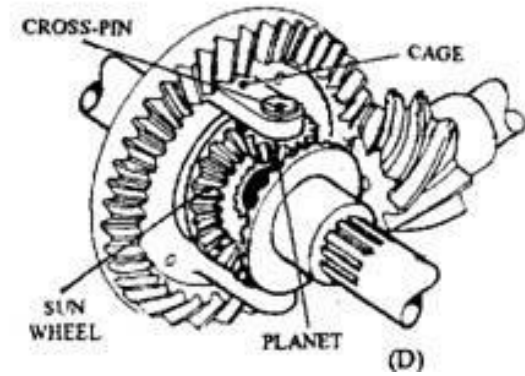
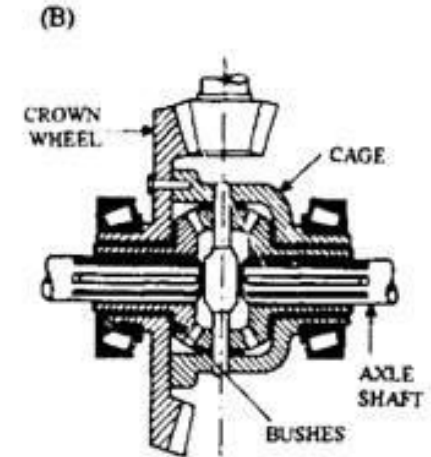
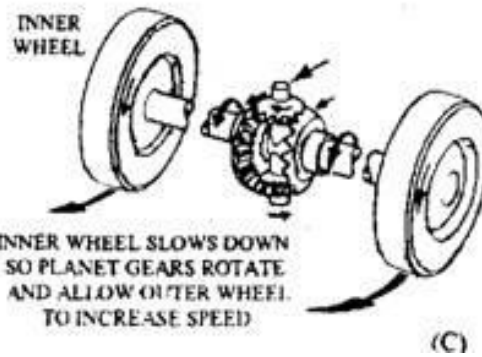




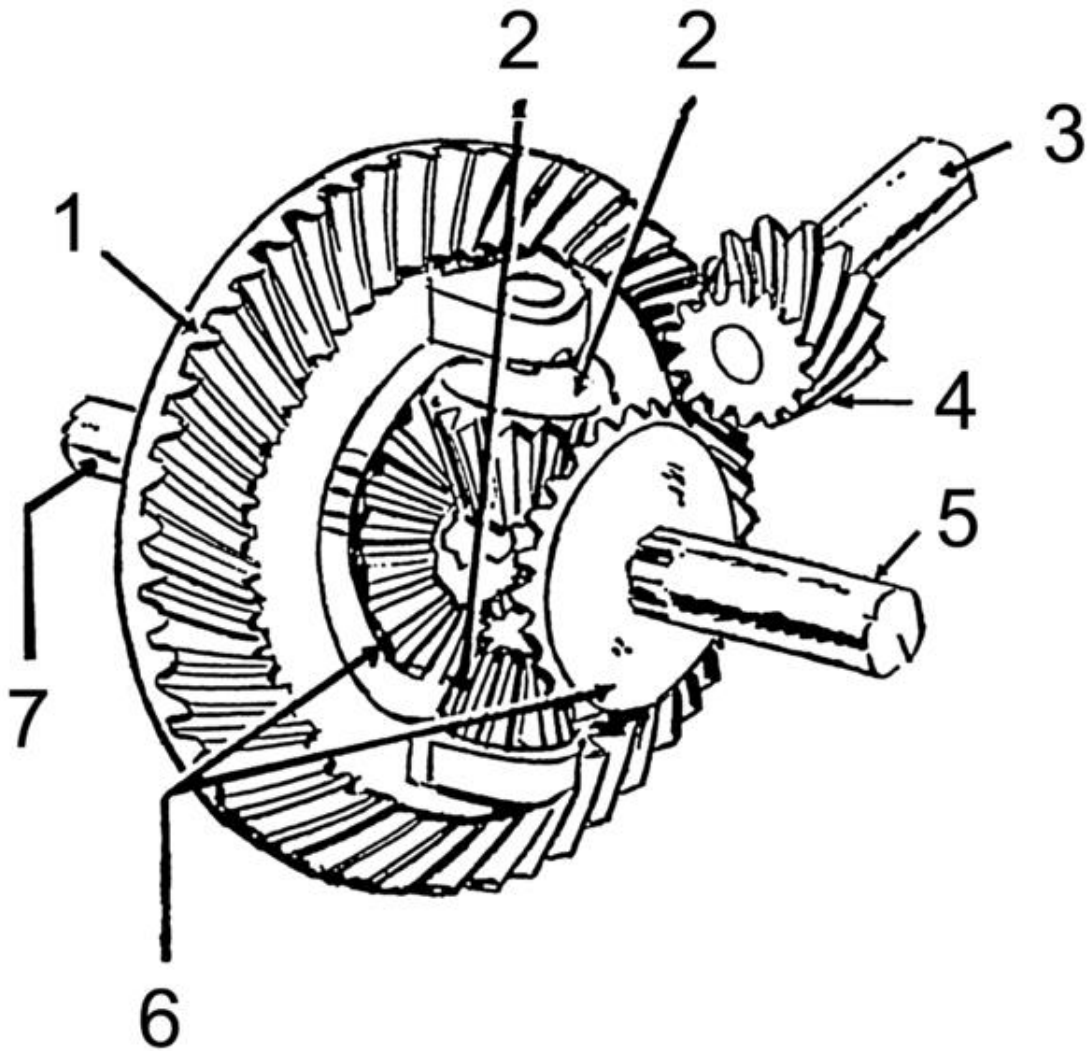
# Koła zębate w mechanizmach różnicowych stosowanych w pojazdach mechanicznych



WHEN VEHICLE MOVES IN A STRAIGHT PATH, PLANET GEARS MOVE SUN WHEELS FORWARD AND EQUAL AMOUNT.

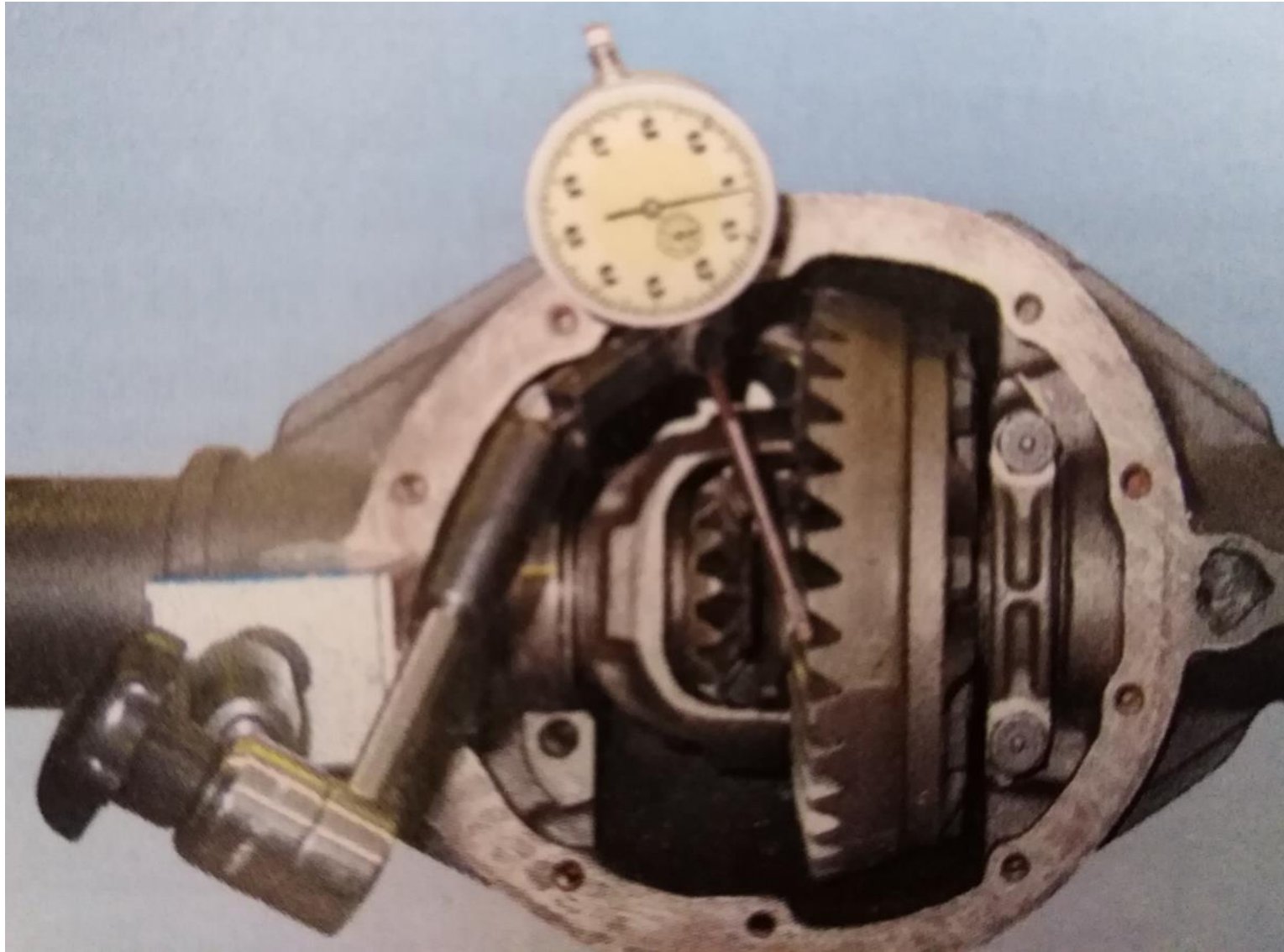


## Koła zębate w mechanizmach różnicowych stosowanych w pojazdach mechanicznych



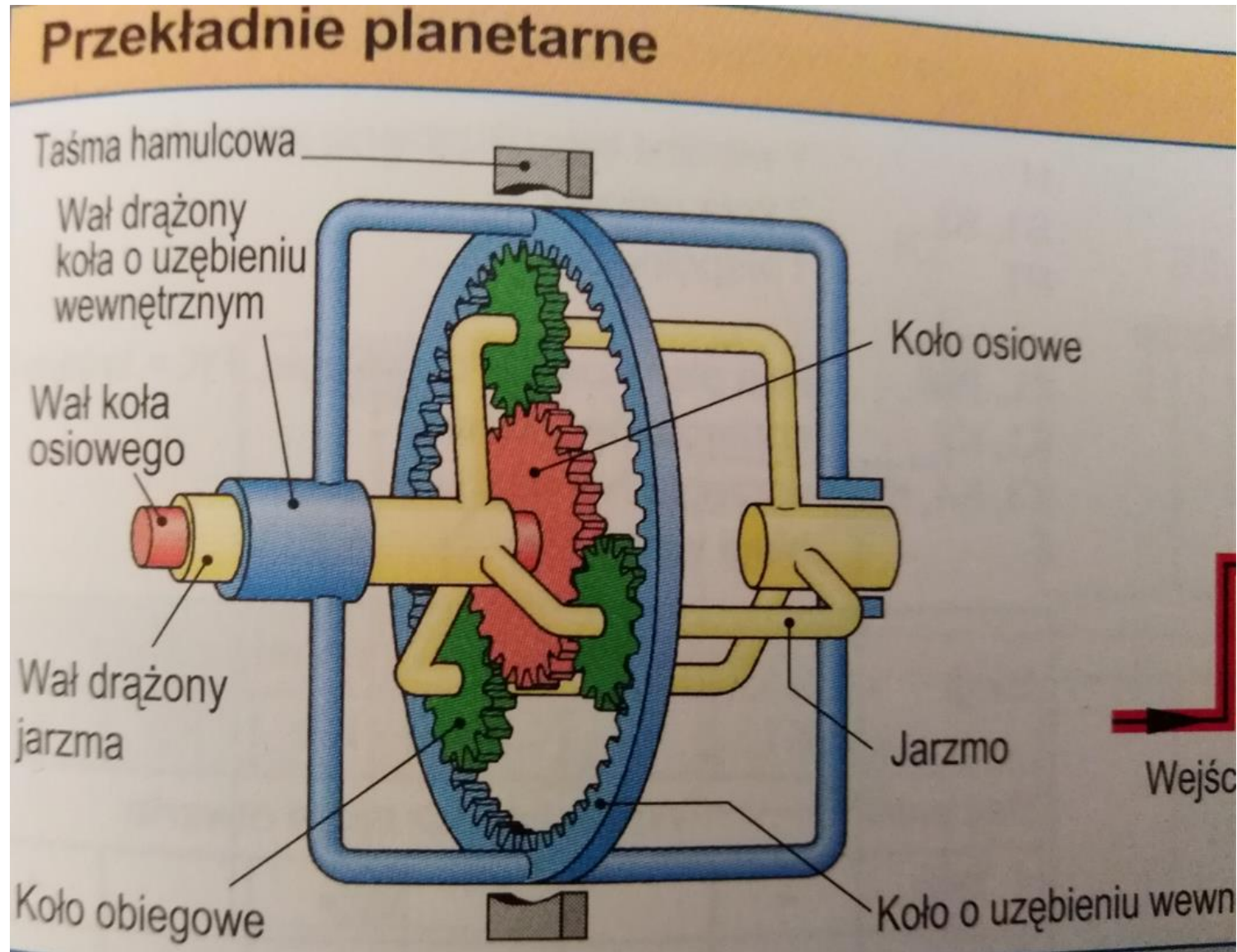
- 1 - koło tarczowe,
- 2 - koła satelitarne (2 szt.),
- 3 - wał wejściowy,
- 4 - koło stożkowe na wale wejściowym,
- 5 i 7 - wały wyjściowe,
- 6 - koła planetarne

## Koła zębate w mechanizmach różnicowych stosowanych w pojazdach mechanicznych



Źródło: J. Potrykus, Poradnik techniki samochodowej

## Koła zębate w mechanizmach różnicowych stosowanych w pojazdach mechanicznych



# Koła zębate w planetarnym mechanizmie różnicowym w pojazdach elektrycznych



## THE LIGHTWEIGHT DIFFERENTIAL

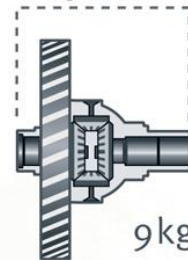
More compact, lighter, more efficient and more powerful – these are all features of the new INA lightweight differential from Schaeffler. This is made possible by a completely new differential design. Instead of using conventional differential pinions, it has spur gears arranged as a planetary gear set in one plane. This results in a significant decrease in the space requirement and mass while also offering an increase in torque capacity.

SCHAEFFLER



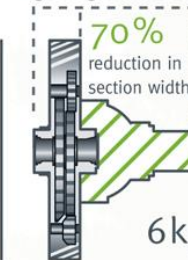
### LOWER MASS AND SMALLER DESIGN ENVELOPE

Bevel gear differential



9kg

Lightweight differential

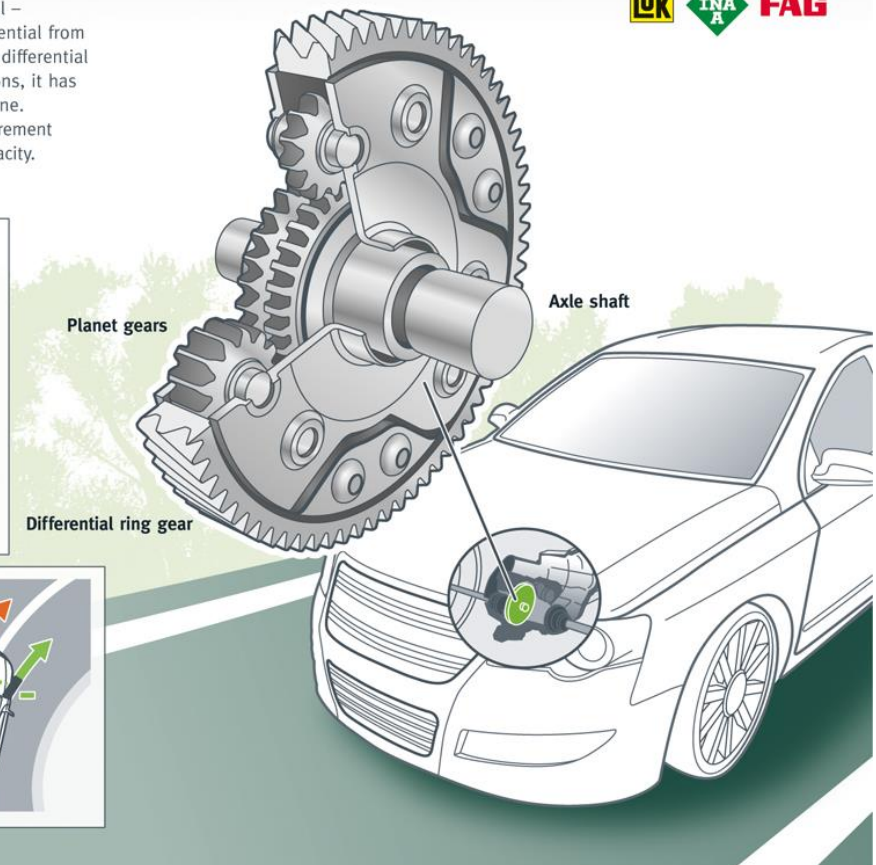


70%  
reduction in  
section width!

6kg

### ! KNOW-HOW:

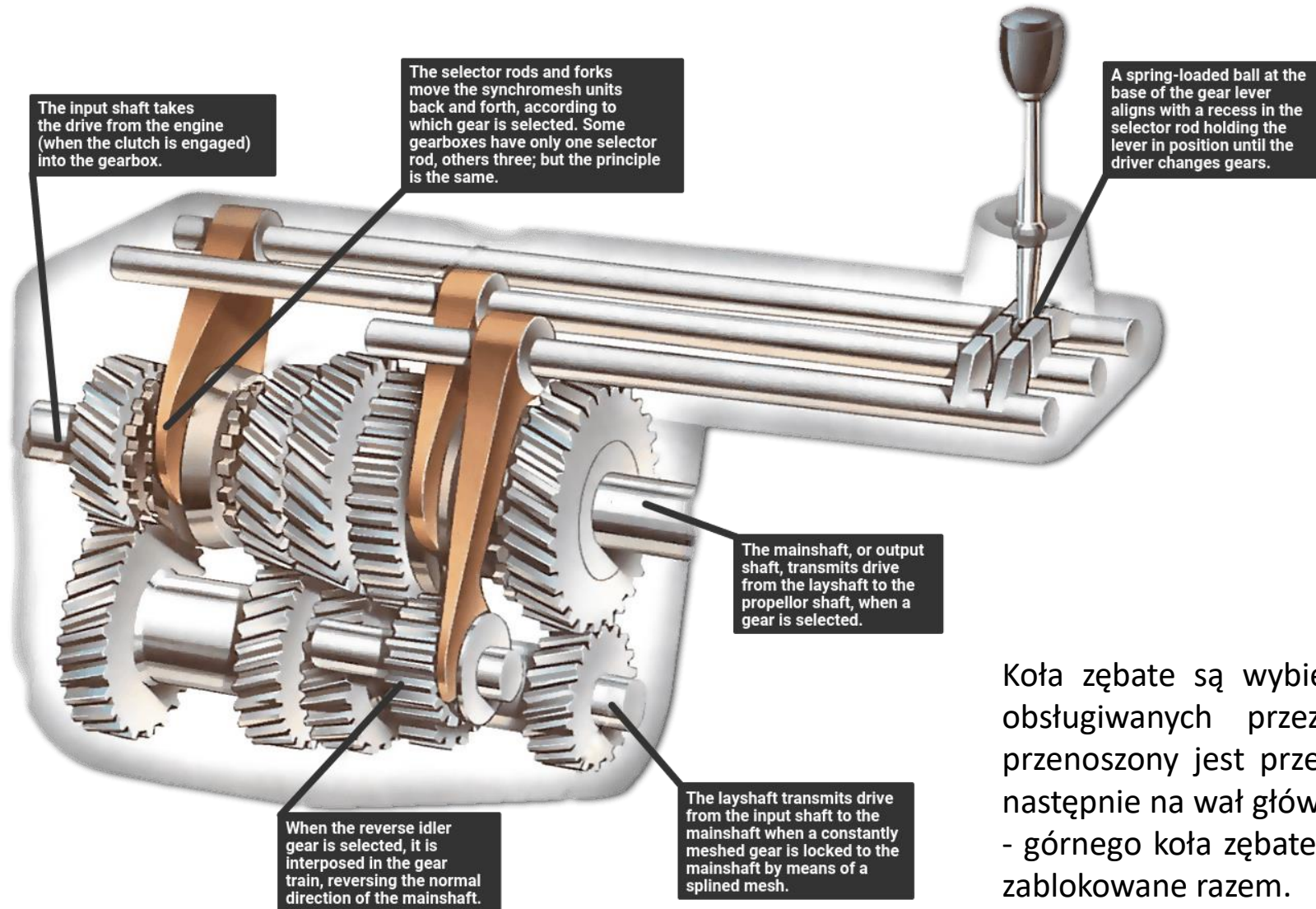
When cornering, the wheels on the outside of the bend must travel a greater distance than the wheels on the inside. This results in varying wheel speeds for the wheels on an axle. In this situation, the differential provides even distribution of forces.



Graphic: www.josekdesign.de

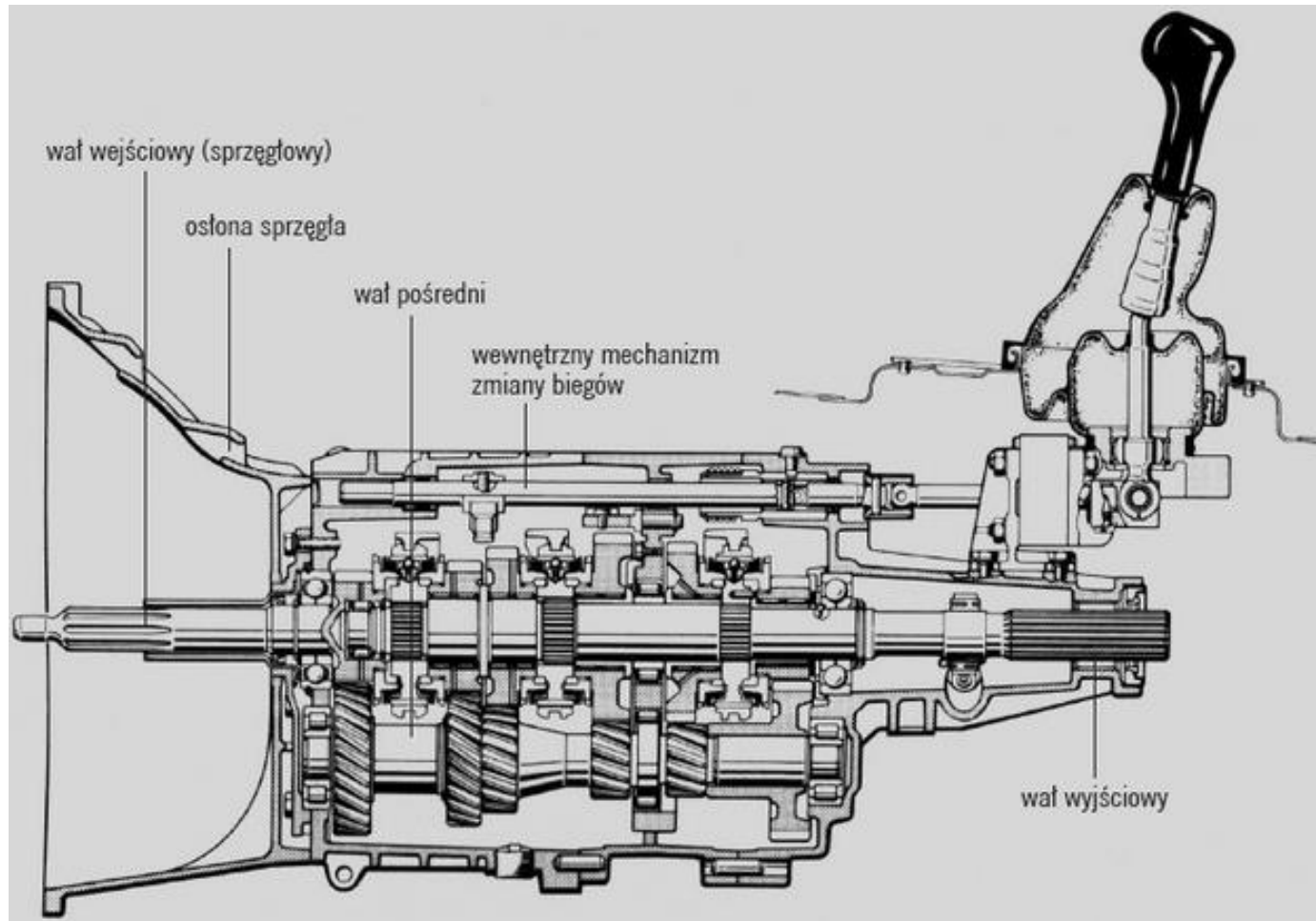
Lekki mechanizm różnicowy jest również kluczowym elementem innowacyjnych rozwiązań w zakresie mobilności elektrycznej, takich jak kompaktowe osie elektryczne do pojazdów hybrydowych i pojazdów elektrycznych.

## Koła zębate w skrzyni biegów samochodu



Koła zębate są wybierane przez system drążków i dźwigni obsługiwanych przez dźwignię zmiany biegów. Napęd przenoszony jest przez wał wejściowy na wałek pośredni, a następnie na wał główny, z wyjątkiem napędu bezpośredniego - górnego koła zębatego - gdy wał wejściowy i wał główny są zablokowane razem.

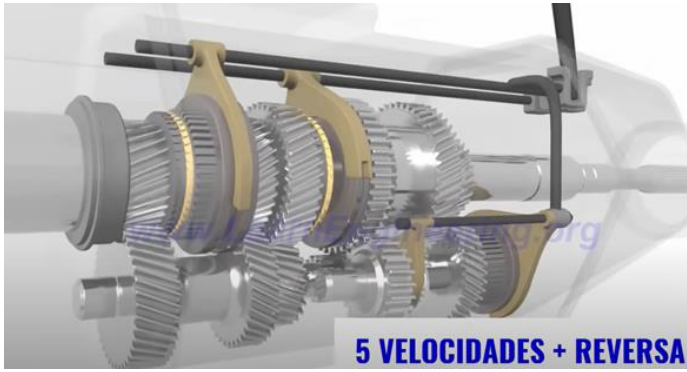
## Koła zębate w skrzyni biegów samochodu



W celu wyeliminowania zgrzytów, które mogą wystąpić przy włączaniu biegów, stosuje się obecnie coraz częściej tzw. synchronizowane skrzynie biegów, np. w samochodach M-20 Warszawa. Koła zębate biegów synchronizowanych na wałku głównym są stale zazębione z odpowiednimi kołami zębatymi wałka pośredniego. Koła zębate o skośnych zębach na wałku głównym mają w tym celu swobodny ruch obrotowy na wałku, który w miejscu ich osadzenia jest zaopatrzone w łożyska. Jedynie pierwszy i wsteczny bieg mogą być włączane za pomocą kół przesuwanych, ponieważ są rzadziej używane i włączane przede wszystkim podczas postoju samochodu. Pozostałe przekładnie są ze sobą stale zazębione i włączane lub wyłączane za pomocą np. sprzęgieł kłowych.

Sprzęgło kłowe jest osadzone na wielowypuszcie wałka głównego, między kołami i może być przesuwane wzdłuż tego wałka. Sprzęgło kłowe obraca się wraz z wałkiem głównym. Włączenie biegu polega na sprzęgnięciu za pomocą sprzęgła kłowego odpowiedniego koła zębatego z wałkiem głównym. Jeżeli sprzęgło kłowe zostanie przesunięte w prawo, to napęd będzie przekazywany z wałka pośredniego za pomocą kół zębatych trzeciego biegu na wałek główny skrzyni biegów. W przypadku przesunięcia sprzęgła kłowego w lewo uzyskuje się bieg bezpośredni.

## Koła zębate w skrzyni biegów samochodu



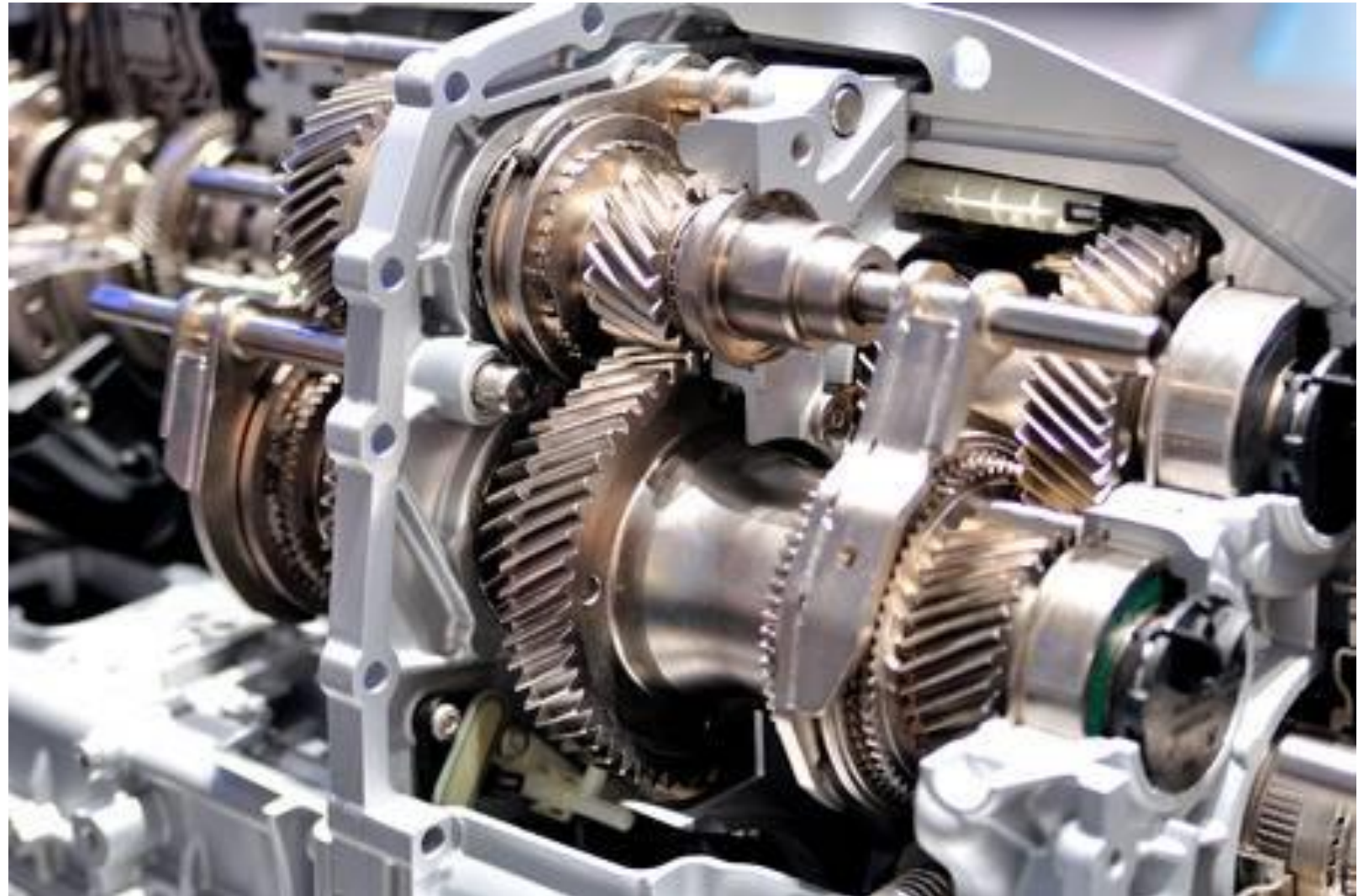
Film:

<https://www.youtube.com/watch?v=bDM2Y0SrUUM>



Przykładowy film:

<https://www.youtube.com/watch?v=vOo3TLgL0kM>



[https://www.123rf.com/photo\\_91081857\\_cross-section-of-a-car-gearbox-.html](https://www.123rf.com/photo_91081857_cross-section-of-a-car-gearbox-.html)

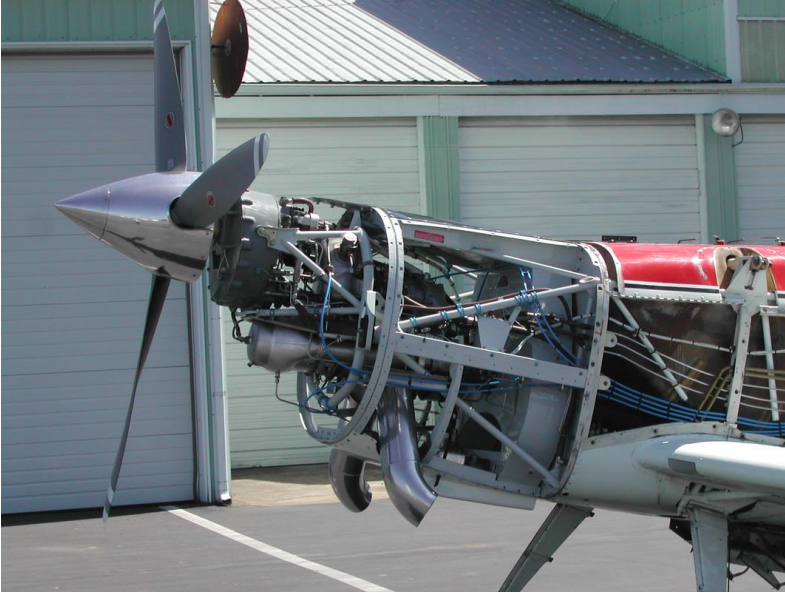


## Koła zębate w skrzyni biegów samochodu



Film:  
<https://www.youtube.com/watch?v=0Zmov-9YqUw>

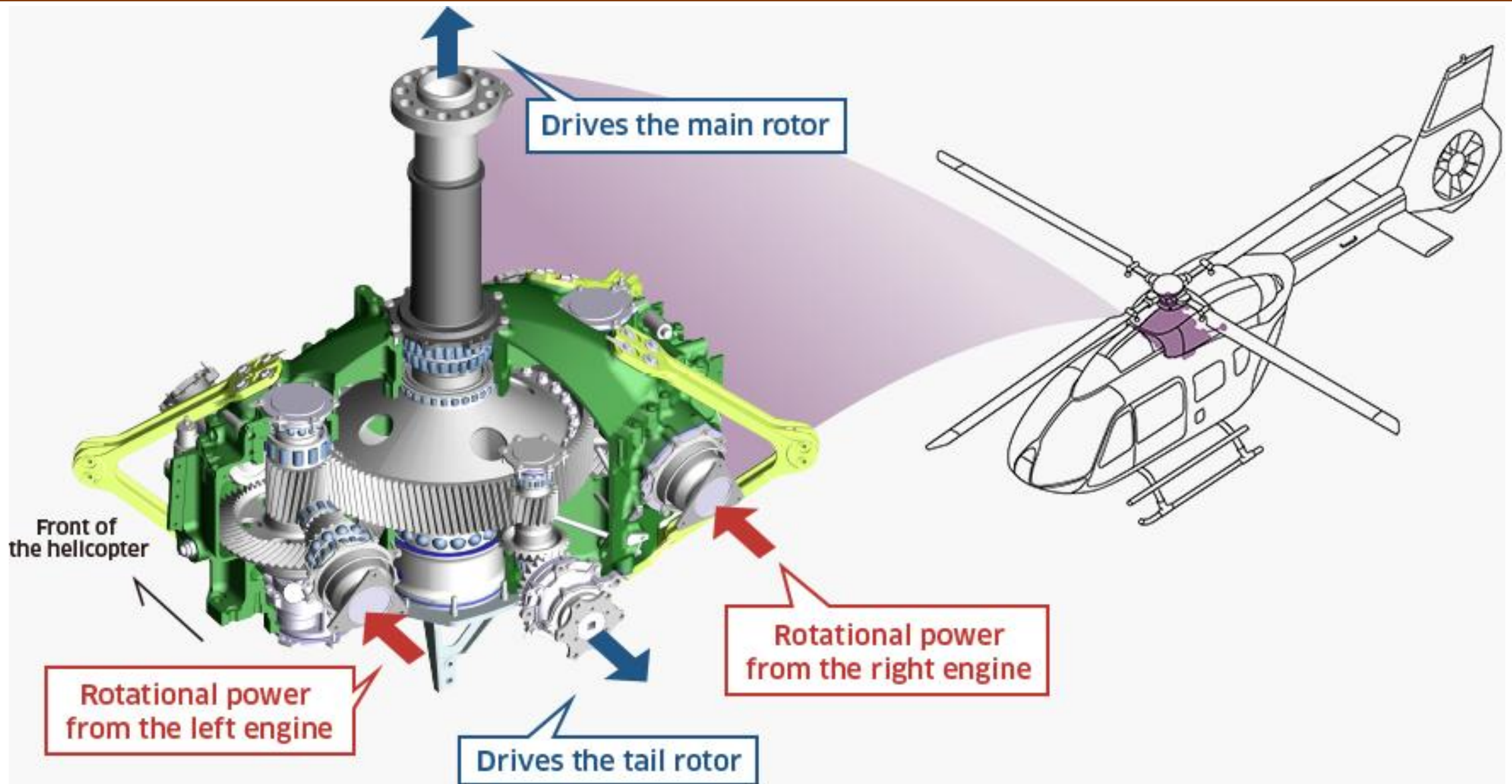
## Przykład kół zębatach występujących w silniku samolotu



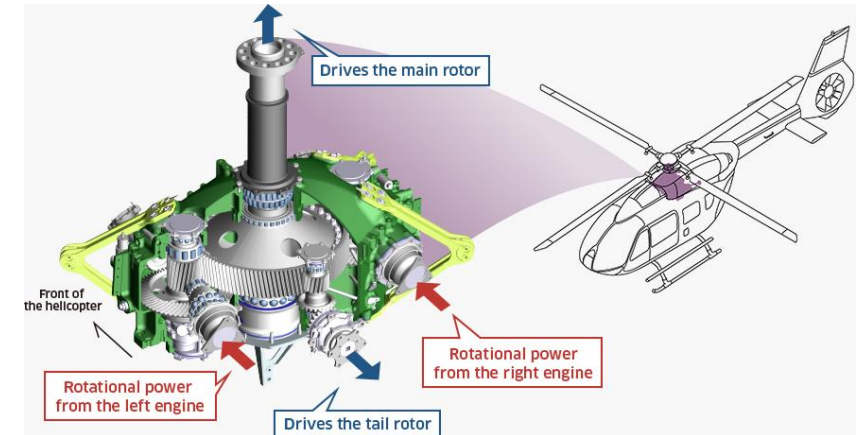
Turbine-Pac to wszechstronny silnik turbośmigłowy z homologacją STC, wykorzystujący niezawodne silniki turbosprężarkowe serii Rolls-Royce 250. Został zaprojektowany z myślą o ekstremalnej trwałości, cichej pracy i ochronie FOD.

*Na podstawie: <https://www.soloy.com/turbine-pac.html>*

## Przykład kół zębatych występujących w układzie napędu śmigieł helikoptera



## Przykład kół zębatych występujących w układzie napędu śmigieł helikoptera



Wnętrze jednostki transmisyjnej.

Istnieją dwa wały wejściowe, ponieważ BK117 D-2 to wirnik dwusilnikowy i różne koła zębate, które są skonfigurowane do napędzania wyposażenia dodatkowego. Skrzynia biegów dla śmigłowca jest umieszczona na kabynie, łącząc zainstalowany poziomo silnik z pionowo skonfigurowanym wirnikiem.

Przekładnia helikoptera jest zainstalowana na kabynie i wykonuje następujące operacje: 1) przenosi moc z silnika na wirnik główny (łopatę wirnika) i wirnik ogonowy po zmniejszeniu prędkości; 2) akcesoria do napędów; oraz 3) przenosi siłę nośną generowaną przez wirnik główny na korpus śmigłowca i odbiera siłę ciągu, a także siłę oporu, która działa w przeciwieństwie do kierunku ruchu.

W BK117 D-2 przekładnia zmniejsza prędkość obrotową silnika od 6000 obr / min do 380 obr / min (stopień redukcji około 16: 1), a jednocześnie zwiększa moment obrotowy do 19,600 Nm, aby napędzać wirnik główny. Jest to niezwykle moment obrotowy wystarczający do podniesienia dwóch samochodów osobowych przymocowanych do końca pręta o długości 1 metra.

Mówiąc ściślej, wały obrotowe z pary silników, które generują łącznie 1000 koni mechanicznych, są sprzężone ze spiralnymi zębatkami stożkowymi, które zmieniają kierunek ruchu obrotowego o 90 stopni, jednocześnie zmniejszając prędkość wyjściową silnika. Po zmianie kierunku prędkość obrotowa jest zmniejszana przez przekładnię śrubową na drugim stopniu, co zapewnia optymalną prędkość wirnika. Inne konstrukcje Kawasaki wykorzystują przekładnie planetarne, aby uczynić je bardziej kompaktowymi, co może osiągnąć stosunek masy do mocy (waga podzielona przez moc netto)

## Przykład kół zębatach występujących w układzie napędu śmigieł helikoptera



Film – produkcji skrzyni przekładniowej helikoptera  
<https://www.youtube.com/watch?v=oD4jKBOIBwc>

Przekładnie zębatach, które są dostosowane do potrzeb lotnictwa muszą obsługiwać wyższe prędkości obrotowe i większą moc, oraz minimalizować wibracje.

*Na podstawie: <https://global.kawasaki.com/en/stories/articles/vol80/>*



## Przykład kół zębatach występujących w układzie napędu śmigieł helikoptera

W samolocie energia elektryczna do wyposażenia i obiektów lotniczych jest dostarczana z generatora napędzanego silnikiem.



Przekładnie w lotnictwie muszą być lekkie i kompaktowe.



## Przykład kół zębatach występujących w układzie napędu śmigieł helikoptera



Film:

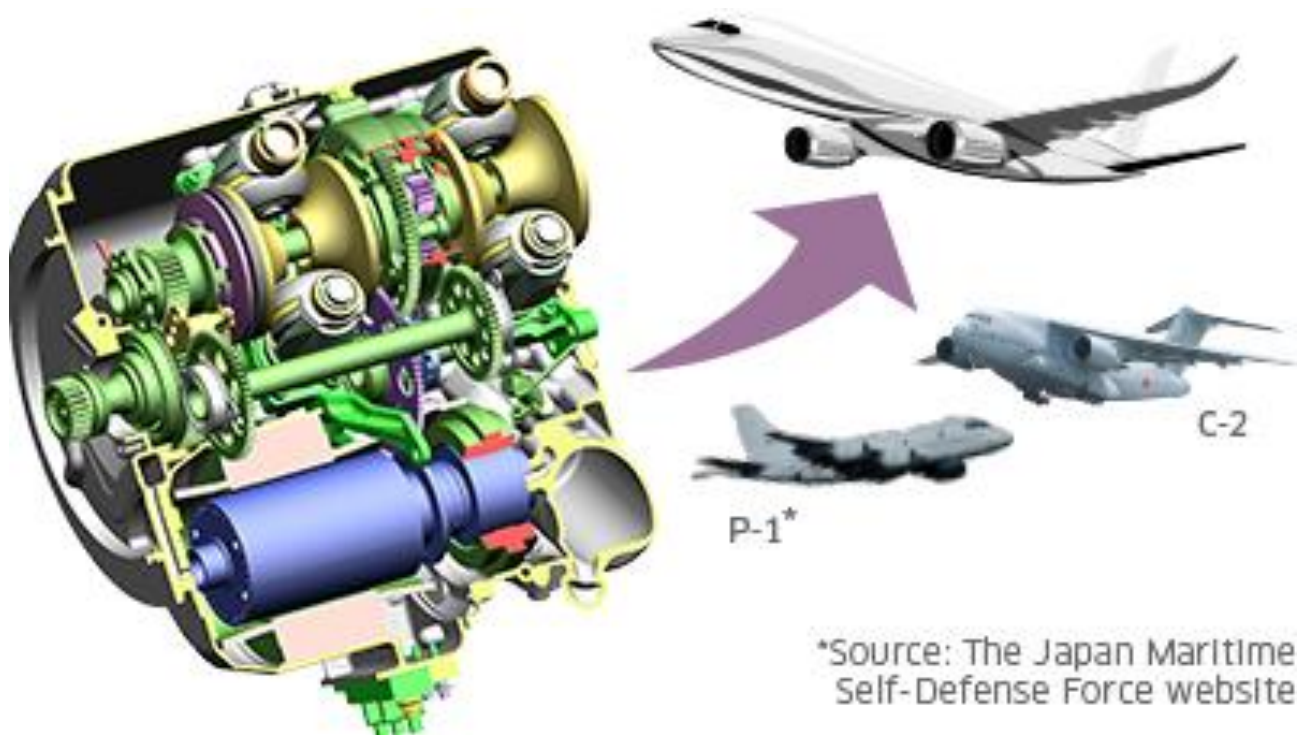
<https://www.youtube.com/watch?v=dRXIMQm6xcg>



Film:

<https://www.youtube.com/watch?v=auk-LRqtFs8>

## Przykład kół zębatach występujących w zespole generatora prądu



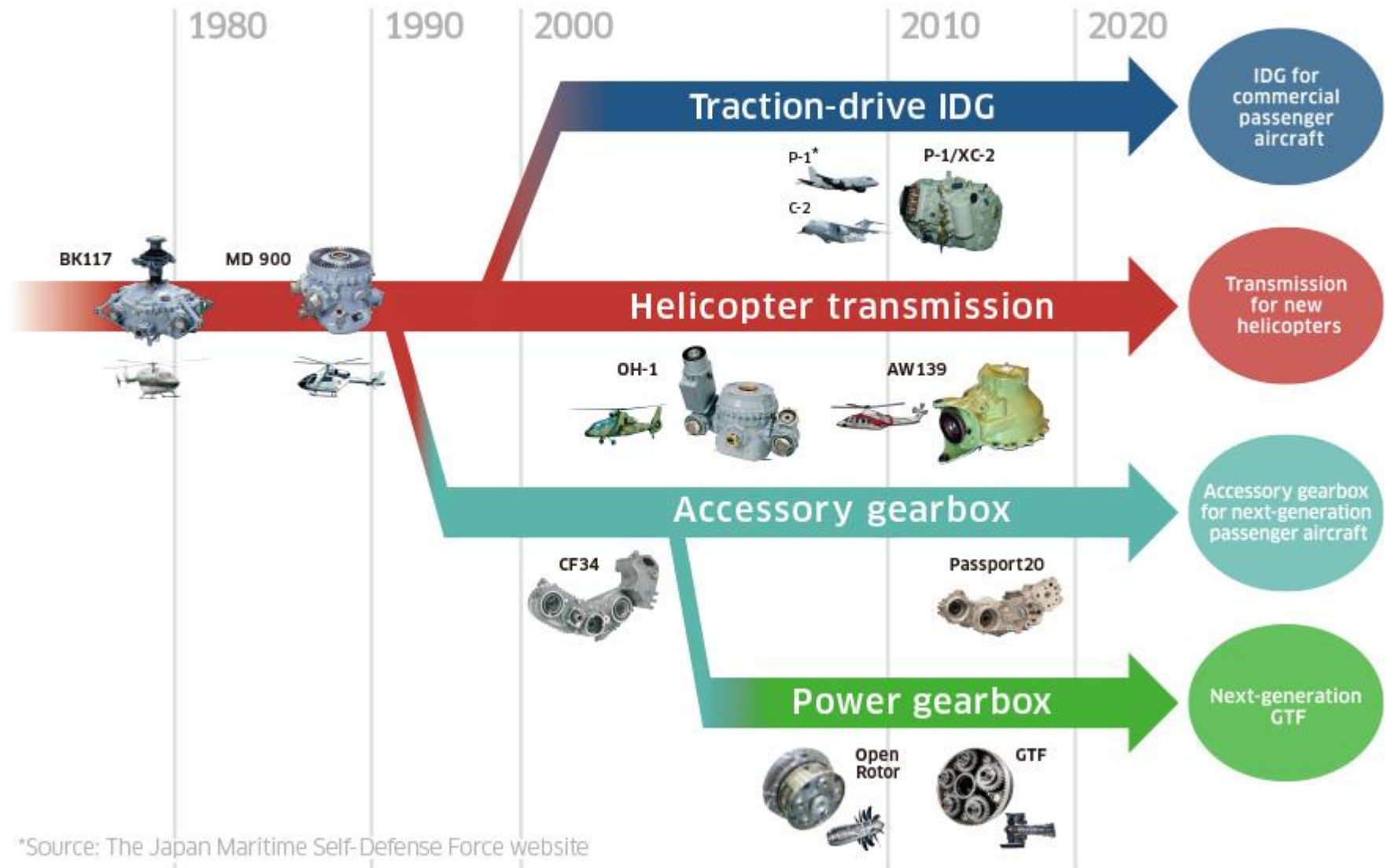
W samolocie energia elektryczna jest dostarczana z generatora napędzanego silnikiem.





# Przykład kół zębatach w lotnictwie

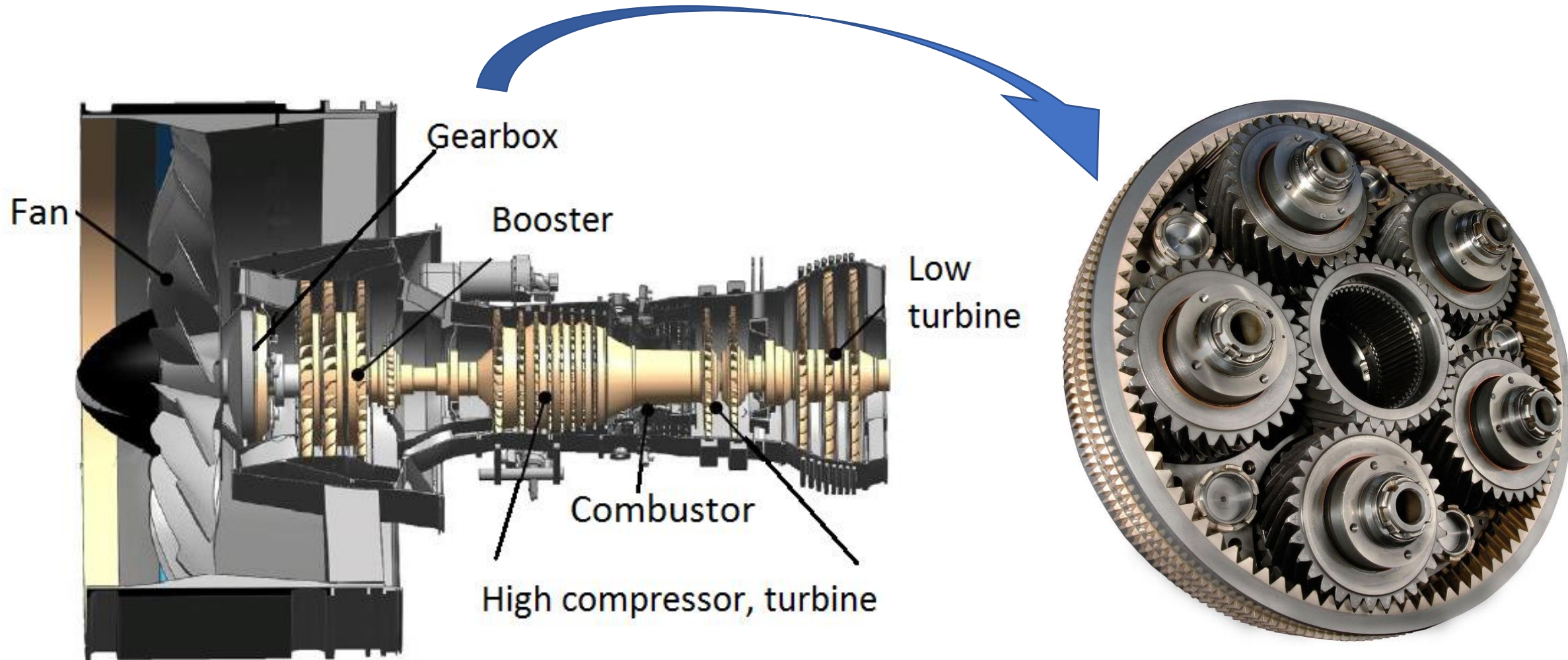
Cumulative shipments: 12,869 units (as of September 30, 2018)



Na podstawie:  
<https://global.kawasaki.com/en/stories/articles/vol80/>

\*Source: The Japan Maritime Self-Defense Force website

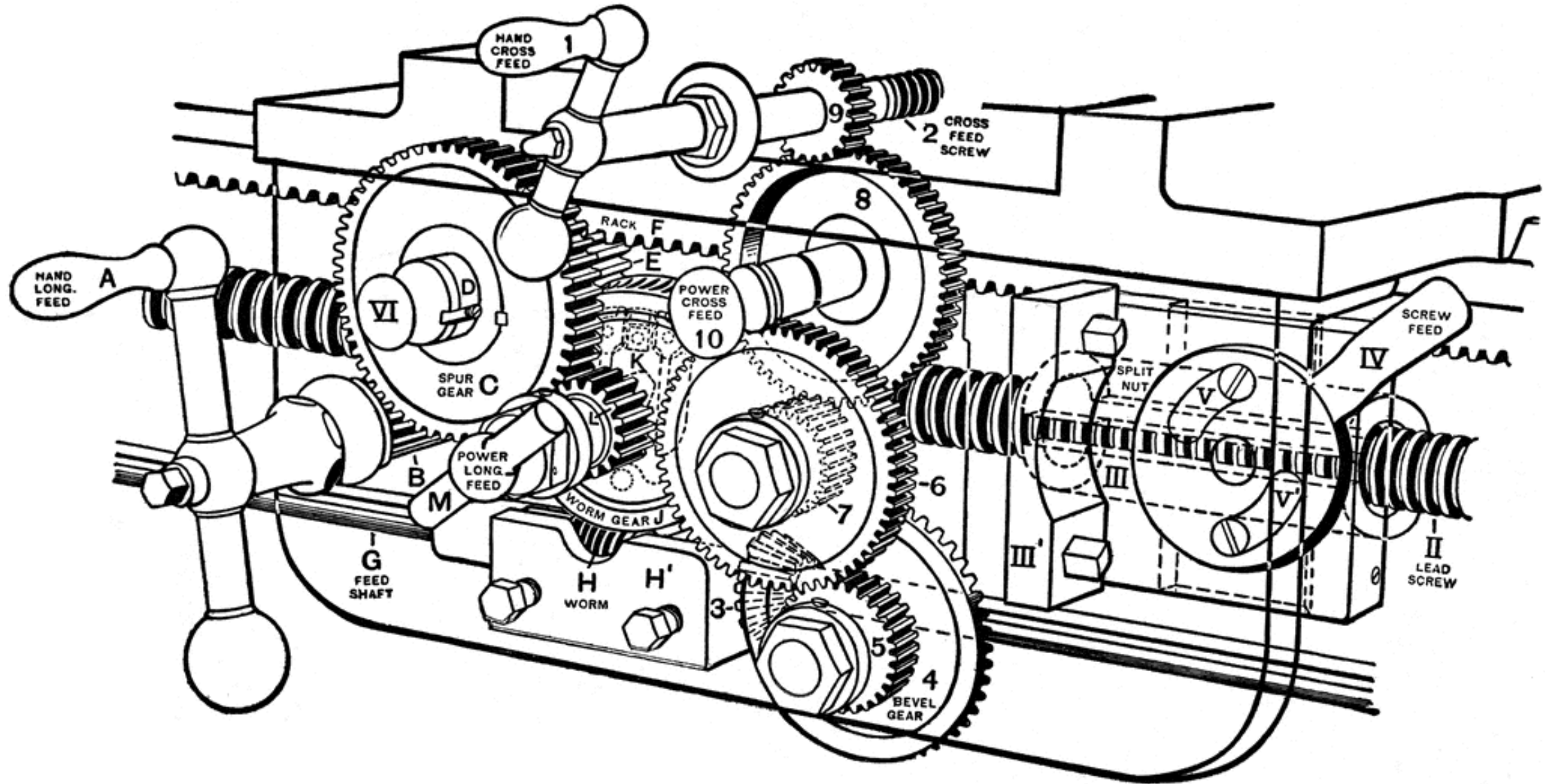
## Wykorzystanie przekładni planetarnej - turbowentylator W1100G dla rodziny A320



[https://www.youtube.com/watch?v=N\\_gplAfOrdo](https://www.youtube.com/watch?v=N_gplAfOrdo)

Na podstawie: <https://leehamnews.com/2017/01/13/bjorns-corner-geared-turbofans/>

## Wykorzystanie kół zębatych w napędach zespołów obrabiarek konwencjonalnych



Na podstawie: <https://leehamnews.com/2017/01/13/bjorns-corner-geared-turbofans/>

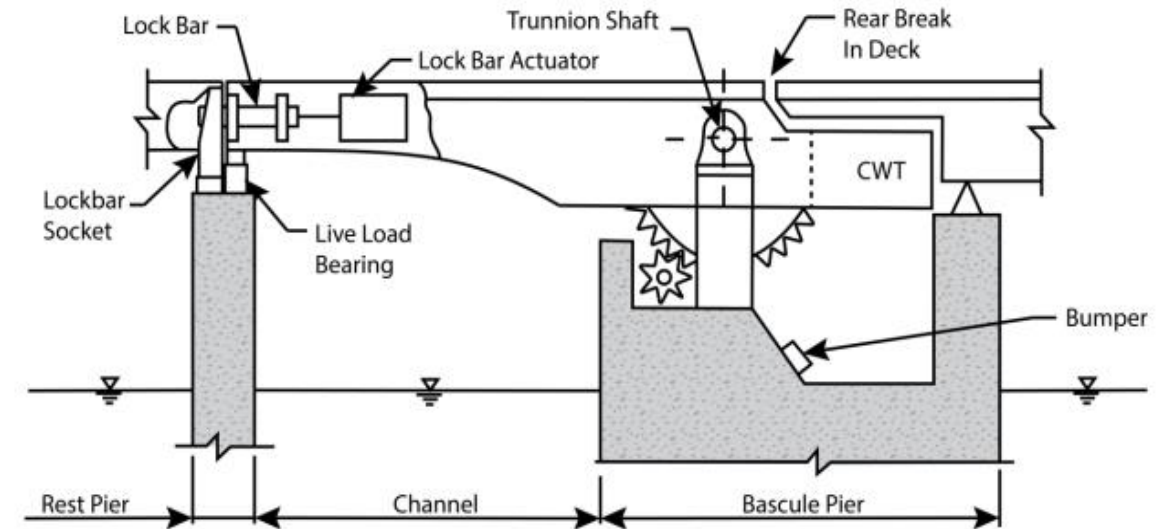
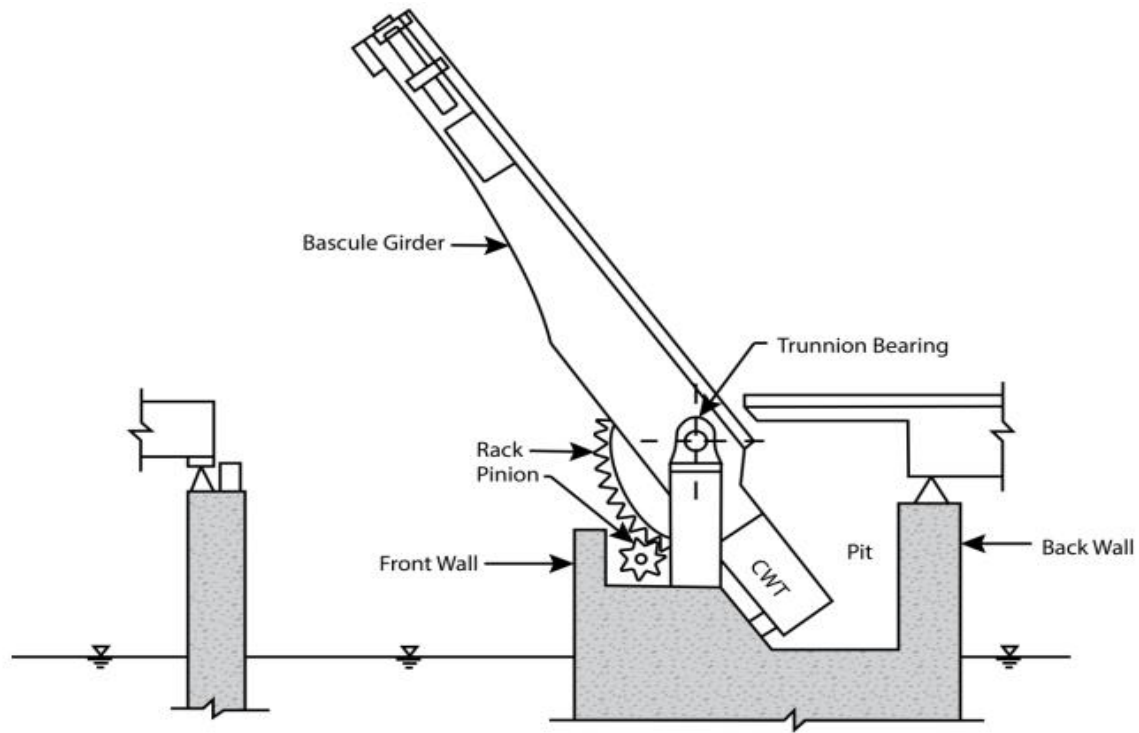
<https://etc.usf.edu/clipart/186900/186972/186972-lathe-apron.htm>

# Wykorzystanie kół zębatach do napędu mostów zwodzonych



Film:

<https://www.youtube.com/watch?v=4bWMpB2yf7w>

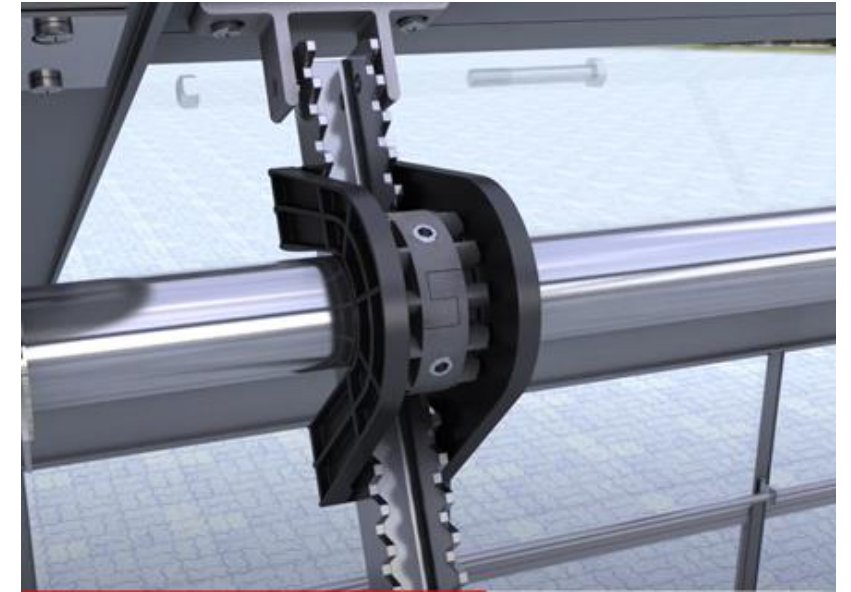


## Wykorzystanie mechanizmów zębatych jako śluzy / regulacja poziomu wody w zbiorniku



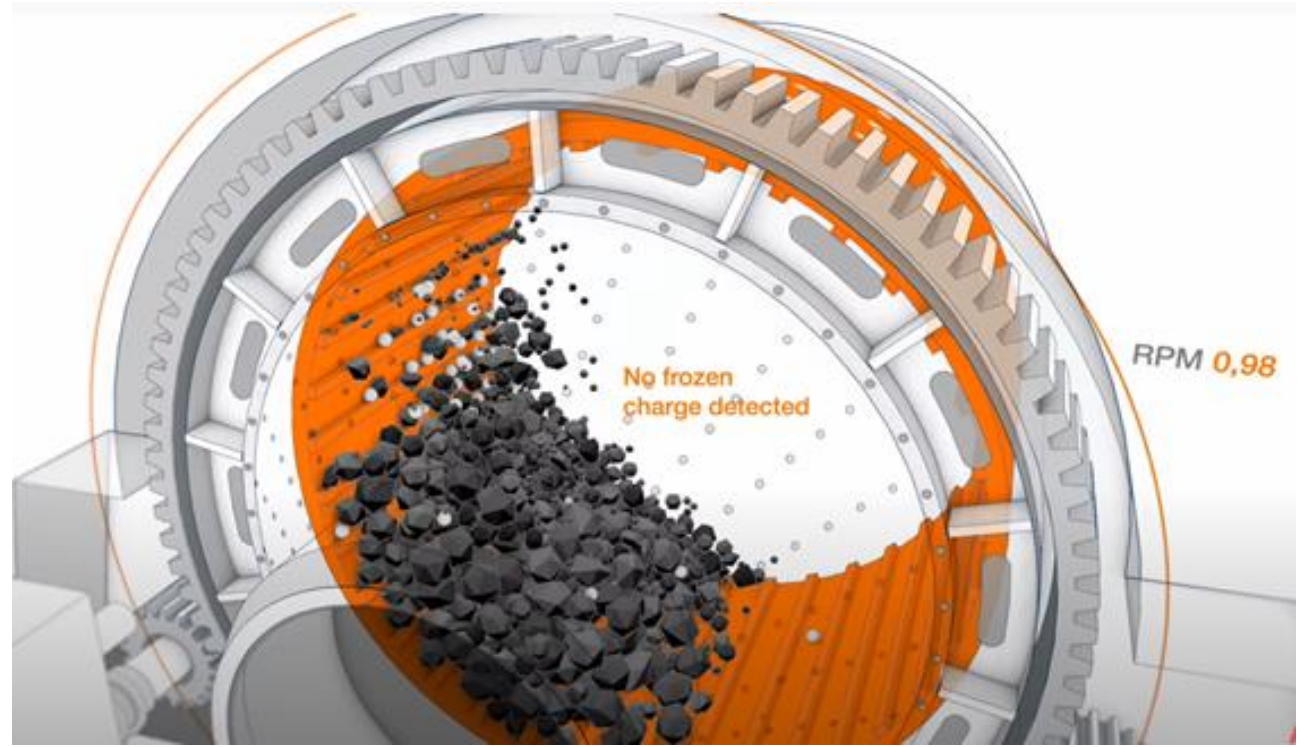
Jaz Rakowiec usytuowany jest w korpusie zapory ziemnej, biegnącej w poprzek Nogatu. Jego zadaniem jest utrzymywanie poziomu stanowiska górnego zgodnie z obowiązującym pozwoleniem wodnoprawnym. Jaz posiada konstrukcję betonową o dwóch światłach. Każde z dwóch światel jazu posiada podwójne stalowe zasuw. Zasuwa górna podnoszona jest przez drabinki – wciągarkę, zaś dolna podnoszona jest na linie stalowej nawijanej na bęben. Każda z zasuw dodatkowo zabezpieczona jest łańcuchem. Przepławka dla ryb znajduje się po prawej stronie jazu, stanowiąc z jego przyczółkiem wspólną konstrukcję betonową. Przepławka jest przykryta kratą stalową uniemożliwiającą dostęp do przepławki.

## Wykorzystanie mechanizmów zębatych do otwierania i zamykania okien dachowych



Film:  
<https://www.youtube.com/watch?v=pdvjJIWE8ho>

## Wykorzystanie kół zębatach do napędu młynów kulowych



Film:

<https://www.youtube.com/watch?v=xJgOcEI2QI0>

Film:

<https://www.youtube.com/watch?v=4cQ2subnPkk>

## Wykorzystanie kół zębatych do napędu młynów kulowych

Zębatka pieca cementowego  
MAAG



Na podstawie: [https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/maintenance/maintenance/str/bi/reference-manual/bmrm-chapter-17.pdf?sfvrsn=f876f119\\_0](https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/maintenance/maintenance/str/bi/reference-manual/bmrm-chapter-17.pdf?sfvrsn=f876f119_0)  
<https://www.flsmidth.com/en-gb/products/gears-and-drives>



# Wykorzystanie kół zębatych łańcuchowych i motoreduktorów do napędu transporterów



[Film różne konfiguracje motoreduktorów zębatych do napędu transporterów](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=c7MijE-OETs>

Na podstawie:

<https://www.exportersindia.com/rajma-engineering-systems-llp/chain-drive-b-4028425.htm>

<http://wikoma.pl/oferta/systemy-transportowe/transportery-tasmowe/transporter-tasmowy/>

## Wykorzystanie mechanizmów zębatych do naciągania strun gitary



Na podstawie:  
<https://moscsp.ru/pl/kak-pravilno-stavit-struny-kak-pomenyat-struny-na.html>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Worm\\_drive#/media/File:Doublebass\\_scroll.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Worm_drive#/media/File:Doublebass_scroll.jpg)

Film:  
<https://www.youtube.com/watch?v=z14yzzssMM>

## Wykorzystanie mechanizmów zębatych do naciągania strun gitary

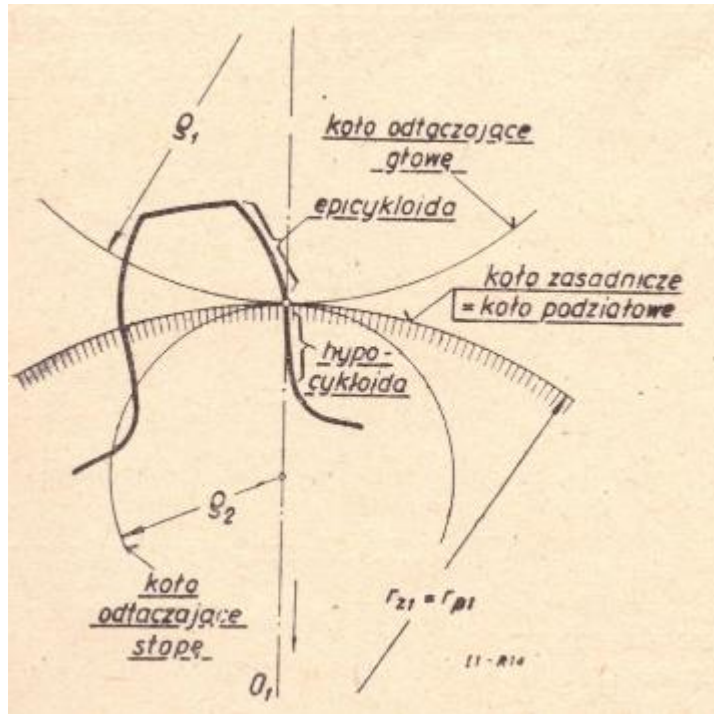


Na podstawie:  
<https://roweroweporady.pl/jak-dobrac-dlugosc-lancucha-rowerowego/>

Technologie kształtowania kół  
zębatach za pomocą obróbki  
skrawaniem.

# Zarys boków zębów

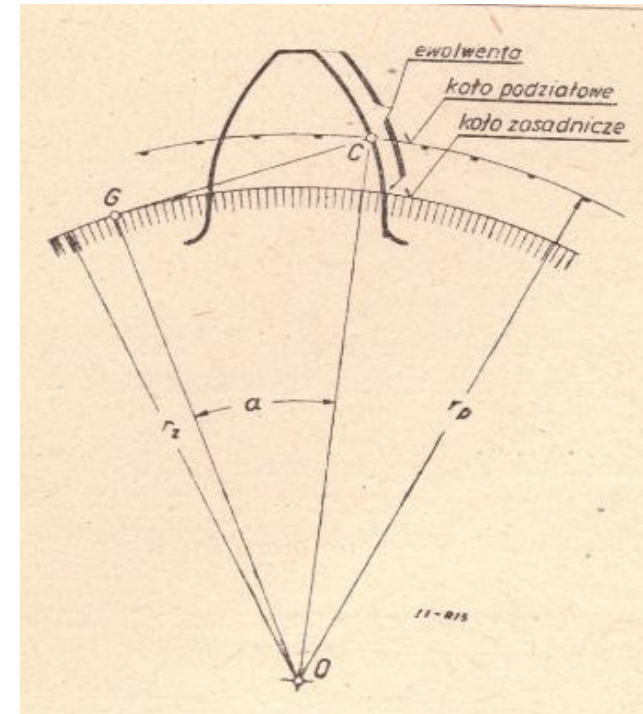
## 1. CYKLOIDALNY



Film:

[https://www.youtube.com/watch?v=ZC6ZJ\\_hvpYY](https://www.youtube.com/watch?v=ZC6ZJ_hvpYY)

## 2. EWOLWENTOWY



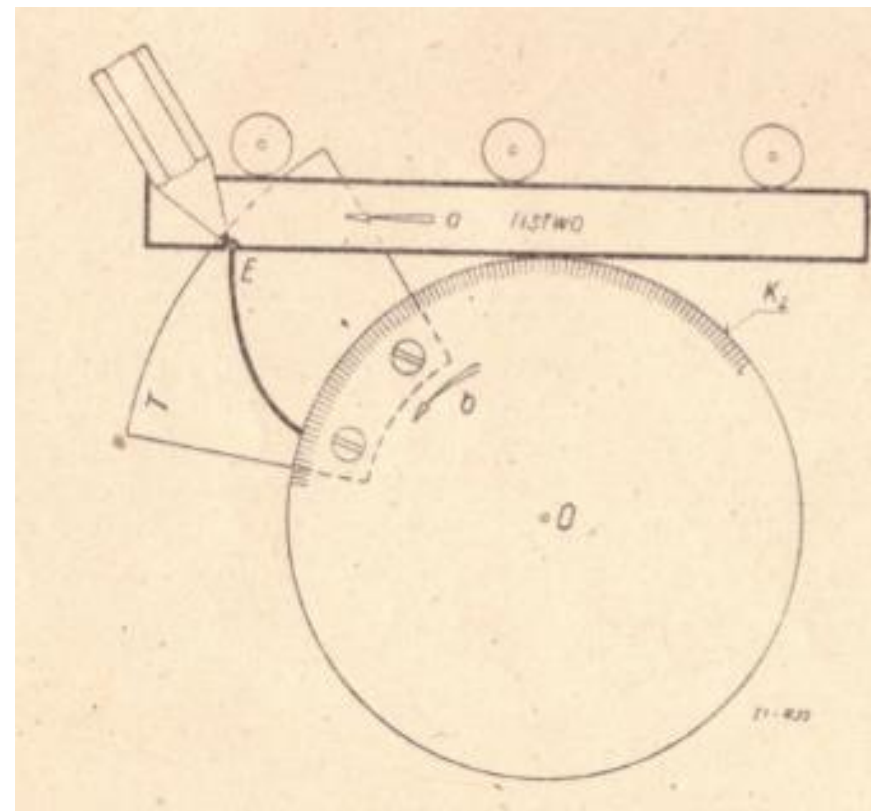
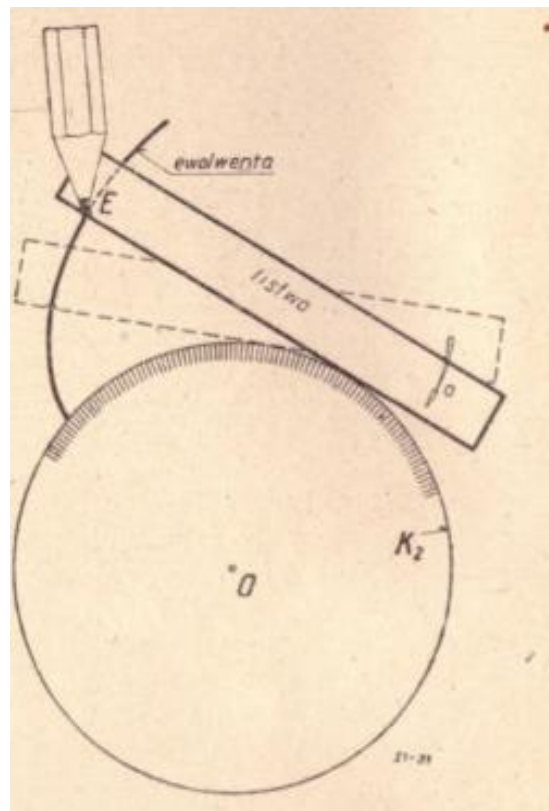
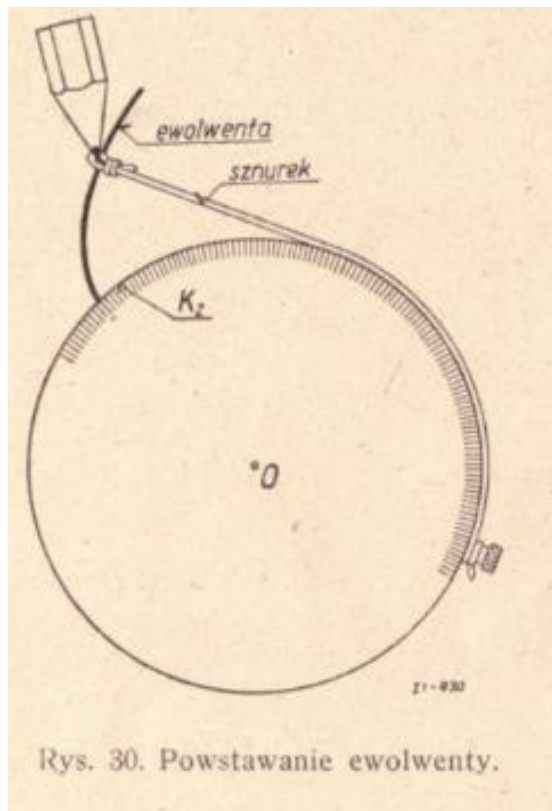
Film:

<https://www.youtube.com/watch?v=-V8mfHcnf08>

Na podstawie: publikacji autorstwa - Kazimierza Ochędusko

Na podstawie: Kazimierz Ochędusko „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

# Powstawanie ewolwenty



# Obróbka walcowych kół zębatach

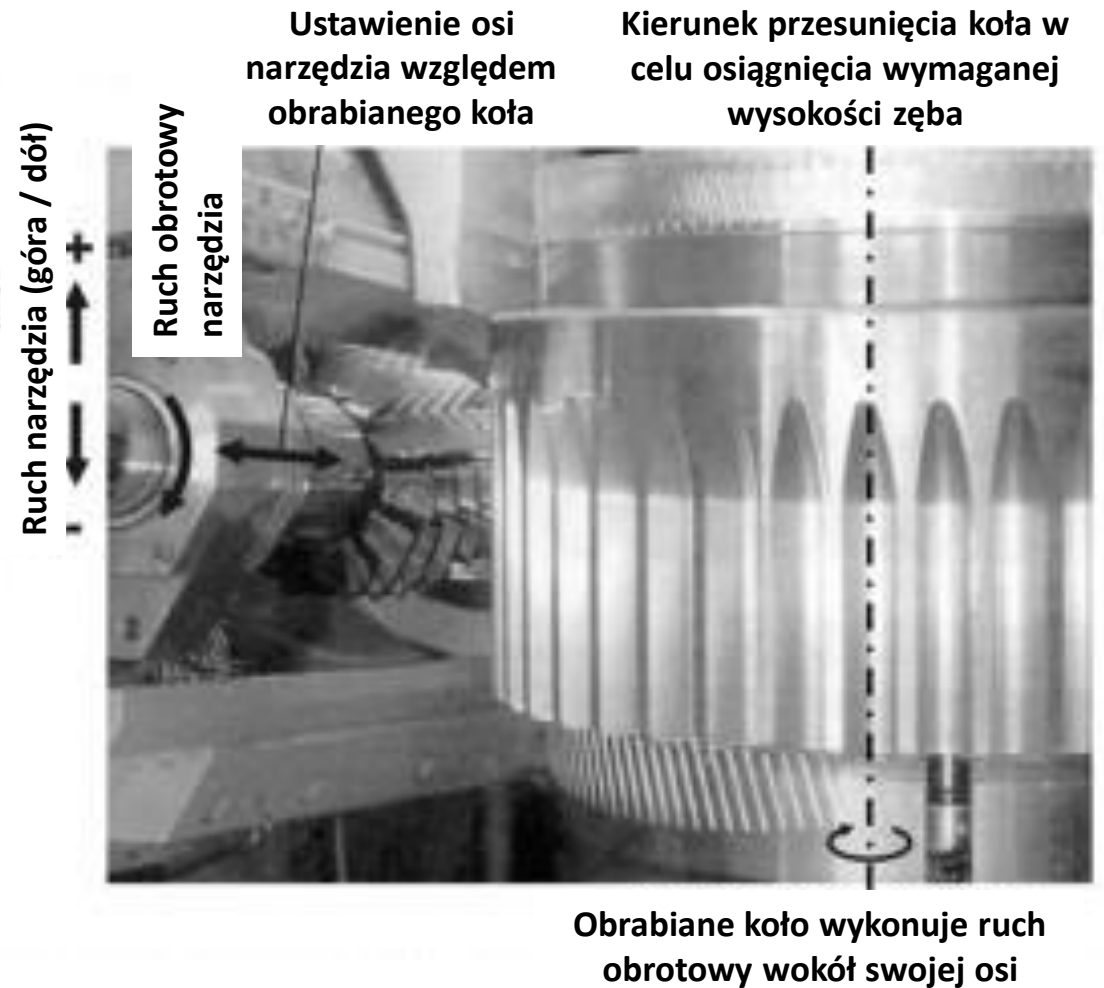
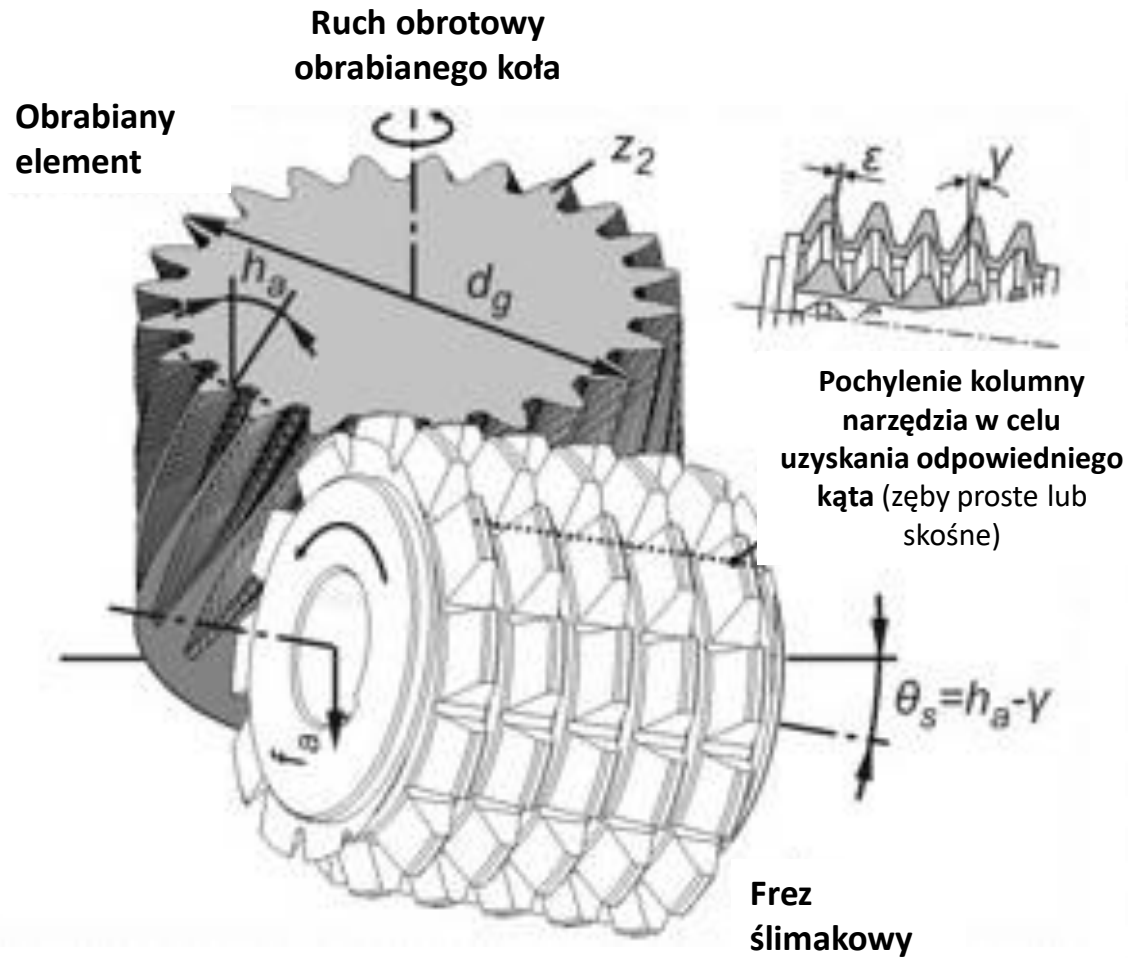
<b>Obróbka uzębień</b>			
<b>Kształtująca</b>		<b>Wykańczająca</b>	
<b>Metody</b>		<b>Uzębienie</b>	
<b>Kształtowe</b>	<b>Obwiedniowe</b>	<b>Miękkie</b>	<b>Twarde</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frezowanie frezem modułowym</li> <li>• Przeciąganie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• metoda Sunderlanda</li> <li>• metoda Fellowsa</li> <li>• metoda Magga</li> <li>• frezowanie obwiedniowe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiórkowanie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Szlifowanie kształtowe</li> <li>• Szlifowanie obwiedniowe:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- metoda Maaga</li> <li>- metoda Kolba</li> </ul> </li> <li>• Docieranie</li> </ul>

## Technologia wykonywania kół zębatach obejmuje swym zakresem między innymi poniższe zagadnienia:

- Obróbka kół zębatach za pomocą metody Magga
- Obróbka kół zębatach za pomocą metody Sunderlanda
- Narzędzia w metodzie Magga i Sunderlanda
- Obróbka obwiedniowa kół zębatach
- Struganie metodą Fellowsa
- Konstrukcja narzędzia w metodzie Fellowsa
- Obróbka zębów strzałkowych
- Frezowanie walcowych kół o zębach łukowych
- Obróbka wykańczająca walcowych kół zębatach w stanie miękkim
- Obróbka wykańczająca walcowych kół zębatach w stanie twardym
- Zaokrąglanie zębów
- Obróbka zębatek
- Obróbka kół zębatach metodami zastępczymi i kopiową
- Obróbka stożkowych kół zębatach według metod obwiedniowych - o zębach prostych
- Narzędzia do obróbki stożkowych kół zębatach
- Obróbka stożkowych kół zębatach o zębach skośnych
- Obróbka stożkowych kół zębatach o zębach łukowych
- Narzędzia do obróbki stożkowych kół zębatach o zębach łukowych
- Frezowanie metodami Cravena i Fiat -Mammono
- Frezowanie wg metody Oerlikona i Klingelnera
- Obróbka wykańczająca szokowych kół zębatach
- Wprowadzenie w zagadnienia technologii kół zębatach
- Obróbka ślimaków walcowych
- Obróbka kół ślimakowych
- Obróbka ślimaka globoidalnego
- Obróbka koła ślimakowego
- Wymiary walcowych kół zębatach - technologia z przykładami obliczeniowymi
- Wymiary stożkowych kół zębatach - technologia z przykładami obliczeniowymi
- Mocowanie kół zębatach podczas obróbki
- Konstrukcja narzędzia obwiedniowego oraz jego zamocowanie
- Wybór metody obróbki
- Porównanie metod obróbki stożkowych kół zębatach
- Porównanie metod obróbki kół ślimakowych
- Obróbka cieplna kół zębatach



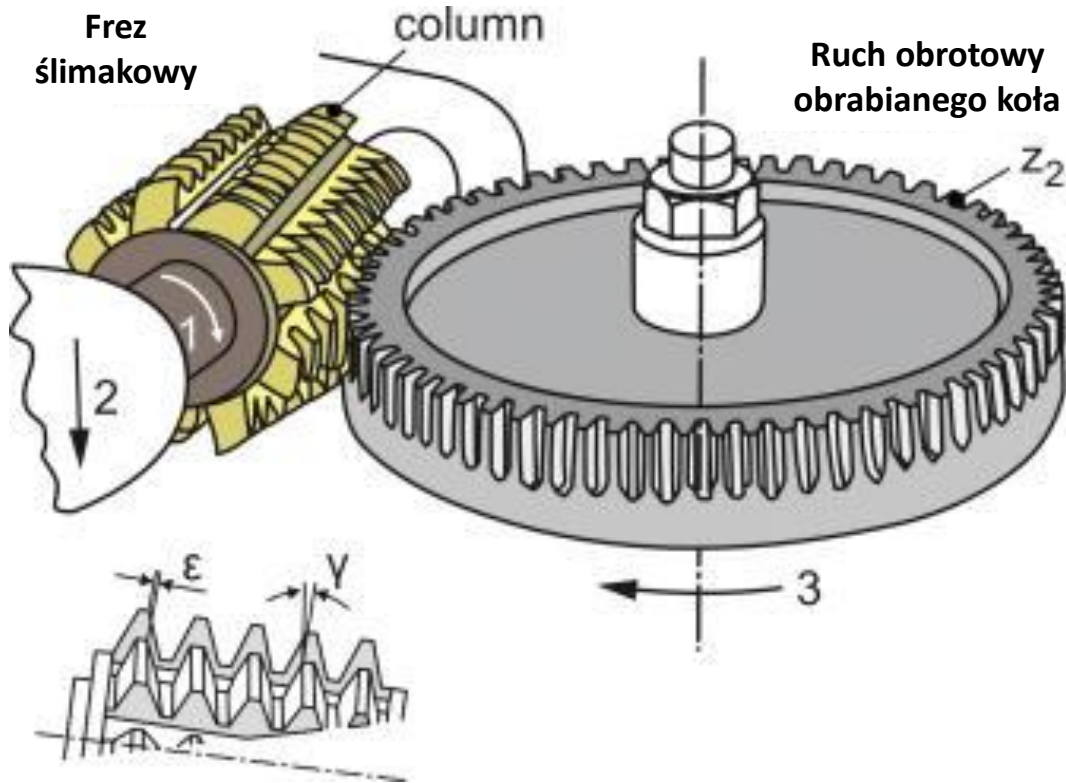
# Idea frezowania obwiedniowego



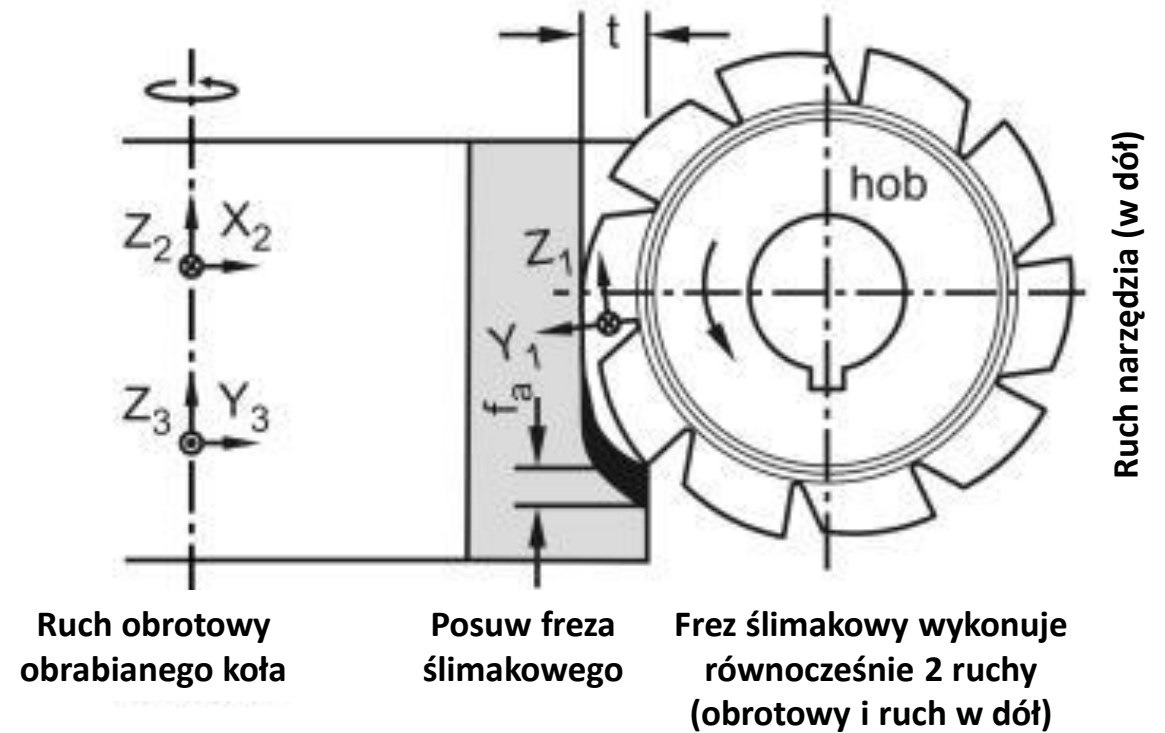
# Idea frezowania obwiedniowego

Złożony ruch narzędzia:

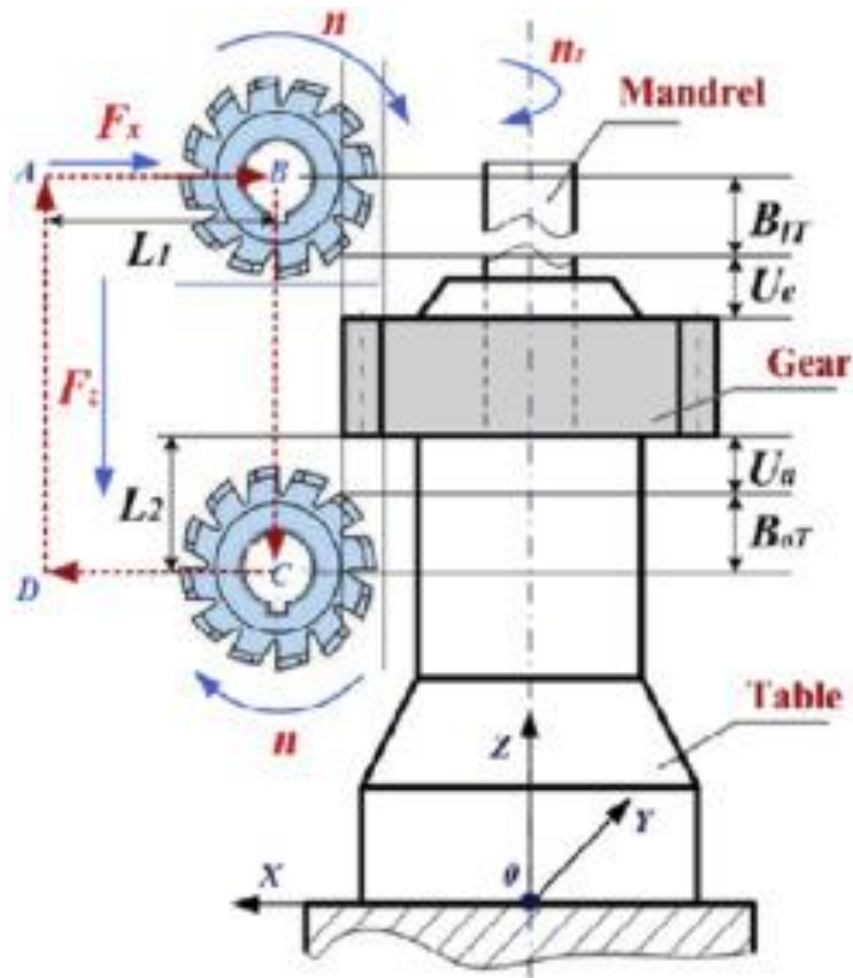
1. góra / dół,
2. ruch obrotowy.



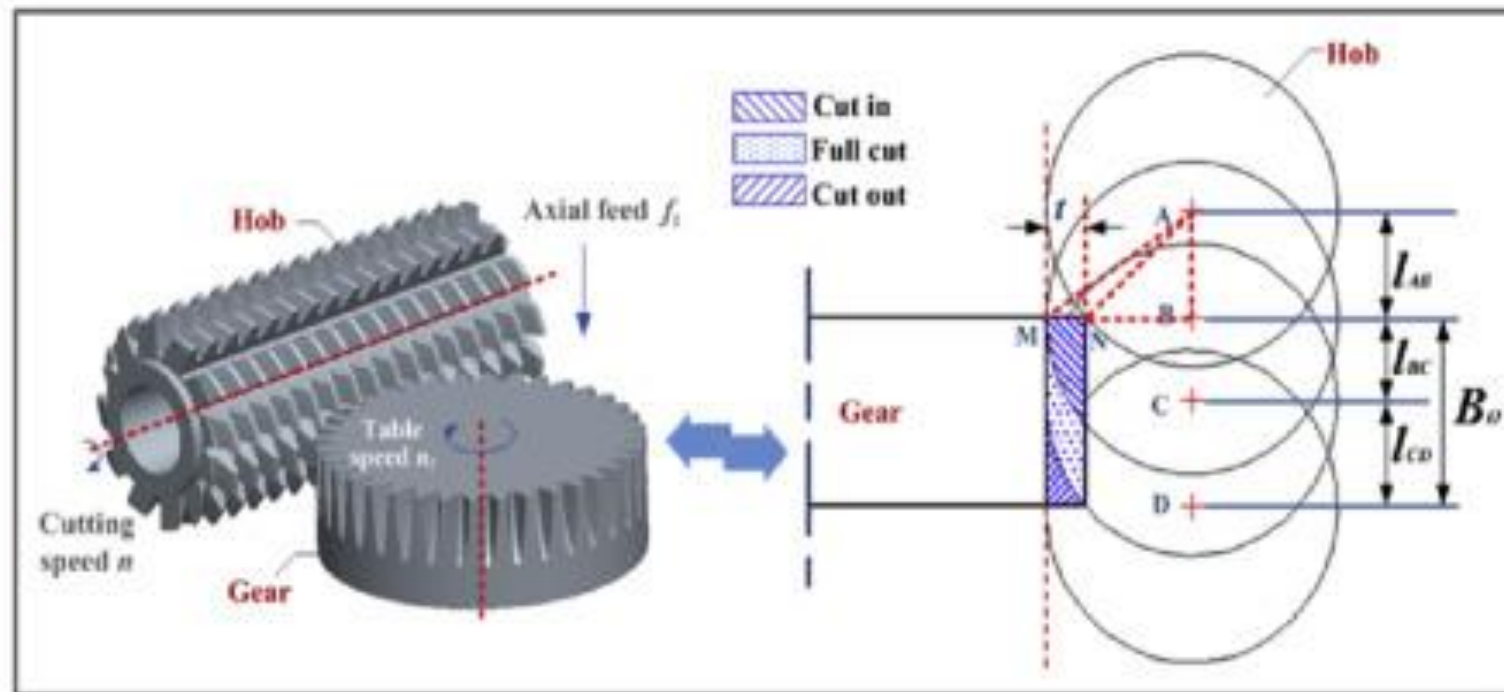
Głębokość frezowania



# Cykl pracy podczas frezowania obwiedniowego



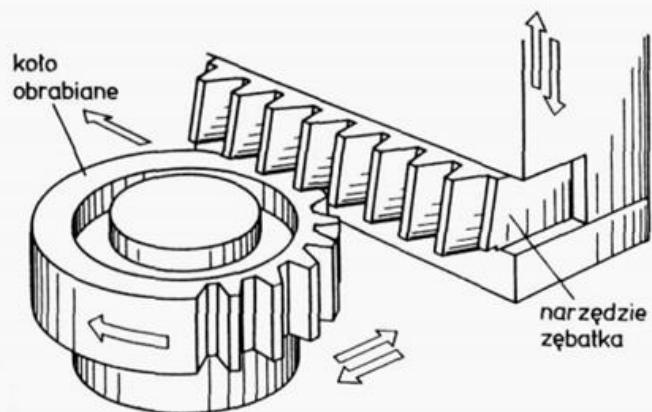
(a)



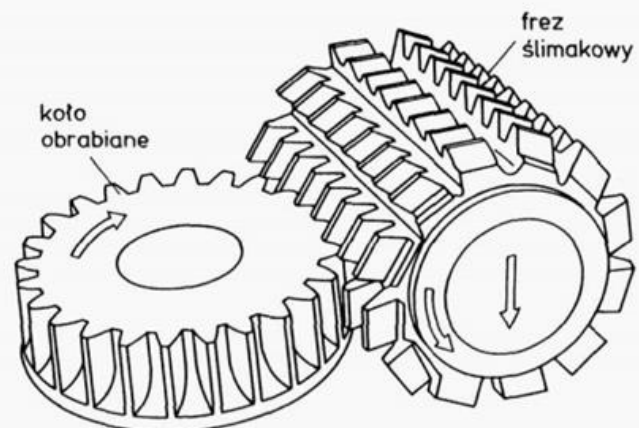
(b)

$n$  – obroty freza ślimakowego,  
 $n_1$  – obroty obrabianego koła,  
 AB, BC, CD, DA – cykl roboczy narzędzia

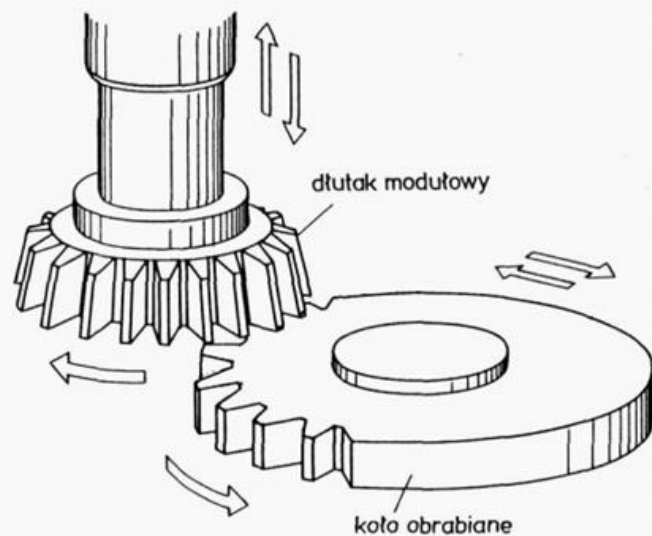
# Idea dłutowania i frezowania obwiedniowego



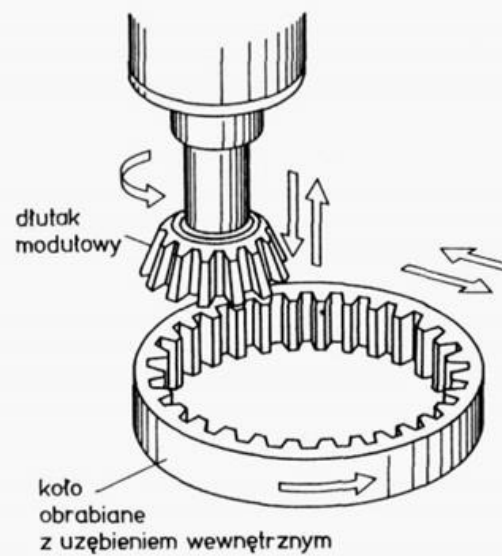
**Dłutowanie metodą Maaga**



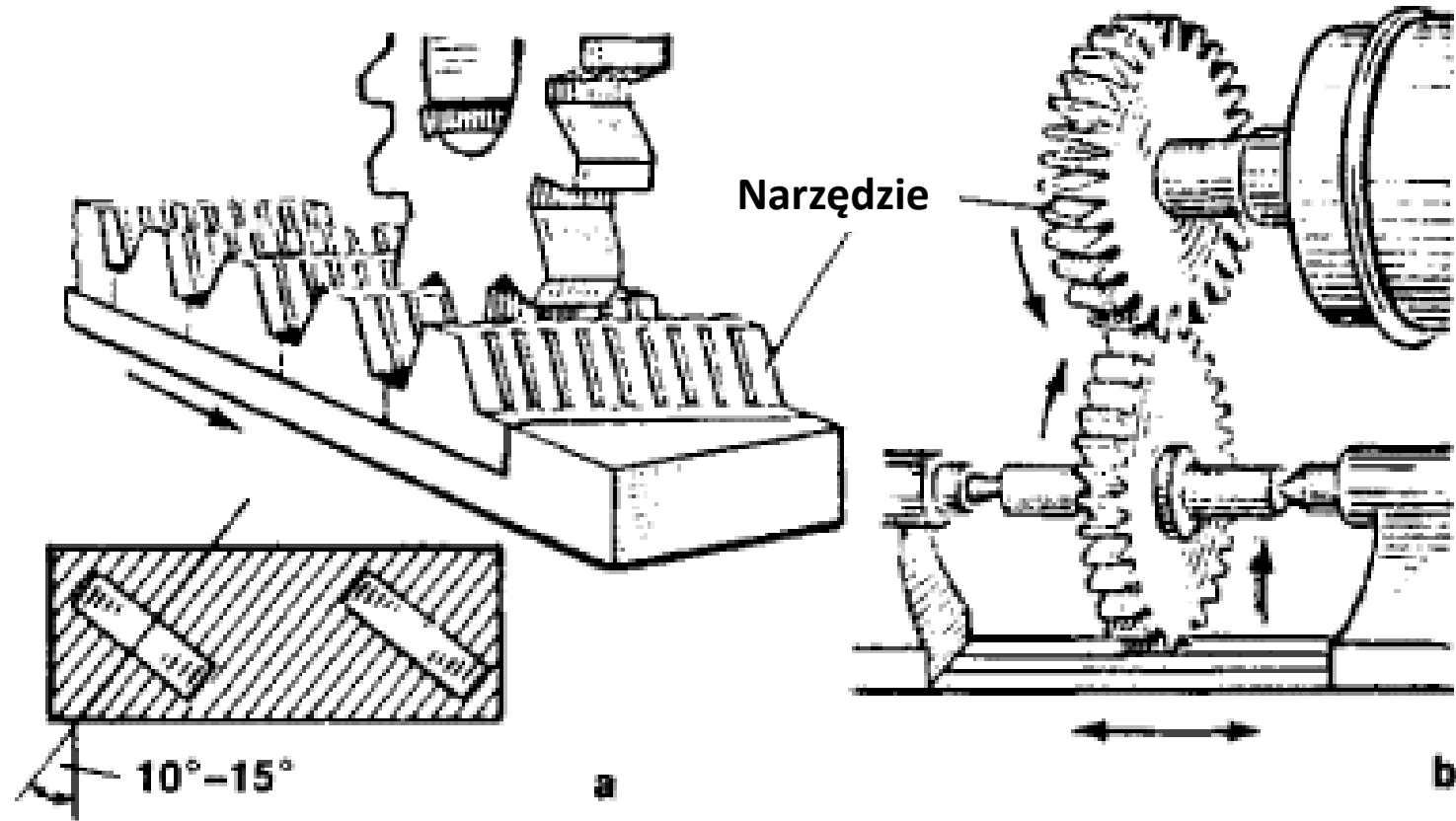
**Frezowanie obwiedniowe**



**Dłutowanie metodą Fellowsa**

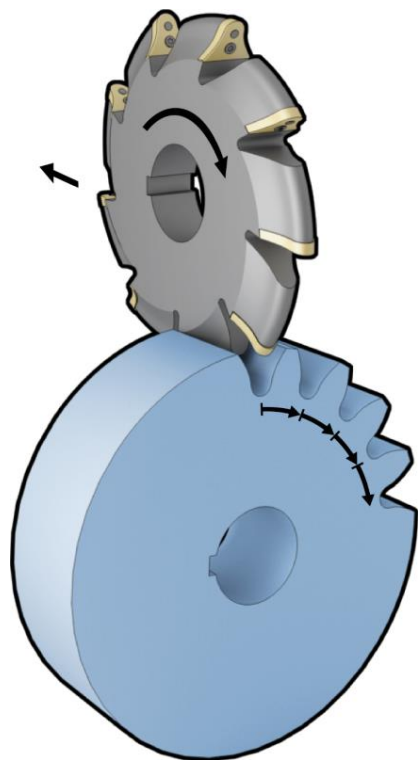


## Główna różnica frezowania wg. Maag-a i Fellows-a

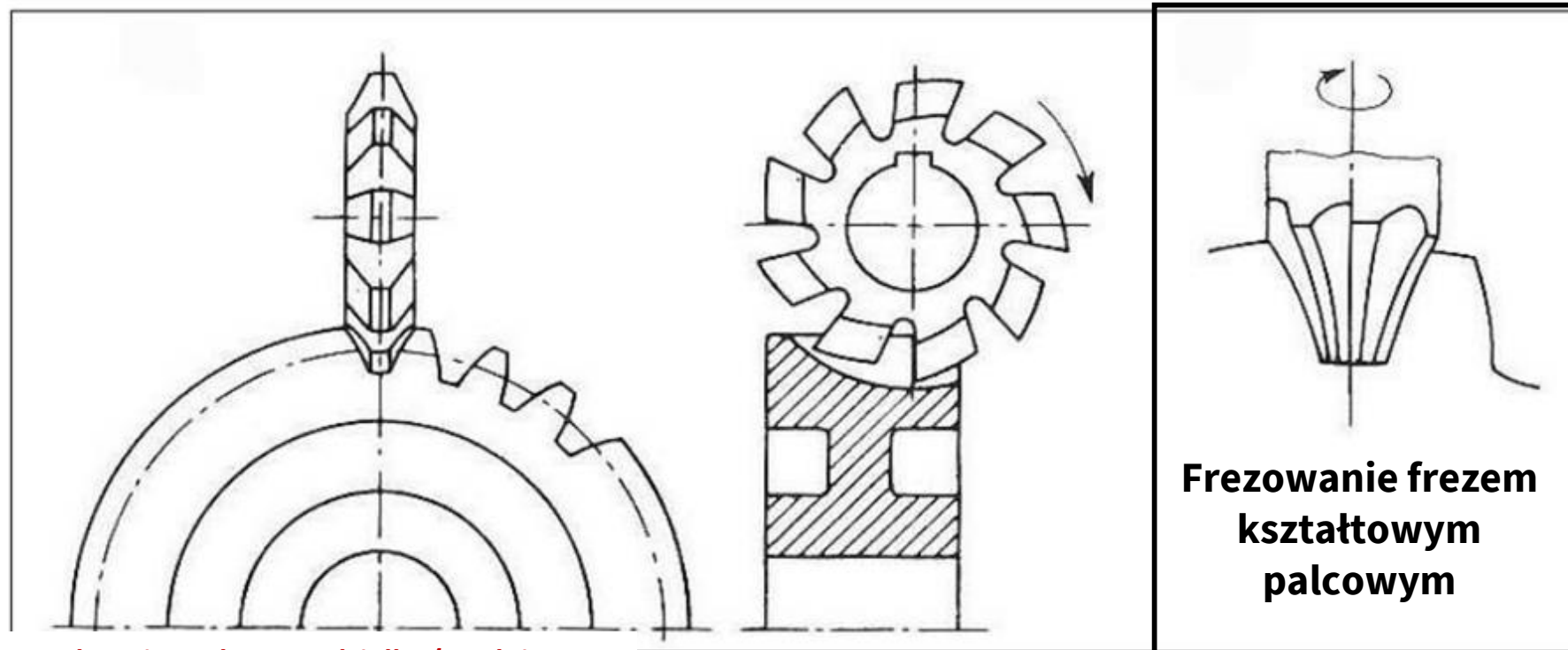


Schematy obróbki kół zębatach walcowych o zębach prostych (a) za pomocą zębarki, (B) narzędzia w kształcie dysku

## Idea frezowania kształtowego



Obróbka kół zębatych o zarysie ewolwentowym – metoda kształtowa



❖ **Koło obrabiane wykonuje ruch o 1 podziałkę (wręb jest kształtowany narzędziem)**

**Koła mogą być frezowane, dłutowane, przeciągane lub szlifowane.**

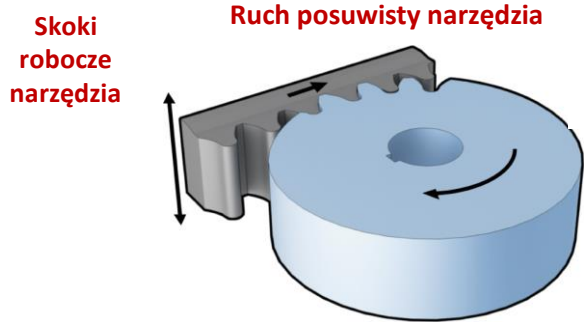
Źródło:

<http://www.pg.gda.pl/~wlitwin/pkm/202.pdf>

Kazimierz Ochęduszko „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

<https://www.manufacturingguide.com/en/gear-milling>

# Idea dłutowania metodą Maaga i Fellowsa



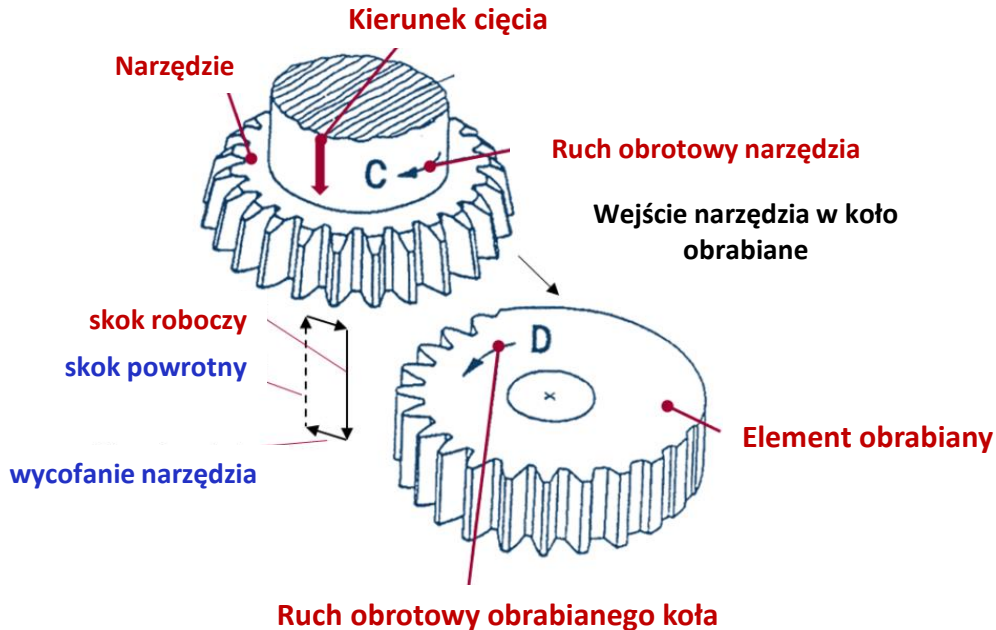
Ruch obrotowy obrabianego koła

## Graniczna liczba zębów

Wykonanie na kole zębatym zbyt małej liczby zębów może spowodować niekorzystne podcięcie podstawy zębów co może mieć negatywny wpływ na wytrzymałość.

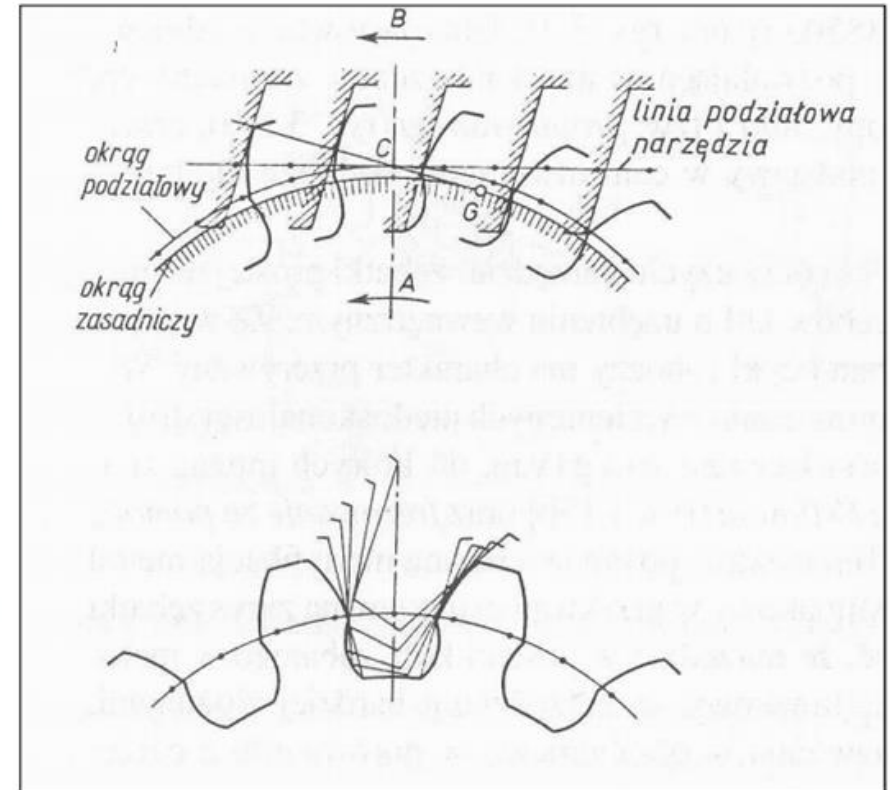
## Metoda Maaga

Narzędzie tnące w kształcie zębatki pracuje w cyklu posuwisto-zwrotnym wzdłuż osiowego obwodu koła zębatego, podczas gdy narzędzie powoli przesuwa się w kierunku środka, aż do uzyskania kształtu zębów koła zębatego. Odległość narzędzia od osi jest utrzymywana, podczas gdy narzędzie nadal oscyluje i przesuwa się wzdłuż stycznej przedmiotu obrabianego, podczas gdy przedmiot jest powoli obracany.



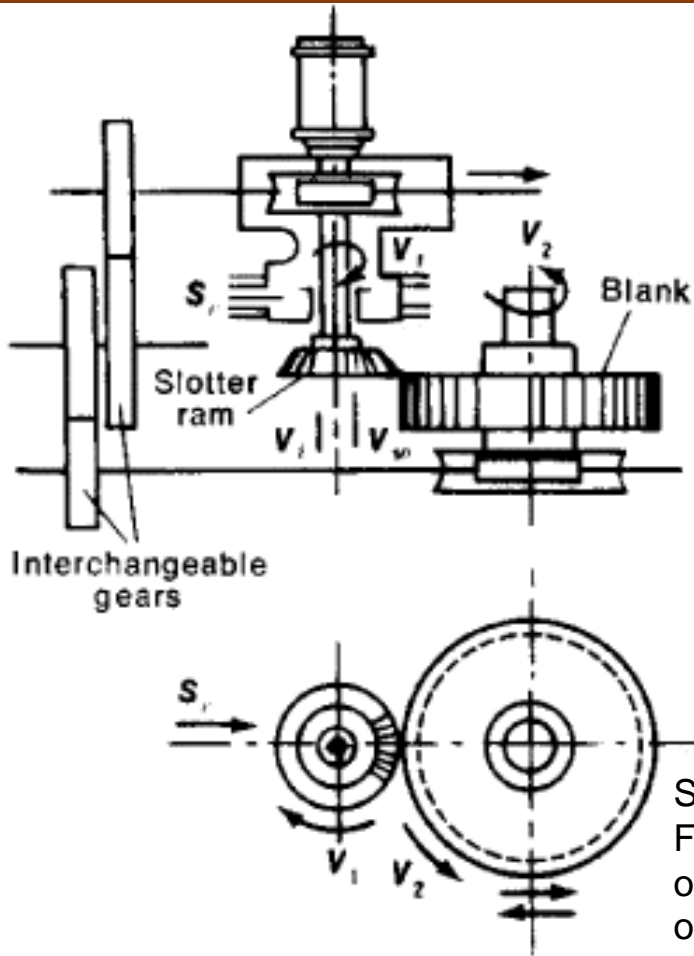
## Metoda Fellowsa

Narzędzie tnące w kształcie „okrągłej zębatki” pracuje w cyklu posuwisto-zwrotnym wzdłuż osiowego obwodu koła zębatego, narzędzie przesuwa się w kierunku środka, aż do uzyskania kształtu zębów koła zębatego.



Źródło: <http://www.pg.gda.pl/~wlitwin/pkm/202.pdf>  
<https://www.manufacturingguide.com/en/gear-planing>  
<https://www.sampspa.com/blog/gear-shaping-and-shaper-cutters/>  
Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

# Idea dłutowania obwiedniowego za pomocą narzędzia przypominającego kształtem koło zębate

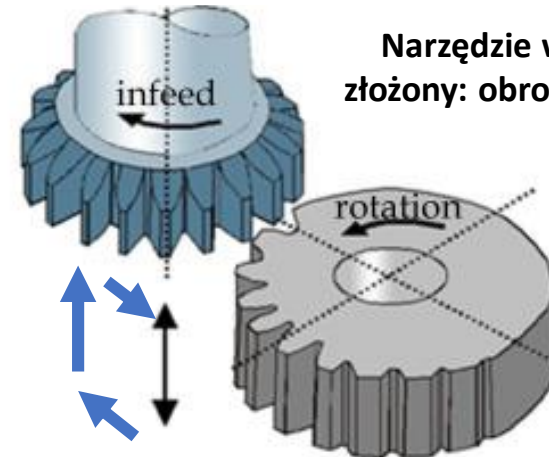


Schemat ideowy działania dłutownicy Fellowsa

Cięcie odbywa się przy skoku w dół, podczas gdy podczas skoku w górę frez i praca są rozsuwane, aby zapobiec ich ocieraniu się o siebie.

Narzędzie w kształcie zębaki

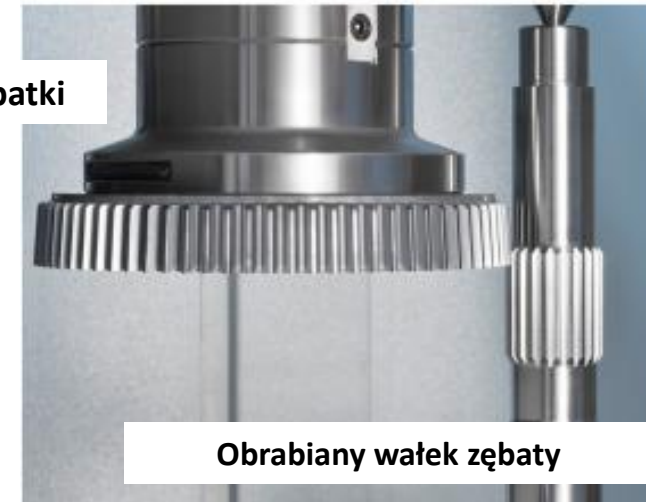
Narzędzie w kształcie zębaki



Narzędzie wykonuje ruch złożony: obroty + dół / góra

Obrabiane koło wykonuje ruch złożony: obroty i dosuwania / odsuwania

(A)



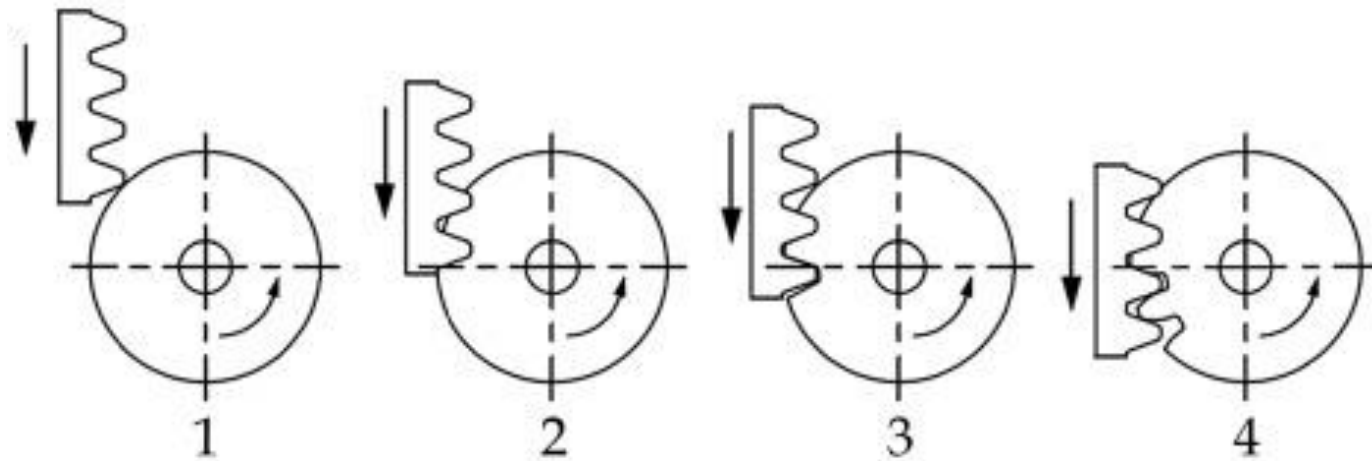
Obrabiany wałek zębaty

(B)

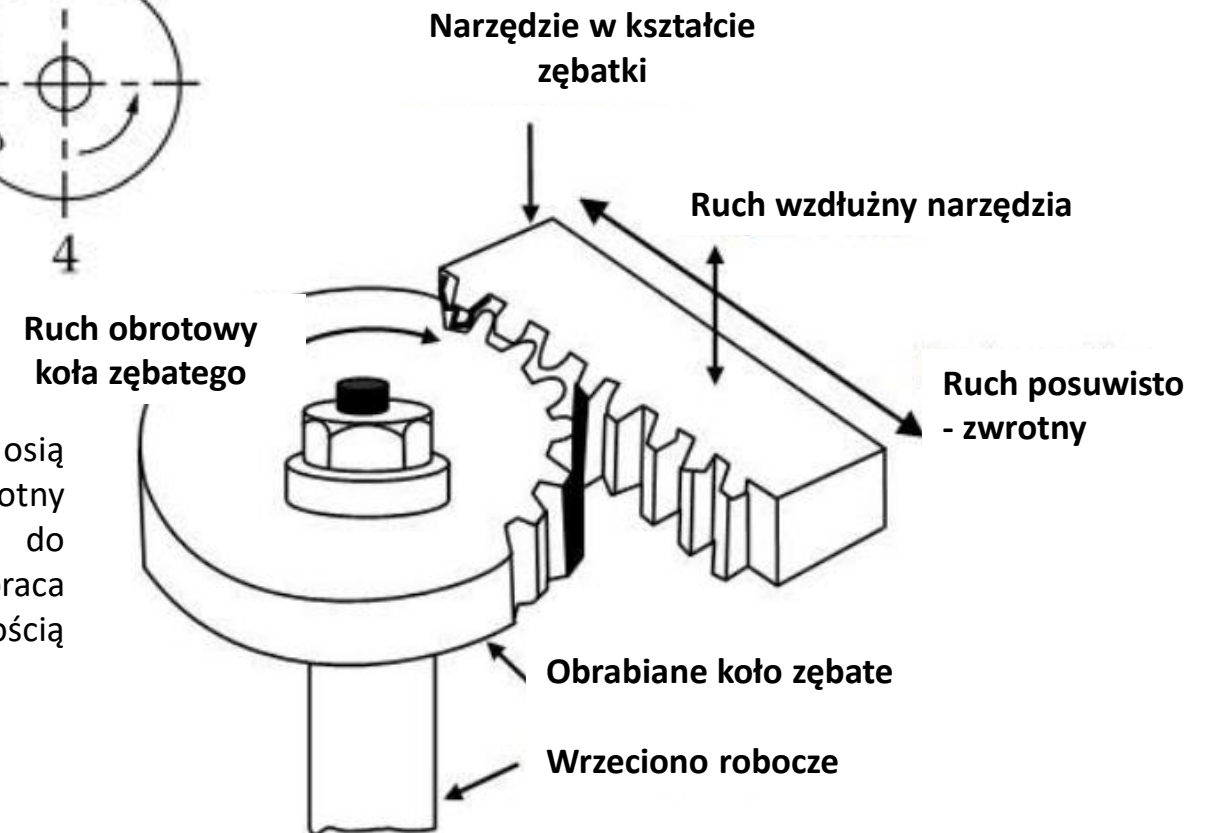
Schemat ideowy działania dłutownicy Fellowsa z ruchem posuwisto zwrotnym obrabianego koła (złożenie ruchów obrotowych i posuwisto – zwrotnych)



## Idea dłutowania obwiedniowego za pomocą zębatki – metoda wg. Sunderland- a



W procesie obróbki wg. metody Sunderlanda - półwyrób jest montowany z osią w płaszczyźnie poziomej, natomiast frez wykonuje ruch postępowo-zwrotny równoległe do osi półwyrobu. Frez jest stopniowo wprowadzany do półfabrykatu obrabianego koła na wymaganą głębokość. Półwyrób koła obraca się powoli, a zębatka tnąca jest jednocześnie przesuwana z tą samą prędkością liniową, co prędkość obwodowa koła zębatego.



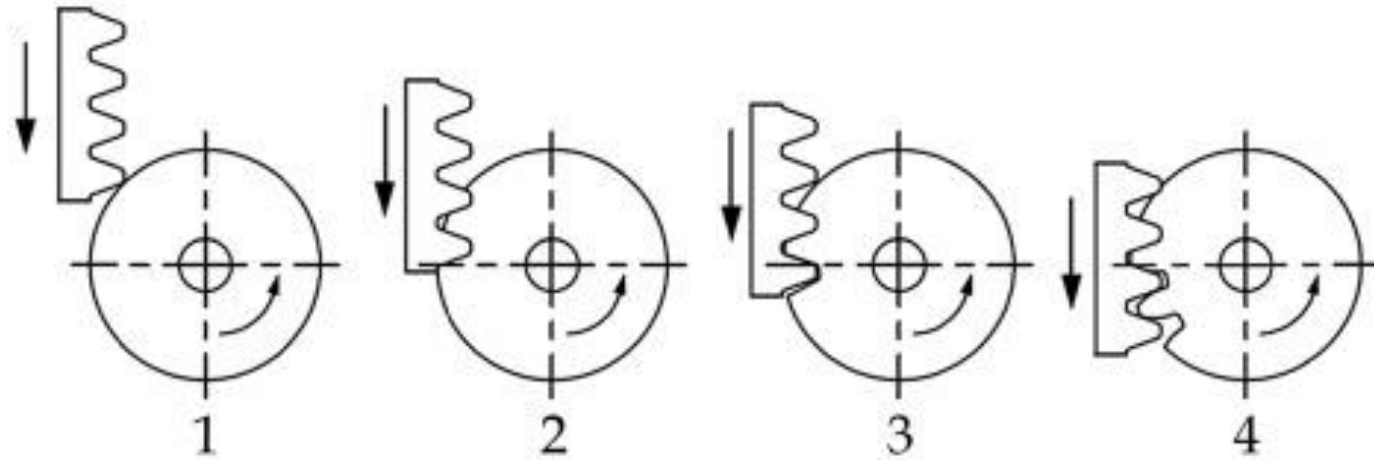
### Źródło:

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/generative-process>

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

[https://www.google.com/search?biw=1536&bih=775&tbn=isch&sa=1&ei=JtaYXfStFuaFjLsPz9WkyAU&q=gear+drawing+of+production+maag&oq=gear+drawing+of+production+maag&gs\\_l=img.3...40891.42187..42622...0.0..0.111.484.4j1.....0....1..gws-wiz-img.spuwOpZRhko&ved=0ahUKEwj02KvN1YXIAhXmAmMBHc8qCVkQ4dUDCAc&uact=5#imgrc=1dODJfArVpOwM:](https://www.google.com/search?biw=1536&bih=775&tbn=isch&sa=1&ei=JtaYXfStFuaFjLsPz9WkyAU&q=gear+drawing+of+production+maag&oq=gear+drawing+of+production+maag&gs_l=img.3...40891.42187..42622...0.0..0.111.484.4j1.....0....1..gws-wiz-img.spuwOpZRhko&ved=0ahUKEwj02KvN1YXIAhXmAmMBHc8qCVkQ4dUDCAc&uact=5#imgrc=1dODJfArVpOwM:)

## Idea dłutowania obwiedniowego za pomocą zębatki – metoda wg. Sunderland- a



Źródło: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/generative-process>

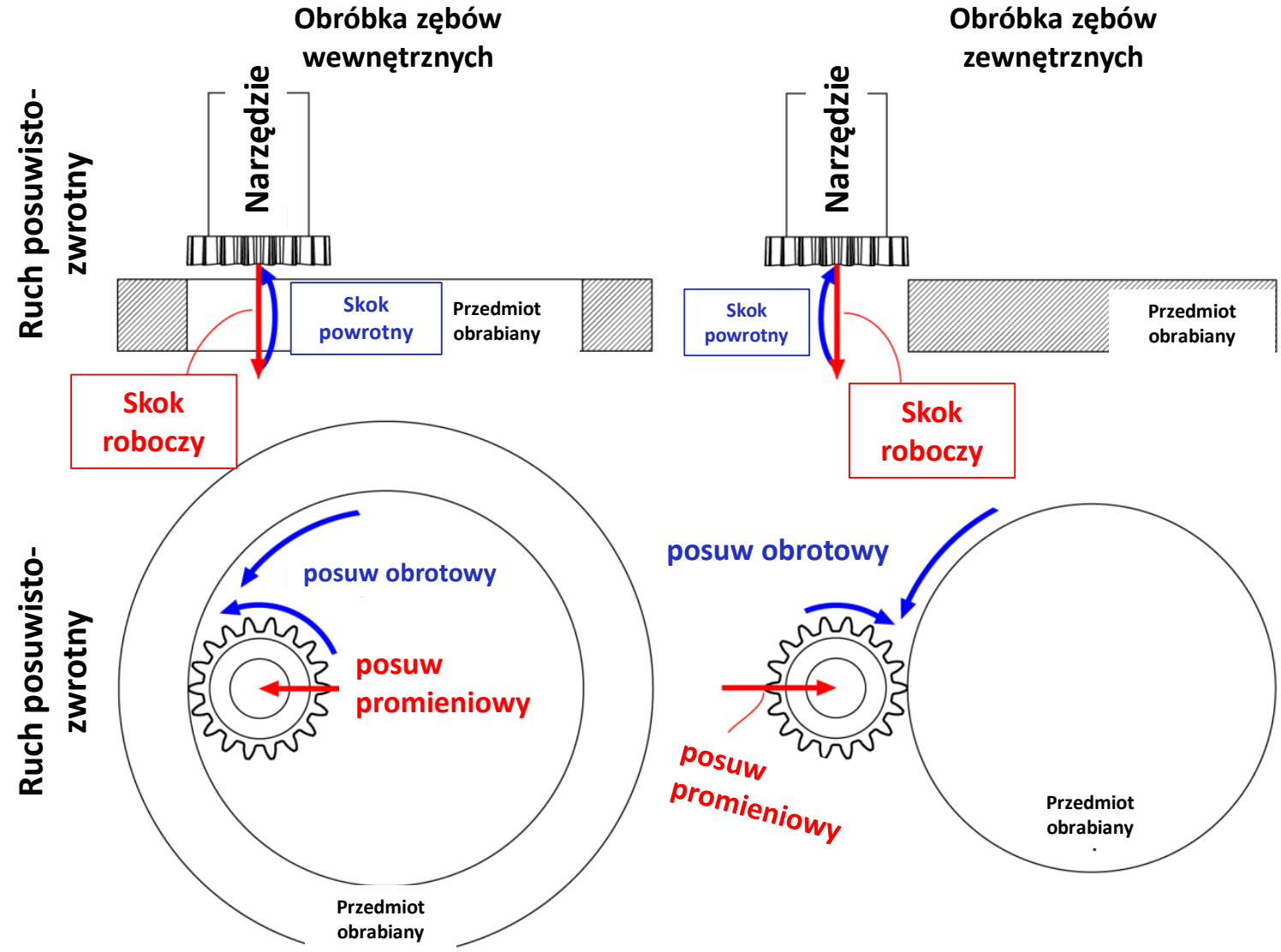


[https://www.google.com/search?biw=1536&bih=775&tbm=isch&sa=1&ei=JtaYXfStFuaFjLsPz9WkyAU&q=gear+drawing+of+production+maag&oq=gear+drawing+of+production+maag&gs\\_l=img.3...40891.42187..42622...0.0.0.111.484.4j1.....0....1.gws-wiz-img.spuwOpZRhko&ved=0ahUKEwj02KvN1YXIAhXmAmMBHc8qCVkQ4dUDCAc&uact=5#imgrc=-1dODJfArVpOwM:](https://www.google.com/search?biw=1536&bih=775&tbm=isch&sa=1&ei=JtaYXfStFuaFjLsPz9WkyAU&q=gear+drawing+of+production+maag&oq=gear+drawing+of+production+maag&gs_l=img.3...40891.42187..42622...0.0.0.111.484.4j1.....0....1.gws-wiz-img.spuwOpZRhko&ved=0ahUKEwj02KvN1YXIAhXmAmMBHc8qCVkQ4dUDCAc&uact=5#imgrc=-1dODJfArVpOwM:)

# Dłutowanie metodą Fellowsa – zębów zewnętrznych i wewnętrznych

Metodą Fellowsa można naciąć uzębienie **zewnątrzne** lub **wewnętrzne** z **zębami prostymi i śrubowymi** oraz **uzębienie daszkowe** za pomocą narzędzi zwanych dłutakami.

Do obróbki uzębień śrubowych i daszkowych stosuje się dłutki z zębami śrubowymi, przy czym kąt pochylenia linii śrubowej obrabianego uzębienia jest przeciwny kierunkowi zwojności. Metoda ta umożliwia osiągnięcie 6 klasy dokładności obrabianych kół zębatych.



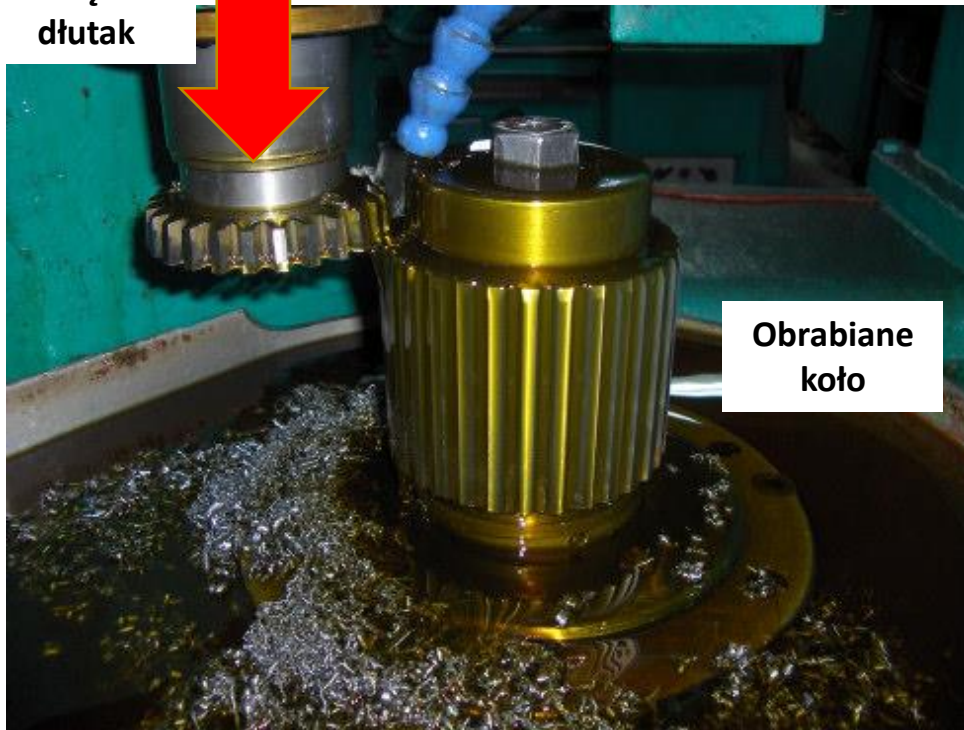
Na podstawie:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Cutting-Mechanics-of-the-Gear-Shaping-Process-Katz/53be4174454a24514115fc1cfd865a57e73891ab>

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

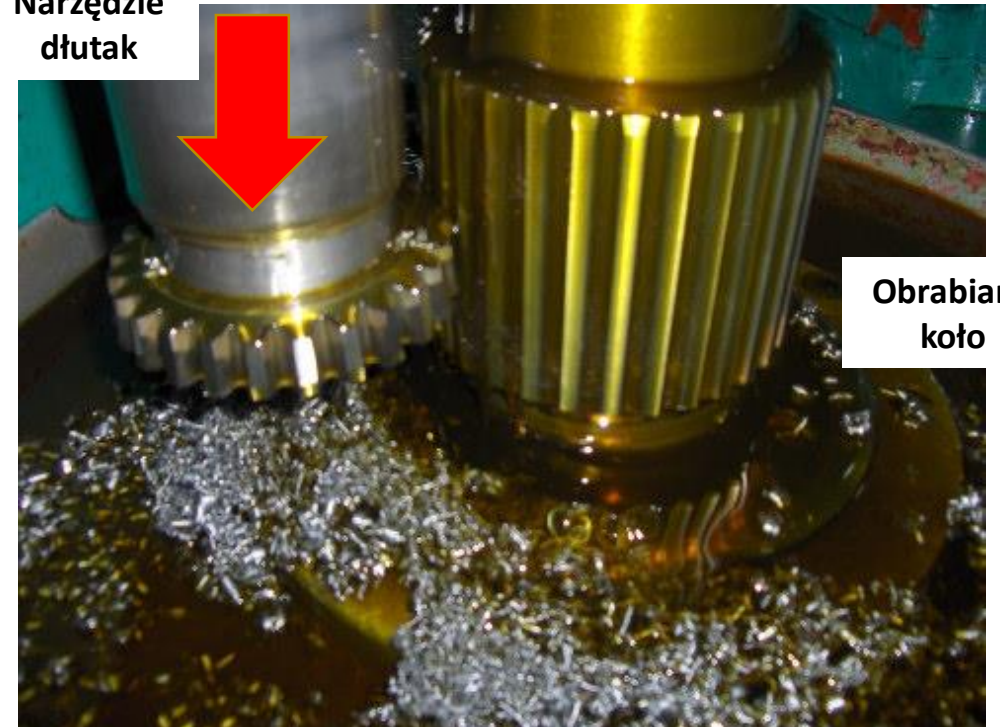
# Dłutowanie metodą Fellowsa

Narzędzie  
dłutak



Obrabiane  
koło

Narzędzie  
dłutak



Obrabiane  
koło

- **Dłutowanie** – rodzaj obróbki skrawaniem polegający na skrawaniu materiału nożem umocowanym do suwaka wykonującego pionowy lub poziomy ruch posuwisto-zwrotny. Dłutowanie stosuje się do obróbki kształtów nieobrotowych jak uzębienie kół zębatych, krzywki, rowki pod wpusty itp.
- Zarys zęba koła zębatego jest **obwiednią** kolejnych położeń krawędzi skrawających ostrzy narzędzia (dłutaka).

Na podstawie:

Kazimierz Ochęduszko „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

<http://www.wokar.pl/ostrzenie-tlutakow.html>

# Dłutowanie metodą Fellowsa

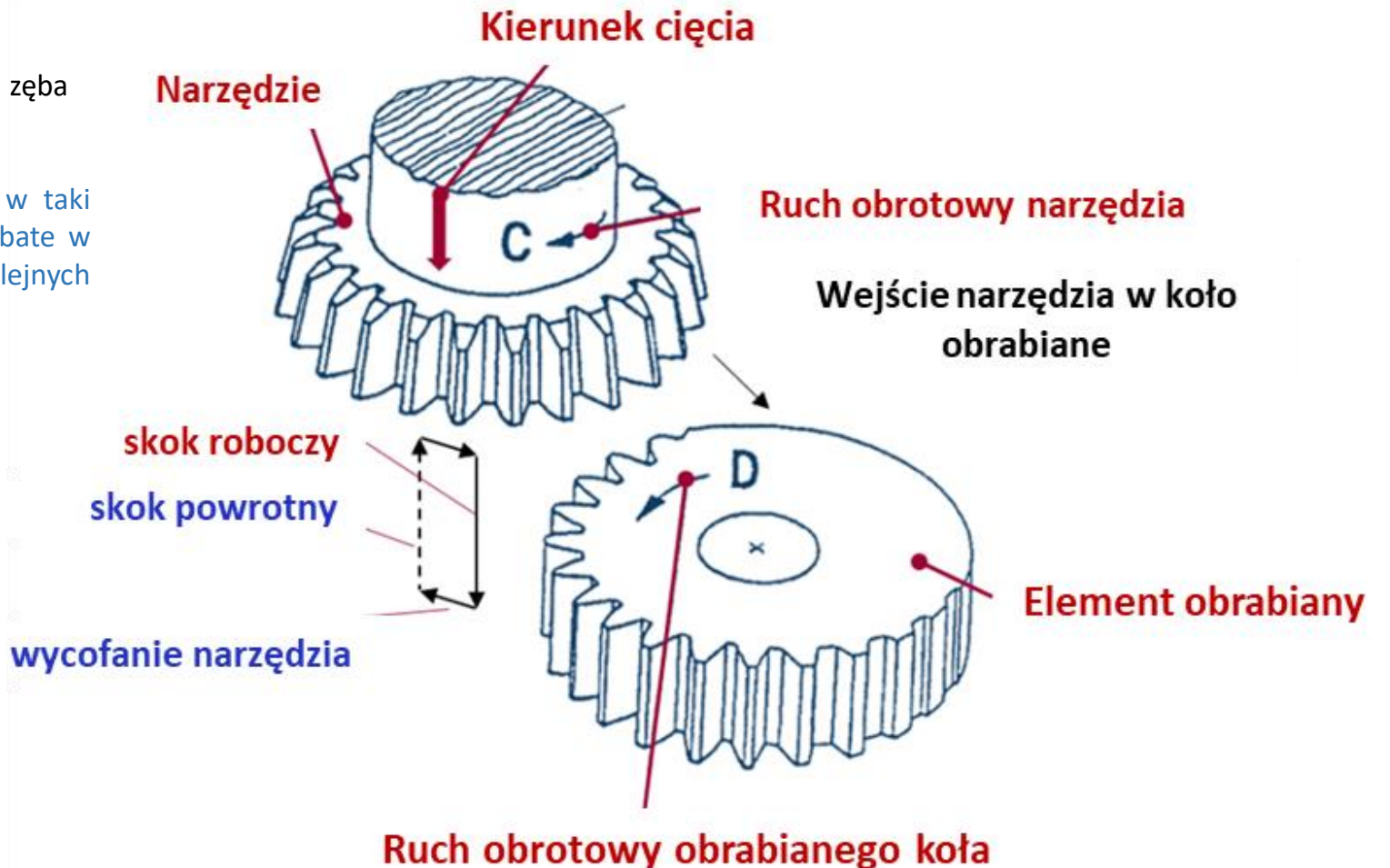
W metodzie tej występują następujące ruchy zasadnicze:

- ruch roboczy narzędzia posuwowo-zwrotny wzdłuż linii zęba
- obrotowy ruch narzędzia
- obrotowy ruch nacinanego koła

Obroty obrabianego koła oraz narzędzia odbywają się w taki sposób, jak gdyby współpracowały ze sobą dwa koła zębate w przekładni. Zarys zęba obrabianego koła jest obwiednią kolejnych położeń zarysu zęba noża Fellowsa.

a) **Promieniowy ruch dosuwowy** wgłębny mający na celu zbliżenie narzędzia do koła, tak by wprowadzić narzędzie na odpowiednią głębokość w materiał obrabiany. Ruch ten występuje w początkowej fazie obróbki lub po obróbce zgrubej, gdy należy dalej zagłębić narzędzie w celu obróbki wykańczającej.

b) **Ruch odsuwający** narzędzie od przedmiotu lub przedmiot od narzędzia w trakcie ruchu powrotnego narzędzia. Ruch ten jest konieczny, gdyż pozwala uniknąć tarcia zębów narzędzia o zęby nacinanego koła (dłuższa żywotność narzędzia).



Na podstawie:

<http://www.pg.gda.pl/~wlitwin/pkm/202.pdf>

<https://www.manufacturingguide.com/en/gear-planing>

<https://www.sampsa.com/blog/gear-shaping-and-shaper-cutters/>

Kazimierz Ochęduszko „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

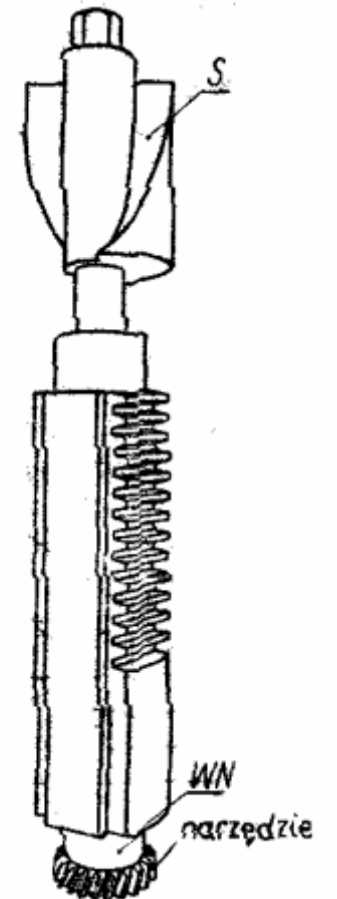
# Dłutowanie metodą Fellowsa

Metodą Fellowsa pozwala również na nacinanie kół zębatach o uzębieniu śrubowym. Choć występują pewne trudności. Wrzeciono robocze pozostaje w tym samym położeniu jak przy nacinaniu zębów prostych, cwrzeciona jest równoległa do osi nacinanego koła. Dlatego przy nacinaniu zębów śrubowych narzędzie musi wykonywać dodatkowy ruch obrotowy. Ruch ten nadawany jest narzędziu przez zastosowanie **śrubowej prowadnicy (krzywki)**, po której suwa się **suwak (s)** o śrubowej powierzchni sań. Ponadto narzędzie musi mieć również **zęby śrubowe** (do nacinania zębów w kole o lewej linii zębów w narzędziu linia zębów jest prawa i odwrotnie).

## Narzędzia do dłutowania kół zębatach



Przykład wrzeciona z krzywką śrubową (poz. S) – dłutownica Fellowsa



Źródło: <http://www.pg.gda.pl/~wlitwin/pkm/202.pdf>

<https://www.manufacturingguide.com/en/gear-planing>

<https://www.sampspa.com/blog/gear-shaping-and-shaper-cutters/>

Kazimierz Ochęduszko „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

<https://capitalgeartools.com/gear-cutting-tools/>

## Dłutowanie metodą Fellowsa

Dłutowanie metodą Fellowsa jest uznawane za bardziej efektywne niż dłutowanie metodą Maaga, gdyż ma ono ciągły charakter. Ze względu właśnie na kształt dłutownicy nie jest bowiem konieczna zmiana położenia narzędzia.

**Fellows**



[https://www.youtube.com/watch?v=hsD\\_x3cF2eQ](https://www.youtube.com/watch?v=hsD_x3cF2eQ)

<https://youtu.be/fU01NIP-dNI>

**Maag**

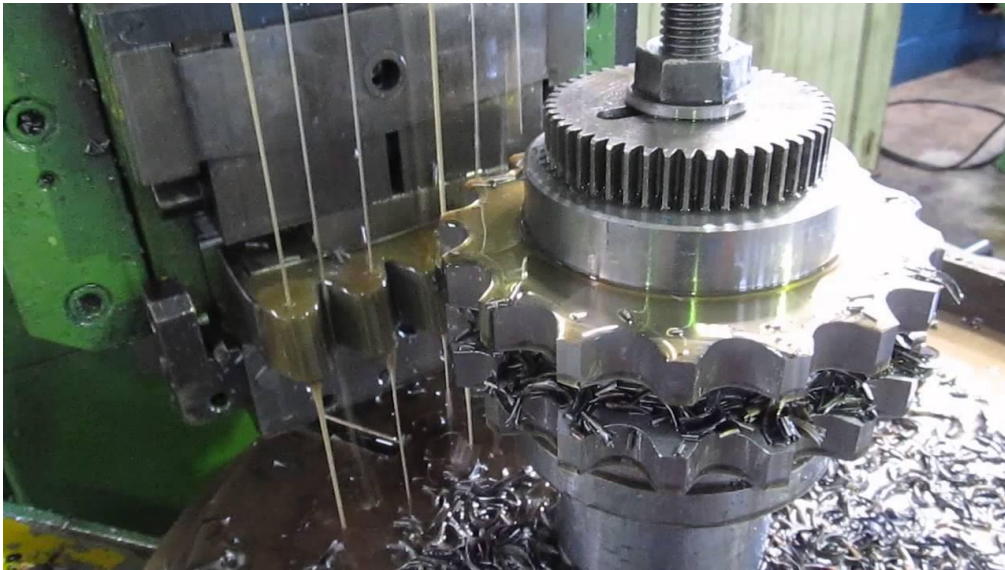


<https://www.youtube.com/watch?v=VDJXCJ07wU0>

<https://www.youtube.com/watch?v=6UnrzoZyQsU>

# Metoda Maaga

- Obwiedniowa metoda wykonywania kół zębatach poprzez nacinanie zębów w procesie dłutowania.
- Narzędziem wykorzystywanym w tej metodzie jest kształtowy nóż dłutownicy umożliwiający częściowe nacinanie kilku zębów.



<https://www.youtube.com/watch?v=Qs88rIWzoLU>

Źródło: <http://www.pg.gda.pl/~wlitwin/pkm/202.pdf>

<https://www.manufacturingguide.com/en/gear-planing>

<https://www.sampspa.com/blog/gear-shaping-and-shaper-cutters/>

Kazimierz Ochędusko „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

Pakiet obrabianych kół łańcuchowych na obrabiarce

Narzędzie tnące w kształcie zębatego koła jest przemieszczane tam i z powrotem wzdłuż osiowego obwodu koła zębatego, podczas gdy narzędzie powoli przesuwają się w kierunku środka, aż do uzyskania kształtu zębów koła zębatego. Odległość narzędzia od osi jest utrzymywana, podczas gdy narzędzie nadal oscyluje i przesuwają się wzdłuż stycznej przedmiotu obrabianego, podczas gdy przedmiot jest powoli obracany.

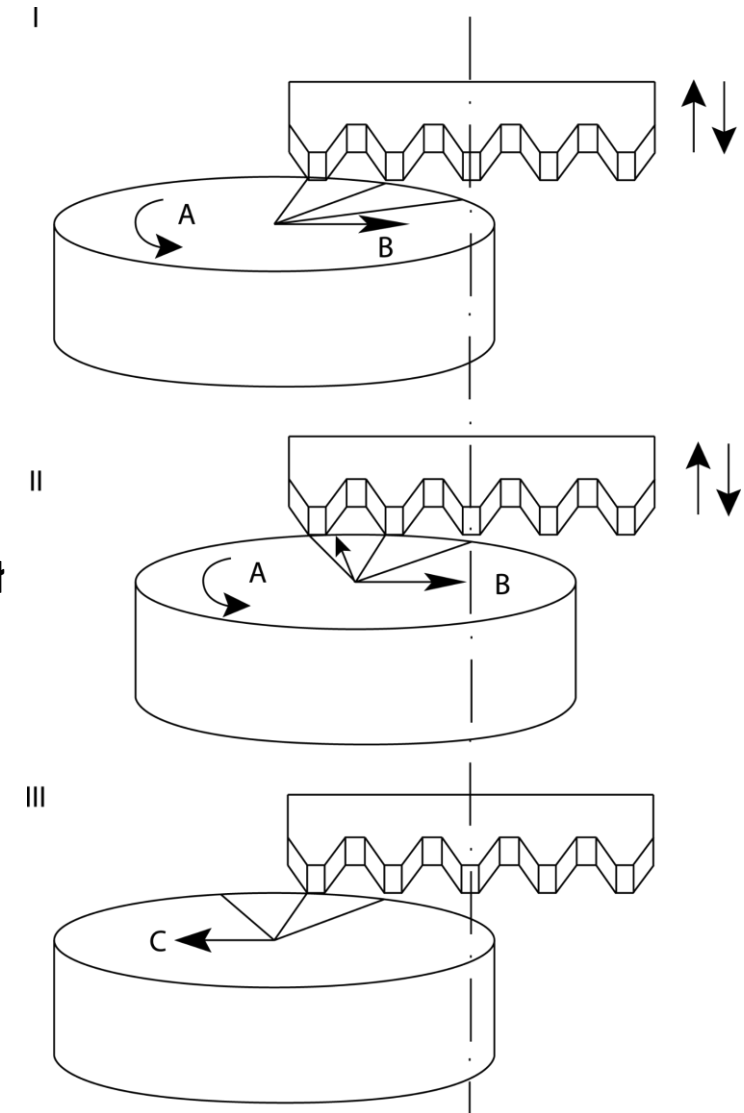
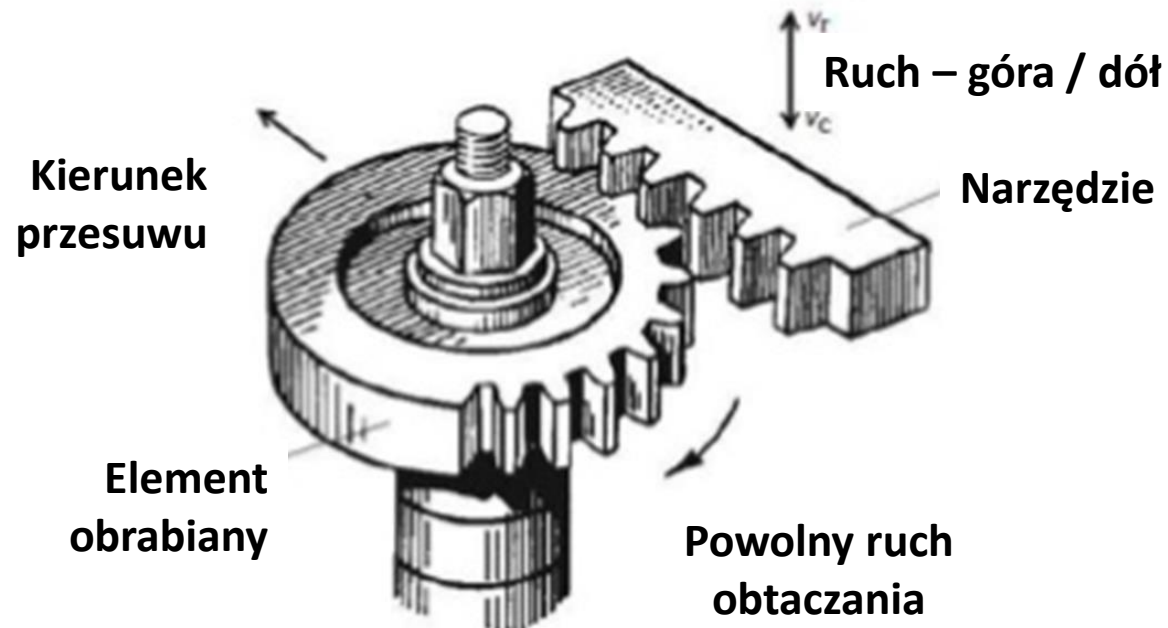


# Frezowanie obwiedniowe wg. metody Magga

## Zasada nacinania zębów wg metody Maaga

W metodzie można wyróżnić trzy charakterystyczne położenia koła podczas jednego cyklu obróbki:

- I - narzędzie wykonuje ruch roboczy (posuwisto - zwrotny), a przedmiot obrabiany "toczy się po narzędziu",
- II - obrabiane koło zębate przesunęło się o jedną podziałkę oraz wykonało obrót odpowiadający tej odległości,
- III - następuje zatrzymanie narzędzia i przesunięcie przedmiotu obrabianego (bez jego obrotu) do pozycji początkowej



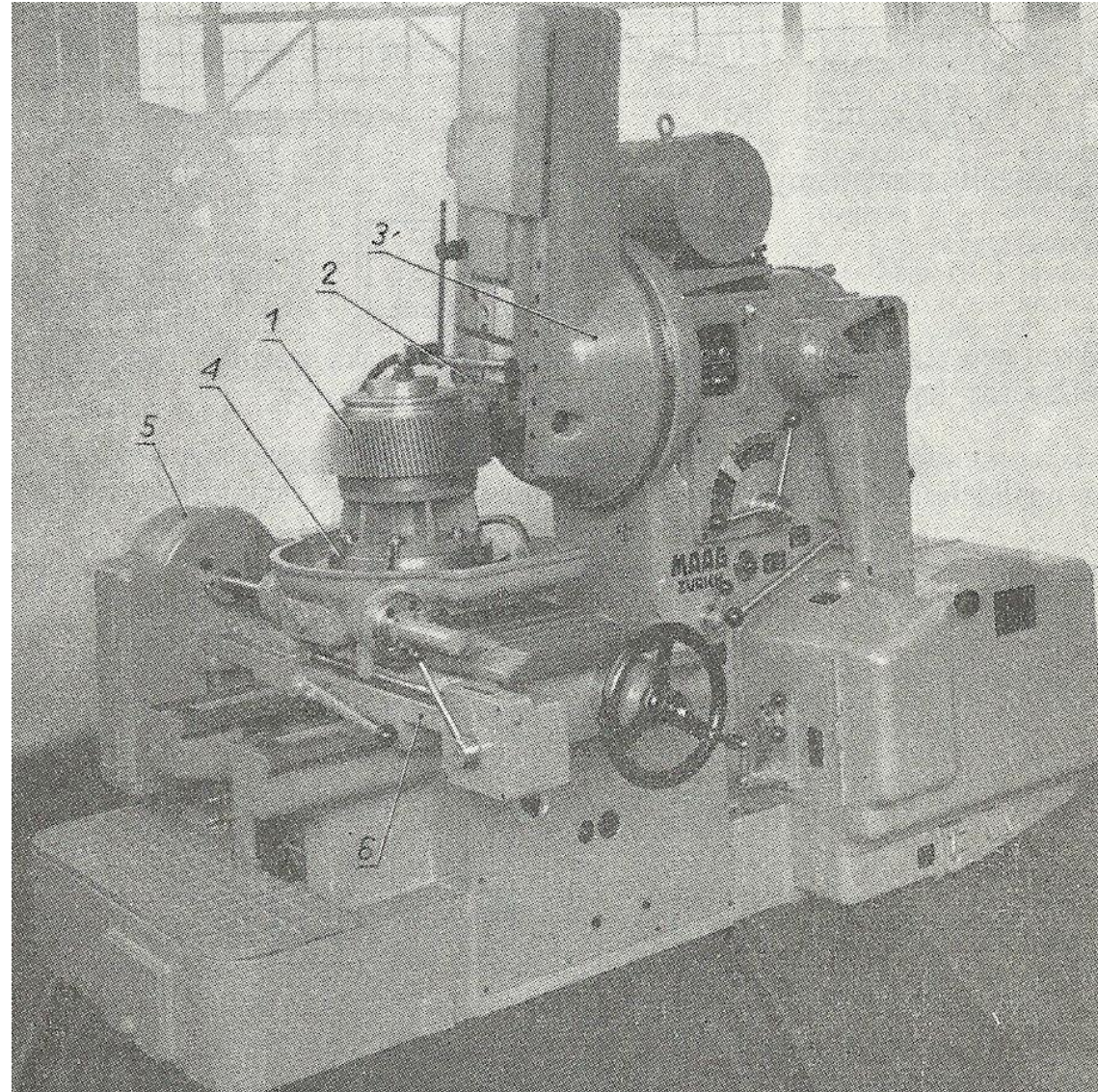
# Dłutownica Maaga

- 1 – koło obrabiane,
- 2 – narzędzie-zębatka,
- 3 – obrotnica z prowadnicami suwaka narzędziowego,
- 4 – stół obrotowy,
- 5 – osłona kół zmianowych ruchu tocznego,
- 6 – sanie poprzeczne

[Filmy – dłutowanie zębów prostych](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=RotdOA9tX5Q>

<https://www.youtube.com/watch?v=AkmoBw73nFY>



Źródło:

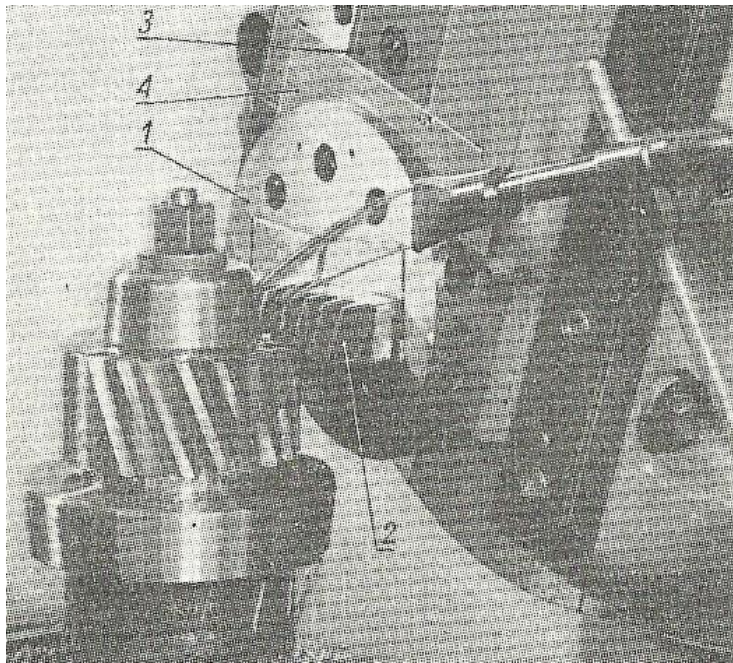
Internet

Kazimierz Ochęduszek, „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

# Frezowanie obwiedniowe wg. metody Magga zębów śrubowych

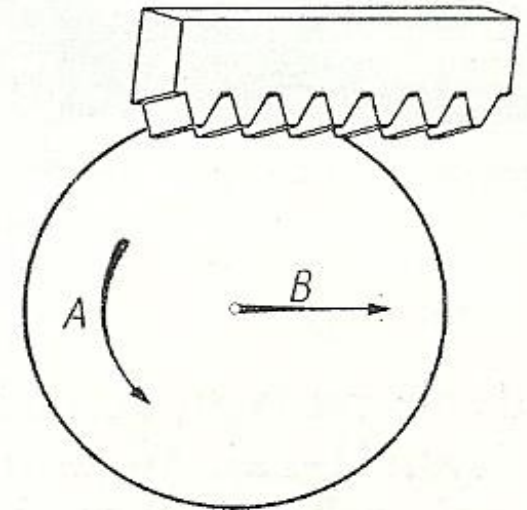
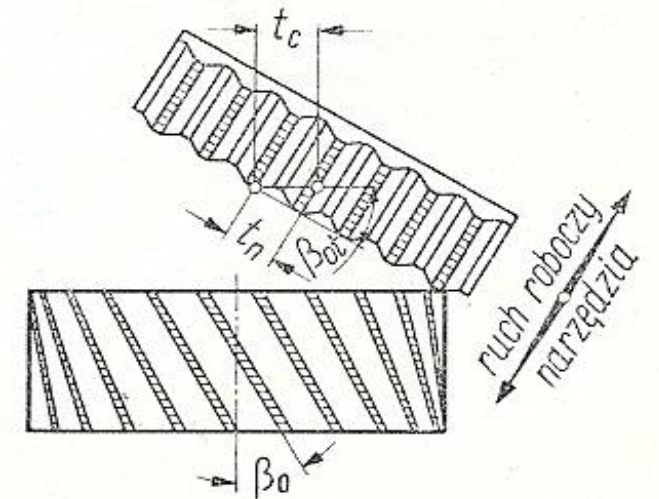
## Obróbka walcowych kół zębatych o uzębieniu śrubowym

Obróbka zębów śrubowych narzędziem odbywa się w sposób podobny jak nacinanie zębów prostych. Różnica polega na tym, że narzędzie wykonuje ruch roboczy wzdłuż linii zęba. W tym celu skręca się obrotnicę z prowadnicami o kąt pochylenia linii zęba.



### Dłutownica Maaga:

- 1 – skrętny imak nożowy,
- 2 – narzędzie-zębatka,
- 3 – suwak,
- 4 – kalpa odchylna



### Źródło:

Internet

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

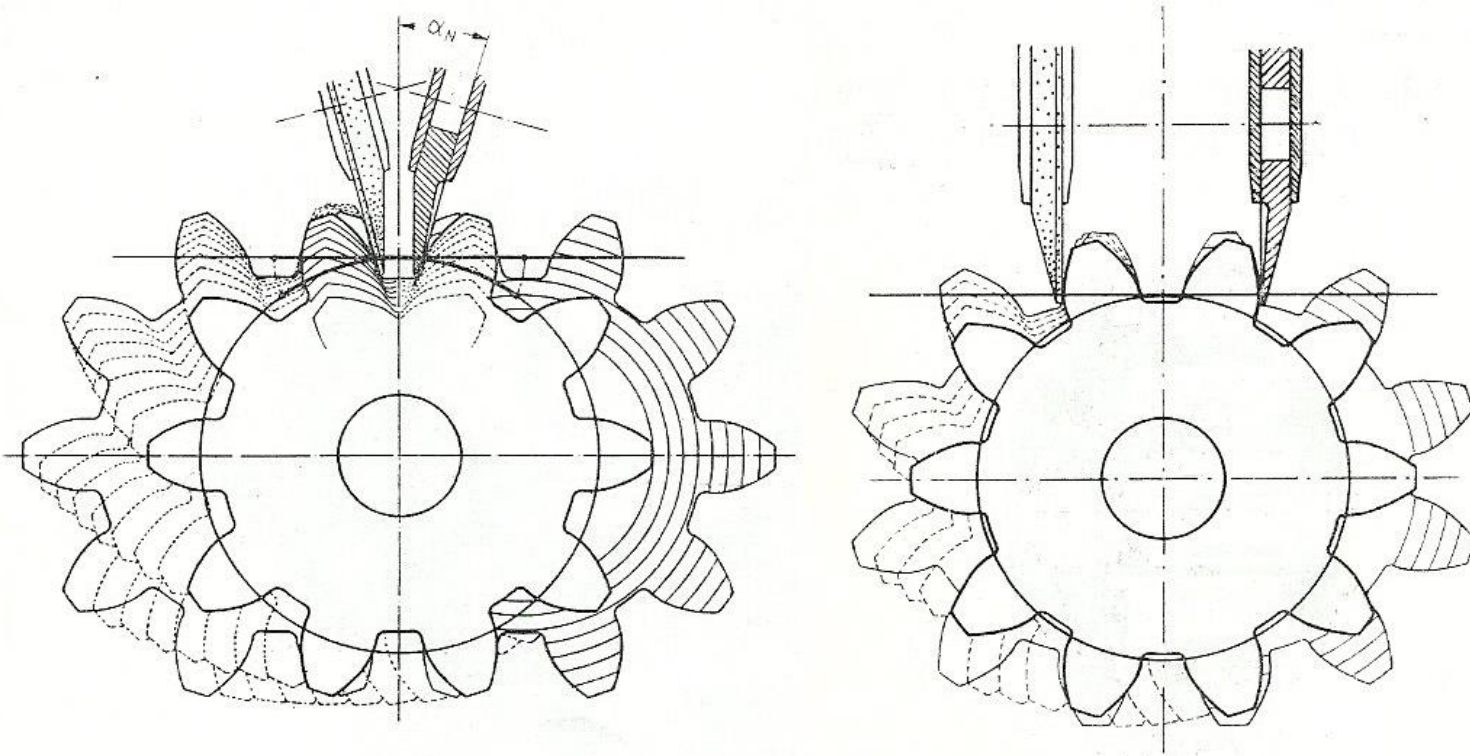
Film Dłutowanie zębów skośnych

[https://www.youtube.com/watch?v=9eD2CnemB\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=9eD2CnemB_0)

## Frezowanie obwiedniowe wg. metody Magga

### Obróbka wykańczająca kół zębatach za pomocą metody Maaga

Metoda Maaga szlifierka kształtuje uzębienie dwoma ściernicami, z których każda reprezentuje jeden bok zęba zębatki.



Film:

<https://www.youtube.com/watch?v=wwn-UMvkcl4>

Schematy odtaczania  
koła wg metody Maaga

Źródło:

Internet

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

# Szlifowanie obwiedniowe wg. metody Magga

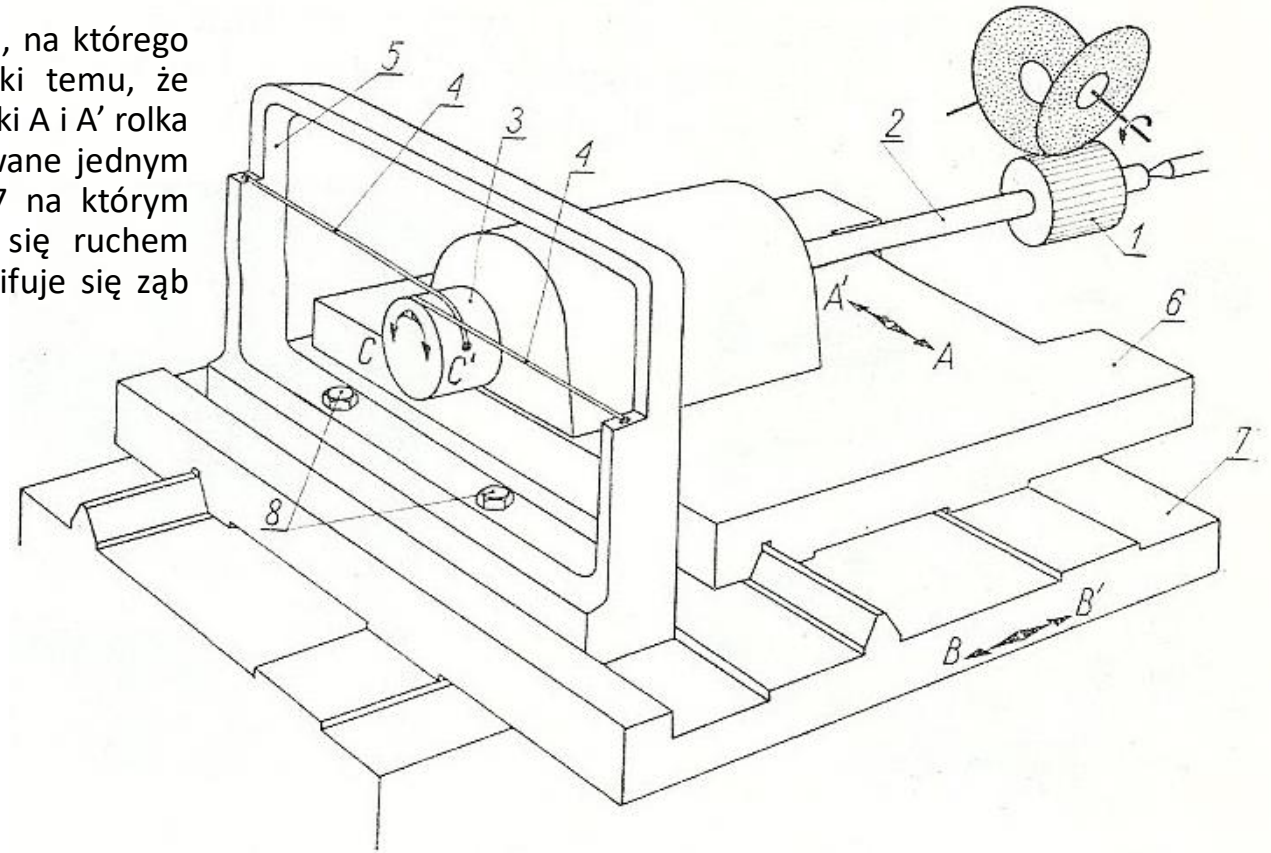
## Zasada działania

Koło 1 (osadzone na trzpieniu 2 będącym przedłużeniem wrzeciona, na którego końcu osadzona jest rolka toczna 3) wykonuje ruch toczny dzięki temu, że podczas zwrotnego ruchu poprzecznego suportu górnego 6 w kierunku A i A' rolka 3 przekręca się (C i C') wskutek tego, że napięte taśmy 4 umocowane jednym końcem do rolki 3, a drugim do nieruchomego stojaka 5. Stół 7 na którym znajdują się prowadnice dla suportu poprzecznego 6, porusza się ruchem posuwisto-zwrotnym w kierunku strzałek B i B' i w ten sposób szlifuje się ząb wzdłużnie.



Film: MAAG 30BC Gear Grinder – (1965 year)

<https://www.youtube.com/watch?v=rcZ1bT6dJZE>



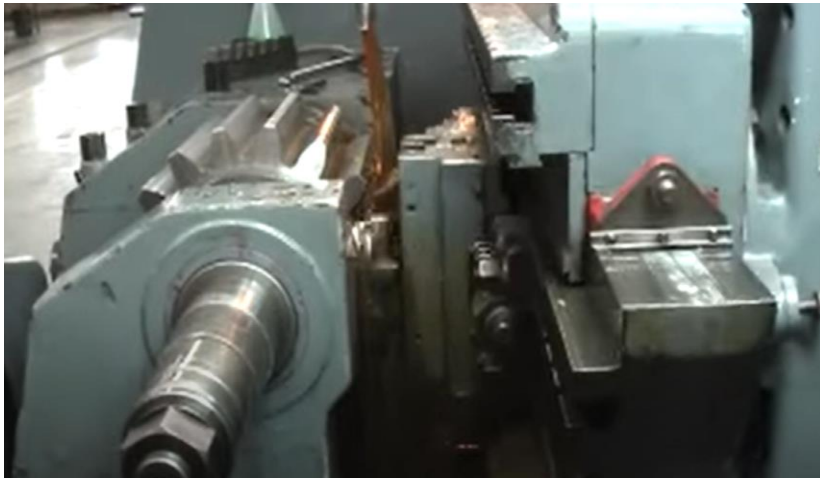
*Na podstawie:*

*Internet*

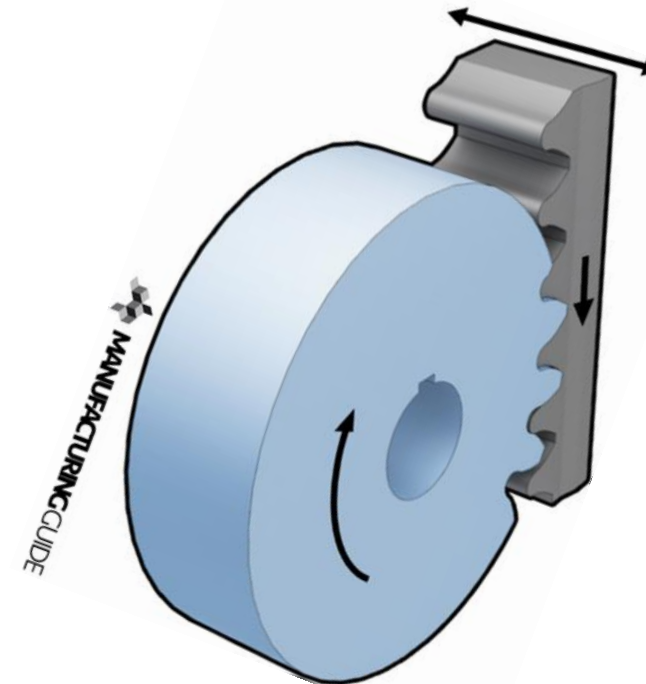
*Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

## Obróbka kół zębatach za pomocą metody Sunderlanda

- Metoda obróbki polegająca na wiórowym usuwaniu materiału przez jednoostrzowe narzędzie wykonujące ruch prostoliniowy. Struganie jest dopasowane do powierzchni płaskich a noże strugarskie budową przypominają noże wykorzystywane przy toczeniu.
- Struganie stosuje się do wykonywania otworów, krzywek uzębienia kół zębatach oraz do obróbki zgrubnej powierzchni płaskich i kształtowych.



Film: Sunderland G150 - przekładnia zębata czołowa  
<https://www.youtube.com/watch?v=pGG-C3FSPeM>



### Źródło:

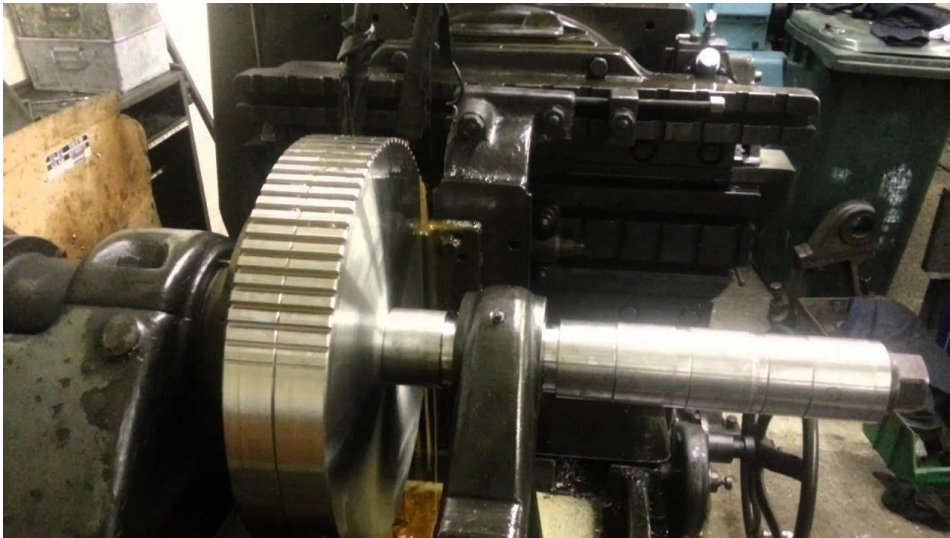
Internet – Manufacturing Gauge

Kazimierz Ochęduszko „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

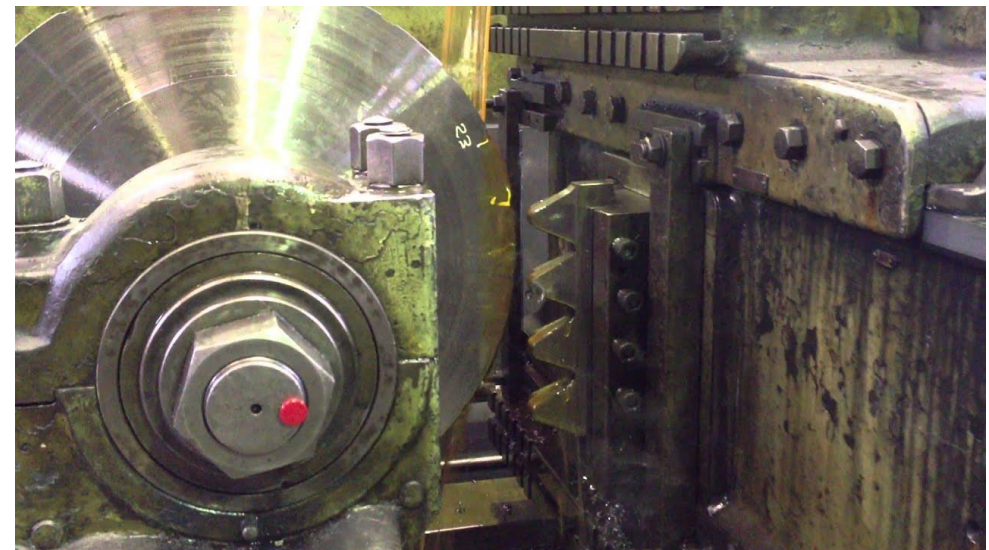
# Obróbka kół zębatach za pomocą metody Sunderlanda

Ze względu na ruch narzędzia i przedmiotu obrabianego wyróżniamy trzy rodzaje strugania:

1. wzdłużne - narzędzie i przedmiot obrabiany poruszają się w tym samym kierunku, wykonywane na strugarkach wzdłużnych,
2. poprzeczne - narzędzie wykonuje ruch roboczy prostopadle do poruszającego się przedmiotu obrabianego, wykonywane na strugarkach poprzecznych,
3. pionowe - przedmiot porusza się jak w struganiu poprzecznym a narzędzie wykonuje ruch roboczy w kierunku pionowym



Film: Sunderland 16 gear planer  
<https://www.youtube.com/watch?v=RtSGsvA9byo>



Film: Sunderland 27SDH Gear Planer  
<https://www.youtube.com/watch?v=W4XHs5-KMWg>

Źródło:

Internet

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

## Obróbka kół zębatach za pomocą metody Sunderlanda

Obwiedniowa metoda wykonywania kół zębatach poprzez nacinanie zębów w procesie strugania. W metodzie tej narzędzie oprócz ruchu roboczego wykonuje ruch przesuwowy, natomiast nacinane koło tylko ruch obrotowy. Widać, zatem że ruch toczny rozłożony jest na narzędzie i nacinane koło.

Podobnie jak w metodzie Maaga możemy wyróżnić tutaj trzy etapy:

- 1) rozpoczęcie nacinania zęba
- 2) proces samego nacinania
- 3) po cofnięciu wzdłużnym koła nacinanego (w metodzie Maaga) lub zębataki (w metodzie Sunderlanda).

### Wady:

1. - mała wydajność, wynikająca z istnienia ruchu jałowego,
2. - ograniczenia prędkości skrawania,
3. - struganie stosuje się w produkcji jednostkowej i małoseryjnej,
4. - w przemyśle na większą skalę ze strugarek się nie korzysta ponieważ zostały one zastąpione frezarkami.

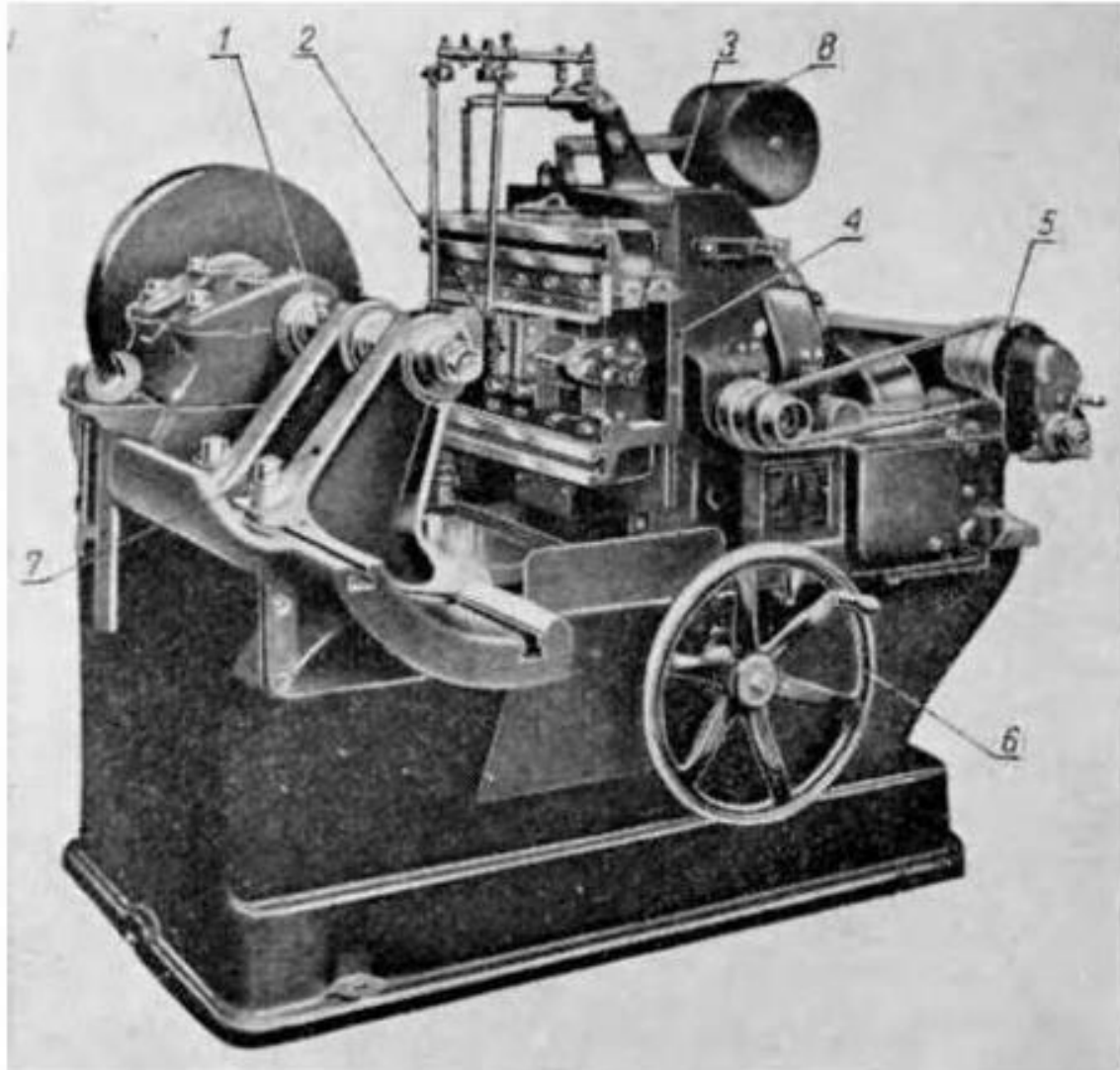
Na podstawie:

Internet

Kazimierz Ochęduszko „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

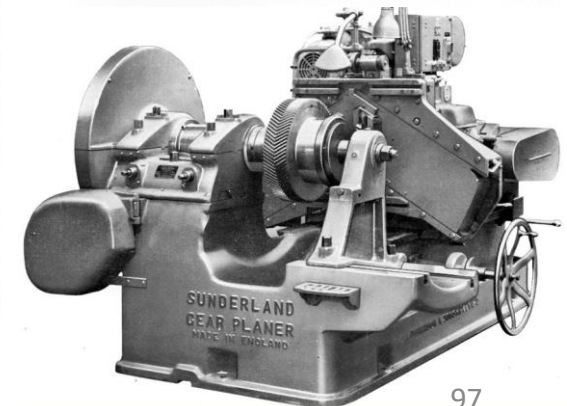
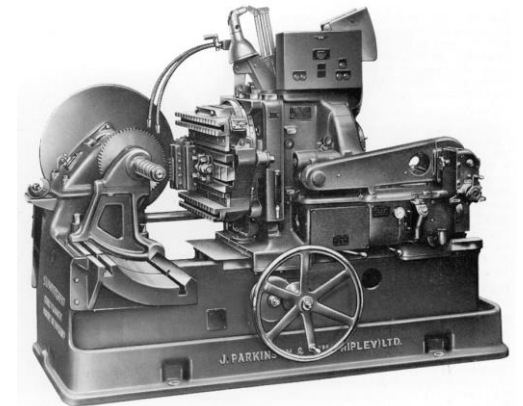
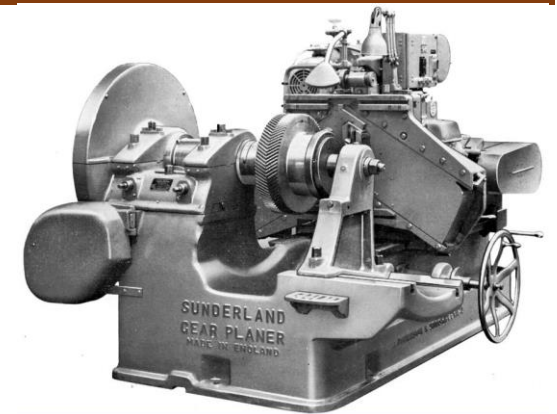


# Obróbka kół zębatach za pomocą metody Sunderlanda



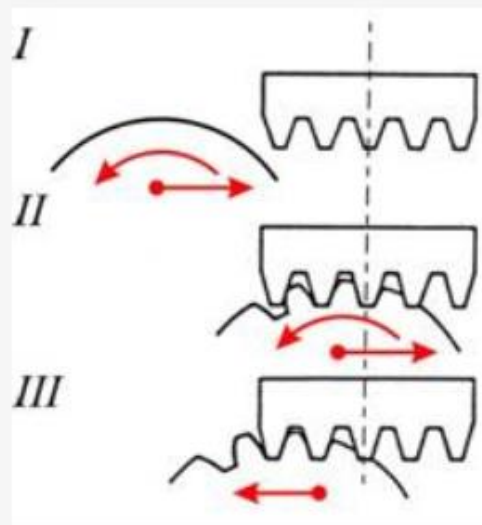
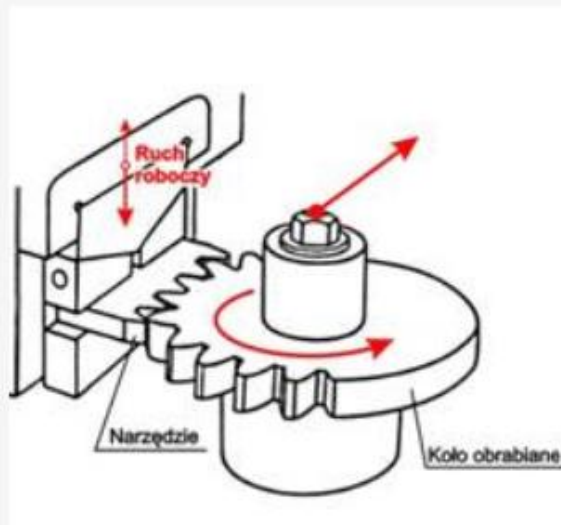
Na podstawie:  
Internet -  
<http://www.lathes.co.uk/sunderland/>  
Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate,  
wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT,  
Warszawa 1955

Rys. II-20.  
Strugarka Sunderlanda do nacinania zębów w walcowym kole zębatach: 1 – wrzeciono robocze (przedmiotowe), 2 – narzędzie, 3 – sanie (suwak) narzędziowe, 4 – prowadnice sań narzędziowych z obrotnicą, 5 – napęd posuwu, 6 – koło ręczne przesuwające stojak narzędziowy w kierunku promieniowym (ku i od koła), 7 – wspornik (okular) wrzeciona przedmiotowego, 8 – przeciwwaga



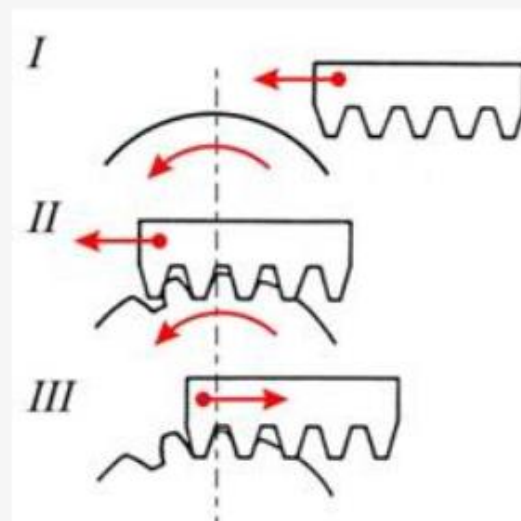
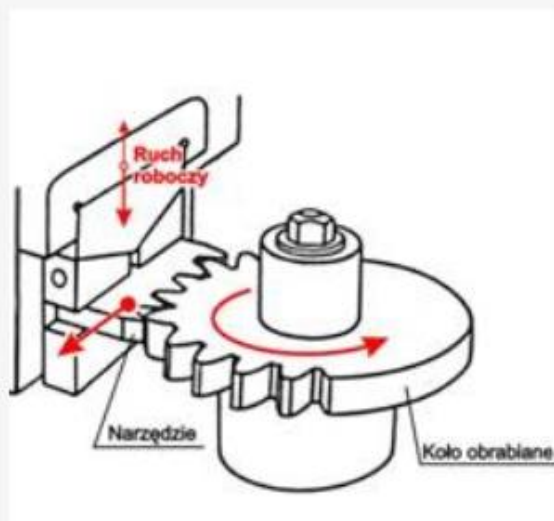
# Porównanie metod obróbki kół zębatach wg. metody Magga i Sunderlanda

Metoda  
Maaga



- I. przed rozpoczęciem nacinania,
- II. podczas nacinania,
- II. po cofnięciu wzdłużnym koła nacinanego

Metoda  
Sunderlanda



- I. przed rozpoczęciem nacinania,
- II. podczas nacinania,
- II. po cofnięciu wzdłużnym narzędzia w kształcie zębatki

## Różnice między metodą Maaga i Sunderlanda

Narzędzia w procesie Maaga i Sunderlanda mają postać zębalki. Powoduje to, że metody te pozwalają na obróbkę uzębień zewnętrznych kół walcowych o zębach prostych i śrubowych.

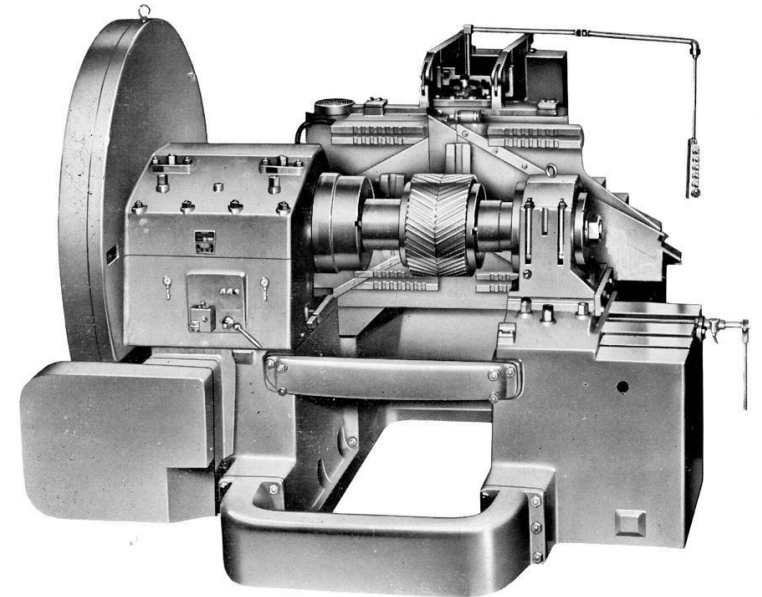
W trakcie obróbki koło nacinane zazębia się z narzędziem zębatkowym. Jednocześnie narzędzie wykonuje ruch postępowo-zwrotny. Obróbka następuje tylko w czasie ruchu w dół. Po nim następuje ruch jałowy do góry, w czasie którego narzędzie jest odsunięte od obrabianego koła, dzięki odchyleniu imaka nożowego, w celu zapobiegnięcia uszkodzeniom powierzchni obrabianych.

Ruch odtaczania następuje tylko w czasie ruchu jałowego.

Ruch odtaczania składa się z:

ruchu obrotowego koła obrabianego,

- ruchu posuwowego:
  - obrabianego koła – w metodzie Maaga,
  - suportu z narzędziem – w metodzie Sunderlanda.



**Sunderland Model nr 35S** tylko do kół zębatach czołowych; nr 35DH tylko dla przekładni z podwójną helisą i 36SDH, która może przecinać zarówno przekładnie czołowe, jak i zęby strzałkowe

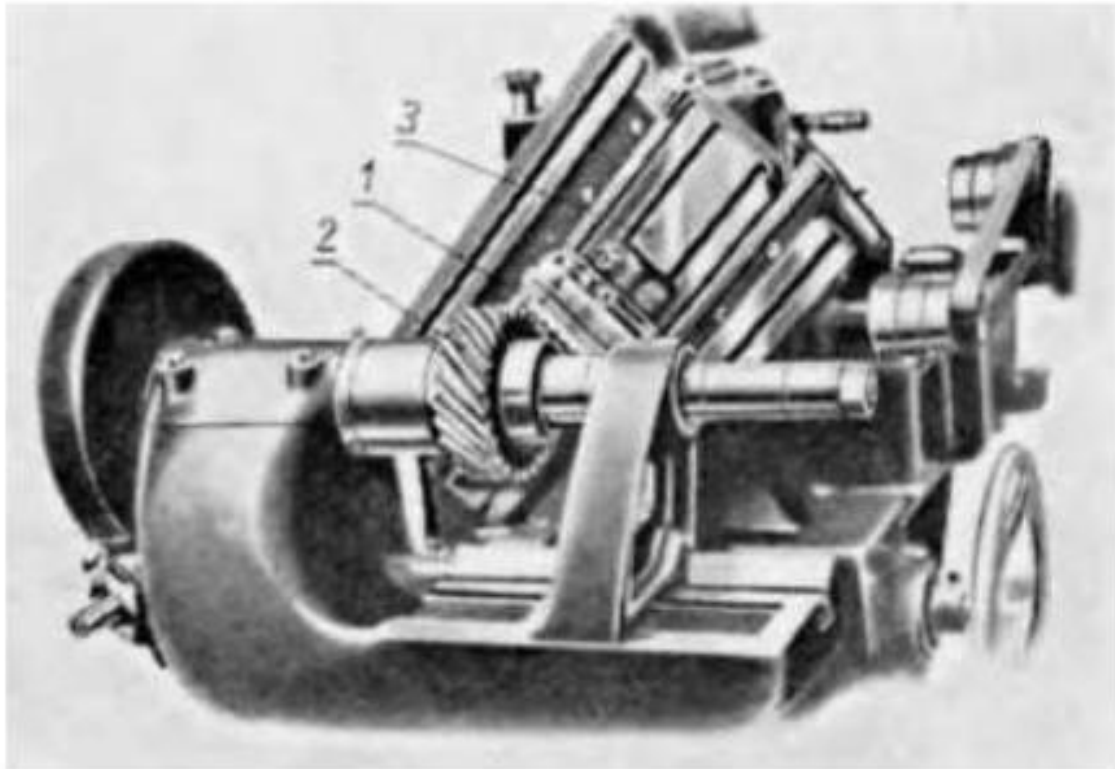
*Na podstawie:*

Kazimierz Ochędusko „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

<http://www.lathes.co.uk/sunderland/>

## Obróbka kół zębatach za pomocą metody Sunderlanda

Zasada obróbki walcowych kół o uzębieniu śrubowym na strugarce Sunderlanda jest taka sama jak uzębienie prostego. Wystarczy jedynie skrócić obrotnicę z prowadnicami sań narzędziowych.



Film:

<https://www.youtube.com/watch?v=dSzHOAvy-Ks>

Rys. II-27.

Struganie zębów śrubowych na strugarce Sunderlanda: 1 — narzędzie-zębatkowe, 2 — koło obrabiane z zębami śrubowymi, 3 — suwak narzędziowy

*Na podstawie:*

*Kazimierz Ochęduszek „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

## Obróbka kół zębatach za pomocą frezów – listw zębatach Sunderland i Maag

- Narzędziem wykorzystywanym w tej metodzie nóż strugarski, podobny do noża używanego w metodzie Maaga. Posiada on kształt zębaki. Metodę Sunderlanda używa się głównie do wykonywania kół zębatach o zębach daszkowych jak i bez rowka rozdzielającego.
- Długość narzędzia zębatego powinna być nie mniejsza od obwodu obrabianego koła. W rzeczywistości stosuje się narzędzia krótsze. Z tego powodu nacinanie zębów odbywa się z przerwami.
- frezy zębate Sunderland i Maag. Przecinarki te są wytwarzane przy użyciu wysokiej jakości surowca HSS, a także z wykorzystaniem najnowocześniejszych urządzeń. Frezy do MAAG, Sunderland



*Na podstawie:*

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

<https://capitalgeartools.com/gear-cutting-tools/>

## Obróbka kół zębatych za pomocą metody Sunderlanda

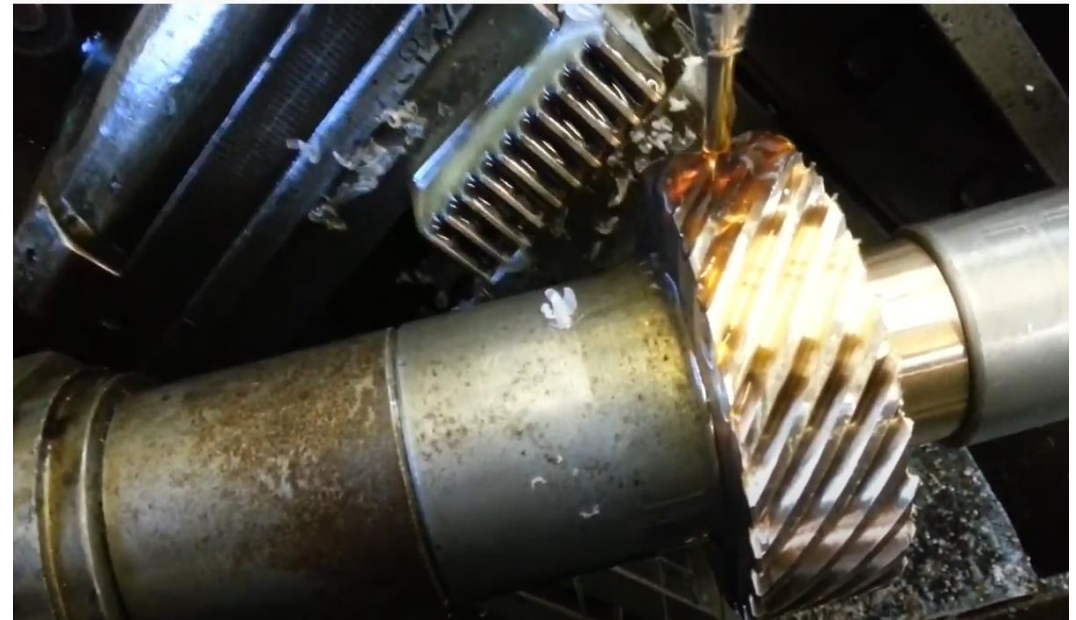
Po przesunięciu się koła obrabianego względem narzędzia o jedną podziałkę koło (w metodzie Maaga) lub zębatka (w metodzie Sunderlanda) cofa się o długość równą drodze przesunięcia, a koło nie obraca się w tym czasie. Taki zabieg powoduje, że koło obrabiane ponownie będzie się obtaczało po zębatce „przedłużonej” o jedną podziałkę.



Film: Maag SH450/500S Heavy Duty Gear Cutting Machine.  
<https://www.youtube.com/watch?v=pVzKwm6jQJw>

*Na podstawie:*

*Kazimierz Ochęduszko „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*



Film: Strugarka Sunderland nacinająca spiralne koło ślimakowe  
<https://www.youtube.com/watch?v=aRHquJwH6nQ>

# Szlifowanie zębów

Przy szlifowaniu wg metody Nilesa lub Reishauera (Matrix) skok suwaka narzędziowego może być nieznacznie większy od długości zęba.



Film: REISHAUER ZB GEAR GRINDER

<https://www.youtube.com/watch?v=RLmywAAHHeI>



Fil: NILES

<https://www.youtube.com/watch?v=xqilTws8Lgg>

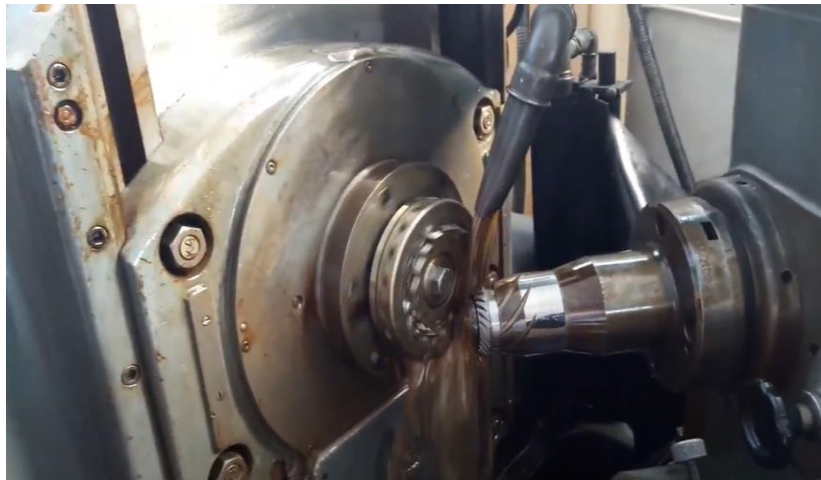
*Na podstawie:*

*Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

# Obróbka kół zębatach stożkowych za pomocą frezowanie metodami Cravena i Fiat-Mammano oraz Oerlikon

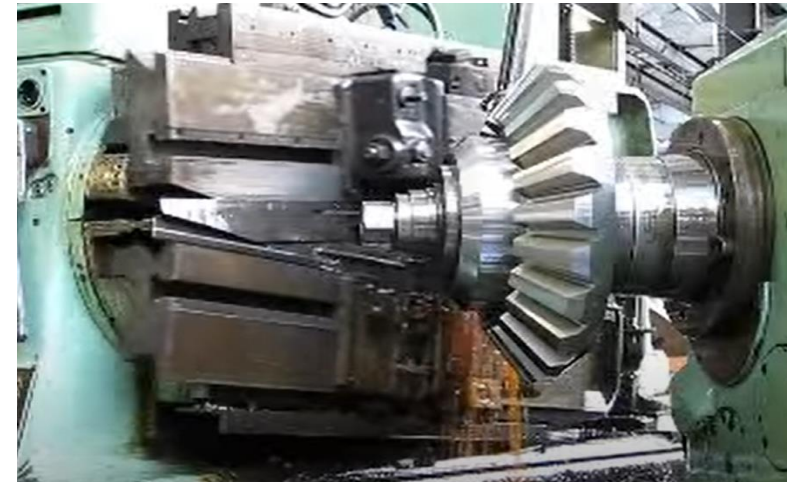
## Fiat-Mammano i Oerlikon

- Jest to jedna z metod obróbki stożkowych kół zębatach o zębach łukowych.
- Metoda ta wykazuje duże podobieństwo w zasadzie działania i układzie kinematycznym do metody Oerlikon.



Film: Oerlikon Spiromatic No 2

<https://www.youtube.com/watch?v=tsf53b4Hiuw>



Film: Oerlikon K4A Straight Bevel Gear Planer.

<https://www.youtube.com/watch?v=Adi0GgUc2Z4>

*Na podstawie:*

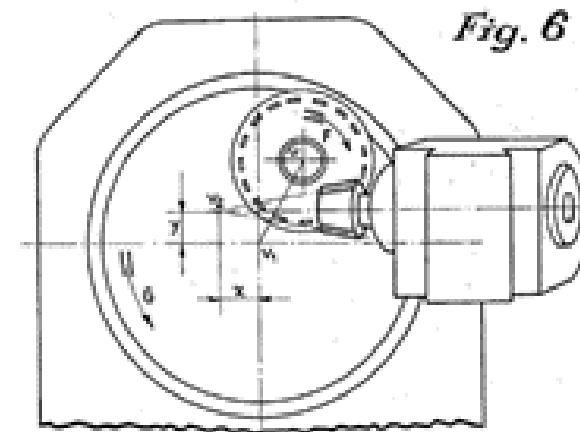
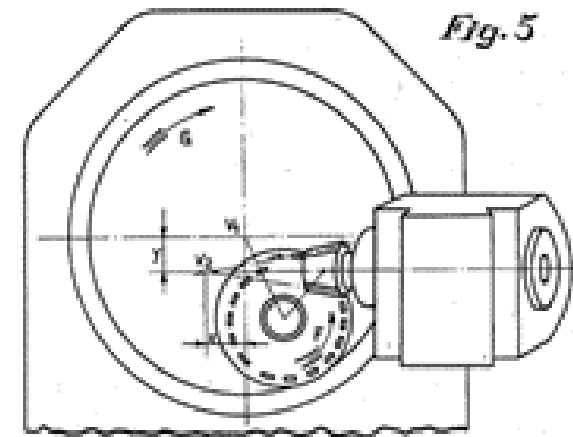
*Kazimierz Ochęduszek „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*



## Fiat-Mammano

Przy frezowaniu **Oerlikon** w głowicy frezowanej, znajdują zastosowanie od 1 do 7 grup narzędzi, a w metodzie **Fiat-Mammano** noże stanowią jedną spiralę o większej ilości początkowo rosnących (przeciągniętych) noży, a następnie o jednakowej wysokości nożach, najpierw o ostrzach wewnętrznych, a potem o ostrzach zewnętrznych. Ostatni nóż o ostrzu wewnętrznym i ostatni nóż o ostrzu zewnętrznym znajdują się na wspólnej średnicy i są ostrzami kalibrującymi.

Druga różnica między tymi metodami jest taka, że w metodzie **Oerlikon** następuje wcinanie się (zbliżanie obrabianego koła ku narzędziu), a dopiero po wgłębieniu na odpowiednią wielkość\*, następuje już tylko powolny ruch odtaczający, natomiast w metodzie **Fiat-Mammano** ruch odtaczający rozpoczyna się w położeniu I według rysunku\*.



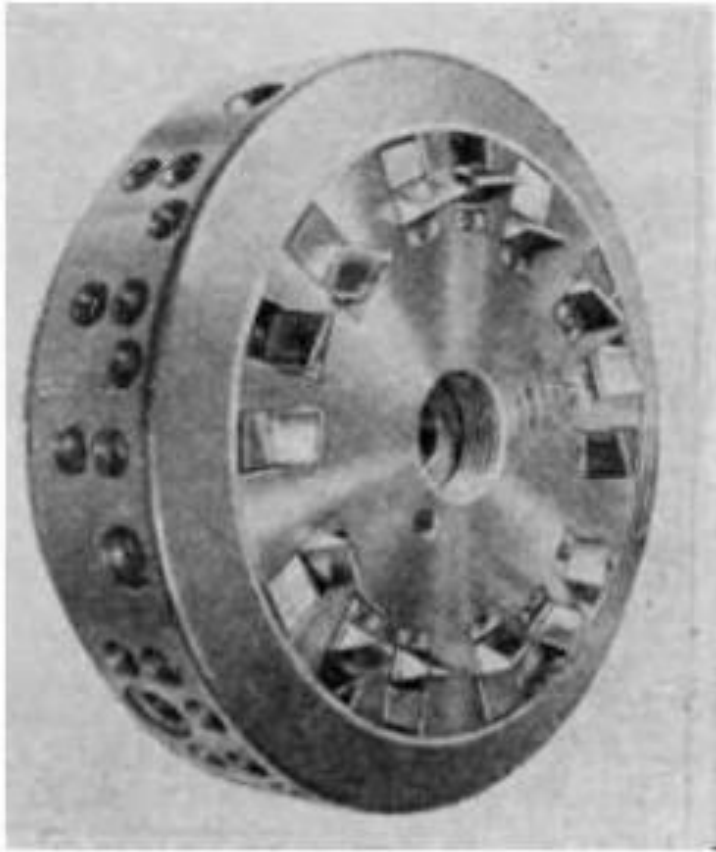
Inventors  
Arturo Ciallie  
Benedetto Mammano  
By *Robert E. Burns*  
Attorney

Na podstawie:

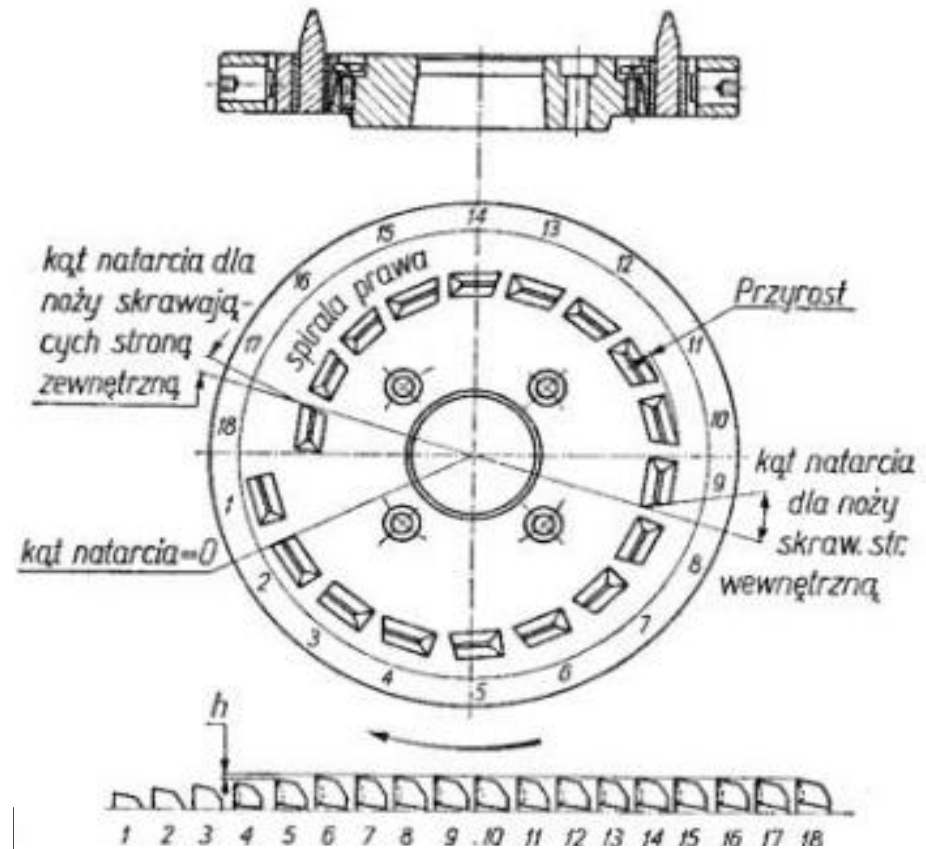
Kazimierz Ochęduszek „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

<https://patentimages.storage.googleapis.com/a3/91/60/c1651876fdf757/US2783686-drawings-page-3.png>

## Obróbka kół zębanych za pomocą frezowanie metodami Cravena i Fiat-Mammano oraz Oerlikon



Rys. VIII-73. Głowica frezowa 5-krotna (złożona z 5 grup noży do metody „Spiromatic” wg f. Oerlikon)



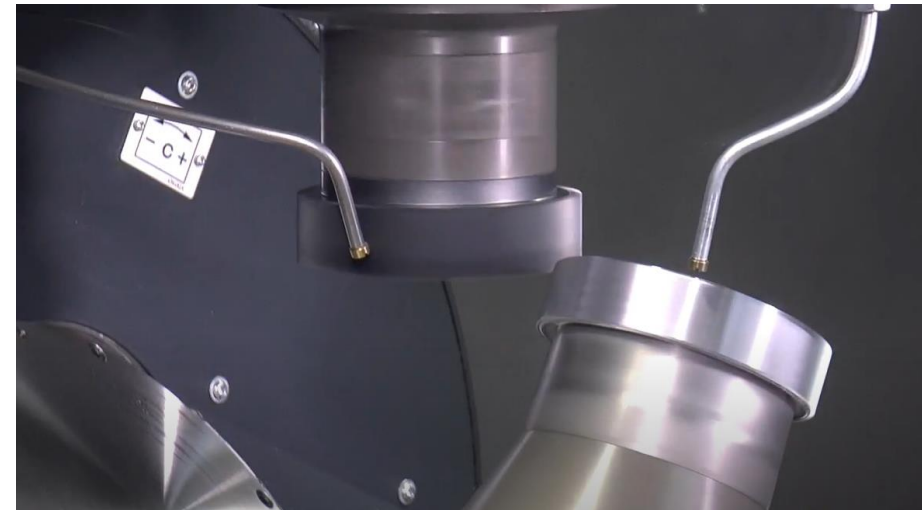
Rys. VIII-86. Głowica nożowa Fiat-Mammano

# Fiat-Mammano

- W metodzie Oerlikon czas wykonania znacznie krótszy niż w metodzie Fiat-Mammano.
- Ostrzenie, a następnie ustawianie noży w głowicy Fiat-Mammano jest kłopotliwe i długotrwałe.
- Frezowanie metodą Fiat-Mammano jest coraz rzadziej stosowane.



Film: Spiral Bevel Gear for Volvo Dumper on Oerlikon SKM2  
<https://www.youtube.com/watch?v=0imisspca54>



Film: Oerlikon Bevel Gear Cutting Machine C 30 Power Skiving  
[https://www.youtube.com/watch?v=k26JSFxl\\_U](https://www.youtube.com/watch?v=k26JSFxl_U)

*Na podstawie:*

*Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

## Koła stożkowe – ogólne informacje

W kołach stożkowych zęby są nacięte na pobocznicę stożka, a osie obrotu kół tworzą między sobą kąt  $\Sigma$ . Stąd przekładnie z kołami stożkowymi noszą niekiedy nazwę przekładni kątowych. Najczęściej kąt między osiami kół wynosi  $\Sigma=90^\circ$ .



Rodzaje uzębień kół stożkowych ze względu na kształt linii zębów:

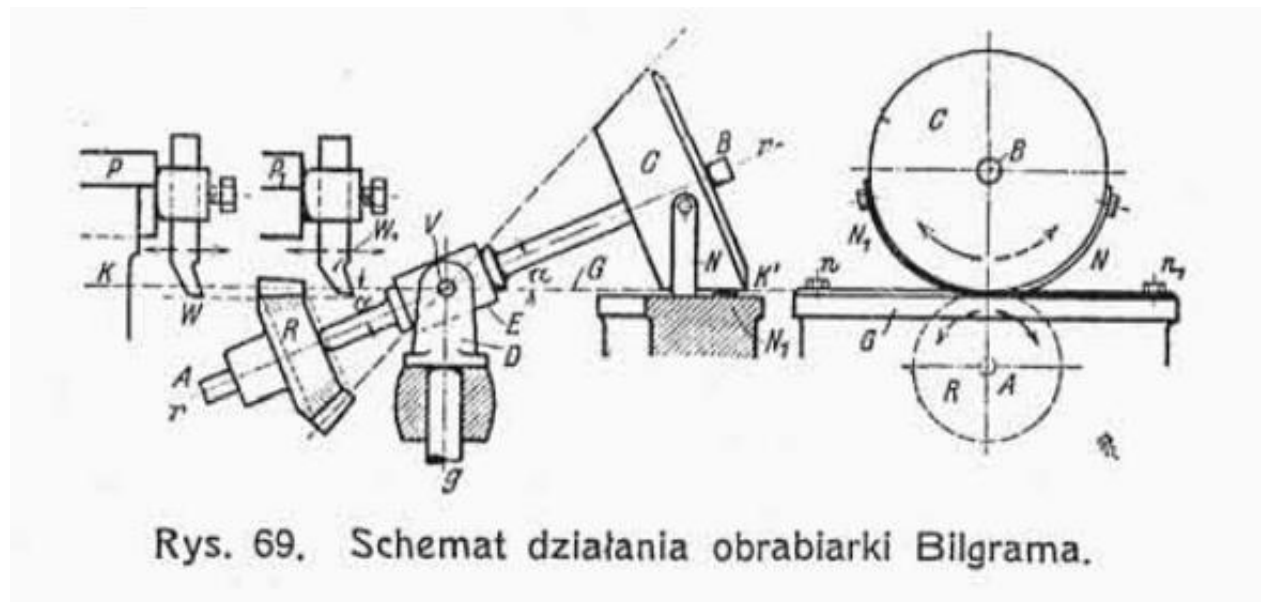
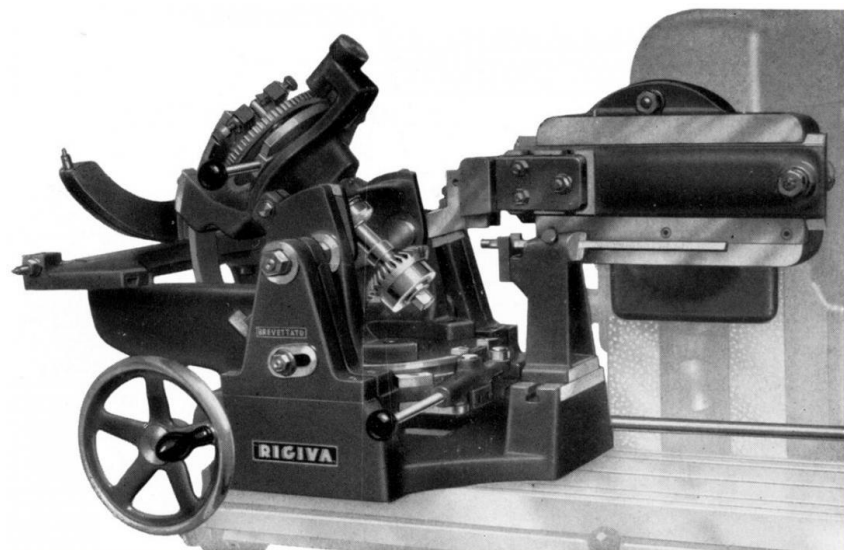
- a) koła o zębach prostych,
- b) koła o zębach skośnych,
- c) koła o zębach „nie prostoliniowych”.

*Na podstawie:*

*Kazimierz Ochędusko „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

# Obróbka stożkowych kół zębatych – metoda Bilgrama i Reineckera

## Obróbka kół stożkowych o zębach skośnych metodą Bilgrama



Film: obróbka na obrabiarce Reinecker-a

<https://www.youtube.com/watch?v=CpMDZYdFfBU>

Na podstawie:

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

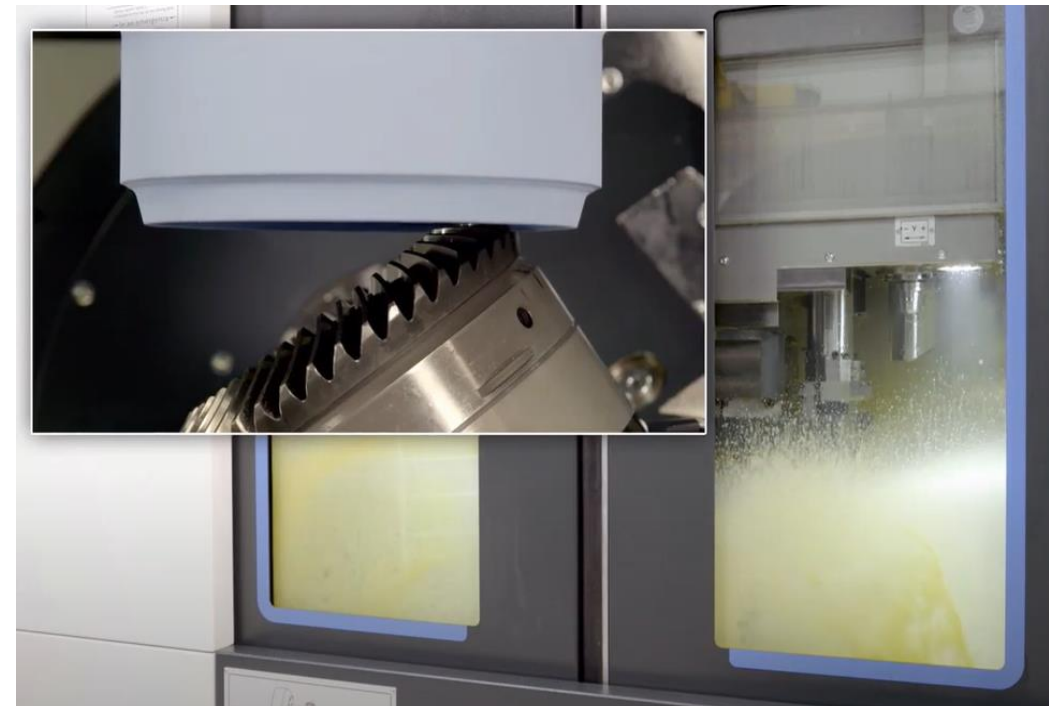
<https://www.practicalmachinist.com/vb/antique-machinery-and-history/bilgram-bevel-gear-attachment-342628/>

<http://www.lathes.co.uk/rivettearly608/>

## Wykonywanie kół zębatych metodą Klingelberga



Film: KLINGELNBERG Drive Technology  
[https://www.youtube.com/watch?v=K5\\_ivdkRXp0](https://www.youtube.com/watch?v=K5_ivdkRXp0)



Film: G 30 Kegelradschleifen mit 3M™ Cubitron™ II  
<https://www.youtube.com/watch?v=hvYA-RaWNEI>

*Na podstawie:  
Internet  
Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

## Wykonywanie kół zębatych metodą Gleasona



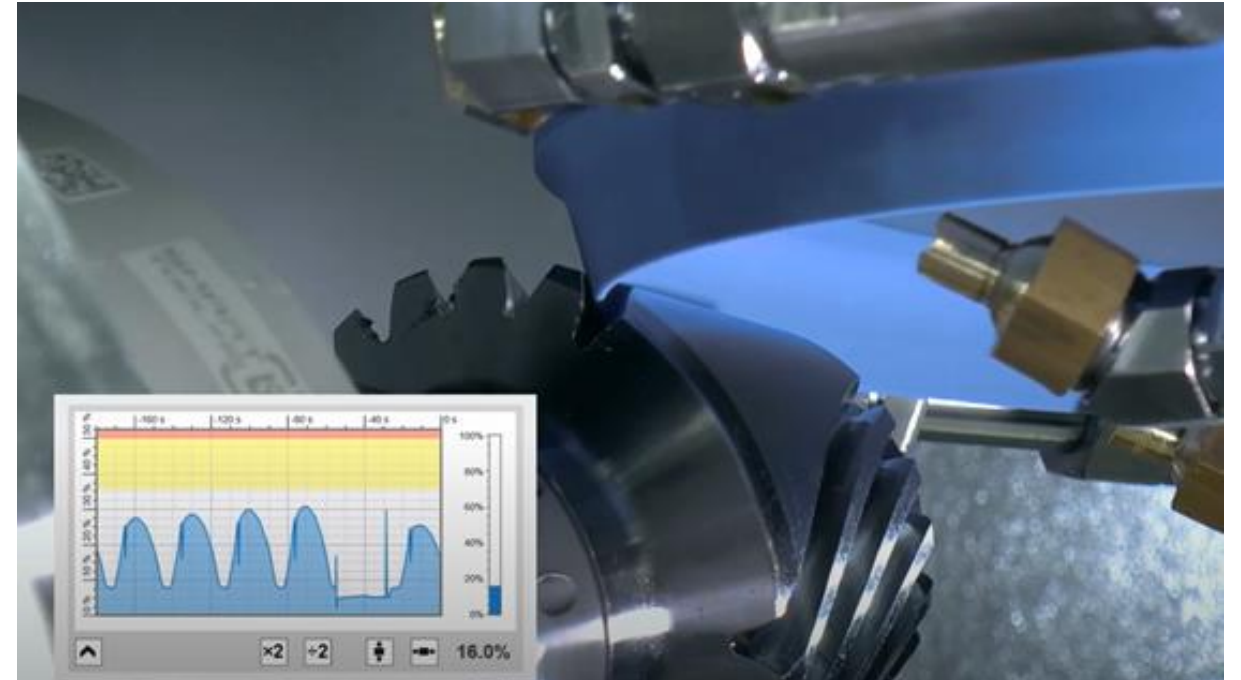
Film: GLEASON 114 HYPOID GEAR CUTTING SPIRAL BEVEL  
<https://www.youtube.com/watch?v=gj2szHk0OCU>



Film: Gleason Phoenix 280C and 280CX - Bevel Gear Cutting Machines  
<https://www.youtube.com/watch?v=GQPuHKiR7cY>

Na podstawie:  
Internet  
Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

## Wykonywanie kół zębatych metodą Oerlikona



Film: Maksan TMC Gear Oerlikon Spiral Bevel 1.mp4  
<https://www.youtube.com/watch?v=83RTVdXggx4>

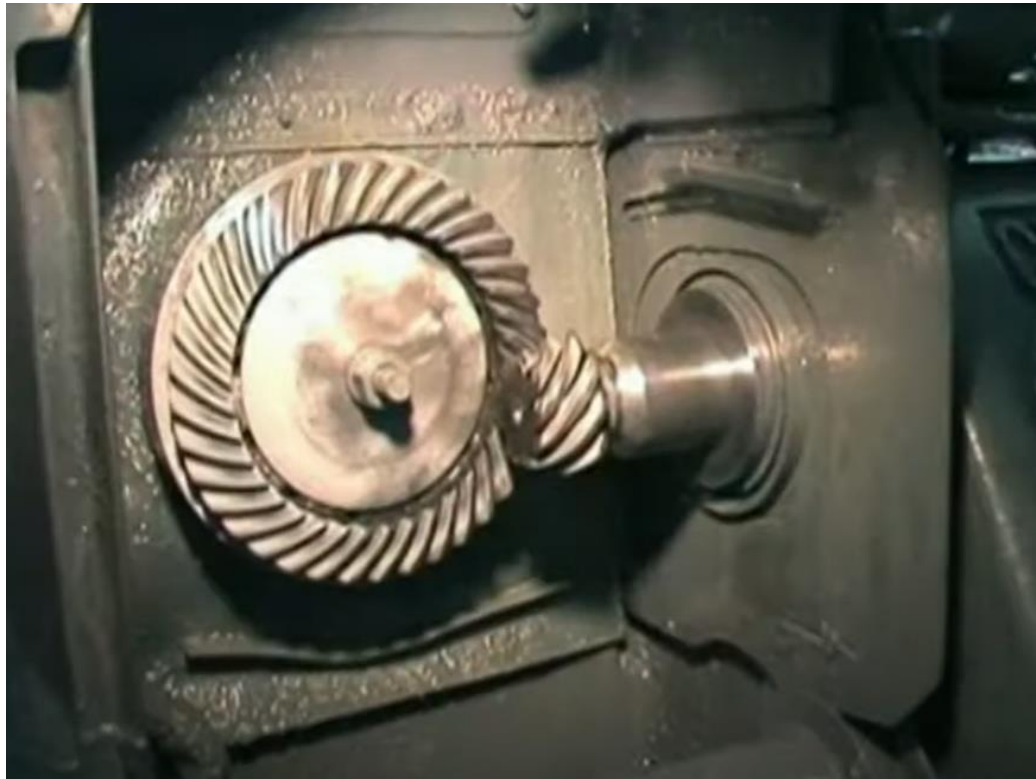
Na podstawie:  
Internet

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

Film: G 35 - OERLIKON Bevel Gear Grinding Machine  
<https://www.youtube.com/watch?v=pWR8KHvKksM>



## Docieranie zębów



Film: Diff lapping 2 of 3 - Lapping Machine  
<https://www.youtube.com/watch?v=Udfdlw6H5Zg>

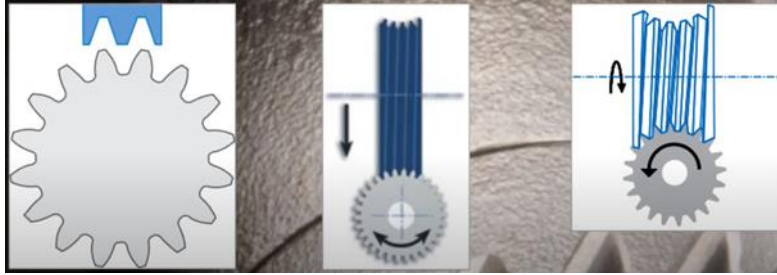


Film: Lapping of spiral bevel gears  
<https://www.youtube.com/watch?v=T3ZbNn5VLq8>

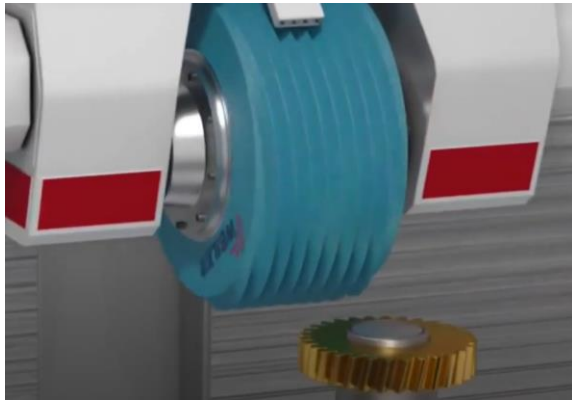
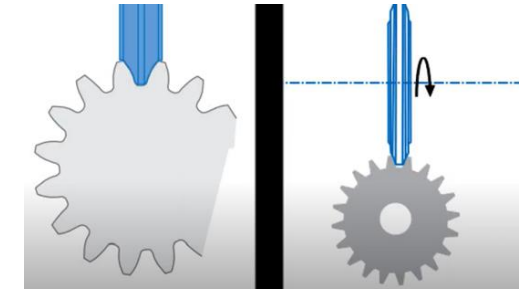
*Na podstawie:  
Internet  
Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

# Obróbka wykańczająca kół zębatach

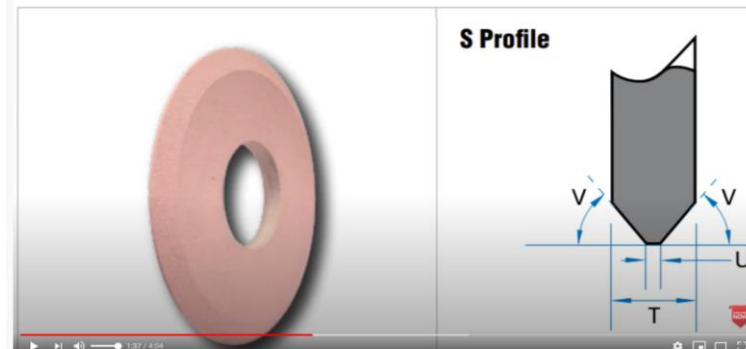
LARGE CONTACT AREA



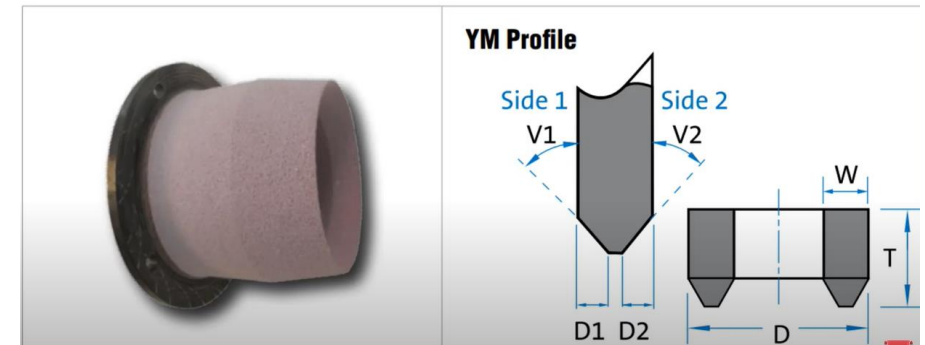
SMALL CONTACT AREA



STRAIGHT WHEEL FOR PROFILE GRINDING



CUP WHEEL FOR BEVEL GRINDING



[Film – szlifowanie zębów](#)

[https://www.youtube.com/watch?v=UeTLNSKpm\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=UeTLNSKpm_s)

Na podstawie:

Internet

Kazimierz Ochęduszek „Koła zębata, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955

# Obróbka koła ślimakowego

*Na podstawie:*

*Internet*

*Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

# Obróbka kół ślimakowych

W zasadzie obróbkę kół ślimakowych przeprowadza się na frezarkach obwodniowych, w pewnych wypadkach (zastępczo) można jednak obrabiać na frezarce uniwersalnej.

*Na podstawie:*

*Internet*

*Kazimierz Ochęduszek „Koła zębate, wykonanie i montaż”, Tom 2, PWT, Warszawa 1955*

# Obróbka na frezarce uniwersalnej

Obróbkę kół ślimakowych na frezarce uniwersalnej przeprowadza się w dwóch przejściach: zgrubnym i wykańczającym.

Obróbkę zgrubną dokonuje się przy użyciu freza krążkowego oraz podzielnicy. Obrabiane koło ślimakowe mocuje się na trzpieniu między kłami podzielnicy i konika, przy czym trzpień jest zabierany za pomocą zabieraka. Stół frezarki musi być skrzyślony o kąt 7 wzniosu linii śrubowej ślimaka, z którym koło ślimakowe ma współpracować.

## Obróbka kół ślimakowych

Frez krążkowy (który może mieć zarys trapezowy o kącie jednostronnym równym kątowi zarysu danej przekładni ślimakowej) powinien mieć promień większy od promienia ślimaka o wielkość luzu wierzchołkowego. Po ustawieniu freza symetrycznie względem czół koła uruchamia się pionowy posuw, przez co wgłębia się frez w koło aż osiągnie głębokość odpowiadającą głębokości wrębu, po czym opuszcza się stół i dokonuje podziału za pomocą podzielnicy. Frez użyty do tego wstępnego frezowania powinien mieć zęby cieńsze niż szerokość wrębu w celu pozostawienia zapasu na wygładzenie.

# Obróbka na frezarce obwiedniowej

Frezowanie zębów koła ślimakowego na frezarce obwiedniowej może odbywać się wg dwóch metod: metodą promieniową i mewałą styczną. Frezowanie jest przeprowadzane za pomocą freza ślimakowego. Nadmienić należy, że frez ślimakowy do obróbki kół ślimakowych różni się pod względem konstrukcji od freza ślimakowego używanego do obróbki walcowych kół zębatach. Różnica konstrukcyjna polega na tym, że a) podziałka (będąca wielokrotnością liczby  $n$ ) jest odmierzana we frezie ślimakowym, — do obróbki ślimacznicy — wzdłuż osi freza, — do obróbki walcowych kół zębatach — prostopadle do zwoju, b) wymiary średnicowe we frezie ślimakowym — do obróbki ślimacznicy są ściśle związane z wymiarami ślimaka, z którym ma współpracować obrabiana tym frezem ślimacznica, — do obróbki walcowych kół zębatach średnica freza nie ma na ogół związku z wymiarami średnicowymi obrabianego koła, a raczej z wielkością zęba (modułem). Różnica między wymiarami freza ślimakowego do obróbki ślimacznicy i wymiarami ślimaka (z którym obrabiana ślimacznica ma współpracować) polega na: — nieco większej średnicy wierzchołkowej, gdyż frez musi obrobić ślimacznice do dna wrębów, a więc musi mieć zęby wyższe o luz wierzchołkowy od zębów ślimaka, — nieco grubsze zęby o ok.  $1/2$  luzu międzyrębny, jaki przewidział konstruktor w celu zapewnienia poprawnej współpracy przekładni ślimakowej. 2) Metoda promieniowa a) Uwagi ogólne. — Frez i koło ślimakowe obracają się dokładnie jak ślimak i koło ślimakowe w przekładni ślimakowej. Ruchy te są ze sobą związane za pomocą kół zmianowych. Ponieważ narzędzie nie może wyfrezować od razu wrębów na pełną głębokość, przeto ustawia się najpierw oś koła ślimakowego do osi freza w odległości większej od odległości osi ślimaka współpracującego z tym kołem ślimakowym, po czym stopniowo zmniejsza się odległość przez przesuwanie nacinanego koła ku frezowi w kierunku promieniowym (skąd pochodzi nazwa tej metody). Do tego celu stosuje się odpowiednie mechanizmy.

# Metoda styczna

Gdy narzędzie zostanie ustawione od razu na właściwą danej przekładni ślimakowej odległość osi i będzie wprowadzane stycznie do obwodu koła ślimakowego, wówczas nie wystąpi ścinanie zębów u wierzchołka. W tym przypadku narzędzie musi być przesunięte o taką wielkość, aby zęby koła ślimakowego były obrobione na całej wysokości z obydwóch stron

Przy tej metodzie używa się

- a) albo freza ślimakowego o nakroju stożkowym i w tym przypadku zęby zgrubne umieszczone na stożkowej części nakroju powinny przy rozpoczęciu obróbki dotykać wieńca koła ślimakowego aby w ten sposób skrócić drogę, o jaką ma się przesunąć to narzędzie w celu obrobienia zębów w całości,
- b) albo pojedynczego noża osadzonego we wrzecionie nóż ten reprezentuje jeden ząb freza: w przypadku stożkowej części freza odpowiadają węższe lub niskie noże zgrubne mocowanie noży może być rozmaite: można więc mocować śrubami lub nakrętką przez tuleję. Na ogół krawędzie tnące noża pojedynczego są umieszczone w płaszczyźnie prostopadłej do zwojów mogą jednak także znajdować się w płaszczyźnie przechodzącej przez oś wrzeciona.



# Uwagi ogólne

Obróbka kół ślimakowych jest ściśle związana z odpowiednią metodą obróbki ślimaka. Chodzi tutaj głównie o ustawienie krawędzi skrawającej freza, która przy obróbce zębów koła ślimakowego odpowiadać powinna dokładnie zarysowi zwoju ślimaka.

Niezależnie od tego musimy wziąć pod uwagę możliwość łatwego wykonania narzędzia, którym zostanie obrobione koło ślimakowe. Nadmieniamy przy tym, że zęby koła ślimakowego można obrobić poprawnie jedynie przy pomocy metody obwiedniowej za pomocą freza ślimakowego.

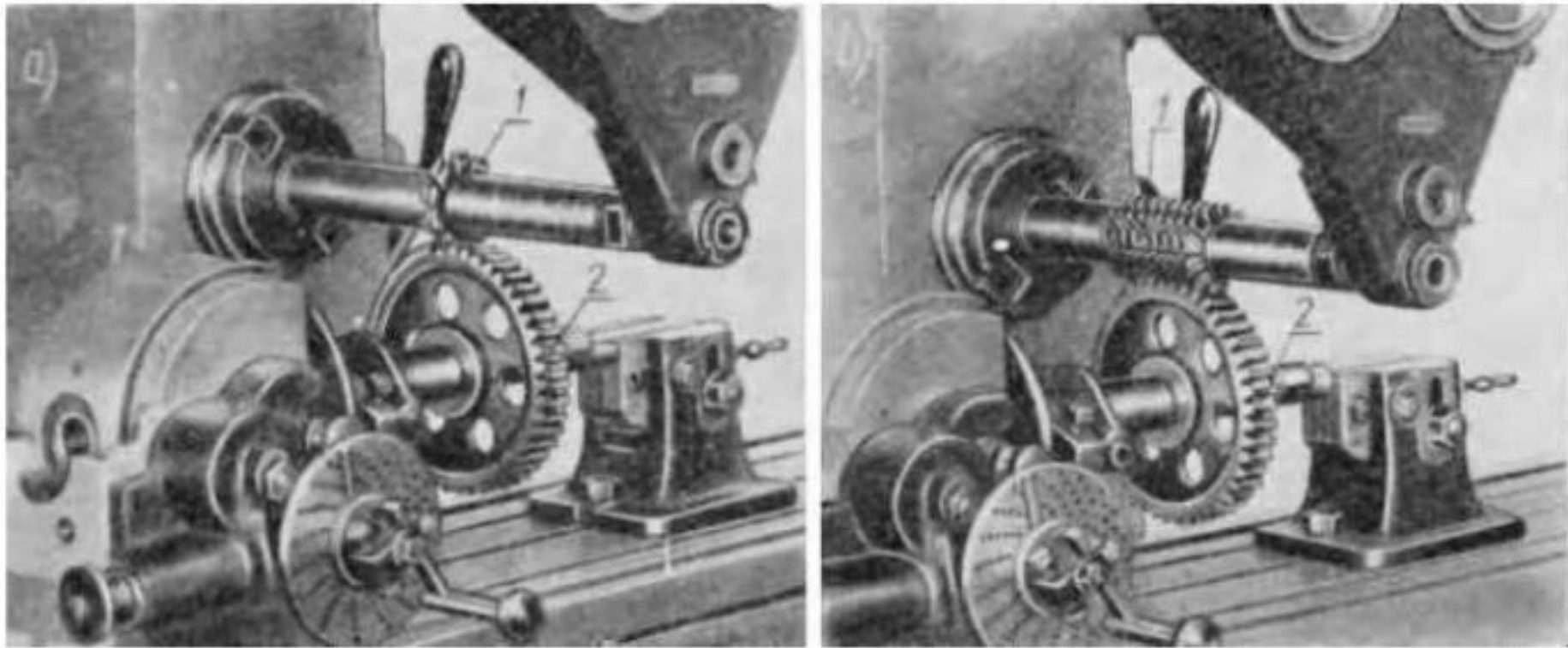
Jeżeli zęby koła ślimakowego będą obrabiane frezem ślimakowym, wówczas zęby tego freza są przecięte rowkiem prostopadłym do zwojów tych zębów. Aby wykonać te zęby jak najdokładniej, narzędzie przeznaczone do ich obrobienia powinno mieć krawędź prostoliniową.

# Obróbka na frezarce uniwersalnej

Obróbkę kół ślimakowych na frezarce uniwersalnej przeprowadza się w dwóch przejściach: zgrubnym i wykańczającym.

Obróbkę zgrubną dokonuje się przy użyciu freza krążkowego oraz podziałnicy. Obrabiane koło ślimakowe mocuje się na trzpieniu między kłami podziałnicy i konika, przy czym trzpień jest zabierany za pomocą zabieraka (rys. X-20a). Stół frezarki musi być skręcony o kąt  $\gamma$  wzniosu linii śrubowej ślimaka, z którym koło ślimakowe ma współpracować.

## Obróbka kół ślimakowych



Rys. X-20. Frezowanie koła ślimakowego na frezarce uniwersalnej: a) wstępne przy użyciu freza krążkowego, b) wykańczające przy użyciu freza ślimakowego: 1 — frez, 2 — ślimacznicą obrabiana

## Obróbka kół ślimakowych

Frez krążkowy (który może mieć zarys trapezowy o kącie jednostronnym równym kątowi zarysu danej przekładni ślimakowej) powinien mieć promień większy od promienia ślimaka o wielkość luzu wierzchołkowego. Po ustawieniu freza symetrycznie względem czół koła uruchamia się pionowy posuw, przez co wgłębia się frez w koło aż osiągnie głębokość odpowiadającą głębokości wrębu, po czym opuszcza się stół i dokonuje podziału za pomocą podzielnicy. Frez użyty do tego wstępnego frezowania powinien mieć zęby cieńsze niż szerokość wrębu w celu pozostawienia zapasu na wygładzenie. Obróbkę wykańczającą przeprowadza się frezem ślimakowym mocowanym na wrzecionie frezarki (rys. X-20b). Koło ślimakowe osadzone na trzpieniu obraca się luźno między kłami podzielnicy i konika. Stół do tej operacji ustawia się tak, aby osie freza i koła ślimakowego zawierały taki kąt, jaki ma przekładnia ślimakowa (najczęściej  $90^\circ$ ). Po uruchomieniu frezarki i uprzednim wprowadzeniu zębów freza między zgrubnie obrobione zęby koła ślimakowego, przesuwa się powoli stół frezarki ku górze, aż zęby koła ślimakowego uzyskają żądane wymiary. Obrobione tą metodą koło ślimakowe nie jest dostatecznie dokładne i dlatego tę metodę stosuje się jedynie wówczas, gdy nie wymaga się dużej dokładności, albo nie ma możliwości dokładnej obróbki.

# Obróbka na frezarce obwiedniowej

- 1) **Uwagi ogólne** — Frezowanie zębów koła ślimakowego na frezarce obwiedniowej może odbywać się wg dwóch metod: metodą promieniową i metodą styczną. Frezowanie jest przeprowadzane za pomocą freza ślimakowego.

Nadmienić należy, że frez ślimakowy do obróbki kół ślimakowych różni się pod względem konstrukcji od freza ślimakowego używanego do obróbki walcowych kół zębatach. Różnica konstrukcyjna polega na tym, że:

a) **podziałka** (będąca wielokrotnością liczby  $n$ ) jest odmierzana we frezie ślimakowym,

- do obróbki ślimacznic — wzdłuż osi freza,
- do obróbki walcowych kół zębatach — prostopadle do zwoju,

b) **wymiary średnicowe we frezie ślimakowym**

- do obróbki ślimacznic są ściśle związane z wymiarami ślimaka, z którym ma współpracować obrabiana tym frezem ślimacznica,
- do obróbki walcowych kół zębatach średnica freza nie ma na ogół związku z wymiarami średnicowymi obrabianego koła, a raczej z wielkością zęba (modułem).
- różnica między wymiarami freza ślimakowego do obróbki ślimacznicy i wymiarami ślimaka (z którym obrabiana ślimacznica ma współpracować) polega na:
- nieco większej średnicy wierzchołkowej, gdyż frez musi obrobić ślimacznice do dna wrębów, a więc musi mieć zęby wyższe o luz wierzchołkowy od zębów ślimaka,
- nieco grubsze zęby o ok. 1/2 luzu międzyzębnego, jaki przewidział konstruktor w celu zapewnienia poprawnej współpracy przekładni ślimakowej.

# Obróbka kół ślimakowych

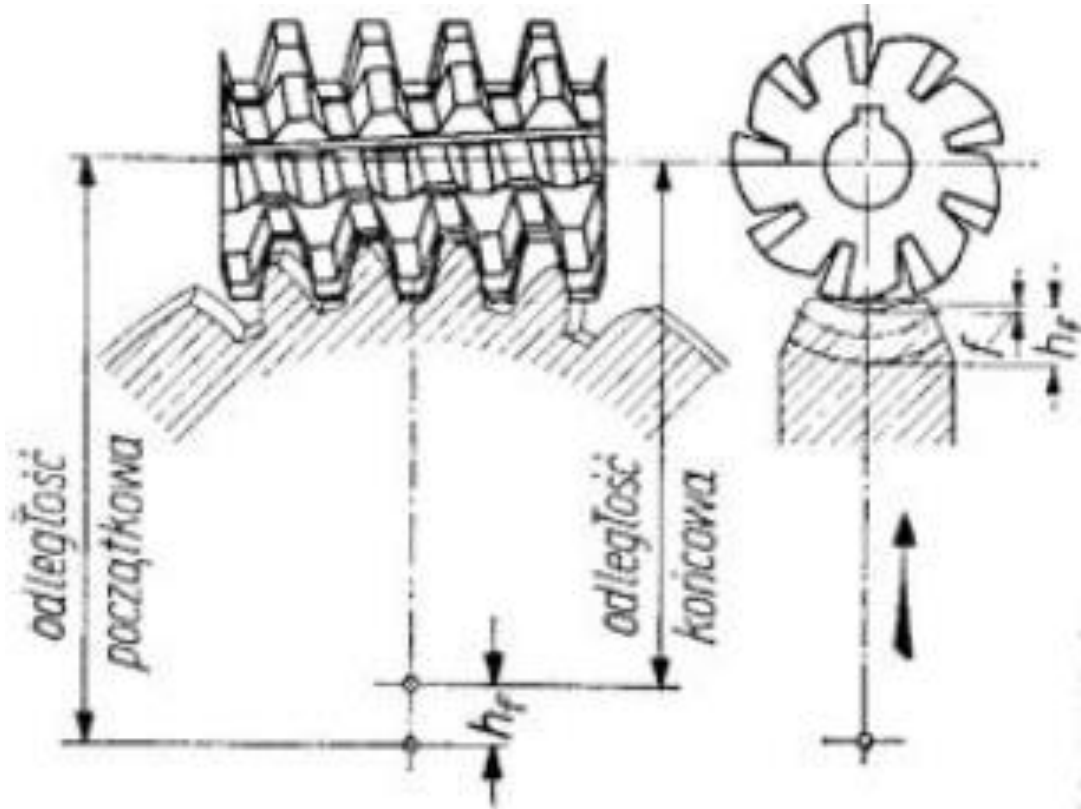
## 2) Metoda promieniowa

Uwagi ogólne —Frez i koło ślimakowe obracają się dokładnie jak ślimak i koło ślimakowe w przekładni ślimakowej. Ruchy te są ze sobą związane za pomocą kół zmianowych.

Ponieważ narzędzie nie może wyfrezować od razu wrębów na pełną głębokość (rys. X-21), przeto ustawia się najpierw oś koła ślimakowego do osi freza w odległości większej od odległości osi ślimaka współpracującego z tym kołem ślimakowym, po czym stopniowo zmniejsza się odległość przez przesuwanie nacinanego koła ku frezowi w kierunku promieniowym (skąd pochodzi nazwa tej metody). Do tego celu stosuje się odpowiednie mechanizmy.

# Obróbka kół ślimakowych

Frezowanie wg. metody promieniowej



## Obróbka kół ślimakowych

c) Zastosowanie — metodę promieniową możemy stosować jedynie wówczas, gdy:

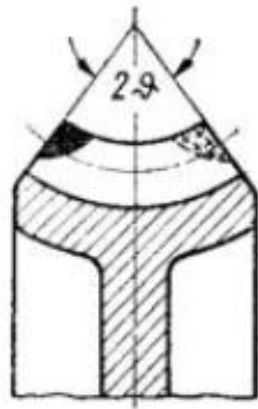
- kąt wzniosu zwoju ślimaka nie przekracza 6 do 8°,
- mamy do dyspozycji odpowiedni frez.

Promieniowe przesuwanie koła ku frezowi, tj. zmniejszenie odległości osi między frezem i nacinanym kołem do odległości, jaka jest przewidziana dla przekładni ślimakowej, wywołuje ścinanie wierzchołków zębów w kole ślimakowym, zwłaszcza gdy kąt wzniosu zwoju ślimaka  $\gamma$  oraz kąt opasania  $\theta$  są duże (rys. X-23).

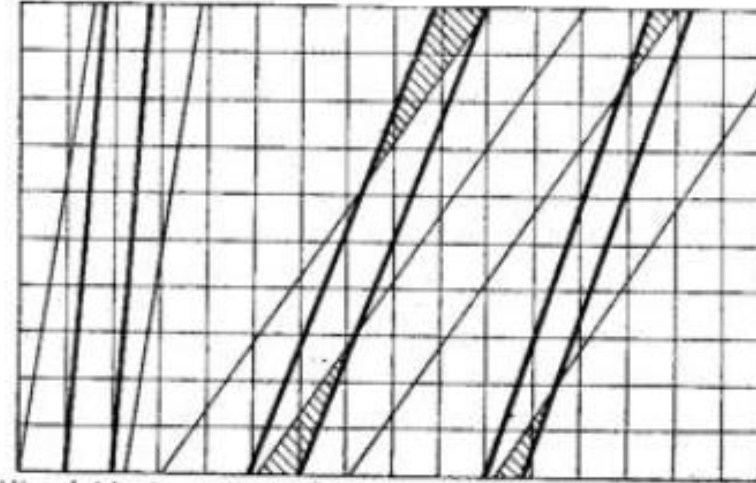
Zjawisko to możemy wytłumaczyć tym, że kąt wzniosu zwoju  $\gamma$  freza jest inny (mniejszy) na walcu wierzchołkowym, a inny (większy) na walcu dna wrębów (rys. X-24). W miarę więc zbliżania freza ku obrabianemu kołu ślimakowemu wchodzi najpierw wierzchołki zębów freza (o mniejszym kącie wzniosu zwoju), a w końcowej fazie pracy freza (gdy frez wgłębi się na całą wysokość zęba) wierzchołki zębów koła ślimakowego będą obrabiane przez dolne części zębów freza (o większym kącie wzniosu zwoju), wskutek czego jedna skrajna część zęba koła ślimakowego może być poprawnie obrobiona, lecz druga pozostanie obrobiona wadliwie.

Nadmierne ścięcie wierzchołków zębów wpływa oczywiście na zmniejszenie pola dolegania między zwojami ślimaka i zębami ślimaczniczy, wywołując jednocześnie silniejsze zużywanie się zębów koła ślimakowego. Z tego powodu metody promieniowej nie stosuje się przy nacinaniu kół ślimakowych, które mają pracować ze ślimakiem o kącie wzniosu zwojów większym od 6 do 8°, co zazwyczaj zachodzi przy wielokrotnych ślimakach.





Rys. X-23. Ścinanie wierzchołków zębów koła ślimakowego przy frezowaniu wg metody promieniowej

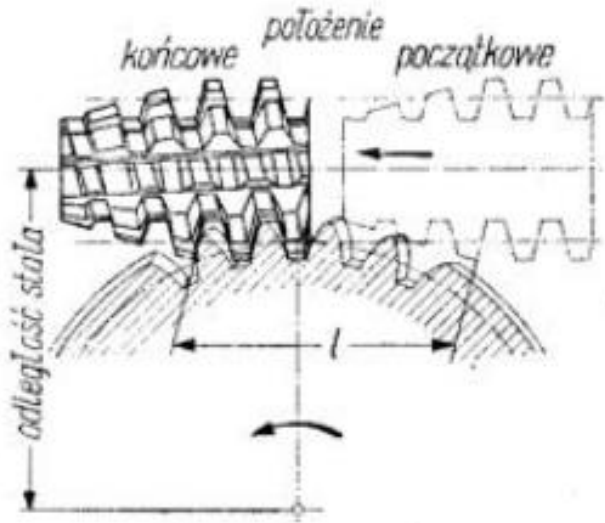


ślimak 1-krotny  $\alpha_0=15^\circ$   
 $\gamma=7^\circ$       ślimak 5-krotny  $\alpha_0=15^\circ$   
 $\gamma=42^\circ$       ślimak 5-krotny  $\alpha_0=25^\circ$   
 $\gamma=42^\circ$

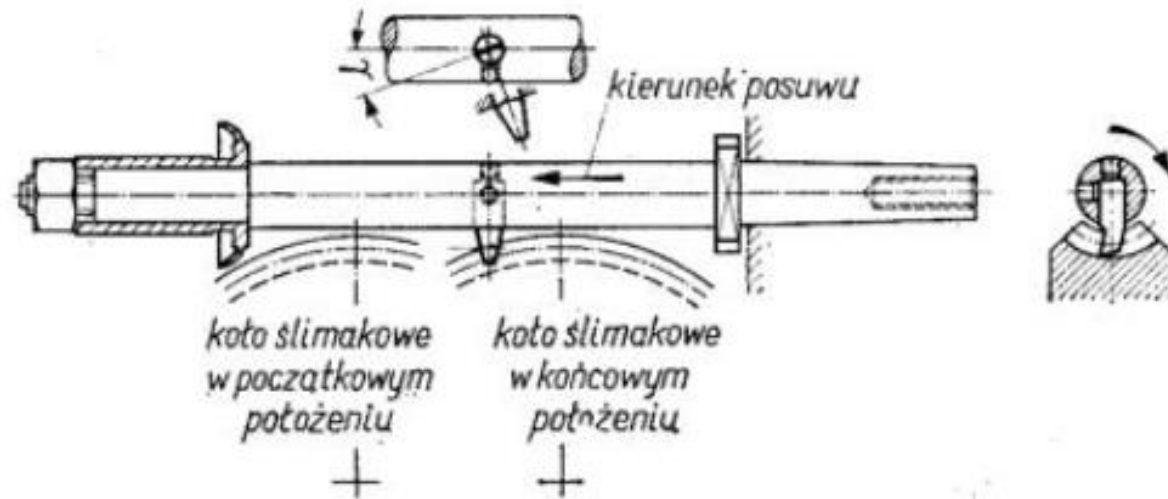
Rys. X-24. Wyjaśnienie przyczyn ścinania wierzchołków zębów koła ślimakowego przy różnych kątach zarysu  $\alpha_0$  i różnych kątach wzniosu linii śrubowej ślimaka  $\gamma$

## Obróbka kół ślimakowych

- 3) Metoda styczna a) Uwagi ogólne — Gdy narzędzie zostanie ustawione od razu na właściwą danej przekładni ślimakowej odległość osi i będzie wprowadzane stycznie do obwodu koła ślimakowego, wówczas nie wystąpi ścinanie zębów u wierzchołka. W tym przypadku narzędzie musi być przesunięte o taką wielkość, aby zęby koła ślimakowego były obrobione na całej wysokości z obydwóch stron (rys. X-25).



Rys. X-25. Położenie początkowe i końcowe freza przy frezowaniu zębów w kole ślimakowym metodą styczną



Rys. X-26. Frezowanie zębów koła ślimakowego metodą styczną za pomocą pojedynczego noża osadzonego we wrzecionie

## Obróbka kół ślimakowych

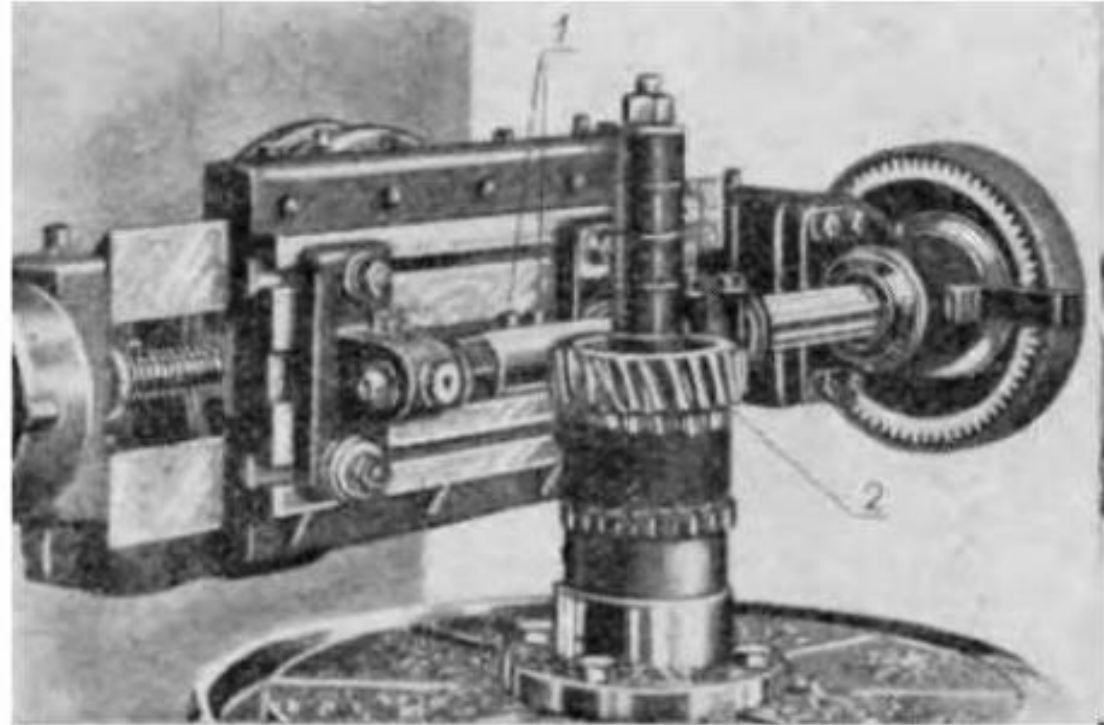
Przy tej metodzie używa się:

- a) albo freza ślimakowego o nakroju stożkowym i w tym przypadku zęby zgrubne umieszczone na stożkowej części nakroju powinny przy rozpoczęciu obróbki dotykać wieńca koła ślimakowego (rys. X-25), aby w ten sposób skrócić drogę, o jaką ma się przesunąć to narzędzie w celu obrobienia zębów w całości,
- b) albo pojedynczego noża osadzonego we wrzecionie (rys. X-26 i rys. X-27); nóż ten reprezentuje jeden ząb freza: w przypadku stożkowej części freza odpowiadają węższe lub niskie noże zgrubne (rys. X-28); mocowanie noży może być rozmaite: można więc mocować śrubami (rys. X-26 i rys. X-28) lub nakrętką przez tuleję (rys. X-29).

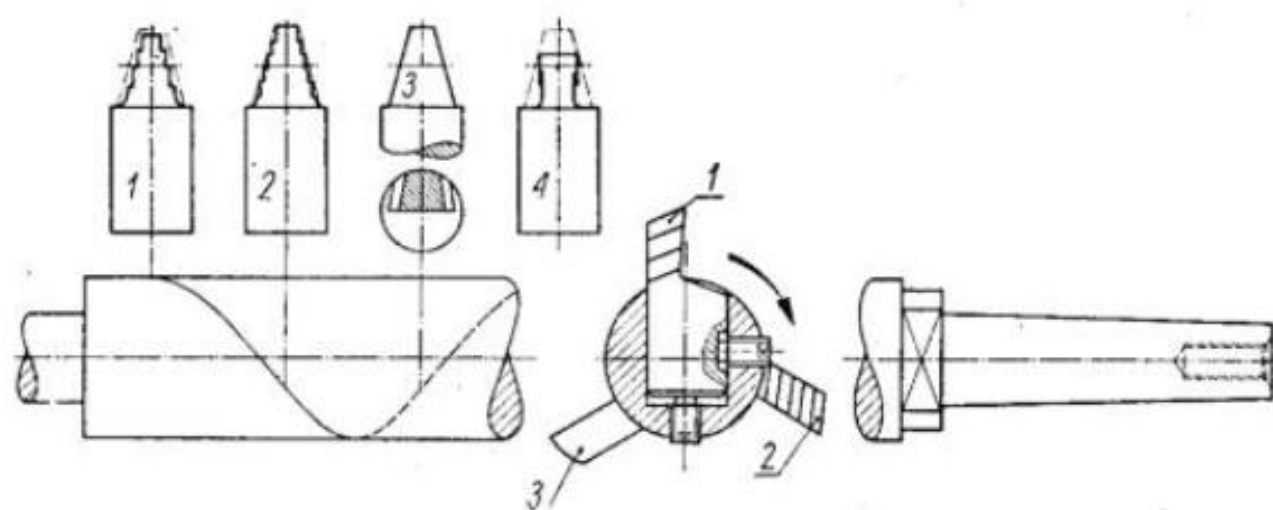
Na ogół krawędzie mące noża pojedynczego są umieszczone w płaszczyźnie prostopadłej do zwojów (do linii zęba, rys. X-1a i rys. X-29), mogą jednak także znajdować się w płaszczyźnie przechodzącej przez oś wrzeciona (a tym samym ślimaka, rys. X-1b i rys. X-30).

## Obróbka kół ślimakowych

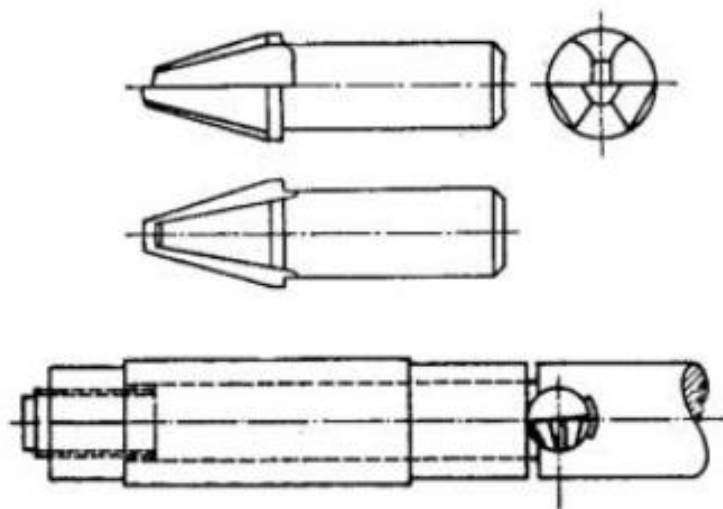
Rys. X-27.  
Frezowanie wg metody stycznej zębów w kole ślimakowym 2 przy użyciu pojedynczych noży 1



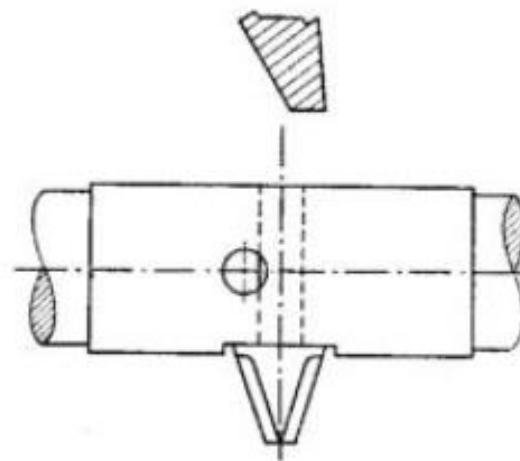
## Obróbka kół ślimakowych



Rys. X-28. Wrzeciono z nożami do frezowania zębów koła ślimakowego; 1 i 2 – noże zdzieraki, 3 – nóż gładzik, 4 – nóż zgrubny wstępny



Rys. X-29. Jedno z rozwiązań konstrukcyjnych samego noża oraz jego mocowanie na wrzecionie



Rys. X-30. Rozwiązanie konstrukcyjne pojedynczego noża o krawędziach skrawających znajdujących się w płaszczyźnie przechodzącej przez oś oprawki

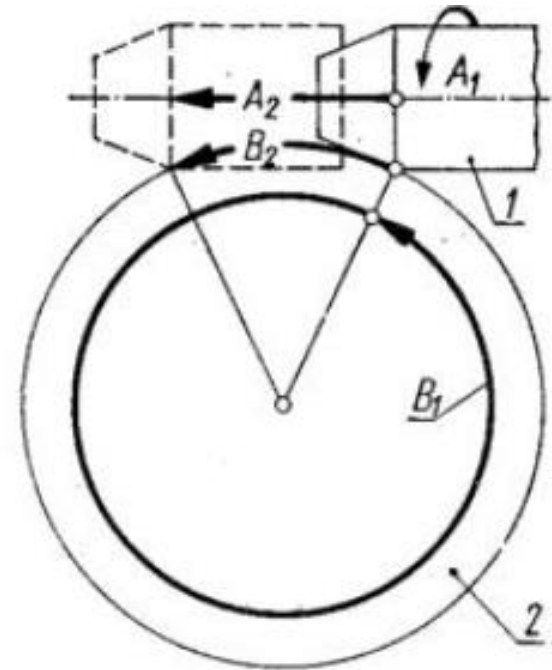
## Obróbka kół ślimakowych

W metodzie stycznej koło ślimakowe obraca się, natomiast frez lub pojedynczy nóż poza ruchem obrotowym wykonuje ruch przesurowy wzdłuż osi wrzeciona (rys. X-31). Frez stożkowo zakończony nacina zęby w kole ślimakowym (podobnie jak stożkowy gwintownik w nakrętce), spełnia więc podwójną rolę:

- z jednej strony — ślimaka zazębiającego się z kołem ślimakowym,
- z drugiej strony — zębatki 1 przesuwaną się w kierunku  $A_3$  i powodującą jednocześnie odpowiednie pokręcanie się koła ślimakowego 2 w kierunku  $B_{\pm}$  (rys. X-32).

Ruchy  $A_2$  i  $B_2$  muszą być ściśle ze sobą zharmonizowane, tj. gdy frez (lub wrzeciono z pojedynczym nożem) przesunie się o jedną podziałkę, nacinane koło ślimakowe musi wykonać dodatkowo  $1/z$  obrotu.

Frezarka obwiedniowa umożliwiająca powyższe ruchy musi być zaopatrzona w suport styczny do przesuwania narzędzia oraz mechanizm różnicowy włączony między mechanizm obracający stół i śrubę pociągową przesuwaną ten suport styczny.



Rys. X-31. Frezowanie zębów koła ślimakowego 2 na frezarce obwiedniowej za pomocą freza ślimakowego 1 przy przesuwie suportu stycznego 3

Rys. X-32. Schematyczne zestawienie zasadniczych ruchów przy nacinaniu zębów w kole ślimakowym metodą styczną. Ruchy  $A_1$  i  $B_1$  odpowiadające pracy ślimaka z kołem ślimakowym, ruchy  $A_2$  i  $B_2$  — zębatce z kołem zębatym

## Obróbka kół ślimakowych

4) Wskazówki praktyczne — W celu uzyskania właściwego dolegania między ślimakiem i kołem ślimakowym należy przy obróbce przestrzegać tego, aby metody obróbki ślimaka i koła ślimakowego sobie odpowiadały.

Ponadto należy zachować następujące środki ostrożności podczas obróbki koła ślimakowego:

- 1) przy obróbce na gotowo odległość między osiami freza i koła ślimakowego powinna być taka, jaka jest przewidziana dla danej przekładni ślimakowej;
- 2) należy zachować dokładnie takie samo położenie osi freza, jakie zajmować będzie ślimak. Ukośne ustawienie osi frez spowoduje wadliwe doleganie zębów ślimaka i koła ślimakowego. Podobnie wpływa przesadzenie osi freza względem szerokości wieńca nacinanego koła ślimakowego;
- 3) w przypadku, gdy wymagany jest luz międzyzębny, należy do obróbki użyć narzędzia o zębach zgrubionych o tę wartość. Głębsze wcinanie (jak to stosuje się podczas obróbki walcowych kół zębatych) powoduje błędy podczas zazębienia oraz zmniejszenie pola dolegania podczas pracy. Takie ustawienie freza, aby jeden z wrębów freza znajdował się w osi stołu frezarki, jest nie potrzebne lub wymagane w wyjątkowych przypadkach;
- 4) należy dbać o to, aby w ostatnim przejściu (wygładzającym) zęby były obrabiane w całości (na całej wysokości).



## Obróbka kół ślimakowych

5) Porównanie metod promieniowej i stycznej. — Porównując obróbkę ślimacznic należy stwierdzić, że:

- obróbka wg metody stycznej nie daje zacięć u wierzchołków zębów (naroży), jakie występują przy obróbce wg metody promieniowej (rys. X-23),
- zarys zęba koła ślimakowego jest przy metodzie stycznej dokładniejszy niż przy metodzie promieniowej, gdyż nawet przy obróbce pojedynczym nożem liczba położeń krawędzi skrawającej może być w metodzie stycznej znacznie większa (praktycznie nieograniczona), podczas gdy w metodzie promieniowej— jest ograniczona do liczby równej liczbie rowków wiórowych we frezie.

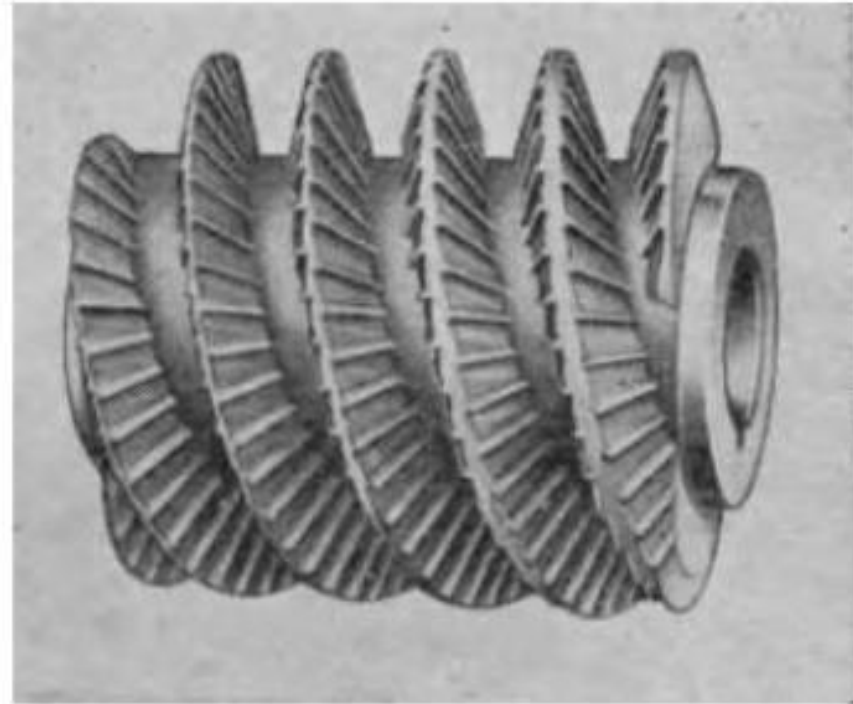
Metoda promieniowa znajduje zastosowanie do nacinania zębów o mniejszym kącie pochylenia zębów ( $7 < 80$ ): natomiast gdy  $> 80$ , należy stosować metodę styczną. Należy wreszcie stwierdzić, że metodą styczną można obrobić każde koło ślimakowe (pojedynczym narzędziem).

# Obróbka wykańczająca wiórkownikiem

Do tego celu stosuje się specjalne narzędzie w kształcie ślimaka z ponacinanymi rowkami na bokach zwojów (rys. X-35). Ponieważ ostrza zębów nie są tutaj zataczane (tj. kąt przyłożenia równy jest  $0^\circ$ , a kąt skrawania jest równy  $90^\circ$ ) to uzyskuje się wysoką dokładność obróbki. Wiadomo bowiem, że zataczanie (zaszlifowanie) zębów jest jednym z głównych źródeł błędów wykonania. Po stępieniu narzędzie to jest ostrzone przez szlifowanie zwojów.

## Obróbka kół ślimakowych

Rys. X-35,  
Specjalny frez w postaci ślimaka z promieniowymi nacięciami (zębami) — do wykańczania (wiórkowania)



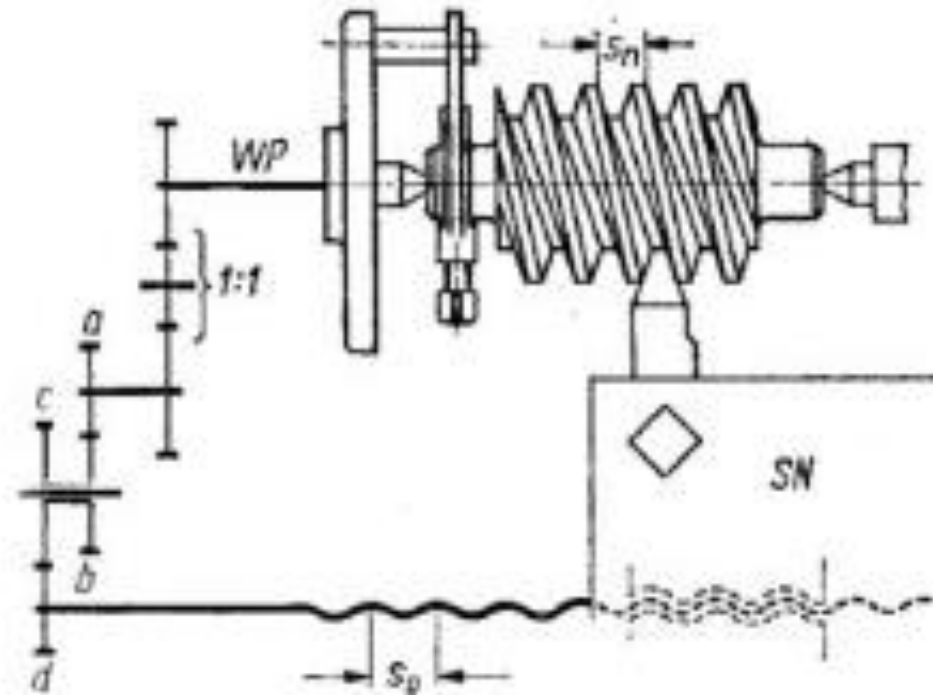
Do podstawowych sposobów obróbek ślimaków walcowych zalicza się:

- Obróbka toczeniem
- Obróbka frezowaniem
- Obróbka obwiedniowa
- Obróbka szlifowaniem

## Obróbka na tokarce

Podczas toczenia podobnie jak i podczas szlifowania posuw narzędzia przeniesiony jest z wrzeciona tokarki na śrubę pociągową narzędzia co pozwala na nacinanie ślimaka z niewielkim błędem skoku.

Rys. X-3.  
Zasada nacinania ślimaka na tokarce:  
 $WP$  – wrzeciono tokarki,  $s_n$  – skok ślimaka (nacinanej śruby),  $s_p$  – skok śruby pociągowej,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – koła zmianowe

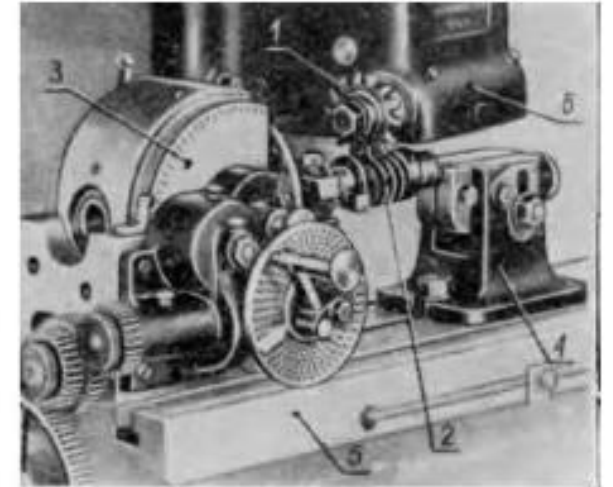
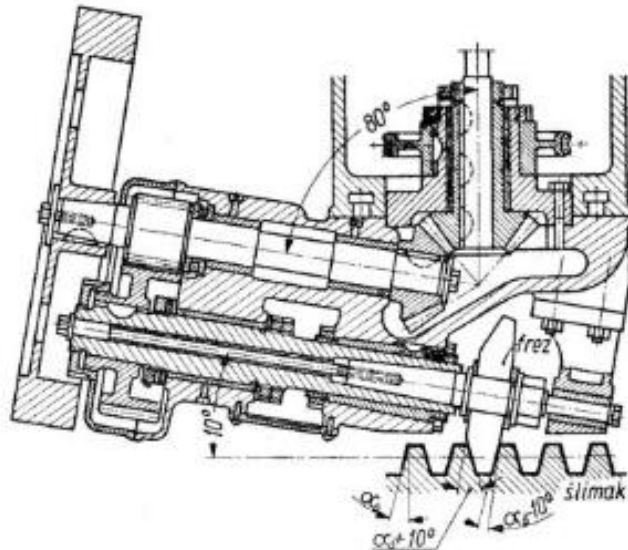


# Obróbka ślimaków walcowych

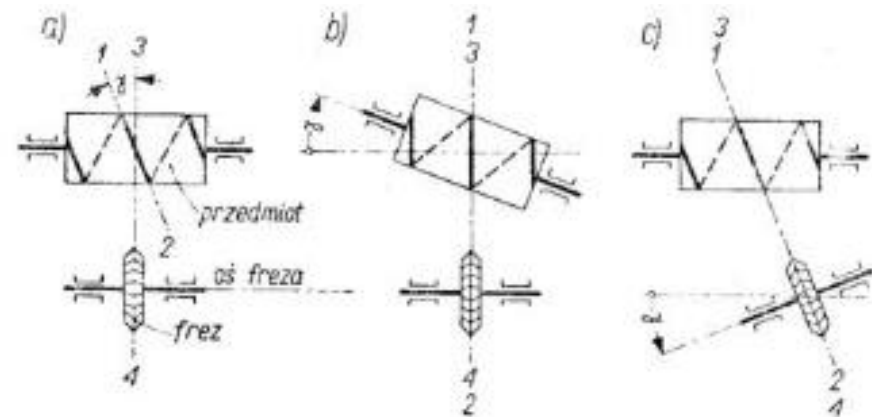
## Obróbka frezowaniem

Frezowanie ślimaków jest jedną z powszechniejszych metod obróbki. Można je przeprowadzić przy pomocy uniwersalnej frezarki poziomej przy zastosowaniu podzielnicy uniwersalnej i specjalnej głowicy zmieniającej kierunek z osi freza z prostopadłego do wzdłużnego posuwu stołu na równoległy do niego albo na frezarce do długich gwintów albo za pomocą specjalnej frezarki do obróbki ślimaków.

Rys. X-8.  
Konstrukcja wrzeciennika specjalnej frezarki do frezowania ślimaków lub gwintów trapezowych o znacznej długości; we wrzecienniku tym oś wrzeciona z frezem jest odchylona od osi ślimaka o kąt  $10^\circ$ , a przez to frez ma postać asymetryczną.



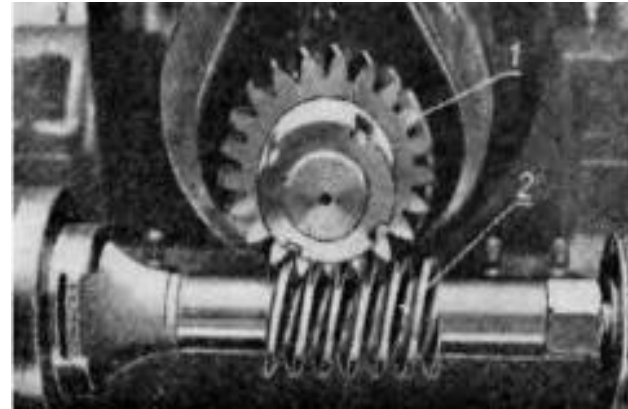
Rys. X-4.  
Zastosowanie podzielnicy do frezowania ślimaka na uniwersalnej frezarce przy użyciu specjalnej głowicy zmieniającej położenie osi freza: 1 – frez, 2 – ślimak obrabiany, 3 – podzielnica, 4 – konik, 5 – stół frezarki, 6 – specjalna głowica



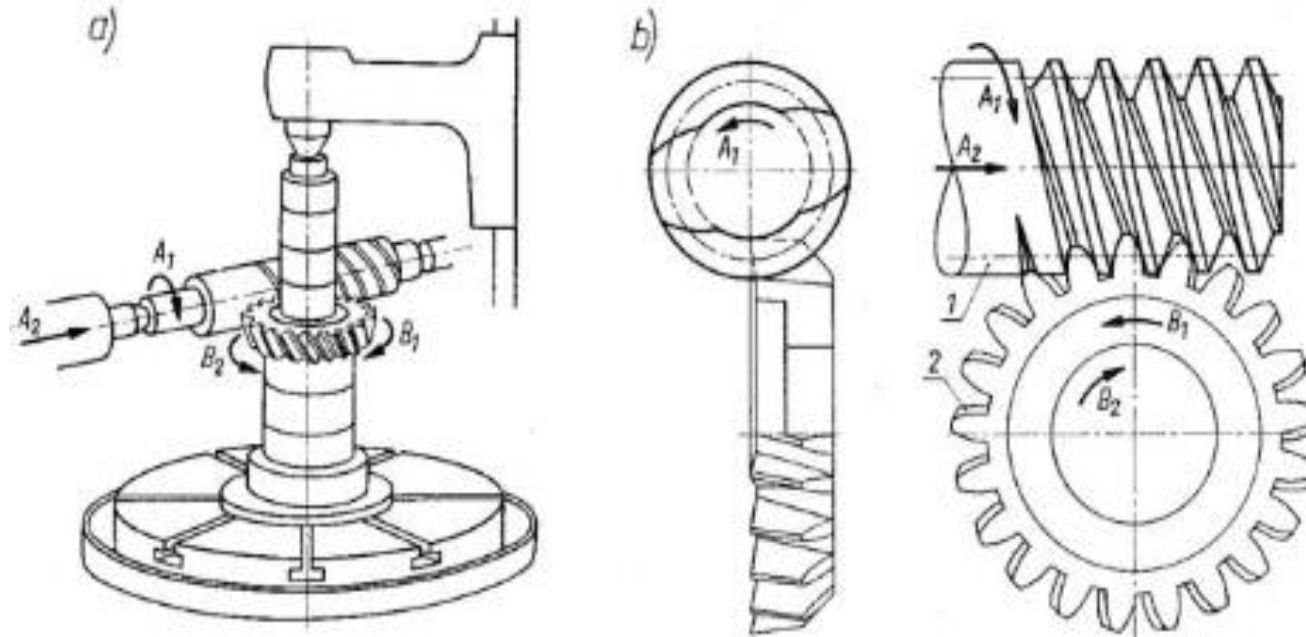
Rys. X-5. Wzajemne ustawienie ślimaka i freza podczas nacinania: a) położenie początkowe, b) właściwe ustawienie po przekręceniu stołu wraz z przedmiotem, c) właściwe ustawienie po przekręceniu osi freza osadzonego w specjalnej głowicy (rys. X-6)

## Obróbka obwiedniowa

Ślimaki można obrabiać też metodą obwiedniową wykorzystując do tego specjalną tokarkę obwiedniową do toczenia ślimaków. Praca odbywa się tutaj tak, jak gdyby zazębiał się ślimak z kołem ślimakowym. Ponadto nóż Fellowsa przeznaczony do obróbki ślimaków musi posiadać śrubowy (skośny) zarys zębów i mieć zarys ewolwentowy oraz podziałkę odpowiadającą ślimakowi.

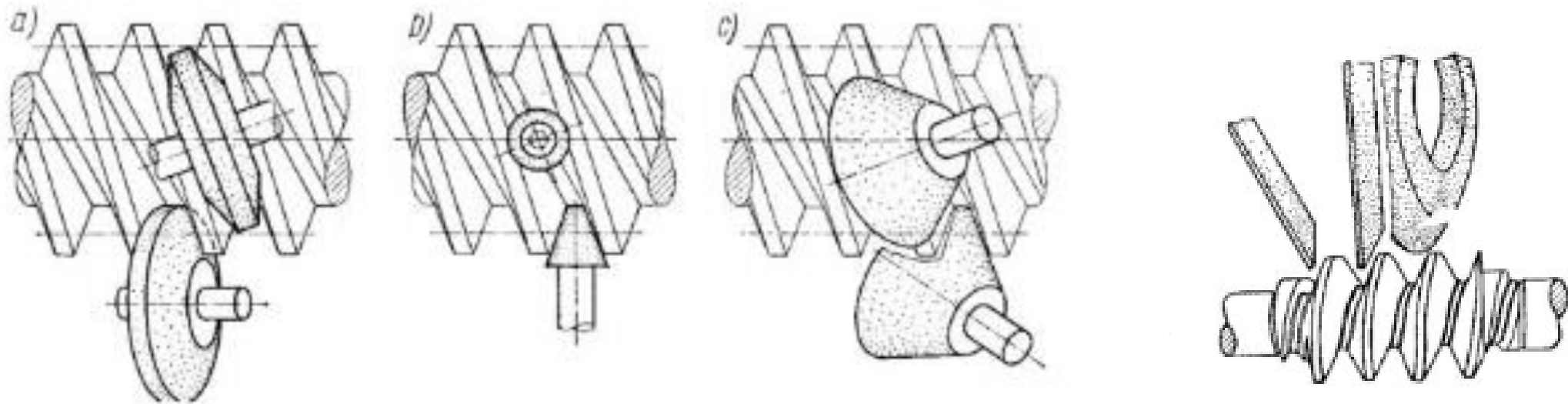


Rys. X-9.  
Obwiedniowe toczenie ślimaka nożem Fellowsa, (w widoku): 1 – nóż Fellowsa, 2 – ślimak toczony obwiedniowo (p. również rys. X-10, X-11 i X-12)



# Obróbka szlifowaniem

Za pomocą tej metody otrzymuje się ślimaki walcowe o bardzo dużej dokładności. Dodatkowo metoda ta umożliwia również polerowanie ślimaków co pozwala na uzyskanie jeszcze lepszej gładkiej powierzchni. Polerowanie ślimaków odbywa się za pomocą filcowej tarczy, na którą nakłada się pastę polerską.



Rys. X-16. Szlifowanie ślimaka: a) obustronne za pomocą krążkowej trapezowej tarczy ścierniej, b) jedno- lub obustronne za pomocą palcowej stożkowej tarczy ścierniej, c) jednostronne za pomocą garnkowo-stożkowej tarczy ścierniej

Rys. X-17. Szlifowanie jednostronne ślimaka za pomocą krążkowej tarczy ścierniej



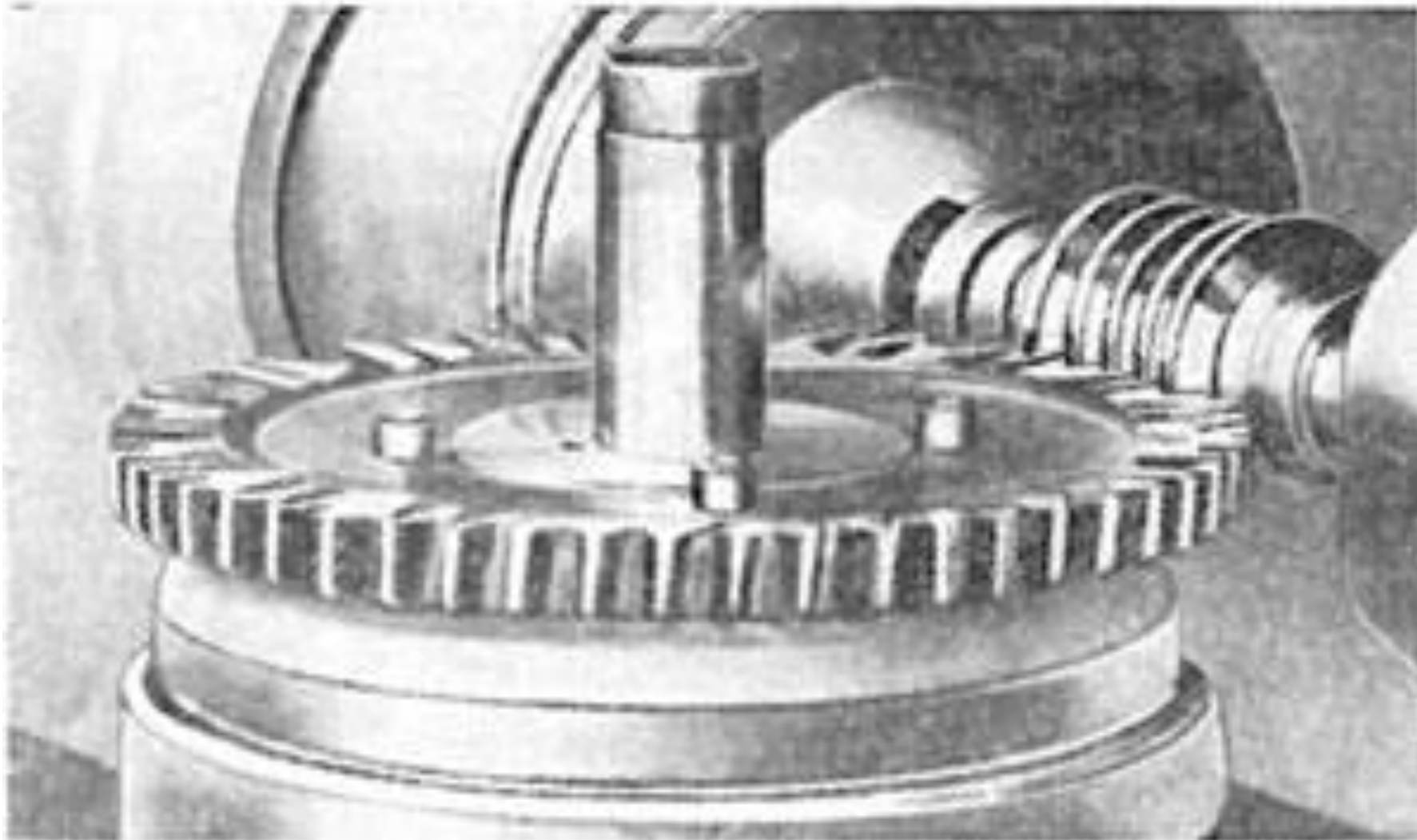
# Obróbka ślimaka globalnego

# Toczenie ślimaków globoidalnych

Toczenie uzębienia ślimaków globoidalnych odbywać się może albo na obrabiarkach specjalnych, albo adaptowanych do tego celu frezarkach obwodniowych.

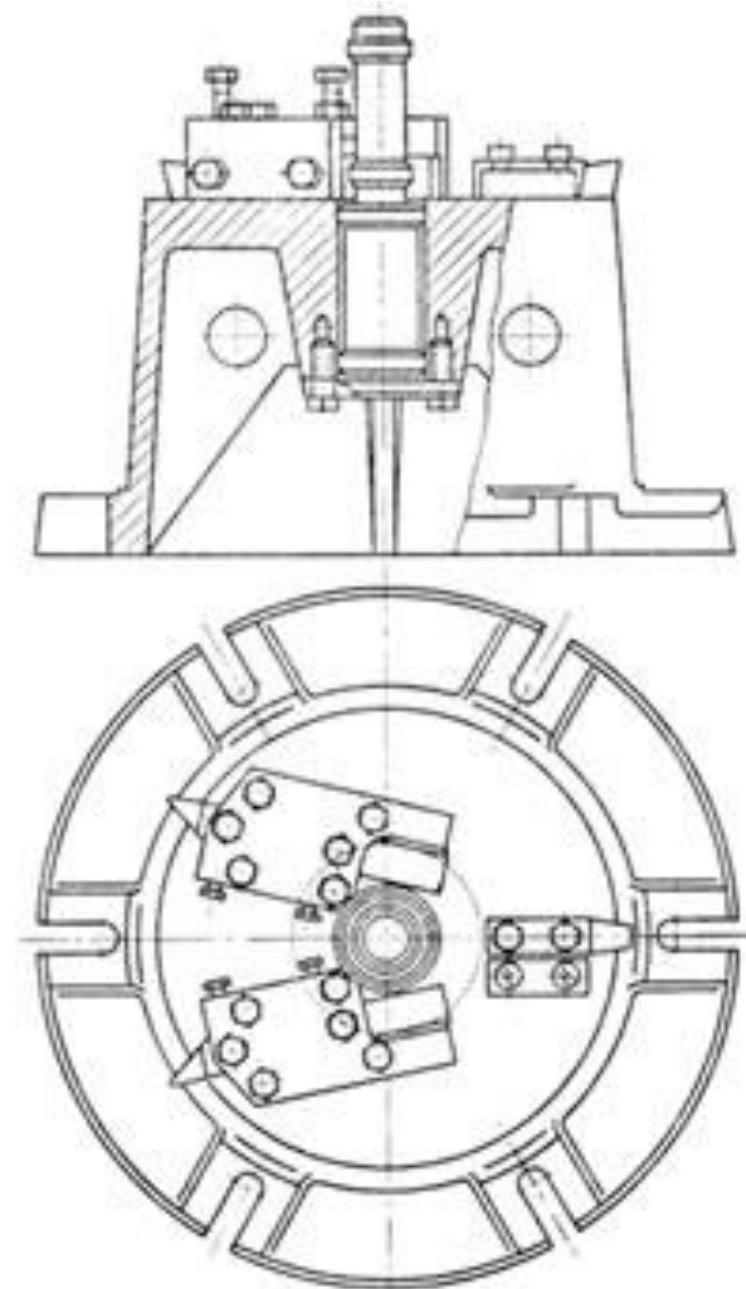
W czasie obróbki przedmiot i nóż muszą się obracać. Jednemu obrotowi ślimaka musi towarzyszyć jeden obrót noża o kąt odpowiadający skokowi ślimaka. Jako narzędzie do toczenia ślimaków globoidalnych można użyć albo nóż pojedynczy, który obrabia tylko jeden wręb ślimaka, albo nóż wielokrotny (rys. poniżej). Nóż wielokrotny pozwala uzyskać większą wydajność oraz ułatwia obróbkę ślimaków wielozębnych. W przypadku bowiem pojedynczego noża, po obróbce jednego wrębu, trzeba obrócić ślimak o kąt  $2\pi/z_1$  — i dopiero wtedy można rozpocząć nacinanie następnego wrębu. Stosując narzędzie wielokrotne można uniknąć podziału. Aby uniknąć podziału narzędzie wielokrotne powinno mieć przynajmniej tyle zębów, ile ma ślimak. Ze względu jednak na większą wydajność stosuje się również narzędzia uzębione na całym obwodzie.

## Obróbka ślimaka globoidalnego



## Obróbka ślimaka globoidalnego

Na rys. poniżej pokazana jest jeszcze inna konstrukcja noży. Są to trzy noże pojedyncze, które służą do obróbki jednozębnego ślimaka. Nóż po prawej stronie rysunku służy albo do obróbki zgrubnej, albo do obróbki powierzchni wierzchołków. Pozostałe dwa noże służą do obróbki boków wrębów.



## Obróbka ślimaka globoidalnego

Jeżeli pojedynczy nóż służy do obróbki zgrubnej, to pozostałe noże służą do obróbki dokładnej i obrabiają każdy inną stronę wrębu, przy czym są tak rozstawione na obwodzie, że nie skrawają w czasie pracy noża zgrubnego. Dopiero po obróbce zgrubnej, dzięki obwodowemu dosuwowi noża, który polega na obrocie całego uchwytu o pewien niewielki kąt, rozpoczyna się obróbka dokładna, przy czym obrabia się najprzód jedną stronę, a po zmianie kierunku dosuwu obwodowego — drugą stronę wrębu.

## Obróbka ślimaka globoidalnego

Powierzchnie boczne zębów noża (powierzchnie przyłożenia) mogą być śrubowe lub płaskie. W nożach wielokrotnych powierzchnie te są najczęściej śrubowe. W nożach pojedynczych mogą być płaskie. Kąty ich pochylenia względem osi noża są różne, co zapewnia jednakowe robocze kąty przyłożenia. Kształt ostrzy, jeżeli leżą one w płaszczyźnie osiowej ślimaka, jest identyczny z zarysem wrębu w tym przekroju, co też jest bardzo korzystne, bo wykonanie noża jest łatwe. Kąt natarcia uzyskuje się dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu powierzchni natarcia. Obróbka ślimaka globoidalnego toczeniem odbywa się w kilku przejściach narzędzia, dość przejść zależy od wysokości zębów ślimaka oraz od liczby ostrzy. Narzędzie wielokrotne pozwala stosować dosuw ciągły oraz mniejszą liczbę przejść. Do obróbki zgrubnej i dokładnej stosuje się najczęściej oddzielne narzędzia o różnej grubości zębów.

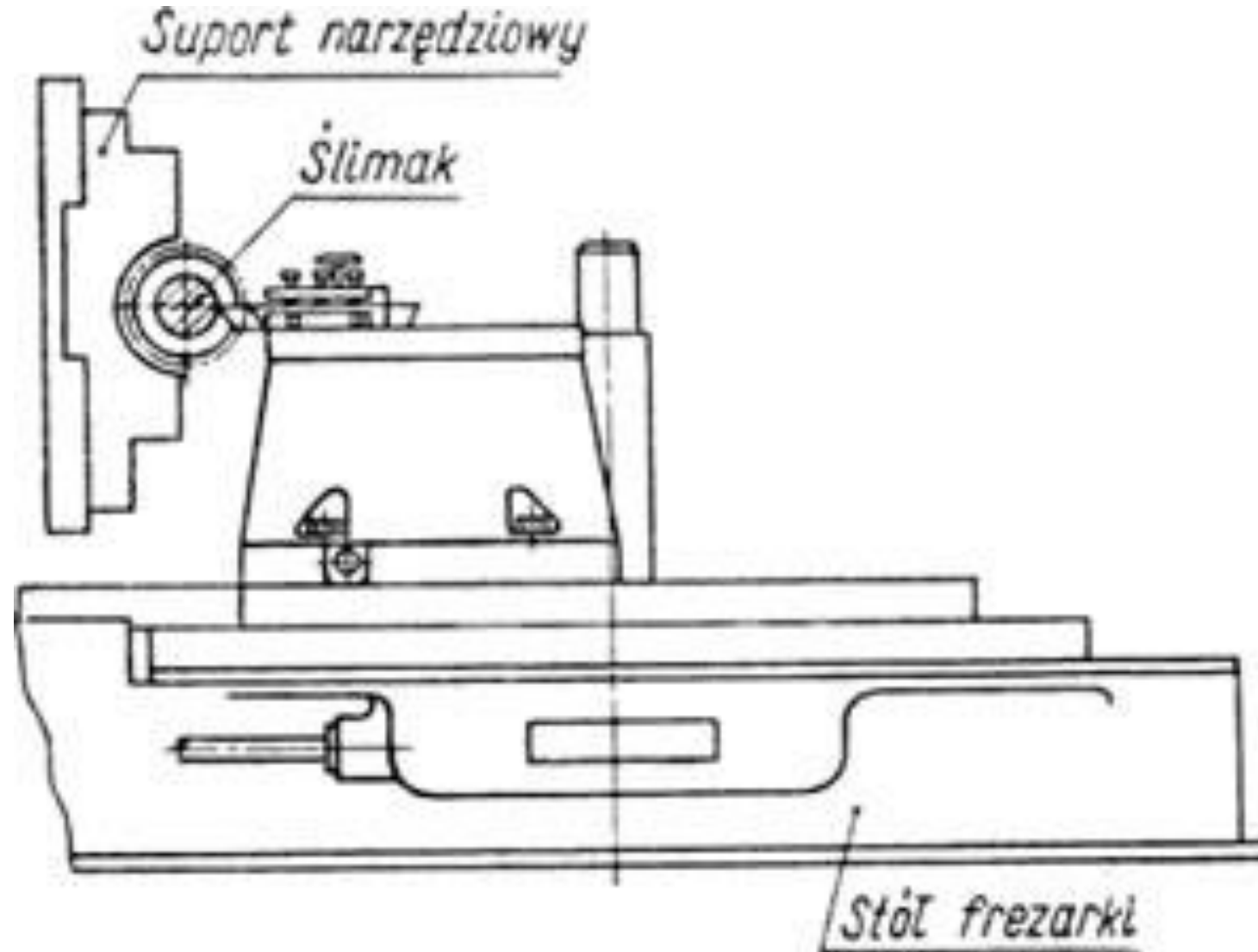


## Obróbka ślimaka globoidalnego

**Do toczenia ślimaków globoidalnych użyć można, jak już wspomniano, obwiedniowych tokarek lub obwiedniowych frezarek.**

Obwiedniowe toczenie ślimaków walcowych tym się tylko różni od kształtowego toczenia ślimaków globoidalnych, że wymaga dodatkowego przesuwu suportu narzędziowego. Nie wykorzystując więc tego posuwu na tokarce obrabiać można na niej ślimaki globoidalne. Przy toczeniu ślimaków globoidalnych na frezarkach obwiedniowych ślimak umieścić należy we wrzecionie narzędziowym, narzędzie zaś na stole frezarki. Role wrzeciona narzędziowego i wrzeciona przedmiotu zostają więc zamienione. Posuw wzdłużny frezarki nie jest w ogóle potrzebny, a wykorzystuje się tylko dosuw stołu w celu zagłębiania narzędzia. Dosuw obwodowy — jeśli jest potrzebny — uzyskuje się przez rozłączenie napędu posuwu wzdłużnego i obracanie ręczne jednym z wałków w ten sposób, aby powodować dodatkowy obrót stołu frezarki.

## Obróbka ślimaka globoidalnego





# Szlifowanie ślimaków globoidalnych

Szlifowanie ślimaków globoidalnych następuje dość duże trudności. Szlifowanie stożkową ściernicą palcową można stosować tylko przy dużych modułach. Zresztą i wtedy wymiary ściernicy są zbyt małe, aby można było uzyskać wysoką dokładność i gładkość uzębienia. W tym stanie rzeczy dokładność i gładkość zapewnić musi najczęściej toczenie. Gładkie toczenie, zwłaszcza szerokim wiórem, wymaga jednak odpowiednio małej prędkości skrawania, co może być nieosiągalne na frezarce obwodniowej. Prędkość obrotowa wrzeciona narzędziowego we frezarce obwodniowej jest dostosowana do prędkości frezowania. Dla obróbki ślimaków globoidalnych na frezarkach obwodniowych może więc zajść potrzeba zmiany zakresu prędkości obrotowej wrzeciona narzędziowego. Zmiana taka może wymagać pewnych zmian w napędzie wrzeciona. Taka przeróbka obrabiarki nie następuje jednak na ogół większych trudności.

## Uwagi ogólne

Przy wyborze metody obróbki kół zębatach należy mieć na uwadze następujące czynniki:

- wymagana dokładność uzębienia,
- wymagana chropowatość bocznych powierzchni zębów,
- dokładność obrabiarki i jej mechanizmów składowych,
- narzędzie skrawające (jego kształt, stopień złożoności, wielkość, liczba zębów-ostrzy biorących jednocześnie udział w pracy, budowa, ostrzenie i ustawienie ostrzy po naostrzeniu — w przypadku, gdy jest ono składane),
- wielkość obrabianego koła (liczba jego zębów, wielkość modułu, szerokość wieńca),
- montaż przekładni zębatach,
- wielkość produkcji.

### Czynniki wpływające na wybór metody obróbki walcowych kół zębatach

#### Wybór obrabiarki:

- Zagadnienia konstrukcyjno-ruchowe
  - Podczas dłutowania lub strugania występują:
    - w momentach zwrotnych suwaka narzędziowego silne wstrząsy w tym celu w rozwiązaniach dłutownic do kół zębatach wbuduje się amortyzatory w postaci sprężyn lub przeciwwag
    - w momentach zetknięcia się narzędzia z obrabianym kołem powstają dodatkowe wstrząsy przyczyniające się do zmniejszenia dokładności obróbki i przyczyniają się do konieczności zmniejszenia prędkości skrawania.

# Dobór metody wykonania kół zębatach

## Wpływ czasu obróbki

Tabela XVIII/3. Zestawienie czasów głównych obróbki walcowego koła zębatego, min

$z$ $m_0$ $b$		Dłutowanie wg met. Maaga			Dłutowanie wg met. Fellowsa			Frezowanie obwiedniowe <sup>1)</sup>			Szlifowanie <sup>2)</sup>	Wiórkowanie <sup>3)</sup>	
		$t_z$	$t_w$	$\Sigma t$	$t_z$	$t_w$	$\Sigma t$	$t_z$	$t_w$	$\Sigma t$			
$z=20$ $m_0=4$ $b=35$	Czas maszynowy	6,74	3,46	10,20	6,0	3,6	9,60	10,30	11,40	21,70	52,8	1,7	
	Zamocowanie	liczba kół	2			2			4			3	1
		liczba zamocowań	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1
		czas pomocniczy	0,70	1,00	1,70	0,70	0,70	1,44	1,44	2,88	6,6	0,5	
	Czas całkowity	7,44	4,46	11,90			10,30	11,74	12,84	24,58	59,4	2,2	
Czas wykonania 1 koła	3,72	2,23	5,95			5,15	2,93	3,22	6,15	19,8	2,2		

Objaśnienia:  $t_z$  – czas obróbki zgrubnej,  $t_w$  – czas obróbki wykańczającej,  $\Sigma t$  – suma czasów.

<sup>1)</sup> Obróbka z dobiegiem promieniowym, <sup>2)</sup> Szlifowanie wg Maaga, gdy  $\alpha_N = 0^\circ$ , <sup>3)</sup> Wiórkowanie skośne.

## Dobór metody wykonania kół zębatych

### Przy wyborze metody obróbki należy wziąć pod uwagę ponadto:

- wielkość kola, a więc liczbę zębów, moduł i szerokość wieńca.
- Gdy w kole jest mała liczba zębów (np. 12-15) i moduł jest znaczny ( $m_o > 5$ ), a należy uzyskać dokładną klasę musimy zastosować taką metodę obróbki, która zapewni odpowiednią liczbę obwiedniowych położeń krawędzi skrawających przypadających na jedną podziałkę. Tą metodą może być tylko dłutowanie wg metody Maaga. Frezowanie w tym przypadku nie spełni zadania.
- Gdy koło ma większą liczbę zębów wówczas najkorzystniej jest zastosować frezowanie obwiedniowe, gdyż dzięki ciągłości pracy oraz znacznej liczbie czynnych krawędzi skrawających można uzyskać dość dużą dokładność uzębienia nawet o znacznej szerokości wieńca. Warunki te będą oczywiście uzyskane, gdy użyje się do tego celu dokładnego freza bardzo starannie ostrzonego. Zastosowanie metody Fellowsa da nieco gorsze wyniki z powodu uderzeniowego charakteru pracy.

# Dobór metody wykonania kół zębatych

## Wpływ wielkości produkcji

- W produkcji jednostkowej lub małoseryjnej należy wybrać metodę obróbki zapewniającą jak największą uniwersalność, szczególnie w odniesieniu do narzędzia. Te warunki spełnia dłutowanie wg metody Maaga.
- W przypadku ustabilizowanej produkcji, np. dużych kół (o znacznej liczbie zębów, lecz o małym module), wówczas najodpowiedniejszą metodą jest frezowanie obwiedniowe.
- W produkcji średnioseryjnej.
  - W przypadku wymagania cichobieżności należy pamiętać o nadaniu modyfikacji zarysowi zęba i beczkowości linii. Najłatwiej to uzyskać za pomocą wiórkowania, które powinno być poprzedzone frezowaniem zgrubnym pod wiórkowanie.
  - Kola skrzynki prędkości obrabiarek dość często szlifuje się szczególnie po obróbce ciepej, gdyż chodzi o bardzo cichobieżną pracę kół.
- W produkcji wielkoseryjnej chodzi o jak najdokładniejszą obróbkę obok jak najkrótszego czasu wykonania. Stosuje się więc metody cechujące się jak największą dokładnością i wydajnością.
  - Ponieważ w produkcji wielkoseryjnej obróbka odbywa się w liniach obróbkowych, przeto należy brać pod uwagę również jak najmniejsze gabaryty obrabiarek.
  - należy stosować obróbkę uzębienia:
  - przede wszystkim frezowaniem obwiedniowym pod wiórkowanie, po czym wiórkowanie, lub dłutowaniem uzębienia na dłutownicach typu Fellowsa, po czym ewentualnie wiórkowanie.
  - Należy ponadto stwierdzić, że w tym przypadku jest jak najbardziej celowa automatyzacja produkcji.
  - W celu zaoszczędzenia materiału oraz przyspieszenia produkcji warto przeanalizować celowość obróbki wstępnej przez walcowanie uzębienia na gorąco. Walcowanie na zimno jest utrudnione i nadaje się raczej do obróbki zębów niskich, jakie występują w połączeniach wielowypustowych lub sprzęgłach zębatych.

### Czynniki wpływające na wybór metody obróbki stożkowych kół o zębach prostych i skośnych

- Do obróbki zębów prostych w stożkowych kotach zębatach można zastosować:
  - Strugarki typu Bilgrama lub Gleasona
    - metoda Gleasona ma tę przewagę nad metodą Bilgrama, że w strugarkach Gleasona występuje bardziej sztywny układ mechanizmów oraz w pracy biorą udział jednocześnie dwa noże, przez co obróbka może odbywać się bardziej intensywnie i może być przeprowadzona w krótszym czasie niż wg metody Bilgrama.
  - Frezarki pracujące wg metody „Coniflex” gdzie jako narzędzia występują dwie głowice, wskutek czego:
    - można uzyskać beczkowanie zębów, które przyczynia się do lepszego dolegania zębów kół współpracujących,
    - wydajność pracy jest znacznie większa jak podczas strugania.
- Do obróbki zębów skośnych w stożkowych kołach zębatach stosuje się **wyłącznie struganie**.
- w produkcji jednostkowej lub nawet średnioseryjnej należy stosować struganie
- w produkcji średnioseryjnej powtarzalnej lub wielkoseryjnej korzystniej jest stosować frezowanie wg metody „Coniflex”

### Czynniki wpływające na wybór metody obróbki stożkowych kół o uzębieniu łukowym

- **Wpływ obrabiarki**
- Zagadnienia konstrukcyjno-ruchowe.  
Z charakteru pracy obrabiarek wynika, że
  - w metodach Gleasona cykl roboczy jest przerywany, tj. po obróbce jednego wrębu następuje podział i cykl powtarza się tyle razy, ile jest zębów w kole,
  - w metodach Oerlikona cykl roboczy jest ciągły podobnie jak przy frezowaniu obwiedniowym walcowych kół zębatach.



# Dobór metody wykonania kół zębatych

## Wpływ czasu obróbki

Tabela XVIII/4. Zestawienie czasów głównych obróbki przekładni stożkowej o uzębieniu łukowym

z	Wg Gleasona, sposób									Wg Oerli-kona	Wg Klin-geln-berga		
	2			3			4						
	$t_z$	$t_w$	$\Sigma t$	$t_z$	$t_w$	$\Sigma t$	$t_z$	$t_w$	$\Sigma t$				
8	Czas maszynowy	1,76	1,98	3,74	1,76	1,98	3,74	1,76	1,98	3,74	6,05	1,93	
	Zamo-cowań	liczba	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	1
		czas	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	1,0
	Czas całkowity	2,76	3,98	6,74	2,76	3,98	6,74	2,76	3,98	6,74	7,05	2,93	
49	Czas maszynowy	10,8	5,45	16,25	10,8	5,45	16,25	10,8	3,27	14,07	22,3	19,93	
	Zamo-cowań	liczba	1	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1
		czas	1,25	2,5	3,75	1,25	1,25	2,5	1,25	1,25	2,5	1,25	1,25
	Czas całkowity	12,05	7,95	20,00	12,05	6,70	18,75	12,05	4,52	16,57	23,55	21,18	
Czas obróbki pary kół		14,81	11,93	26,74	14,81	10,68	25,49	14,81	8,50	23,31	30,60	24,11	

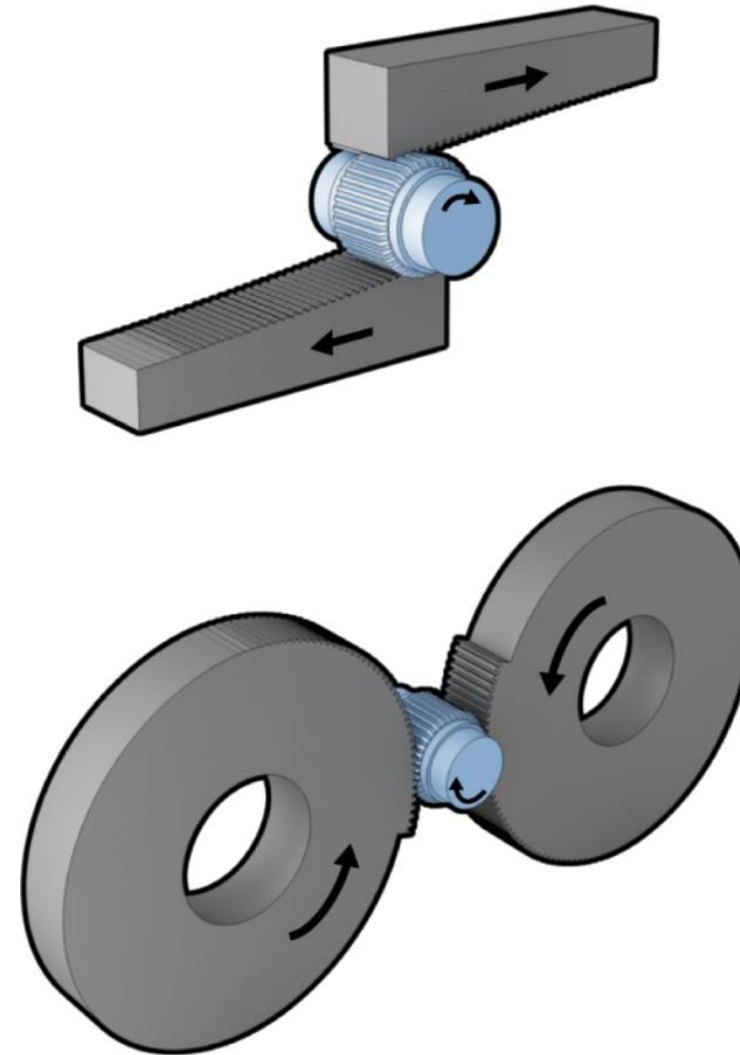
Objaśnienia:  $t_z$  – czas obróbki zgrubnej,  $t_w$  – czas obróbki wykańczającej,  $\Sigma t$  – suma czasów.  
 Czas zamocowania przedmiotu o masie do 3 kg – 1,0 min.  
 do 8 kg – 1,25 min.

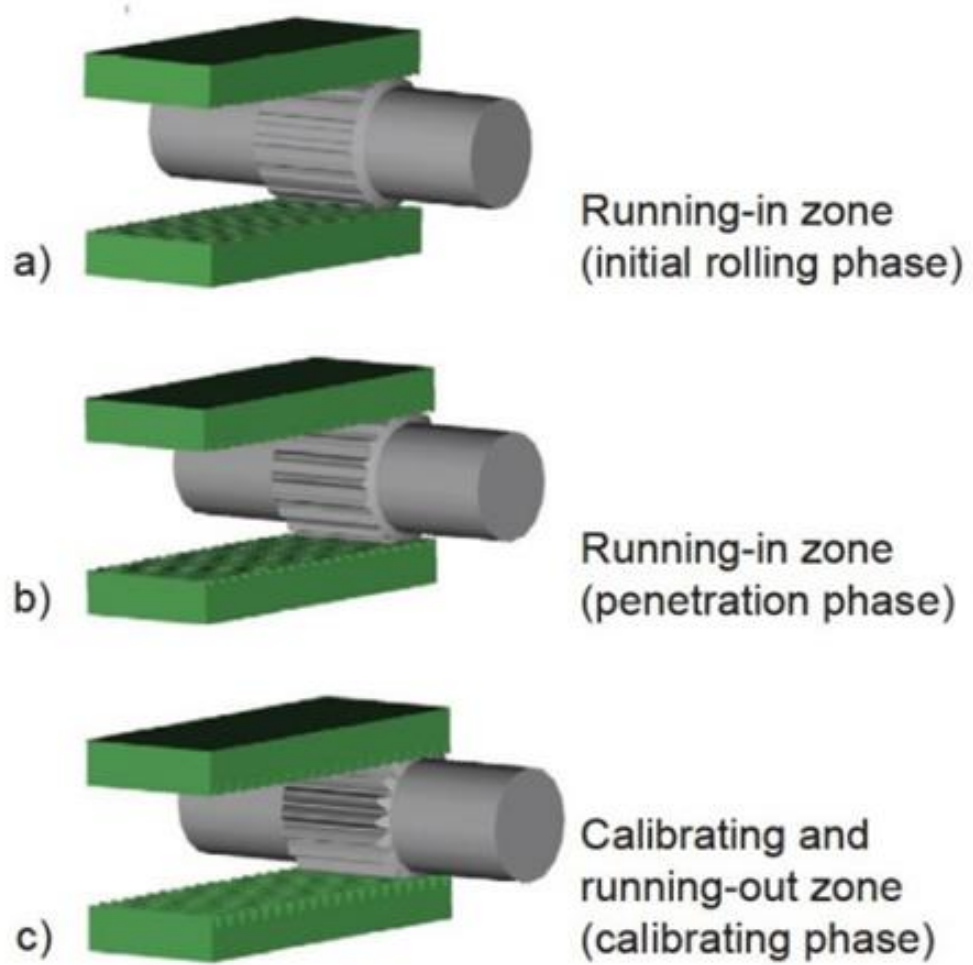
## Dobór metody wykonania kół zębatych

### Przy wyborze metody obróbki należy wziąć pod uwagę ponadto:

- Wpływ dokładności i chropowatości powierzchni bocznej uzębienia.
  - Co się tyczy dokładności, to trudno wyróżnić którąkolwiek metodę, gdyż w obydwu metodach można doszukać się pewnych słabych punktów.
    - W metodach Gleasona takim punktem jest układ podziałowy.
    - W metodach Oerlikona decydujące znaczenie ma staranność ustawienia noży w głowicy.
- Jeśli chodzi o chropowatość bocznej powierzchni uzębienia, to niewątpliwie łatwiej uzyskać małą chropowatość przy metodach Gleasona niż przy metodach Oerlikona.
- Wpływ wielkości produkcji.
  - W produkcji jednostkowej jak i średnioseryjnej chodzi o jak najdalej idącą uniwersalność metody, tj. zastosowanie takiej obrabiarki, na której można by obrabiać koła o różnych wielkościach.
    - Takie warunki niewątpliwie spełniają sposoby 1 i 2 wg metody Gleasona.
- W produkcji w większych seriach, wielkoseryjnej i masowej decydującym czynnikiem są:
- czas obróbki pary kół zębatych współpracujących,
- łatwość montażu i trwałość przekładni,
- koszty inwestycyjne.
  - czasy obróbki wg wszystkich sposobów Gleasona są krótsze niż w metodach Oerlikona, a więc patrząc od tej strony należałoby dać pierwszeństwo sposobom Gleasona.
  - Co się tyczy łatwości i poprawności montażu, to przewagę mają te metody, które dają przy obróbce zazębienie ewolwenty, więc odpada metoda „Formate” Gleasona, gdyż wprowadzie i tutaj można uzyskać również dobre wyniki montażu, ale najmniejsze rozregulowanie doprowadza najczęściej do zmniejszenia okresu trwałości przekładni.

# Technologie wytwarzania kół zębatych metodami innymi niż obróbka skrawaniem





**Figure 2: Flat rolling process steps [4]**

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:853448/FULLTEXT01.pdf>

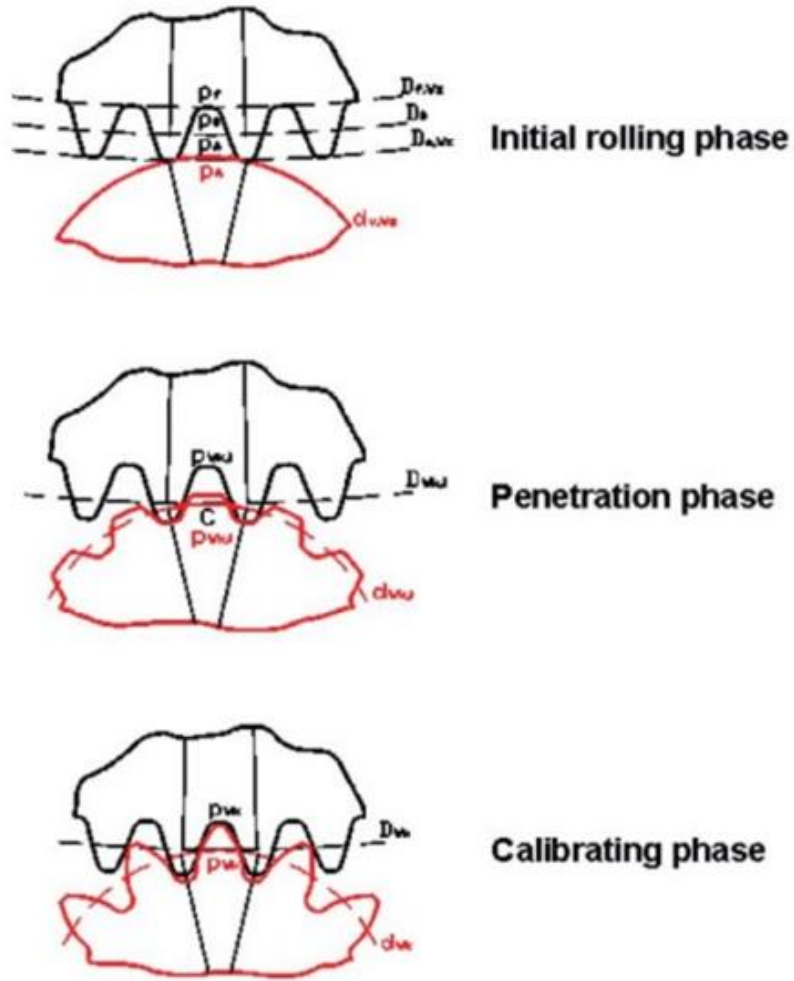


Figure 3: Round rolling process steps [4]

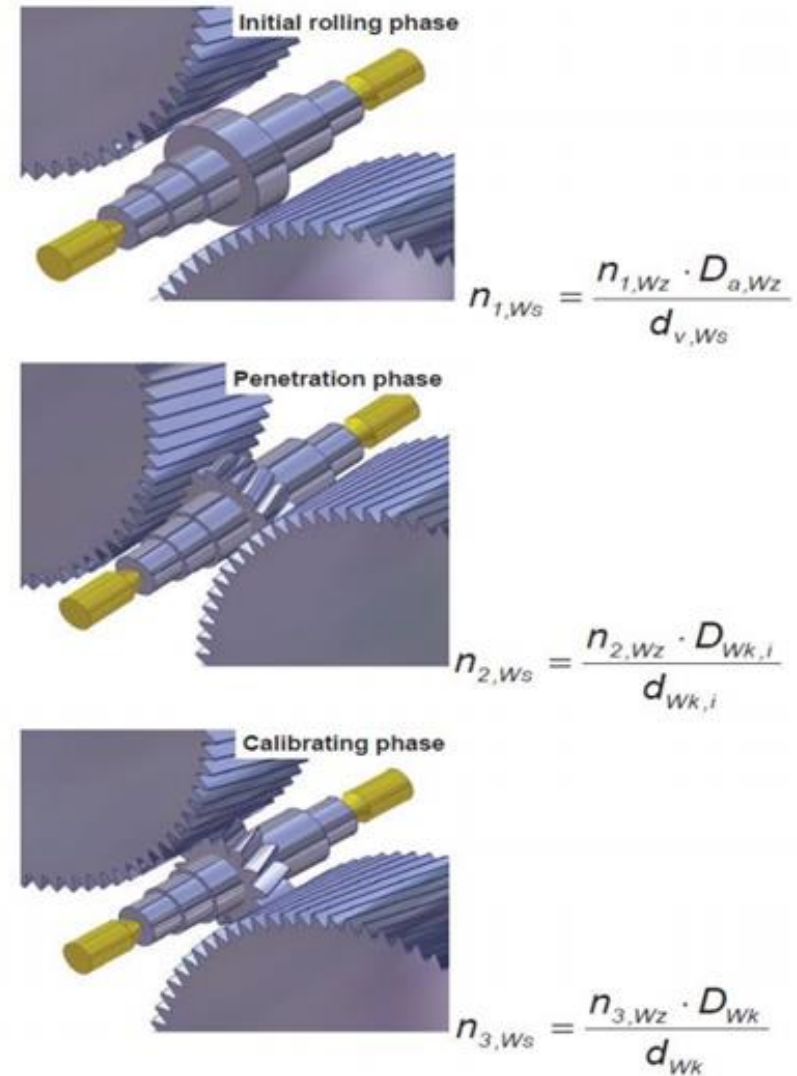
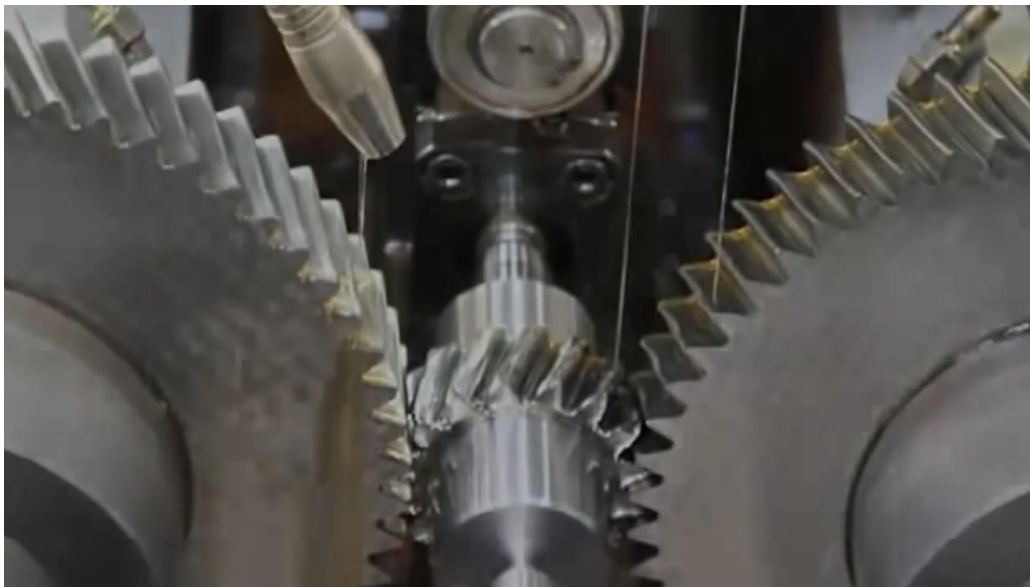
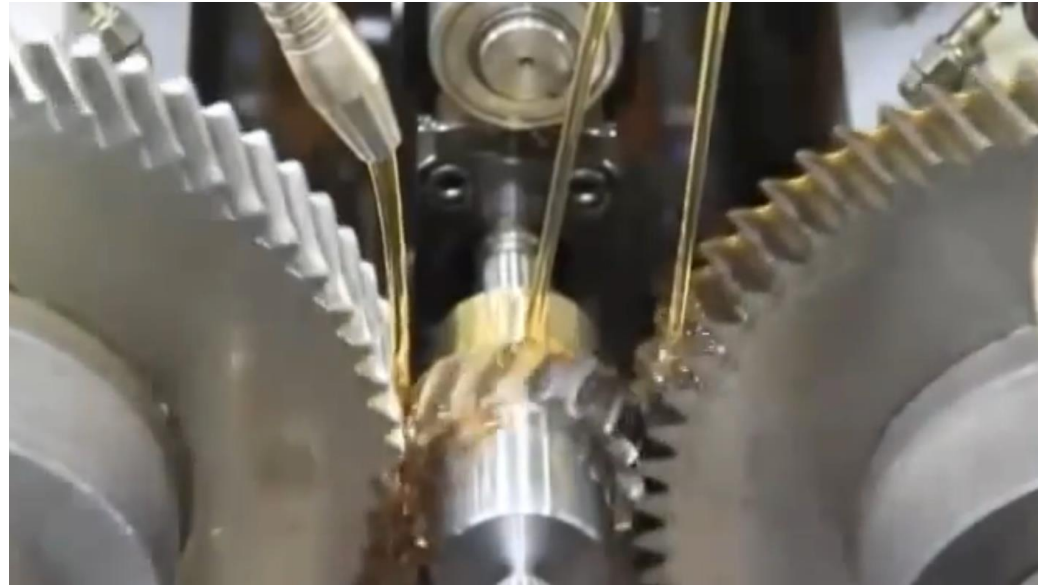
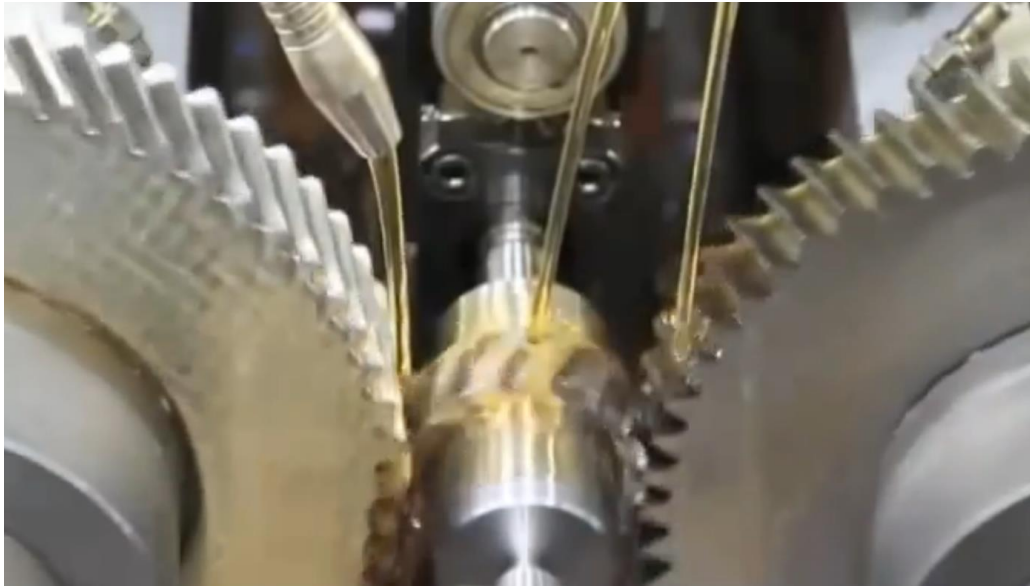
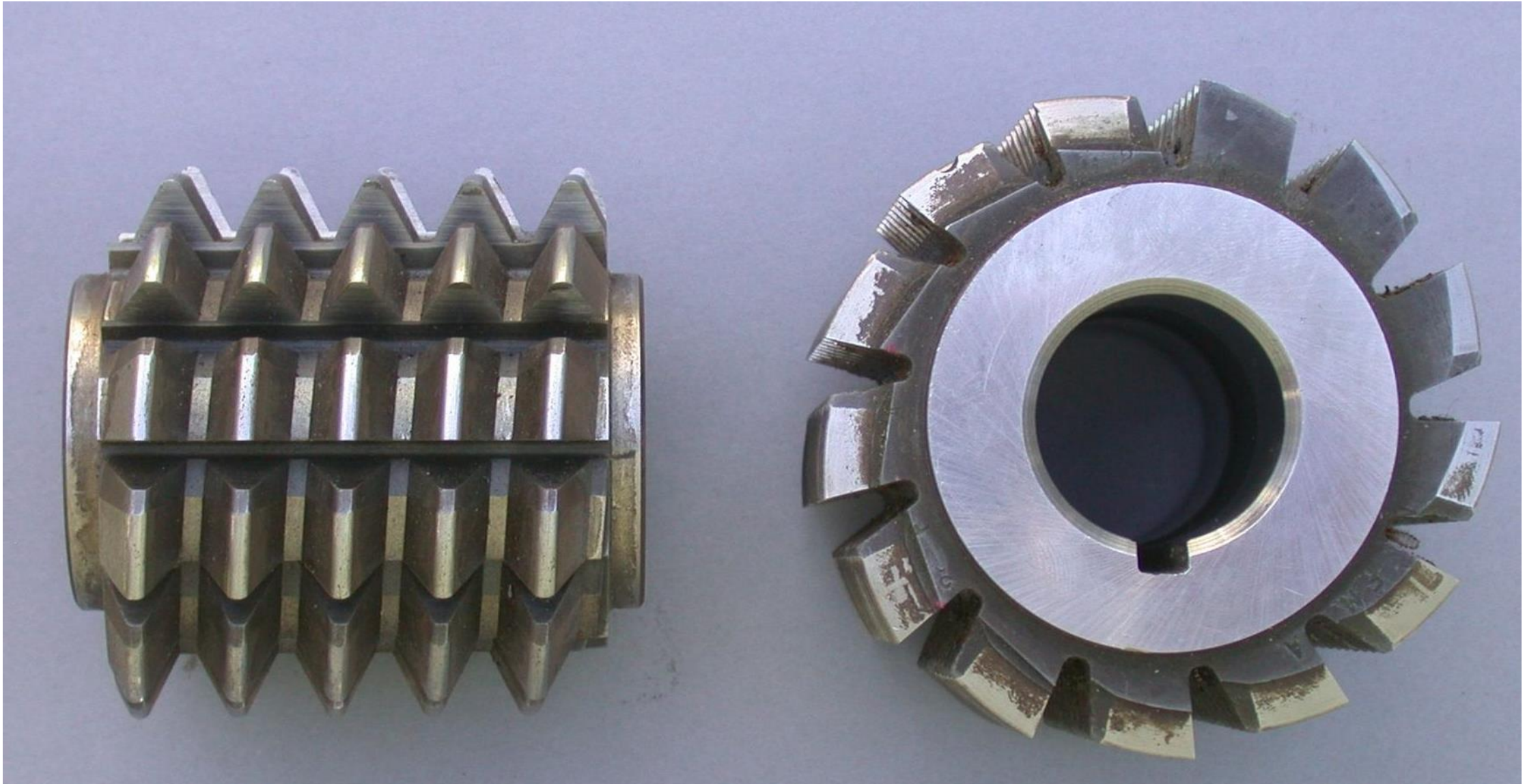


Figure 14: Diameter-dependent speed adjustments in the round rolling process [4]

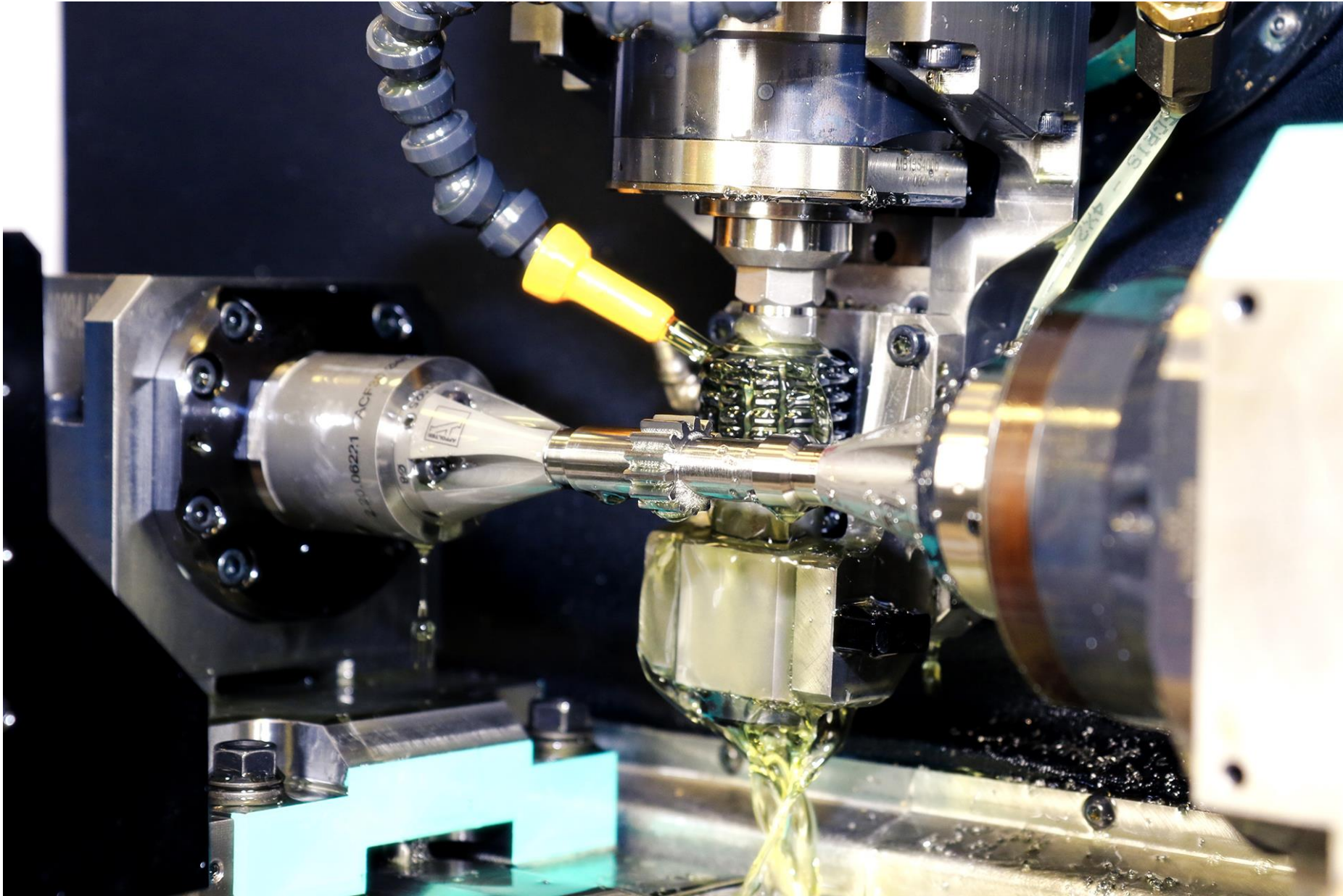


Narzędzia i obrabiarki do  
produkcji kół zębatych.

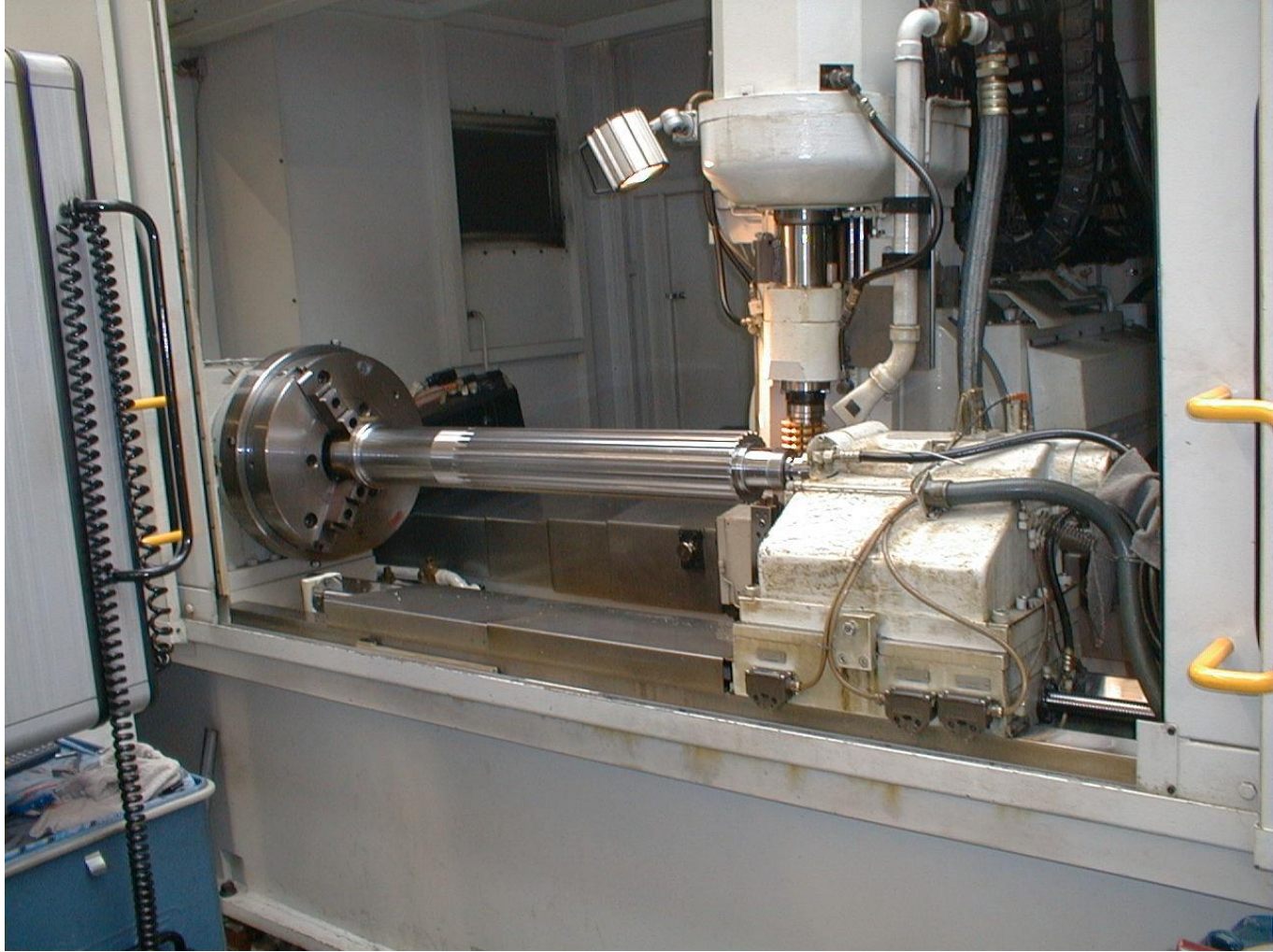


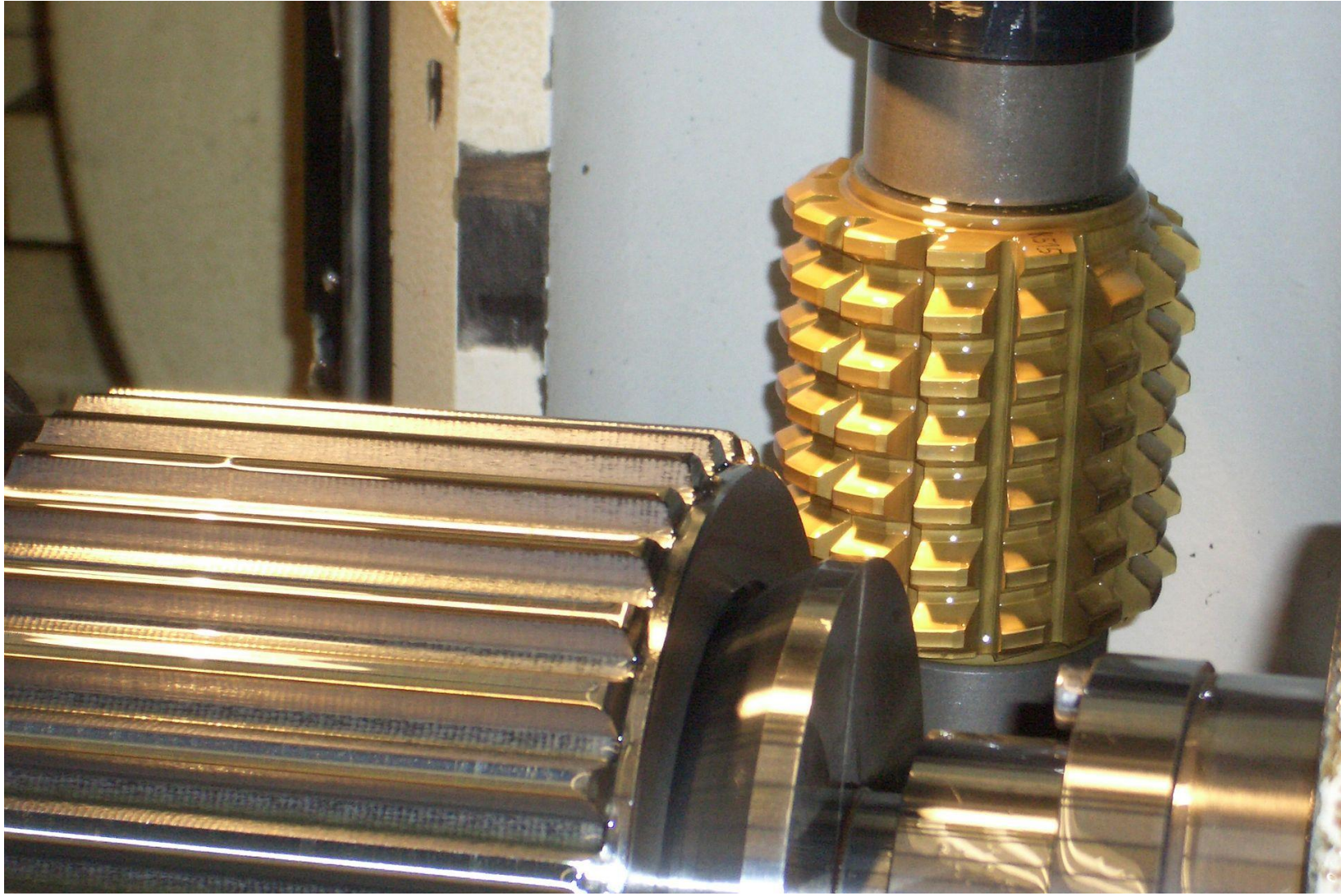


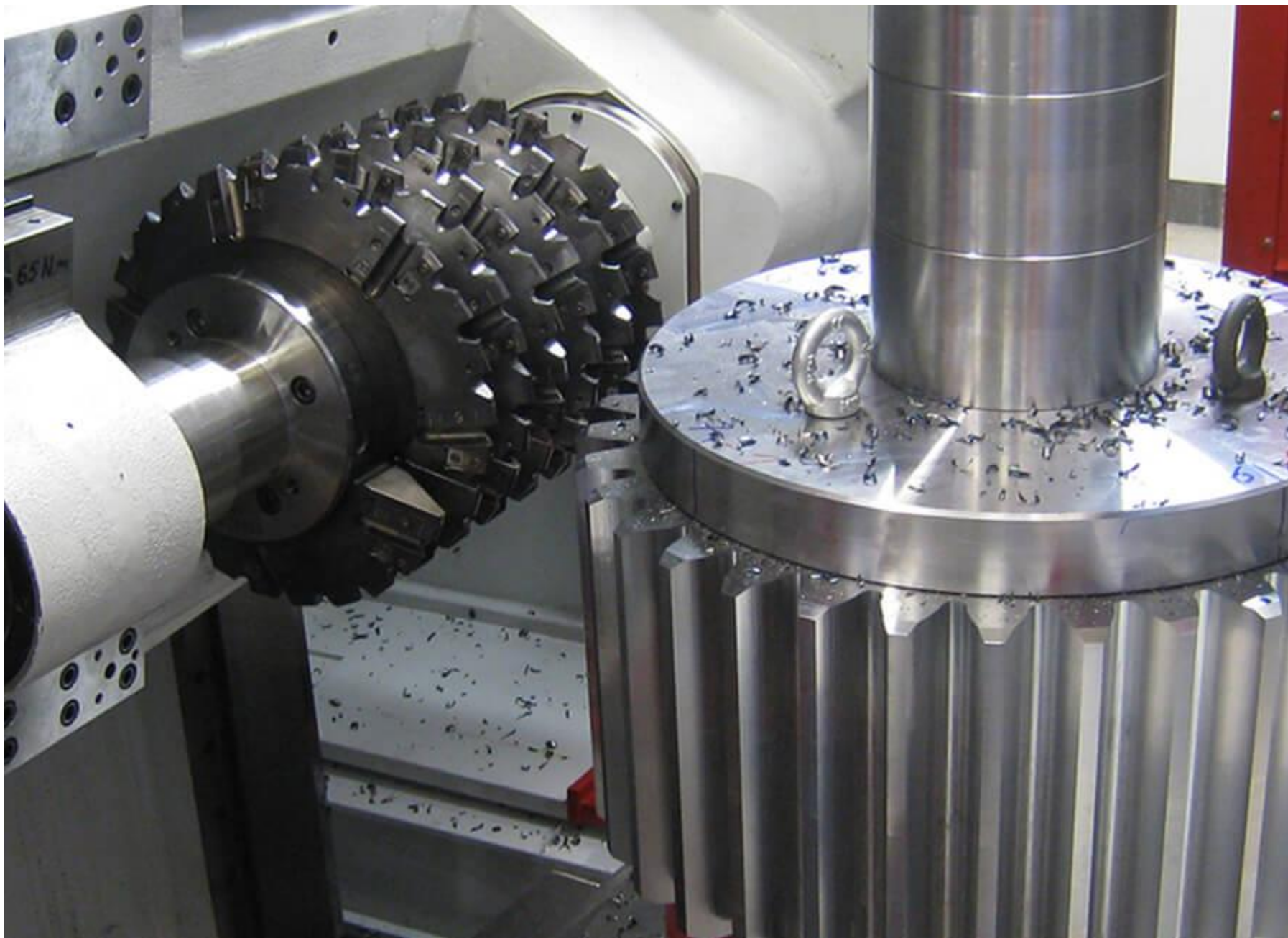
<https://en.wikipedia.org/wiki/Hobbing#/media/File:MillingCutterHobbingInvolute.jpg>



[https://en.wikipedia.org/wiki/Gear\\_cutting](https://en.wikipedia.org/wiki/Gear_cutting)



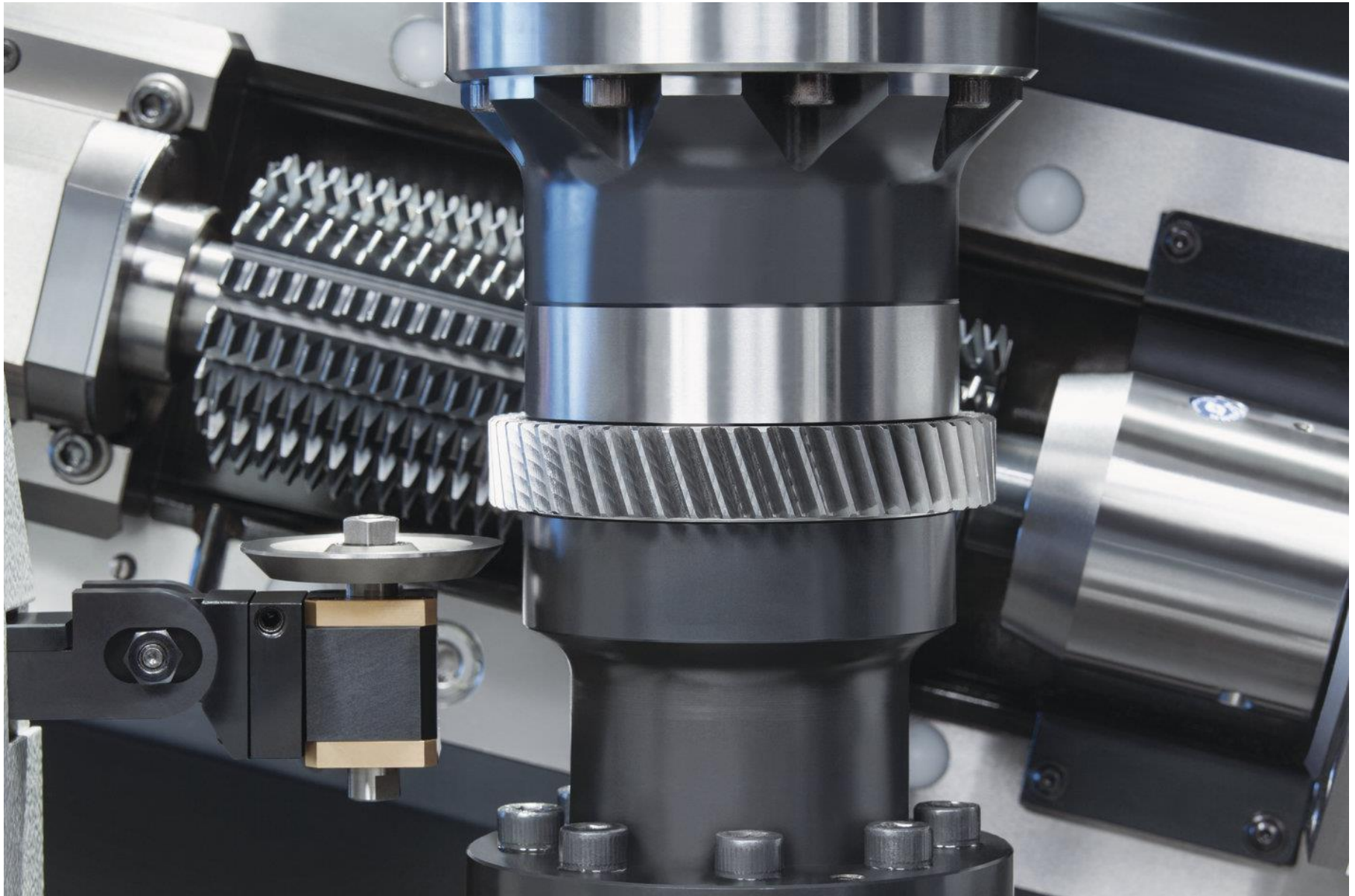




data:image/gif;base64,R0lGODlhAQABAAAAADs=



<https://www.liebherr.com/en/gbr/products/gear-technology-and-automation-systems/gear-cutting-machines/gear-hobbing-machines/gear-hobbing-machines.html>

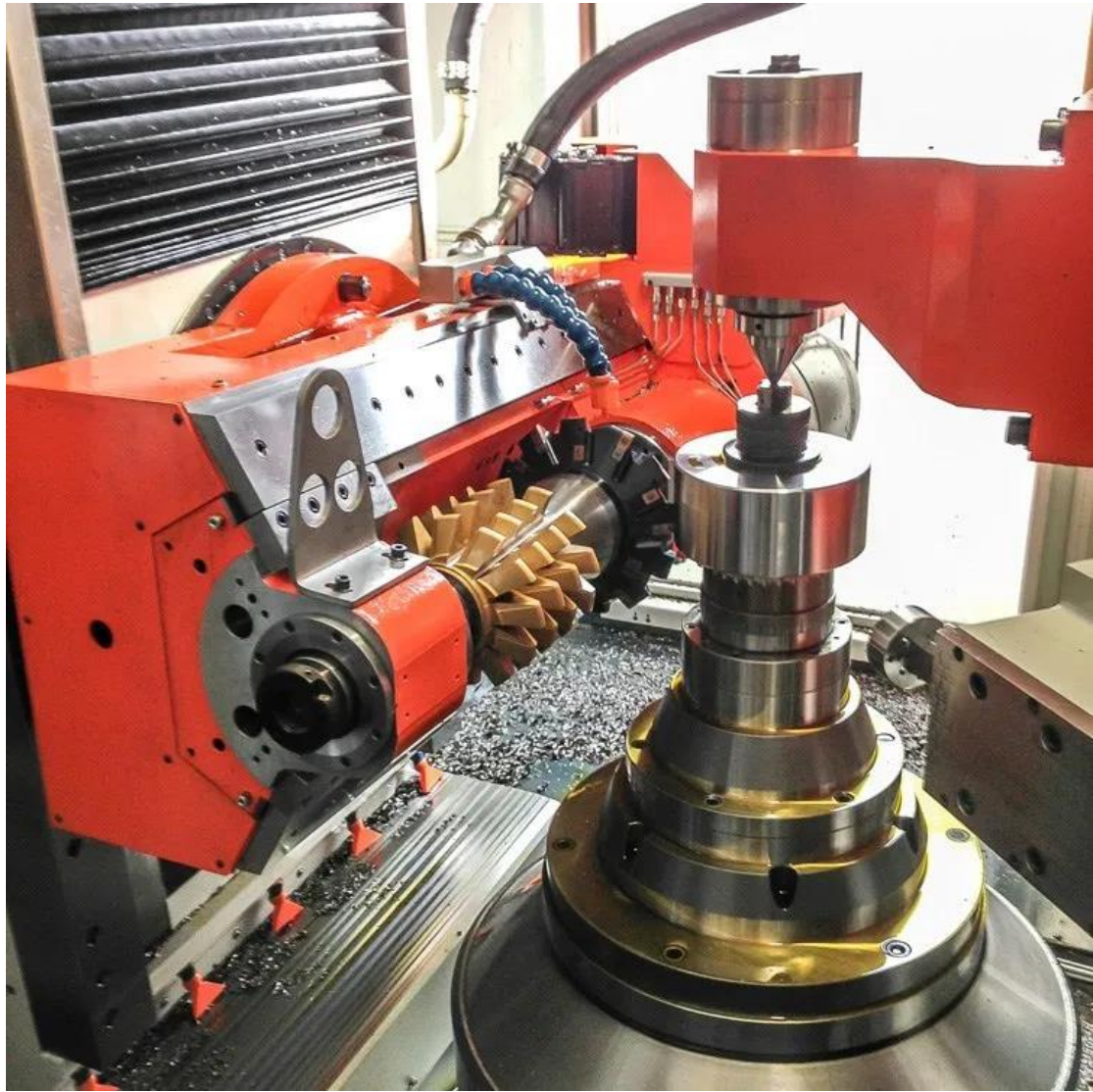


<https://www.emag.com/machines/gear-hobbing-machines/vertical-gear-hobbing-machines/vl-4-h.html>

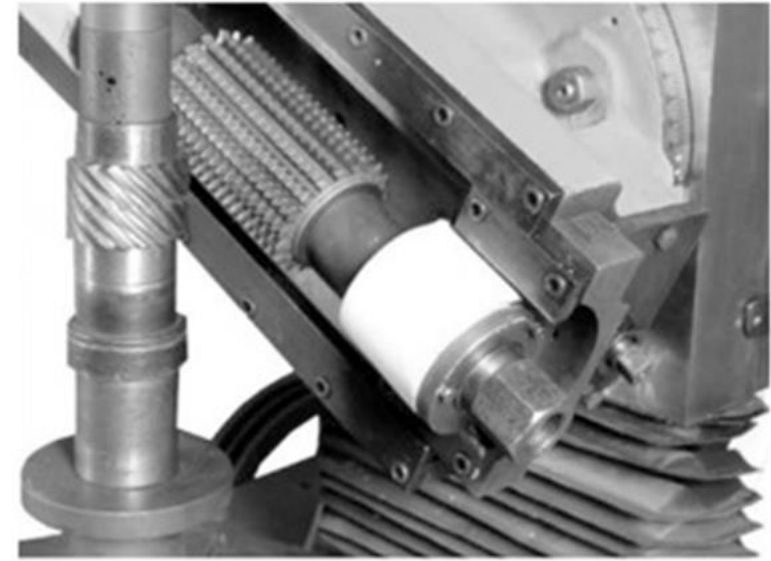
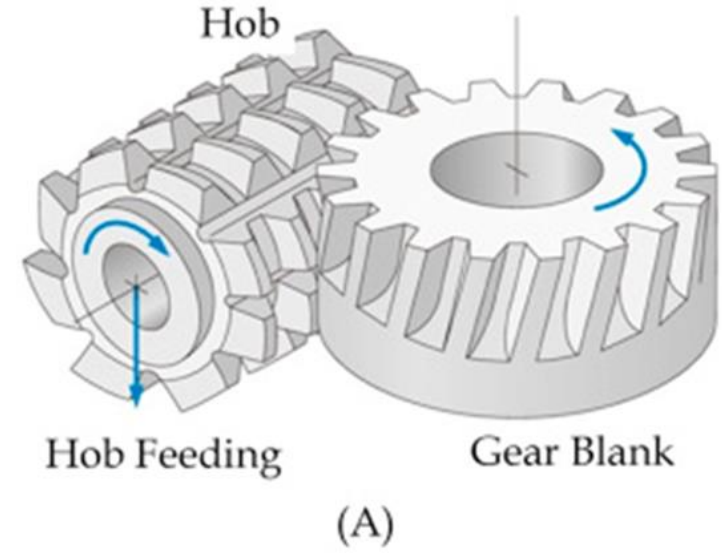


*[Źródło: https://www.gleason.com/files/fWV2sS/201602\\_gleason\\_solutions\\_en.PDF](https://www.gleason.com/files/fWV2sS/201602_gleason_solutions_en.PDF)*





<https://koepferamerica.com/gear-machine-tools/gear-cutting-machines/>



(B)

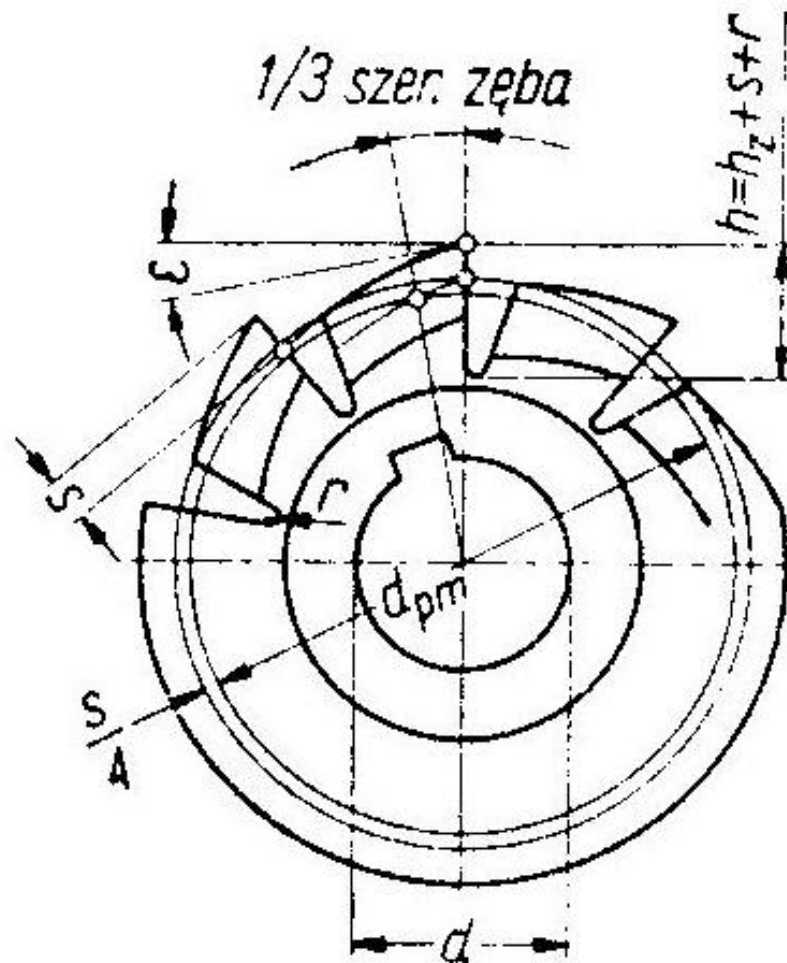
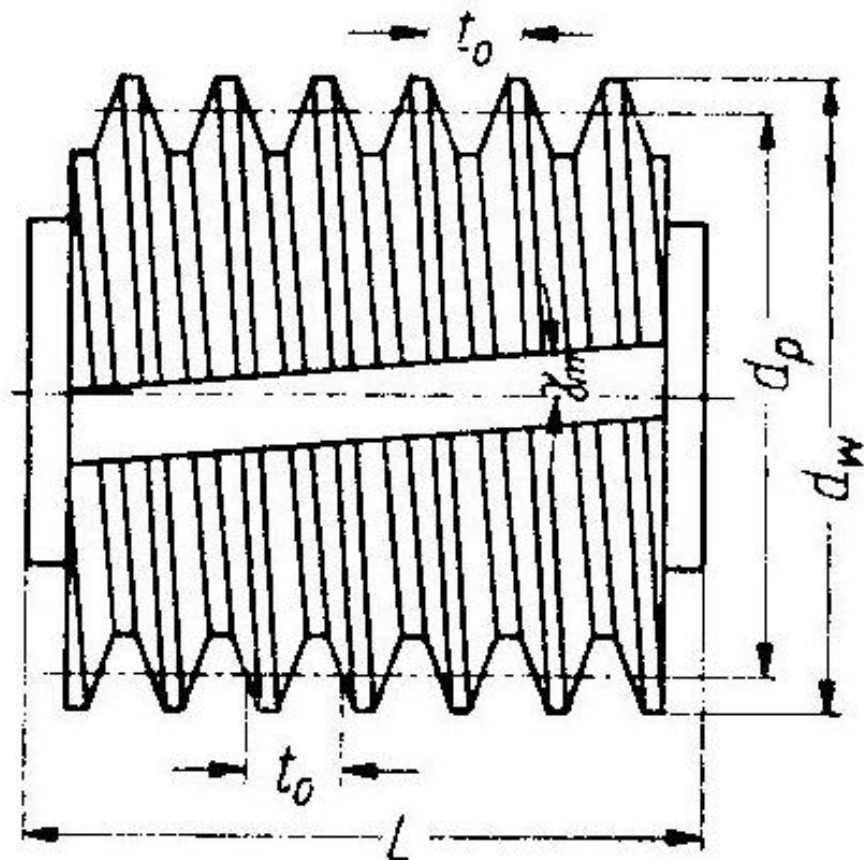
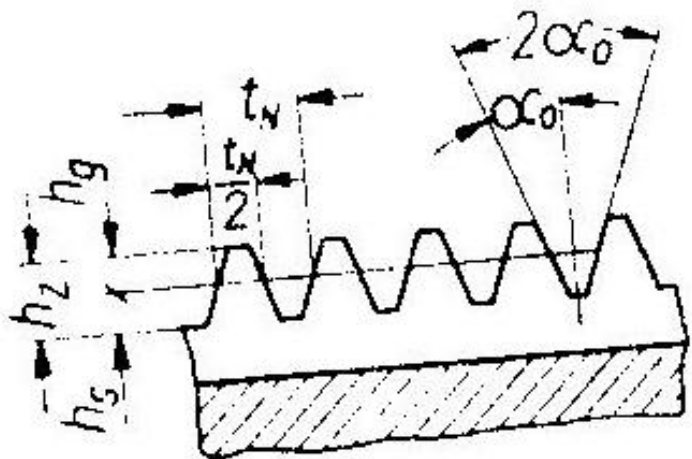
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/generative-process>

## Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie



*I. Podstawy geometryczne konstrukcji  
freza ślimakowego i jego ustawienie*

## Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie



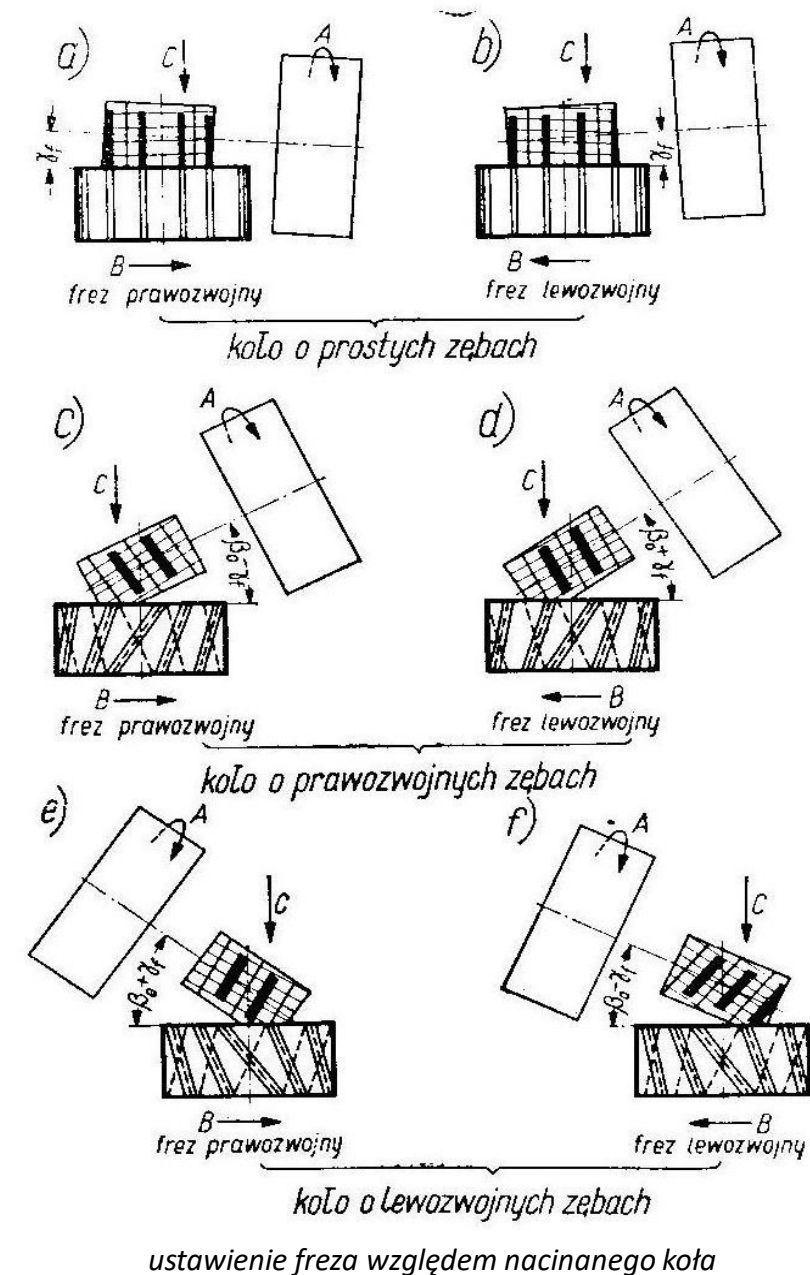
### Frez ślimakowy

- frez kształtowy o zębach **ZATACZANYCH** w celu zachowania trwałości

Posiada prostopadłe do linii podziałowej **ROWKI** – zapewniają dogodne warunki skrawania

**POWIERZCHNIA NATARCIA** - przechodzi przez środek koła przekroju (zatem kąt natarcia =  $0^\circ$ )

Zarys boku zęba przyjmuje się jako **TRAPEZOWY**



ustawienie freza względem nacinanego koła

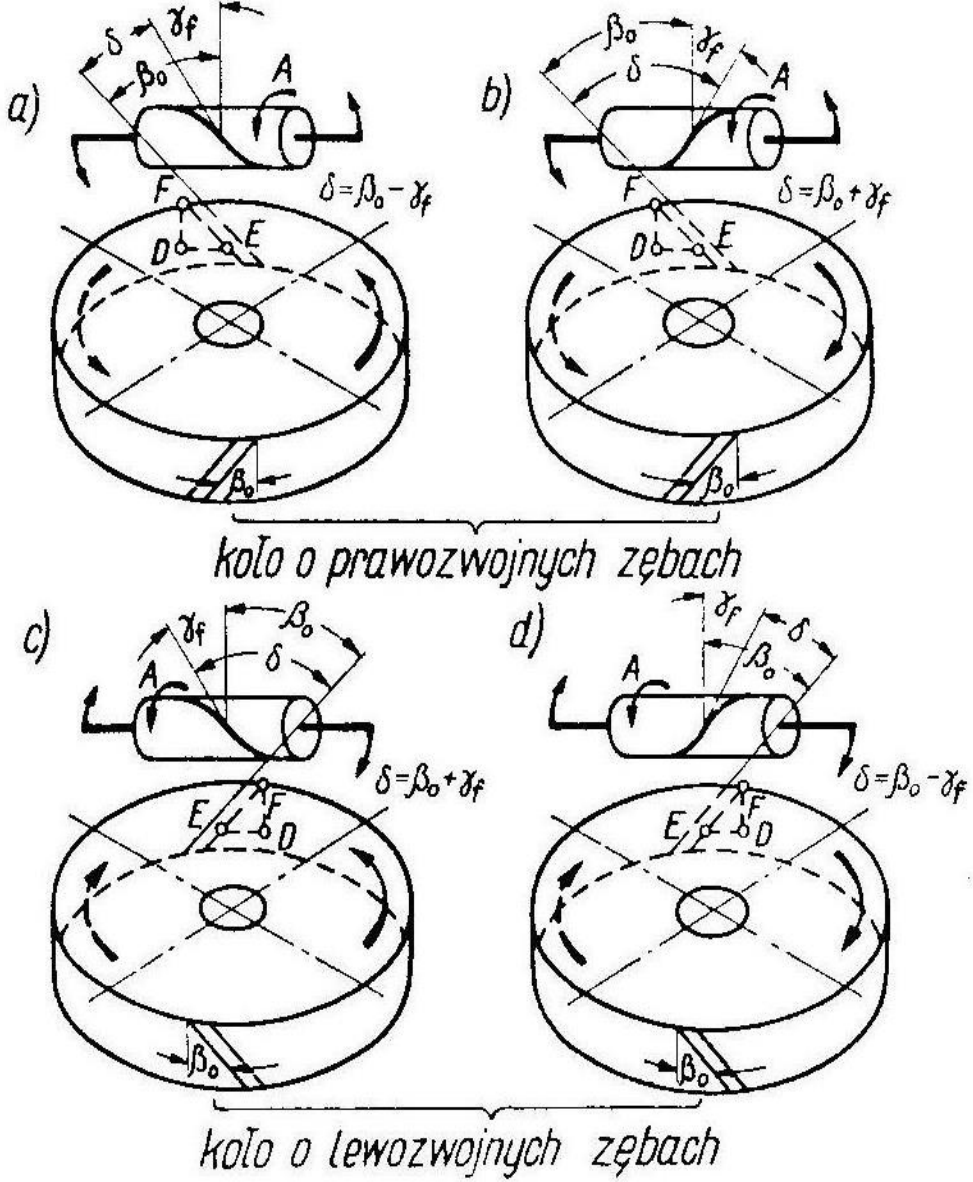
**Ustawienie freza**  
 - zwoje **FREZA** muszą pokrywać się z linią zęba **KOŁA**

W tym celu należy skrócić oś freza za pomocą **OBROTNI**

Podziałka **FREZA** musi odpowiadać podziałce obrabianego **KOŁA**  
 $t_N = t_o$

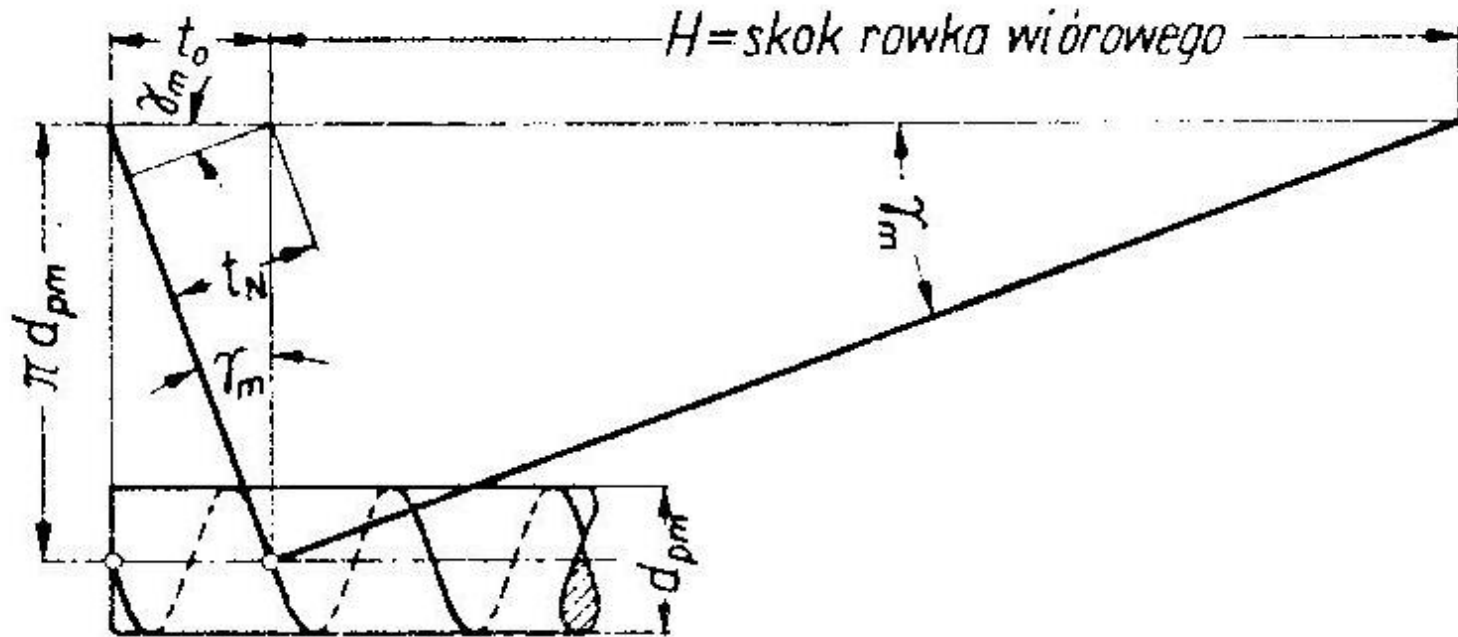
frez prawozwojny

frez lewozwojny



kąty ustawienia osi freza względem obrabianego koła oraz kierunki obrotu przedmiotu - koła o zębach śrubowych 180

# Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie



rozwiniecie freza ślimakowego

$t_N$  – podz. freza w przekroju norm.

$t_o$  – podziałka osiowa obr. koła

$d_p$  – średnica podziałowa freza

$\gamma$  – kąt wzniosu linii śrubowej zwoju

$m_o$  – moduł

$H$  – skok rowka wiórowego

$d_{pm}$  – uśredniona wartość śred. podz.

$s$  – wielkość zatoczenia zęba

$H$  – skok rowka wiórowego freza

$$t_o = \frac{t_N}{\cos \gamma}; \sin \gamma = \frac{t_N}{\pi d_p}$$

$$t_N = m_o \pi \rightarrow \sin \gamma = \frac{m_o}{d_p}$$

$$H = \frac{\pi d_p}{\tan \gamma}$$

$$d_{pm} = d_p - 2 \frac{s}{4} = d_p - \frac{s}{2}$$

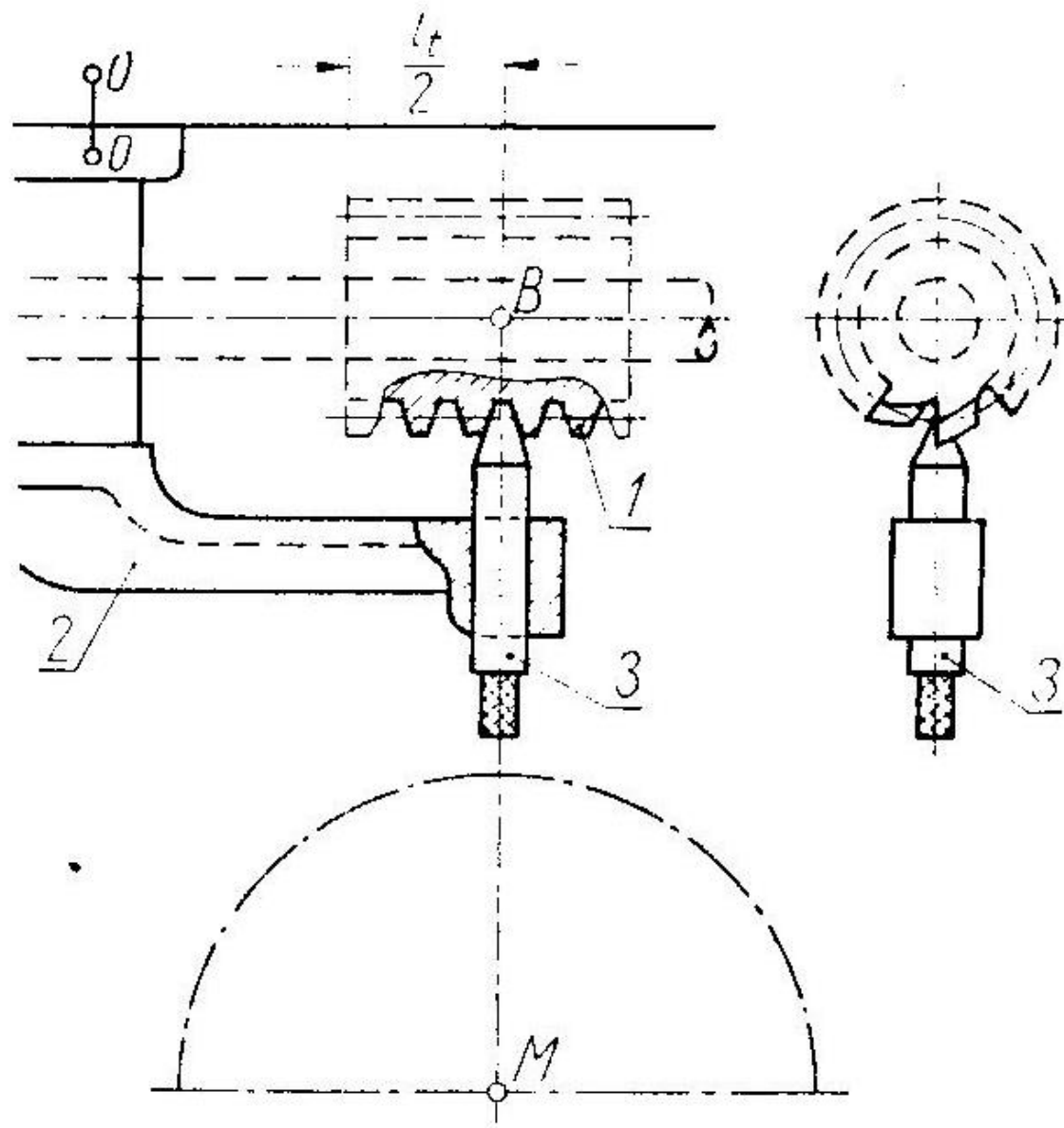
$$\tan \gamma_m = \frac{\sin \gamma_m}{\sqrt{1 - (\sin \gamma_m)^2}}$$

$$\tan \gamma_m = \frac{\sin \gamma_m}{m_o \sqrt{d_{pm}^2 - m_o^2}}$$

$$H = \frac{\pi d_{pm}}{m_o} \sqrt{d_{pm}^2 - m_o^2}$$

22.05.2020

## Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie



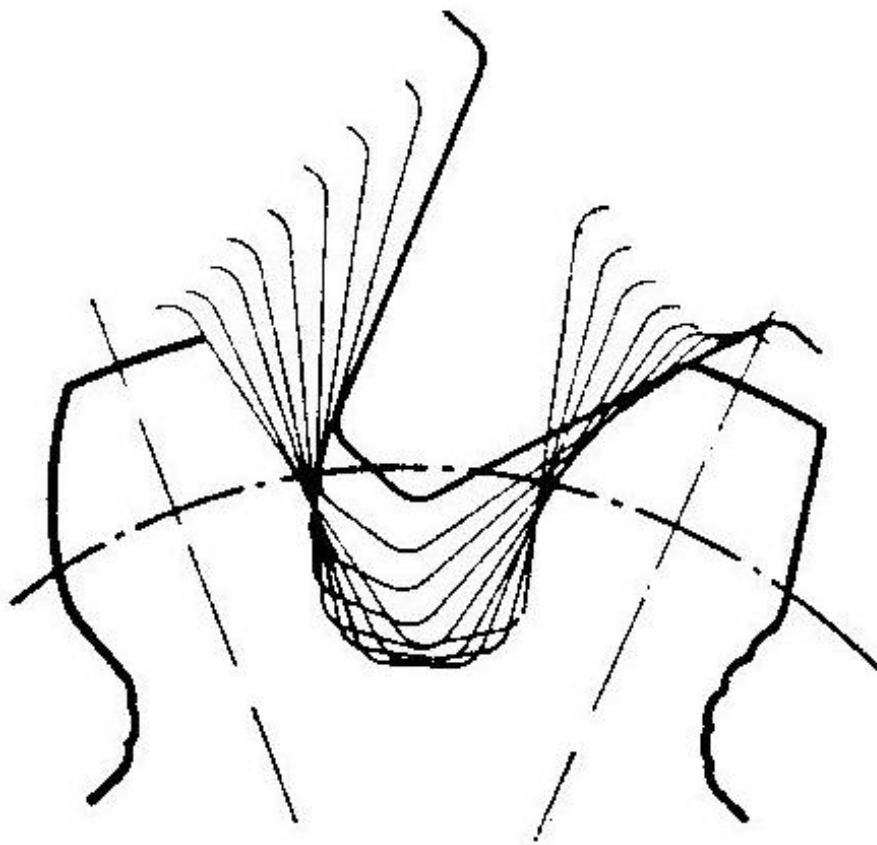
### KLUCZOWE WARUNKI

- 1) zwoje zębów **Freza** ułożone wzdłuż linii zębów nacinanego **KOŁA**
- 2) odpowiednie zęby zwoju **Freza** symetrycznie względem linii środkowej obrabianego **Koła**

*ustawienie freza przy użyciu palca ustawczego (widok z góry)*  
1 – frez, 2 – ramię, 3 – stożkowy palec, 4 – wspornik

22.05.2020

# Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie



*niesymetryczny zarys zęba spowodowany nieodpowiednim ustawieniem freza względem obrabianego koła*

## KLUCZOWE WARUNKI

- 1) zwoje zębów **Freza** ułożone wzdłuż linii zębów nacinanego **KOŁA**
- 2) odpowiednie zęby zwoju **Freza** symetrycznie względem linii środkowej obrabianego **Koła**

### niespełniony war. 1)

- **zniekształcenie symetryczne** – zmiana kąta zarysu zęba koła

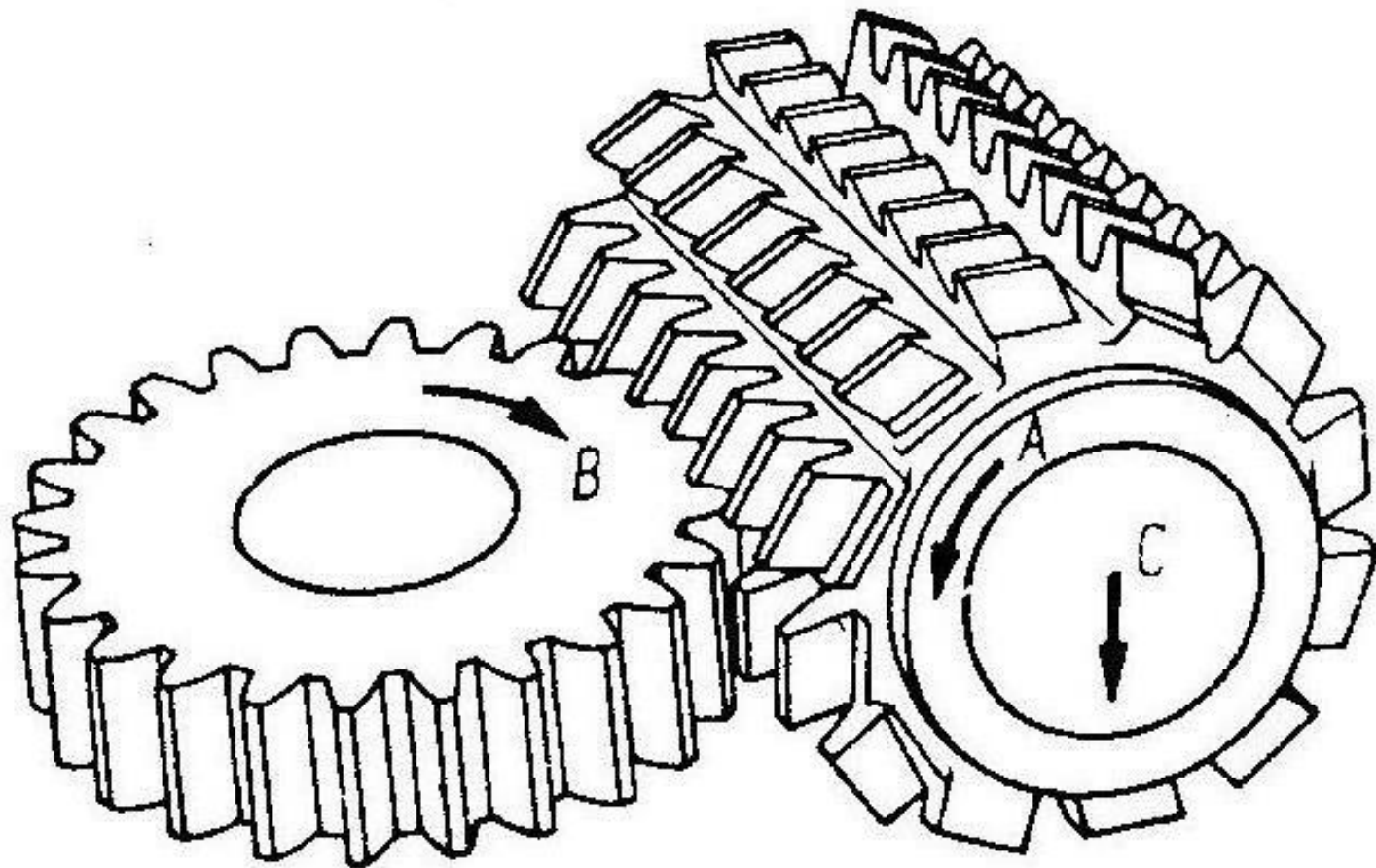
### niespełniony war. 2)

- **zniekształcenie asymetryczne** – ząb obrobiony w **całości** U WIERZCHOŁKA, **niezupełnie** U PODSTAWY

### Uniknięcie asymetryczności

- ustawienie **FREZA** tak, by na oba boki obr. **ZĘBA** przypadła jednakowa ilość ruchów ostrza

## Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie

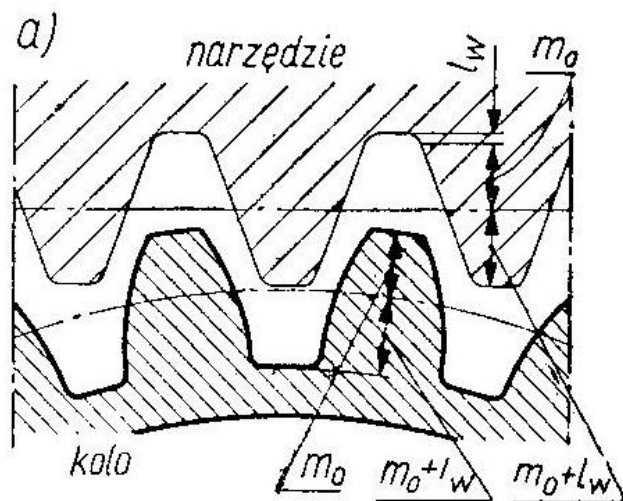


*frezowanie zębów prostych w walcowym kole zębatym za pomocą freza ślimakowego*

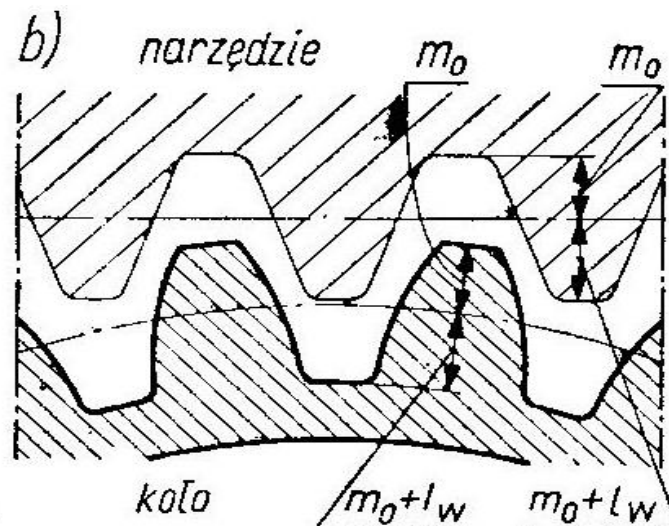


# Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie

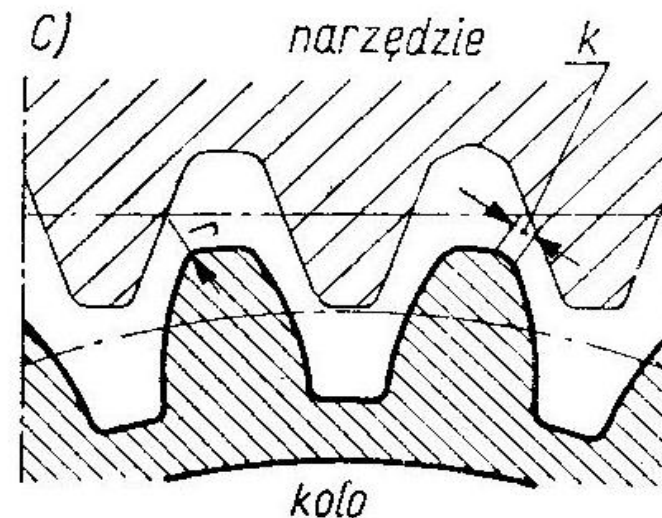
różne kształty zarysów zębów freza ślimakowego



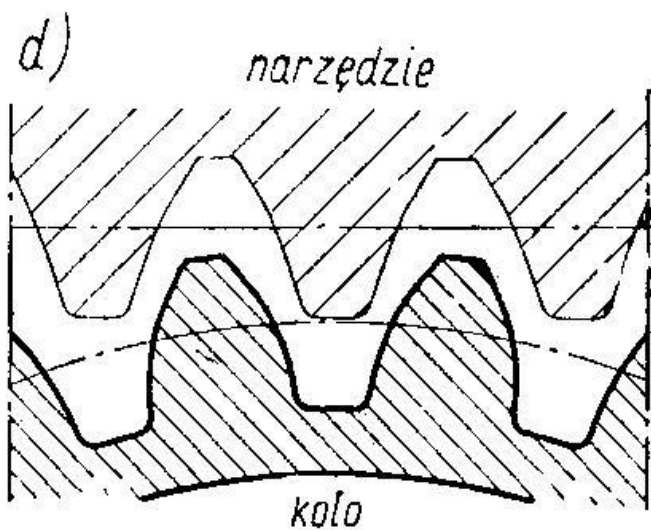
koło bez modyfikacji



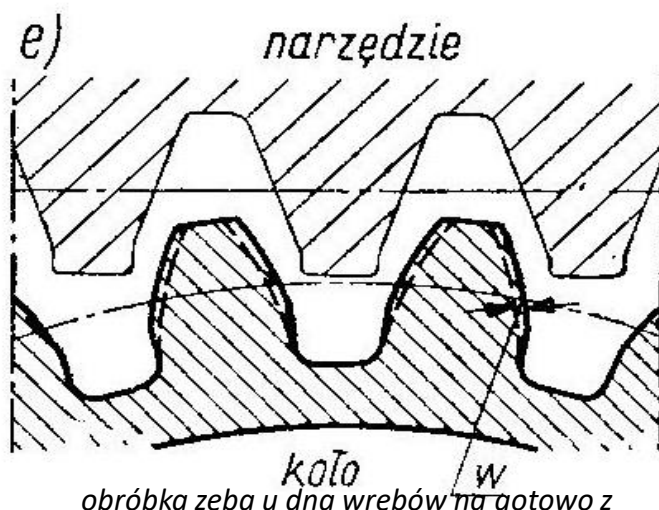
frez skrawa dnem wrębu i obrabia wierzchołek zęba koła



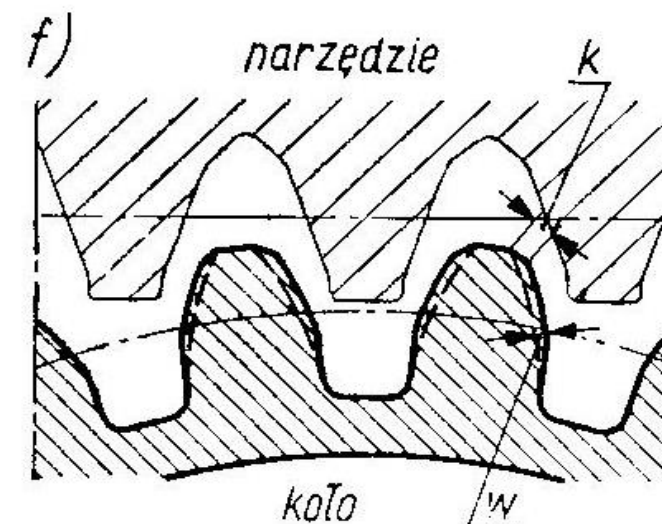
frez załamuje krawędzie wierzchołkowe zęba koła



frez stwarza warunki modyfikacji zęba u wierzchołka



obróbka zęba u dna wrębów na gotowo z pozostawioną warstwą do zdjęcia poprzez wiórkowanie

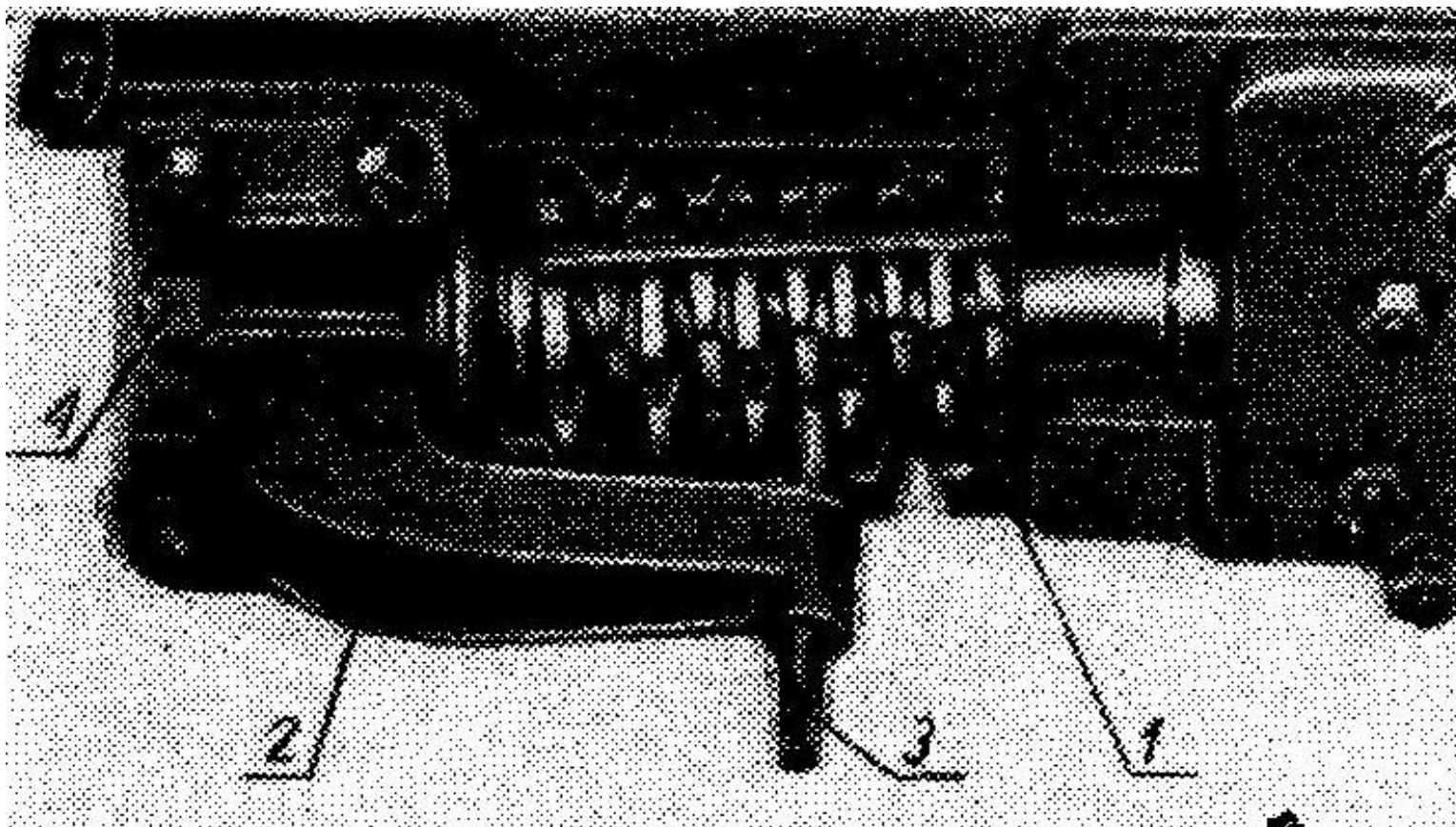


połączenie wyników frezowania c) i e)



*III. Zamocowanie freza ślimakowego*

## Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie



ustawienie freza przy użyciu palca ustawczego (widok)  
1 – frez, 2 – ramię, 3 – stożkowy palec, 4 – wspornik łożyskowy

### Zabieranie II -korzystniejsze

- za pomocą zbieraków czołowych, które wchodzą we wgłębienia czołowe

Frez mocuje się w TRZPIENIU  
– osadzonym **stożku wrzeciona** i łożyskowanym we **wsporniku**

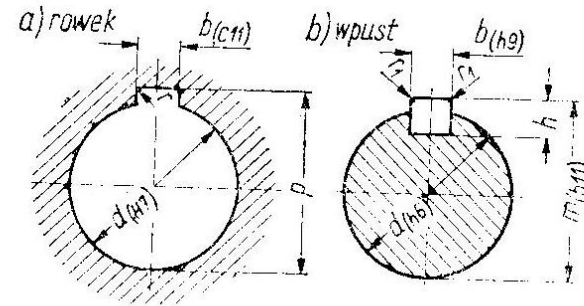
Frez nie powinien się obracać na trzpieniu – musi być przymusowo **ZABIERANY**

### Zabieranie I

- za pomocą wpustu osadzonego we wzdłużnym rowku wrzeciona

## III. Zamocowanie freza ślimakowego

Zabieranie freza przez wpust



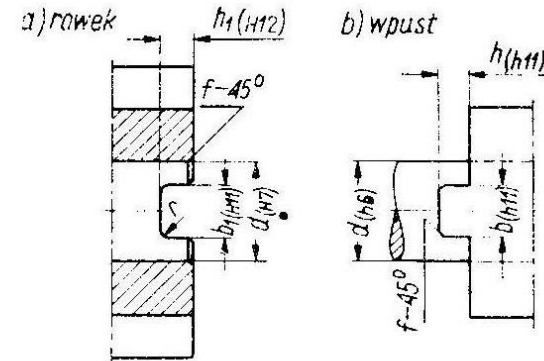
$d$	8	10	13	16	(19)	22	27	32	40	50	60	70	80	100
$b$	2	3	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	24
$h$	2	3	3	4	5	6	7	7	8	8	9	10	11	14
$m$	8,7	11,2	14,2	17,2	20,6	23,6	29	34,0	42,5	52,5	63,0	73,5	84	105
$p_{min}$	8,9	11,5	14,6	17,7	21,1	24,1	29,8	34,8	43,5	53,5	64,2	75	85,5	107
$r_{max}$	0,4	0,4	0,6	0,6	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	2	2	2,5
$r_{1min}^1)$		0,2				0,4				0,6				

<sup>1)</sup> Wymiary  $r_1$  odnoszą się do promienia lub fazy  $r_1/45^\circ$

otwory i wpusty dla frezów nasadzanych (PN-60/M-55083)

## III. Zamocowanie freza ślimakowego

Zabieranie freza przez zęby zabierakowe



$d$	5	8	10	13	16	(19)	22	27	32	40	50	60
$b_1$	3,3	5,4	6,4	8,4	8,4	10,4	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	20,5
$h_1$	2,5	4,0	4,5	5,0	5,6	6,3	6,3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,2
$b$	3	5	6	8	8	10	10	12	14	16	18	20
$h$	2,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,6	5,6	6,3	7,0	8,0	9,0	10,0
$f$	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
$r_{max}$	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,6	2,0	2,0	2,0
dop. przesadz. osi rowka wzgl. osi rowka							0,1					0,125

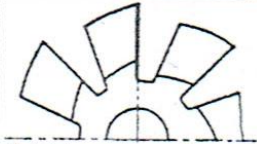


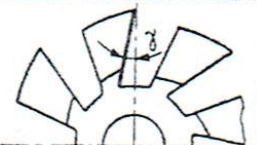
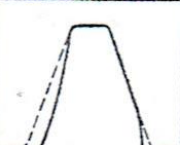
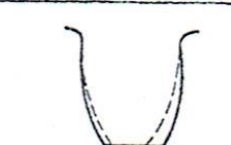



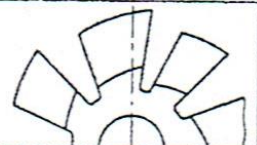


otwory i zbieraki dla frezów nasadzanych (PN-60/M-55083)



#### *IV. Ostrzenie frezów ślimakowych*

# Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie

Źle naostrzony frez może wywołać błędy przy obróbce nacinanego zęba koła. Aby tego uniknąć, należy w właściwy sposób naostrzyć powierzchnię natarcia freza – powinna ona przebiegać dokładnie w kierunku promienia (poz. 1). Niespełnienie tego warunku powoduje zniekształcenie nacinanego zęba. Istotna jest także dokładność podziałki zębów we frezie (poz. 4).

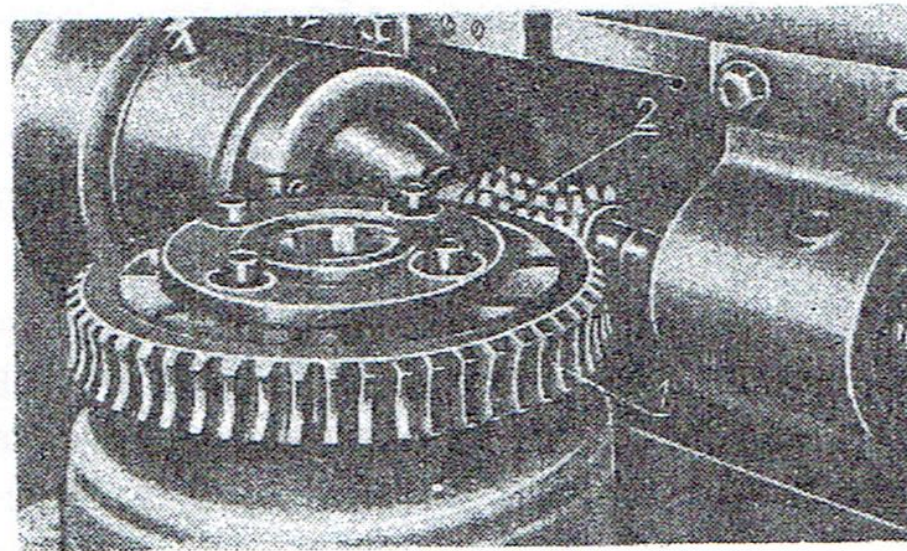
Poz.	Błąd we frezie	kształt zęba freza	kształt obrabianego zęba
1	 właściwie naostrzony frez $\gamma=0$		
2	 dodatni kąt natarcia $\gamma>0$		
3	 ujemny kąt natarcia $\gamma<0$		
4	 błąd podziałki zębów		

Uwaga: linie przerywane odp. właściwemu kształtowi zęba nacinanego

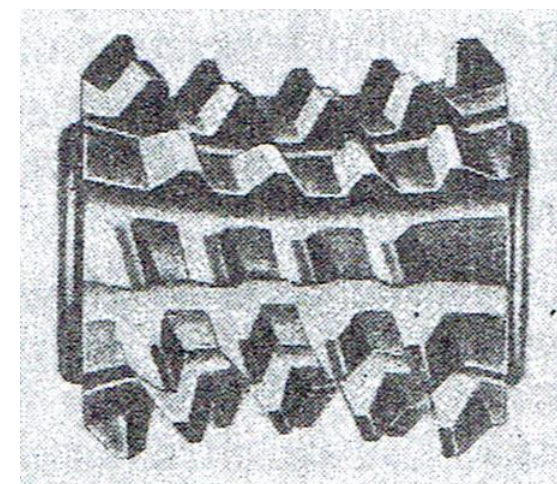
ostrzenie freza ślimakowego za pomocą tarczki szlifierskiej: a),  
c) obustronnie stożkowej; b), d) błędne

## Frez ślimakowy globoidalny

Globoidalne koła ślimakowe można obrabiać jedynie metodami obwiedniowymi za pomocą frezowania na frezarce obwiedniowej – w tym celu używa się freza ślimakowego w kształcie ślimaka globoidalnego, wprowadzonego promieniowo, przy czym jego zęby powinny być cieńsze od zębów ślimaka. Podobnie jak przy metodzie promieniowej frezowania, zęby koła ślimakowego ulegają ścięciu, głównie u wierzchołka. Skutkuje to zmniejszeniem się powierzchni dolegania. Jeżeli natomiast przy obróbce zgrubnej koła ślimakowego frezem o zębach cieńszych spowoduje się powolne przekręcanie obrabianego koła tak, aby tylko jeden bok był obrabiany, wówczas usunie się te ścięcia i uzyska poprawny zarys zębów.



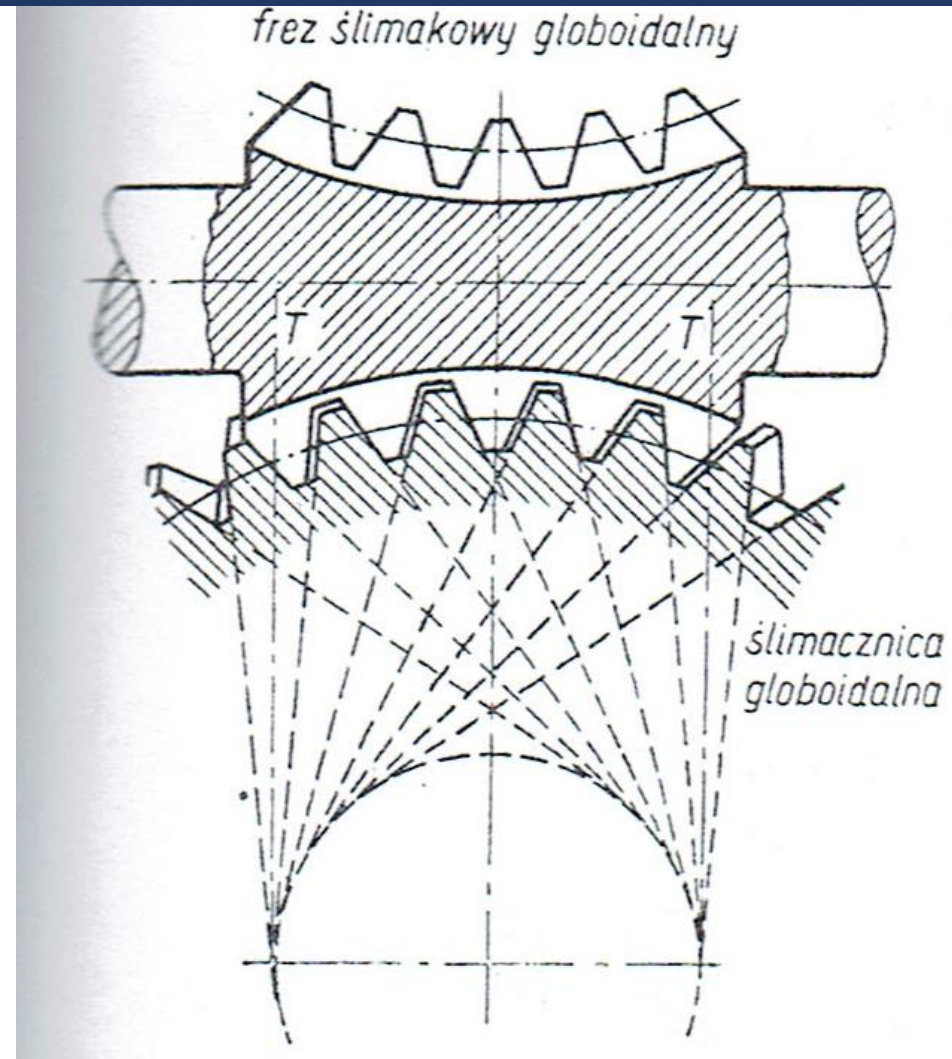
*obwiedniowe frezowanie globoidalnego koła ślimakowego: 1 – obrabiana ślimacznicza, 2 – globoidalny frez ślimakowy*



*globoidalny frez ślimakowy do obróbki globoidalnego koła ślimakowego*



## Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie



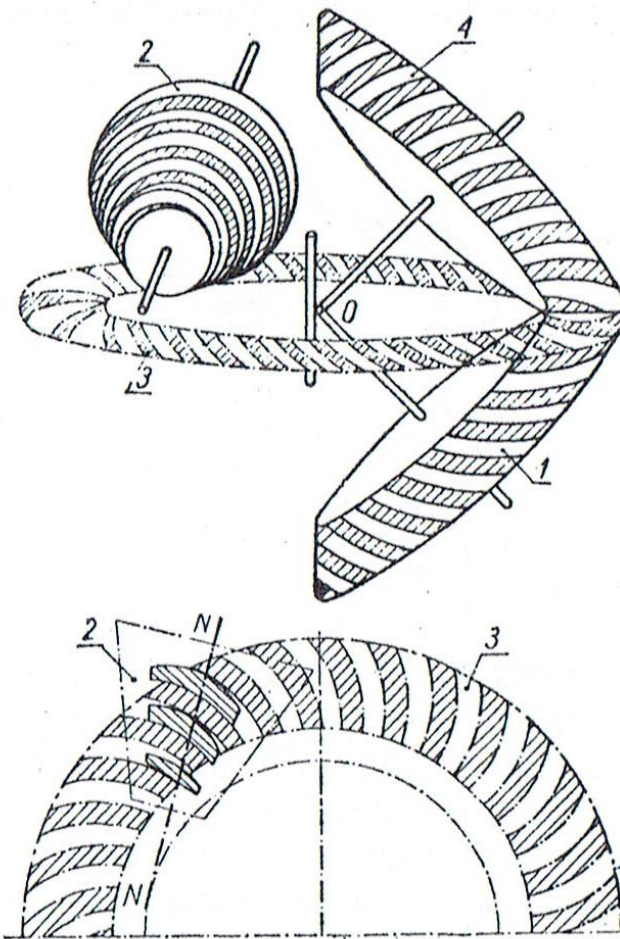
*przebieg frezowania globoidalnego koła ślimakowego za pomocą freza o cieńszych zębach niż zęby ślimaka*

## Frez ślimakowy stożkowy

Frez ten jest wykorzystywany przy obróbce obwiedniowej wg metody Klingelnberga. Jej podstawą jest analogia do obróbki walcowych kół zębatach za pomocą frezowania obwiedniowego, jednak nie normalną metodą, tj. przy przesuwaniu narzędzia wraz z saniami narzędziowymi równoległe do osi nacinanego koła, lecz stycznie do obwodu koła.

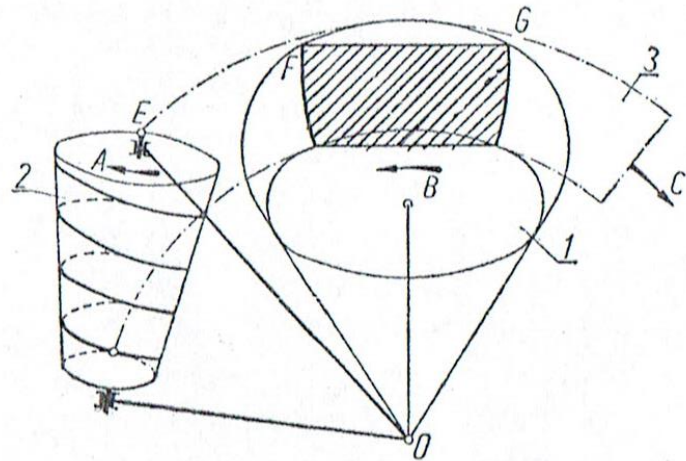
Podczas gdy przy obróbce walcowego koła zębatego ruch narzędzia odbywa się stycznie do koła po linii prostej, tutaj narzędzie ruch ten odbywa stycznie do koła po torze łukowym. Środek krzywizny tego toru powinien znajdować się w wierzchołku O stożka nacinanego koła. Jak widać na rysunku obok, frez jest tak ustawiony, że jego koniec E znajduje się dalej od środka O niż drugi koniec. Oś freza przesuwając się dookoła środka O zatacza tor 3. Podobnie jak to było przy nacinaniu walcowych kół metodą styczną i tutaj narzędzie musi być dostatecznie długie, by podczas tego przesuwania wzdłuż toru 3 objęło swym zasięgiem całą szerokość wieńca nacinanego koła stożkowego.

Na rysunku obok osie obrotu dwóch kół współpracujących – 1 i 4 zbiegają się w wierzchołku O. W tym wierzchołku znajduje się również oś tarczy tocznej – 3 (koła koronowego). Tarcza toczna jest styczna do obydwóch współpracujących kół stożkowych oraz stanowi tor, wzdłuż którego toczy się (przesuwa) frez – 2. Powierzchnia boczna (pobocznica) freza tworzy podczas tego ruchu linię NN styczną do koła, z którego odwija się ewolwenta stanowiąca linię zęba koła.

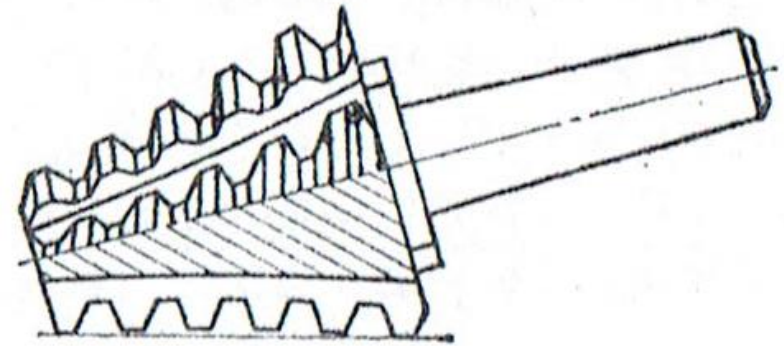


wzajemne położenie współpracujących kół stożkowych – 1 i 4, tarczy tocznej – 3 i freza nacinającego – 2 podczas obróbki uzębienia metodą firmy Klingelnberg

# Podstawy geometryczne konstrukcji freza ślimakowego i jego ustawienie

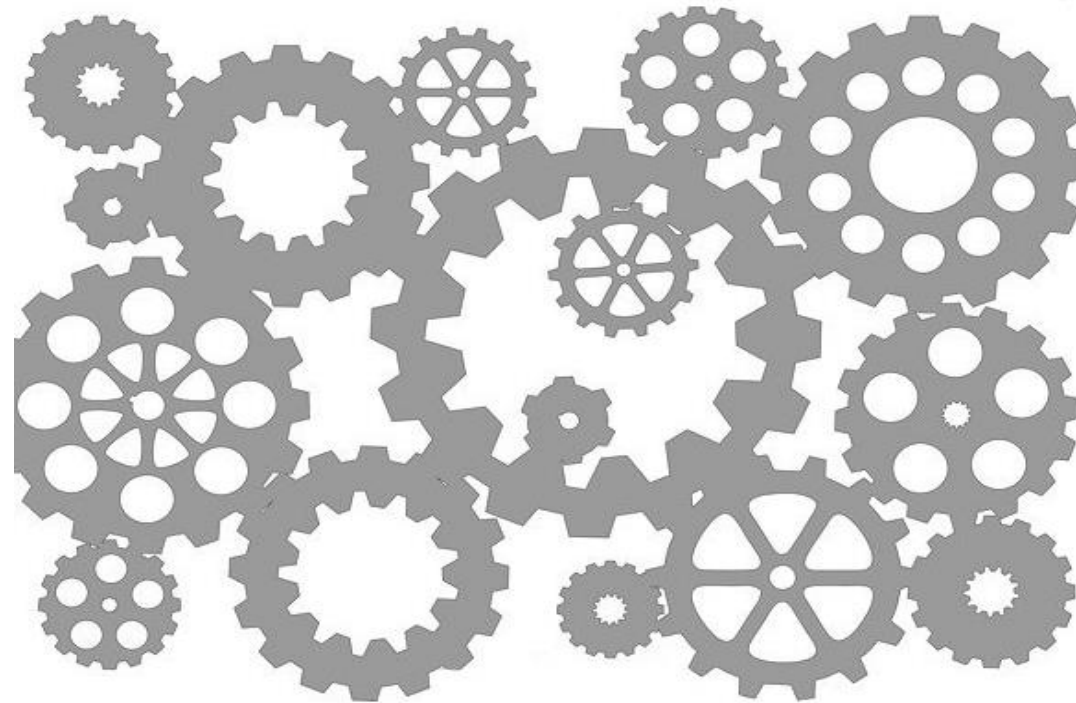


*obróbka stożkowego koła zębatego – 1 za pomocą freza ślimakowego – 2, przesuwanego się stycznie do obwodu nacinanego koła po torze kołowym 3 wg metody firmy Klingelnberg*



*stożkowy frez ślimakowy do obróbki stożkowych kół zębatych metodą firmy Klingelnberg*

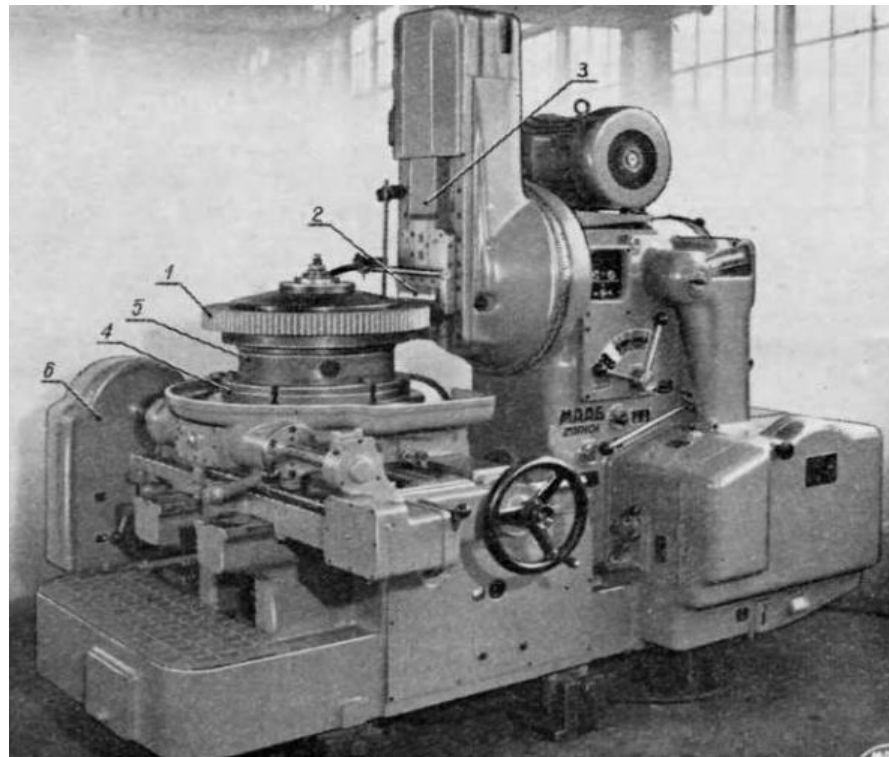
## NARZĘDZIA W METODZIE MAGGA I SUNDERLANDA



Bartłomiej Biedka

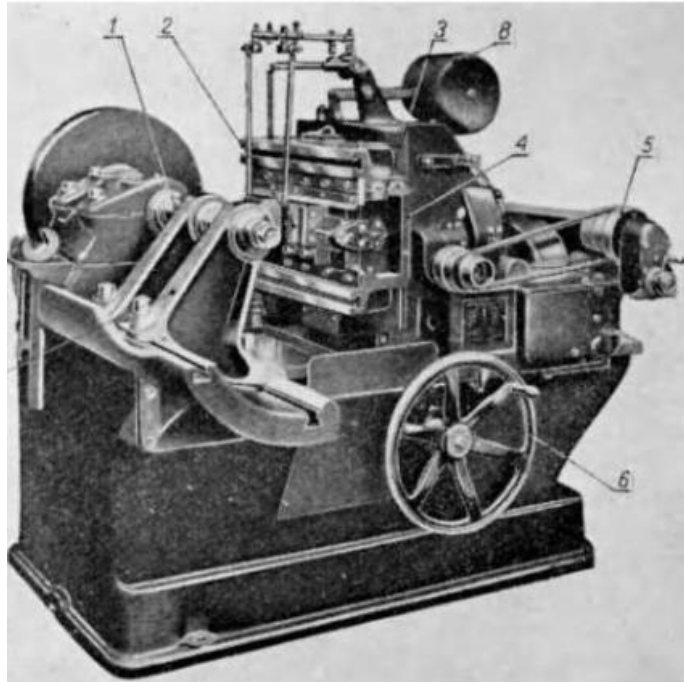
# Dłutowanie wg metody Maaga

- **Dłutowanie metodą Maaga** – obwiedniowa metoda wykonywania kół zębatach poprzez nacinanie zębów w procesie dłutowania.



# Struganie metodą Sunderlanda

- **Struganie metodą Sunderlanda** – obwiedniowa metoda wykonywania kół zębatach poprzez nacinanie zębów w procesie strugania.

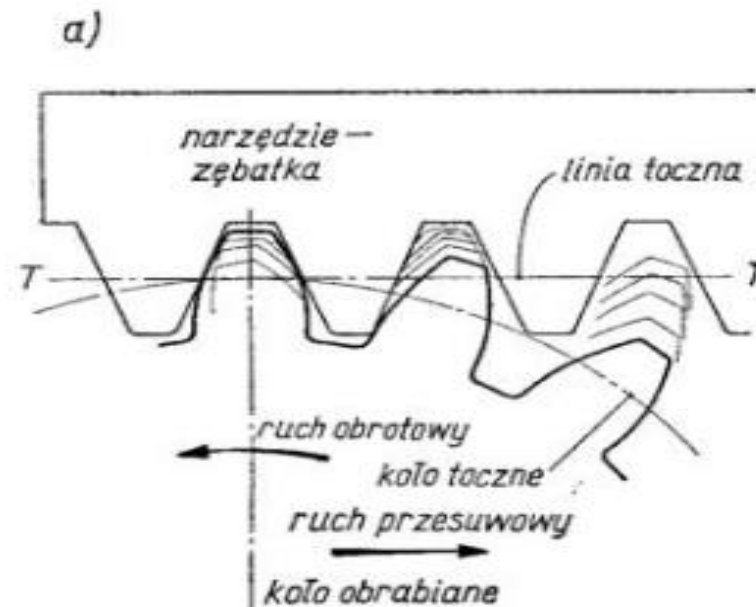
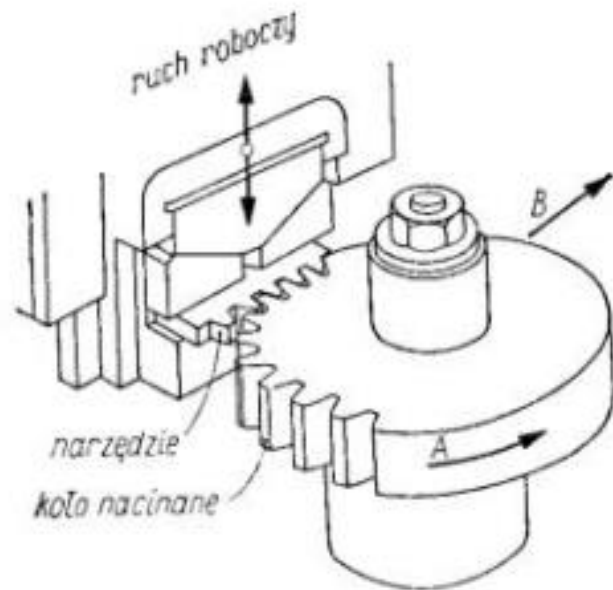


- 1-wrzeciono robocze
- 2-narzędzie
- 3-sanie narzędziowe
- 4-prowadnice sań narzędziowych z obrotnicą
- 5-napęd posuwu
- 6-koło ręczne przesuwające stojak narzędziowy w kierunku promieniowym
- 7-wspornik wrzeciona przedmiotowego
- 8-przeciwwaga

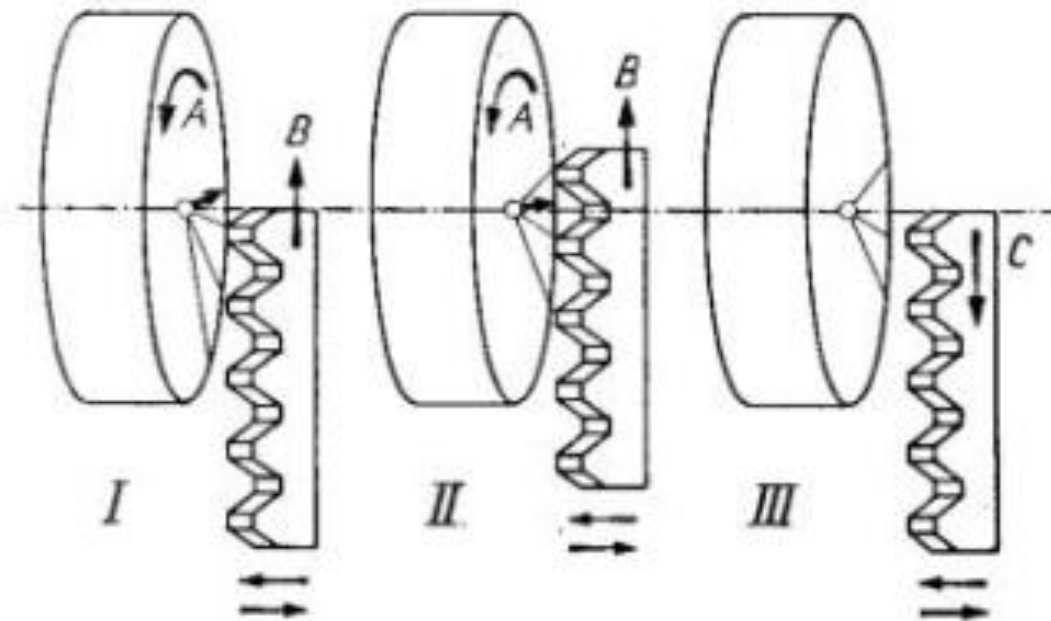
## Narzędzia w metodzie Maaga i Sunderlanda

W obydwu przypadkach narzędzie ma kształt zębátky.

Zasada nacinania uzębienia wg metody Maaga



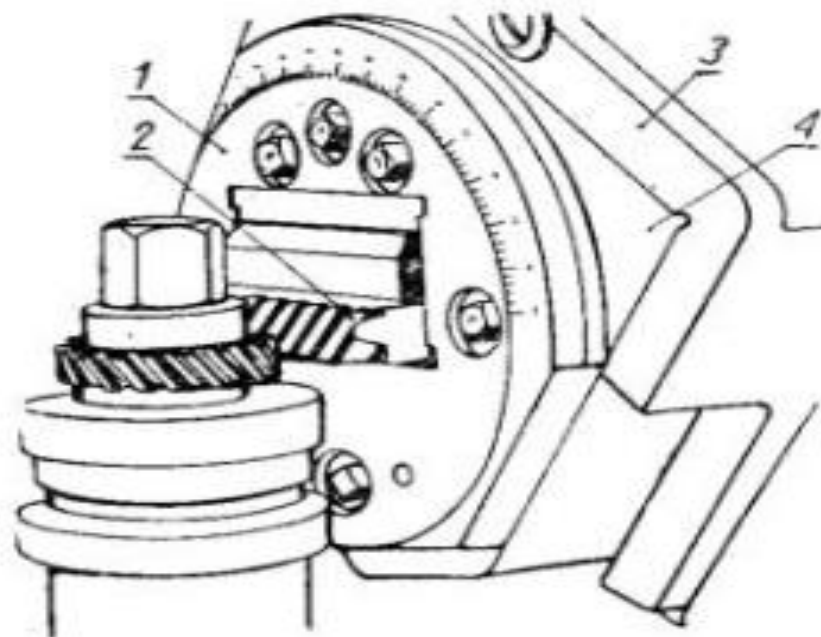
Zasada nacinania zębów w walcowym kole zębatym metodą Sunderlanda





# Noże dłutownicze w metodzie Maaga

- Noże dłutownicze Maaga należą do grupy narzędzi zębatkowych, przeznaczonych do nacinania uzębienia zewnętrznego w kołach zębatych z zębami prostymi i śrubowymi. W najprostszym przypadku noże te powinny mieć długość większą od obwodu koła podziałowego w obrabianym kole zębatym. Takich noży jednak nie stosuje się, zastępując je nożami o długości od kilku do kilkunastu podziałek, pracującymi metodą obwiedniową przerywaną. Przy pracy na dłutownicach Maaga koło obrabiane po obrobieniu jednej lub kilku podziałek odsuwa się od narzędzia i wraca do położenia wyjściowego dla obrabiania dalszych podziałek (przy pracy na dłutownicach Sunderlanda wycofywane i przesuwane jest narzędzie). Podobnie jak frezy ślimakowe modułowe oraz noże Fellowsa, noże zębatkowe Maaga dzielą się na zdzieraki, półwykańczaki oraz wykańczaki.

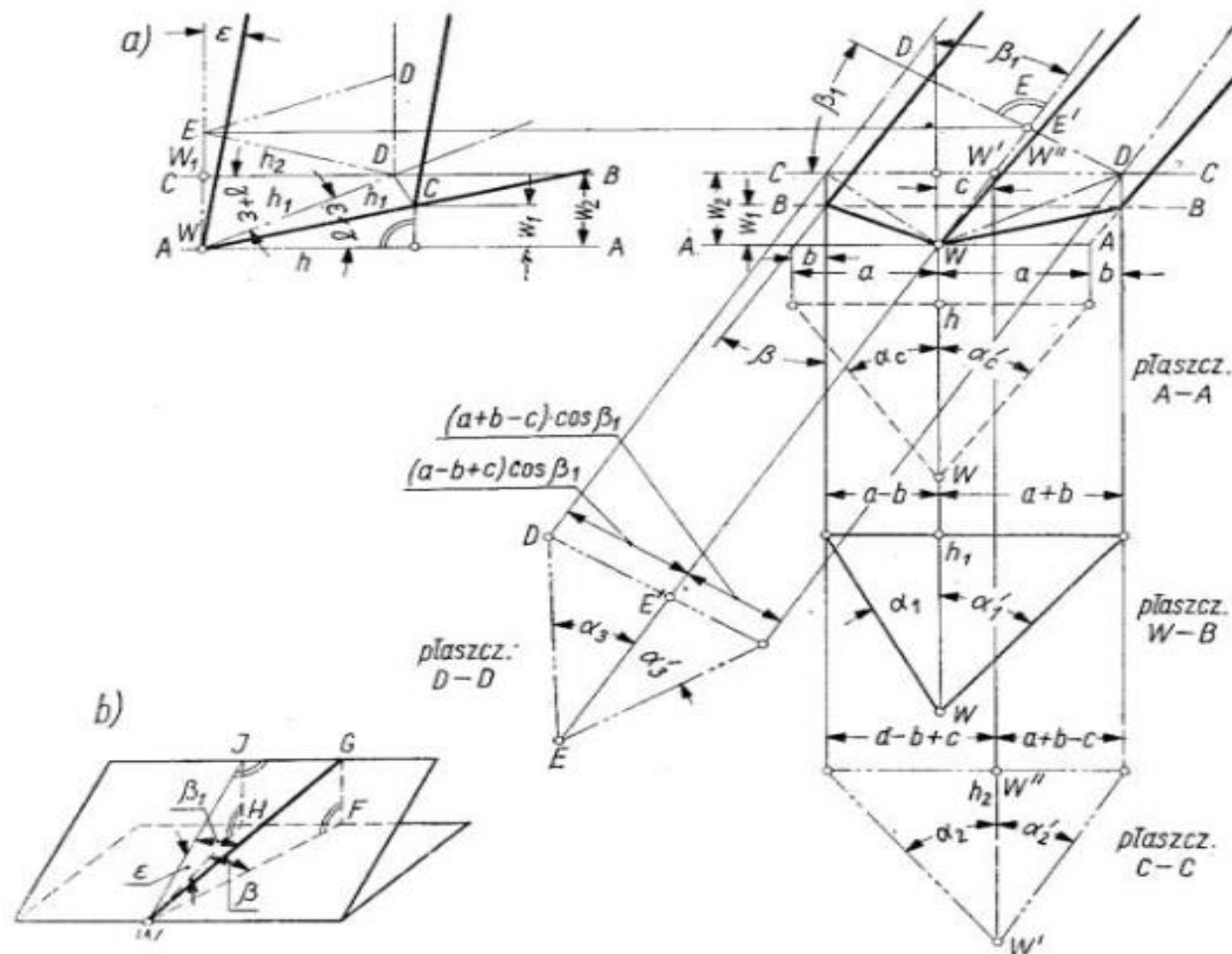


Rys. II-16. Nacinanie walcowego koła zębatego o śrubowych zębach za pomocą specjalnego narzędzia-zębatki na dłutownicy Maaga: 1 – skrętny imak nożowy, 2 – narzędzie-zębatka o płaszczyźnie czołowej równoległej do czola nacinanego koła, 3 – suwak, 4 – kłapa odchylna

# Geometria noża-zębatki Maaga

- Nacinanie kół o śrubowych zębach w których jest wymagany rowek przedzielający dwa wieńce, musi się odbywać przy użyciu specjalnego narzędzia. Powierzchnia czołowa tego narzędzia nie jest tak prosta jak w narzędziu o zębach prostych.

## Geometria noża-zębatki Maaga

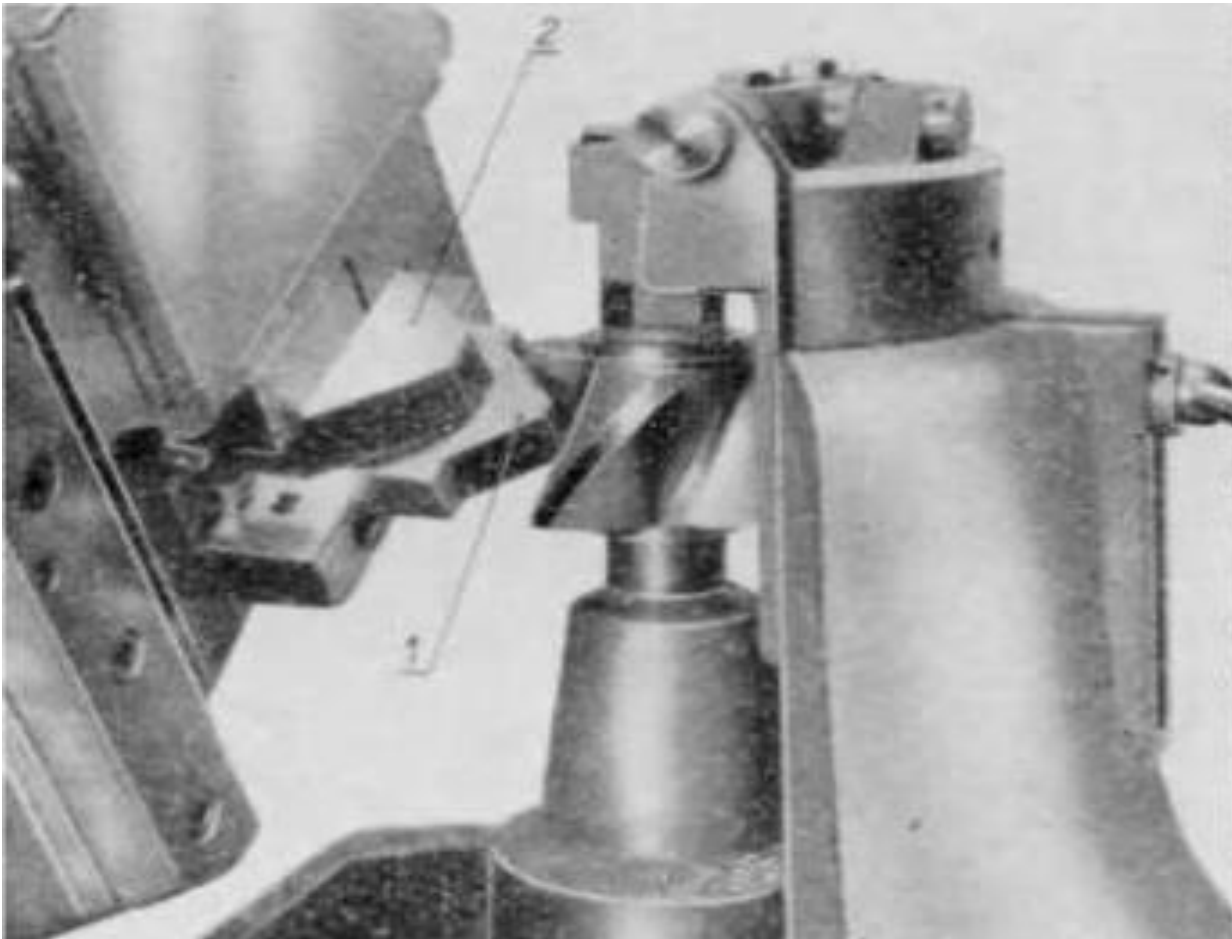


Rys. II-17. Geometria specjalnego narzędzia-zębatki Maaga o zębach skośnych: a) zależności między kątami zarysu, kątami natarcia i kątami przyłożenia, b) zależność między kątami pochylenia linii zęba  $\beta$  i  $\beta_1$

# Narzędzie w postaci pojedynczego zęba zębátky

- Przy wykonywaniu pojedynczych kół jak to się często zdarza przy remontach. Ponieważ w takich przypadkach nie dysponuje się najczęściej narzędziem o odpowiednim module i kącie zarysu wykorzystuje się narzędzie w postaci pojedynczego zęba zębátky często o odmiennym od żądanego dla danego koła kącie zarysu.

# Obróbka pojedynczym zębem zębatki



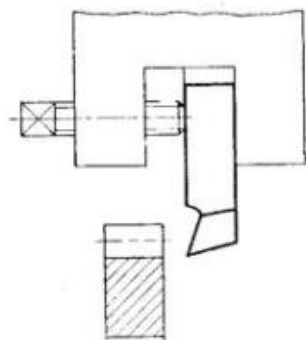
Rys. II-18.  
Obróbka walcowego koła o zębach śrubowych pojedynczym zębem zębatki na dłutownicy Maaga: 1 — narzędzie, 2 — nakładka

# Noże Sunderlanda

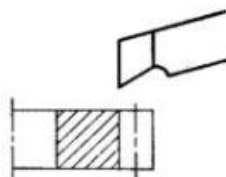
- Noże zębatkowe Sunderlanda różnią się od noży Maaga tym, że pracują one w płaszczyźnie poziomej, a nie pionowej, oraz że dodatni kąt natarcia w układzie ustawienia, tzn. po zamocowaniu go na obrabiarce, jest równy wykonawczemu kątowi natarcia.

## Zamocowanie narzędzia-zębatki Sunderlanda

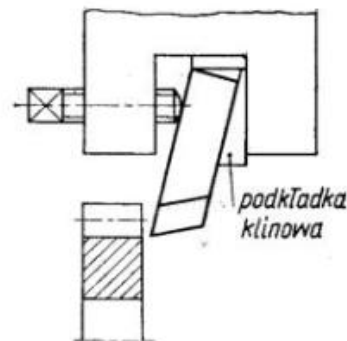
1) **Zamocowanie narzędzia.** — Sposób ustawienia narzędzia zębatki względem koła obrabianego przedstawiono na rys. II-23. Z rysunku tego widać, że powierzchnia czołowa narzędzia jest równoległa do powierzchni czołowej obrabianego koła, a stąd wynikają różnice w geometrii ostrza w stosunku do narzędzia-zębatki Maaga.



Rys. II-23. Ustawienie narzędzia-zębatki względem obrabianego koła na strugarce Sunderlanda



Rys. II-24. Zastosowanie narzędzia-zębatki Sunderlanda na dłutownicy Maaga



Rys. II-25. Zastosowanie podkładki klinowej pod narzędzie-zębatkę Maaga mocowane na strugarce Sunderlanda

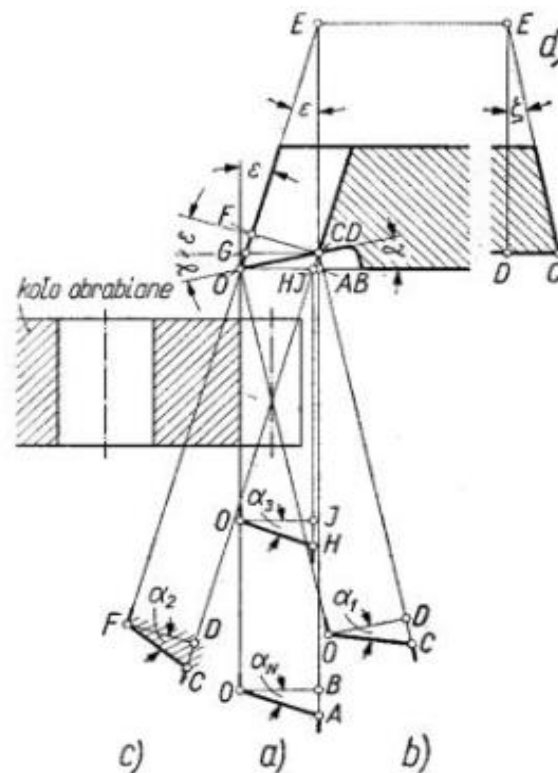
Jak widać z rys. II-24, narzędzia-zębatki Sunderlanda nie można użyć na dłutownicy Maaga, gdyż kąty przyłożenia narzędzia są w przybliżeniu równe zeru, a w takich warunkach nie może być mowy o dobrych wynikach skrawania.

Narzędzie-zębatkę Maaga można natomiast użyć na strugarce Sunderlanda, lecz należy tu zastosować podkładkę klinową (rys. II-25).



# Geometria narzędzia-zębatki Sunderlanda

**Geometria narzędzia-zębatki Sunderlanda.** — W narzędziu-zębatce Sunderlanda geometria jest w zasadzie taka sama jak dla narzędzia-zębatki Maaga. Pamiętać jednak musimy, że powierzchnię natarcia wykonuje się za pomocą szlifowania po wykonaniu ścian bocznych zębów zębatki. Stąd potrzeba ustalić wielkość kąta  $\alpha_3$ .



Rys. II-26.  
Geometria narzędzia-zębatki Sunderlanda

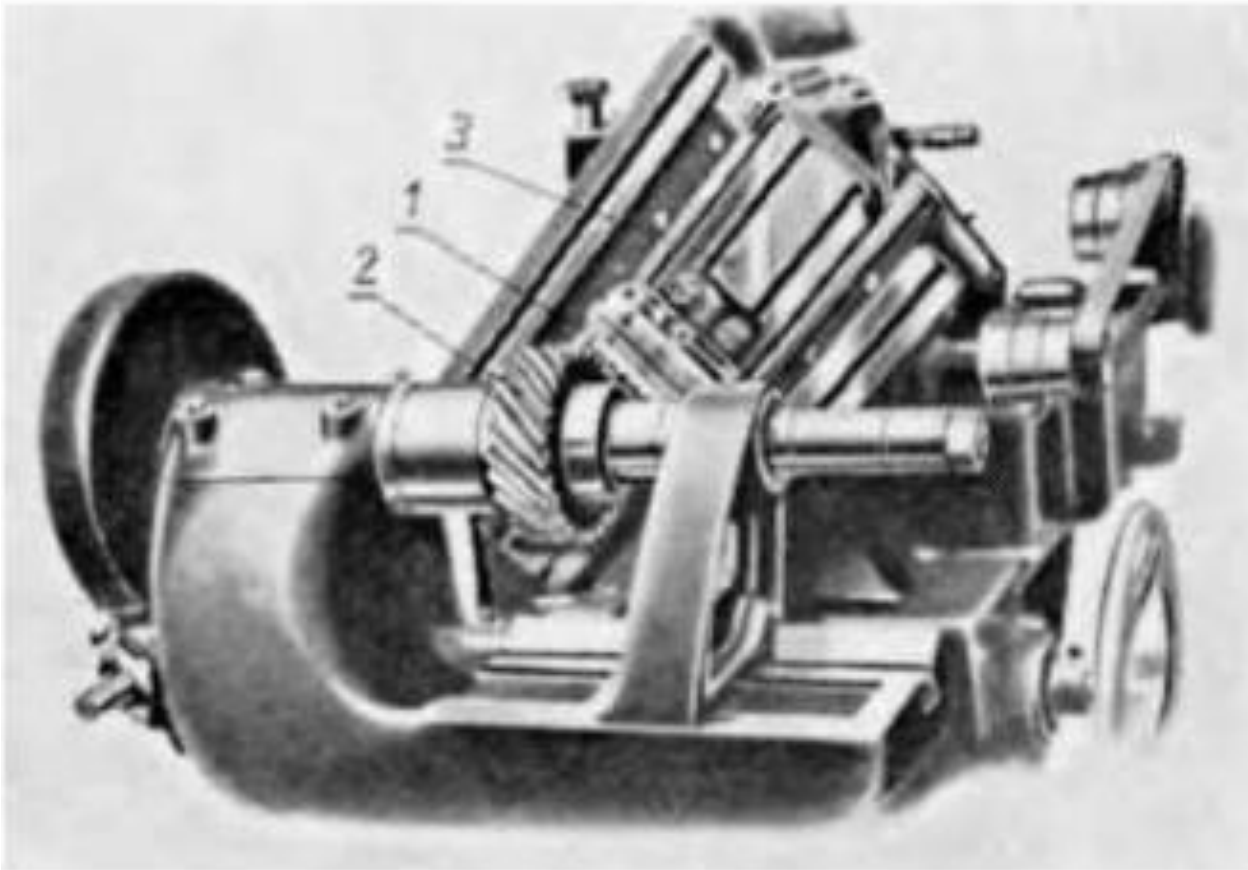
# Geometria narzędzia-zębatki Sunderlanda

Z rysunku II-26d otrzymamy  $\frac{\overline{H\bar{y}}}{\overline{O\bar{y}}} = \text{tg } \alpha_3$ , lecz  $\overline{O\bar{y}} = \overline{D\bar{G}}$  oraz  $\overline{H\bar{y}} = \overline{CD}$ ,

a z rzutu górnego  $\frac{\overline{DF}}{\overline{DG}} = \cos \varepsilon$ . Uwzględniając te zależności oraz zależności dla narzędzia-zębatki Maaga [II-6] i [II-7] otrzymamy ostatecznie

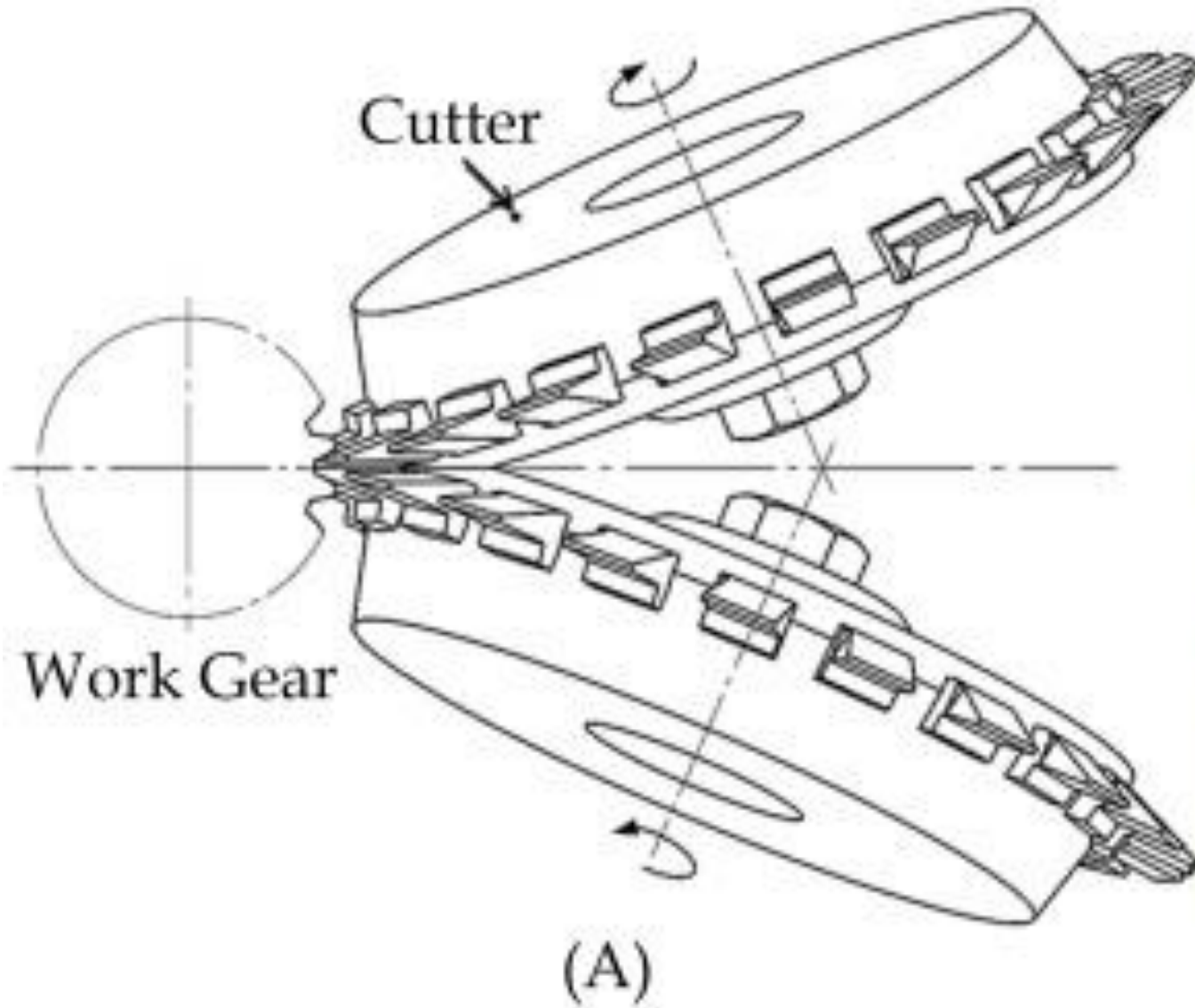
$$\text{tg } \alpha_3 = \text{tg } \alpha_0 \frac{\cos \gamma \cos \varepsilon}{\cos (\gamma + \varepsilon)}$$

### Struganie zębów śrubowych na strugarce Sunderlanda



Rys. II-27.

Struganie zębów śrubowych na strugarce Sunderlanda: 1 – narzędzie-zębatkowe, 2 – koło obrabiane z zębami śrubowymi, 3 – suwak narzędziowy



### **NARZĘDZIA SERII: NARZĘDZIA SERII KLINGELNBERG - ZAPEWNIAJĄCE, ŻE PROCESY DZIAŁAJĄ PŁYNNIE**

Produkcja na dużą skalę (na przykład w przemyśle motoryzacyjnym) nie tylko stawia wysokie wymagania co do dokładności produktu, ale także wymaga maksymalnej wydajności przy minimalnych kosztach. Wymagania dotyczące dokładności narzędzia, żywotności, możliwości regulacji narzędzi i możliwości ostrzenia noży są spełnione przez system głowic tnących ARCON® i SPIRON®. Duża liczba grup ostrzy, bardzo dobre właściwości statyczne i dynamiczne oraz ostrza z węgla spiekanego (w razie potrzeby powlekane) zapewniają wysoką jakość produktu i wydajność przy zoptymalizowanych kosztach narzędzi.

### **NARZĘDZIA UNIWERSALNE: NARZĘDZIA UNIWERSALNE KLINGELNBERG - DZIAŁA SZYBKO I INDYWIDUALNIE**

W pojedynczych i małych seriach klienci wymagają narzędzi, które mogą być uniwersalnie stosowane do produkcji przekładni zębatych stożkowych z różnymi modułami, oferując jednocześnie wysoką wydajność i niskie koszty narzędzi. Do tych zastosowań system narzędzi Klingelberg Zyklo-Palloid® zapewnia indywidualne rozwiązania z ostrzami AMK wykonanymi z HSS lub uchwytami wyposażonymi w węglkowe płytki tnące do miękkiego cięcia oraz ostrza mocujące HPG-S wyposażone w BN do twardego wykończenia. Zaletą systemu Zyklo-Palloid® jest to, że narzędzia można szybko regulować i używać w większym zakresie modułów.

<https://www.klingelberg.com/en/business-divisions/oerlikon/bevel-gear-cutting-machines/>

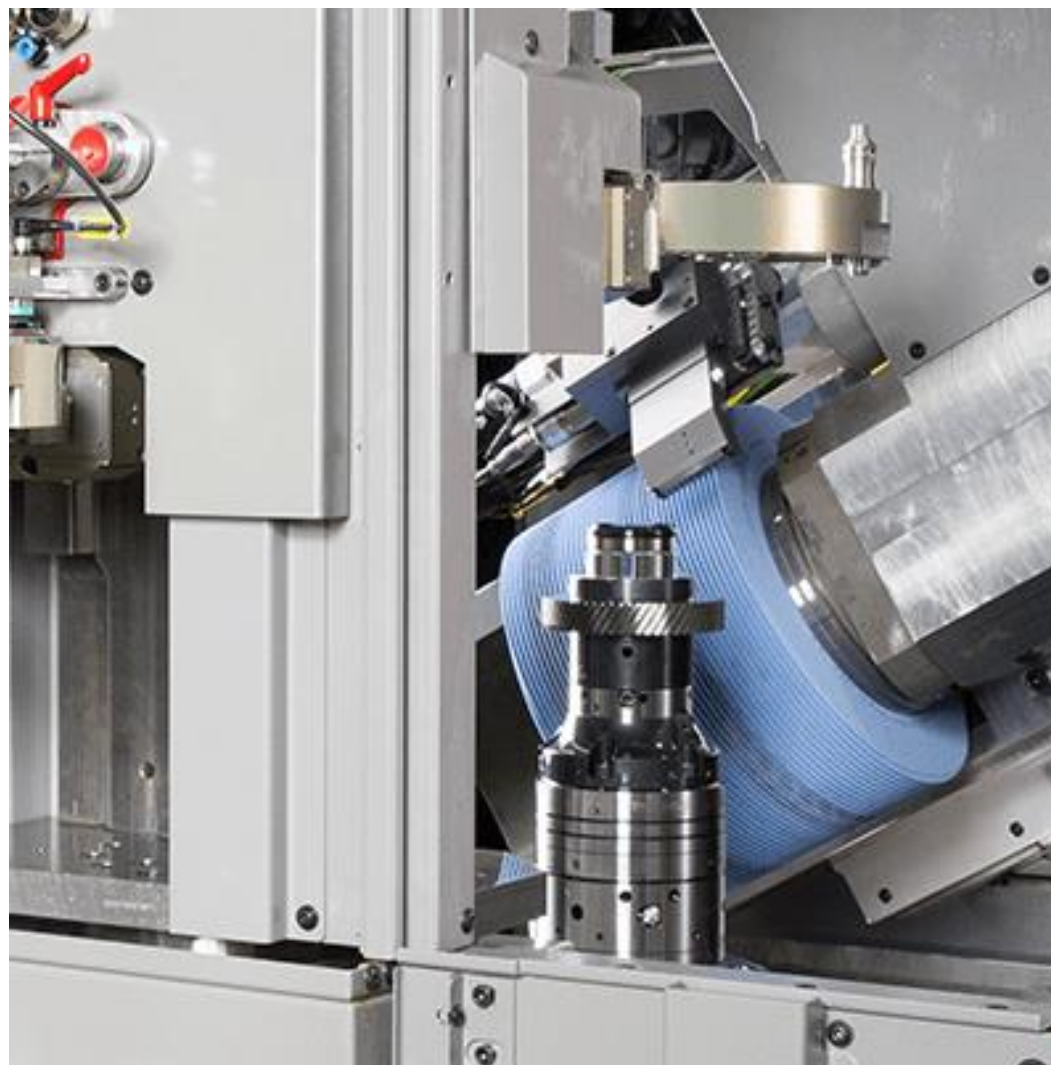
Najczęstszymi metodami cięcia zębów kół zębatach (frezowania) są metoda Maaga i Fellowsa oraz Sunderlanda.

W metodzie dłutowania kół zębatach - nóż tnący jest dociskany do tarczy, która stanie się kołem zębatym, tnąc wzdłuż obwodu tarczy.

Metoda umożliwia wytwarzanie precyzyjnych kół, ale generuje wysokie koszty wytwarzania. Precyzyjne części można następnie wykończyć przez szlifowanie lub honowanie po wycięciu zębów.



[https://www.klingelnberg.com/en/speedviper/#slide52749\\_1](https://www.klingelnberg.com/en/speedviper/#slide52749_1)

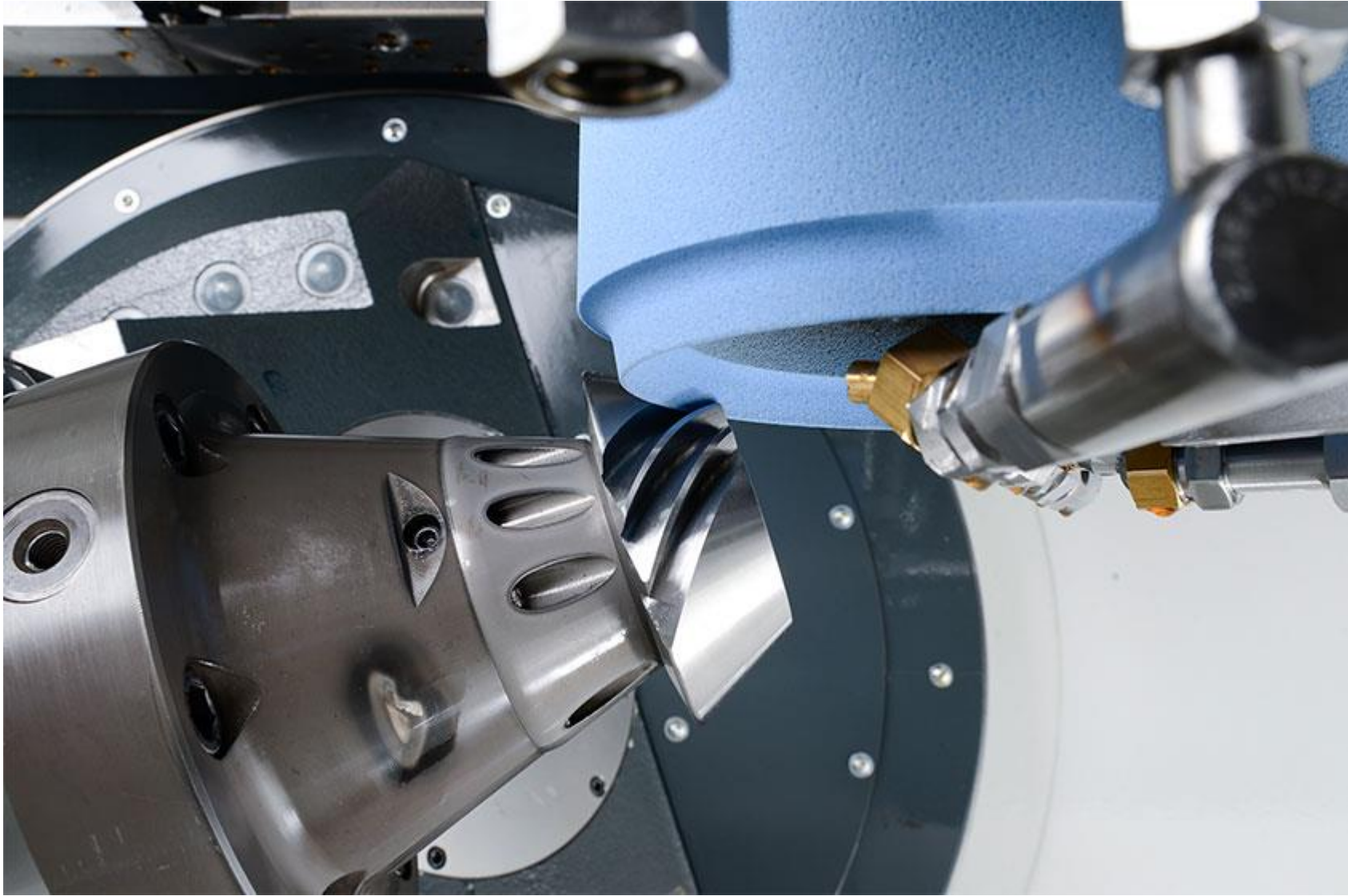


[https://www.klingelnberg.com/en/speedviper/#slide52749\\_2](https://www.klingelnberg.com/en/speedviper/#slide52749_2)

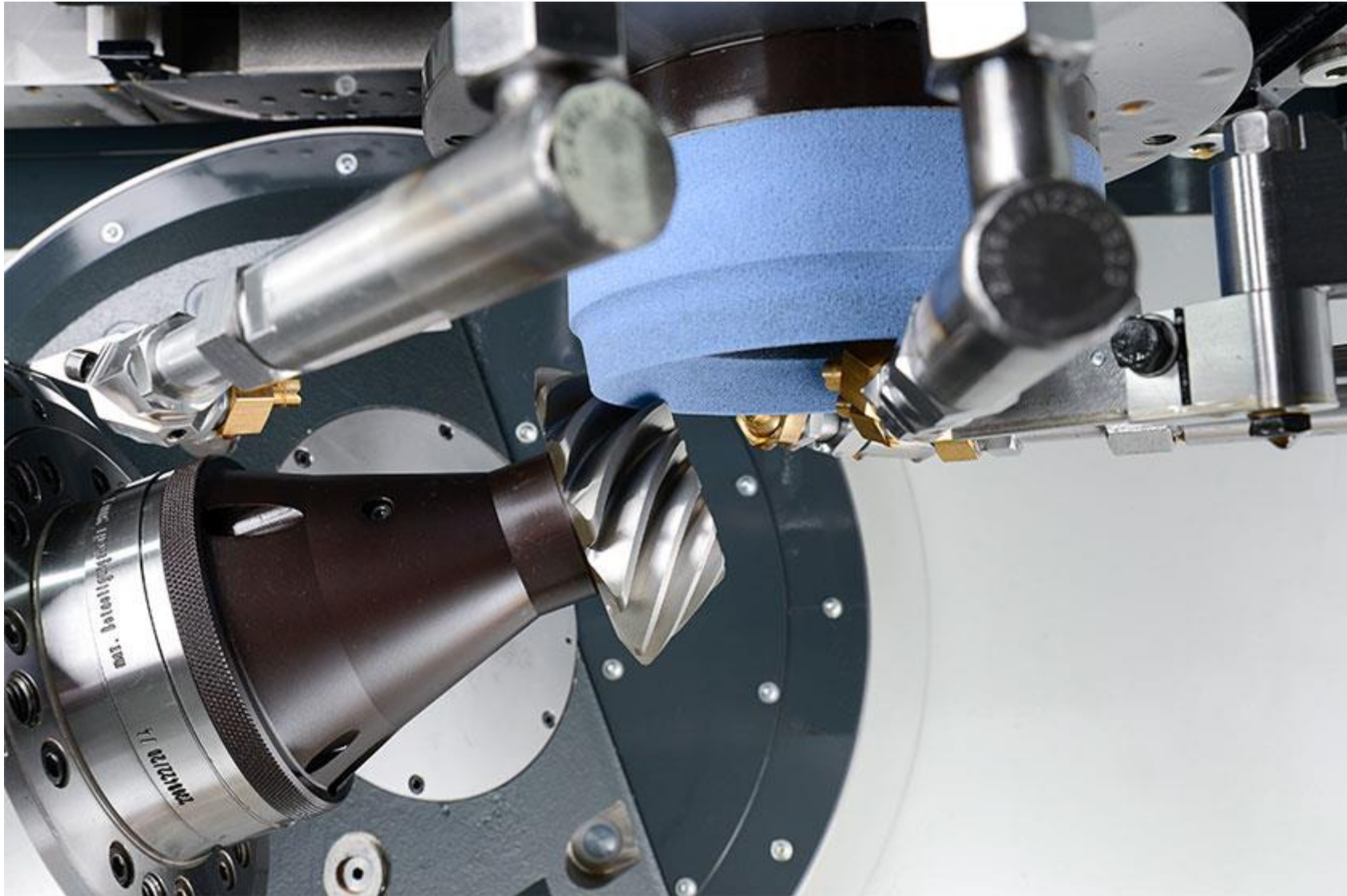




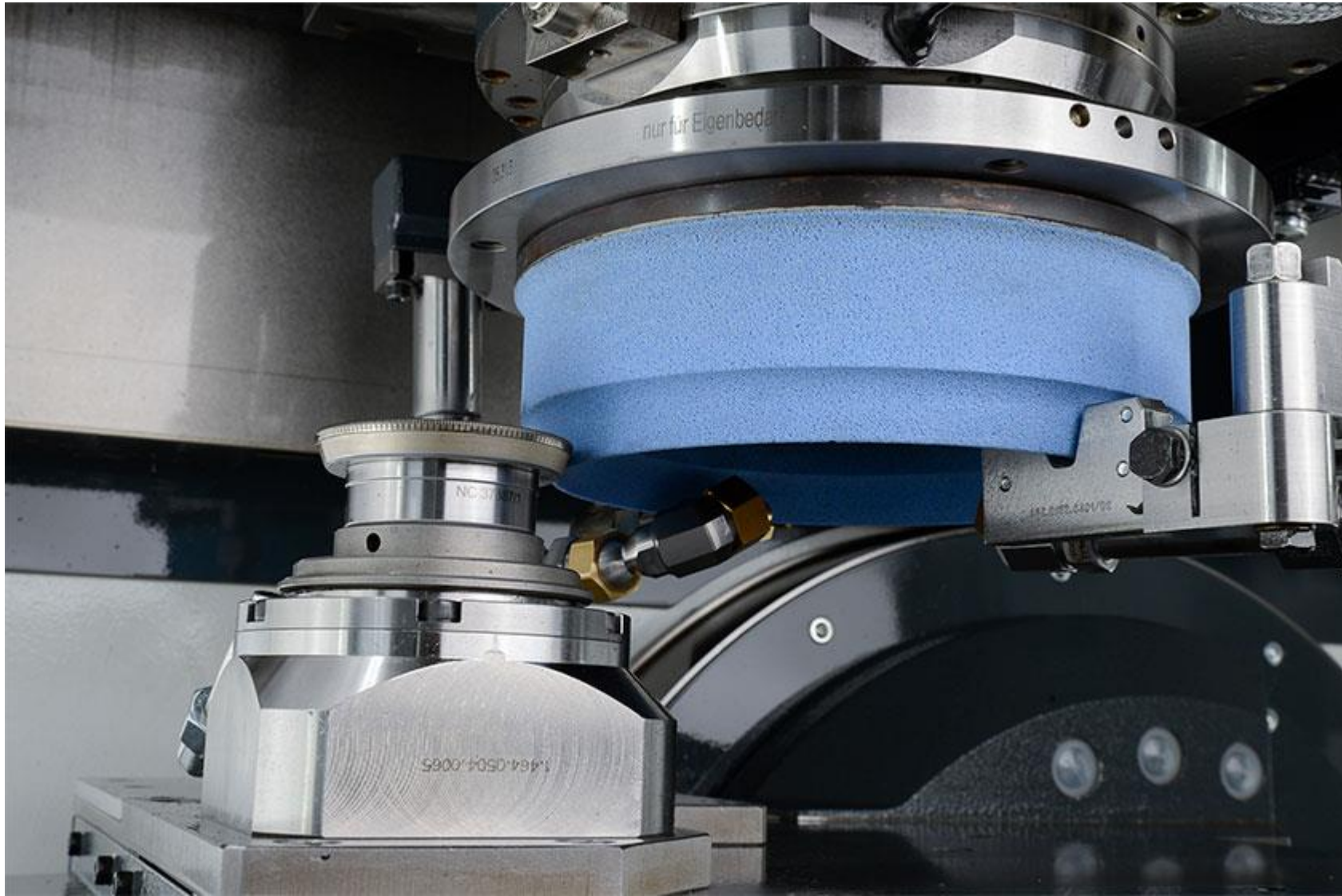
[https://www.klingelberg.com/en/speedviper/#slide52749\\_3](https://www.klingelberg.com/en/speedviper/#slide52749_3)



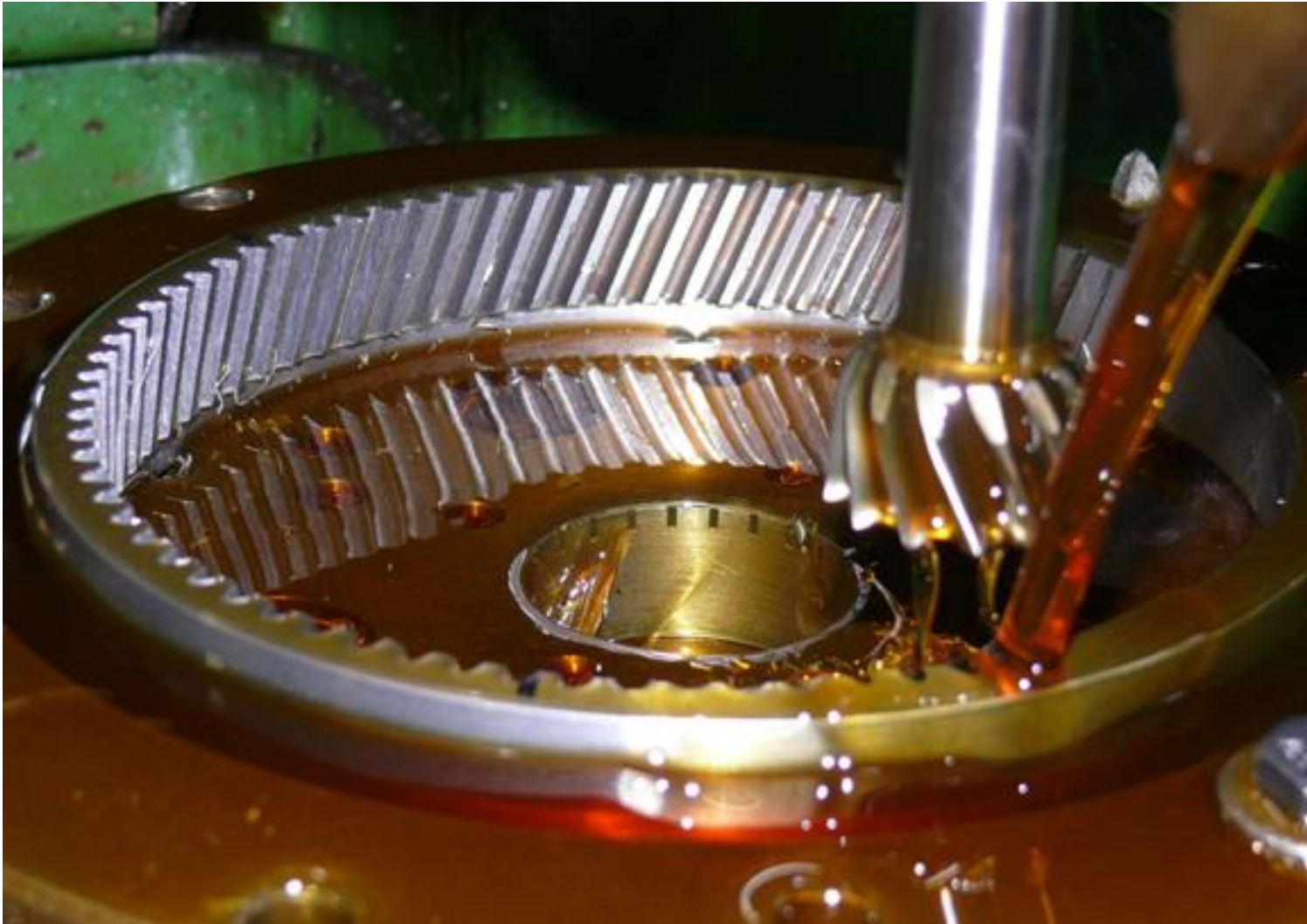
<https://www.klingelberg.com/en/business-divisions/oerlikon/bevel-gear-grinding-machines/>



<https://www.klingelnberg.com/en/business-divisions/oerlikon/bevel-gear-grinding-machines/>



<https://www.klingelnberg.com/en/business-divisions/oerlikon/bevel-gear-grinding-machines/>



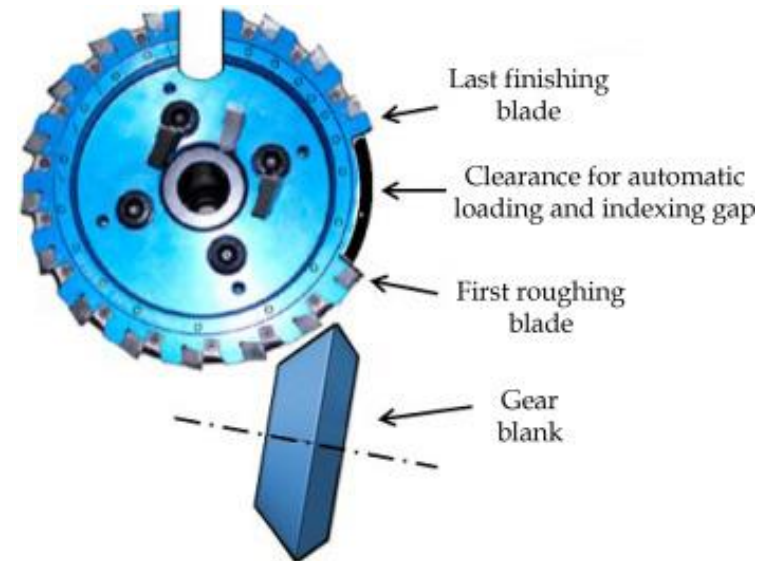
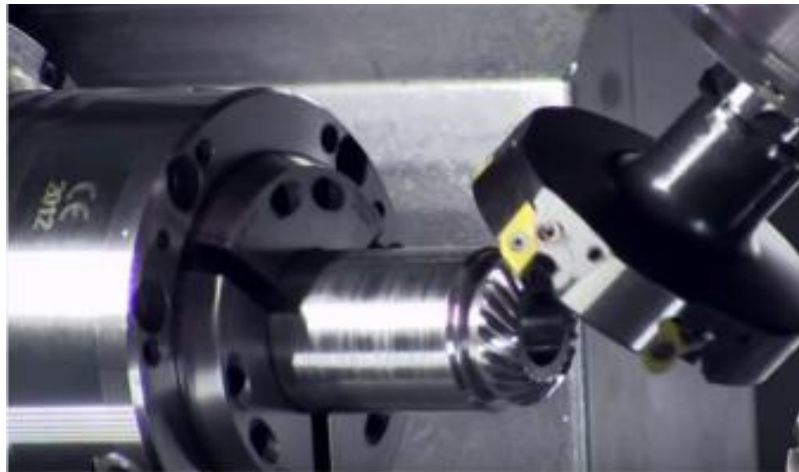
[https://www.techpilot.net/profiles/Metaplast-Gear-Technology-Kkt-4696\\_en.html](https://www.techpilot.net/profiles/Metaplast-Gear-Technology-Kkt-4696_en.html)



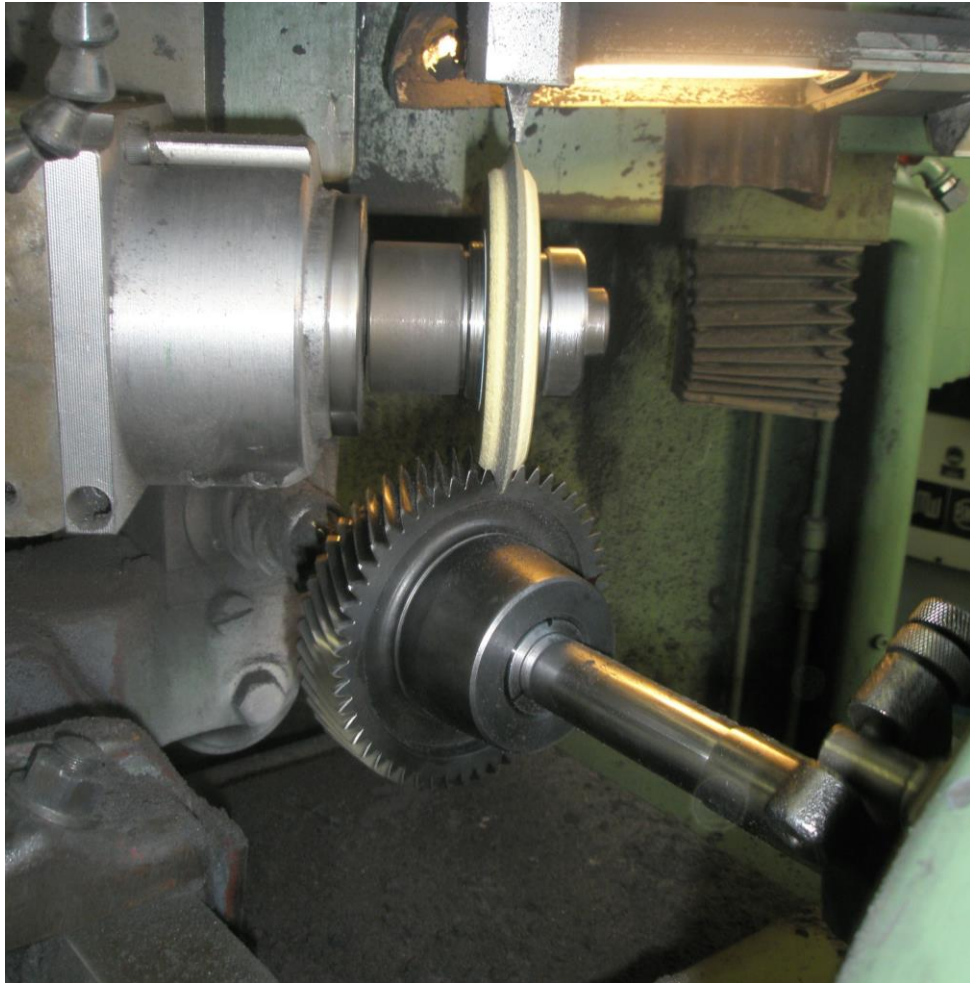
(A)



(B)

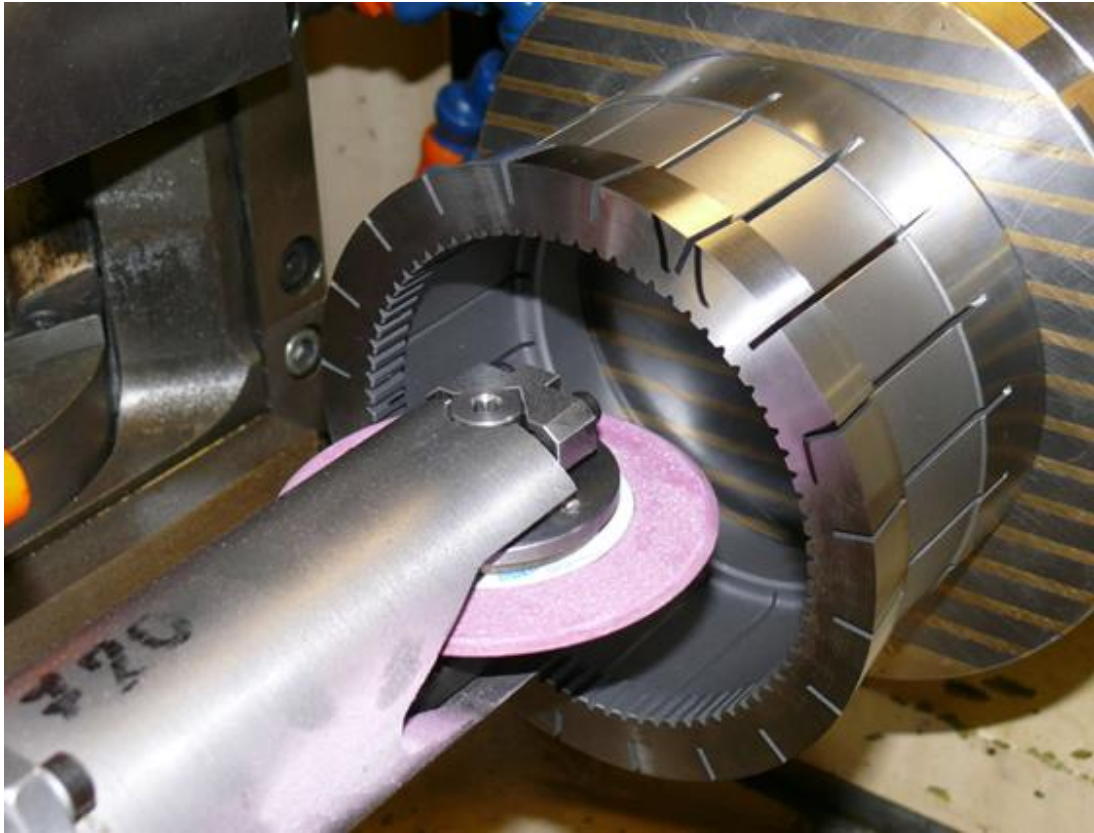




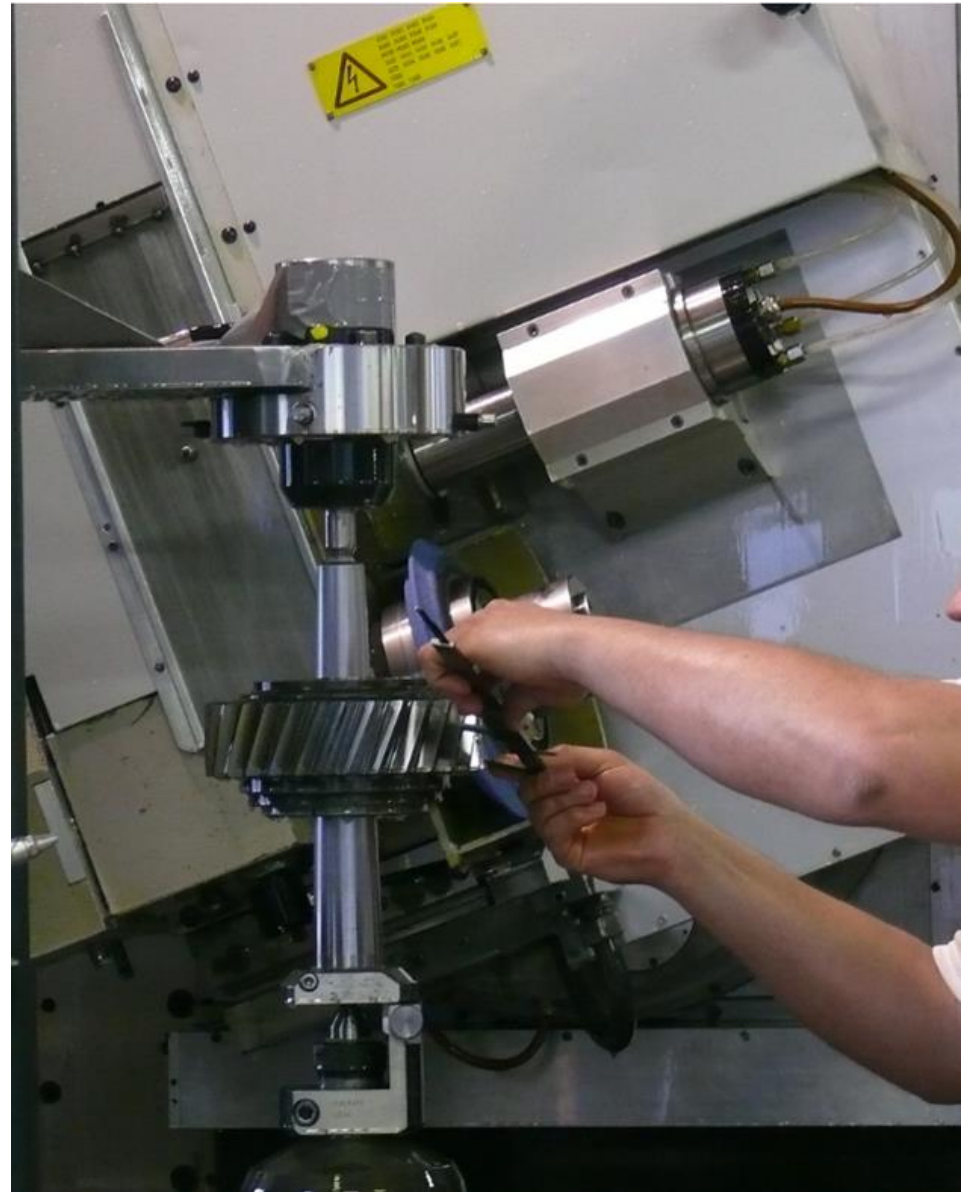


*Źródło: [https://www.techpilot.net/profiles/Metaplast-Gear-Technology-Kkt-4696\\_en.html](https://www.techpilot.net/profiles/Metaplast-Gear-Technology-Kkt-4696_en.html)*





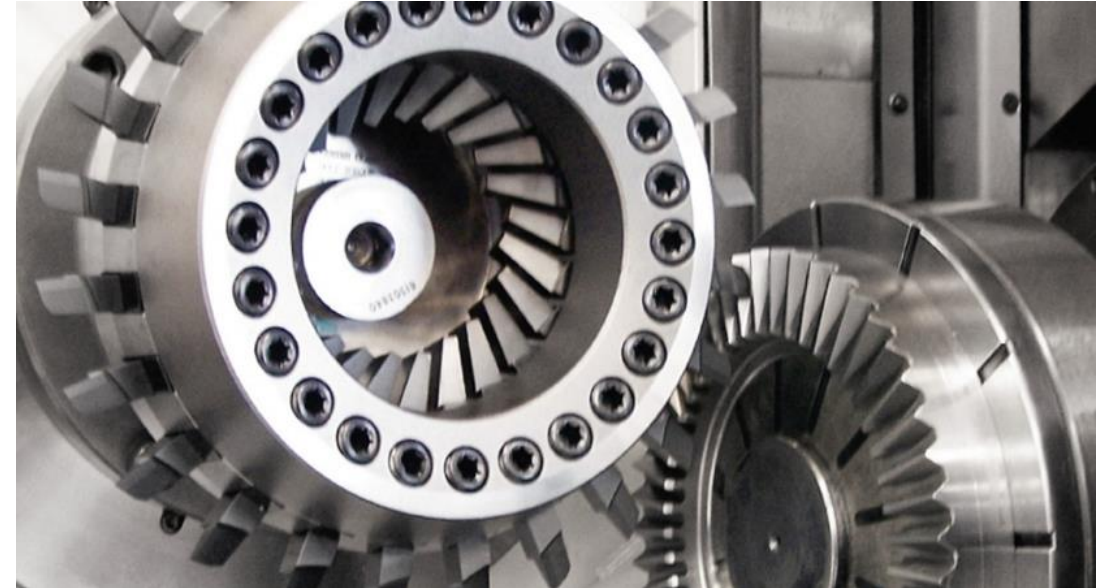
[Źródło: https://www.techpilot.net/profiles/Metaplast-Gear-Technology-Kkt-4696\\_en.html](https://www.techpilot.net/profiles/Metaplast-Gear-Technology-Kkt-4696_en.html)



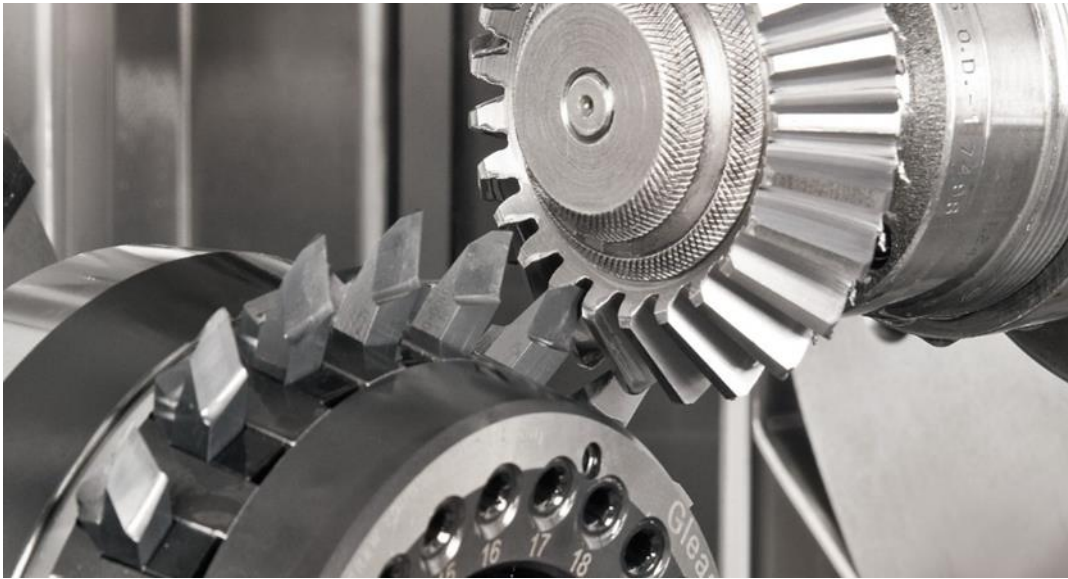
[Źródło: https://www.techpilot.net/profiles/Metaplast-Gear-Technology-Kkt-4696\\_en.html](https://www.techpilot.net/profiles/Metaplast-Gear-Technology-Kkt-4696_en.html)



Gleason 600HC został zbudowany z myślą o maksymalnej niezawodności, w tym uproszczonej ochronie i doskonałym zabezpieczeniu wiórów. Czysta i prosta konstrukcja zapewnia łatwiejszy dostęp i mniejszą konserwację.

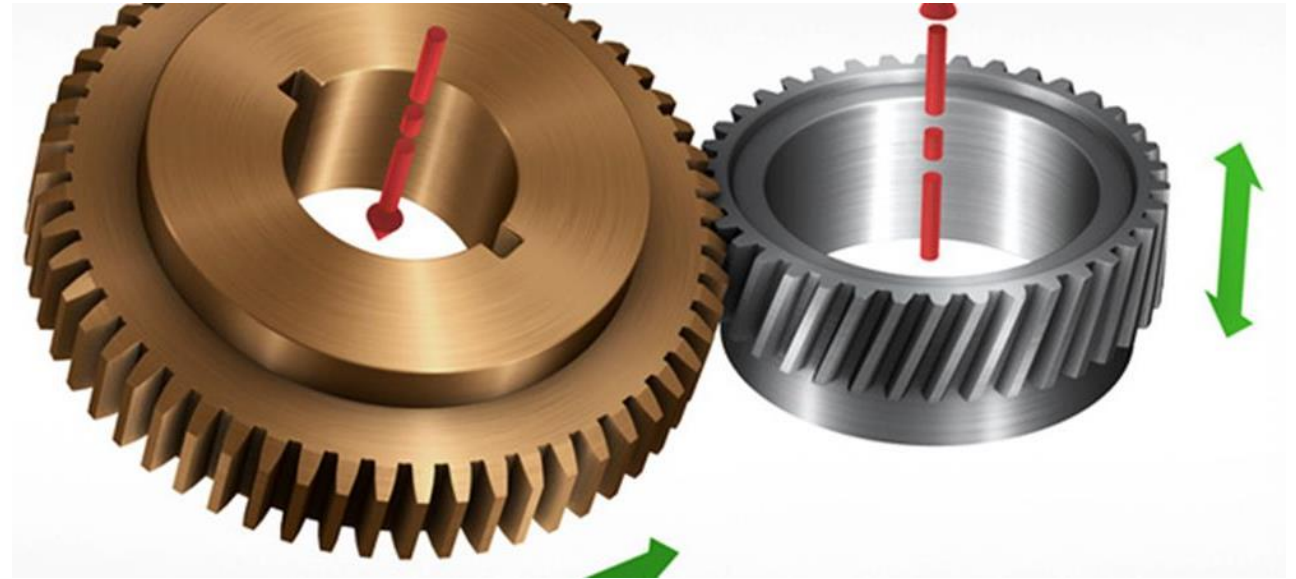


Silniki z napędem bezpośrednim, o dużej prędkości i wysokim momencie obrotowym na wrzecionie frezu i głowicy roboczej zapewniają optymalną wydajność PowerCutting® - w suchych lub mokrych warunkach.



Wszystostronna metoda wykonywania kół zębatych. Nadaje się zarówno do frezowania czołowego, jak i frezowania kąтового; plus cięcie prostych przekładni zębatych stożkowych, przekładni czołowych, sprzęgieł czołowych, skrawania elektrycznego i frezarki uniwersalnej TM.

*Źródło:* <https://www.gleason.com/en/products/machines/bevel/cutting/phoenix-600hc-fast-and-economical-production-of-truck-sized-bevel-gears>



**Metodą Power Skiving** można obrabiać koła pierścieniowe, wały z uzębieniem wewnętrznym lub zewnętrznym, wielowypusty lub samodzielne podzespoły z uzębieniem zewnętrznym lub wielowypustami wewnętrznymi. Umożliwia też obróbkę uzębień wewnętrznych na miękko i obróbkę po utwardzeniu kół zębatych dowolnego typu.

*Źródło:* [https://www.sandvik.coromant.com/pl-pl/mww/pages/t\\_powerskiving.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/pl-pl/mww/pages/t_powerskiving.aspx)



[źródło: https://www.gleason.com/files/fWV2sS/201602\\_gleason\\_solutions\\_en.PDF](https://www.gleason.com/files/fWV2sS/201602_gleason_solutions_en.PDF)



*[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/machines/bevel/cutting/phoenix-600hc-fast-and-economical-production-of-truck-sized-bevel-gears](https://www.gleason.com/en/products/machines/bevel/cutting/phoenix-600hc-fast-and-economical-production-of-truck-sized-bevel-gears)*



### System tnący Pentac Plus

Do frezowania czołowego i frezowania czołowego przy optymalnych prędkościach i posuwach na najnowszych maszynach CNC. Pentac® Plus ma większy kąt nachylenia szczeliny dla lepszego przepływu wiórów i bardziej wydajnego ponownego ostrzenia.

[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools)



### Pentac Plus RT - Radially Trueable Cutter System

system tnący - idealne rozwiązanie do dzisiejszych aplikacji do frezowania czołowego o średniej i dużej objętości oraz frezowania czołowego. Pentac® Plus RT to jedyny system obcinaka z ostrzami, który pozwala na rzeczywiste wyrównanie osiowe i promieniowe w tym samym czasie. Pentac Plus RT zapewnia lepszy rozkład obciążenia wiórów na wszystkie ostrza, zapewniając wyższą wydajność lub dłuższą żywotność narzędzia.



### **Pentac Mono RT – Cutter System with One Blade Type**

System noży z jednym typem ostrza - pierwszy na świecie system tnący wyposażony w zewnętrzne i wewnętrzne gniazda, które korzystają z tych samych identycznych ostrzy. Wykorzystuje również tę samą geometrię ostrzy IB i OB. Wymiana ostrzy IB i OB po jednym cyklu życia narzędzia pozwala na 2. okres trwałości narzędzia bez konieczności ponownego ostrzenia i ponownego powlekania.

[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools)



### **Pentac Aero Cutter System for Aircraft Bevel Gears and Prototypes Improves**

System do przekładni zębatach stożkowych i prototypów samolotów. Poprawia wydajność i oszczędność produkcji przekładni stożkowych samolotów. Wykorzystuje system noża tnącego do aplikacji z 5 cięciami. Korzystna liczba grup ostrzy do prototypowania lub małych partii.



### **Pentac Slimline Cutter System for 5-Axis Applications**

Pentac Slimline System tnący do aplikacji 5-osiowych - niskoprofilowy obcinak obwodowy z ostrzami; znacznie zmniejsza duże grubości ścian zwykle wymagane do umieszczenia poszczególnych bloków zaciskowych i śrub zaciskowych dla każdego ostrza ramienia. Do produkcji prostych przekładni zębatych stożkowych lub czołowych na maszynach Gleason Phoenix® lub do aplikacji 5-osiowych Gleason-Heller.

[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools)



**System frezów tarczowych TRI-AC®** do wykonywania operacji Prostokątny system frezów czołowych typu ostrze używane do wykonywania operacji.





### **System frezów czołowych RSR®**

Prostokątny system frezów czołowych z przednim kątem natarcia stosowany do obróbki zgrubnej lub zakończenia.

*Źródło: <https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools>*



### **Spiroform Cutter System**

System obcinania Spiroform - wykorzystuje funkcje Pentac®Plus do precyzyjnego powielania wycinania geometrii boków za pomocą starszego systemu tnącego Spiroflex wymagającego 3 ostrzy na grupę ostrzy.



### **System cięcia Cyclocut**

łączy zalety klasycznej metody wykonywania zadań (przy użyciu blokujących się 2-częściowych noży) z wyjątkowo sztywną konstrukcją głowicy tnącej i funkcjami projektowymi Pentac® Plus.



**System noży Coniflex® Plus** do prostych przekładni kątowych - najbardziej produktywnie rozwiązanie do cięcia prostych przekładni zębatych.

[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools)



### **Uniwersalny proces frezowania Unimill**

Opatentowany przez Gleasona proces Unimill™ umożliwia użytkownikom maszyn tnących Gleason Phoenix® wytwarzanie pojedynczych lub małych partii przekładni zębatych stożkowych przy użyciu uniwersalnych noży do wysoce elastycznej produkcji na żądanie i wydajnej pracy prototypowej.



### **Konwencjonalna obróbka skrawaniem**

Posiadanie maszyny Gleason to długotrwały związek. Obsługujemy sprawdzone i niezawodne systemy cięcia dla konwencjonalnych procesów, dzięki czemu użytkownicy będą mogli czerpać korzyści z inwestycji przez wiele lat. Procesy obejmują systemy frezowania Coniflex®, Revacycle®, Hardac®, Solid Face i Crown Cut Face, RIDG-AC® Roughing i Helixform® Finishing Face Frezowanie.

[Źródło: <https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools>](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/bevel-cutting-tools)

### **System noży Coniflex**

Służy do produkcji prostych i stożkowych kół zębatach i sprzęgieł. Jednoczęściowa konstrukcja w rozmiarach do 229 mm (9 "). Wstawiona konstrukcja ostrza do średnicy frezu 381 mm (15 "). Wymagane są dwa noże blokujące na maszynę.



[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining)

**Revacyle Flo-Cut System tnący** - okrągły frez w kształcie przeciągacza (PM-HSS) stosowany do produkcji na dużą skalę przekładni stożkowej z prostym skosem. Unikalny profil odciążający profil boczny optymalizuje przepływ chłodziwa, aby poprawić usuwanie wiórów i poprawić wydajność.



[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining)

### **System frezów Hardac III**

Frezy HSS z twardym ostrzem, regulowane zarówno w płaszczyźnie kątowej, jak i promieniowej, służą do uzupełniania lub wykańczania. Sztywna konstrukcja umożliwia dokręcenie spiralnych i hipoidalnych zębników i przekładni bezpośrednio z litych półfabrykatów.



[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining)

### **Solid Face Milling Cutter System**

Wysoce wydajne rozwiązanie zarówno do operacji wykończeniowych, jak i wykończeniowych, z ostrzem i korpusem noża wykonanymi jako jedna integralna jednostka (PM-HSS).



[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining)

### **System frezów czołowych Crown Cut**

Prosty, łatwy w użyciu pełny system cięcia (PM-HSS) do uzupełniania, zgrubnego i wykańczania większych przekładni spiralnych i hipoidalnych. Sztywna jednoczęściowa konstrukcja skraca czas montażu do zaledwie jednej lub dwóch minut.



[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining)



### **System frezów zgrubnych RIDG-AC**

Frez czołowy HSS z wstawionym ostrzem, przeznaczony do obróbki zgrubnej zębików i kół zębatych o dużej objętości.



*Źródło: <https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining>*

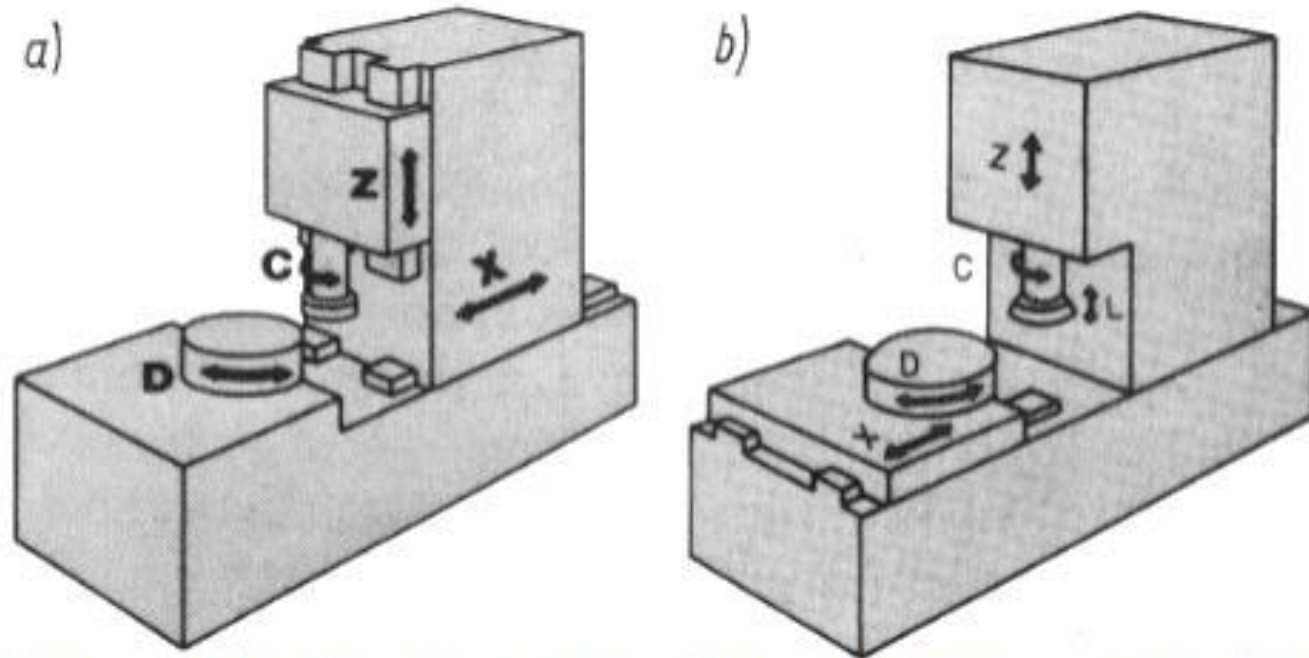
### **System frezowania czołowego Helixform**

Wysokowydajny frez do obróbki wykańczającej w jednym cyklu z naprzemiennymi wewnętrznymi i zewnętrznymi ostrzami HSS rozmieszczonymi w sposób przeciągający.



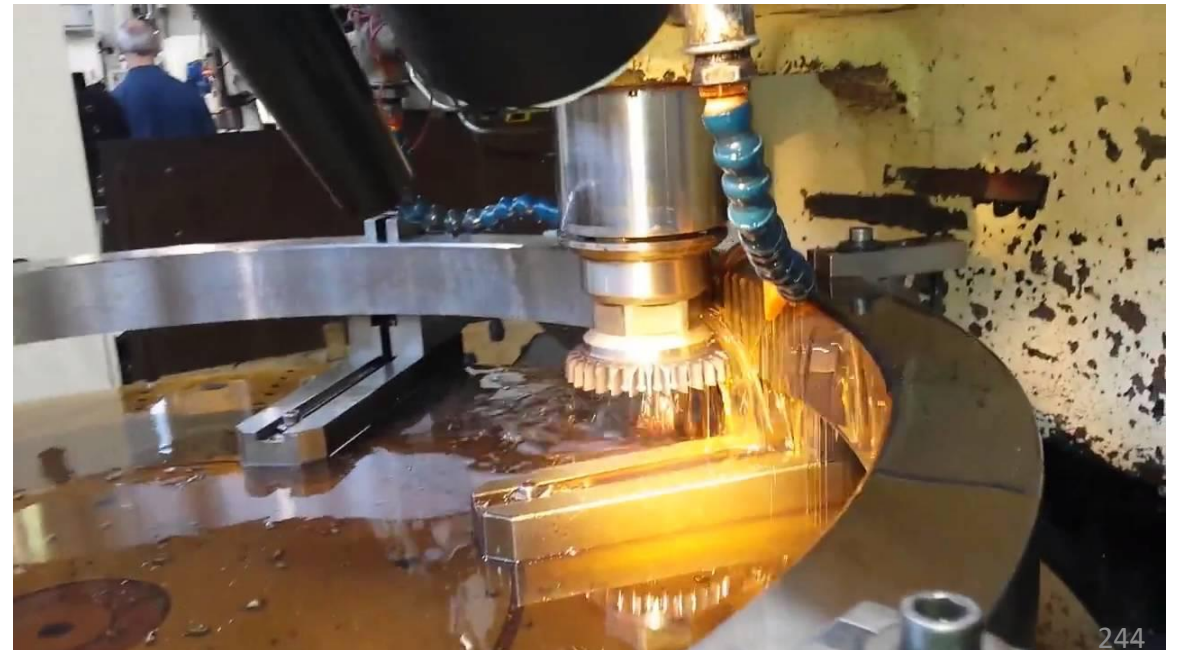
[Źródło: https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining](https://www.gleason.com/en/products/tools/bevel/cutting/conventional-machining)

## Dłutowanie metodą Fellowsa



Rys. 8. Zasada dłutowania metodą Fellowsa (ruch dosuwający i odsuwający narzędzie wykonywany przez: a) wrzeciennik, b) stół obrabiarki

# Dłutowanie metodą Fellowsa



# Dłutowanie metodą Fellowsa

Bourn & Koch 1500 VBS



15.05.2020

# Dłutowanie metodą Fellowsa

DATA	VALUE
Direction	Vertical
Stroke Type	Mechanical
Max. Diameter (External)	650mm
Max. Diameter (Internal)	650mm
Max. Swing	1000mm
Max. Face Width	127mm
Max. Module (Spur/Helical)	8.47 Module
Cutter Spindle Dia.	105mm
Stroking Range	20-1000 SPM
Stroking Motor Spindle Power	20HP
Worktable Diameter	500mm
Approx. Net Weight	36,300 lbs.



Sterowanie CNC Fanuc 30i-B  
6-osiowe kształtowanie CNC  
Adaptacyjna kontrola procesu  
Pozycjonowanie serwo-wrzeciona frezu  
Programowalna i wybierana liczba cięć  
Płynna regulacja prędkości dla każdego cięcia  
Płynna regulacja prędkości i kanałów  
Zorientowana sztywność Back-Off™  
System smarowania  
Układ chłodzenia  
Pełna obudowa maszyny

## EMAG – przykład zautomatyzowanej produkcji kół zębatach



<https://www.youtube.com/watch?v=RLvQYhCM2-8>

# Błędy obróbcze, montażowe i ich wpływ na pracę przekładni



# Dokładność walca wierzchołkowego

Dokładność wykonania walca wierzchołkowego nie może być dowolna, gdyż powiększenie średnicy ponad wymiar teoretyczny powoduje zmniejszenie luzu wierzchołkowego: znaczne zmniejszenie średnicy powoduje skrócenie zęba od strony wierzchołka, przez co zmniejsza się stopień pokrycia. Ponieważ wierzchołek zęba stanowi niejednokrotnie oparcie dla narzędzia pomiarowego, przez to tolerancja wykonania tego walca musi być zawarta w dość ciasnych granicach, jednakże takich, aby obróbka mogła być przeprowadzona toczeniem średnio dokładnym. Dokładność obróbki walca wierzchołkowego zależy od klasy dokładności uzębienia. Należy przy tym brać pod uwagę nie tylko średnicę, lecz również bicie walca wierzchołkowego (tab. XII/1). Średnica wierzchołkowa musi być wówczas wykonana dość dokładnie, gdyż

- służy za podstawę pomiarową dla narzędzia pomiarowego;

- używa się jej do wycentrowywania obrabianego koła na obrabiarce lub przyrządzie (uchwycie) — jakkolwiek jest to raczej niepożądane.

# Dokładność walca wierzchołkowego

W tabeli XII/1 podano tolerancje wykonania, tj. wg klasy dokładności średnic. Należy więc dodatkowo wyjaśnić, że dla zewnętrznych kół należy przyjąć symbol  $h$  (położenie pasa tolerancyjnego), zaś dla wewnętrznych kół symbol otworu  $H$ . W przypadkach specjalnych przyjmuje się inne położenie pasa tolerancyjnego i inną klasę dokładności, np. dla kół zębatych stanowiących tłoki obrotowe pompek przyjmuje się symbol  $f7$ , gdyż od dokładności wykonania tej średnicy oraz położenia pasa tolerancyjnego zależy szczelność pompki oraz jej wydajność.

W tabeli XII/1 została również podana wielkość bicia czoła. Ma to szczególne znaczenie przy poprawnym mocowaniu, jak przekonamy się o tym później.

W tabeli XII/2 podano wartości liczbowe tolerancji średnic 0—500 mm wg ISO, zaś dla średnic od 500 do 3150 mm — w tab. XII/3. Poza koniecznością utrzymania średnicy walca wierzchołkowego w granicach tolerancyjnych należy również dbać o jego wykonanie z możliwie małym biciem (podwójnej mimośrodowości) względem osi obrotu koła. Często bowiem zachodzi konieczność sprawdzenia poprawności mocowania koła na obrabiarce; gdy bicie jest zbyt duże, może się stać powodem wadliwego nacięcia zębów. Nadmierne bicie może też utrudnić ustalenie wymiarów zęba koła, np. gdy pomiaru grubości zęba dokonuje się suwmiarką modułową. Dlatego też wielkość największego bicia nie powinna przekraczać wartości podanej w tab. XII/1.

**Tabela XII/1. Tolerancje błędów korpusu koła zębatego**

Wg zaleceń ISO/TC 60/maj 1967

Walcowe koła zębate \*

Wielkość mierzona		Klasa dokładności											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Otwór (koła)	wymiar	IT4			IT4	IT5	IT6	IT7	IT8				
	kształt	IT1	IT2	IT3									
Walek (czop)	wymiar	IT4			IT4	IT5	IT6	IT7	IT8				
	kształt	IT1	IT2	IT3									
Walec wierzchoł- kowy	h lub H	IT6		IT7			IT8			IT9		IT11	
Bicie promieniowe bazy <sup>1)</sup>	$\mu\text{m}$	0,1 <i>a</i>		0,25 <i>a</i>		0,40 <i>a</i>		0,63 <i>a</i>		1,0 <i>a</i>			
Bicie czołowe po- powierzchni odniesienie (bazy)	$\mu\text{m}$	0,1 <i>a</i>		0,25 <i>a</i>		0,40 <i>a</i>		0,63 <i>a</i>		1,0 <i>a</i>			

<sup>1)</sup> lub bicie promieniowe wałka wierzchołkowego, gdy jest on użyty za bazę pomiarową  $a = 0,04 d + 25$ , gdzie  $d$  - średnica w mm.

Tabela XII/2. Tolerancje wymiarów ponad 0 do 500 mm (wg ISO)

Wymiar nominalny $D$ mm ponad – do	Klasa dokładności											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Tolerancja IT, mikrometrów ( $\mu\text{m}$ )											
0-3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3-6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6-10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10-18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18-30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30-50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50-80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80-120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120-180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180-250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250-315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315-400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400-500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
Zastosowanie												
Narzędzia pomiarowe									Wymiary swobodne			
Pasowanie części maszyn												

Tabela XII/3. Tolerancje wymiarów ponad 500 do 3150 mm (wg ISO)

Wymiar nominalny $D$ mm ponad   do		Klasa dokładności										
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		Tolerancja IT, mikrometrów ( $\mu\text{IT}$ )										
500	630	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400
630	800	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000
800	1000	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600
1000	1250	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600
1250	1600	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800
1600	2000	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200
2000	2500	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
2500	3150	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500
Zastosowanie												
Pasowania części maszyn							Wymiary swobodne					

**Przykład XII/1.** Obliczyć w jakich granicach będzie zawarta średnica wierzchołkowa koła o  $z = 32$ ,  $m_0 = 2$  i zębach normalnych ( $y = 1$ ), zerowych ( $x = 0$ ), gdy koło ma być wykonane w 8 klasie dokładności.

Z odpowiednich wzorów z I tomu obliczamy

$$d_w = (z+2) m_0 = 34 \cdot 2 = 68$$

Z tabeli XII/1 odczytamy, że dla średnicy wierzchołkowej koła wykonywanego w 8 klasie dokładności jest wymagana tolerancja wg IT8, tj. w klasie 8 dokładności średnic. Z tab. XII/2 odczytamy więc

$$T = 46 \mu\text{m} = 0,046 \text{ mm}$$

a więc na rysunku napiszemy  $d_w = 68^{+0}_{-0,046}$

Promień będzie więc w dolnej granicy zmniejszony o 0,023, co w stosunku do modułu wyniesie  $\frac{0,023}{2} = 0,011$ , a więc względne obniżenie zęba jest bardzo małe.

**Przykład XII/2.** Obliczyć tolerancję wykonania walca wierzchołkowego koła o  $z = 240$ ,  $m_0 = 2$  i zębach normalnych ( $y = 1$ ), zerowych ( $x = 0$ ), gdy koło ma być wykonane w 6 klasie dokładności.

Z tabeli XII/1 odczytamy, że tolerancja średnicy wierzchołków musi być zachowana w 8 klasie dokładności średnic (IT8), a więc dla średnicy

$$d_w = (z+2) m_0 = 242 \cdot 2 = 484 \text{ mm}$$

Z tabeli XII/2 odczytamy  $T = 97 \mu\text{m} = 0,097 \text{ mm}$

a więc na rysunku napiszemy  $d_w = 484^{+0}_{-0,097}$

Promień będzie w dolnej granicy zmniejszony o 0,048, co w stosunku do modułu wyniesie  $\frac{0,048}{2} = 0,024$ ; a więc i w tym przypadku względne obniżenie zęba jest bardzo małe.

**Przykład XII/3.** Obliczyć tolerancję wykonania walca wierzchołkowego koła o  $z = 342$ ,  $m_0 = 6$ , zębach normalnych ( $y = 1$ ), zerowych ( $x = 0$ ), gdy uzębienie ma być wykonane w 6 klasie dokładności.

Z tabeli XII/1 odczytamy dla średnicy wierzchołkowej tolerancję IT8; z tab. XII/3 odczytamy dla średnicy

$$d_w = (z+2) m_0 = 344 \cdot 6 = 2064 \text{ mm}$$

$T = 280 \mu\text{m}$ , co daje na rysunku  $d_w = 2064^{+0}_{-0,28}$ , na promieniu max zmniejszenie 0,14 mm, a w stosunku do modułu  $\frac{0,14}{6} = 0,023$ ; co jest niezmiernie mało w stosunku do luzu wierzchołkowego.

# Dokładność walca dna wrębu

Walec dna wrębów ogranicza zęby od podstawy, a więc jego średnica zależy od wysokości zębów. Wysokość ta nie może być dowolna, gdyż od niej zależy luz wierzchołkowy; głębsze nacięcie zębów daje gwarancję utrzymania dużego luzu wierzchołkowego, co zapewnia swobodną współpracę kół, jednakże wskutek powiększenia wysokości zęba zwiększa się ramię momentu zginającego ząb, co powoduje zmniejszenie wytrzymałości zęba.

Luz wierzchołkowy nie powinien więc być ani za duży, ani za mały. Wielkość ta wynosi na ogół

$$l_w = (0,1 \dots 0,3)m_0 \quad [\text{XII-1}]$$

Nadmieniamy przy tym, że na rysunku wykonawczym wymiar średnicy dna wrębów powinien uwzględniać jedynie średni luz wierzchołkowy, a przy wykonywaniu dopuszcza się wykonawcze odchyłki tak aby luz wierzchołkowy znalazł się w granicach wyrażonych wzorem [XII-1].

Pamiętać również należy, że narzędzia wykańczające nie powinny obrabiać dna wrębów, wskutek czego u dna wrębu powstaje schodek (uskok), który powinien się również znaleźć w granicach luzu wierzchołkowego określonego wzorem [XII-1]

**Przykład XII/4.** Obliczyć granice średnicy dna wrębów koła o zębach prostych korygowanych o  $z = 15$ ,  $m_0 = 6$ ,  $y = 1$ ,  $x = +0,4$ .

Ze znanych wzorów z tomu I otrzymamy  $d_p = 15 \cdot 6 = 90$  mm

$$h_s = (y-x) m_0 + l_w = (1-0,4) \cdot 6 + (0,1 \dots 0,3) \cdot 6$$

skąd  $h_{s \min} = 3,6 + 0,6 = 4,2$  mm,  $h_{s \max} = 3,6 + 1,8 = 5,4$  mm  
wartość średnia wyniesie  $h_{s \text{sr}} = 3,6 + 1,2 = 4,8$  mm

Wobec tego średnica dna wrębów wyniesie

$$d_{s \max} = d_p - 2h_{s \min} = 90 - 2 \cdot 4,2 = 81,6 \text{ mm}$$

$$d_{s \min} = d_p - 2h_{s \max} = 90 - 2 \cdot 5,4 = 79,2 \text{ mm}$$

$$d_{s \text{sr}} = d_p - 2h_{s \text{sr}} = 90 - 2 \cdot 4,8 = 80,4 \text{ mm}$$

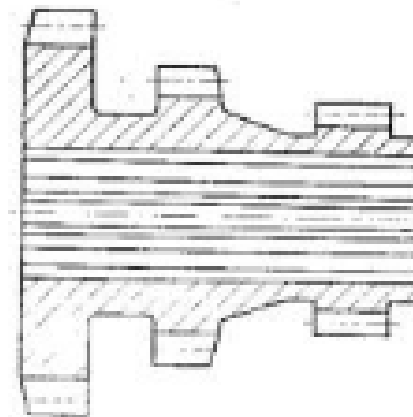
Z tego obliczenia widzimy, że tolerancja wykonania średnicy dna wrębów może być bardzo duża, bo wynosi

$$T = d_{s \max} - d_{s \min} = 81,6 - 79,2 = 2,4 \text{ mm}$$

# Szerokość rowka między wieńcami oraz wielkość wybiegu dla narzędzia

Gdy koło jest złożone w jednej całości z kilku wieńców (rys. XII-1), wówczas odległość jednego wieńca od drugiego nie może być dowolna; odległość ta bowiem jest uzależniona od konstrukcji oraz od możliwości wykonania, które są inne dla zębów śrubowych, a inne dla prostych. W każdym z tych przypadków znów wystąpi odmienność wpływu rodzaju obróbki, gdyż innej szerokości rowka wymaga dłutowanie i innej frezowanie lub szlifowanie.

**Rys. XII-1.**  
Trójwieńcowe koło walcowe





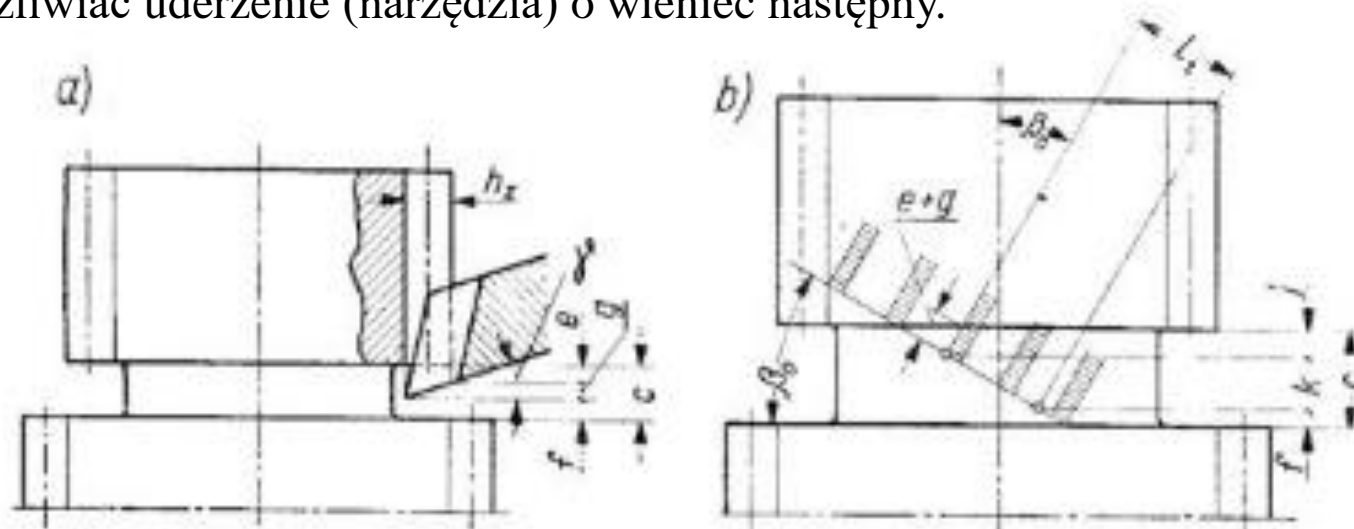
# 1) Struganie zębów

Szerokość rowka przy struganiu zębów zależy:

- od tego czy koło ma zęby proste, czy też śrubowe,
- od sposobu zaostrenia narzędzia, co szczególnie uwydatnia się przy struganiu zębów śrubowych.

a) Struganie zębów prostych. Ponieważ ząb narzędzia musi wyjść z pracy na całej wysokości (rys. XII-2a) przez to szerokość rowka musi uwzględniać

wysokość zęba tego narzędzia. Ponadto wybieg narzędzia powinien zapewniać całkowite wyjście jego z pracy i uniemożliwiać uderzenie (narzędzia) o wieniec następny.



Rys. XII-2. Obliczanie szerokości rowka między wiencami walcowego koła zębatego przy struganiu: a) zębów prostych, b) zębów śrubowych normalnym narzędziem-zębatką

# Struganie zębów prostych

Widzimy więc, że całkowita szerokość rowka wyniesie:

$$\boxed{c = e + g + f} \quad [\text{XII-2}]$$

$$\boxed{g = h_z \operatorname{tg} \gamma} \quad [\text{XII-3}]$$

gdzie:

- $c$  – całkowita szerokość rowka, mm,
- $e$  – dodatkowa wartość, mm,
- $f$  – dodatkowa wartość, mm,
- $g$  – wartość wynikająca z czynnej wysokości zęba narzędzia, mm,
- $\gamma$  – kąt natarcia,
- $h_z$  – całkowita wysokość zęba obrabianego, mm.

**Przykład XII/5.** Obliczyć wielkość wybiegu narzędzia wynikającą z czynnej wysokości zęba narzędzia: a) dla  $m_0 = 2$ , b) dla  $m_0 = 10$ .

Ze wzoru [XII-3] obliczamy

$$\text{dla a) } g = 2,3 \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ 30' = 0,52 \text{ mm}$$

$$\text{dla b) } g = 2,3 \cdot 10 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ 30' = 2,62 \text{ mm}$$

Z przykładu tego widzimy, że wielkość tego wybiegu jest stosunkowo nieduża.

W tabeli XII/4 podano szerokość rowków dla zębów normalnych uwzględniając wielkość luzu wierzchołkowego  $0,3 m_0$  oraz kąt natarcia  $\gamma = 6^\circ 30'$  (dla narzędzia zębatego Maaga)<sup>1)</sup>.

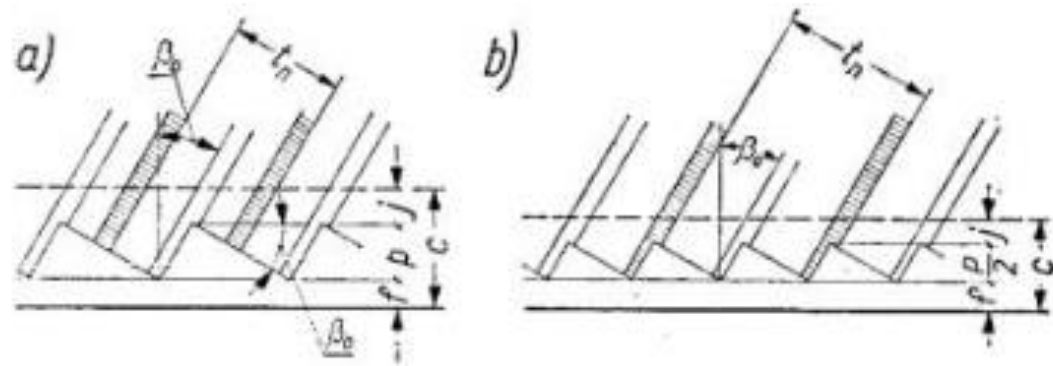
**Tabela XII/4. Szerokość rowka dla wybiegu narzędzia przy dłutowaniu**  
Wymiary w mm

Moduł $m_0$ mm	Zęby proste	Zęby śrubowe		
		$\beta_0 = 10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$
1	4	5	6	7
1,5	4,5	5,5	6,5	7,5
2	5	6	7	8
2,5	5	6	7	8
3	5,5	6,5	7	8
3,5	6	7	8	9
4	6,5	7,5	8,5	9,5
4,5	6,5	7,5	8,5	9,5
5	7	8	9	10
5,5	7	8	9	10
6	7	8	9	10
6,5	7	8	9	10
7	7,5	8,5	9,5	10,5
8	7,5	8,5	9,5	10,5
9	8	9	10	11
10	8	9	10	11

# 1) Struganie zębów

W tym przypadku o szerokości rowka decydują nie tylko względy omówione przy kołach o zębach prostych, lecz ponadto kąt pochylenia linii zęba. Szerokość rowka może być większa lub mniejsza w zależności od tego, czy do nacinania zębów użyje się normalnego narzędzia stosowanego również do nacinania zębów prostych (rys. XII-2b), czy też narzędzia specjalnego. W tym ostatnim przypadku szerokość rowka zależy od sposobu zaostrenia powierzchni natarcia (rys. XII-3). Do tego drugiego przypadku należą między innymi narzędzia Fellowsa.

Rys. XII-3.  
Obliczanie szerokości rowka między wieńcami walcowego koła zębatego o zębach śrubowych przy struganiu zębów specjalnym narzędziem-zębatką lub nożem Fellowsa



# Struganie zębów śrubowych

Rozpatrzmy więc wszystkie przypadki.

Gdy mamy do czynienia z przypadkiem przedstawionym na rys. XII-2b

$$c = j + k + f$$

Przy czym wielkość  $j$  obejmuje wartości  $e + g$  (z rys. XII-2a) zrzutowane na kierunek osi kół, a więc

$$k = l_t \sin \beta_0$$

Wielkość  $k$  stanowi rzut wartości  $l_t$ , (z rys. 0-9) na kierunek osi kół. Wielkość  $l$ , odczytuje się dla zastępczej liczby zębów  $z_{zast}$

$$j = (e + g) \cos \beta_0$$

Zaś  $f$  jest to wartość zapewniająca swobodne przechodzenie narzędzia ponad następnym (dolnym) wieńcem zębatym.

P

$$\boxed{c = (e + g) \cos \beta_0 + l_t \sin \beta_0 + f}$$

[XII-4]

**Przykład XII/6.** Obliczyć najmniejszą szerokość rowka między wieńcami strzałkowego koła walcowego o  $z = 32$ ,  $m_n = 6$ ,  $\alpha_n = 20^\circ$ ,  $\beta_0 = 25^\circ$ ,  $y = 1$ , zęby zerowe ( $x = 0$ ).

Przyjmujemy tu  $e = f = 3$  mm.

Wartość  $g$  obliczamy ze wzoru [XII-3]:

$$g = h_x \operatorname{tg} \gamma = 2,3 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg} 6^\circ 30' \approx 1,58 \text{ mm}$$

zastępczą liczbę zębów obliczamy ze wzoru<sup>1)</sup>

$$z_{\text{zast}} = \frac{z}{\cos^3 \beta_0} = \frac{32}{\cos^3 25^\circ} \approx 42$$

Dla tej wartości odczytamy z rys. 0-9 wielkość

$$\frac{l_t}{t_0} = 2,22 \quad \text{skąd} \quad l_t = 2,22 t_0 = 2,22 m_n \pi = 2,22 \cdot 6 \pi = 41,8 \text{ mm}$$

Zatem ze wzoru [XII-4] obliczamy

$$c = (3 + 1,58) \cos 25^\circ + 41,8 \sin 25^\circ + 3 = 4,15 + 17,7 + 3 \approx 25 \text{ mm}$$

# Struganie zębów śrubowych

W przypadku przedstawionym na rys. XII-3a

$$\begin{aligned} \text{gdzie} \quad c &= j+p+f & (a) \\ j &= (e+g) \cos \beta_0 & (b) \\ \text{zaś} \quad p &= t_n \sin \beta_0 = m_n \pi \sin \beta_0 & (c) \\ \text{Ostatecznie zaś} \quad & \boxed{c = (e+g) \cos \beta_0 + m_n \pi \sin \beta_0 + f} & \text{[XII-5]} \end{aligned}$$

gdzie:

$e$  – wybieg narzędzia z materiału ( $= 2 \div 3$  mm),

$g$  – wartość obliczona ze wzoru [XII-3],

$f$  – dodatkowa wielkość zapewniająca swobodne przechodzenie narzędzia ponad dolnym wieńcem zębatym.

**Przykład XII/7.** Obliczyć wg wzoru [XII-5] najmniejszą szerokość rowka dla wartości podanych w przykładzie XII/6.

Przyjmujemy  $e = f = 3$  mm. Z przykładu XII/6 mamy  $g = 1,58$  mm, ze wzoru [XII-5] obliczamy

$$c = (3 + 1,58) \cos 25^\circ + 6\pi \sin 25^\circ + 3 = 4,15 + 7,95 + 3 \approx 15,1 \text{ mm}$$

W tym przypadku szerokość rowka jest znacznie mniejsza od poprzedniej jednakże jeszcze dość znaczna.

# Struganie zębów śrubowych

W przypadku przedstawionym na rys. XII-3b

$$\boxed{c = j + \frac{p}{2} + f} \quad [\text{XII-6}]$$

W tym przypadku dzięki odpowiedniemu zaostreniu czoła narzędzia otrzymujemy mniejszą wartość środkowego członu niż poprzednio. Pozostałe oznaczenia — jak w poprzednim przypadku.

**Przykład XII/8.** Obliczyć wg wzoru [XII-6] najmniejszą szerokość rowka dla wartości podanych w przykładzie XII/6.

Przyjmujemy  $e = f = 3$  mm, z przykładu XII/6 mamy  $g = 1,58$  mm. Z przykładu XII/7 mamy  $p = 7,95$  mm, zatem  $\frac{p}{2} \approx 4$  mm.

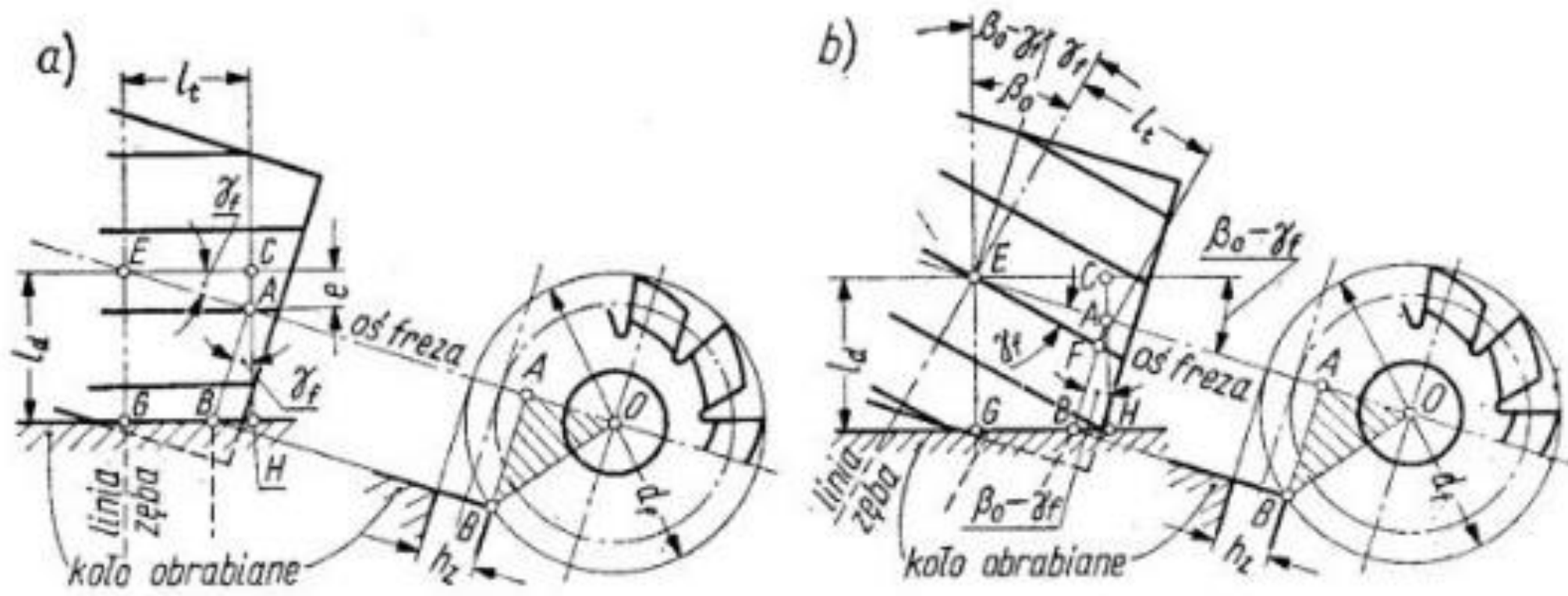
Ze wzoru [XII-6] obliczamy więc  $c = 4,15 + 4 + 3 = 11,15$  mm



## 2) Frezowanie zębów

Szerokość rowka między wieńcami zębatymi lub wielkość wybiegu narzędzia zależy:

- od tego czy w kole obrabianym występują zęby proste, czy śrubowe;
- od średnicy freza;
- od wysokości obrabianego zęba;
- od kąta wzniesienia linii śrubowej zębów freza ślimakowego.



Rys. XII-4. Obliczanie szerokości rowka (dobiegu narzędzia) między wieńcami koła zębatego przy frezowaniu frezem ślimakowym: a) koła o zębach prostych, b) o zębach śrubowych

# Frezowanie zębów prostych

Szerokość rowka obliczamy na podstawie rys. XII-4a (pamiętając o tym, że szerokość rowka jest jednoznaczna z wielkością dobiegu narzędzia):

$$l_d = \overline{EG} = \overline{CA} + \overline{AH} = e + \overline{AB} \cos \gamma_f \quad (\text{a})$$

lecz 
$$e = \overline{CA} = \overline{EC} \operatorname{tg} \gamma_f = l_t \operatorname{tg} \gamma_f \quad (\text{b})$$

zaś  $\overline{AB}$  obliczymy z trójkąta  $AOB$

$$\overline{AB}^2 = \overline{OB}^2 - \overline{OA}^2$$

lecz  $\overline{OB} = \frac{d_f}{2}$ , zaś  $\overline{OA} = \frac{d_f}{2} - h_z$ , a więc  $\overline{AB} = \sqrt{\left(\frac{d_f}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_f}{2} - h_z\right)^2}$

a po uproszczeniu 
$$\boxed{\overline{AB} = \sqrt{h_z(d_f - h_z)}} \quad [\text{XII-8}]$$

Po wstawieniu wartości (b) i [XII-8] we wzór (a) otrzymamy

$$\boxed{l_d = l_t \operatorname{tg} \gamma_f + \sqrt{h_z(d_f - h_z)} \cos \gamma_f} \quad [\text{XII-9}]$$

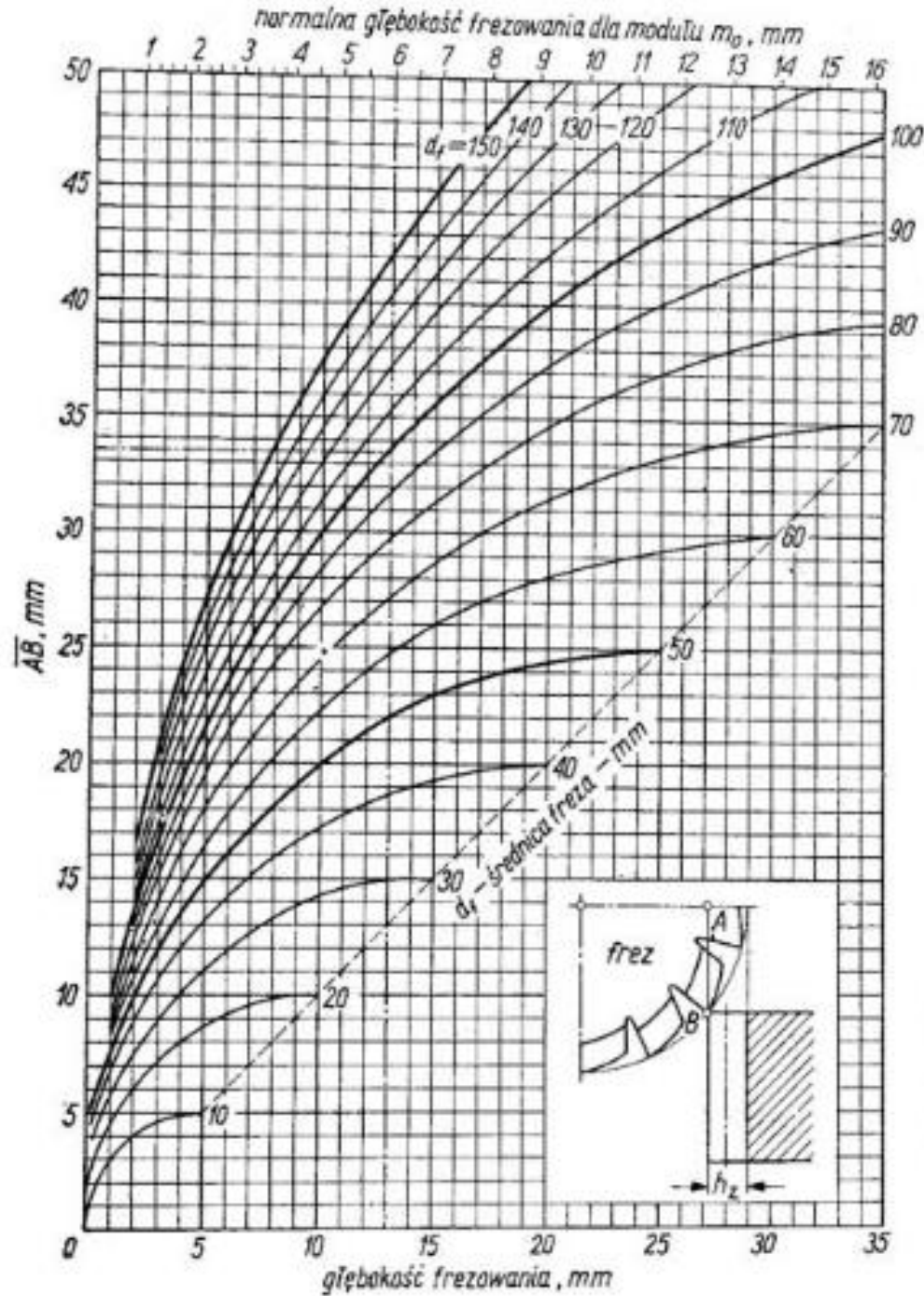
gdzie:

$h_z$  – całkowita wysokość obrabianego zęba, mm,

$d_f$  – średnica freza, mm (patrz tab. XII/5),

$l_t$  – wartość odczytana z rys. 0-9.

Wzór [XII-8] przedstawiono w postaci wykresu na rys. XII-5.



Rys. XII-5.

Wykres zależności wielkości  $\overline{AB}$  od wielkości modułu (głębokości frezowania) i średnicy freza.

Przykład: średnica freza,  $d_f = 100$  mm, moduł  $m_0 = 6$ , głębokość frezowania  $h_z = 13$  mm,  $\overline{AB} = 33,4$  mm

Tabela XII/5. Normalne średnice frezów ślimakowych  $d_f$ , wg PN-64/M-57552

Moduł $m_0$ mm	1 do 1,5	1,75 do 2,75	3 do 4	4,5 i 5	5,5 i 6	6,5 i 7	8 i 9	10	11 i 12	14	16
Średnica freza $d_f$ mm	56	63	80	90	100	110	125	140	160	180	200

**Przykład XII/10.** Obliczyć minimalną szerokość rowka między wieńcami walcowego koła zębatego dla koła o  $z = 36$ ,  $m_0 = 4$  mm,  $\alpha_0 = 20^\circ$ ,  $y = 1$ , zęby bez korekcji (zerowe).

Z rysunku 0-9 odczytamy  $\frac{l_t}{t_0} = 2,19$ , skąd  $l_t = 2,19 \cdot t_0 = 2,19 m_0 \pi = 2,19 \cdot 4 \cdot \pi \approx 27,5$  mm.

Z tabeli XII/5 odczytamy dla  $m_0 = 4$  mm,  $d_f = 80$  mm, zatem na podstawie wzoru [II-58] obliczymy dla jednokrotnego freza

$$\sin \gamma_f = \frac{m_0}{d_{fp}}$$

gdzie  $d_{fp}$  — średnica podziałowa freza,  $d_{fp} = d_f - 2h_{of}$ , zaś  $h_{of} = 1,2 \cdot m_0$ , a więc  $d_{fp} = d_f - 2 \cdot 1,2 \cdot m_0 = 80 - 2 \cdot 1,2 \cdot 4 = 70,4$  mm,  $\sin \gamma_f = \frac{4}{70,4} = 0,0568$ , skąd  $\gamma_f = 3^\circ 15'$ .

Z rysunku XII-5 odczytamy dla  $d_f = 80$  mm i  $m_0 = 4$  ( $h_z = 2,2 \cdot m_0 = 2,2 \cdot 4 = 8,8$  mm)

$$\overline{AB} = 25,5 \text{ mm}, \quad \overline{AB} \cdot \cos 3^\circ 15' = 25,5 \cdot 0,9984 = 25,4 \text{ mm}$$

Ze wzoru [XII-9] otrzymamy wobec tego ostatecznie

$$c = 27,5 \cdot 0,0568 + 25,4 = 1,56 + 25,4 \approx 27 \text{ mm}$$

# Frezowanie zębów śrubowych

Z rysunku XII-4b odczytamy zależność

$$l_d = \overline{EG} = \overline{CA} + \overline{AH} \quad (\text{a})$$

$$\text{lecz } \overline{CA} = \overline{EA} \sin(\beta_0 - \gamma_f) \quad (\text{b}) \quad \overline{EA} = \overline{EF} \cos \gamma_f = l_t \cos \gamma_f \quad (\text{c})$$

$$\overline{AH} = \overline{AB} \cos(\beta_0 - \gamma_f) \quad (\text{d})$$

zatem po wstawieniu tych wszystkich wartości we wzór (a) otrzymamy:

$$\boxed{l_d = l_t \cos \gamma_f \sin(\beta_0 - \gamma_f) + \overline{AB} \cos(\beta_0 - \gamma_f)} \quad [\text{XII-10}]$$

gdzie:

$l_t$  — wielkość odczytana z rys. 0-9 lub ze wzoru [0-11],

$\gamma_f$  — kąt wzniosu linii śrubowej we frezie ślimakowym,

$\beta_0$  — kąt pochylenia linii zęba obrabianego koła,

$\overline{AB}$  — wielkość odczytana z rys. XII-5 lub obliczona ze wzoru [XII-8].

**Przykład XII/11.** Obliczyć szerokość rowka między wieńcami strzałkowego koła walcowego o danych z przykładu XII/6.

Z tabeli XII/3 odczytamy dla  $m_n = 6$  mm średnicę wierzchołkową freza  $d_f = 100$  mm. Średnica podziałowa wyniesie

$$d_{fp} = d_f - 2h_g = d_f - 2 \cdot 1,2 m_n = d_f - 2,4 m_n$$

a dla naszego przykładu  $d_{fp} = 100 - 2,4 \cdot 6 = 85,6$  mm.

Ze wzoru [II-58] obliczymy

$$\sin \gamma_f = \frac{m_n}{d_{fp}} = \frac{6}{85,6} = 0,0701$$

skąd

$$\gamma_f = 4^\circ, \quad \cos 4^\circ = 0,99756.$$

Wielkość  $l_r$  obliczona w przykładzie XII/6 wynosi  $l_r = 41,8$  mm.

Wielkość  $\overline{AB}$  odczytamy z rys. XII-5 lub obliczymy ze wzoru [XII-8]:

skąd

$$\overline{AB} = 33,5 \text{ mm}$$

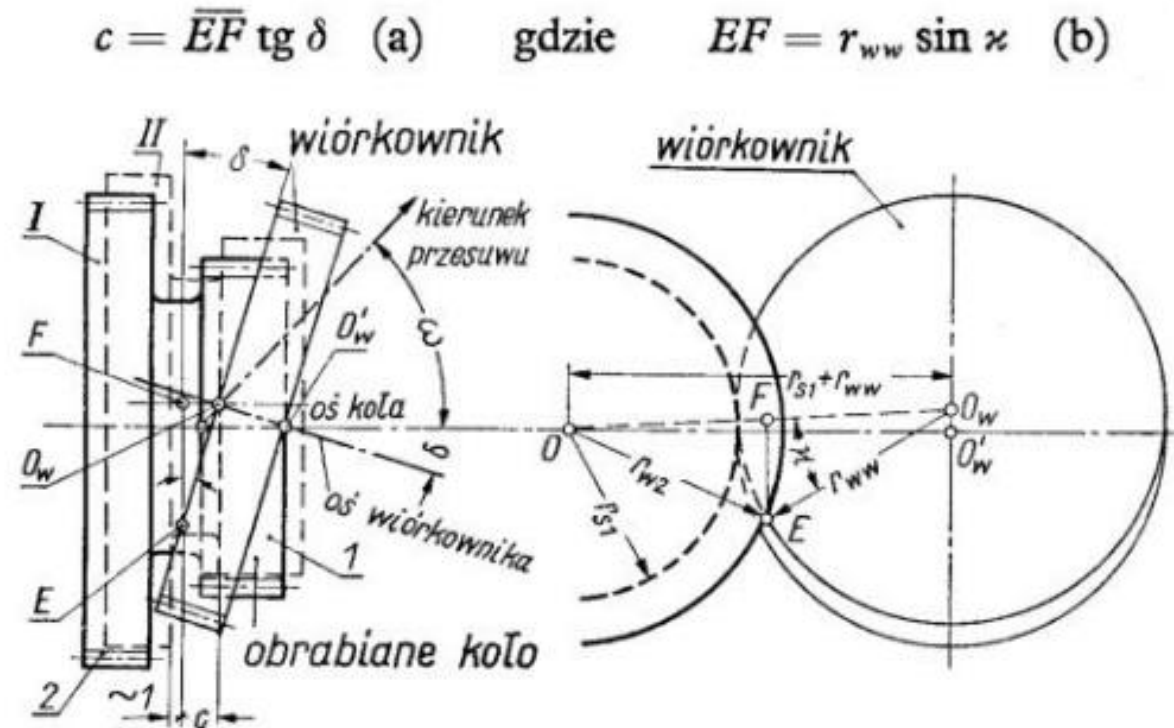
Wobec tego ze wzoru [XII-10] mamy

$$l_d = 41,8 \cdot 0,99756 \cdot \sin (25^\circ - 4^\circ) + 33,5 \cdot \cos (25^\circ - 4^\circ)$$

$$l_d = 14,9 + 31,2 = 46,1 \text{ mm}$$

### 3) Wiórkowanie zębów

Jeśli rowek między wieńcami ma być mały, musi być zastosowane wiórkowanie skośne, a wyjątkowo poprzeczne. Należy przy tym pamiętać, że wiórkowanie nie daje dostatecznie dobrej gładkości powierzchni bocznej zębów wiórkowanych. Szerokość rowka dzielącego wieńce zębate obliczamy w tym przypadku z rys. XII-6, z trójkąta  $O_w EF$ .



Rys. XII-6. Obliczanie szerokości rowka między dwoma wieńcami przy wiórkowaniu skośnym



zaś kąt  $\varkappa$  obliczamy z trójkąta  $OO_w E$  (prawa strona rysunku)

$$r_{w2}^2 = (r_{s1} + r_{ww})^2 + r_{ww}^2 - 2(r_{s1} + r_{ww}) r_{ww} \cos \varkappa$$

skąd

$$\boxed{\cos \varkappa = \frac{(r_{s1} + r_{ww})^2 + r_{ww}^2 - r_{w2}^2}{2(r_{s1} + r_{ww}) r_{ww}}} \quad [\text{XII-11}]$$

Po wstawieniu zależności (b) w (a) otrzymamy

$$\boxed{c = r_{ww} \sin \varkappa \operatorname{tg} \delta} \quad [\text{XII-12}]$$

gdzie:

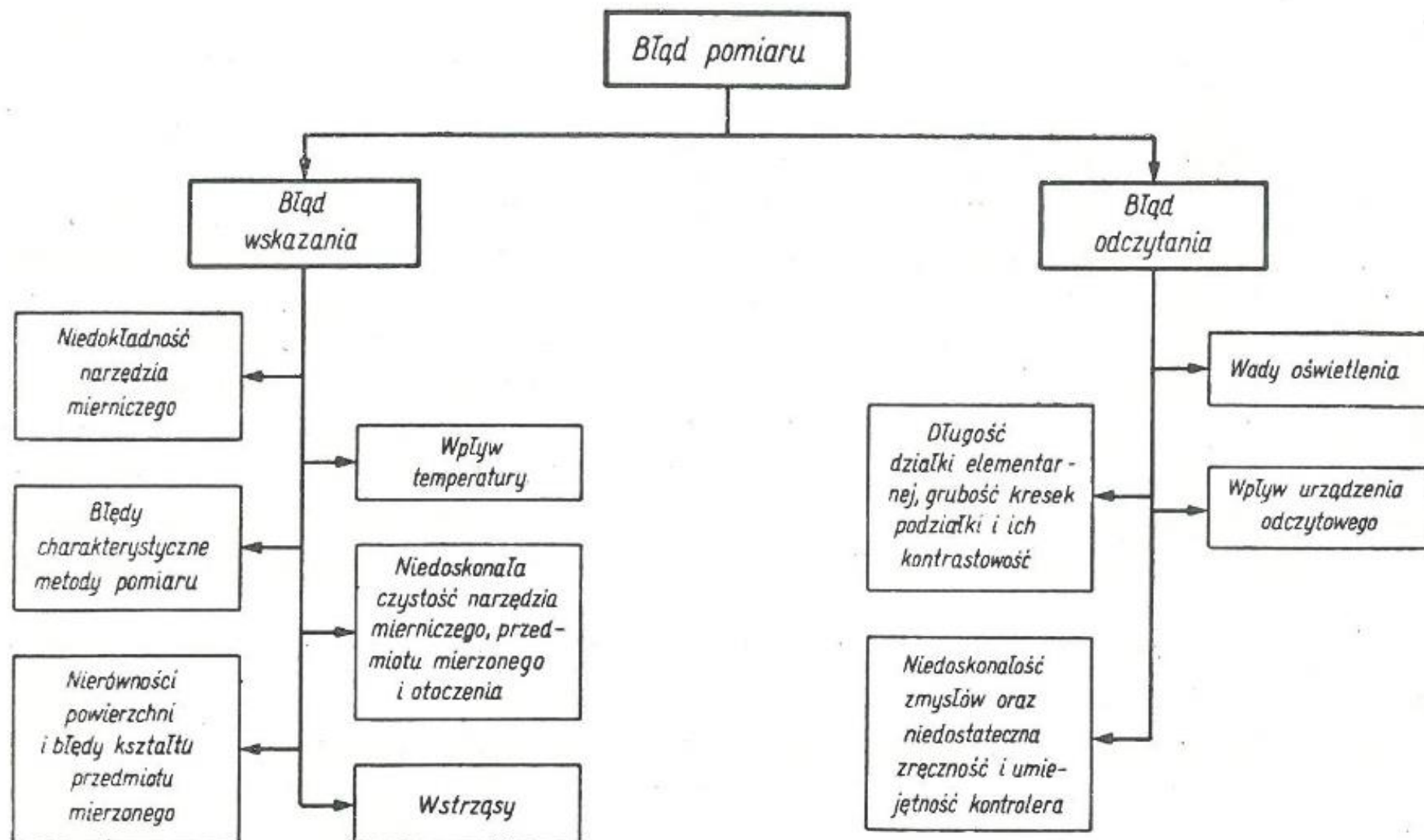
- $c$  — minimalna szerokość rowka między wieńcami,
- $r_{w2}$  — promień koła wierzchołkowego większego wieńca zębatego,
- $r_{ww}$  — promień koła wierzchołkowego wiórkownika,
- $r_{s1}$  — promień dna wrębu mniejszego wieńca zębatego,
- $\delta$  — kąt między osiami wiórkownika i obrabianego koła.

Z zależności [XII-2] widzimy, że na wielkość rowka dzielącego wieńce zębate wywiera duży wpływ kąt  $\delta$ . Im ten kąt jest większy, tym szerszy musi być rowek. Chcąc więc uzyskać jak najwęższy rowek należy przy wiórkowaniu zapewnić jak najmniejszy kąt  $\delta$  (przyjmuje się na ogół  $\delta = 10 \div 15^\circ$ ). Szerokość rowka ze wzoru [XII-12] jest teoretyczna. Praktycznie należy dodać jeszcze ok. 1 mm.

# Podstawy pomiarów kół zębatach

# Pomiary kół zębanych

Opracował – P. Knast na podstawie K. Ochęduszeko



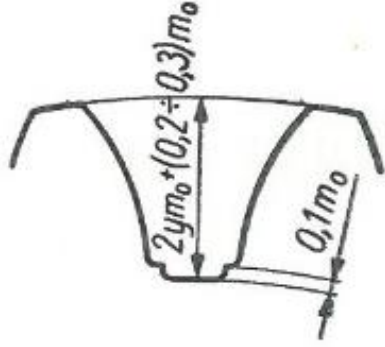
Rys. 3. Czynniki wpływające na błąd pomiaru



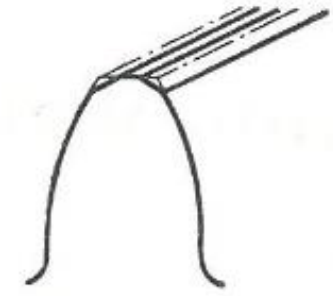
Rys. 1.  
Zarys zęba przed  
i po zużyciu



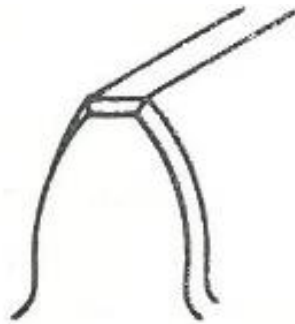
Rys. 2.  
Symetryczna budowa walcowego koła  
zębatego



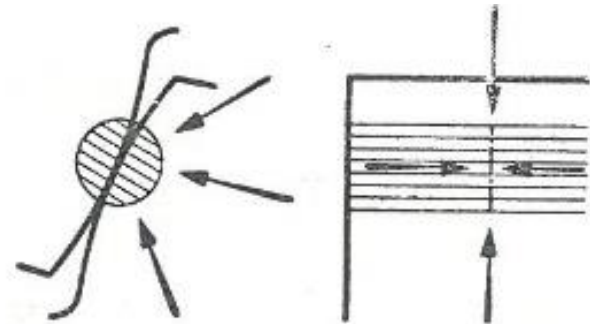
Rys. 4.  
Odsadzenie u dna  
wrębu w kołe zębatym



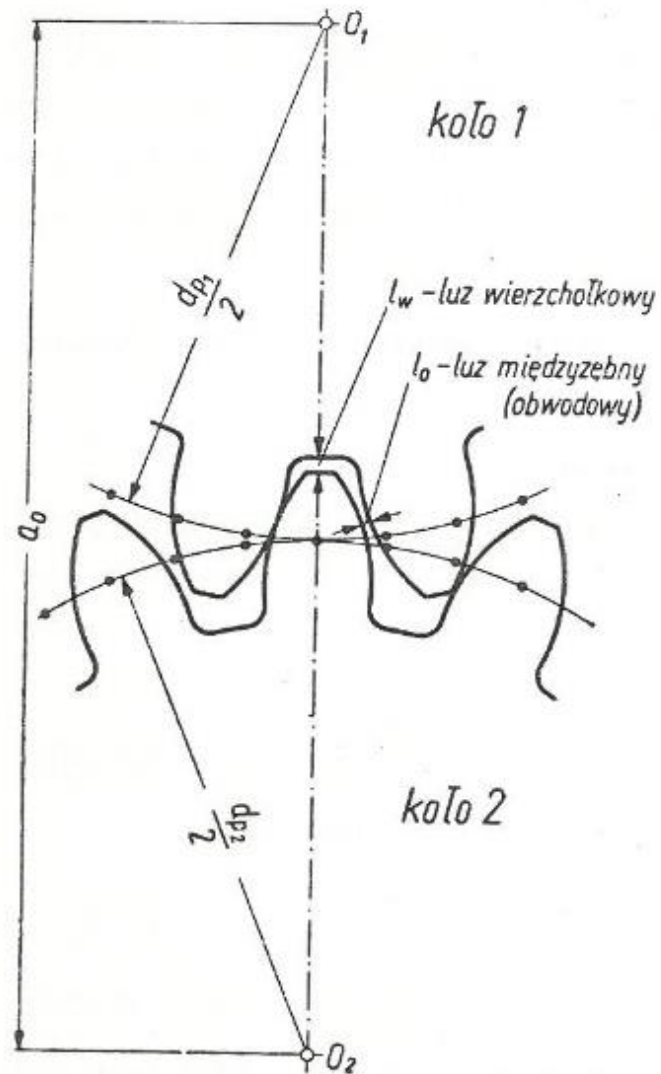
Rys. 5.  
Załamanie krawędzi  
u wierzchołka zęba



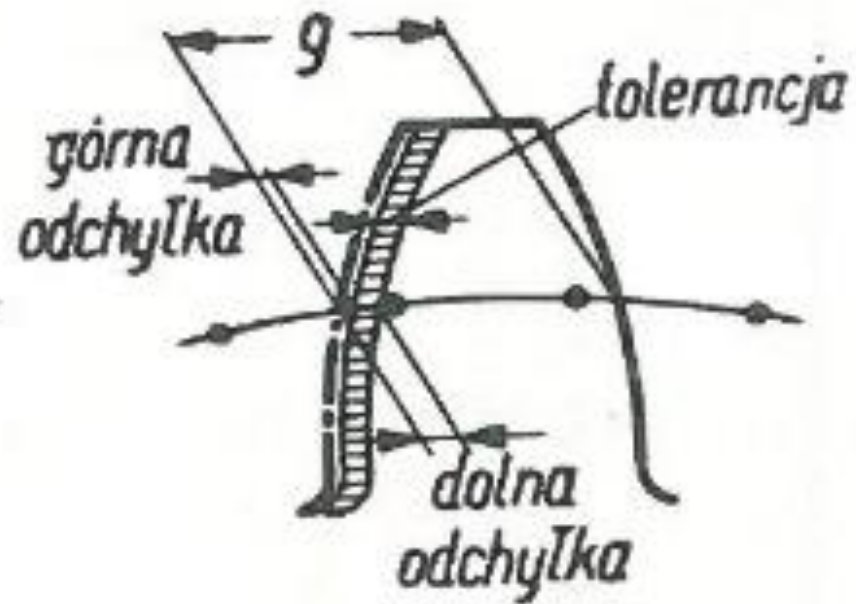
Rys. 6.  
Załamanie krawędzi  
u czoła zęba



Rys. 7.  
Spłaszczenie zęba  
pod naciskiem sił  
oraz rozkład  
naprężeń



Rys. 8. Luz wierzchołkowy i międzyzębny podczas pracy pary kół

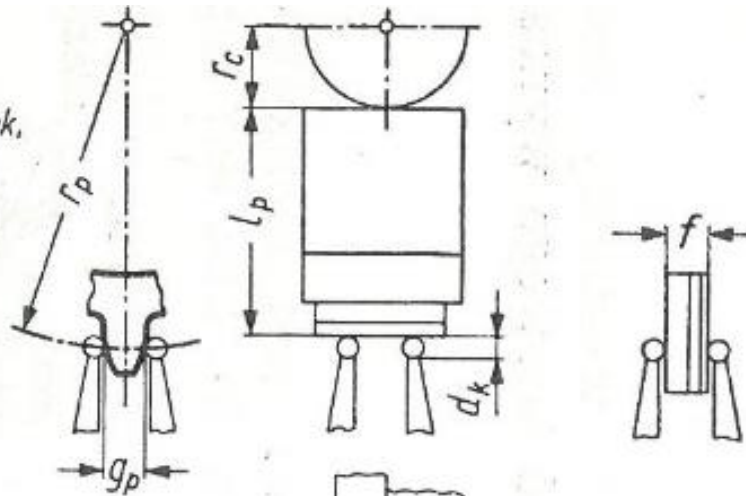


Rys. 9. Określenie górnej i dolnej odchyłki grubości zęba

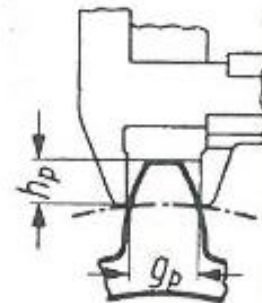


I. Pomiar  
bezpośredni

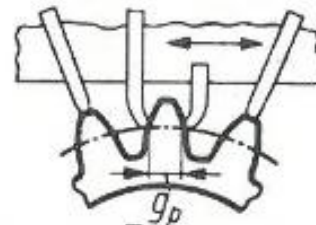
a) za pomocą 2 kulek,  
w odniesieniu do  
osi koła (lub  
otworu)



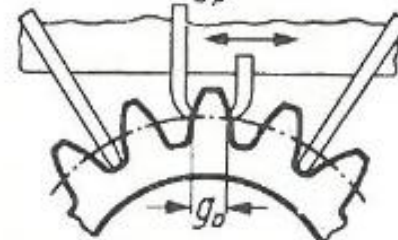
b) przy użyciu suwmiarki  
modułowej, w odniesieniu  
do wierzchołka zęba



c) za pomocą 2 szczęk,  
w odniesieniu do  
wierzchołków zębów



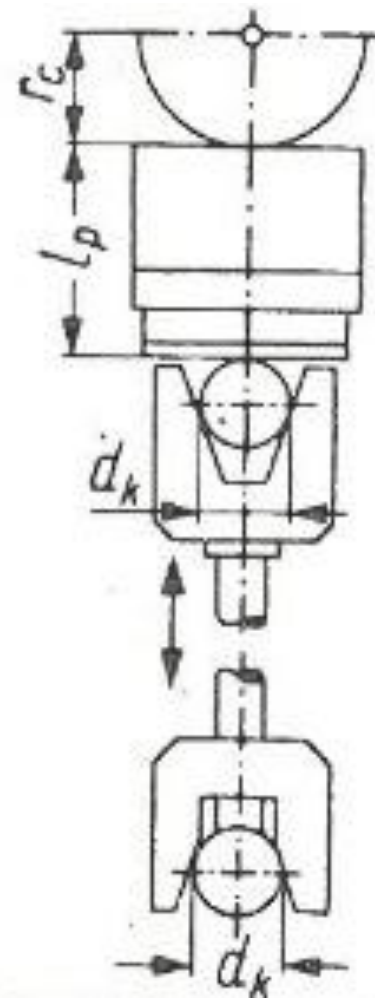
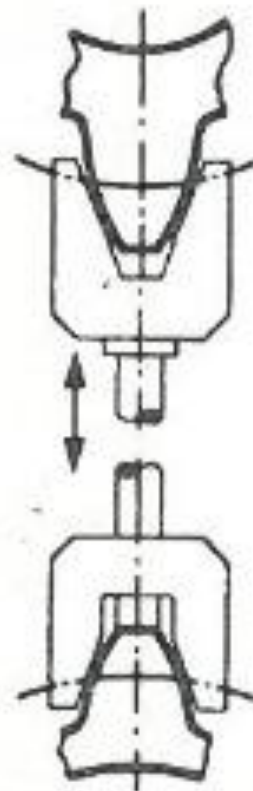
d) za pomocą 2 szczęk,  
w odniesieniu do dna  
wrębów



II. Pomiar  
pośredni  
za pomocą  
widełek

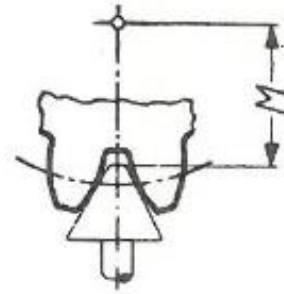
a) w odniesieniu do osi  
koła (lub otworu)

b) w odniesieniu do wierzchołka  
zęba, przy użyciu mikrometra  
lub specjalnego sprawdzianu

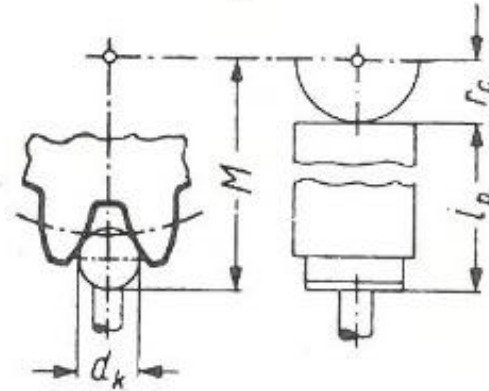


III. Pomiar pośredni  
szerokości  
wrebu

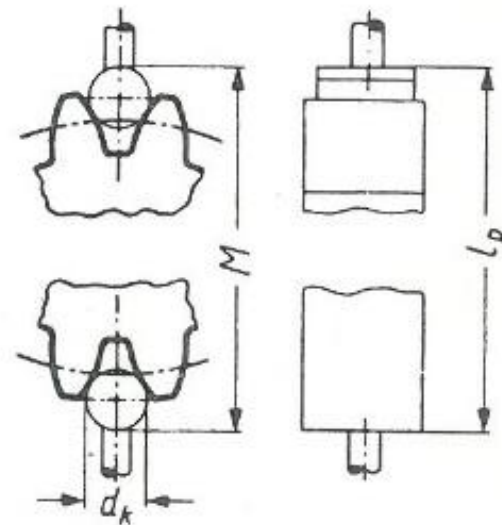
a) przy użyciu stożka lub zęba  
zębatego, w odniesieniu do osi  
koła (lub otworu)



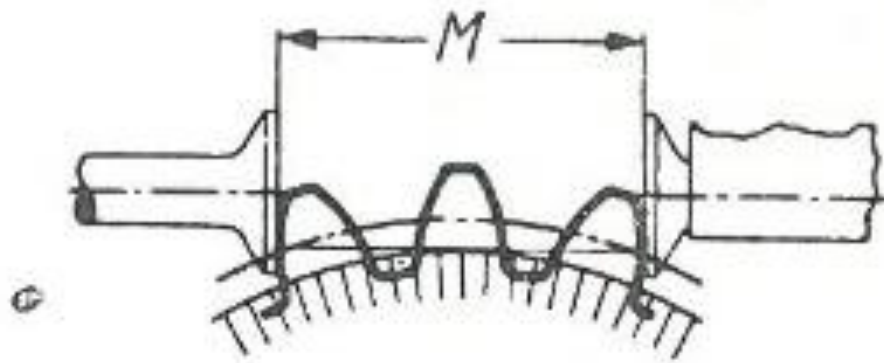
b) przy użyciu wałeczka  
lub kulki, w odniesieniu  
do osi koła (lub otworu)



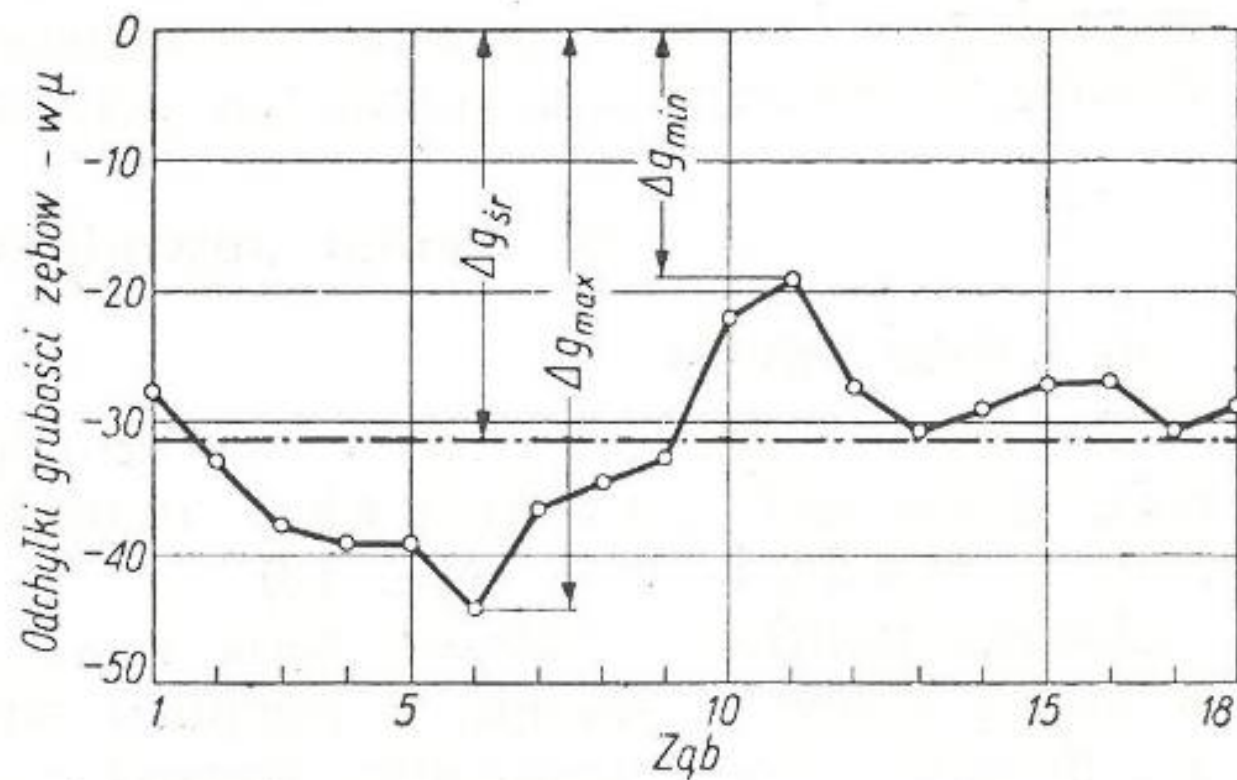
c) przy użyciu 2 wałeczków  
włożonych w przeciwległe  
wreby (pomiar bezodnie-  
sieniowy)

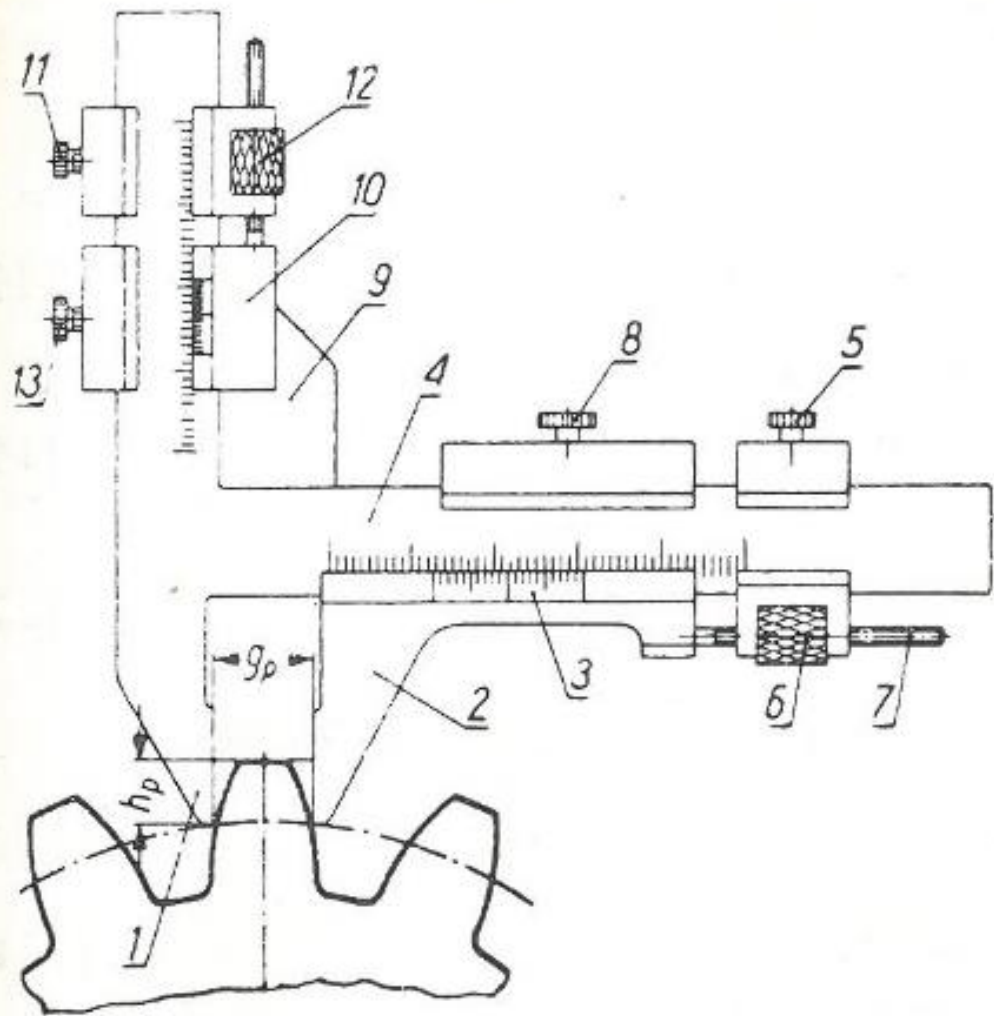


IV. Pomiar przez  $n$  zębów  
(Pomiar bezodniesieniowy)

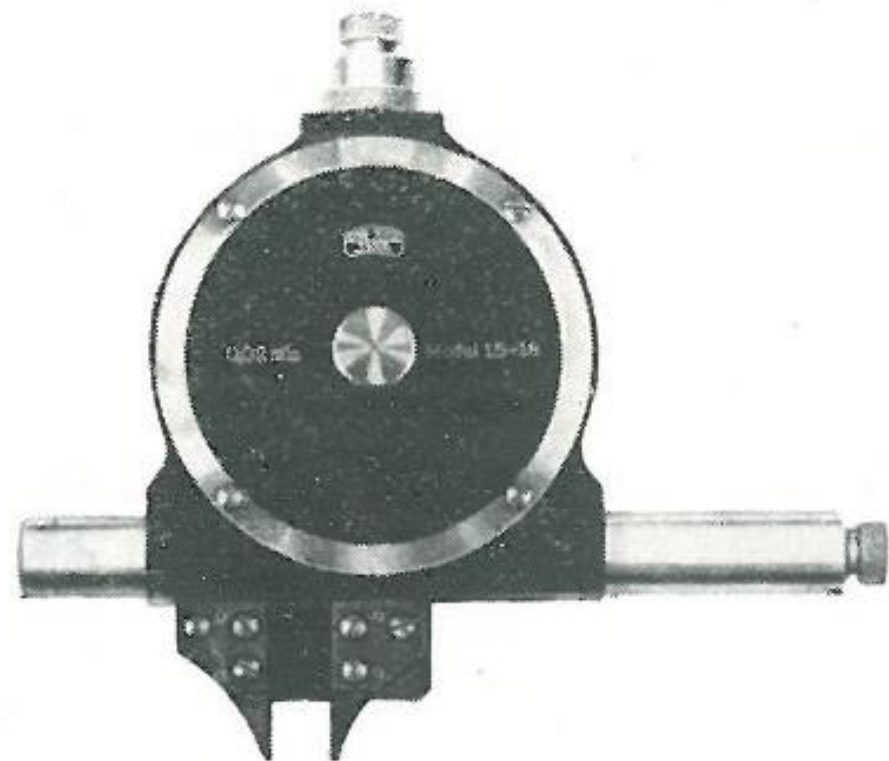


Rys. 11.  
Wykres przebiegu odchyłek  
grubości zębów koła zębatego



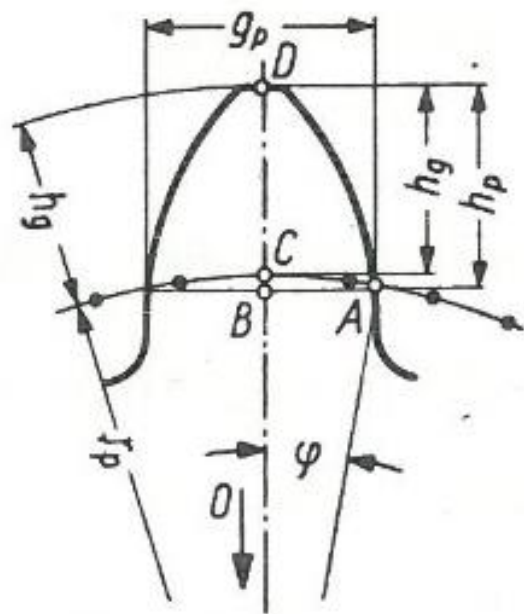


Rys. 12. Pomiar grubości zęba za pomocą suwmiarki modułowej

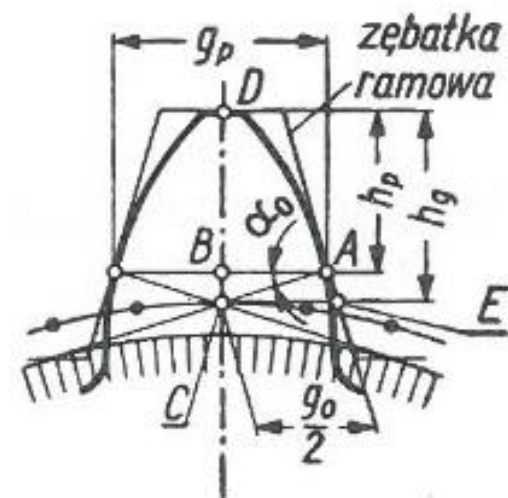


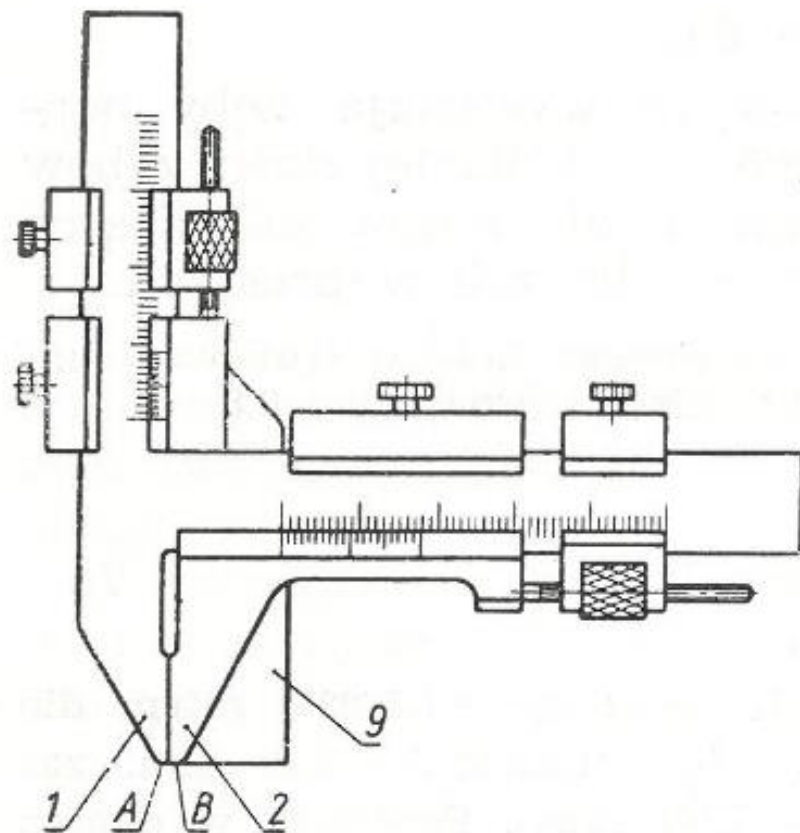
Rys. 13. Optyczny mikrometr modułowy w wykonaniu f. C. Zeiss

Rys. 14.  
Obliczanie  
wymiarów pomia-  
rowych dla suw-  
miarki modułowej

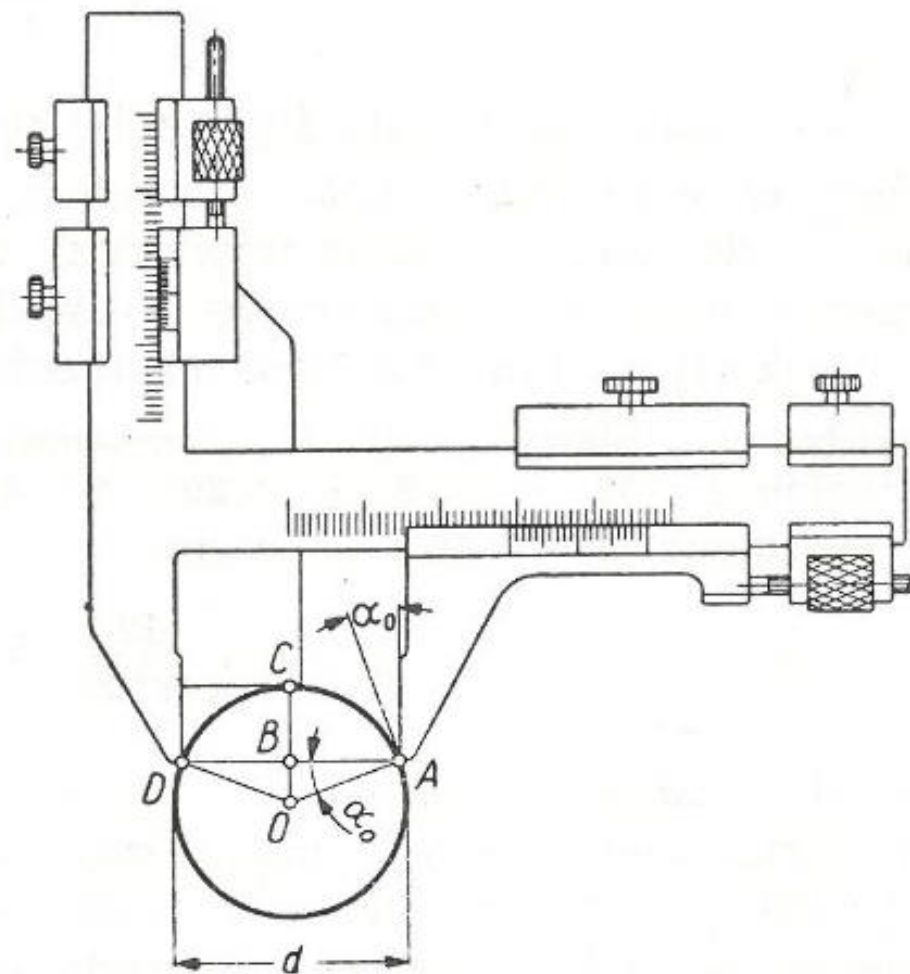


Rys. 15.  
Obliczanie  
wymiarów pomia-  
rowych dla suw-  
miarki modułowej.



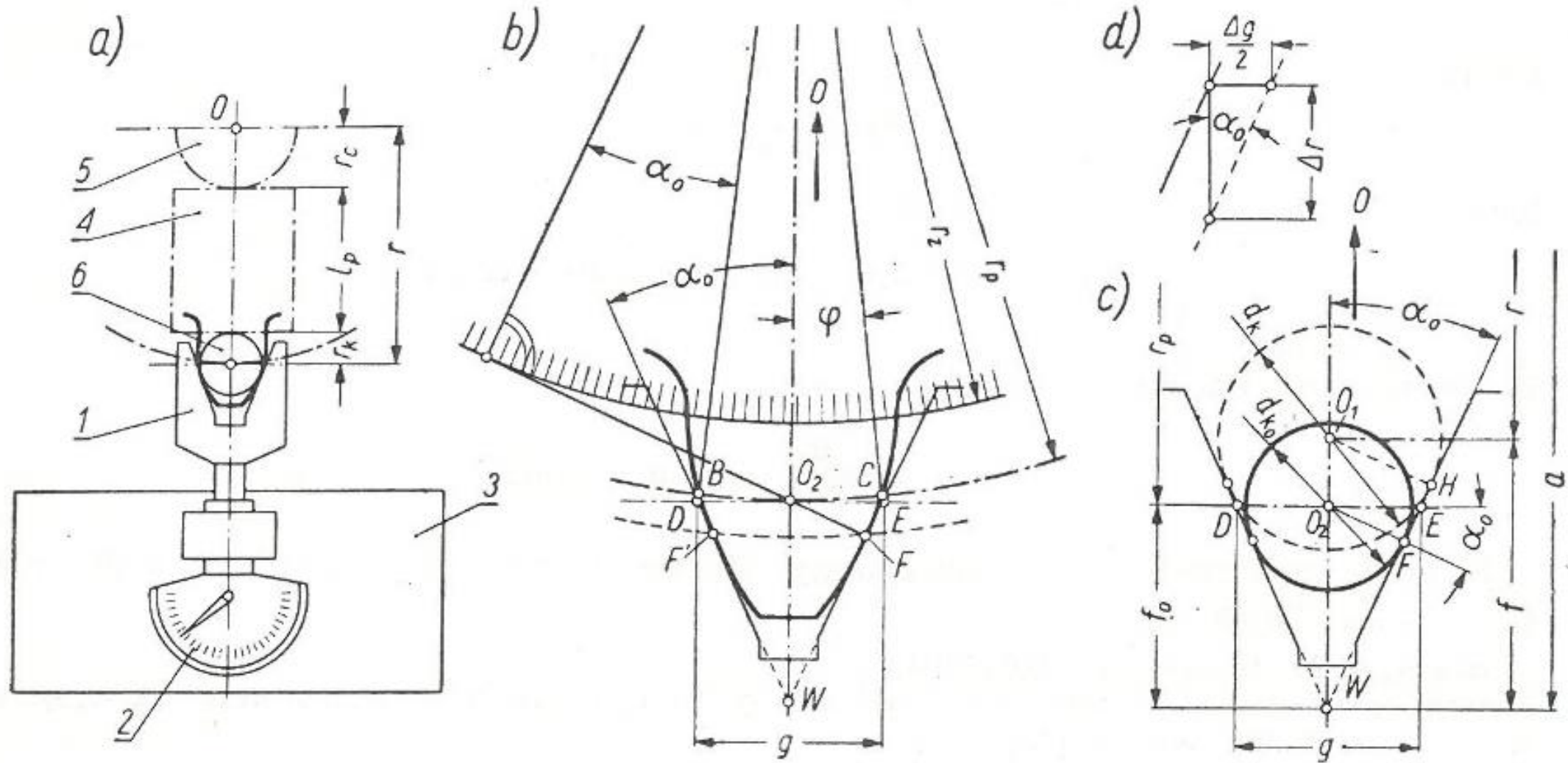


Rys. 16. Ustawienie szczęk pomiarowych do docierania w celu naostrzenia krawędzi pomiarowych

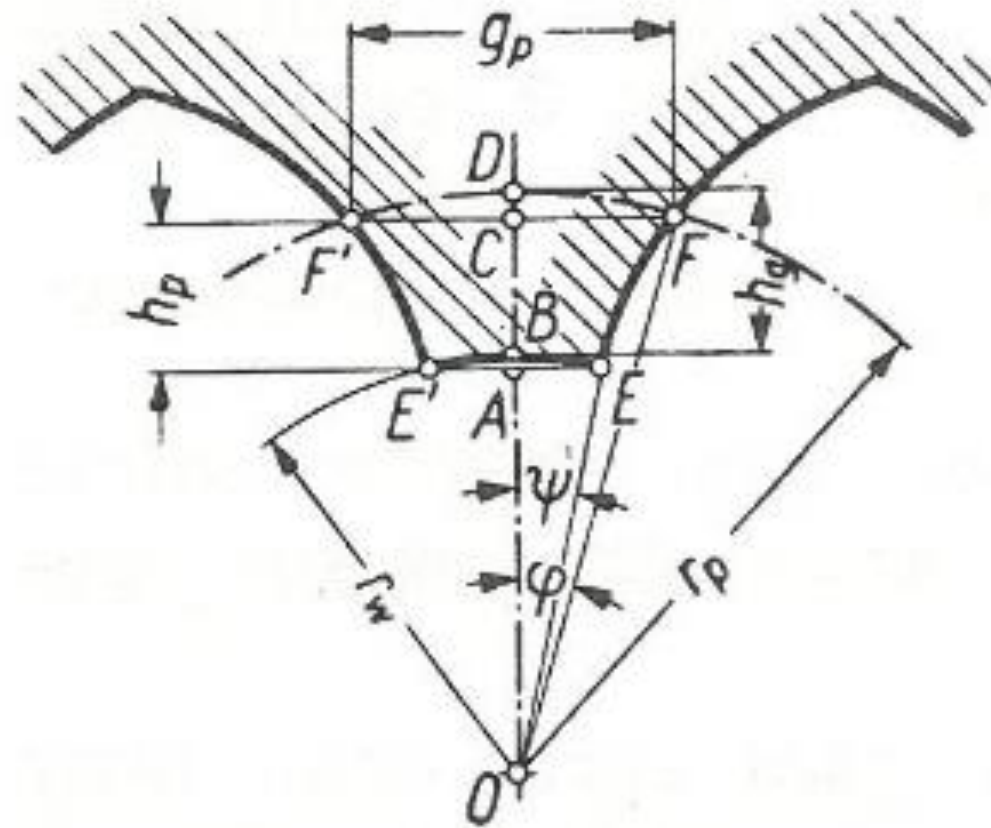


Rys. 17. Nastawienie grubości pomiarowej suwmiarki modułowej przy pomocy ustawczego wałka

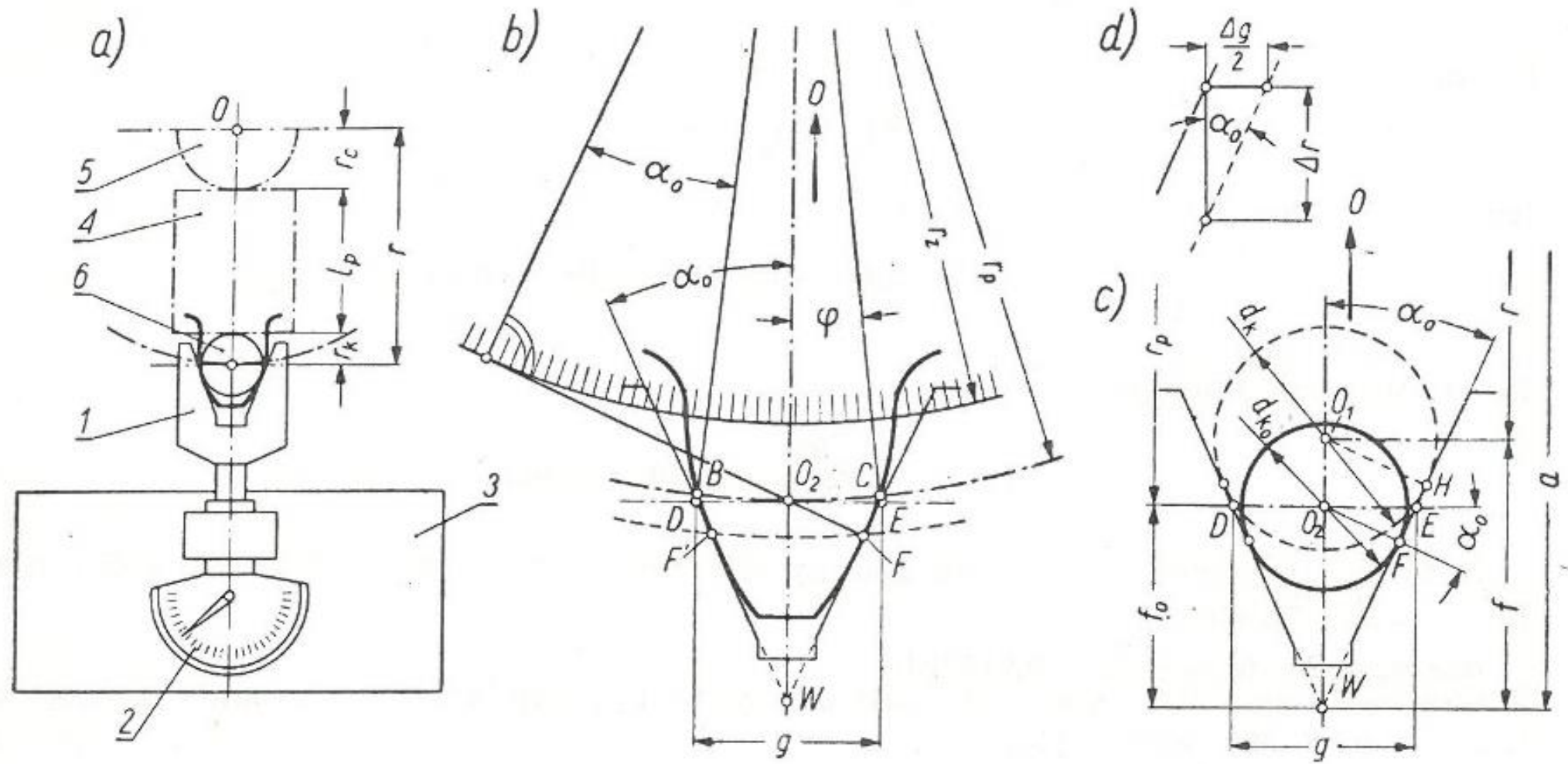




Rys. 19. Pomiar grubości zęba za pomocą widełek; 1 — widełki, 2 — czujnik, 3 — sianie, 4 — stos płytek wzorcowych, 5 — trzpień, 6 — wałek ustawczy

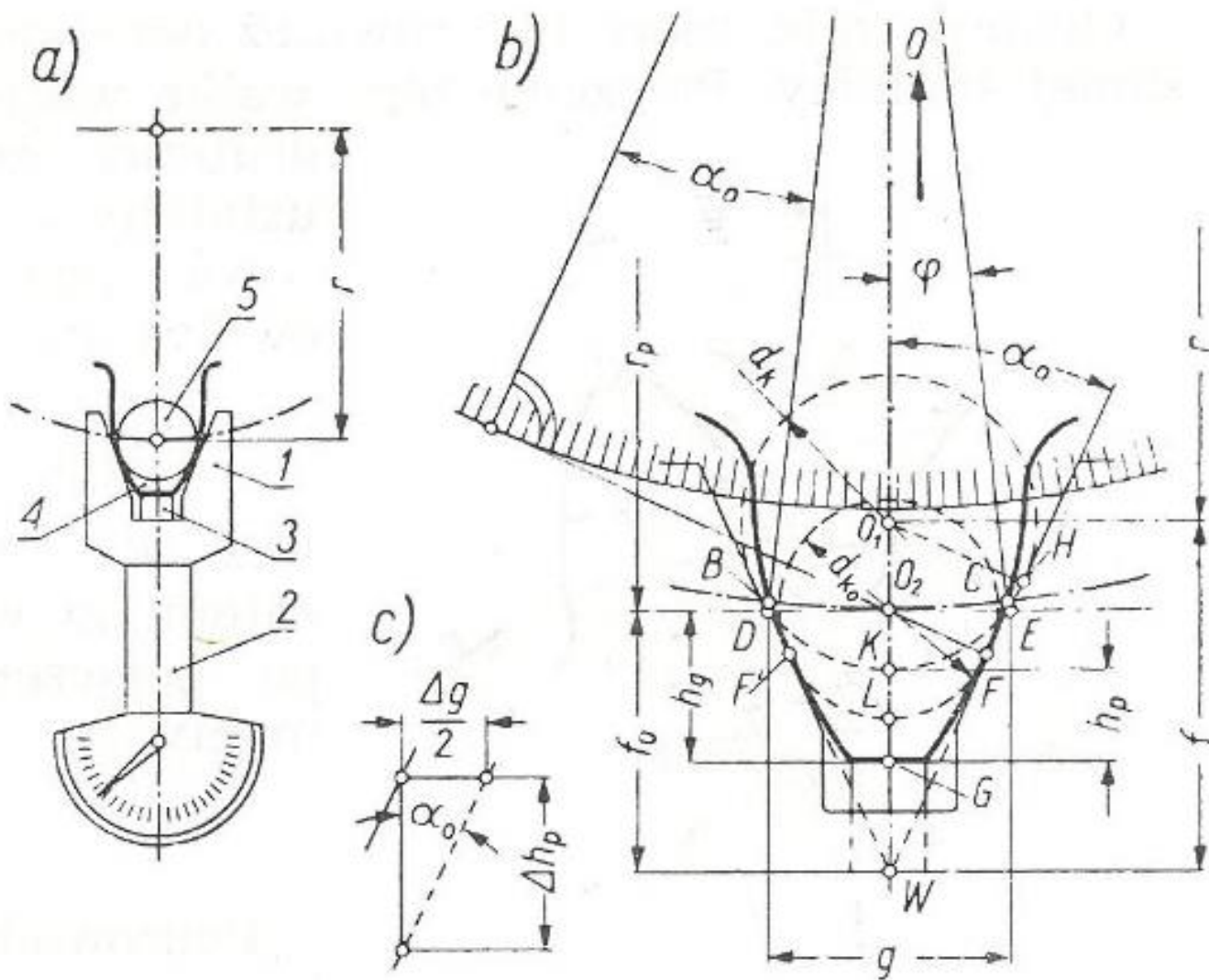


Rys. 18. Ustalenie wymiarów pomiarowych zęba koła o wewnętrznym uzębieniu

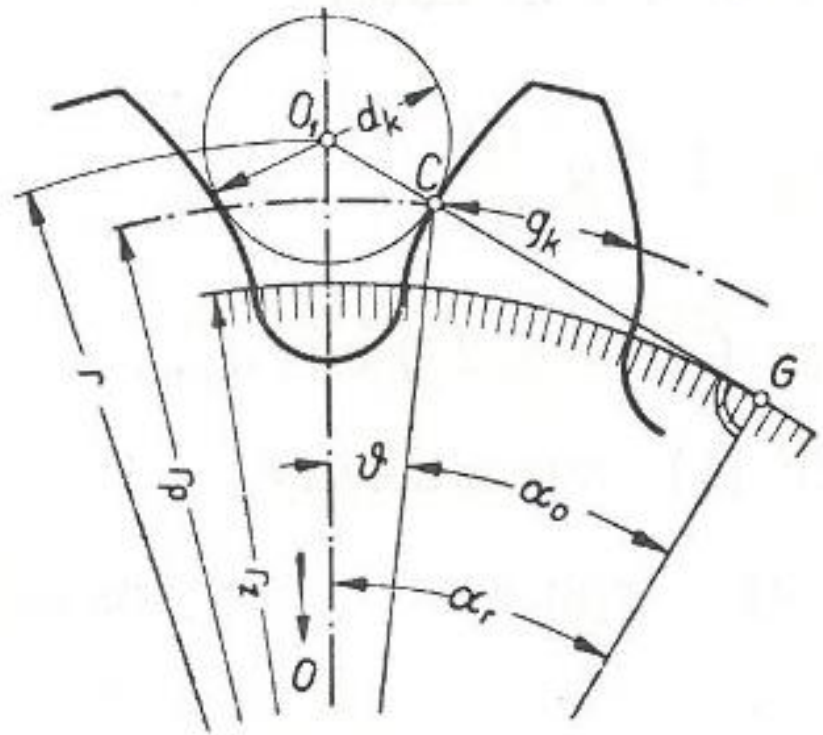


Rys. 19. Pomiar grubości zęba za pomocą widełek; 1 — widełki, 2 — czujnik, 3 — sianie, 4 — stos płytek wzorcowych, 5 — trzpień, 6 — wałek ustawczy

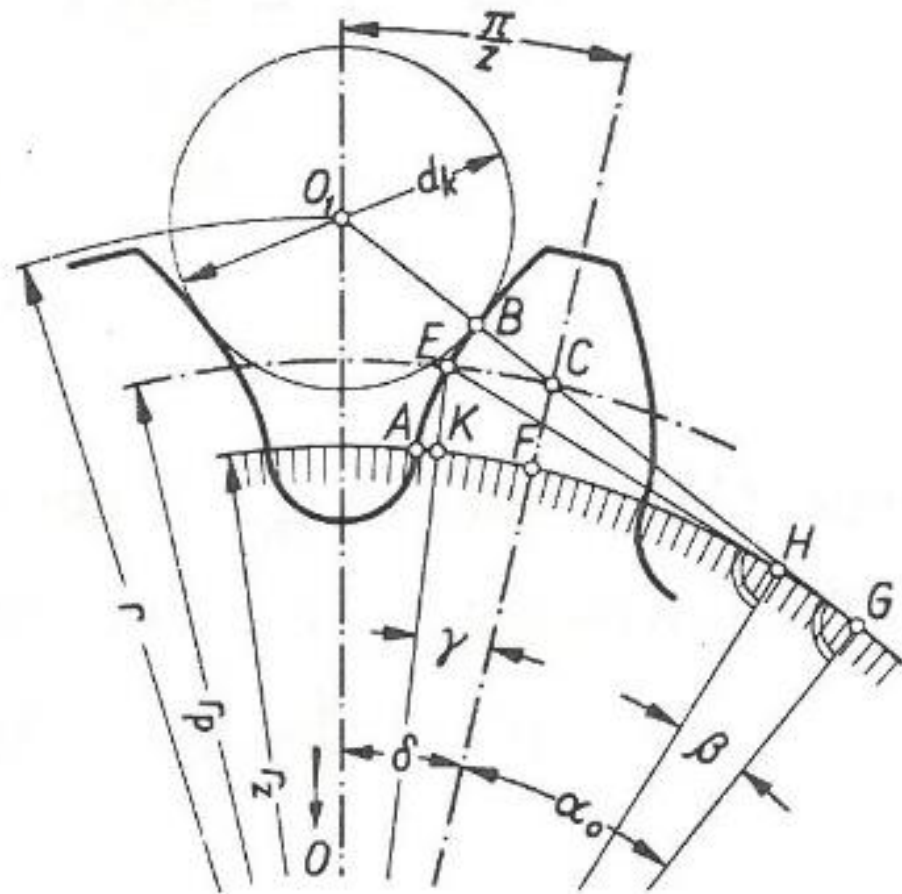
Rys. 20.  
 Pomiar grubości zęba  
 za pomocą widełek;  
 1 — widełki,  
 2 — czujnik,  
 3 — nóżka pomiarowa czujnika,  
 4 — mierzony ząb,  
 5 — wałek ustawczy



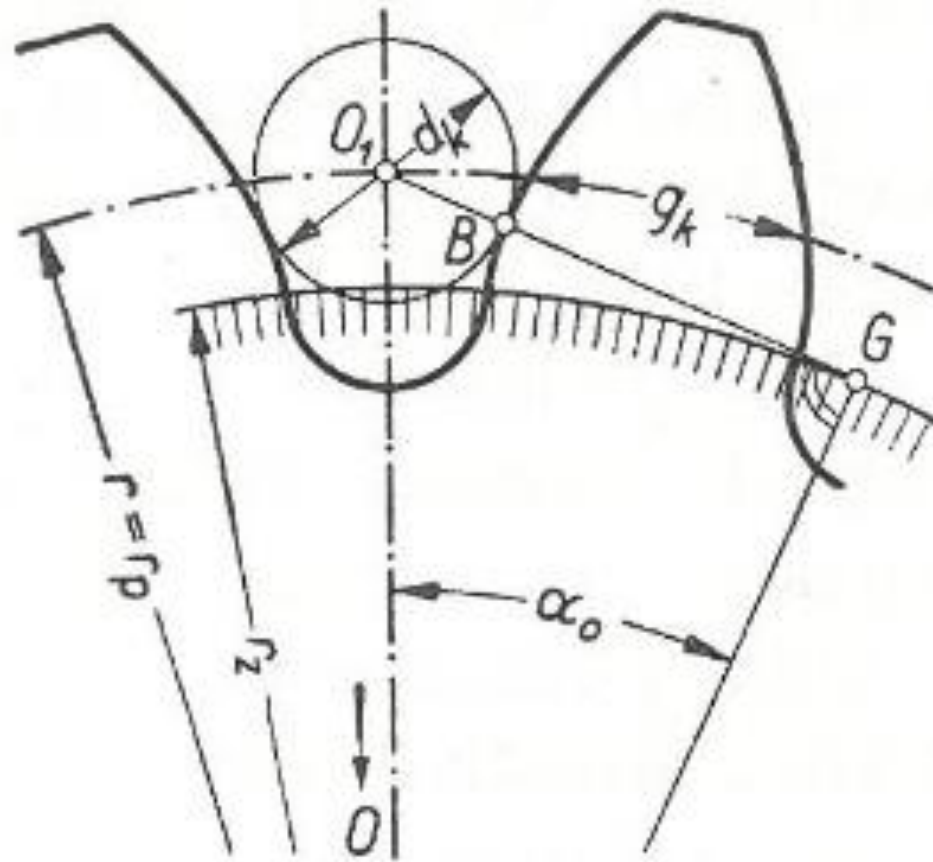




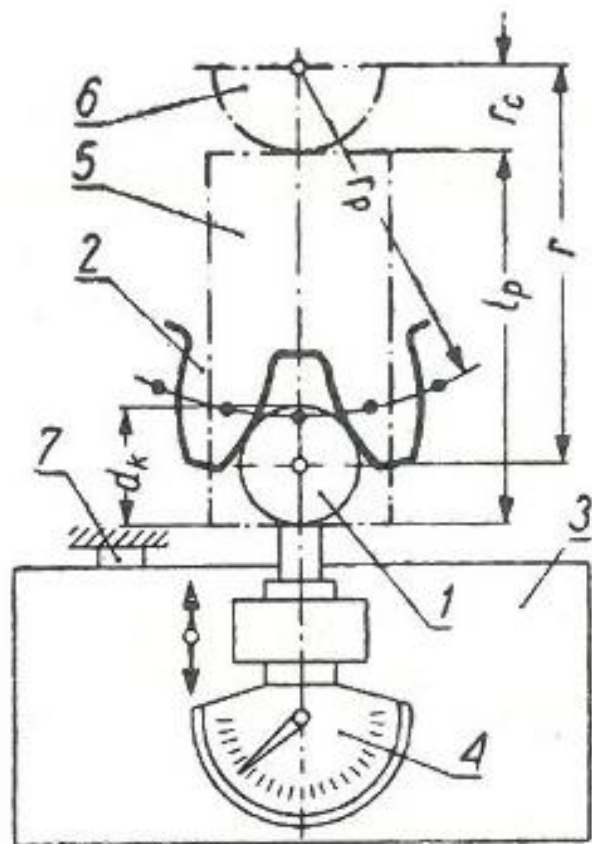
Rys. 22. Obliczanie średnicy wałka pomiarowego oraz jego położenia. Przypadek szczególny 1



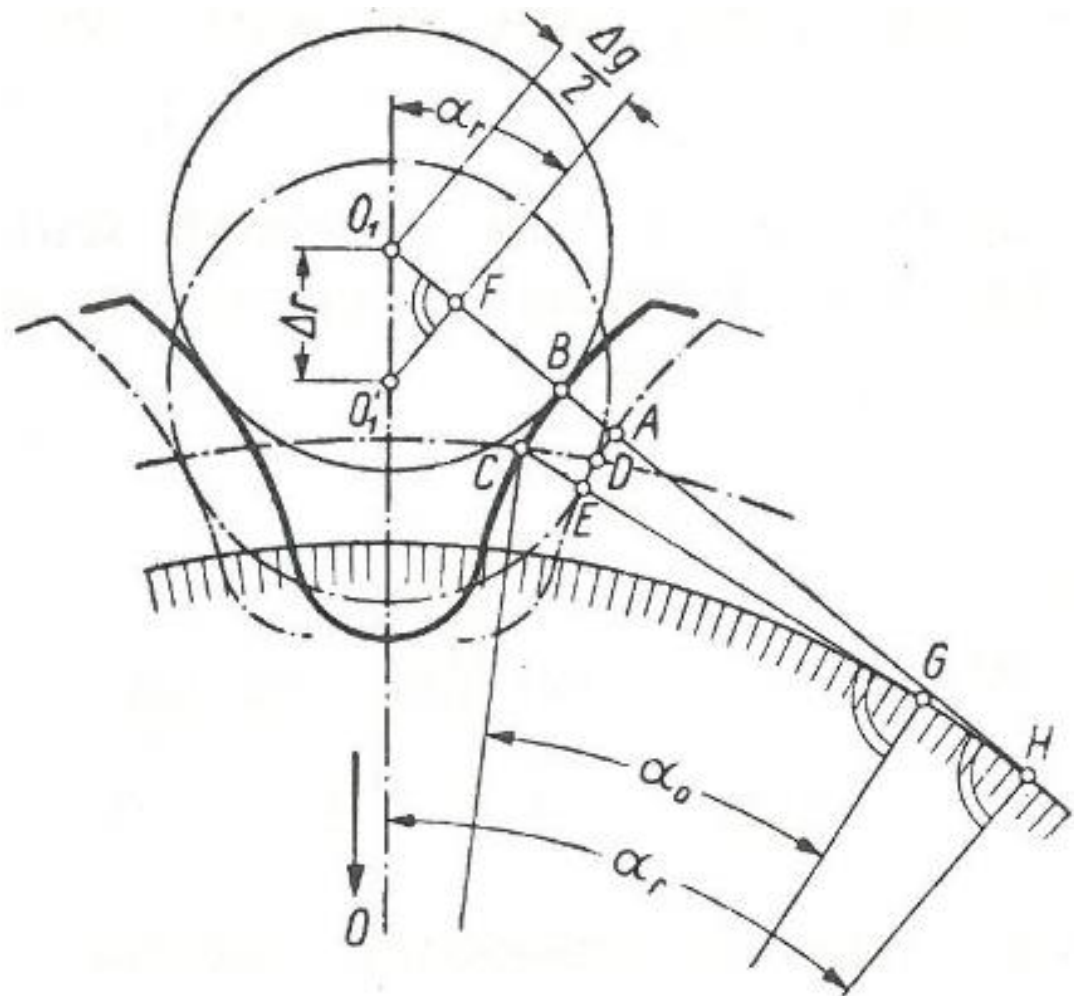
Rys. 23. Obliczanie średnicy wałka pomiarowego oraz jego położenia. Przypadek szczególny 2



Rys. 24. Obliczanie średnicy wałka pomiarowego oraz jego położenia. Przypadek szczególny 3

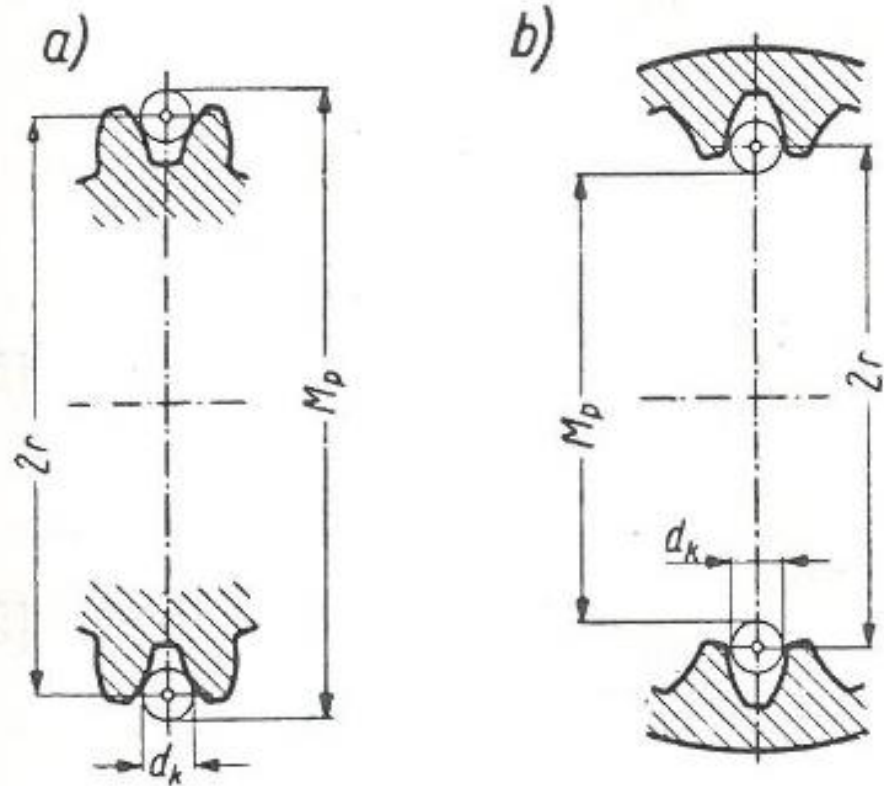


Rys. 25. Pomiar grubości zęba przy pomocy wałka kontrolnego

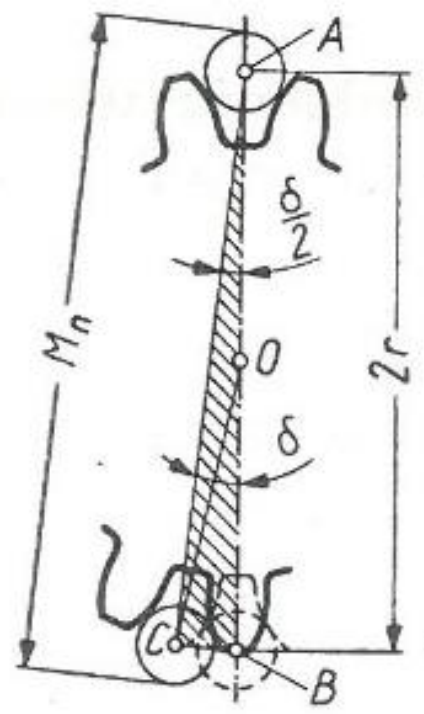


Rys. 26. Ustalenie wielkości luzu przy pomiarze grubości zęba za pomocą wałka kontrolnego

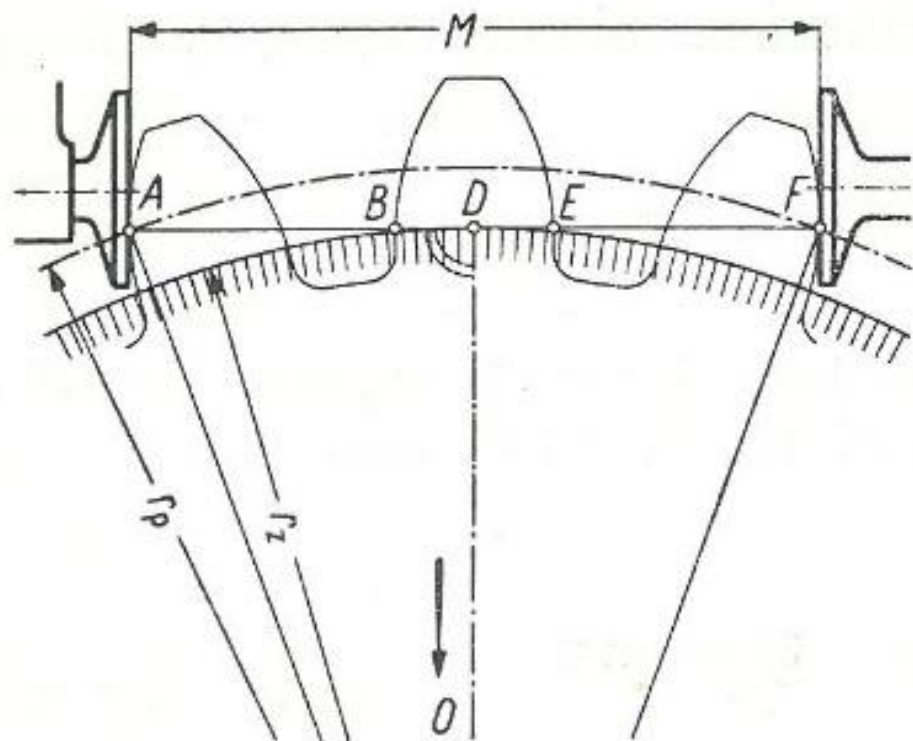




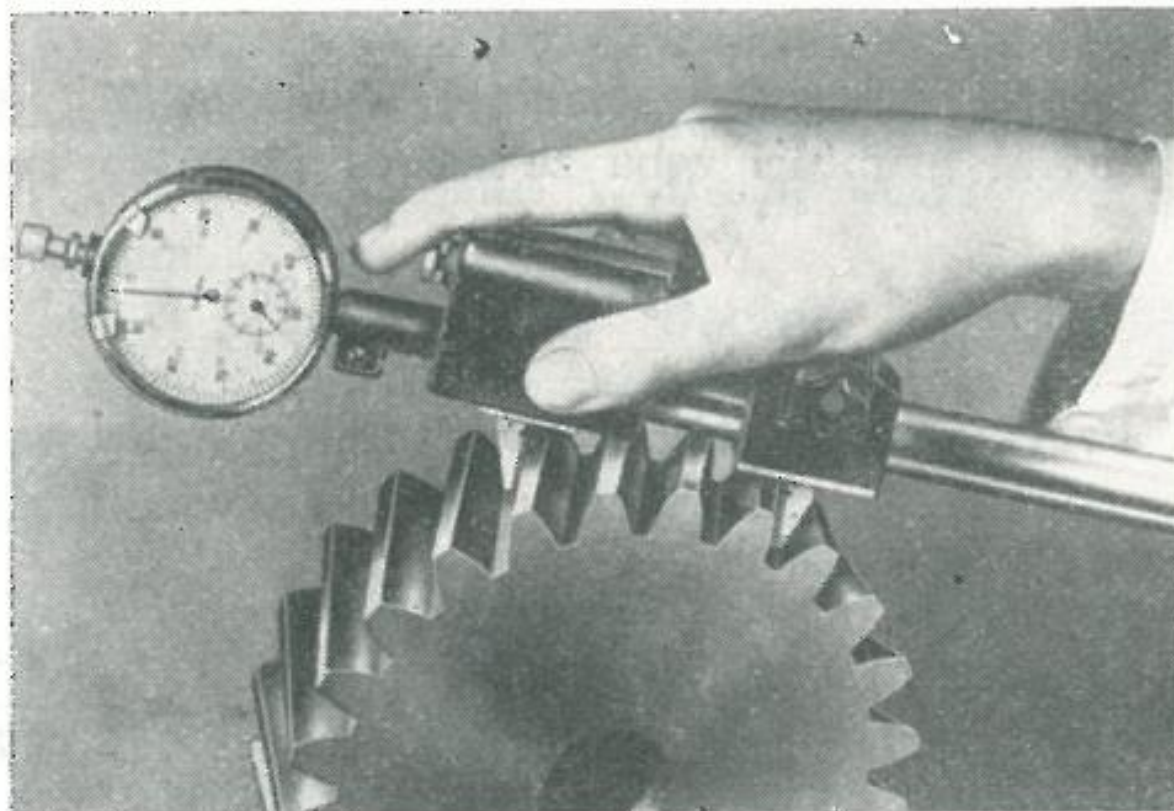
Rys. 27. Pomiar grubości zęba przy pomocy dwóch wałków kontrolnych, włożonych w przeciwległe wręby, dla parzystej ilości zębów; a) dla uzębienia zewnętrznego, b) dla uzębienia wewnętrznego



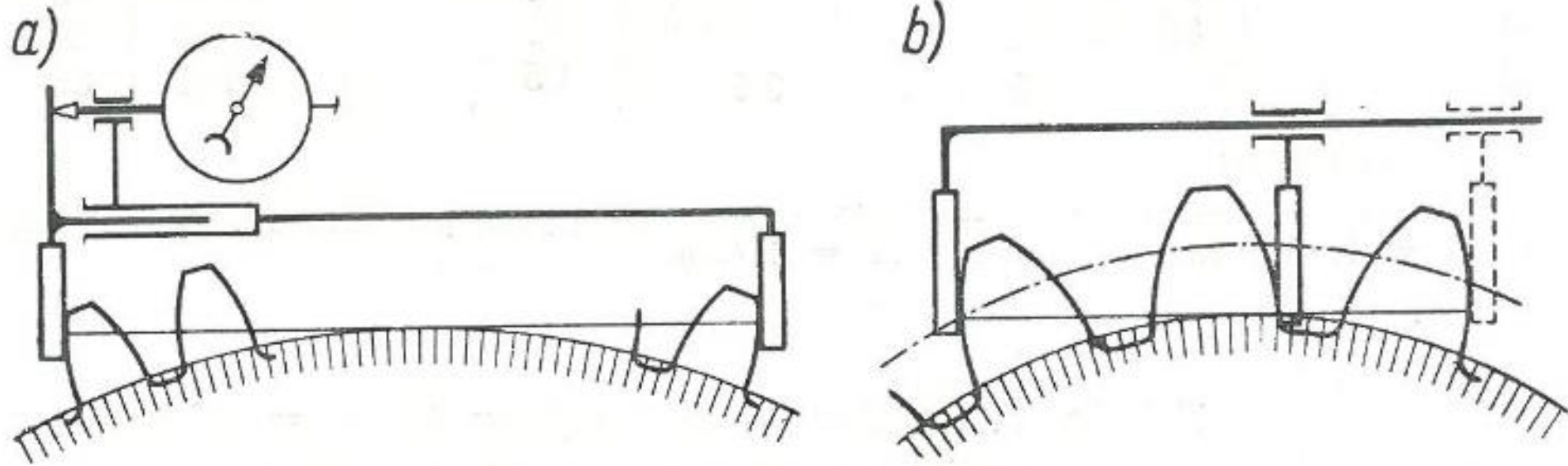
Rys. 28. Pomiar grubości zęba przy pomocy dwóch wałków kontrolnych, włożonych w przeciwległe wręby, dla nieparzystej ilości zębów



Rys. 29. Obliczanie wielkości  $M$  przy pomiarze grubości zęba przez  $n$  zębów

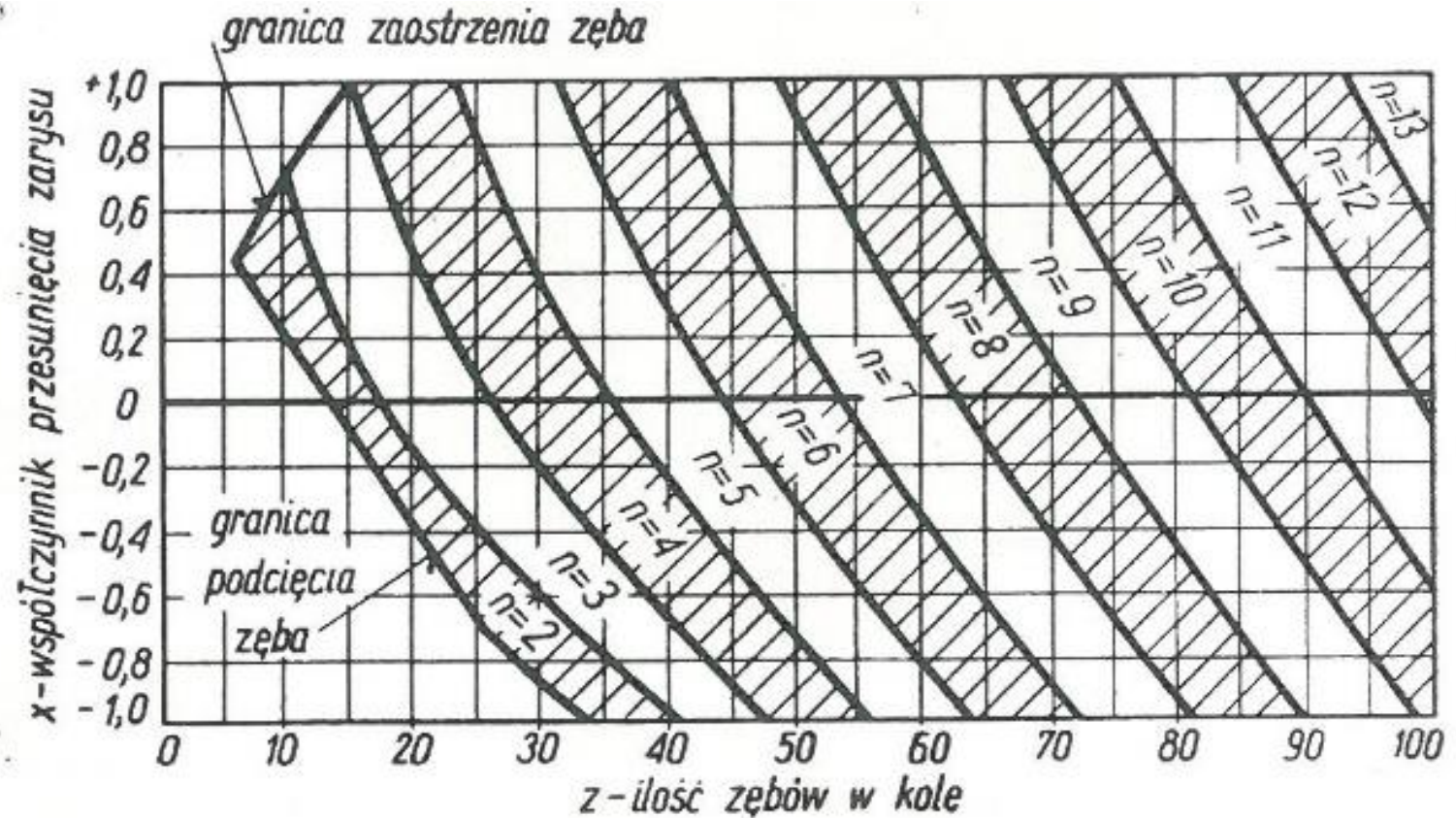


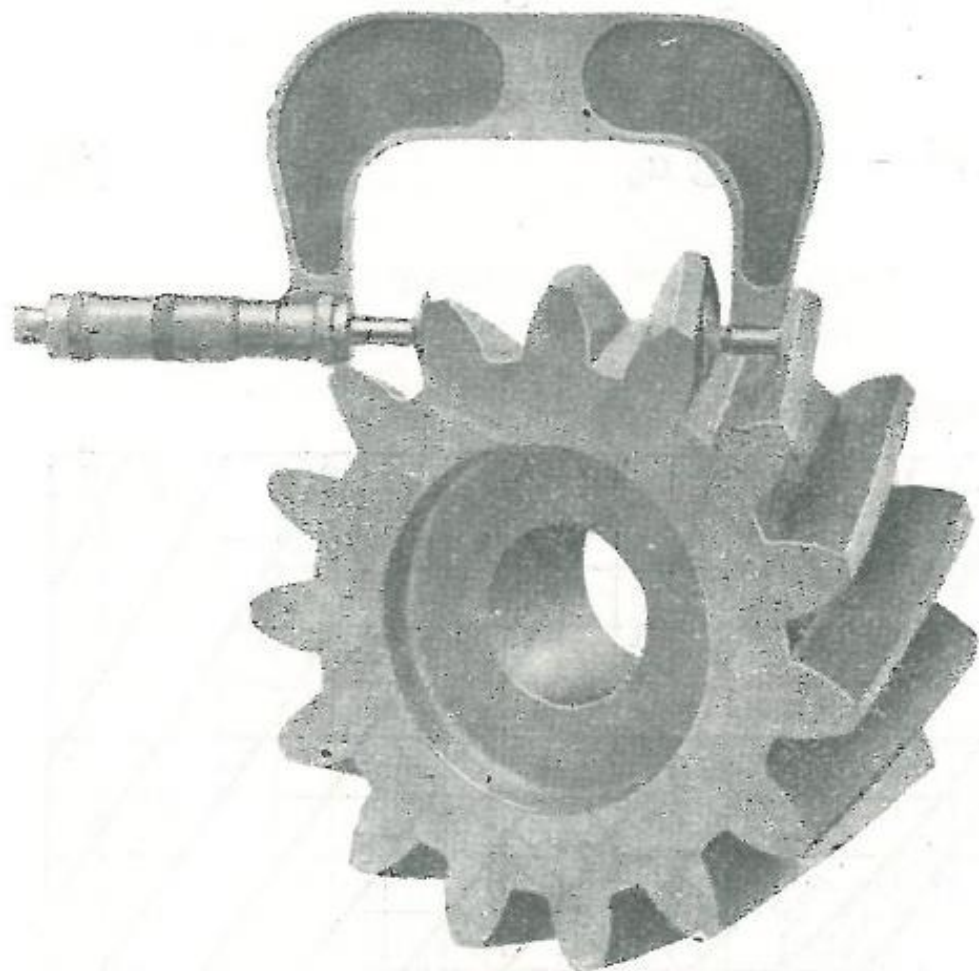
Rys. 30. Nastawny przyrząd pomiarowy z końcówkami talerzykowymi w wykonaniu f. C. Zeiss



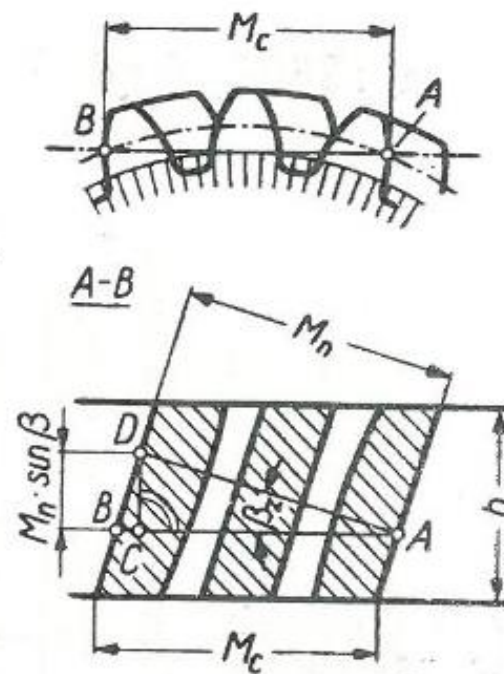
Rys. 32. Schematy rozwiązań nastawnych przyrządów pomiarowych

Rys. 33.  
 Ilości zębów  $n$  objętych  
 pomiarem w zależności  
 od ilości zębów w kole  
 i współczynnika przesunięcia  $x$  zarysu zęba

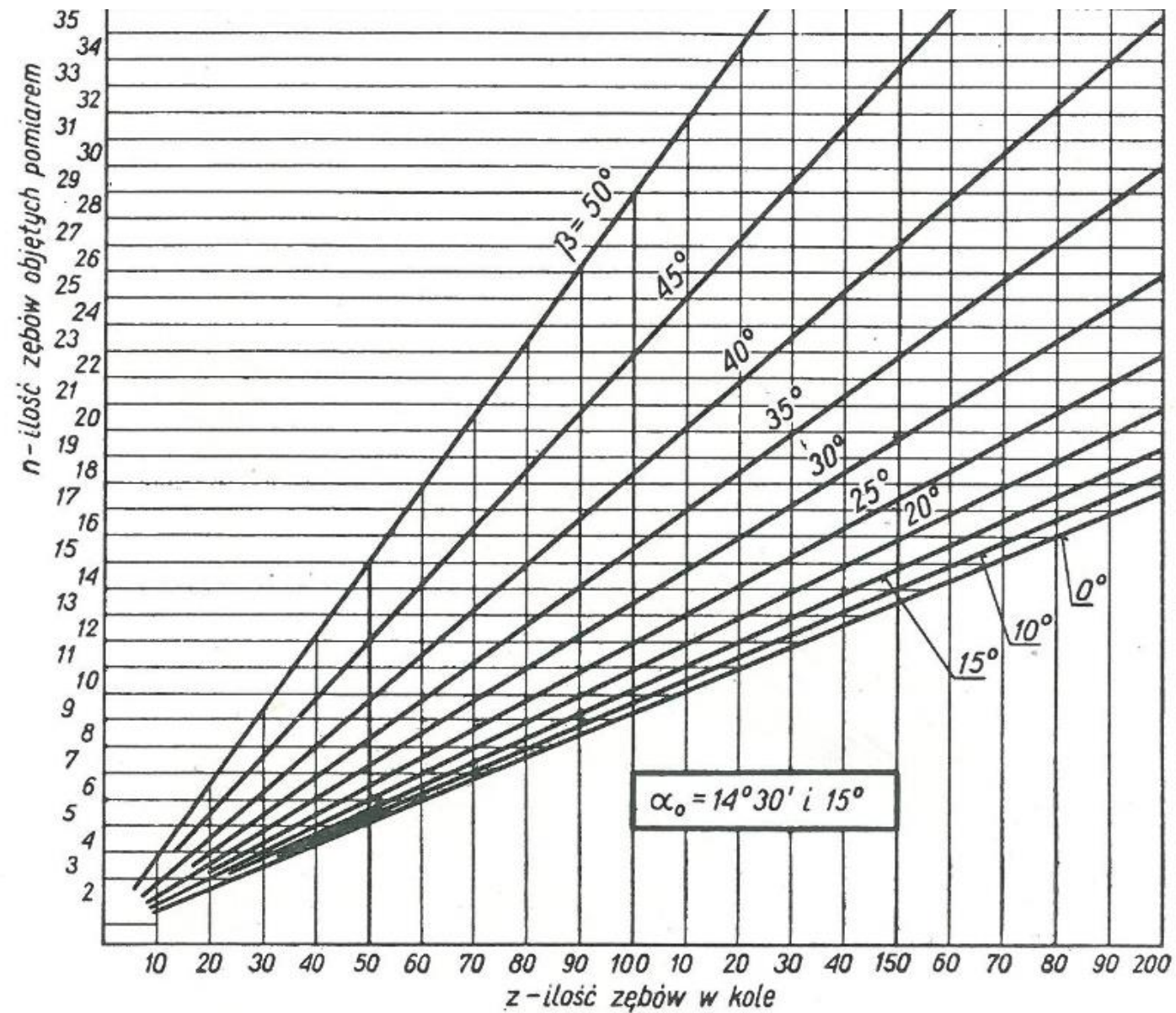




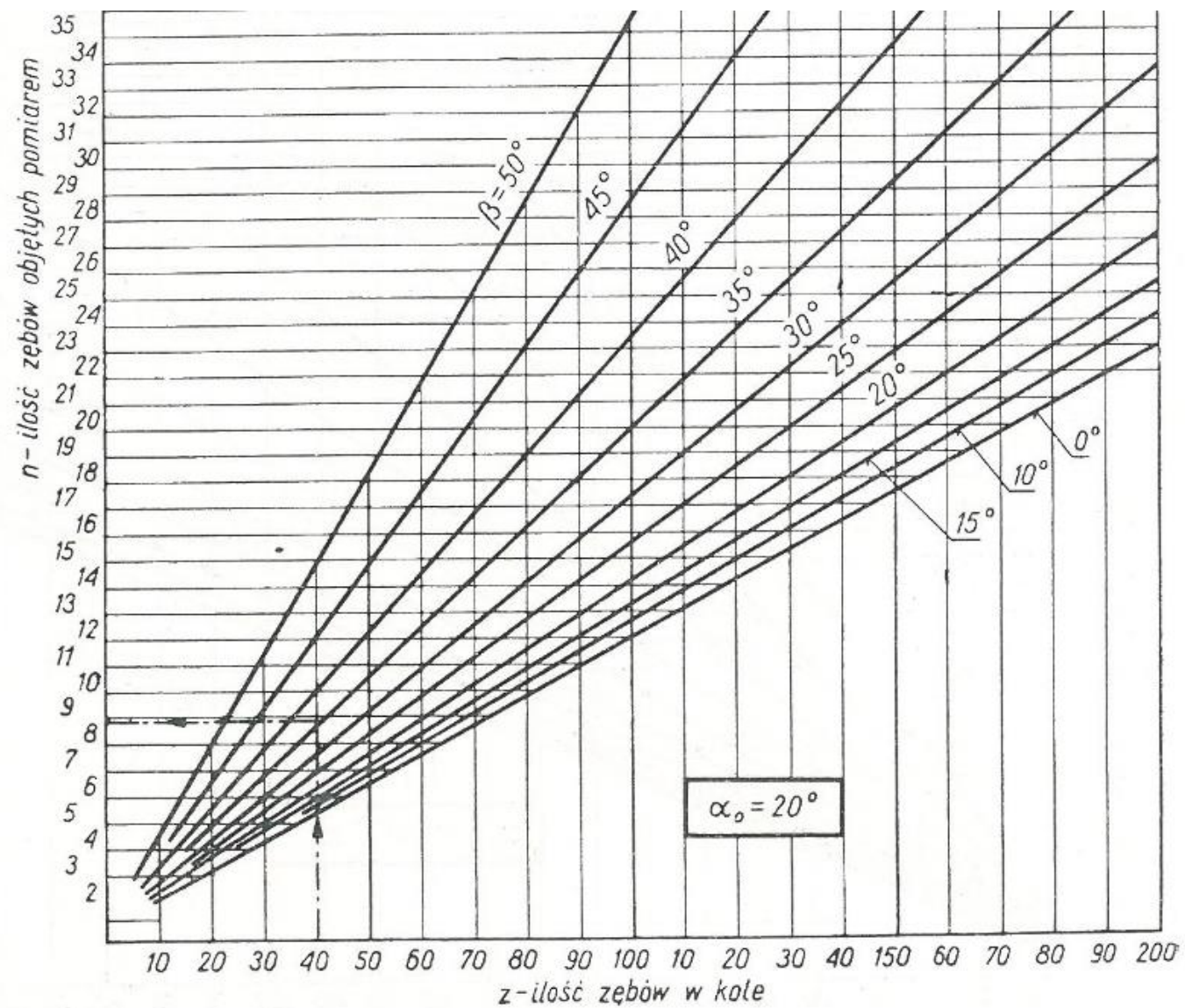
Rys. 34. Pomiar grubości zęba przez  $n$  zębów w śrubowym kole zębatym za pomocą mikrometru z talerzykowymi kowadelkami



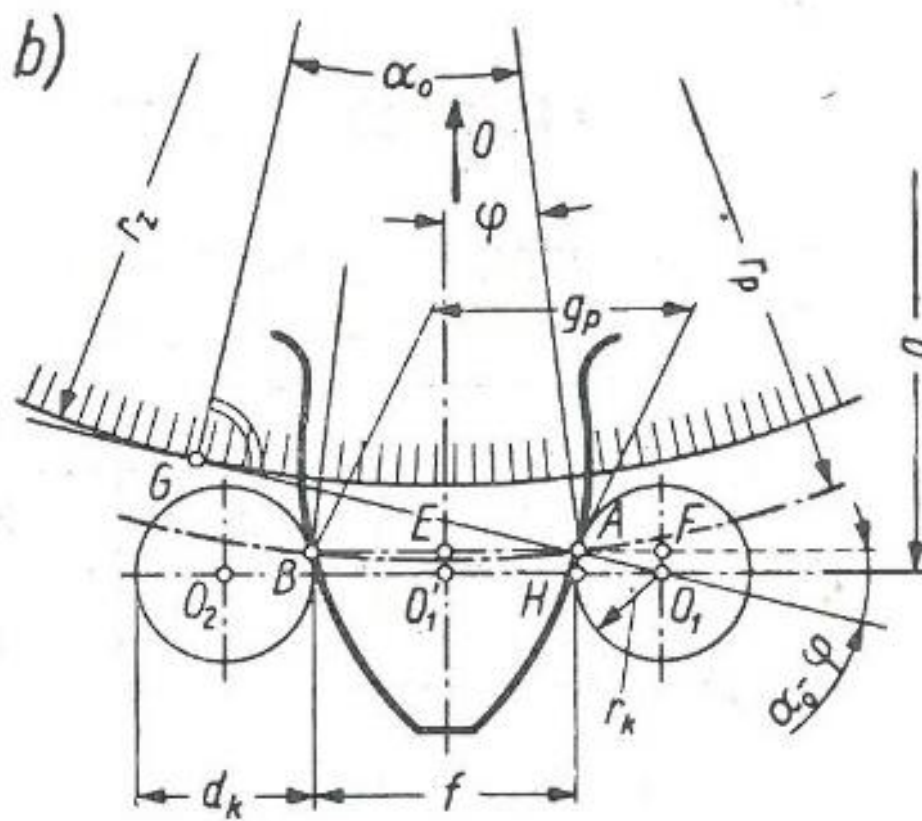
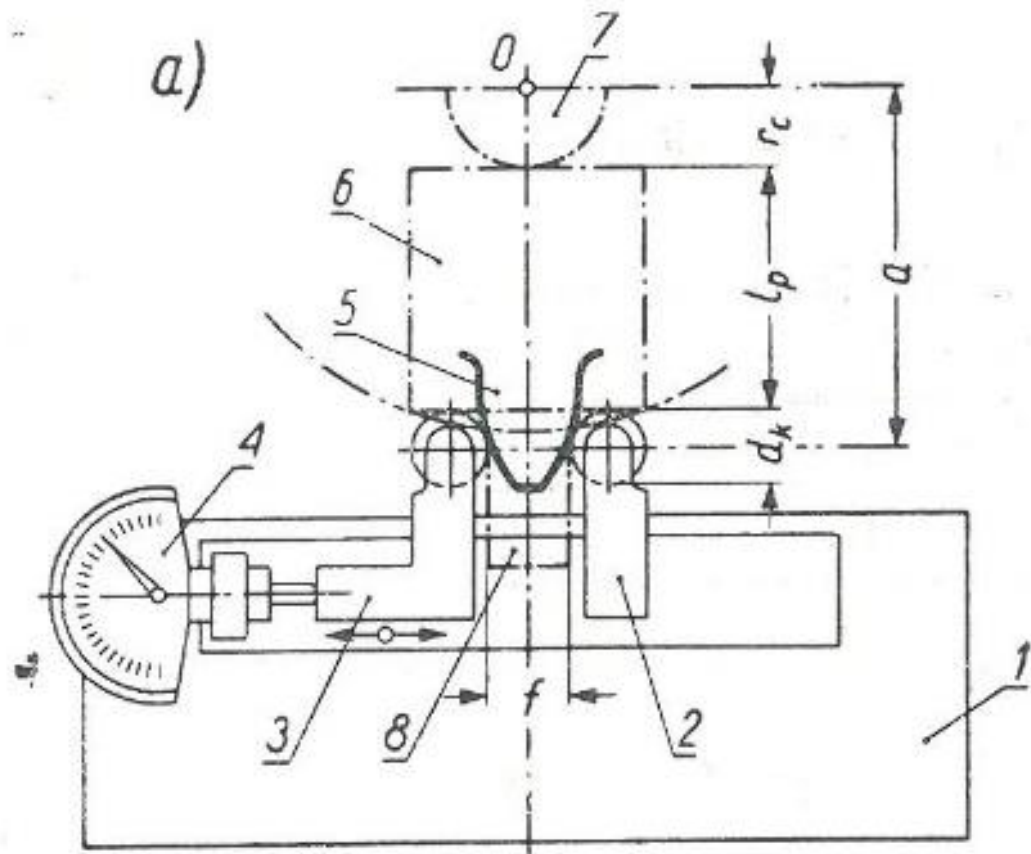
Rys. 35. Ustalenie wymiaru  $M_n$  przy pomiarze grubości zęba przez  $n$  zębów w śrubowym kole zębatym



Rys. 36. Ilości zębów  $n$  objętych pomiarem w zależności od ilości zębów  $z$  w kole i kąta pochylenia linii zębów  $\beta$  dla zębów zerowych wobec  $\alpha_0 = 14^\circ 30' \text{ i } 15^\circ$

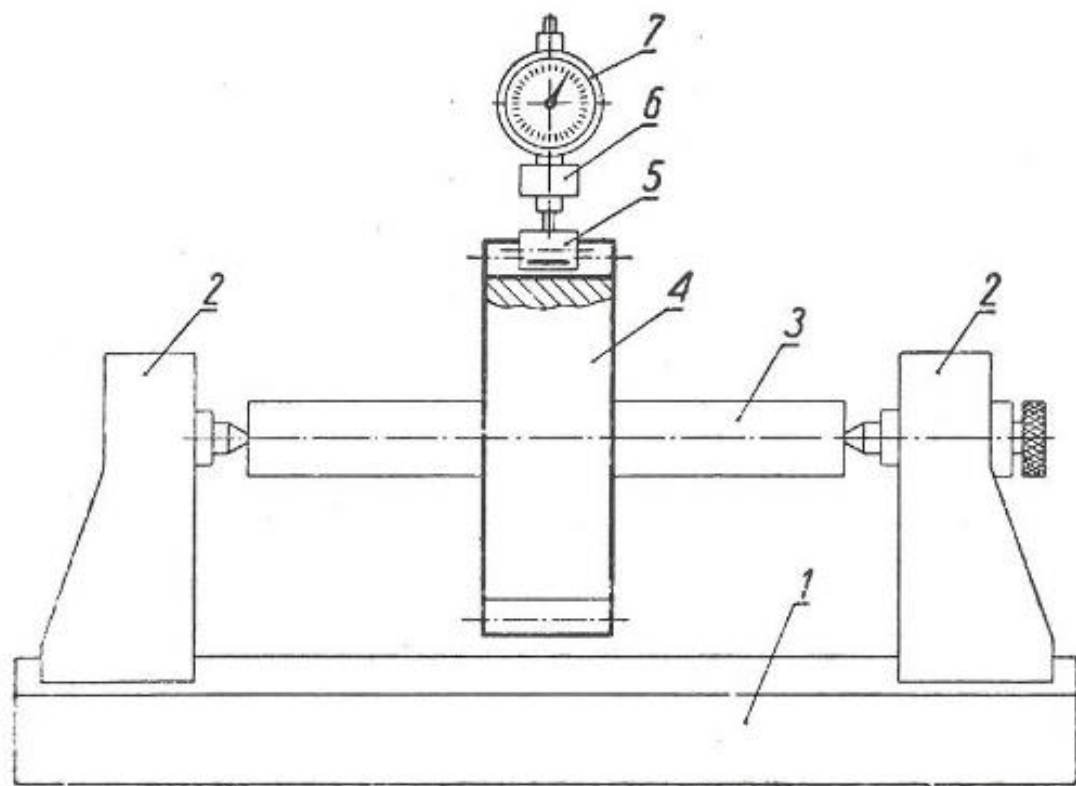


Rys. 37. Ilości zębów  $n$  objętych pomiarem w zależności od ilości zębów  $z$  w kole i kąta pochylenia linii zębów  $\beta$  dla zębów zerowych wobec  $\alpha_0 = 20^\circ$

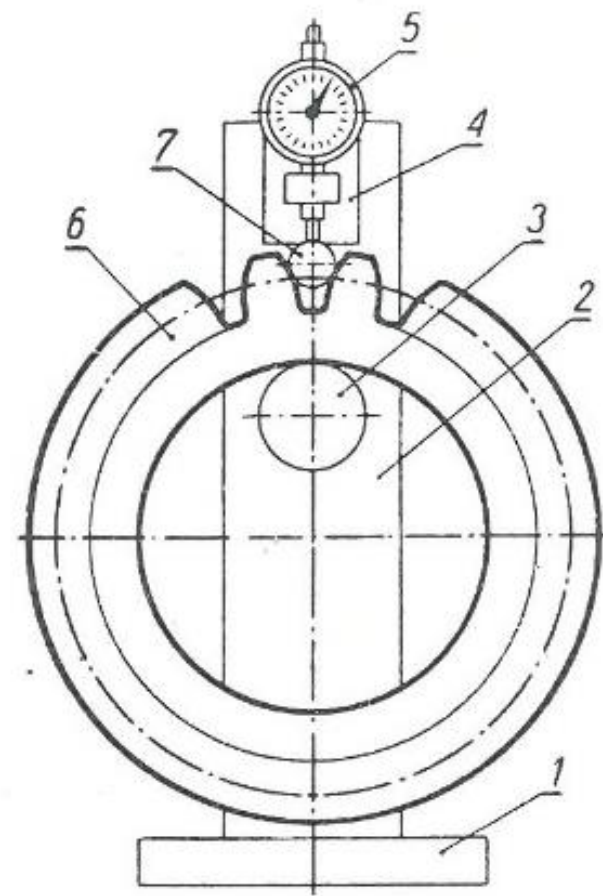


Rys. 38. Pomiar grubości zęba przy użyciu przyrządu ze szczękami o zakończeniu kulistym



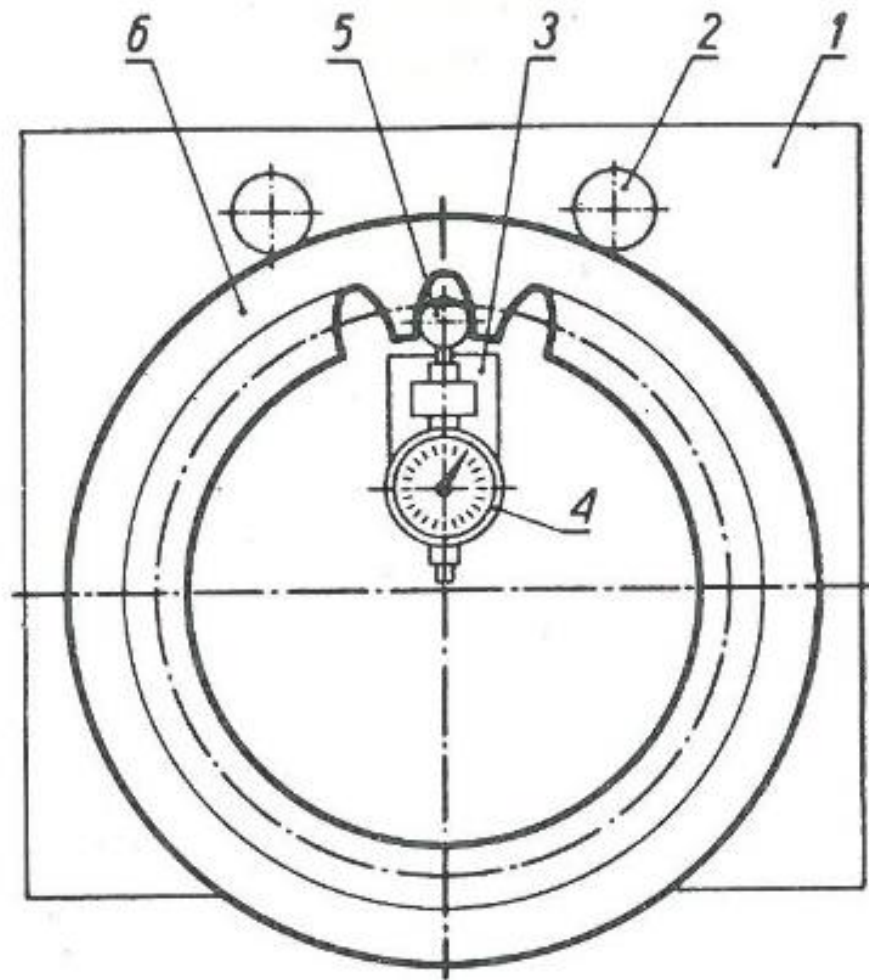


Rys. 39. Pomiar bicia uzębienia w kole zamocowanym między kłami przystawki kłowej

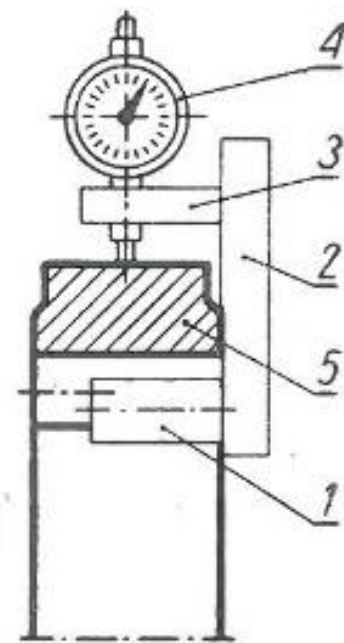


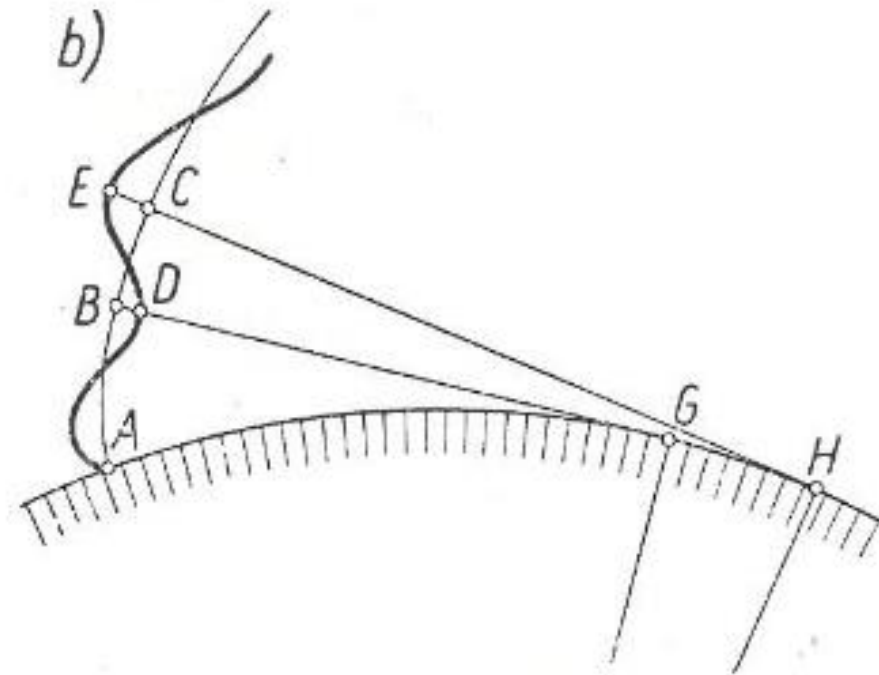
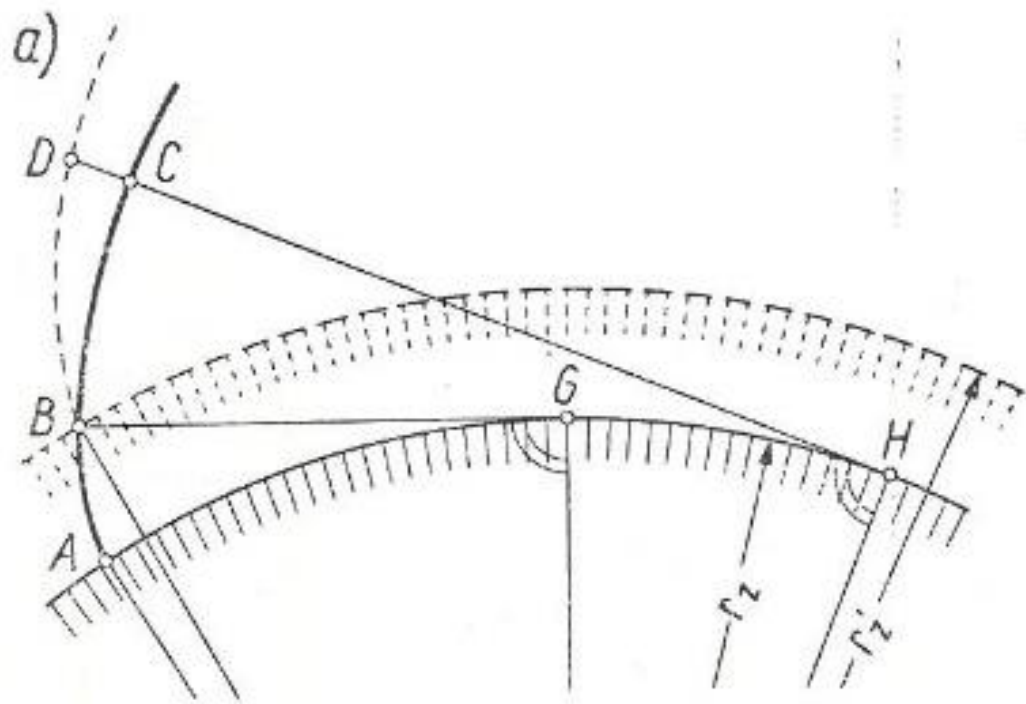
Rys. 40. Pomiar bicia uzębienia w kole o dużym otworze

Rys. 43.  
Pomiar bicia  
uzębienia w kole  
o wewnętrznym  
uzębieniu

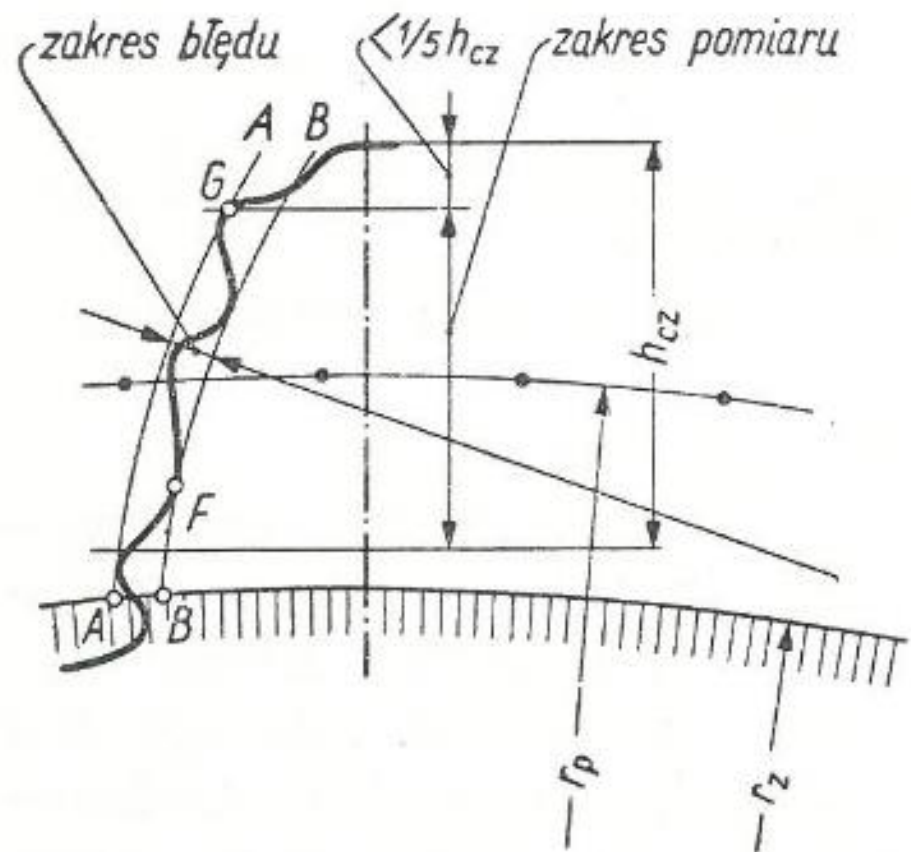


Rys. 44.  
Pomiar bicia  
uzębienia w kole  
o uzębieniu  
wewnętrznym

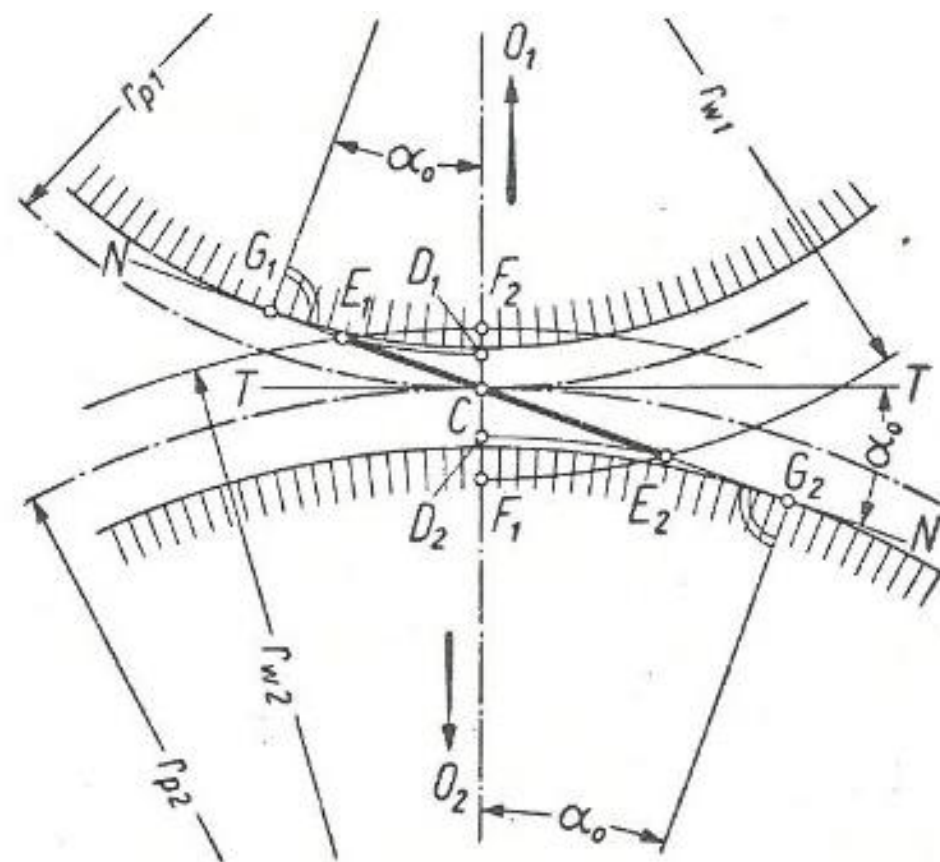




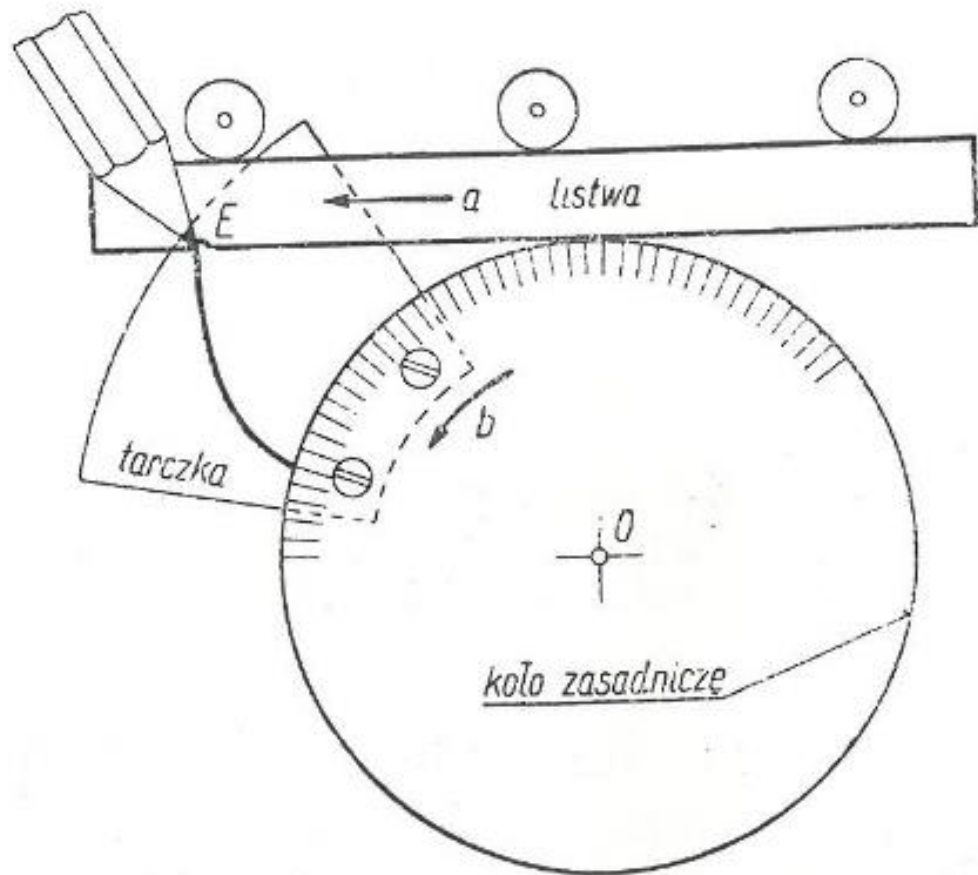
Rys. 45. Błędy zarysu boku zęba: a) o ewolwencji odwiniętej z większego od prawidłowego koła zasadniczego, b) o znacznej falistości (niegładkości)



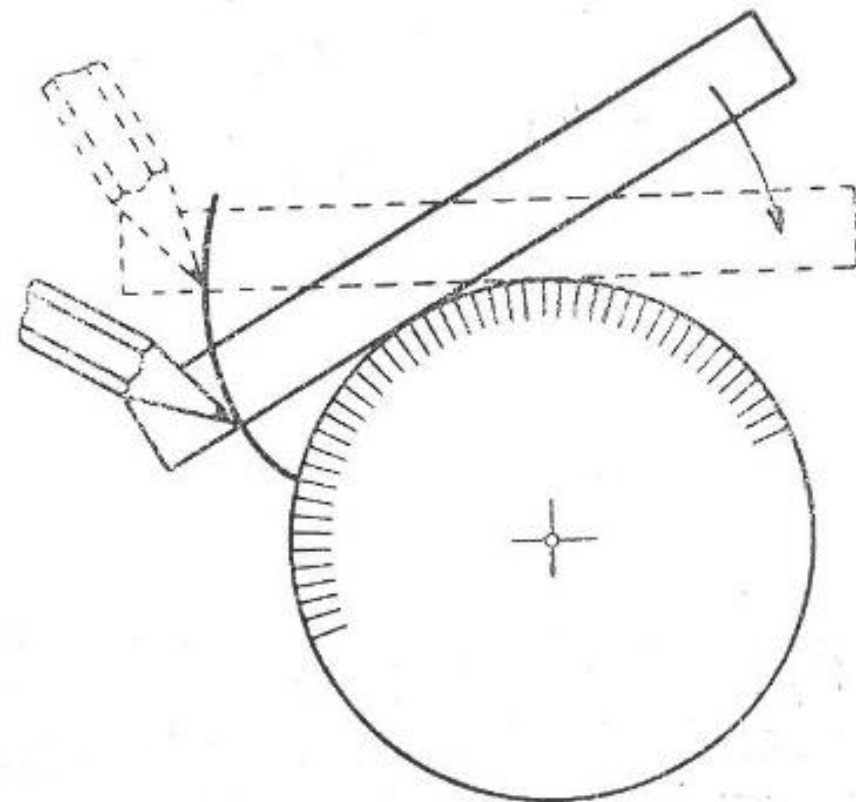
Rys. 46. Zakres błędu zarysu boku zęba



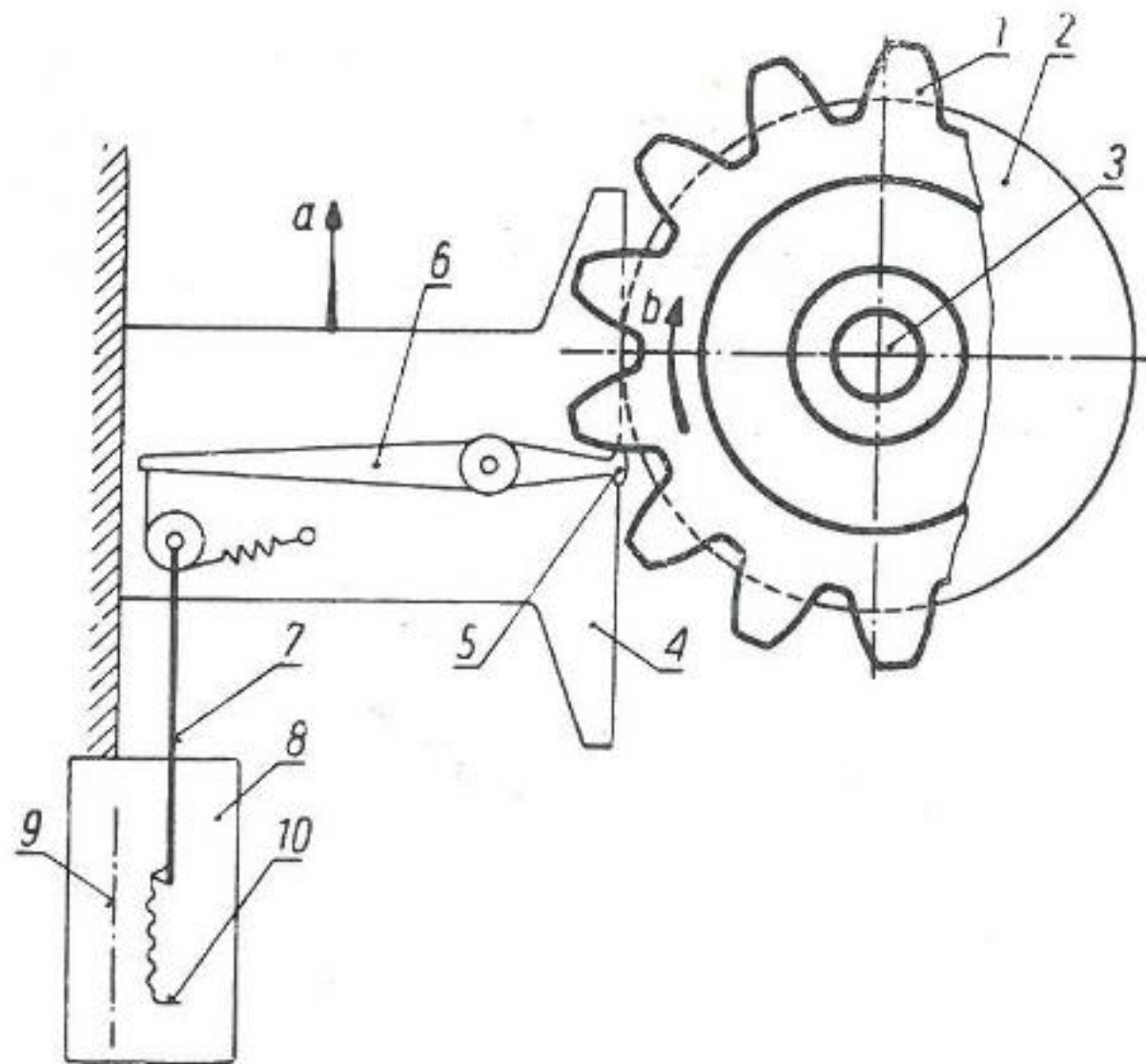
Rys. 47. Ustalanie czynnych wysokości zębów



Rys. 48. Powstawanie ewolwenty przez jednoczesne przesuwanie się listwy z ołówkiem i obracanie koła zasadniczego z tarczką współpracującego bez poślizgu z listwą

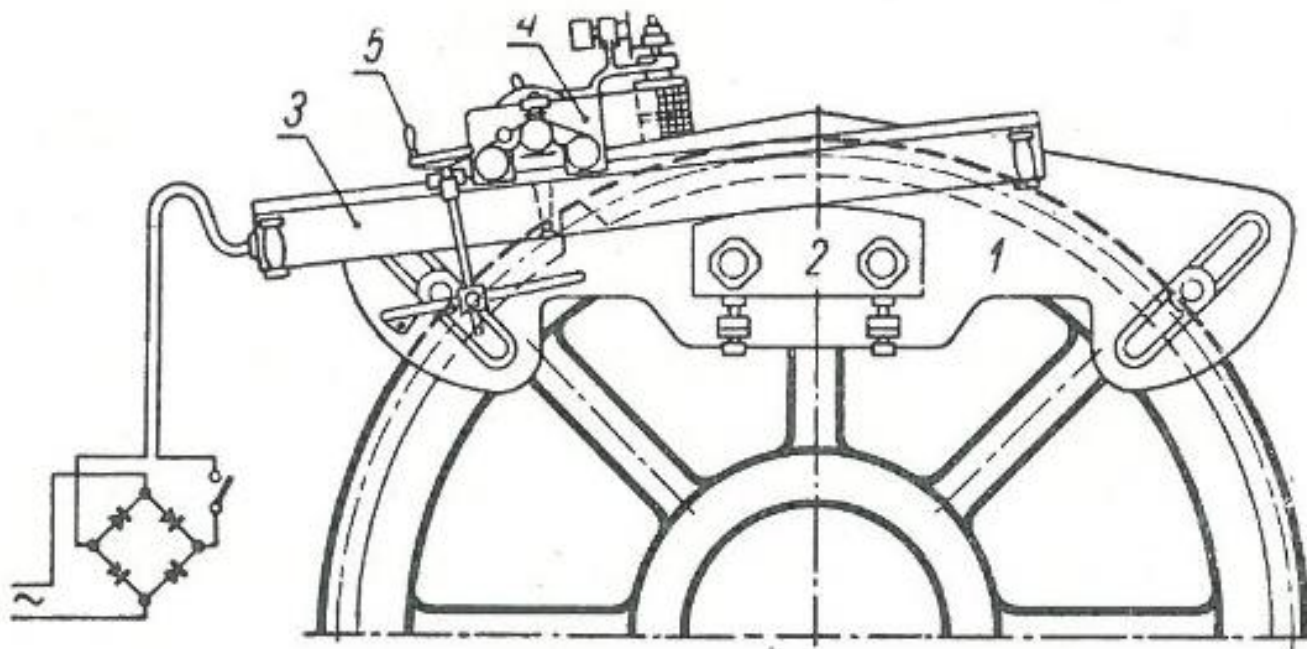


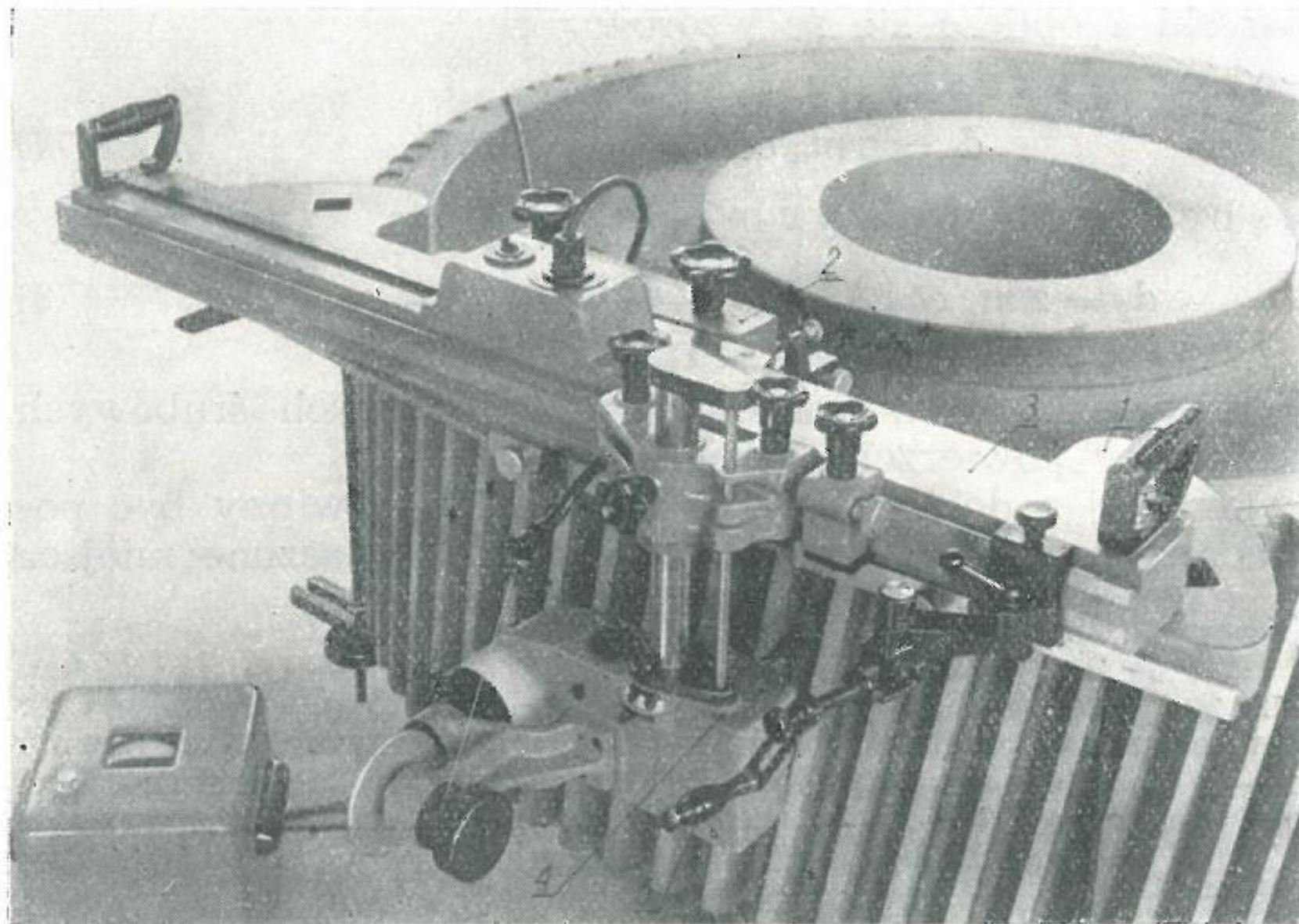
Rys. 49. Powstawanie ewolwenty przez przetaczanie się listwy po nieruchomym kole zasadniczym



Rys. 50.  
Schemat działania przyrządu do sprawdzania prawidłowości ewolwen-ty przy użyciu tarczki toczonej

Rys. 52.  
Przyrząd z segmentem koła  
zasadniczego wyrobu f. M a a g  
do sprawdzania prawidłowości  
zarysu boku zęba dużego koła

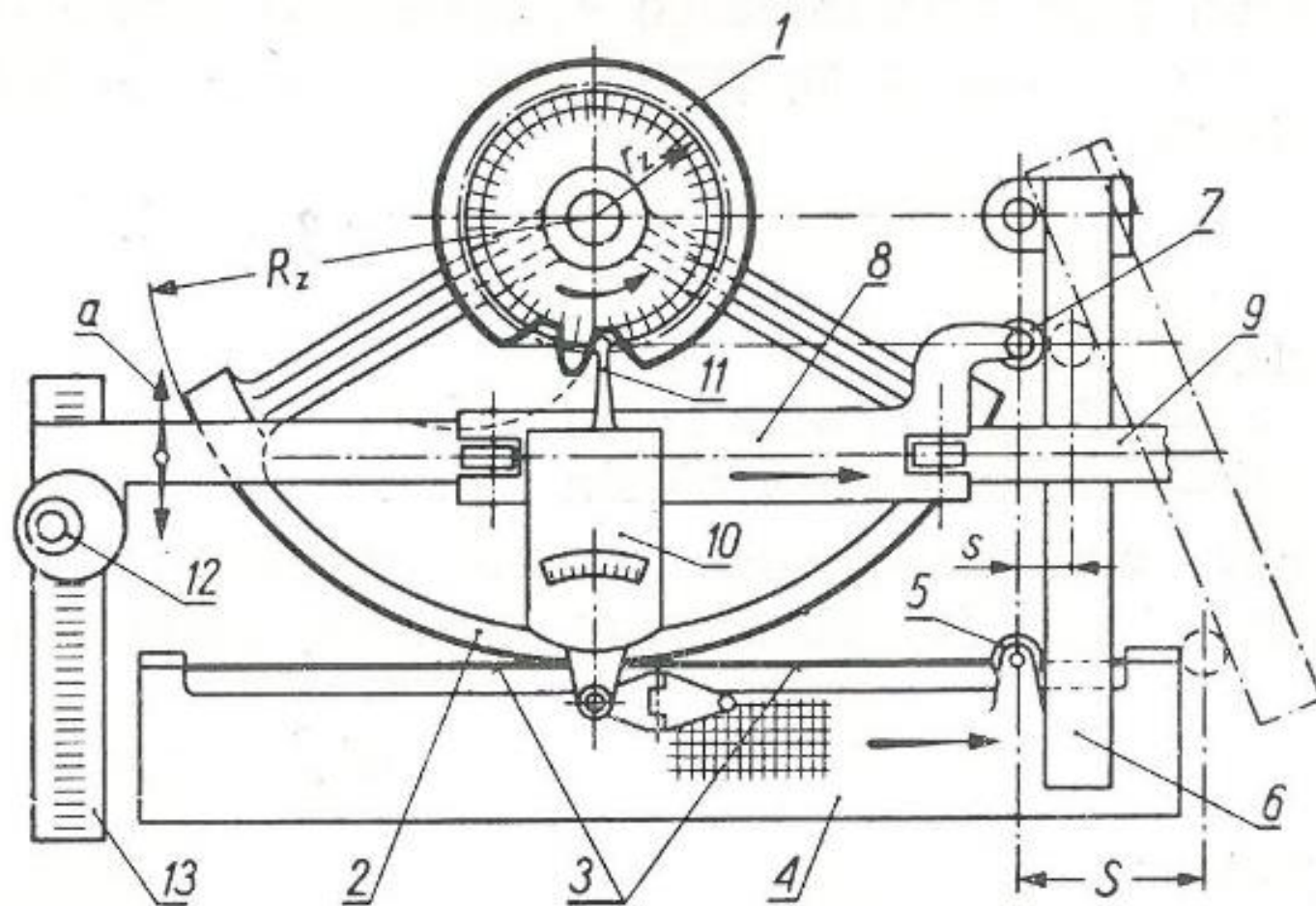


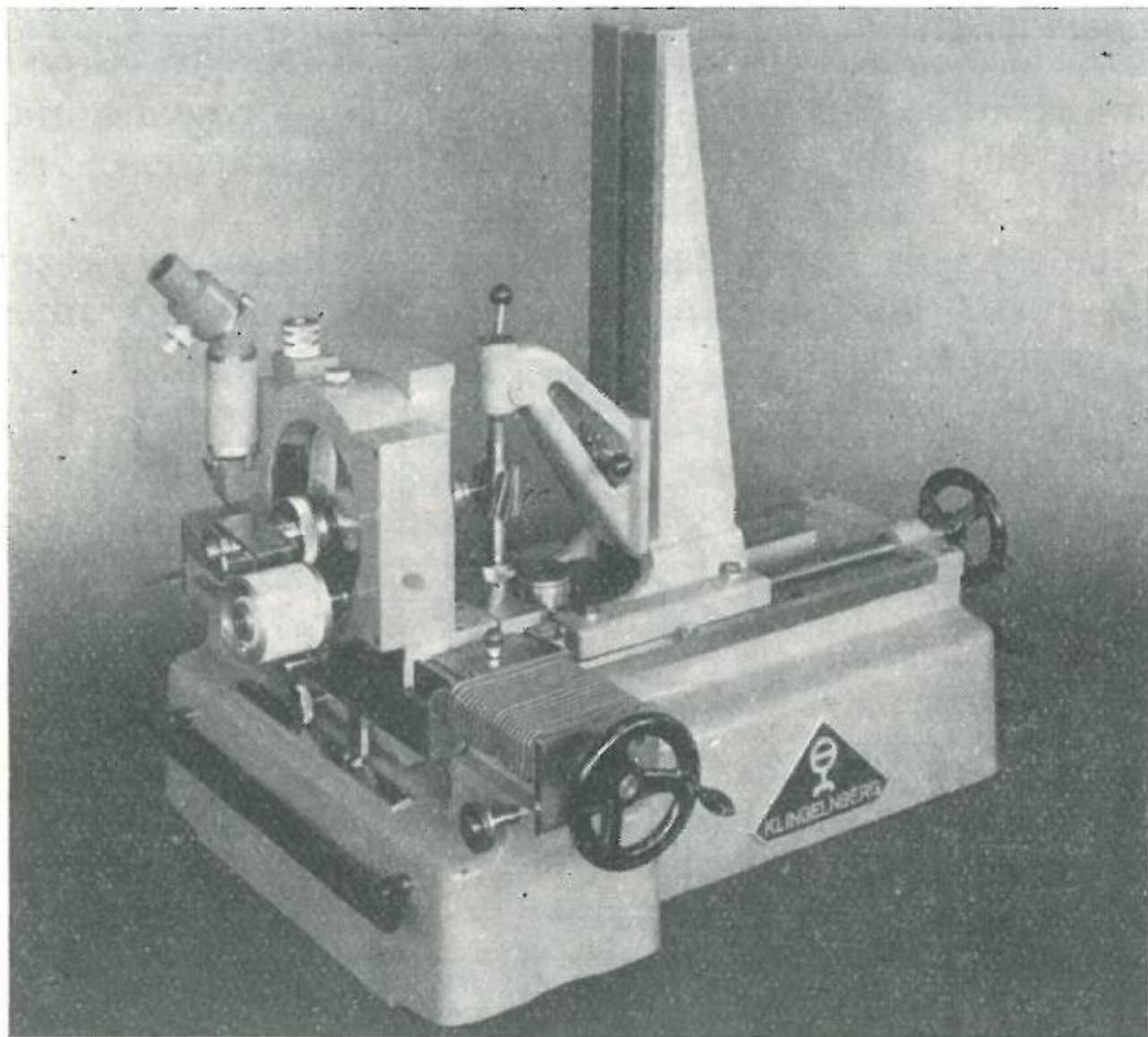


Rys. 53.  
Przyrząd  
z rys. 52  
w widoku

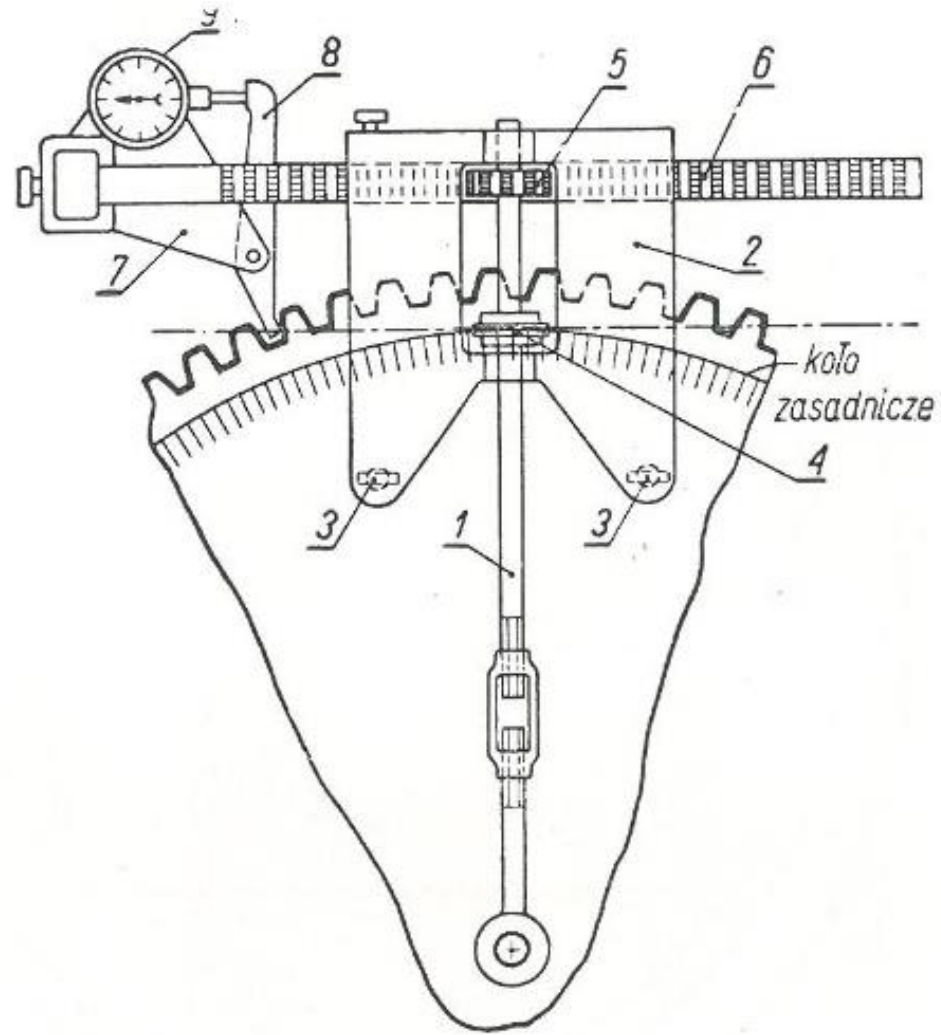


Rys. 54.  
Sprawdzanie prawidłowości  
zarysu boku zęba  
na przyrządzie f. C. Zeiss

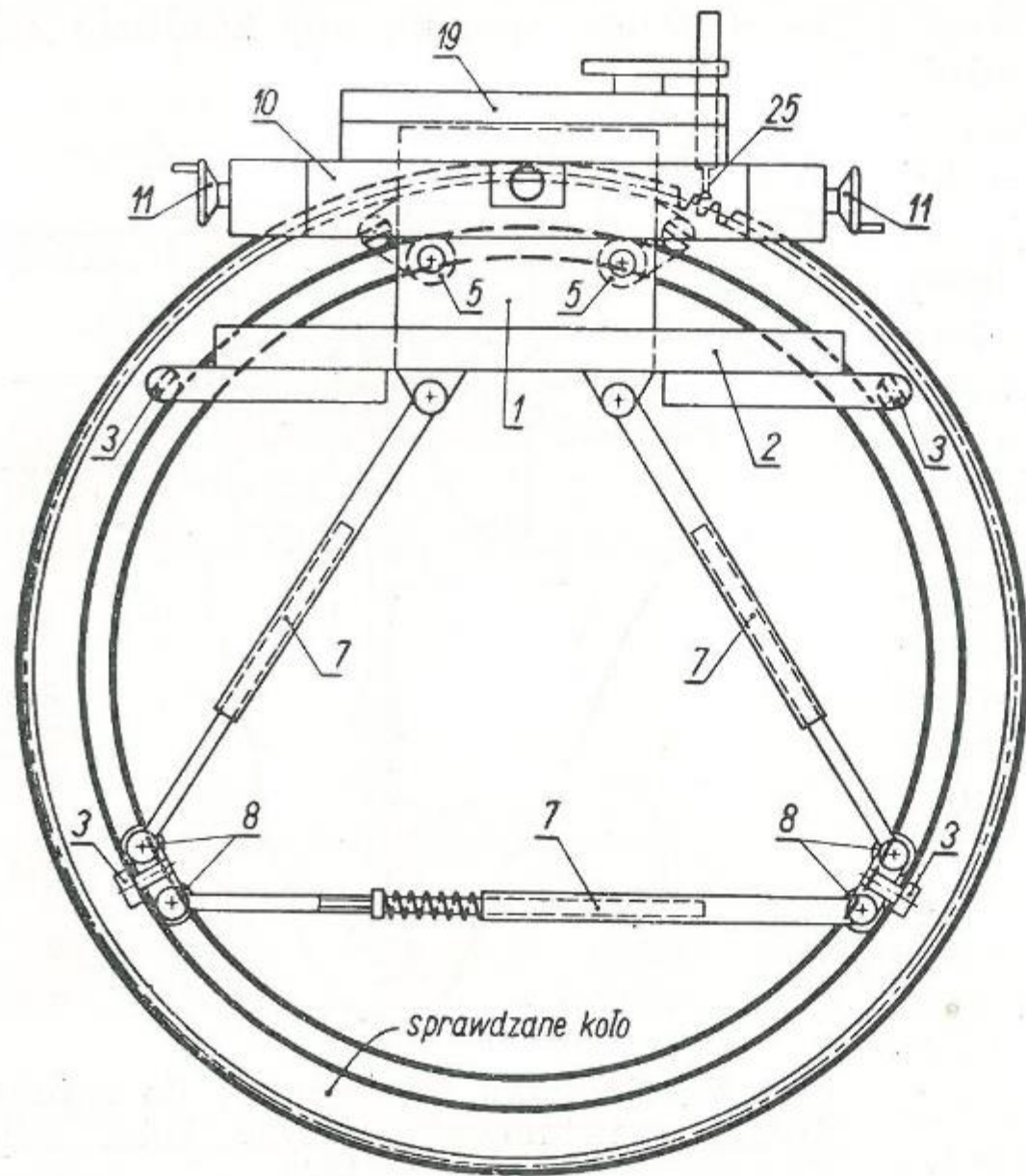




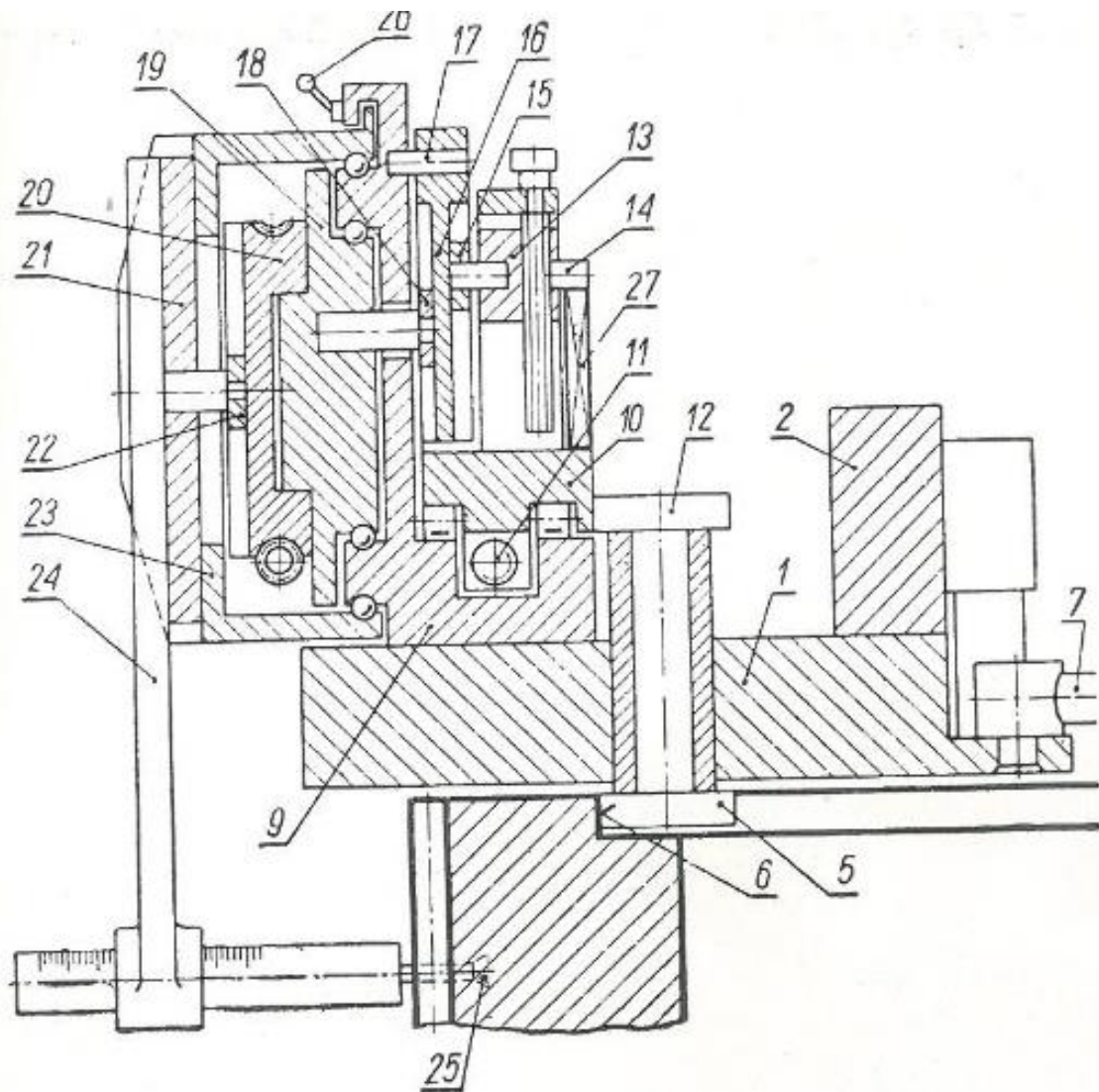
Rys. 56.  
Przyrząd w wykonaniu f. Klingelberg do sprawdzania prawidłowości zarysu boku zęba, a jednocześnie do sprawdzania linii zęba koła zębatego



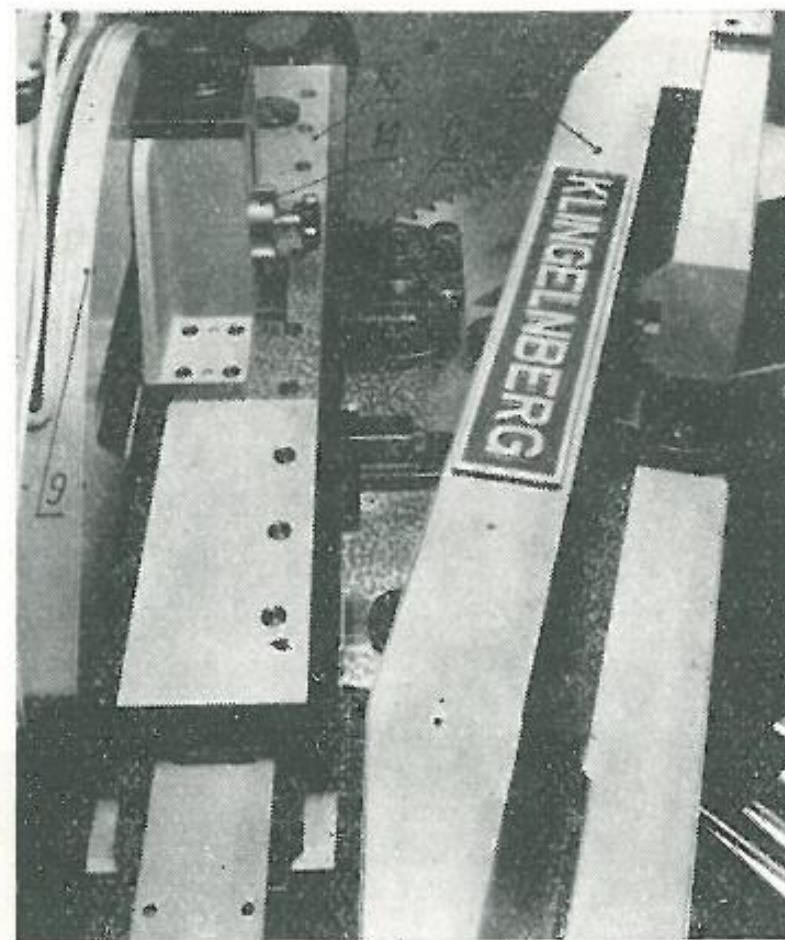
Rys. 57. Przyrząd beztarczowy do sprawdzania prawidłowości zarysu boku zęba dużego koła



Rys. 59.  
Przyrząd z rys. 58  
w widoku z góry



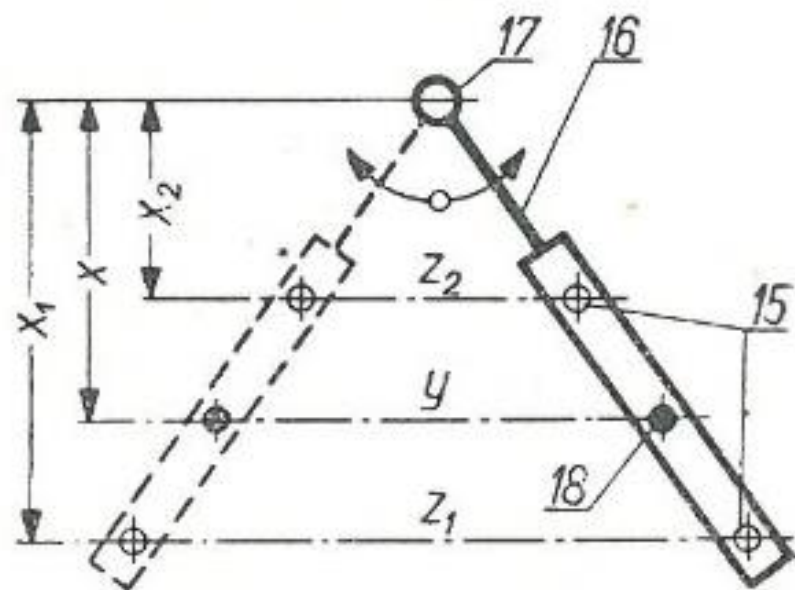
Rys. 61. Przekrój poprzeczny przez urządzenie pomiarowe rys. 59

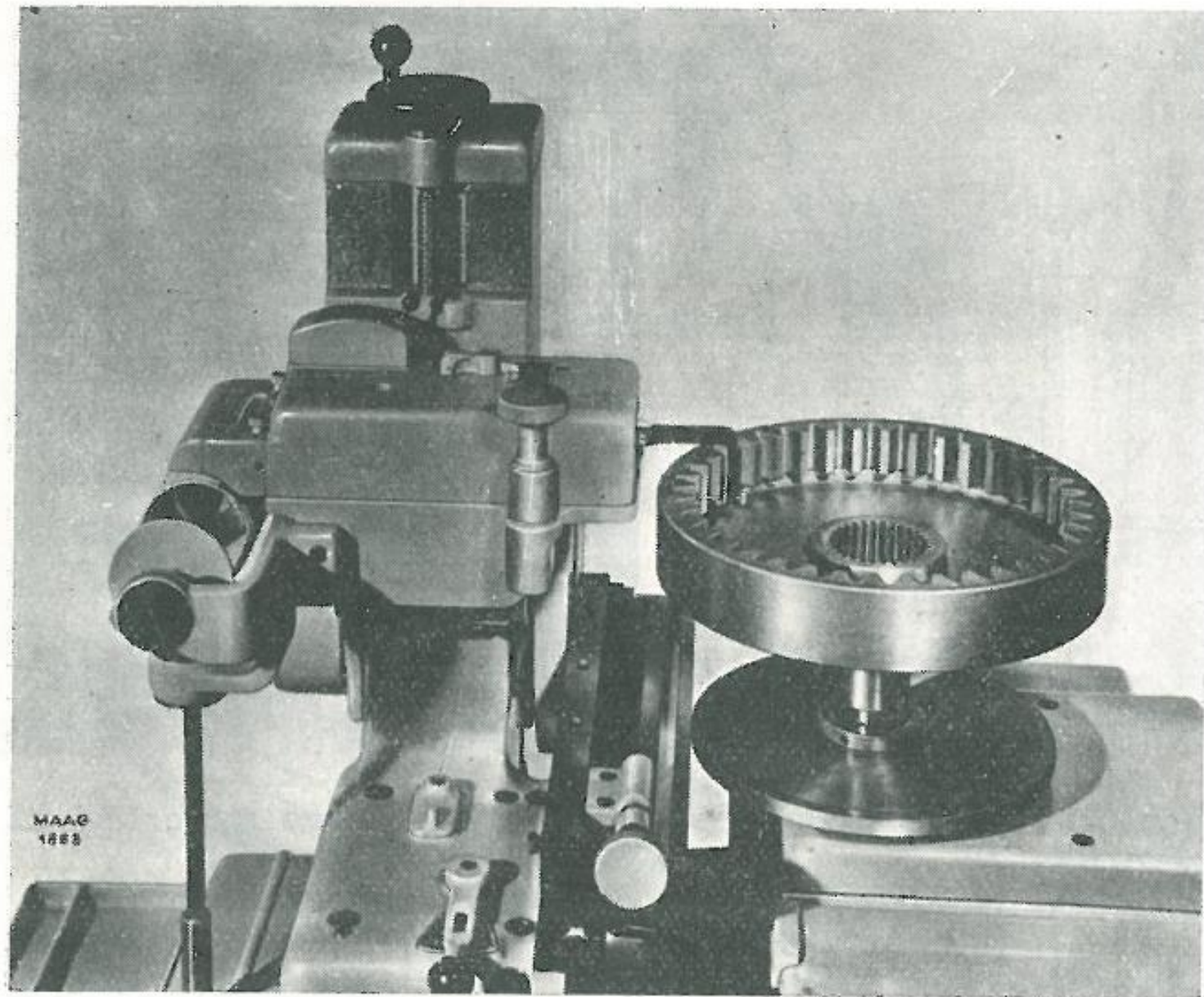


Rys. 62. Widok na sanie 10 i rolkę 12 przyrządu z rys. 58

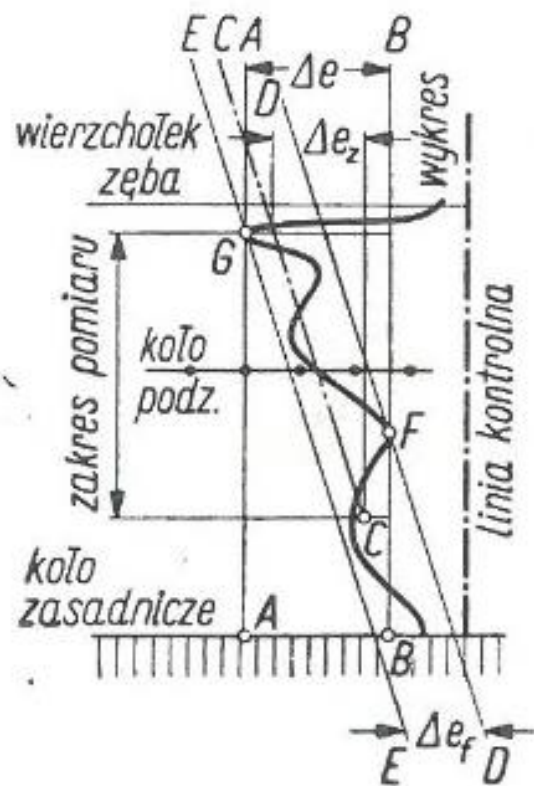
Rys. 63.

Schematyczny układ położenia dźwigni 16 z rys. 61;  $x_1$ ,  $x_2$  skrajne odległości czopa 15 od czopa 17,  $x$  — odległość stała czopa 18 od czopa 17,  $z_1$  i  $z_2$  — przesunięcia czopa 15 odpowiadające położeniom  $x_1$  lub  $x_2$  czopa 15,  $y$  — przesunięcie czopa 18

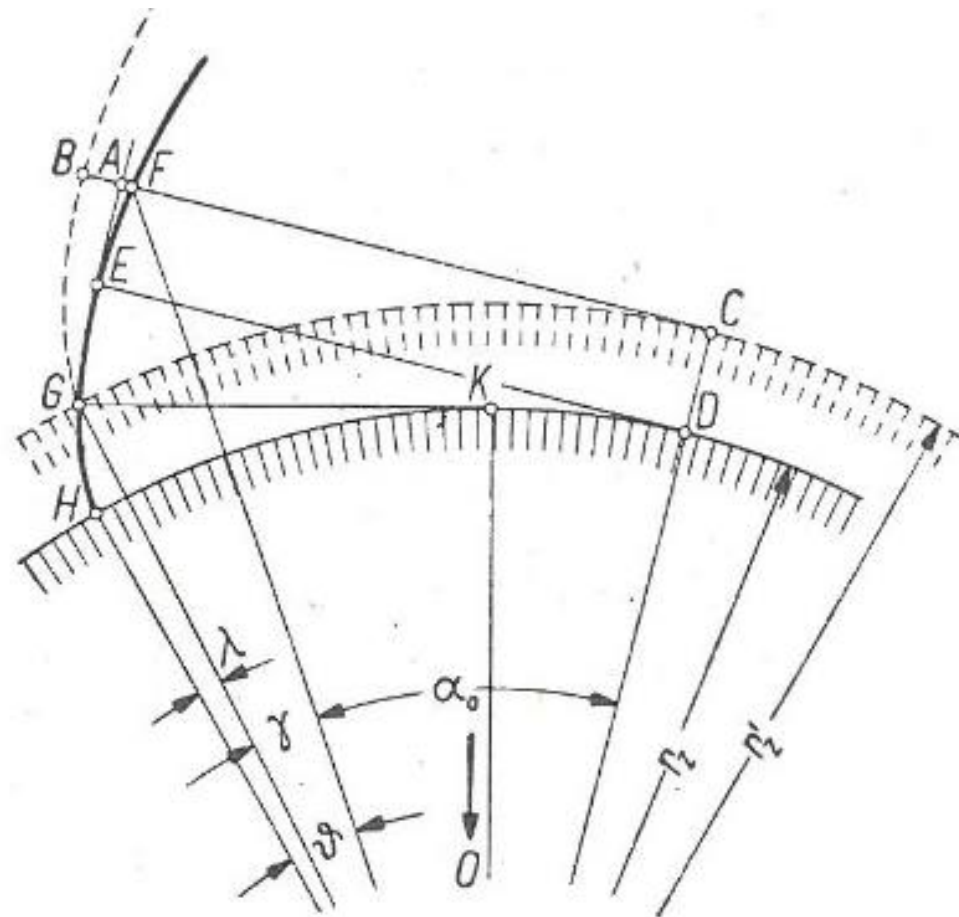




Rys. 64.  
Sprawdzanie prawidłowości zarysu boku zęba w kole o uzębieniu wewnętrznym na przyrządzie f. Maag wg zasady przedstawionej na rys. 50 i 51

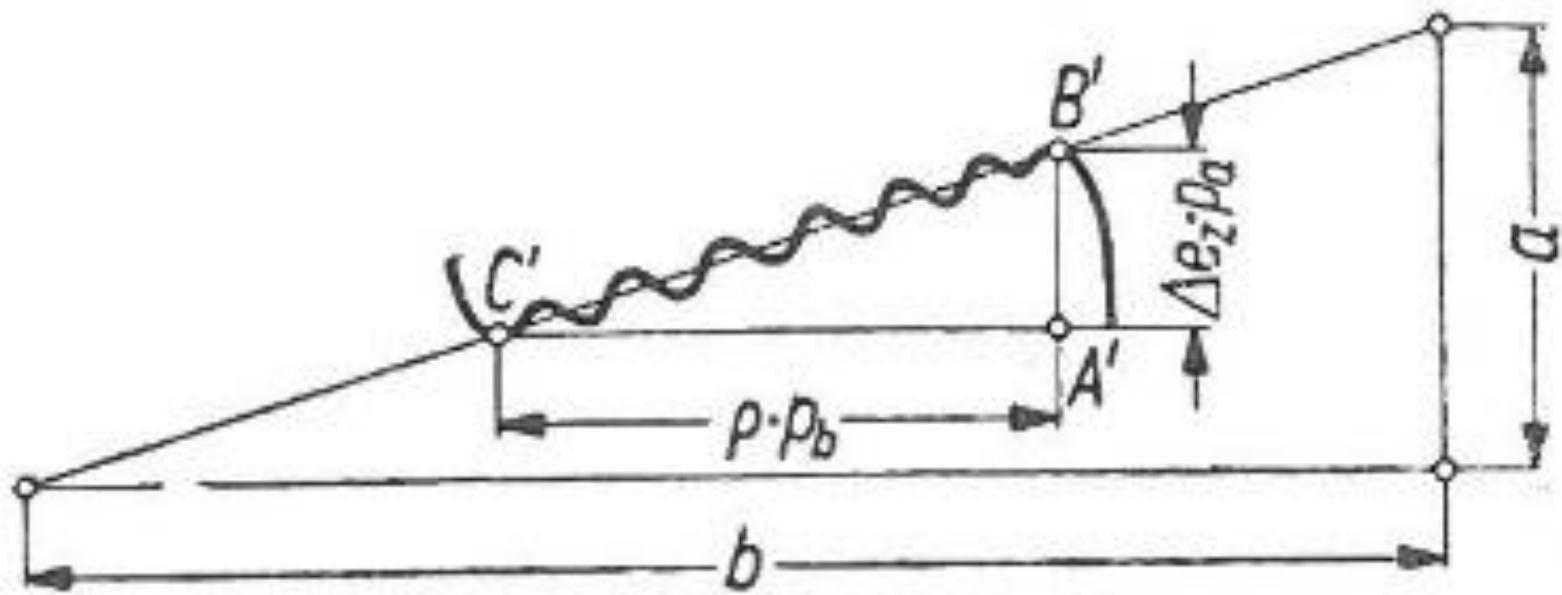


Rys. 65. Analiza wykresu prawidłowości ewolwenty



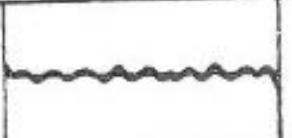
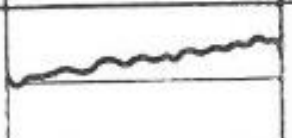
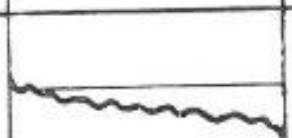
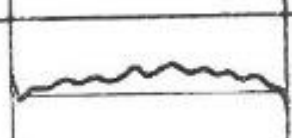
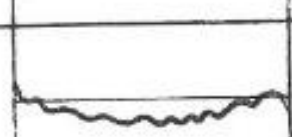
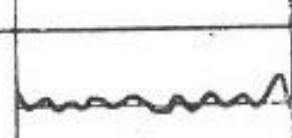
Rys. 66. Ustalanie błędu  $\Delta e_z$  z rys. 65



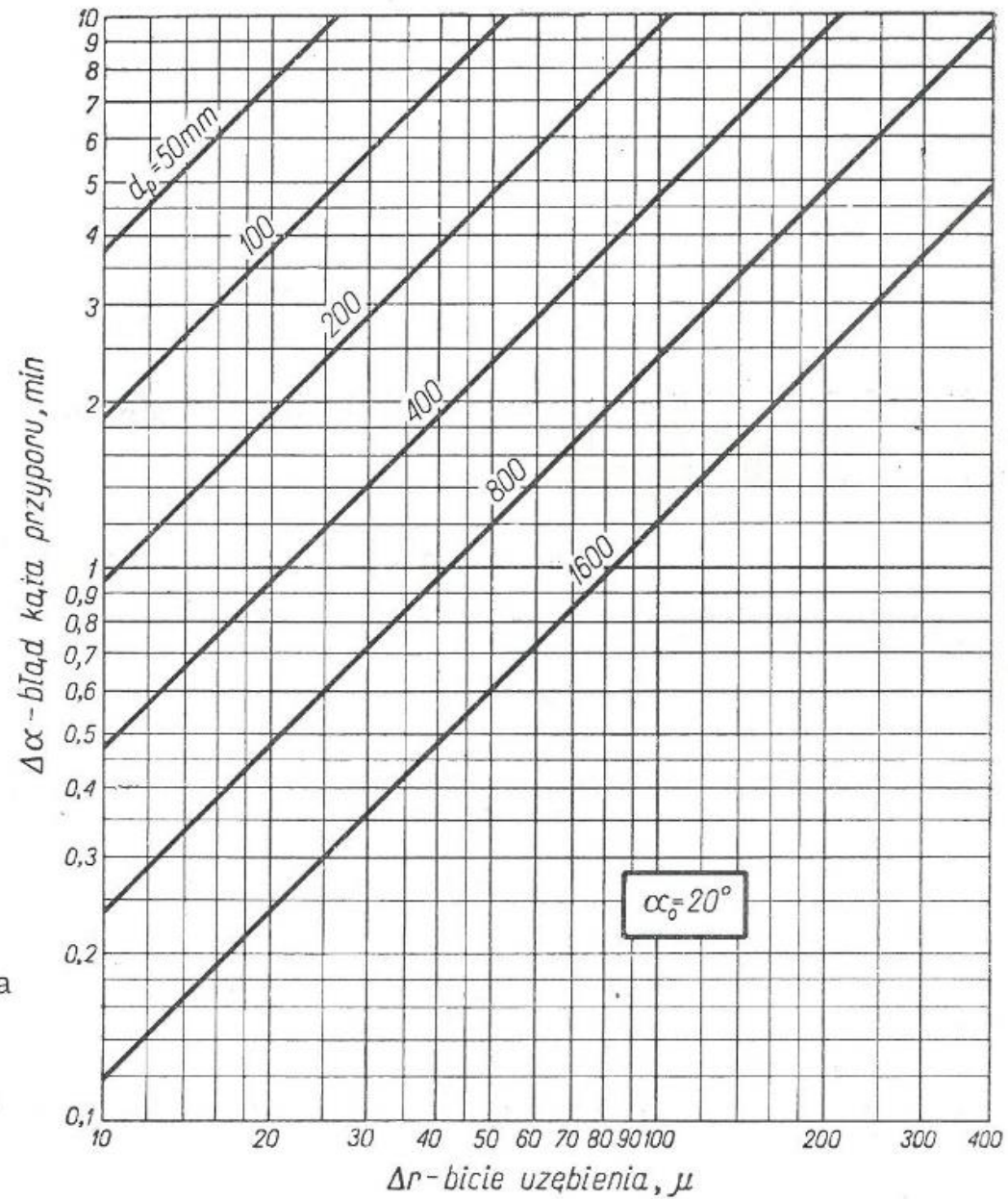


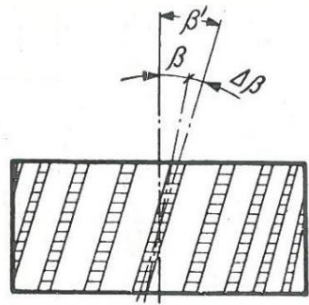
Rys. 67. Ustalenie błędu  $\Delta e_z$  z wykresu

**Tabela IX. Przykłady wykresów zarysu boku zęba**

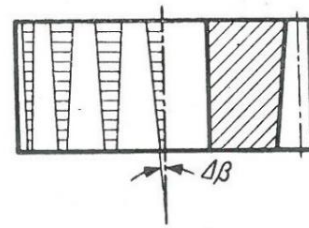
<i>podstawa zęba</i>	<i>wierzchołek zęba</i>	Objaśnienie	Ocena
		prawidłowa ewolwenta	dopuszczalne
		za mały kąt przyporu	dopuszczalne
		za duży kąt przyporu	dopuszczalne
		ząg wybrzuszony	dopuszczalne
		ząg siodełkowy	niedopuszczalne
		ząg nie obrobiony u wierzchołka	niedopuszczalne

Rys. 68.  
 Zależność błędu  
 kąta przyporu  
 od bicia uzębienia  
 dla różnych  
 średnic kół  
 podziałowych  
 wobec  $\alpha_0 = 20^\circ$

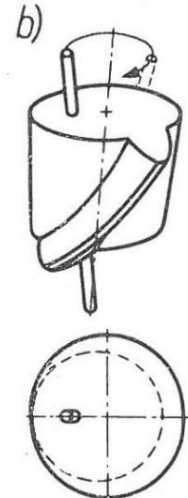
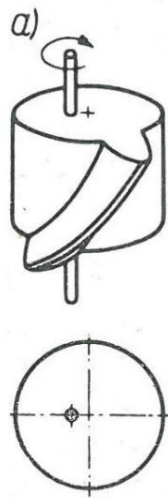




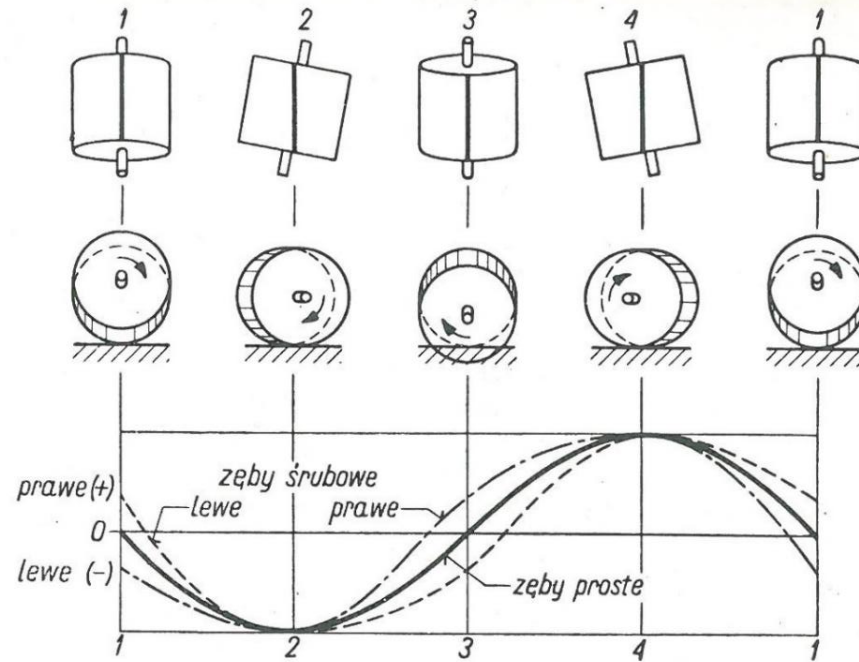
Rys. 69. Błąd linii zęba  $\Delta\beta$  (dodatni) wywołany błędnym ustawieniem maszyny



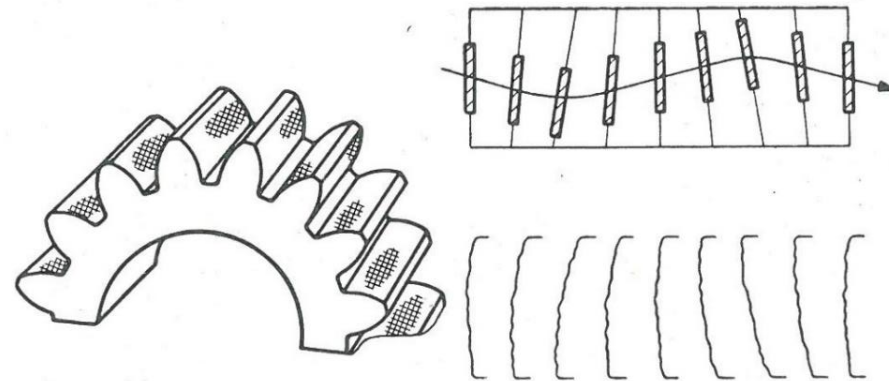
Rys. 70. Błąd linii zęba  $\Delta\beta$  (inny dla lewej i prawej strony zęba) wywołany uginaniem się trzpienia podczas obróbki



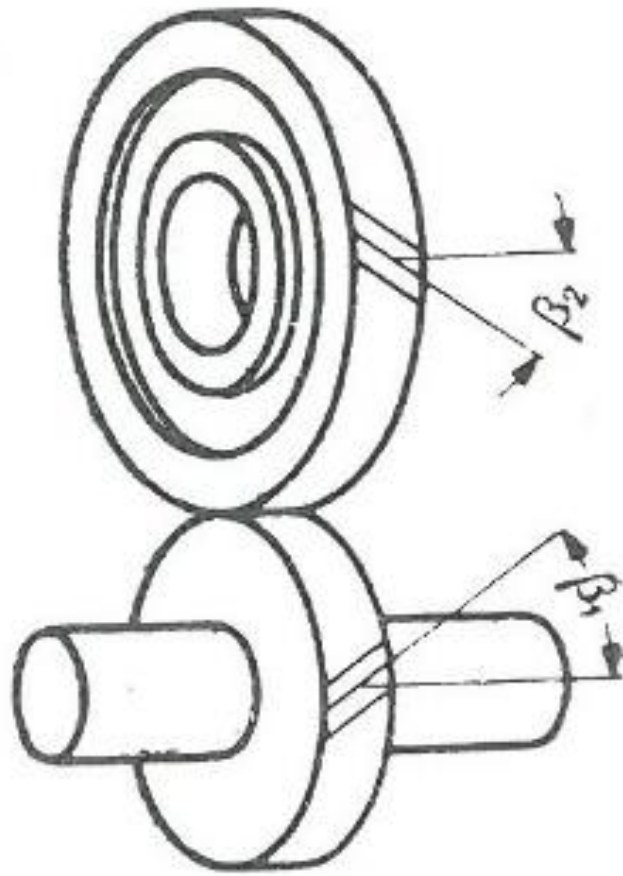
Rys. 71. Niezgodność osi obrotu stołu maszyny i osi obrotu obrabianego koła (trzpienia), a) osie są mimośrodowe, lecz równoległe, b) osie przecinają się



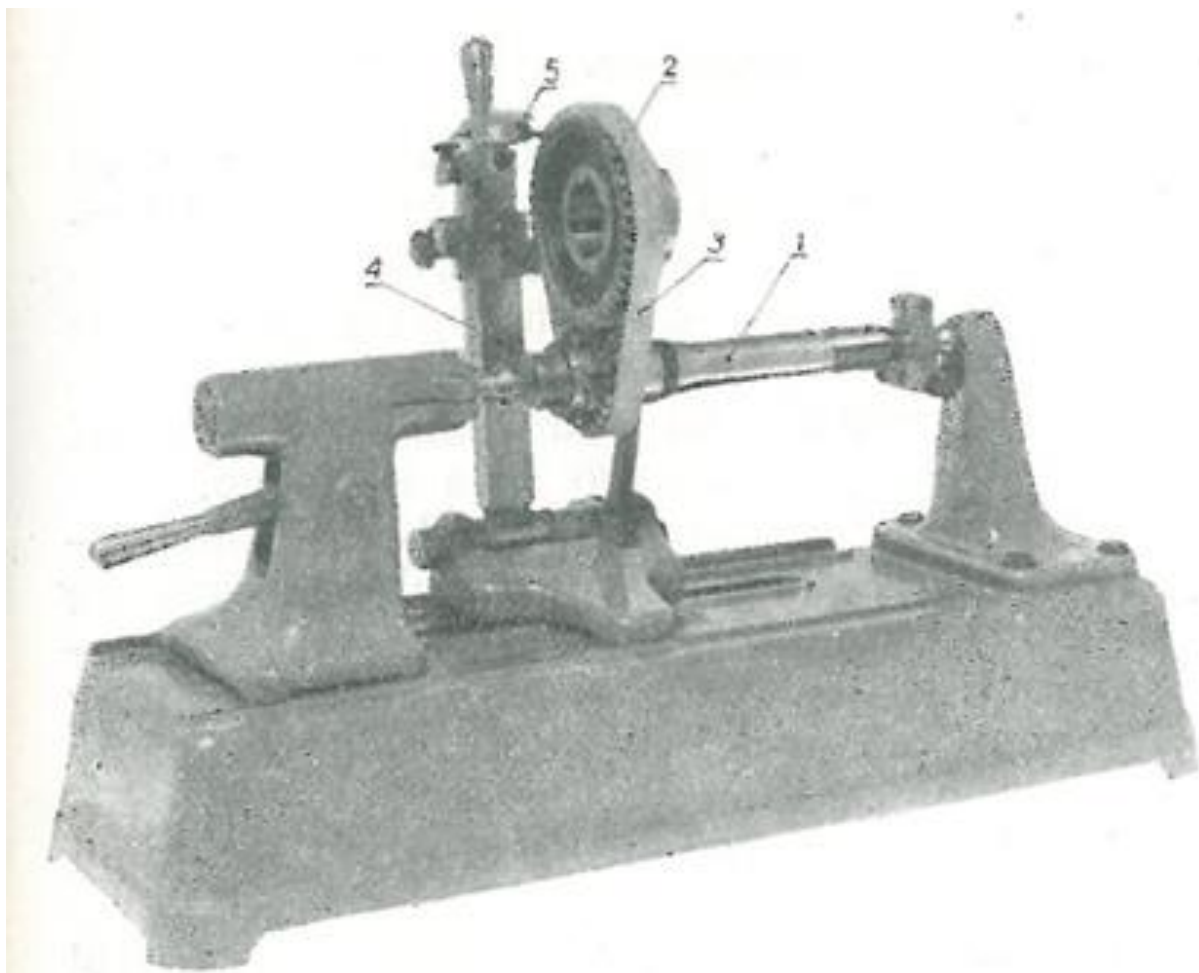
Rys. 72. Zmienność kierunku pochylenia linii zęba spowodowana przecinaniem się osi wg rys. 71b



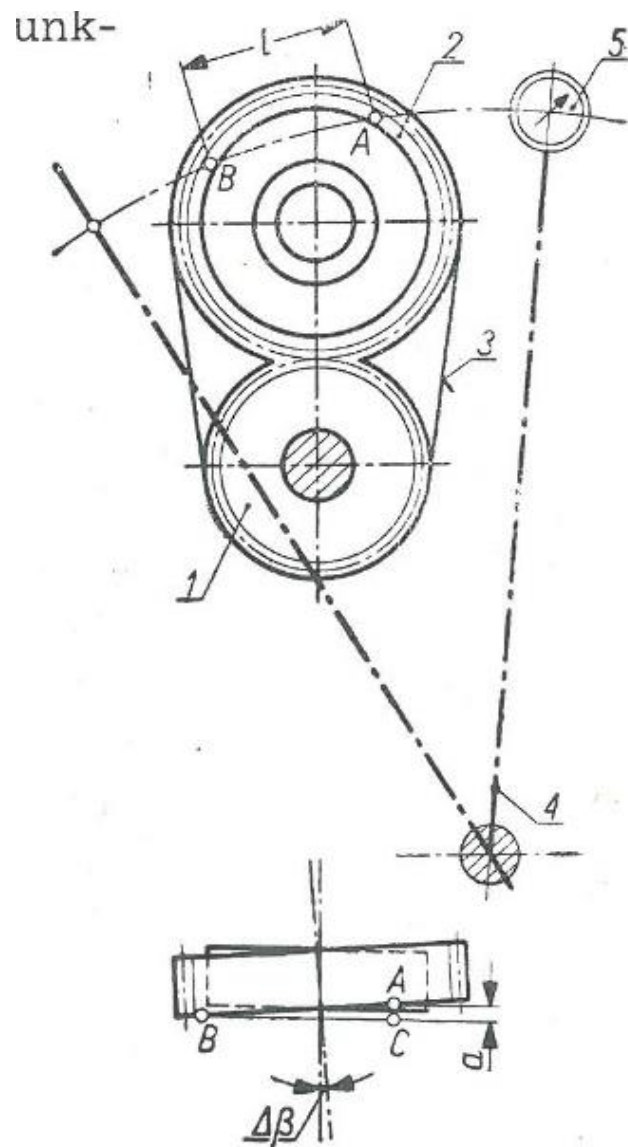
Rys. 73. Wędrowny ślad dolegania jako skutek przypadku przedstawionego na rys. 71b i 72



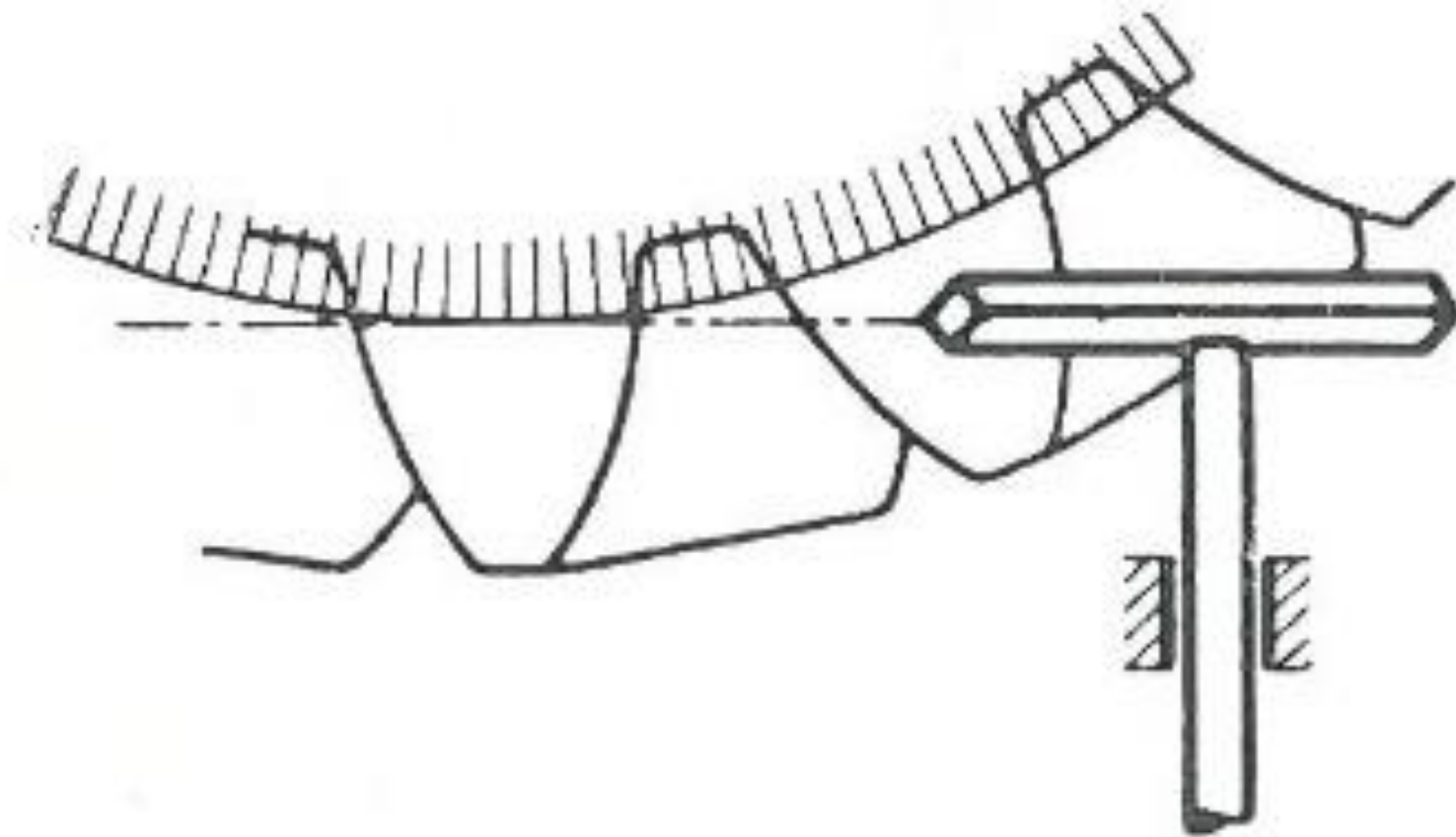
Rys. 74. Kąty pochylenia linii zębów w walcowej przekładni czołowej



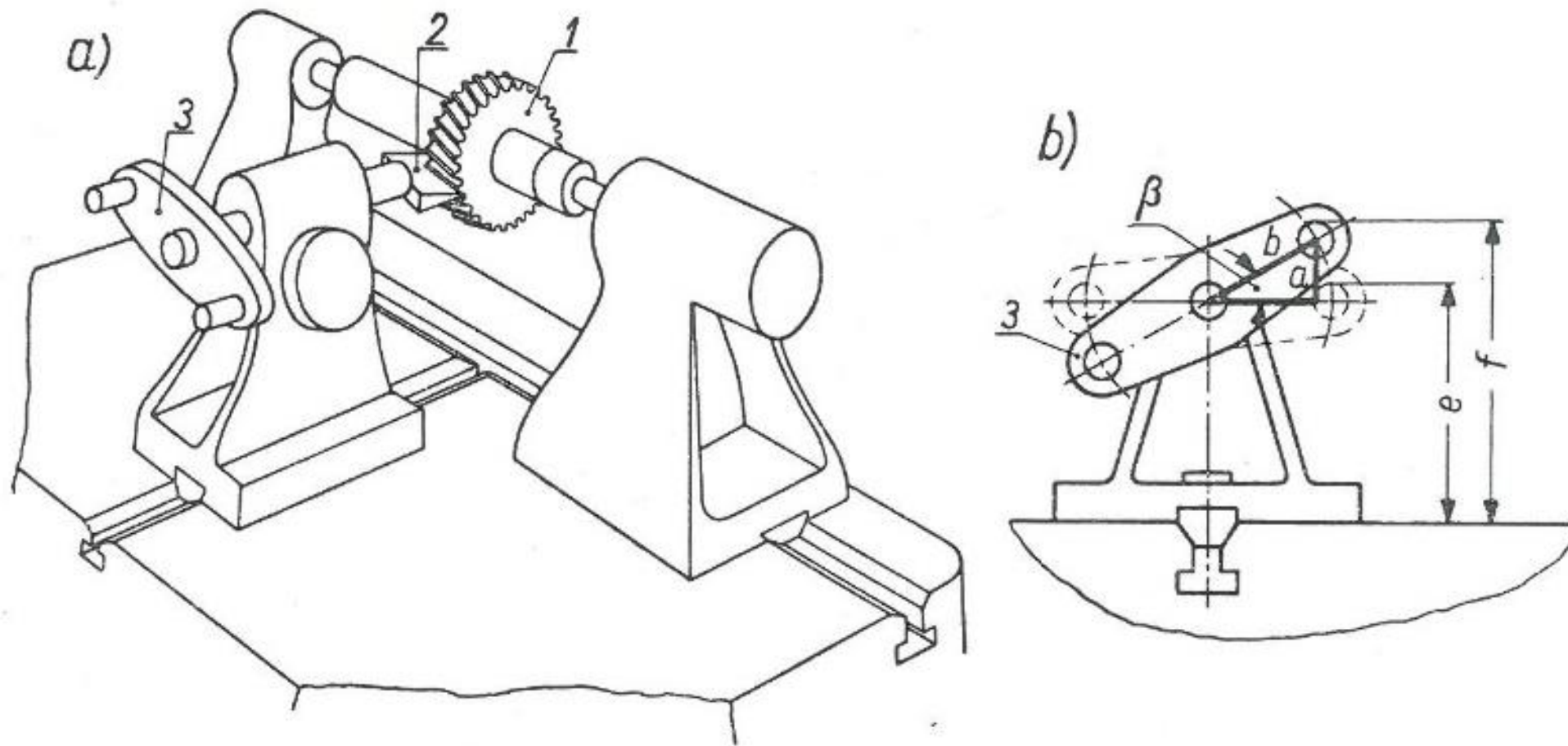
Rys. 75. Sprawdzanie pochylenia linii zębów przy  
użyciu przystawki kłowej f. M a a g



Rys. 76. Sprawdzanie pochylenia linii zębów przy  
użyciu przystawki kłowej  
f. M a a g

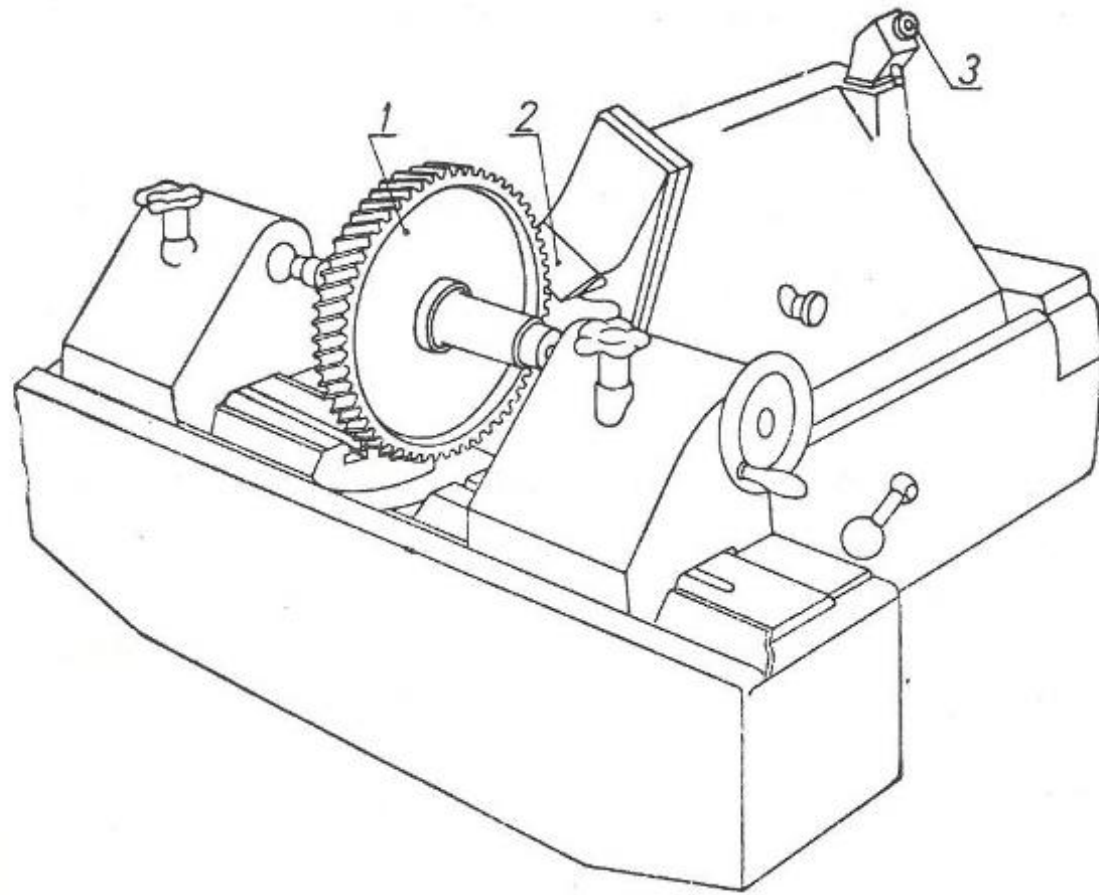


Rys. 77. Zasada pomiaru linii zęba za pomocą liniału

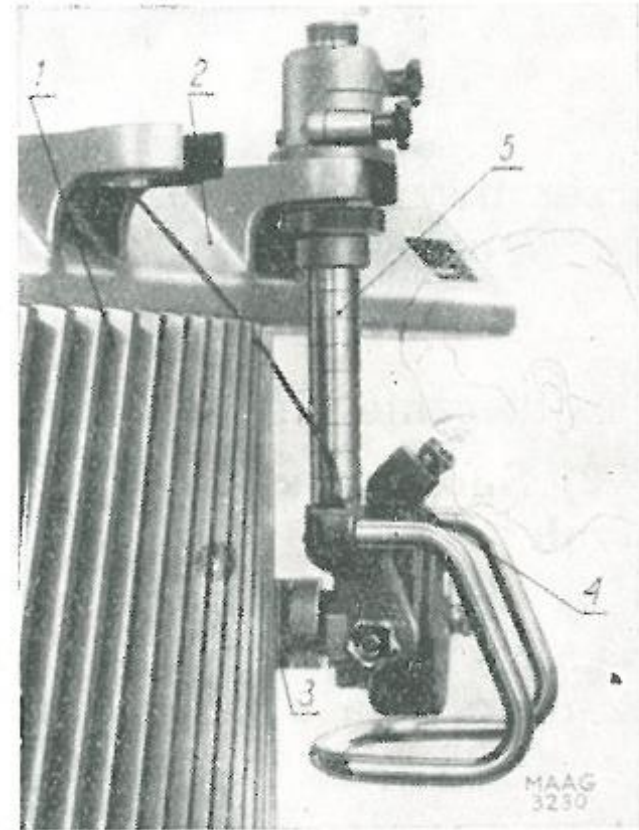


Rys. 78. Sprawdzanie pochylenia linii zębów wg metody Red Ring  
f. National Broach Company

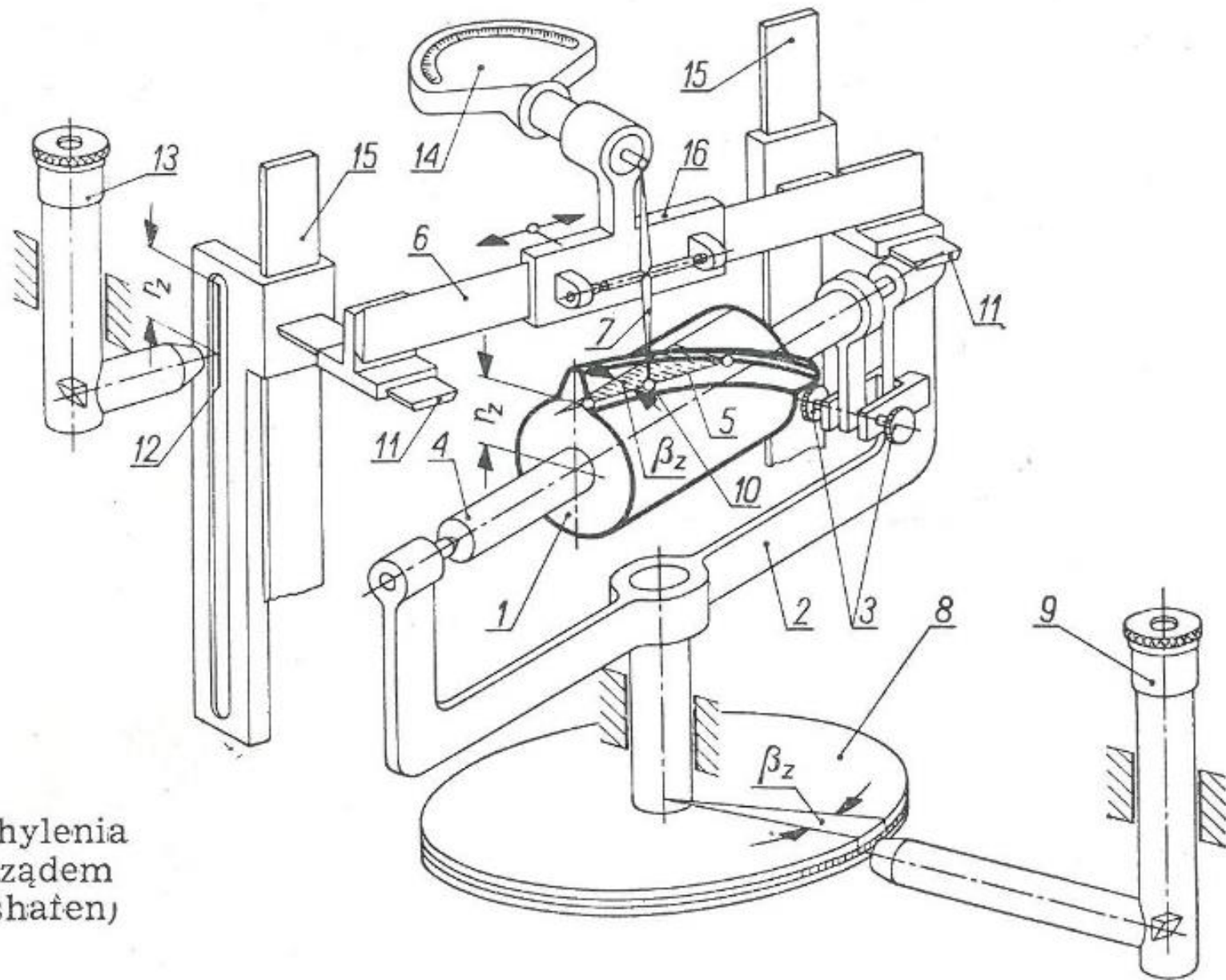




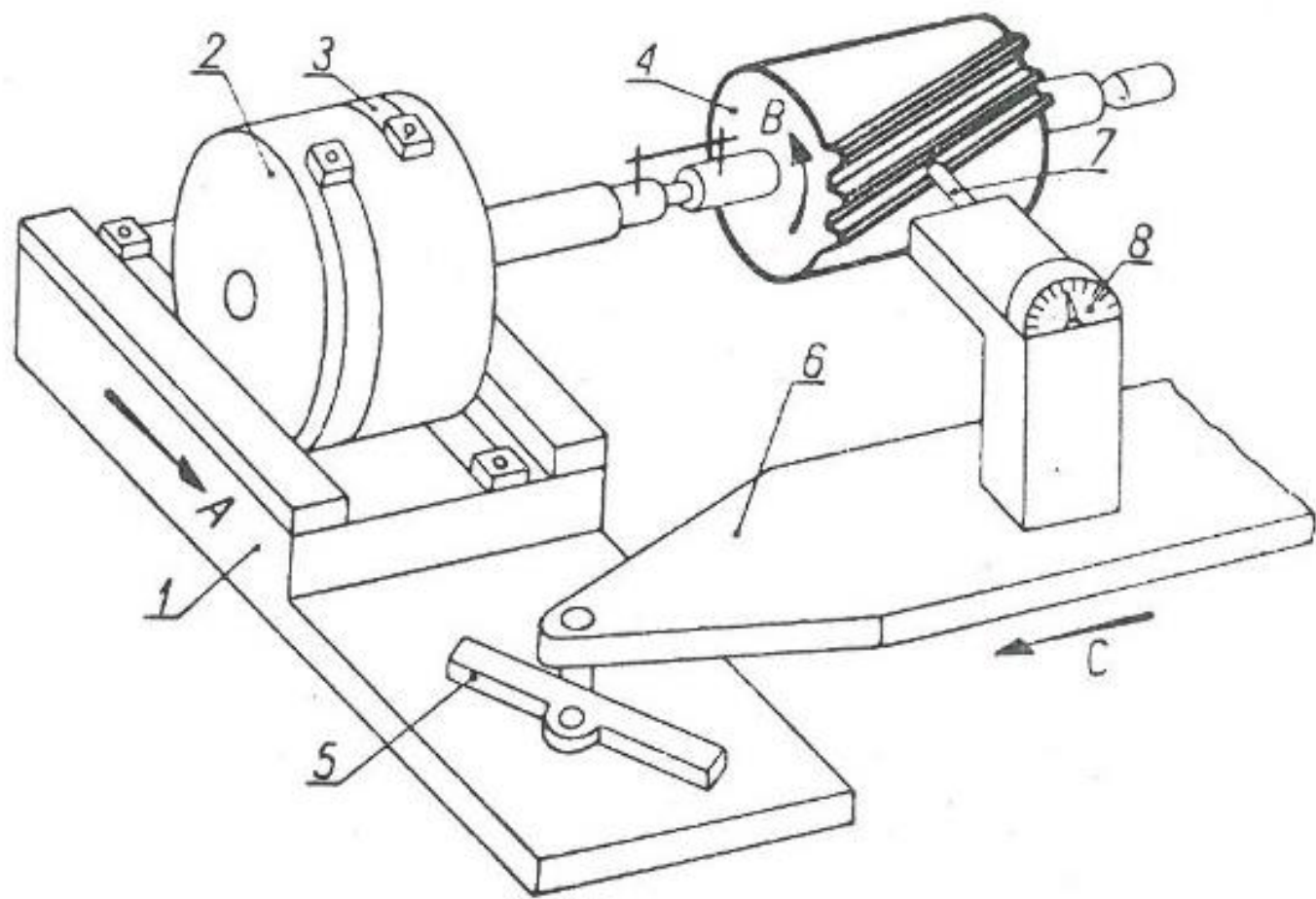
Rys. 79. Sprawdzanie pochylenia linii zębów przyrządem f. M a a g



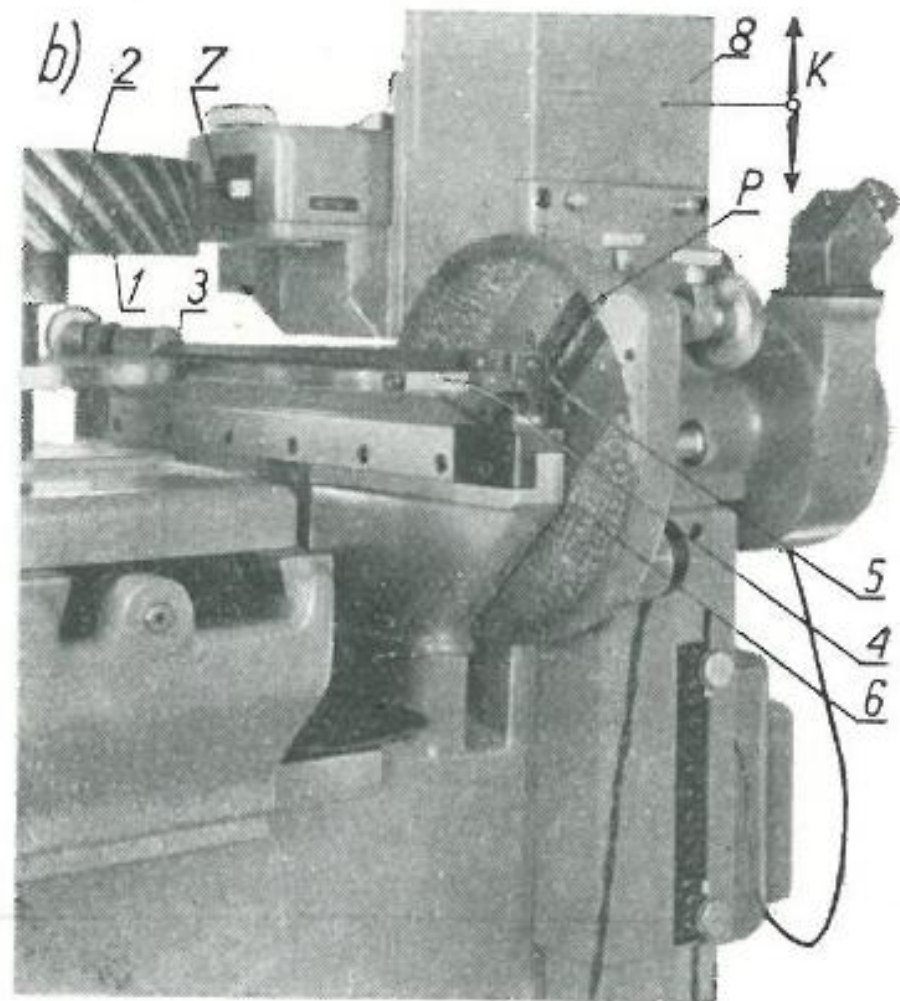
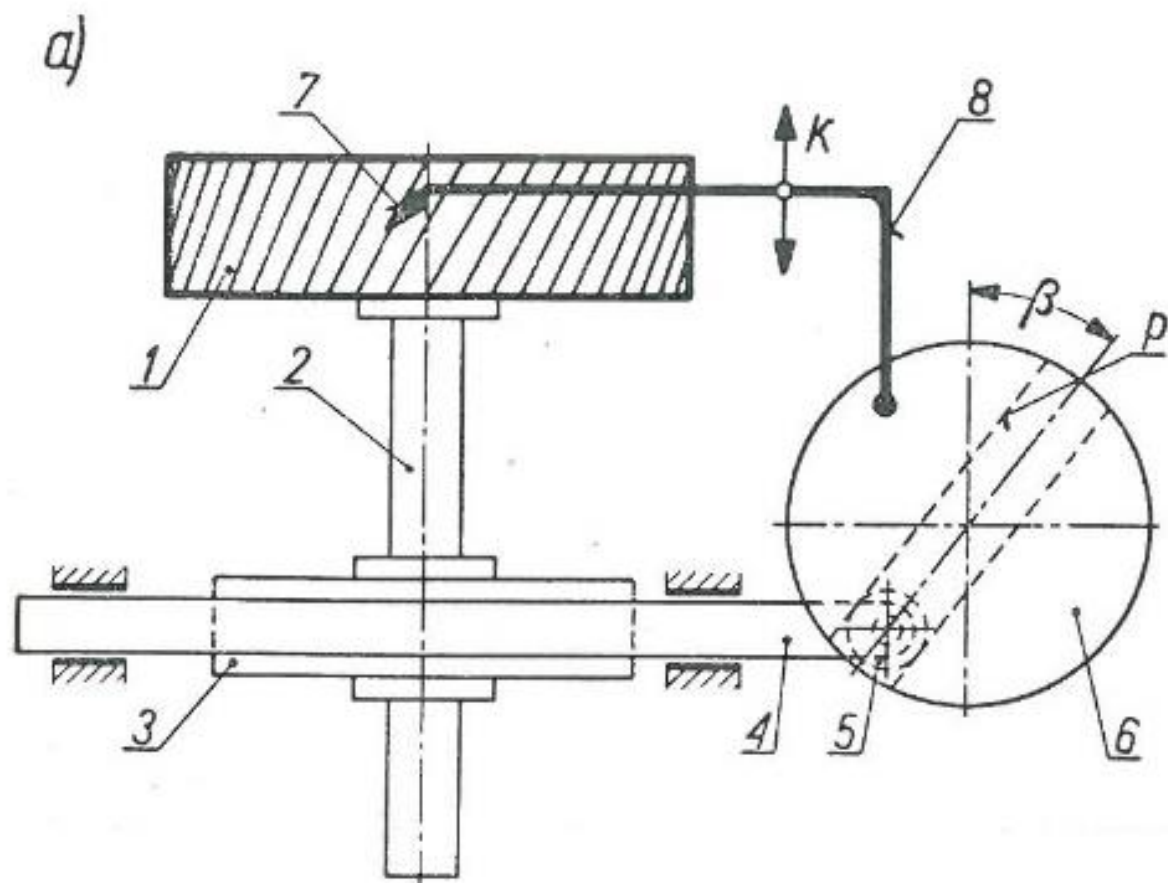
Rys. 80. Sprawdzanie pochylenia linii zębów w dużym kole zębatym przyrządem f. M a a g; 1 — sprawdzane koło, 2 — płyta podstawowa, 3 — linia, 4 — optyczna aparatura pomiarowa, 5 — pionowa prowadnica



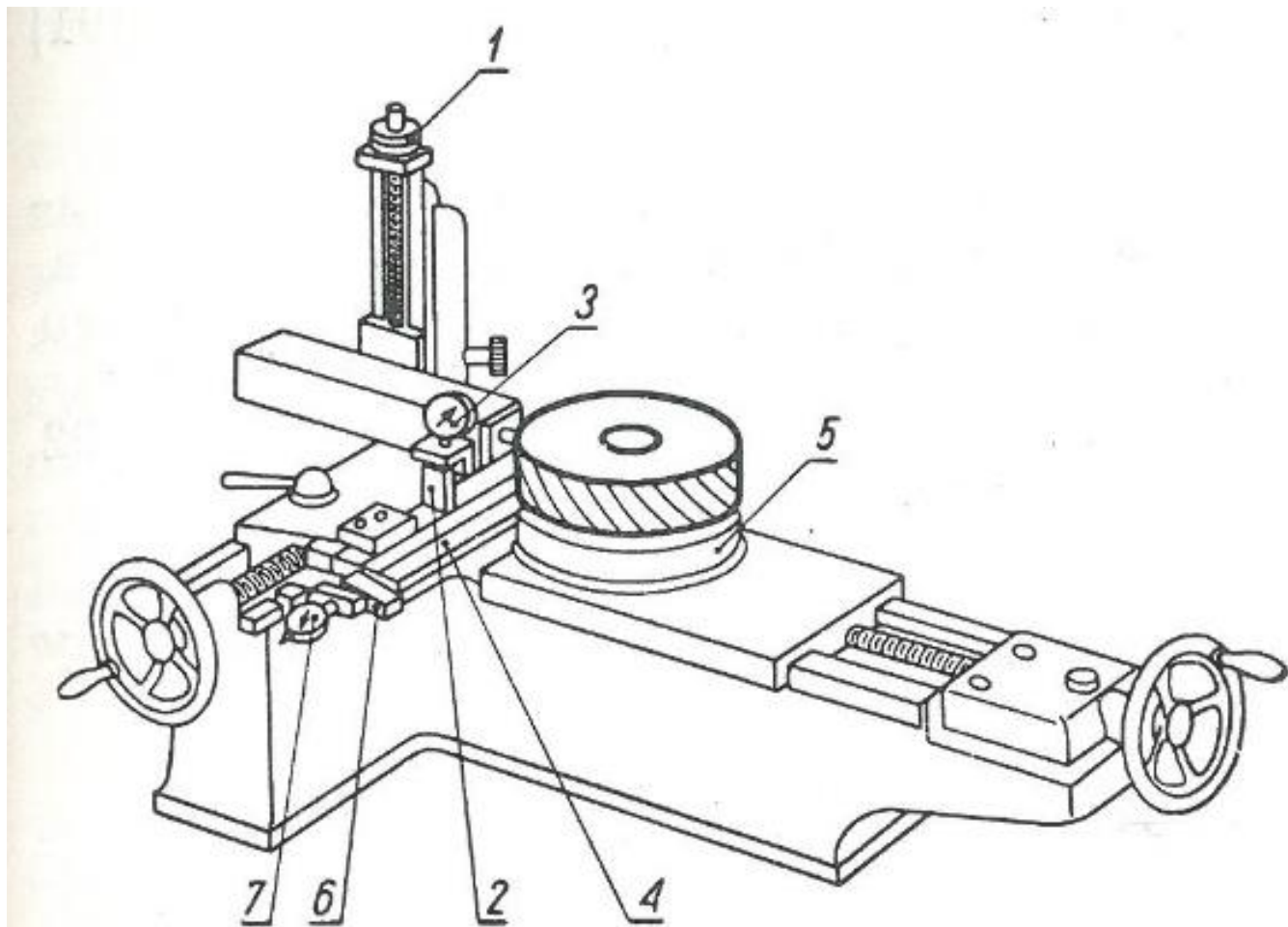
Rys. 81.  
 Sprawdzanie pochylenia  
 linii zębów przyrządem  
 f. ZF (Friedrichshafen)



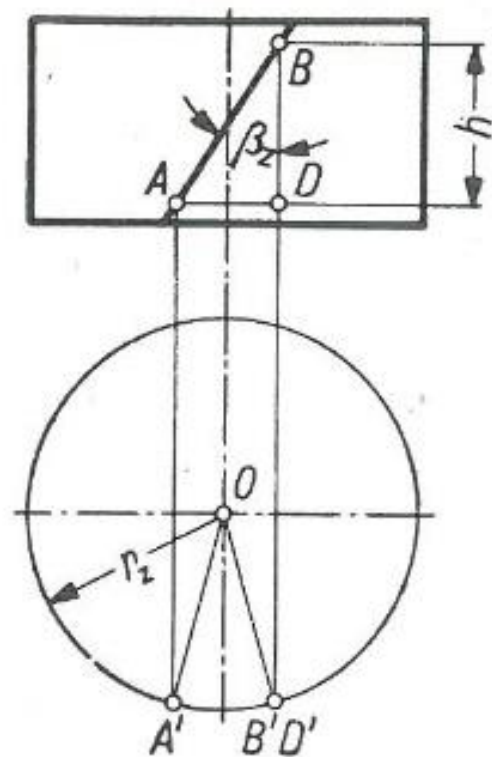
Rys. 82.  
Sprawdzanie pochylenia  
linii zębów przy użyciu  
liniału wodzącego aparatu-  
rę pomiarową



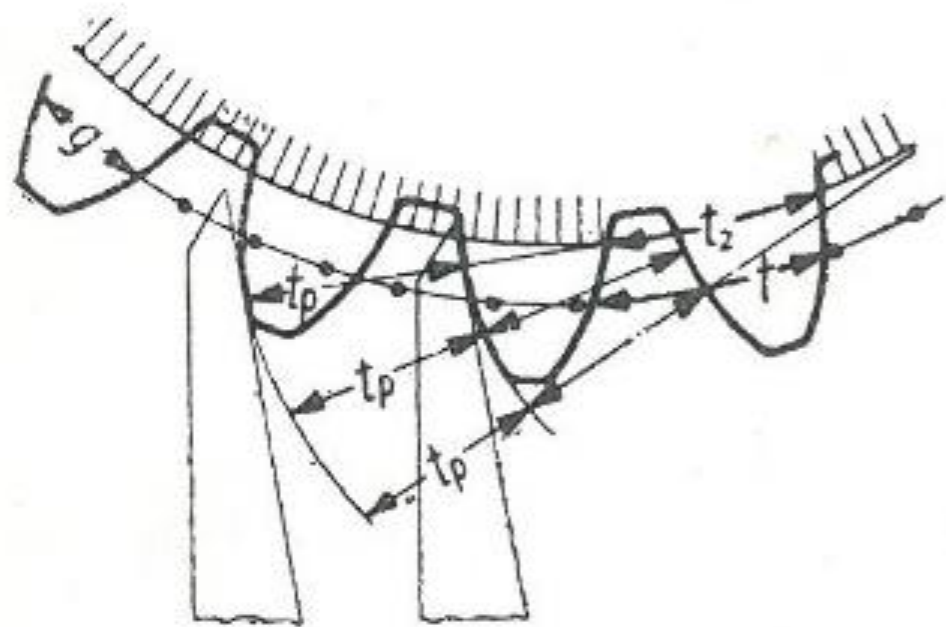
Rys. 83. Sprawdzanie pochylenia linii zębów przy użyciu przyrządu służącego do pomiaru prawidłowości zarysu boku uzupełnionego tarczą 6 z przewodnicami  $p$  ustawianymi pod kątem (wykonanie f. Maag)



Rys. 84. Sprawdzanie pochylenia linii zębów na przyrządzie do pomiaru prawidłowości zarysu zęba przy użyciu płytek wzorcowych

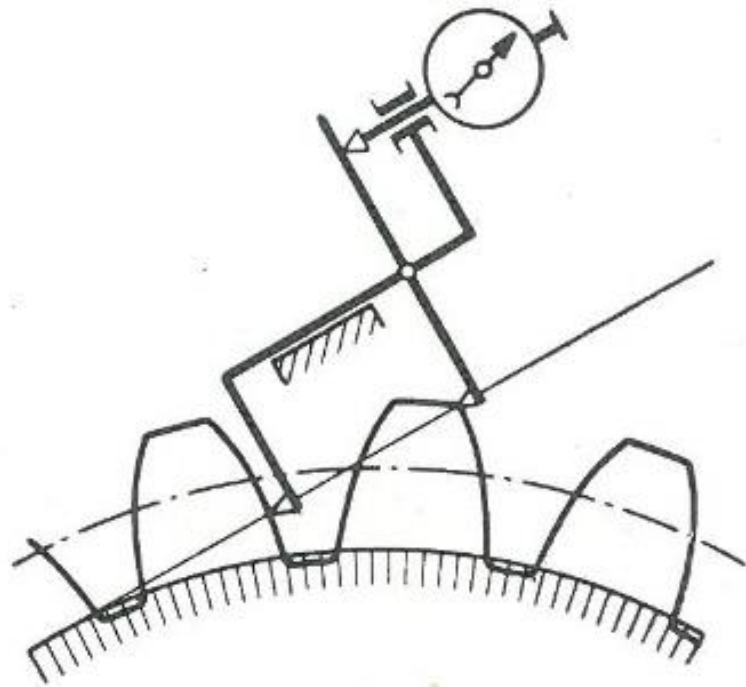


Rys. 85. Obliczanie kąta pochylenia linii zęba przy pomiarze wg rys. 84

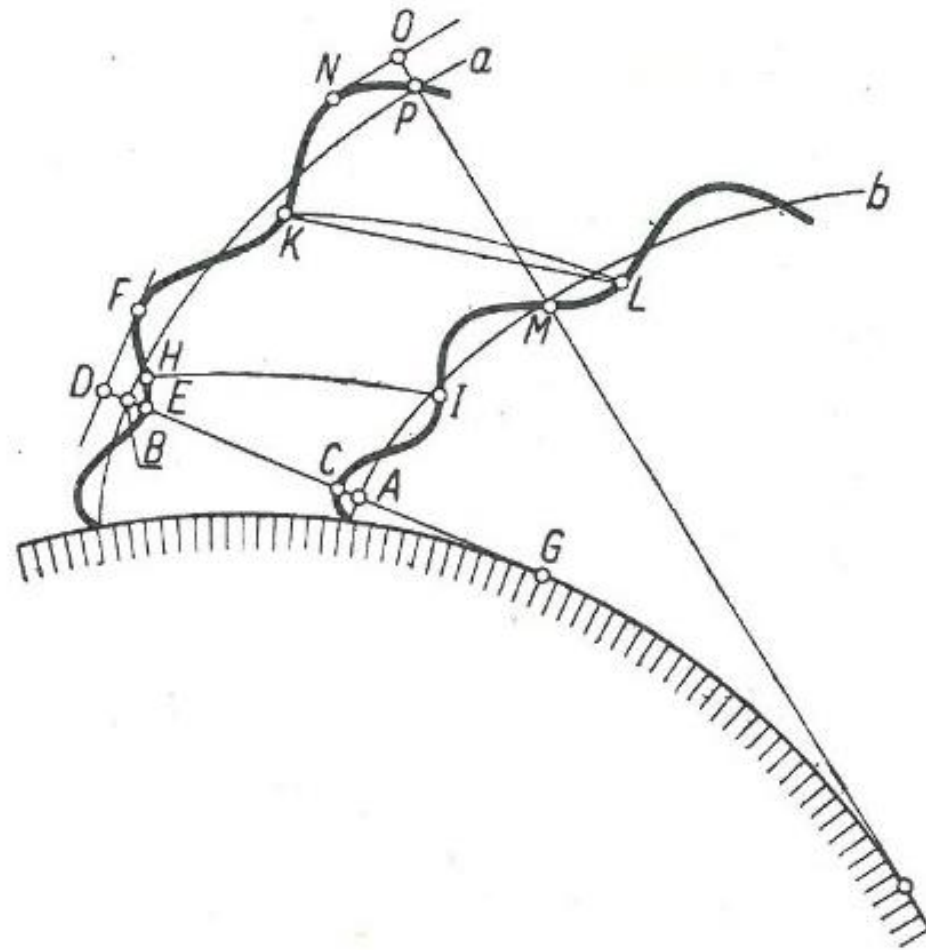


Rys. 86.

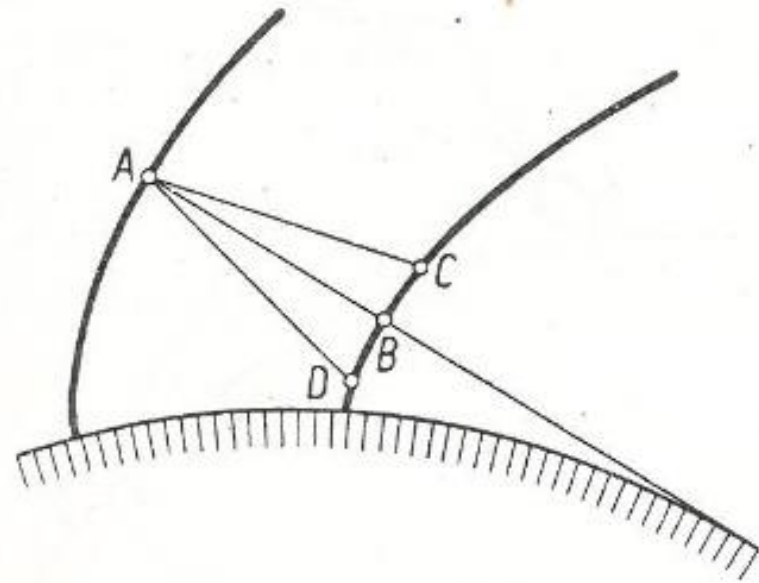
Różne rodzaje podziałek w kole zębatym o ewolwentowym zarysie boku zęba;  $t$  — podziałka nominalna,  $t_z$  — podziałka zasadnicza,  $t_p$  — podziałka przyporu



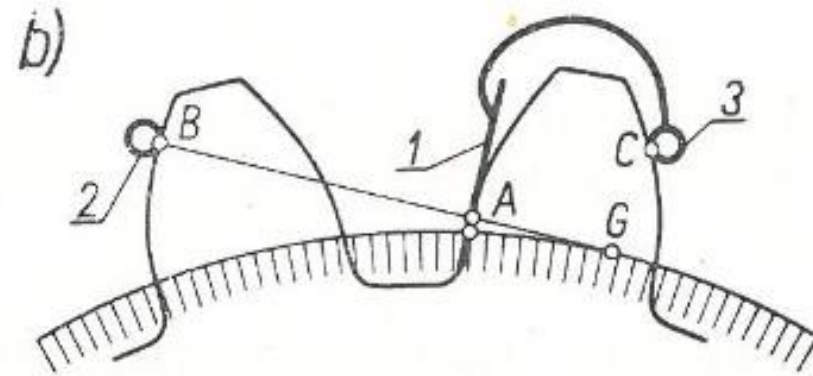
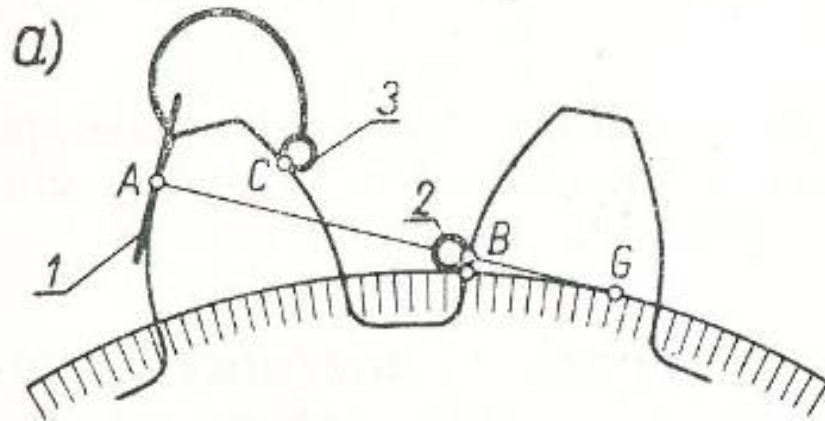
Rys. 87. Schemat pomiaru podziałki przyporu



Rys. 88. Analiza pomiaru podziałki przyporu i obwodowej w wypadku niegładkich boków zębów



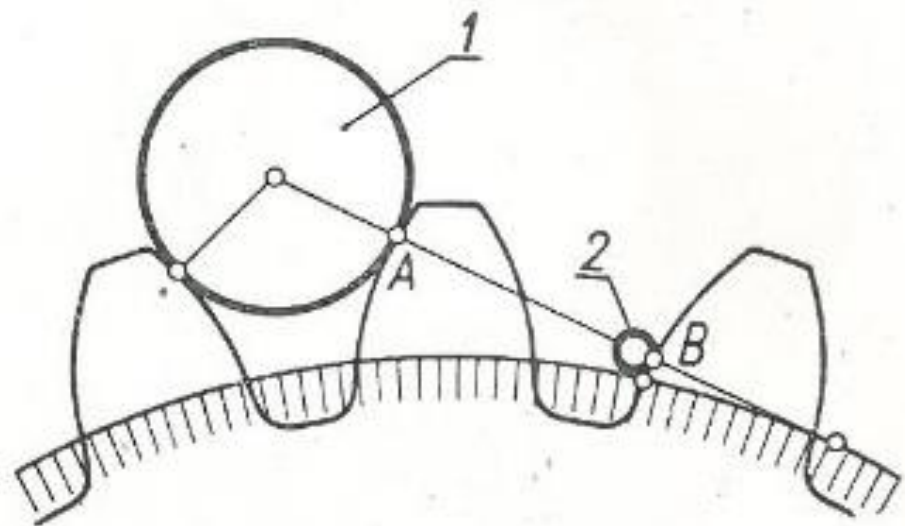
Rys. 89.  
Podziałka przyporu  $AB$  jest  
najmniejszą odległością bloków  
dwóch sąsiednich zębów

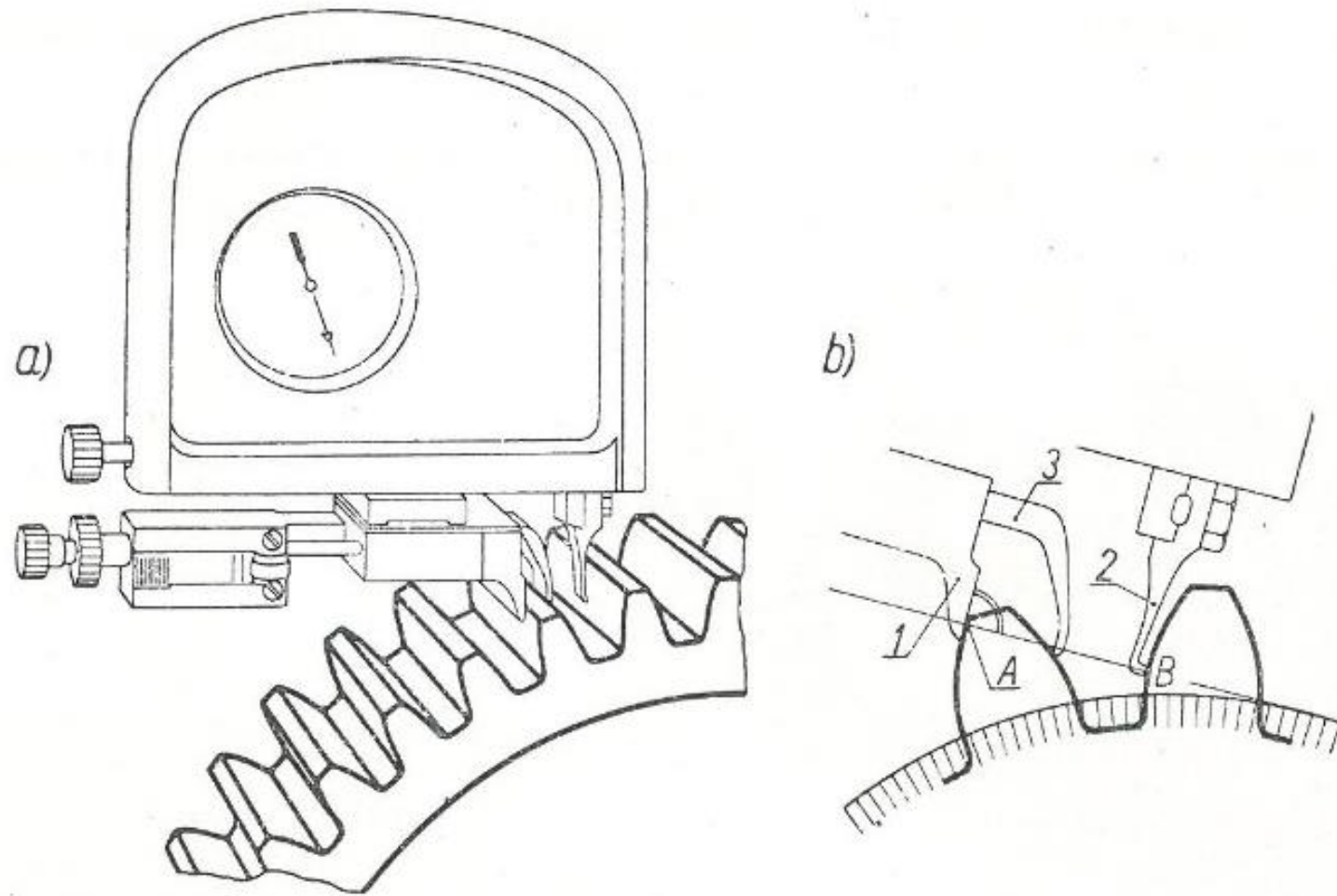


Rys. 90. Schemat budowy przyrządów do pomiaru podziałki przy-  
poru; 1 — stała szczeka pomiarowa, 2 — ruchoma szczeka pomia-  
rowa, 3 — pomocnicza szczeka

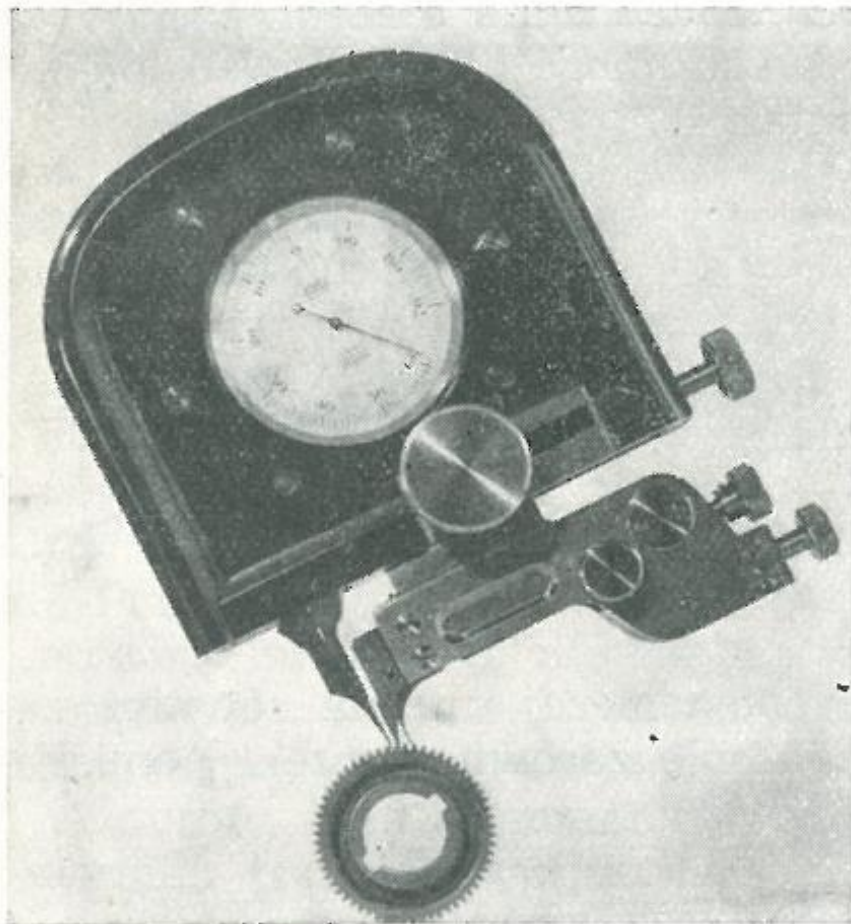


Rys. 91.  
Schemat budowy przyrządu do pomiaru  
podziałki przyporu; 1 — wałek, spełniający  
funkcję stałej szczęki pomiarowej  
i szczęki pomocniczej równocześnie,  
2 — ruchoma szczeka pomiarowa

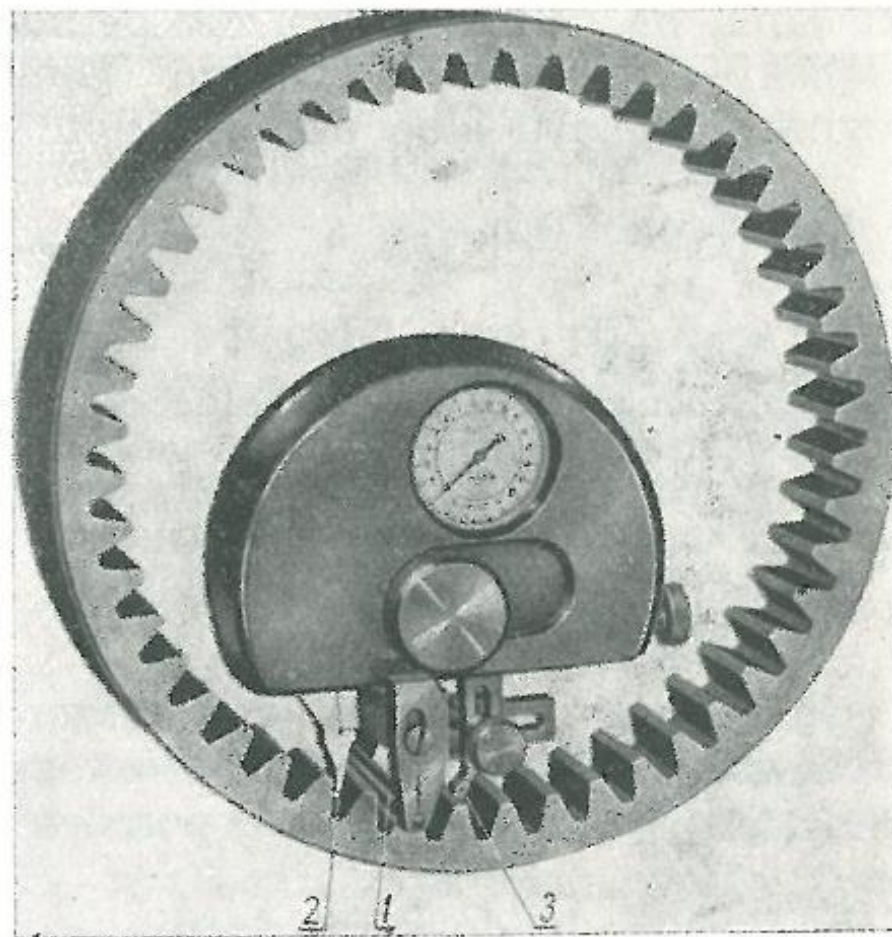




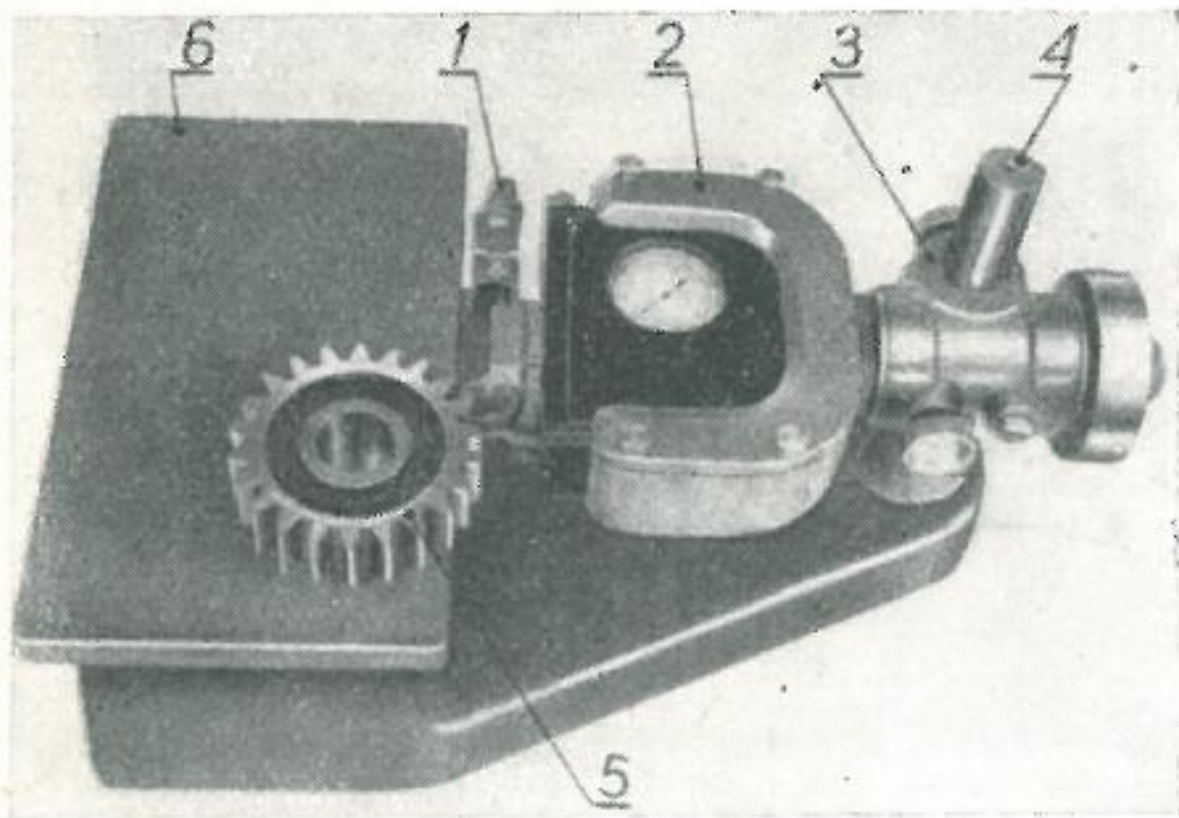
Rys. 92. Przyrząd do pomiaru podziałki przyporu f. Ma a g zbudowany wg schematu rys. 90a



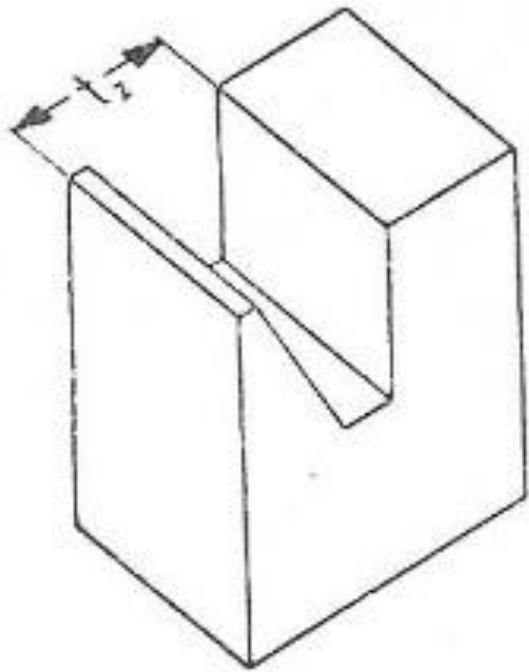
Rys. 93. Przyrząd f. Maag do pomiaru podziałki przyporu w kole o małych modułach



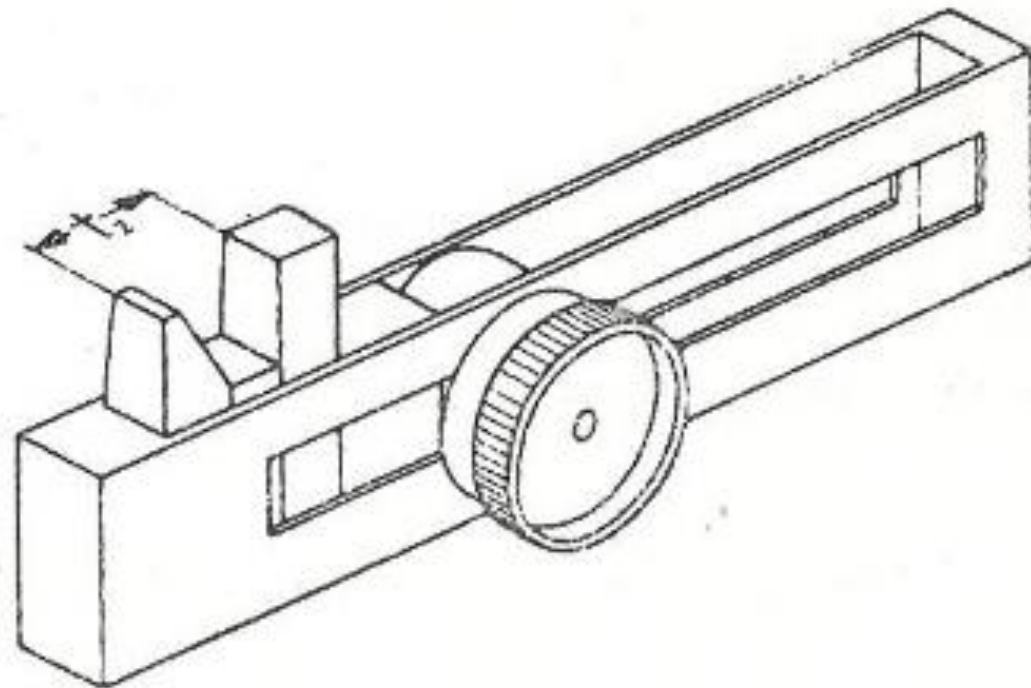
Rys. 94. Przyrząd f. Maag do pomiaru podziałki przyporu w kole o uzębieniu wewnętrznym, zbudowany na zasadzie schematu z rys. 91; 1 — wałek, 2 — szczęka pomiarowa, 3 — szczęka pomocnicza



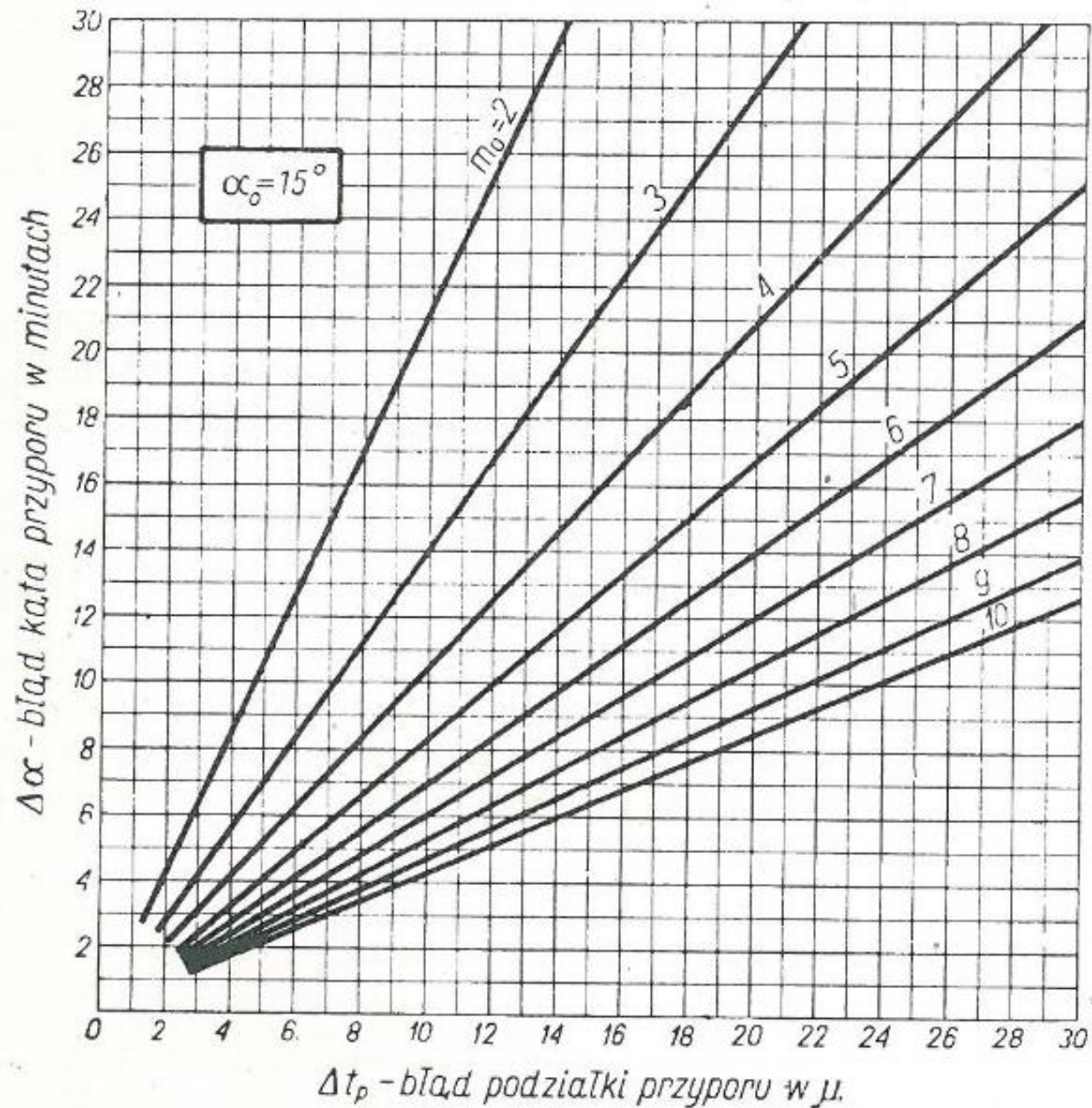
Rys. 95.  
Stały przyrząd f. Maag do  
pomiaru podziałki przyporu;  
1 — ręczny przyrząd, 2 — oprawa,  
3 — uchwyt przesuwny, 4 — słupek,  
5 — sprawdzane koło, 6 — stolik



Rys. 96. Wzornik  
ustawczy stały

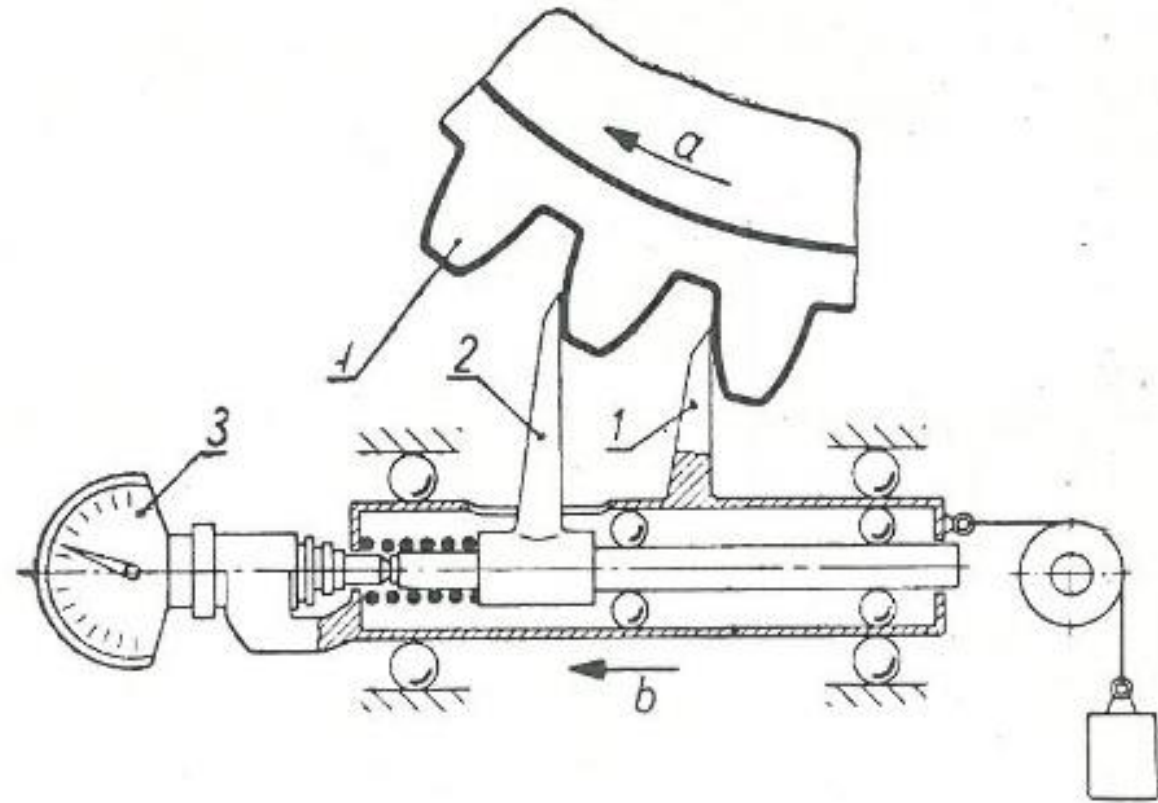


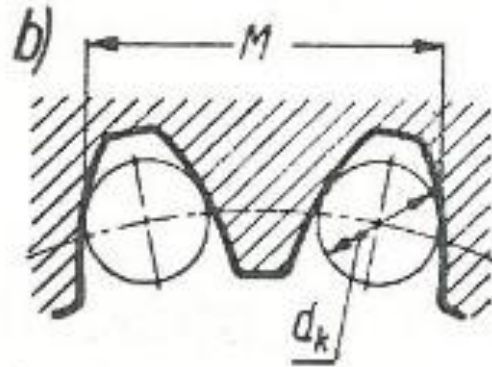
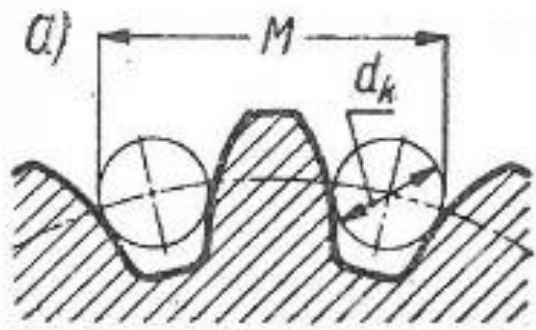
Rys. 97. Stos płytek wzorcowych do  
ustawienia przyrządu do pomiaru po-  
działki przyporu



Rys. 98.  
Wykres zależności błędu kąta przyporu  $\Delta\alpha$  od błędu podziałki przyporu  $\Delta t_p$  i wielkości modułu przy  $\alpha_0 = 15^\circ$

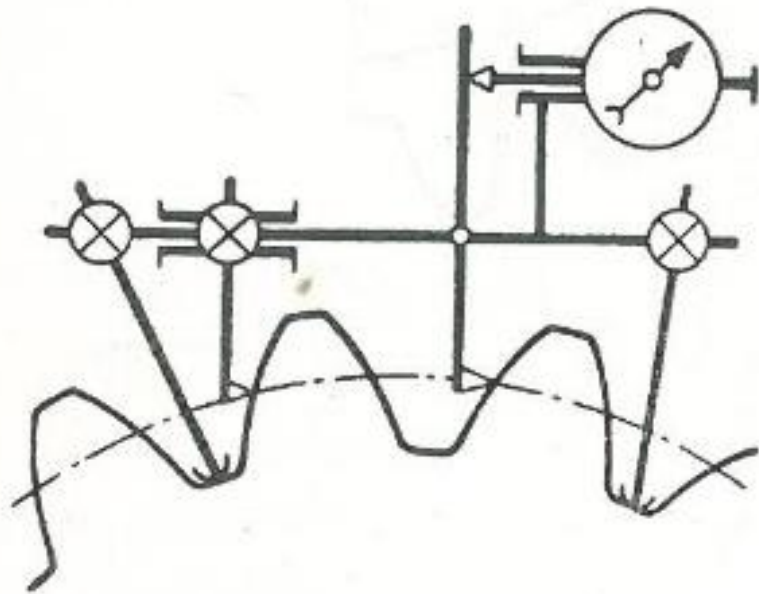
Rys. 100.  
Schemat przyrządu pomiarowego  
do sprawdzania podziałki przyporu  
w wykonaniu f. C. Zeiss



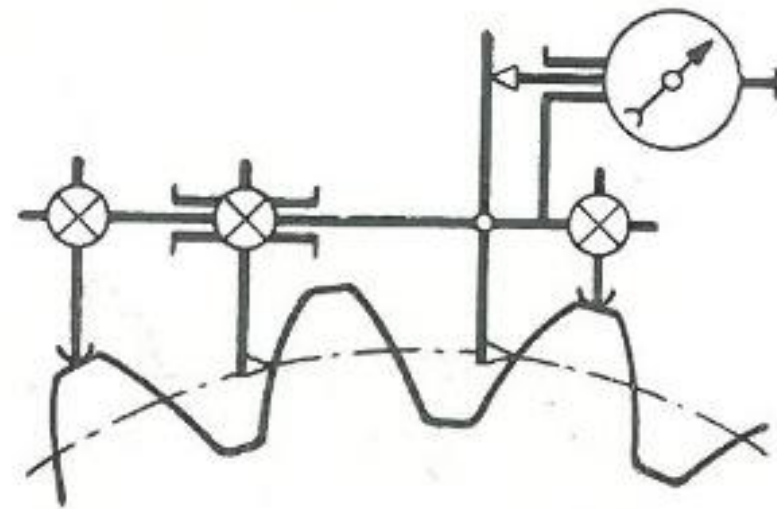


Rys. 101.  
Pomiar równomierności podziałki  
obwodowej przy pomocy dwóch  
wałków i mikrometra

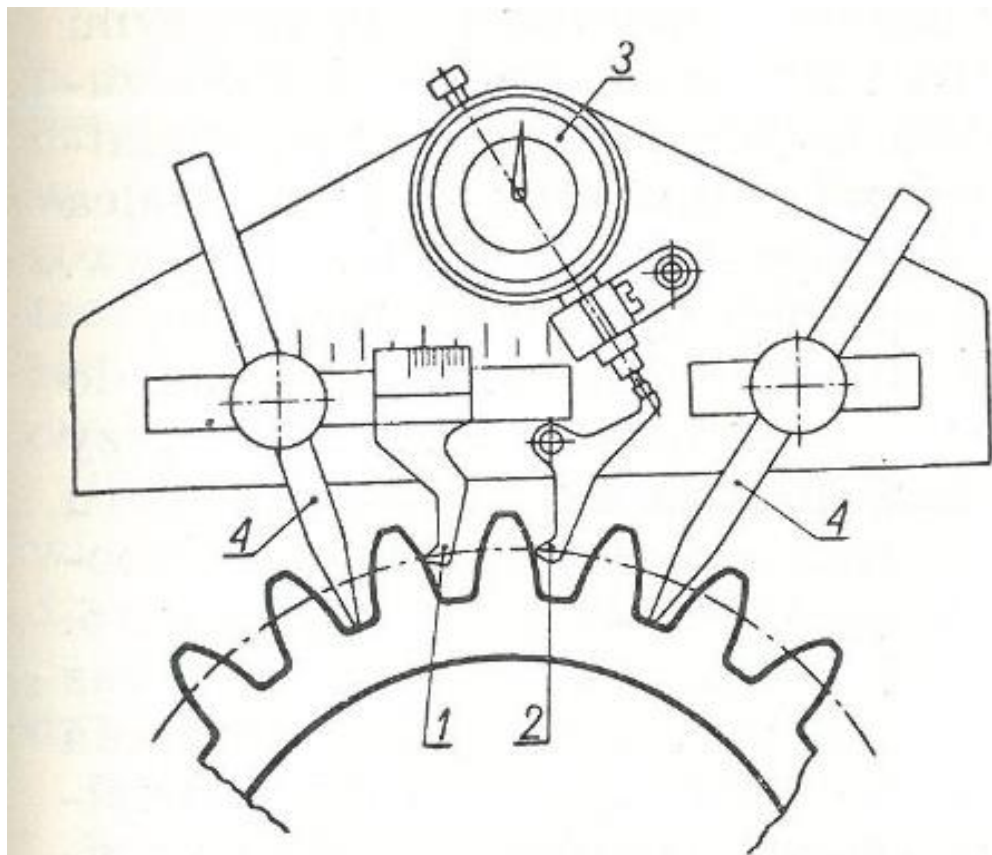




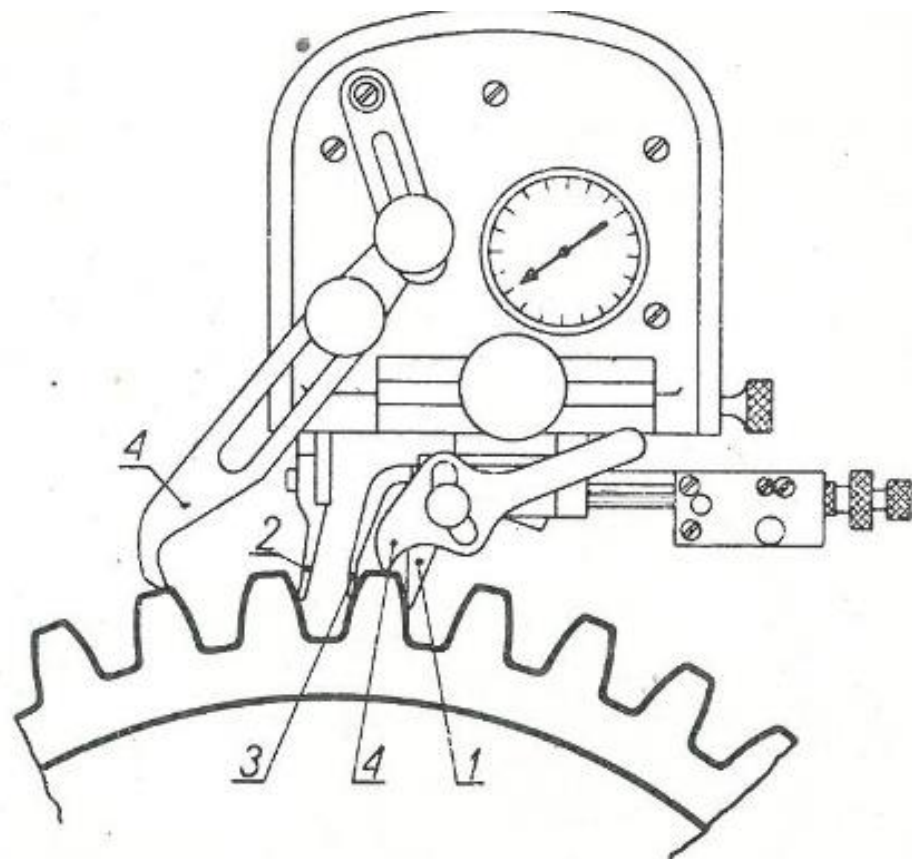
Rys. 102. Schemat przyrządu do pomiaru podziałki obwodowej przy użyciu dna wrębów za oparcie dla szczęk pomocniczych



Rys. 103. Schemat przyrządu do pomiaru podziałki obwodowej przy użyciu wierzchołków zębów za oparcie dla szczęk pomocniczych

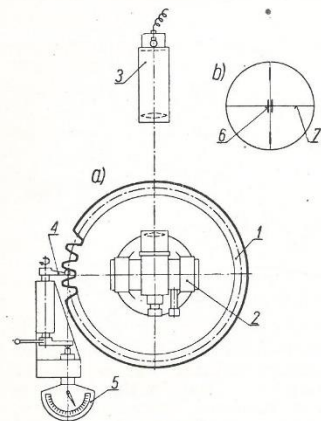


Rys. 104. Przyrząd do sprawdzania równości podziałki w wykonaniu f. C. M a h r; 1 — stała nóżka pomiarowa, 2 — ruchoma nóżka pomiarowa, 3 — czujnik, 4 — pomocnicze nóżki wspornikowe



Rys. 105. Przyrząd do sprawdzania równości podziałki w wykonaniu f. M a a g; 1 — stała nóżka pomiarowa, 2 — ruchoma nóżka pomiarowa, 3 — pomocnicza nóżka, 4 — nóżki wspornikowe

wierzchołkowego jest większa aniżeli walca dna wrębów, dojdziemy do wniosku, że sposób przedstawiony na rys. 105 jest dokładniejszy niż sposób z rys. 104. Nadmienić jednak należy, że pomimo wszystko pomiary przeprowadzone sposobami pokazanymi na rys. 104 i 105 są obarczone błędami zarówno bicia uzębienia, jak również dodatkowo błędami wynikłymi z bicia walca wierzchołkowego lub walca dna wrębów. Oba więc sposoby są niezbyt dokładne.



Rys. 109. Pomiar podziałki przy pomocy teodolitu i kolimatora; 1 — sprawdzane koło, 2 — teodolit, 3 — kolimator, 4 — dźwignienka, 5 — czujnik, 6 — podwójne kreski w lunecie teodolitu, 7 — krzyż pajęczy w lunecie kolimatora

tu i kolimatora (rys. 109 i 110). Sprawdzane koło 1 (rys. 109a) zamocowuje się na stole obrotowym. Na kole ustawia się teodolit 2, przy

Na rys. 106 przedstawiono przyrząd do mierzenia pojedynczej podziałki, przy czym całość dosuwa się podczas pomiaru do stałego oporu 5, a poprawność głębokości dosunięcia sprawdza się czujnikiem 6. Do pomiaru służą dźwignie 1 i 2 oraz czujniki 3 i 4, przy czym jedna dźwignia (np. 2) jest ustawiana przy każdej podziałce w tym samym położeniu, przez co wychylenie czujnika 4 będzie takie samo. Wychylenia drugiego czujnika 3 wskazują wielkość podziałki lub różnice wielkości podziałek sąsiednich.

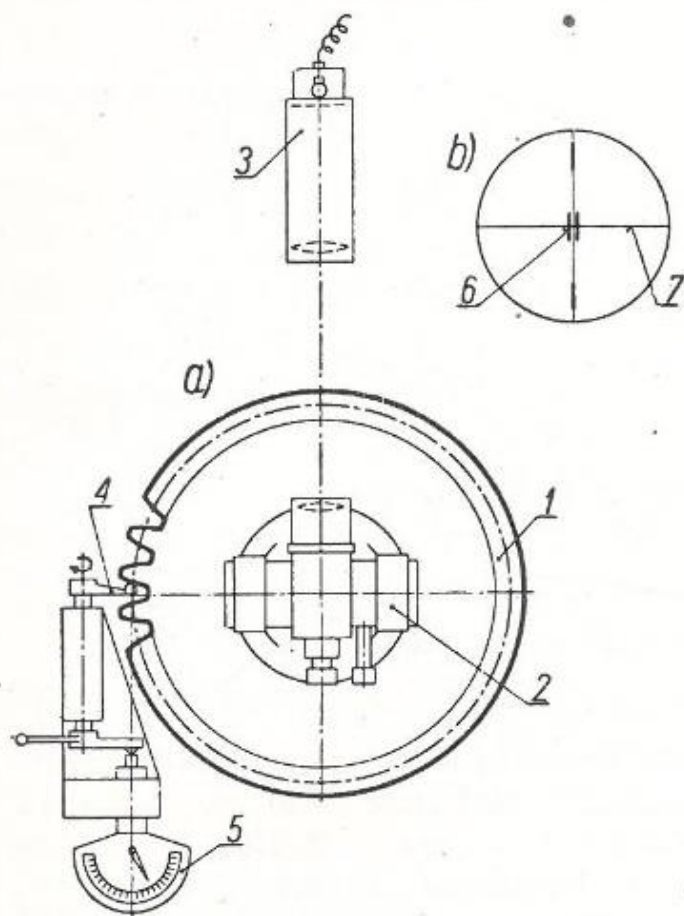
Do pomiaru sumarycznego błędu podziałek mogą służyć przyrządy przedstawione na rys. 107 i 108.

Dokładny pomiar zarówno pojedynczej podziałki, jak również sumarycznego błędu podziałek można przeprowadzić przy użyciu teodolitu

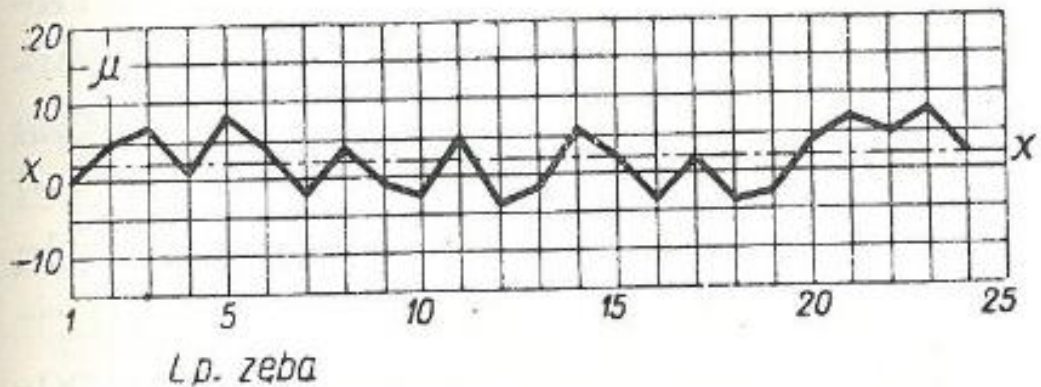


Rys. 110. Pomiar dokładności podziałki ślimacznicy w stole 3 frezarki obwodniowej przy pomocy teodolitu 2 i kolimatora 1

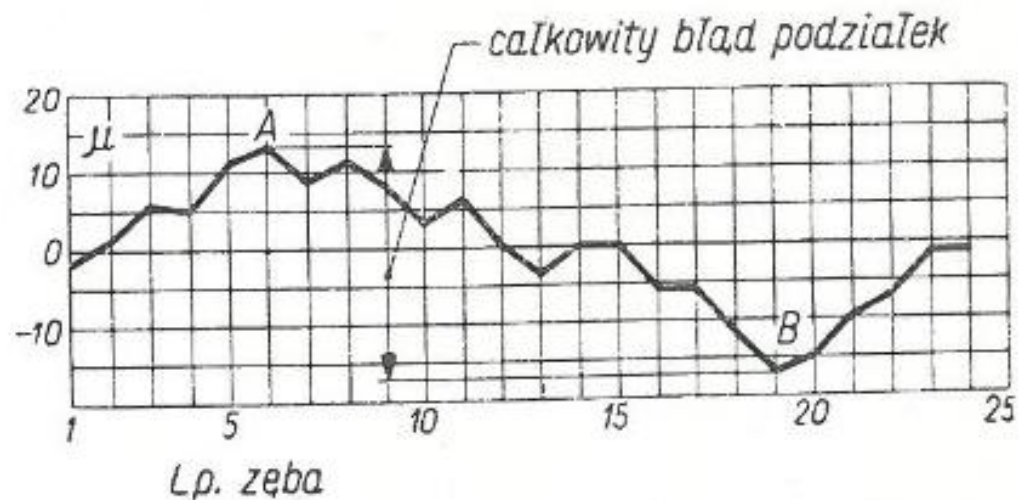
czym oś teodolitu nie musi się dokładnie pokrywać z osią obrotu stołu. Jeden bok zęba sprawdzanego koła opiera się o odchylną dźwignię 4, która z drugiej strony dotyka nóżki czujnika 5. Przez obrót stołu z kołem doprowadza się wskazówkę czujnika w położenie zerowe. Następnie



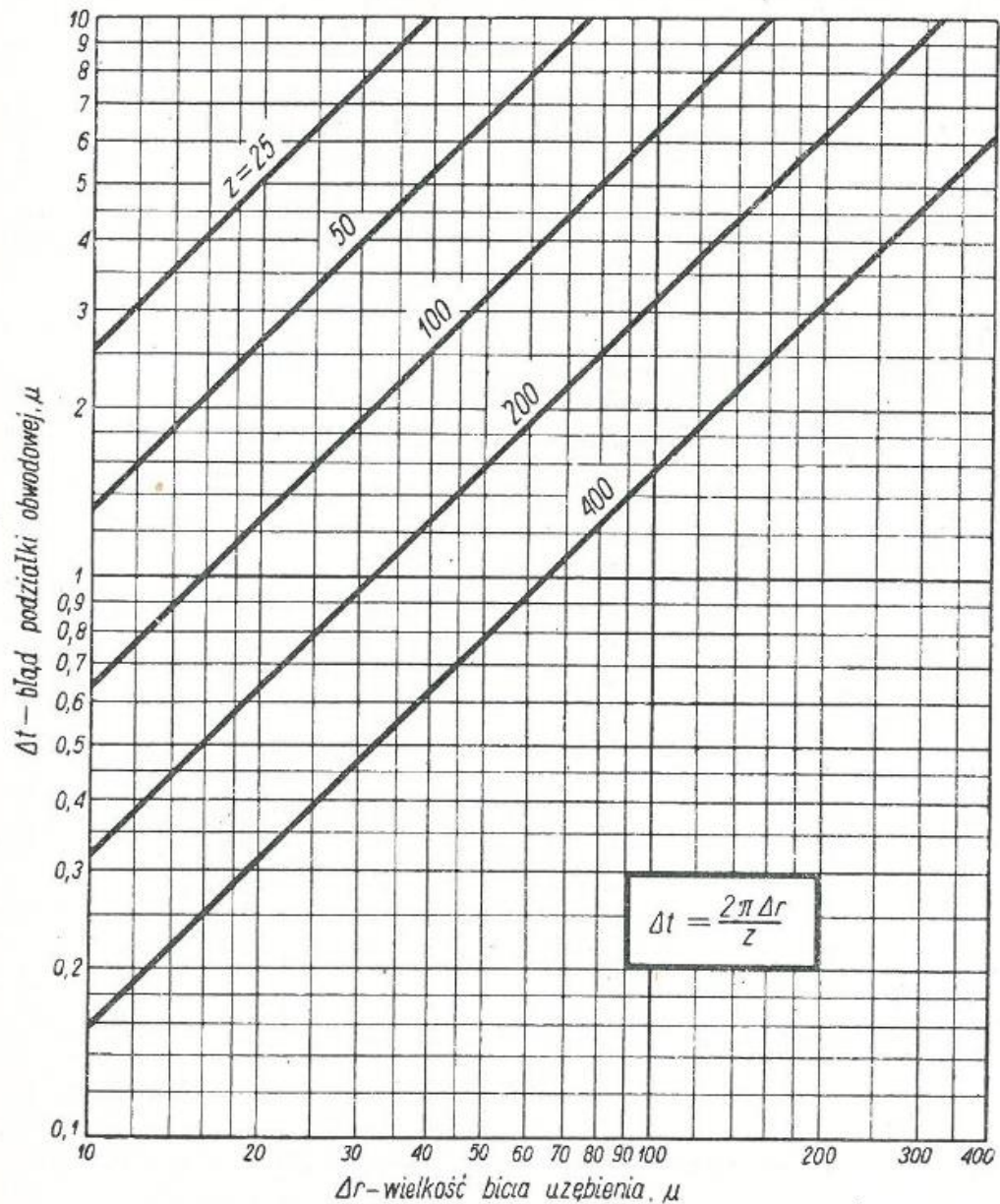
Rys. 109. Pomiar podziałki przy pomocy teodolitu i kolimatora; 1 — sprawdzane koło, 2 — teodolit, 3 — kolimator, 4 — dźwigienka, 5 — czujnik, 6 — podwójne kreski w lunecie teodolitu, 7 — krzyż pajęczy w lunecie kolimatora



Rys. 111. Wykres błędów poszczególnych podziałek. Linia X—X — przeciętny błąd podziałek

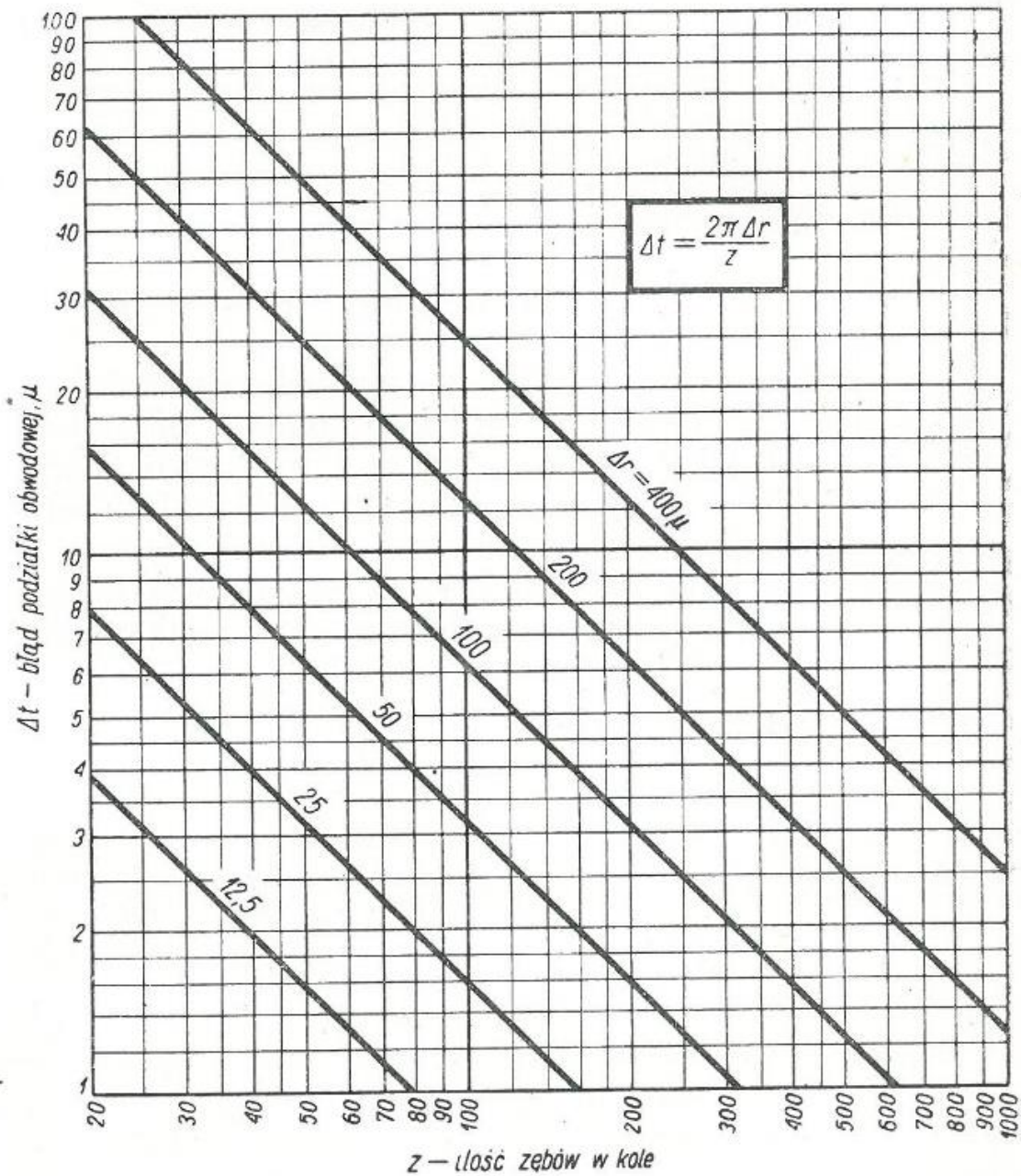


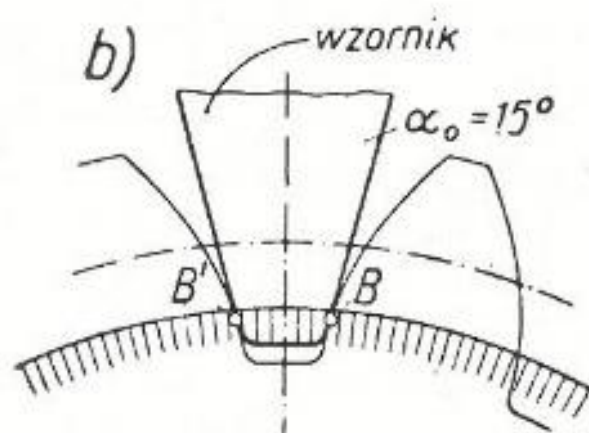
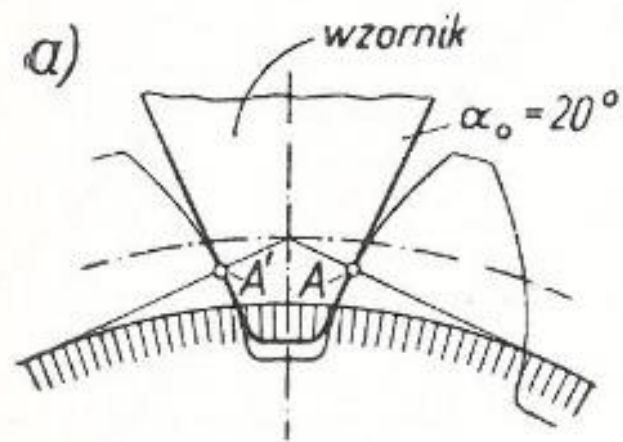
Rys. 112. Wykres sumarycznych błędów podziałek



Rys. 113.  
Wpływ wielkości bicia  
uzębienia na wielkość  
błędu podziałki obwo-  
dowej przy różnych  
ilościach zębów w spraw-  
dzanym kole

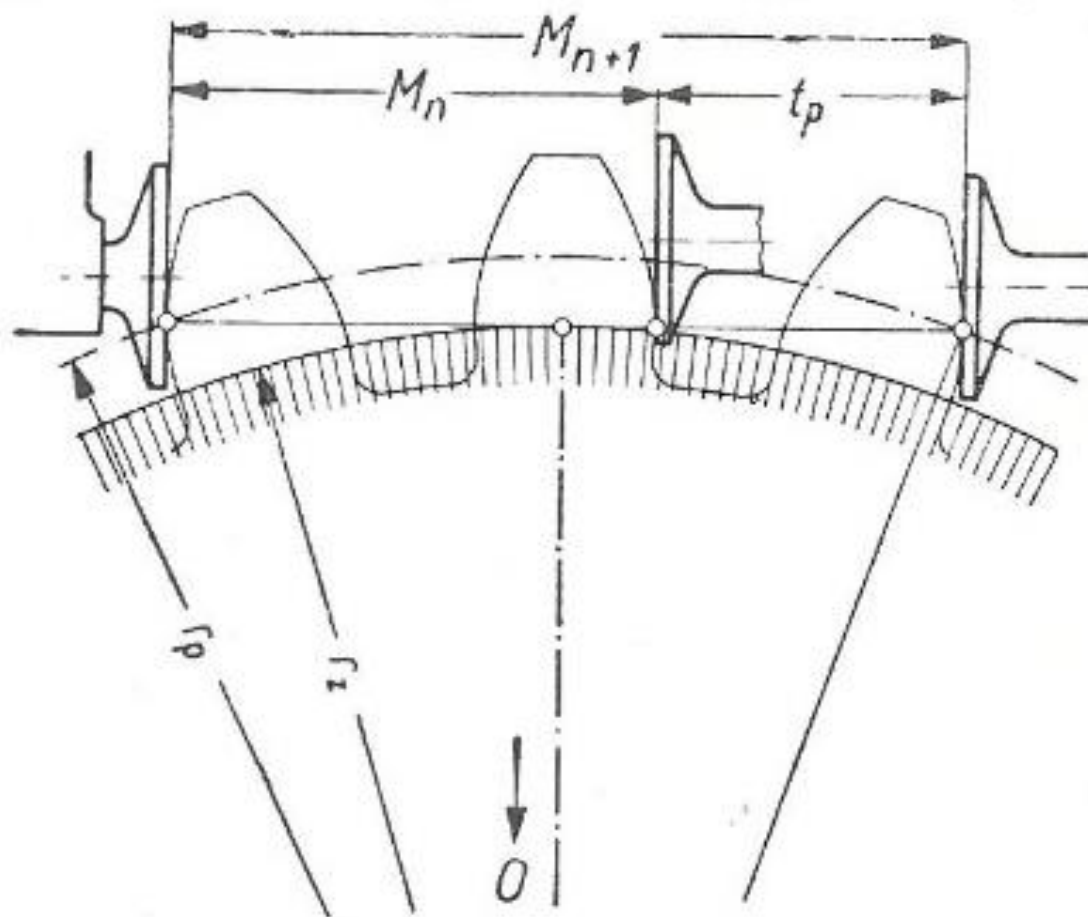
Rys. 114.  
 Wpływ ilości zębów  
 w sprawdzanym kole  
 na wielkość błędu  
 podziałki obwodowej  
 przy różnych wielkoś-  
 ciach bicia uzębienia



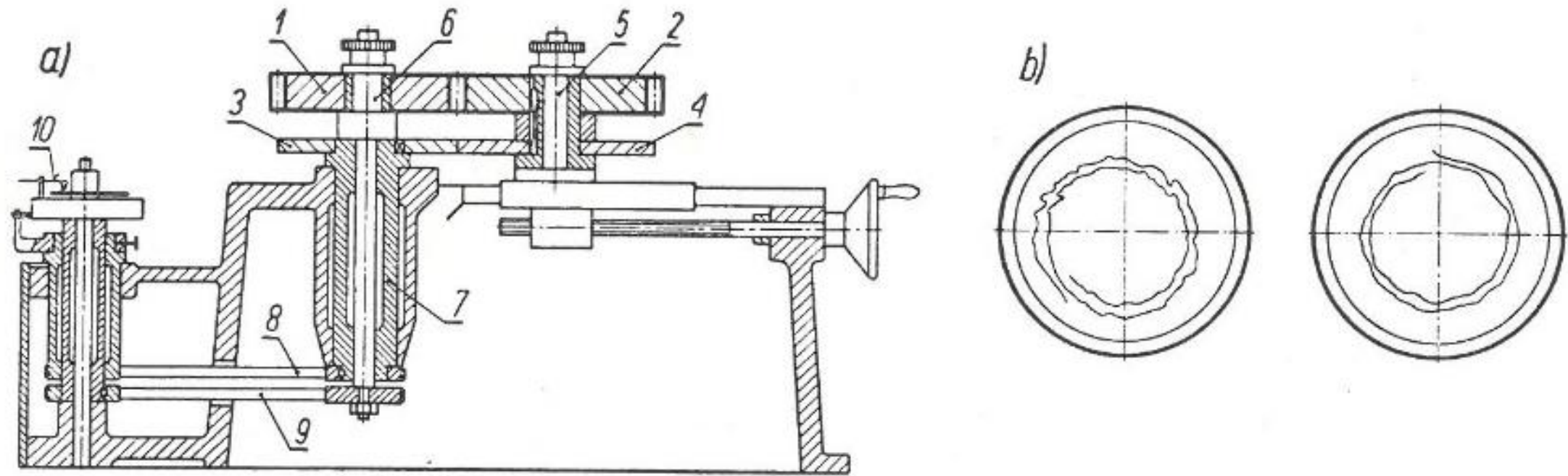


Rys. 115.  
Sprawdzanie nominalnego  
kąta przyporu za pomocą  
wzorników



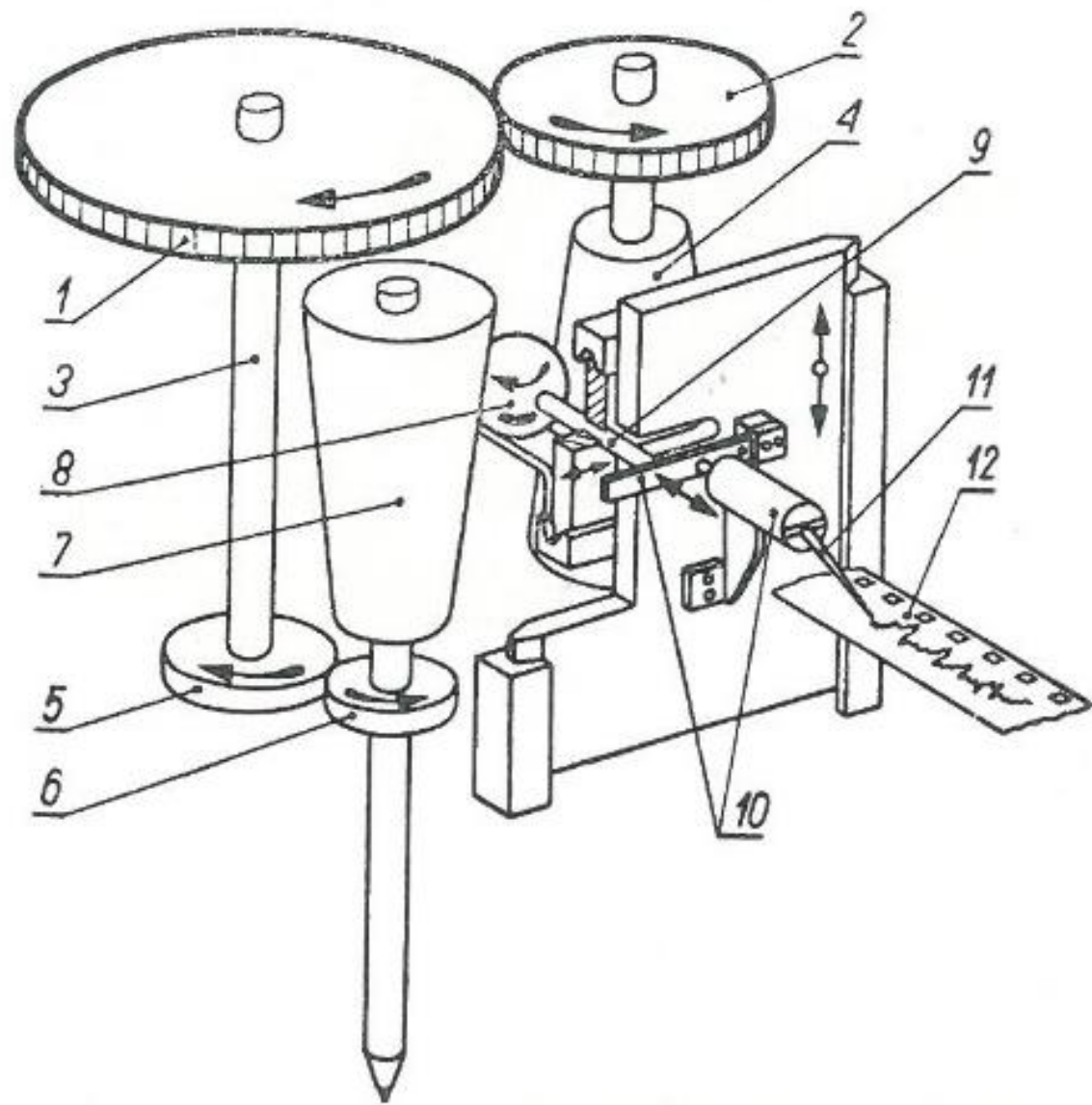


Rys. 116. Wielkość podziałki zasadniczej jako wynik pomiaru przez  $n + 1$  i  $n$  zębów.

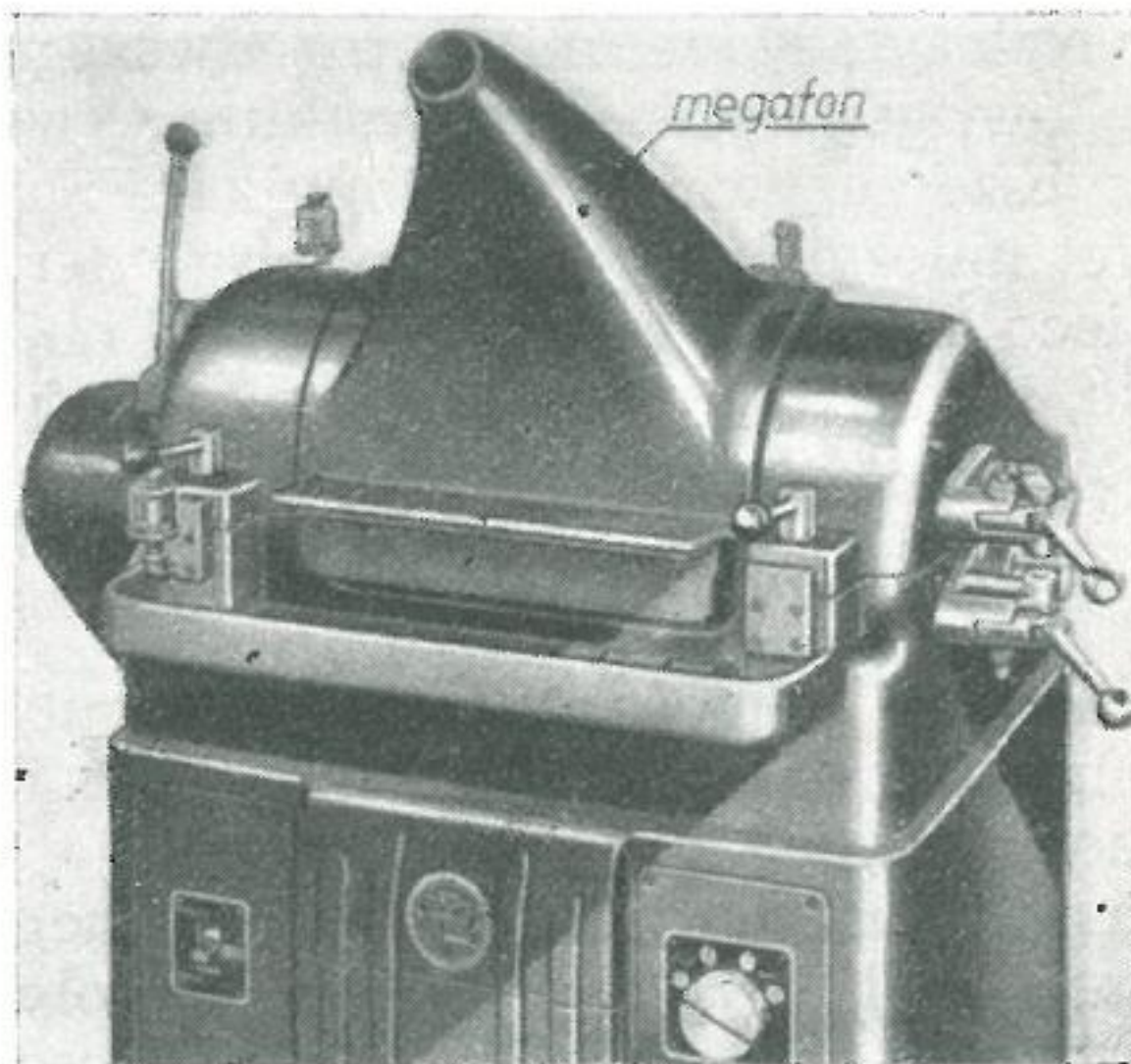


Rys. 117. Przyrząd do sprawdzania jednostronnej współpracy f. Saurer, Arbon (Szwajcaria); 1 — sprawdzane koło, 2 — koło wzorcowe, 3 — tarcza toczna, 4 — tarcza toczna, 5 — nieruchomy trzpień, 6 — trzpień obrotowy, 7 — tuleja obrotowa, 8 i 9 — taśmy stalowe, 10 — przyrząd rejestrujący

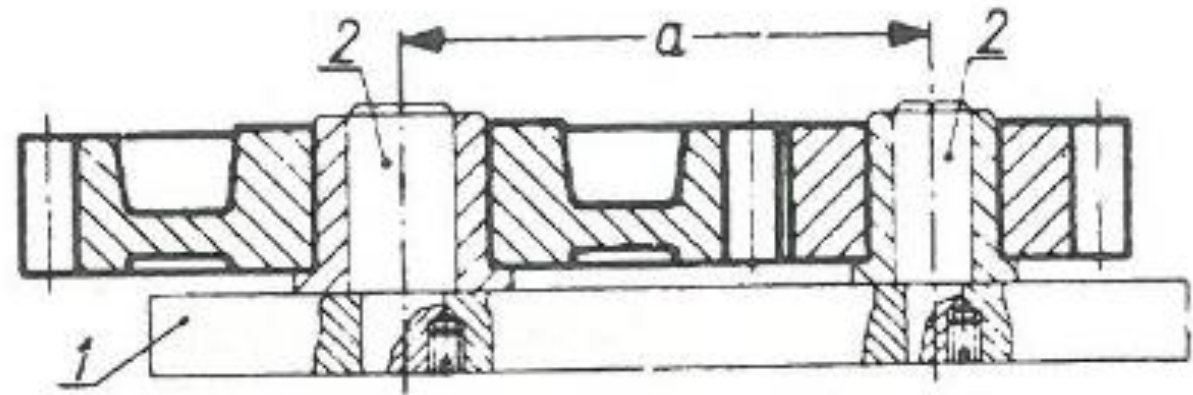
Rys. 118.  
 Przyrząd do sprawdzania jednostronnej  
 współpracy f. ZF, Friedrichshafen;  
 1 — sprawdzane koło, 2 — koło wzorcowe,  
 3 — trzpień, 4 — trzpień, 5 i 6 — tarcze  
 toczone, 7 — bęben stożkowy, 8 — kula,  
 9 — palec, 10 — układ dźwigniowy,  
 11 — rysik, 12 — taśma wykresowa

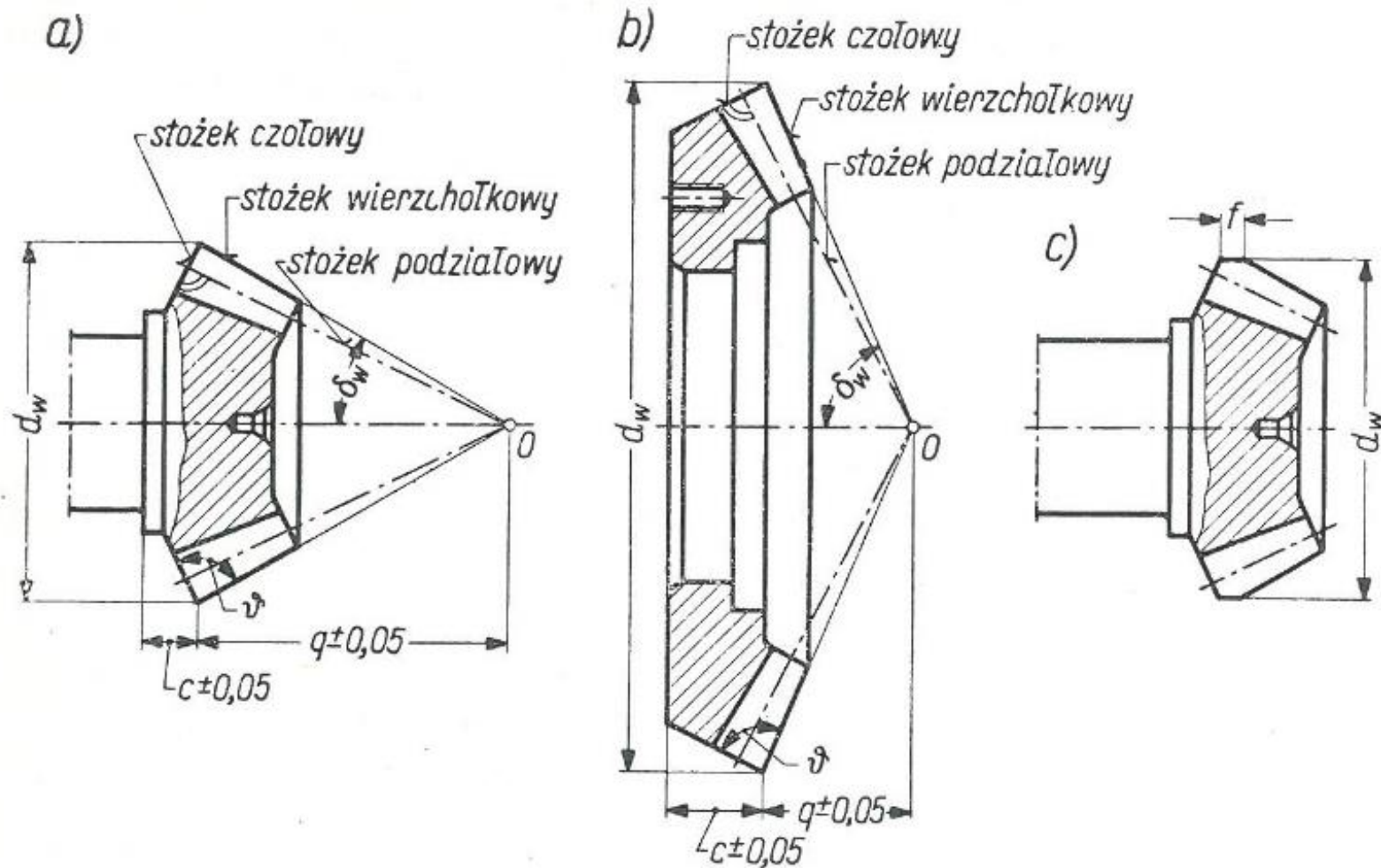


Rys. 124  
Maszyna do sprawdzania  
cichobieżności kół zębatach  
w wykonaniu f. National  
Broach Machine Co.

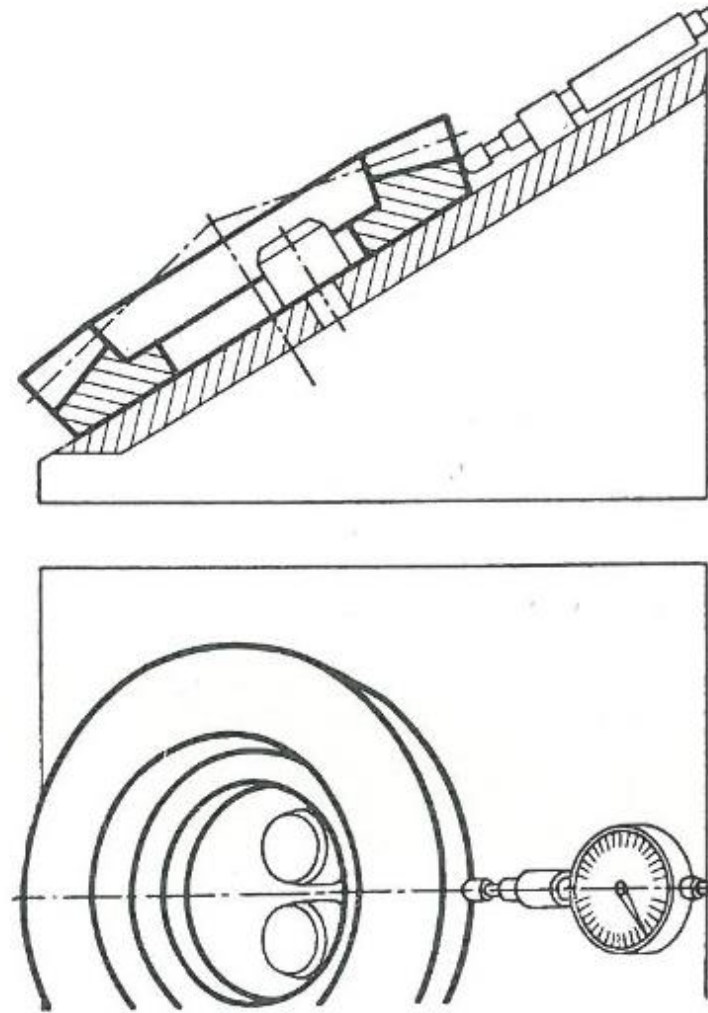


Rys. 125.  
Przyrząd działania do  
sprawdzania współpracy  
pary kół

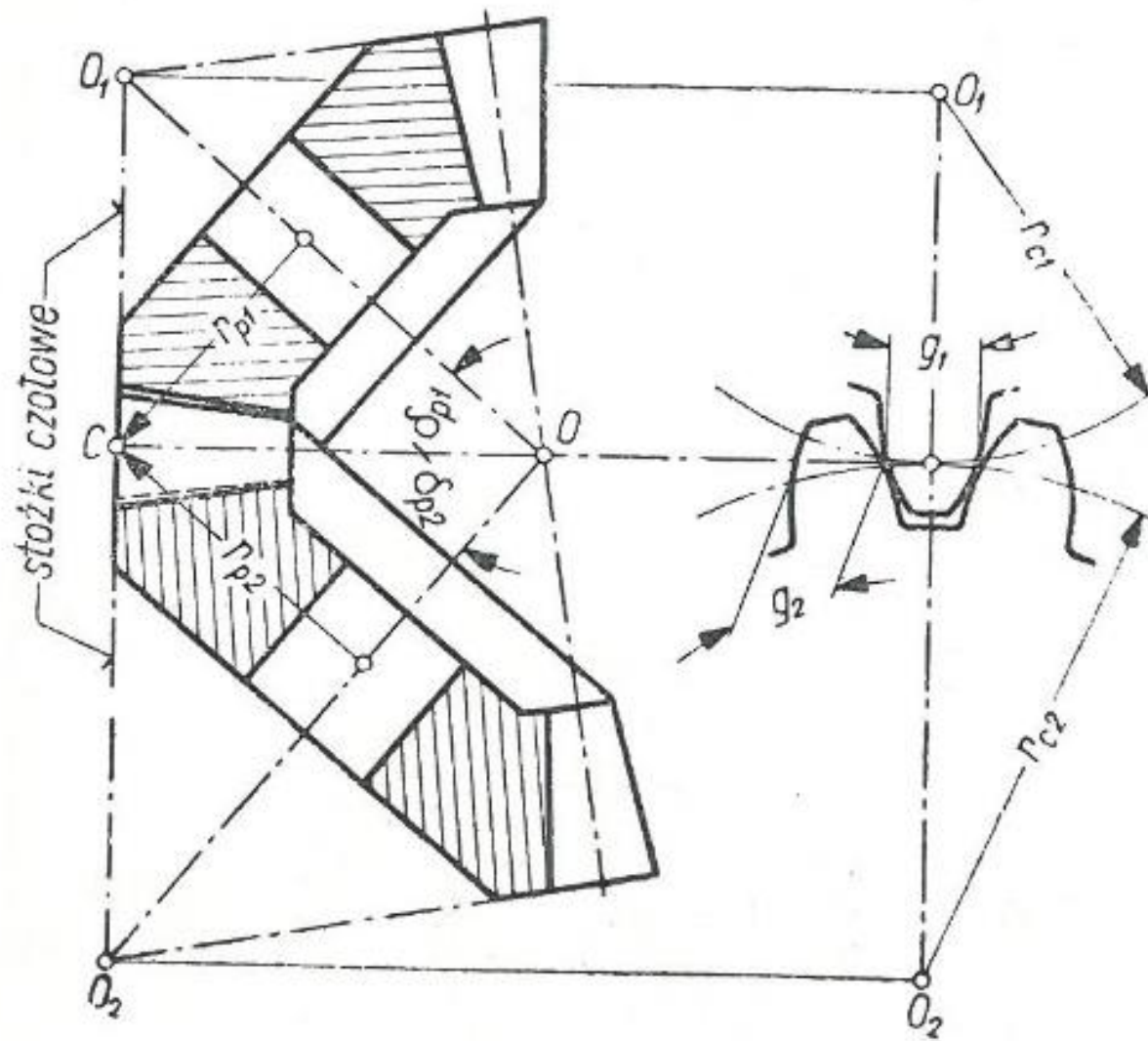




Rys. 126. Koła zębate stożkowe z głównymi wymiarami pomiarowymi

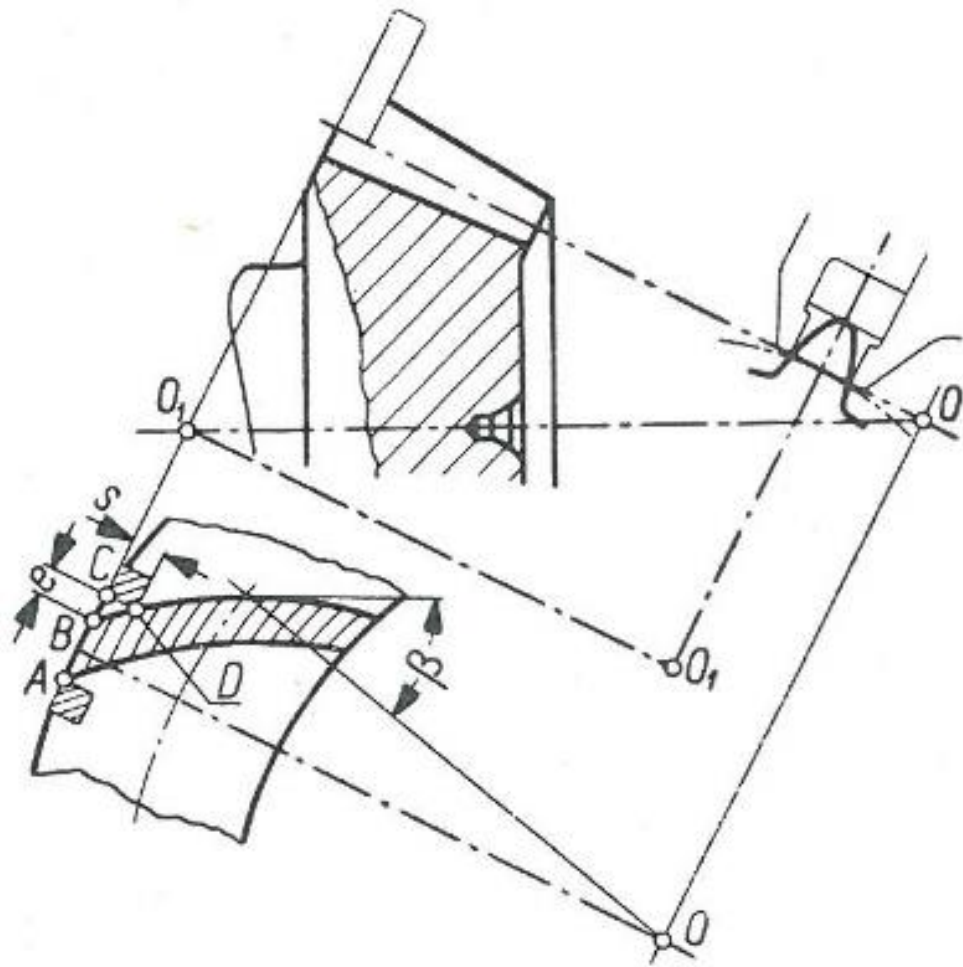


Rys. 127. Sprawdzanie bicia stożka czołowego



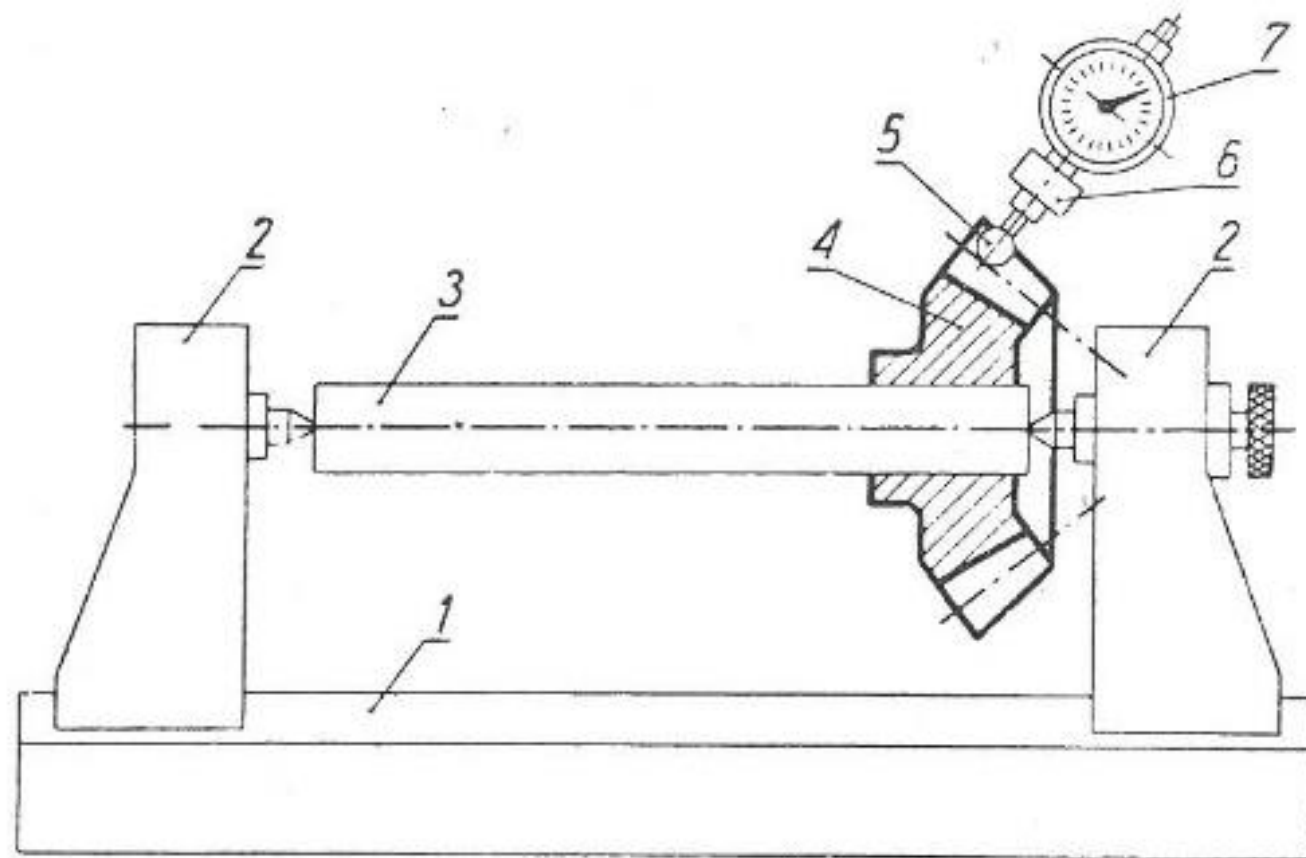
Rys. 128.  
Grubości zębów na  
czołowej powierzchni  
przekładni stożkowej

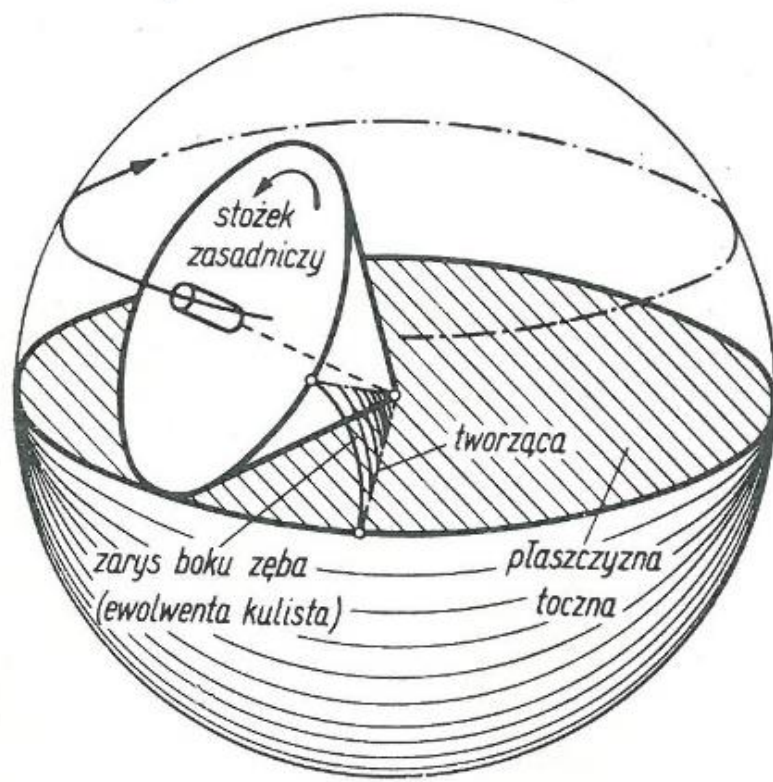




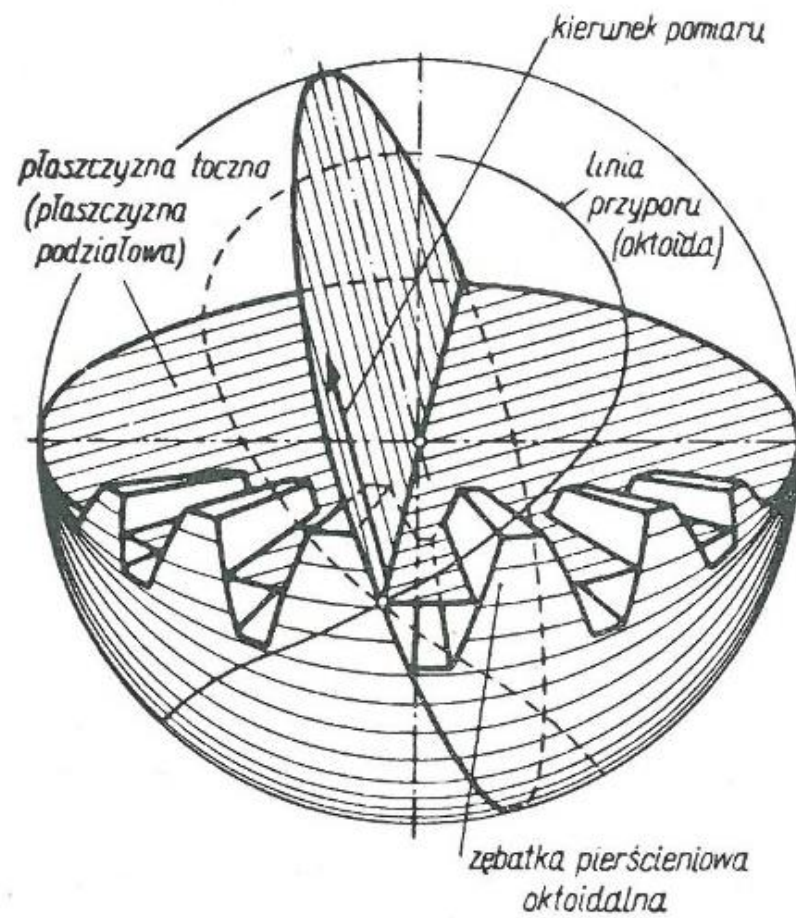
Rys. 130. Błędy pomiaru grubości zęba łukowego w stożkowym kole zębatym przy użyciu suwmiarki modułowej

Rys. 131.  
Sprawdzanie bicia uzębienia  
w stożkowym kole zębatym





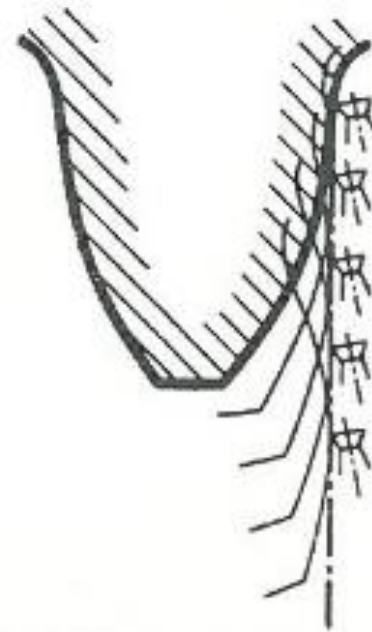
Rys. 133. Zasada powstawania kulistego uzębienia ewolwentowego w stożkowym kole zębatym

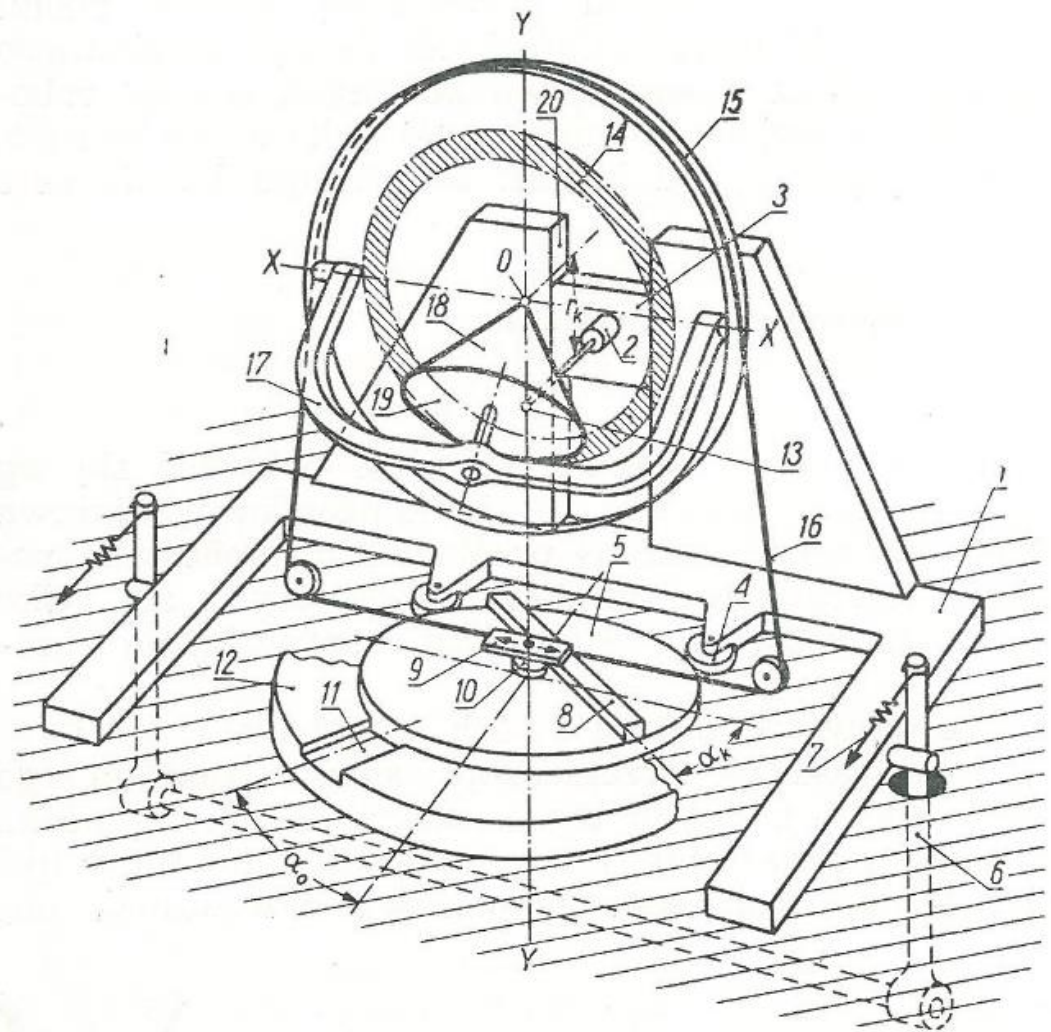


Rys. 134. Pierścieniowa zębatka o uzębieniu oktoidalnym

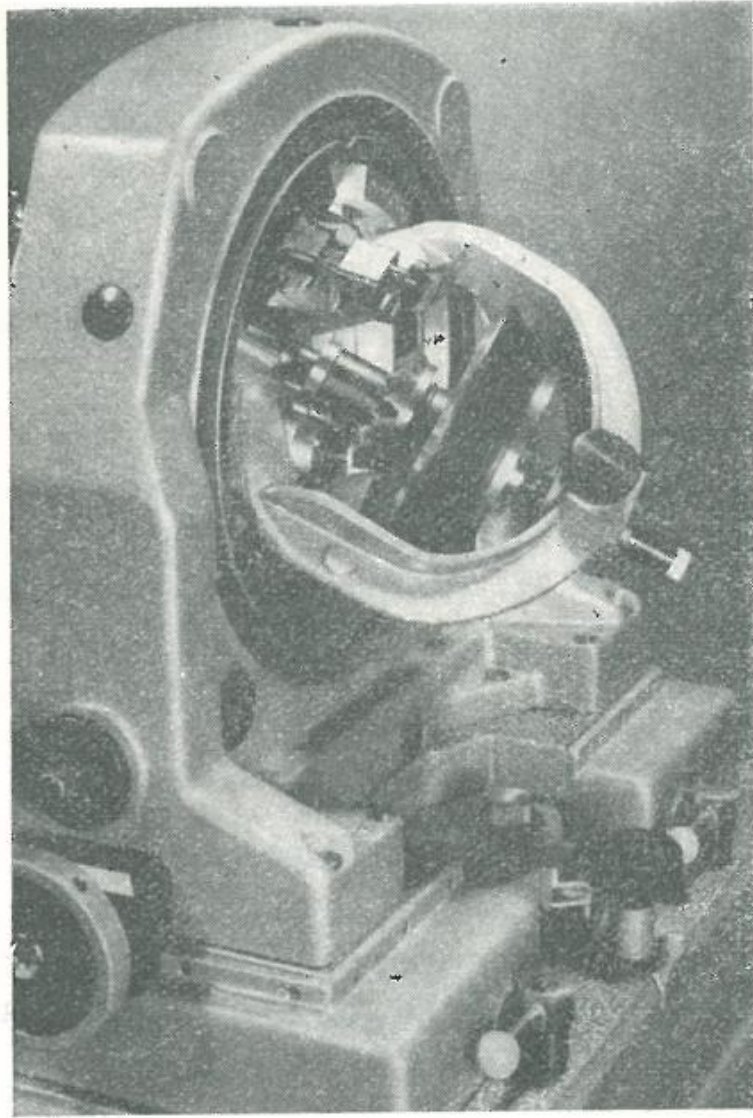
Rys. 135.

Sprawdzanie zarysu boku zęba koła stożkowego przez przesuwanie końcówki pomiarowej wzdłuż linii stanowiącej bok zęba zębátky pierścieniowej podczas przetaczania się koła sprawdzanego po zębacie pierścieniowej (tarczy tocznej)

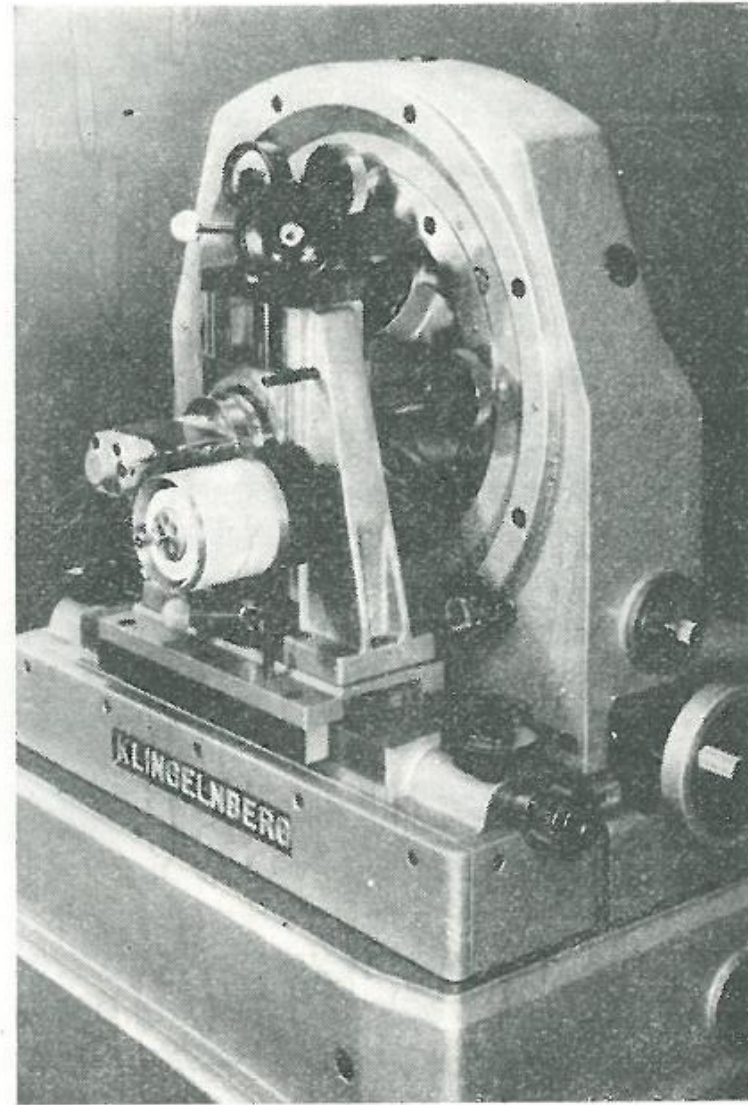




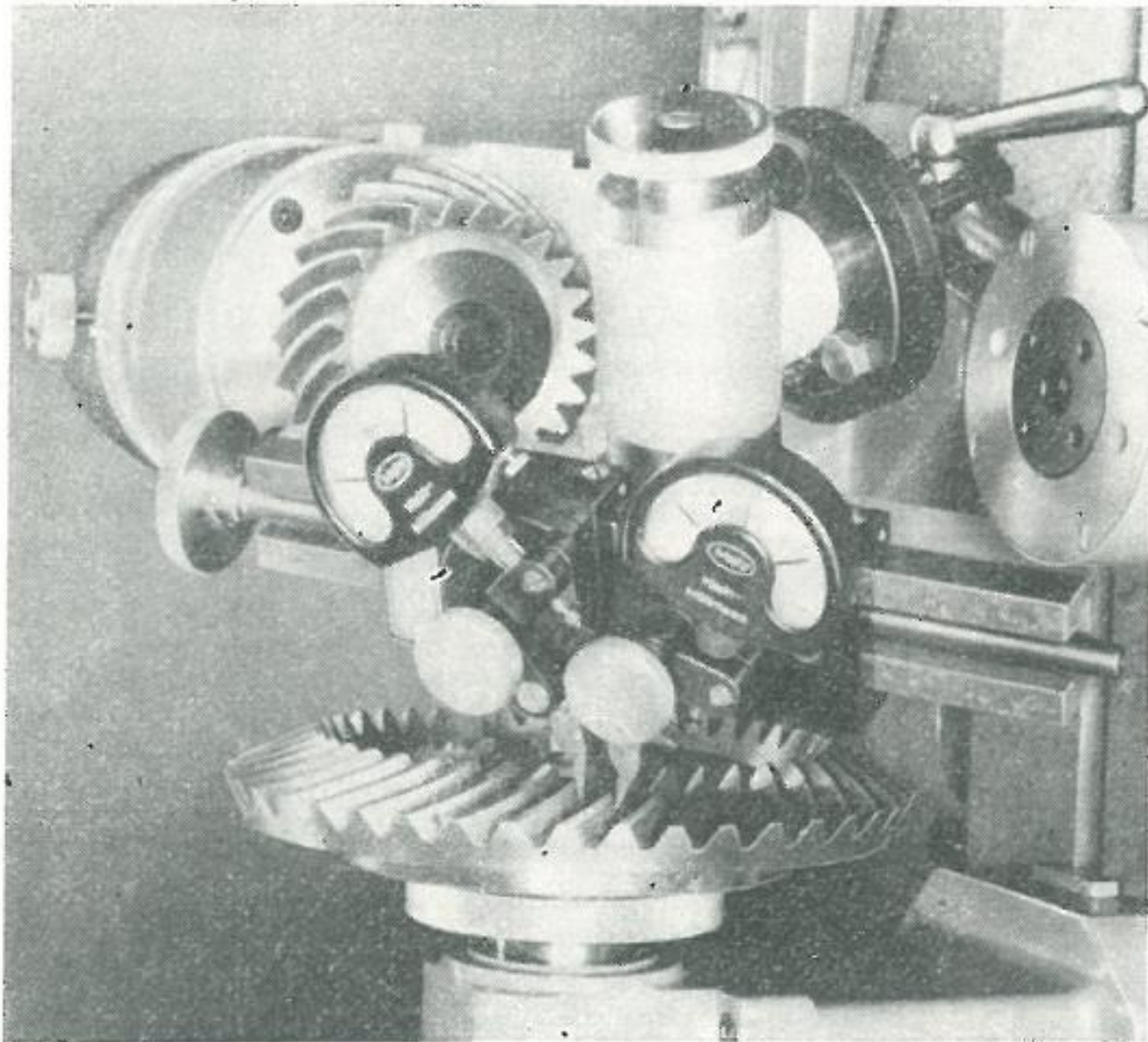
Rys. 136. Zasada działania przyrządu pomiarowego do sprawdzania prawidłowości zarysu boku zęba w stożkowym kole zębatym wyrobu, f. Klingelnberg



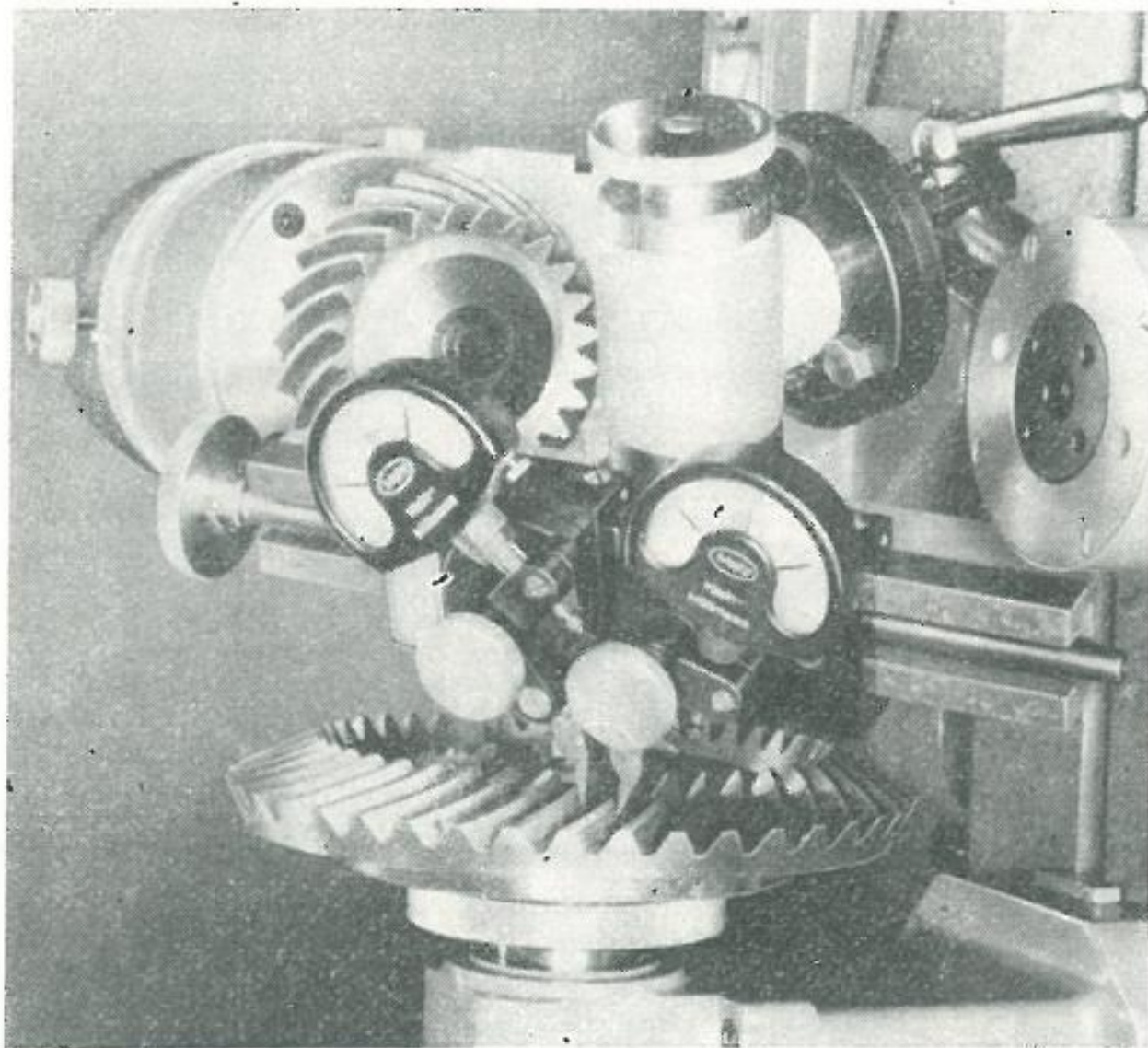
Rys. 137. Przyrząd pomiarowy z rys. 136,  
widok z przodu



Rys. 133. Przyrząd pomiarowy z rys. 136,  
widok z tyłu



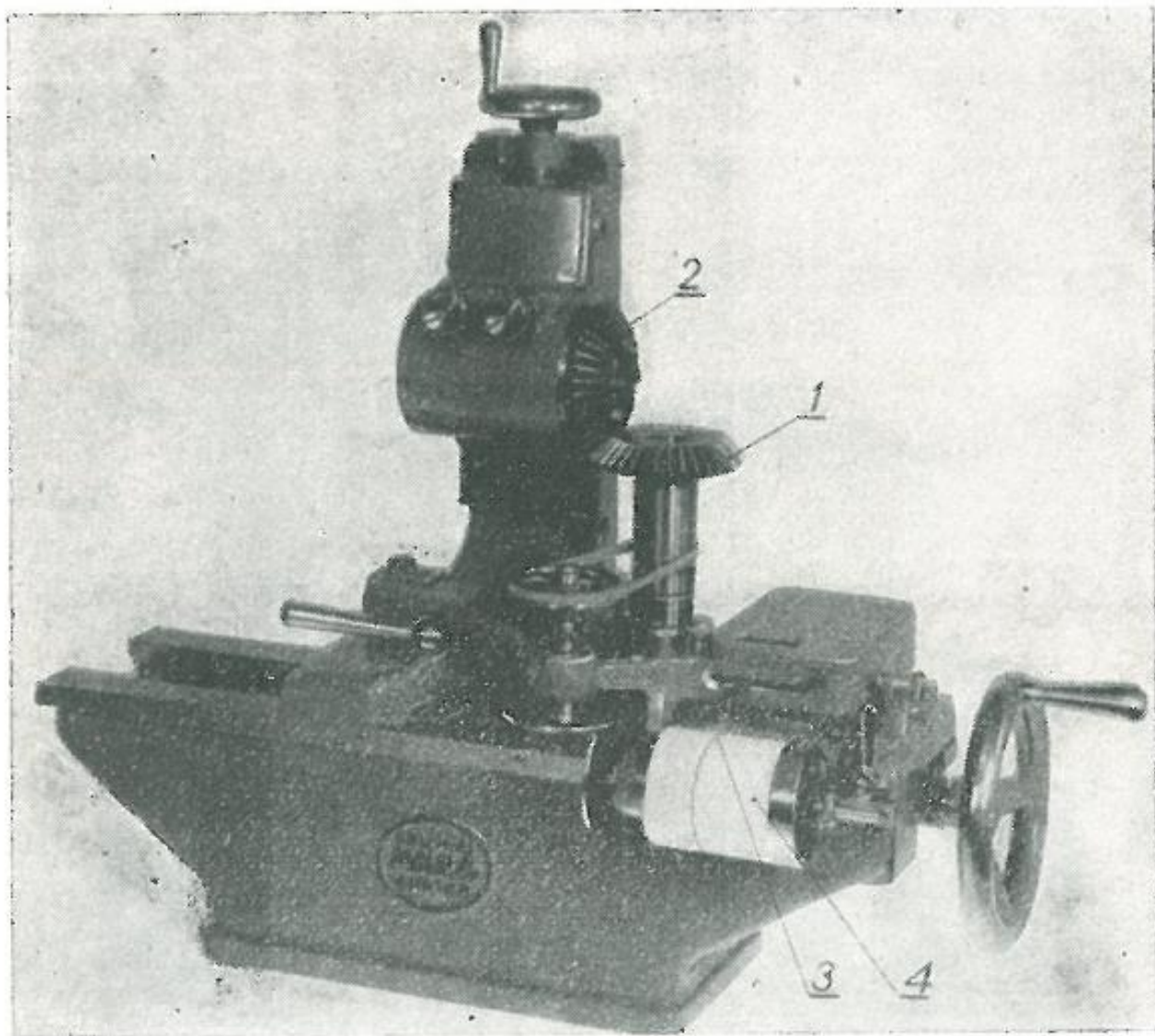
Rys. 139.  
Sprawdzanie podziałki  
na przyrządzie stałym  
f. Klingelnberg

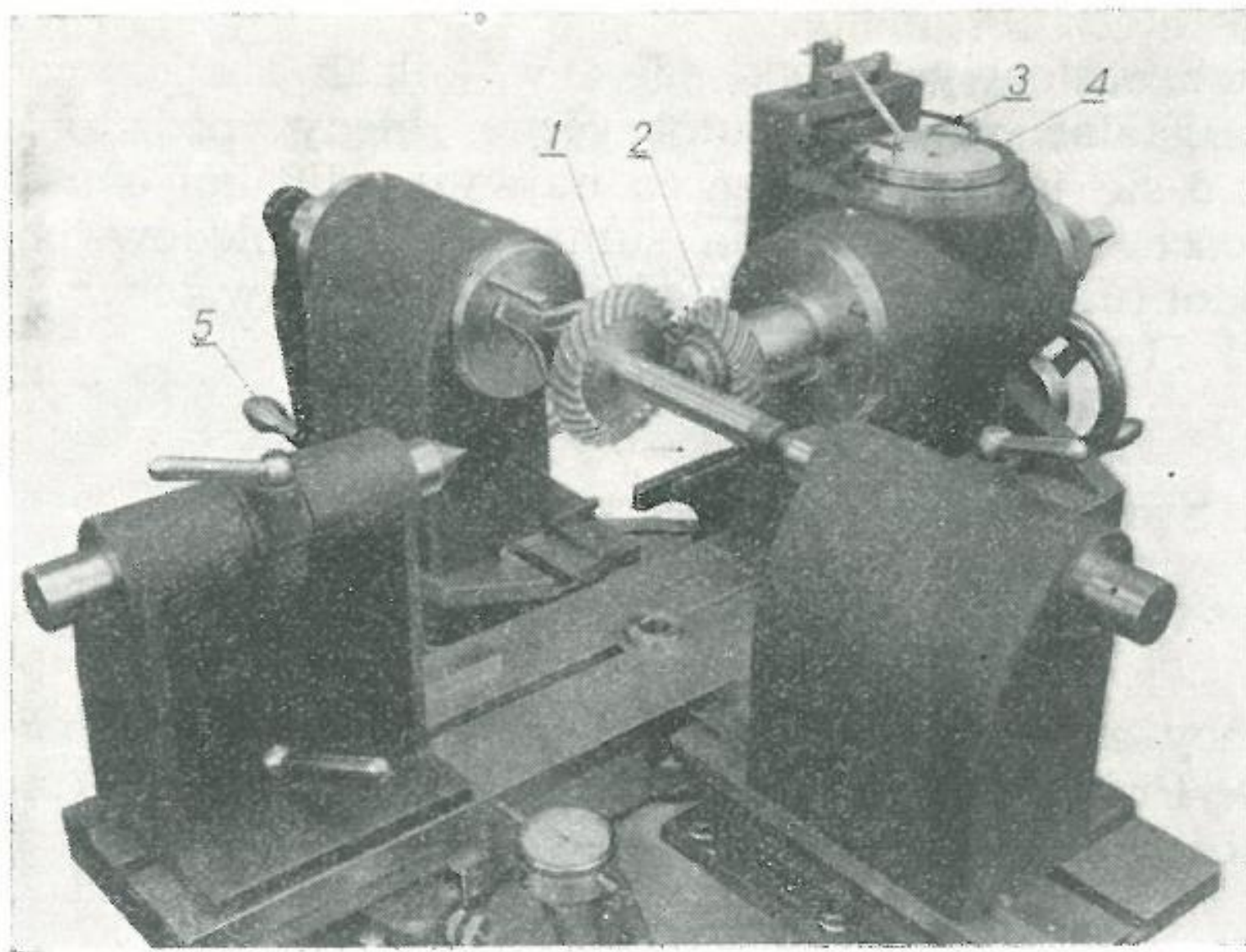


Rys. 139.  
Sprawdzanie podziałki  
na przyrządzie stałym  
f. Klingelnberg

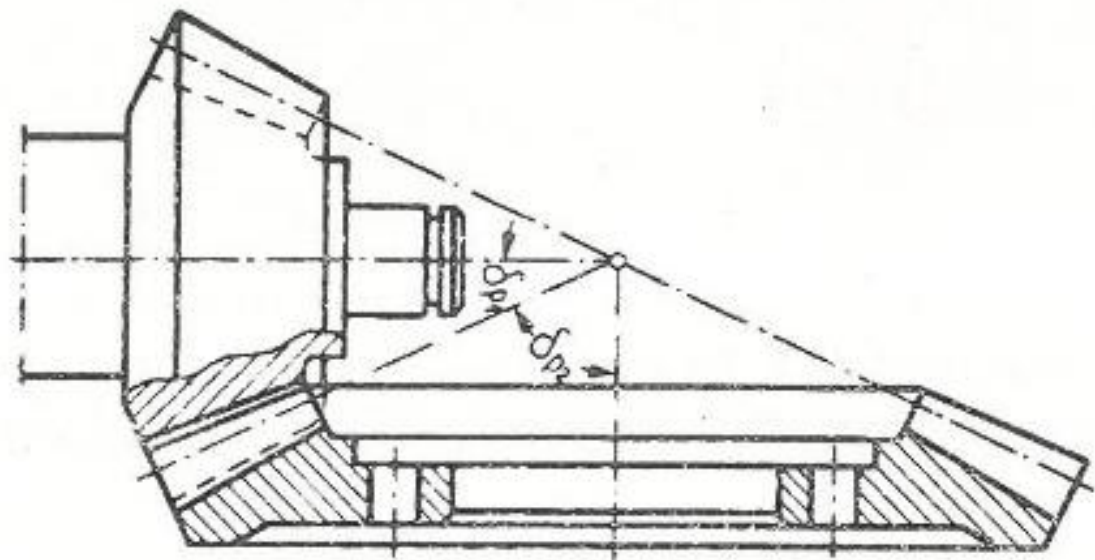


Rys. 141.  
Przyrząd w wykonaniu  
f. Maag (porównaj  
rys. 119) do sprawdza-  
nia współpracy

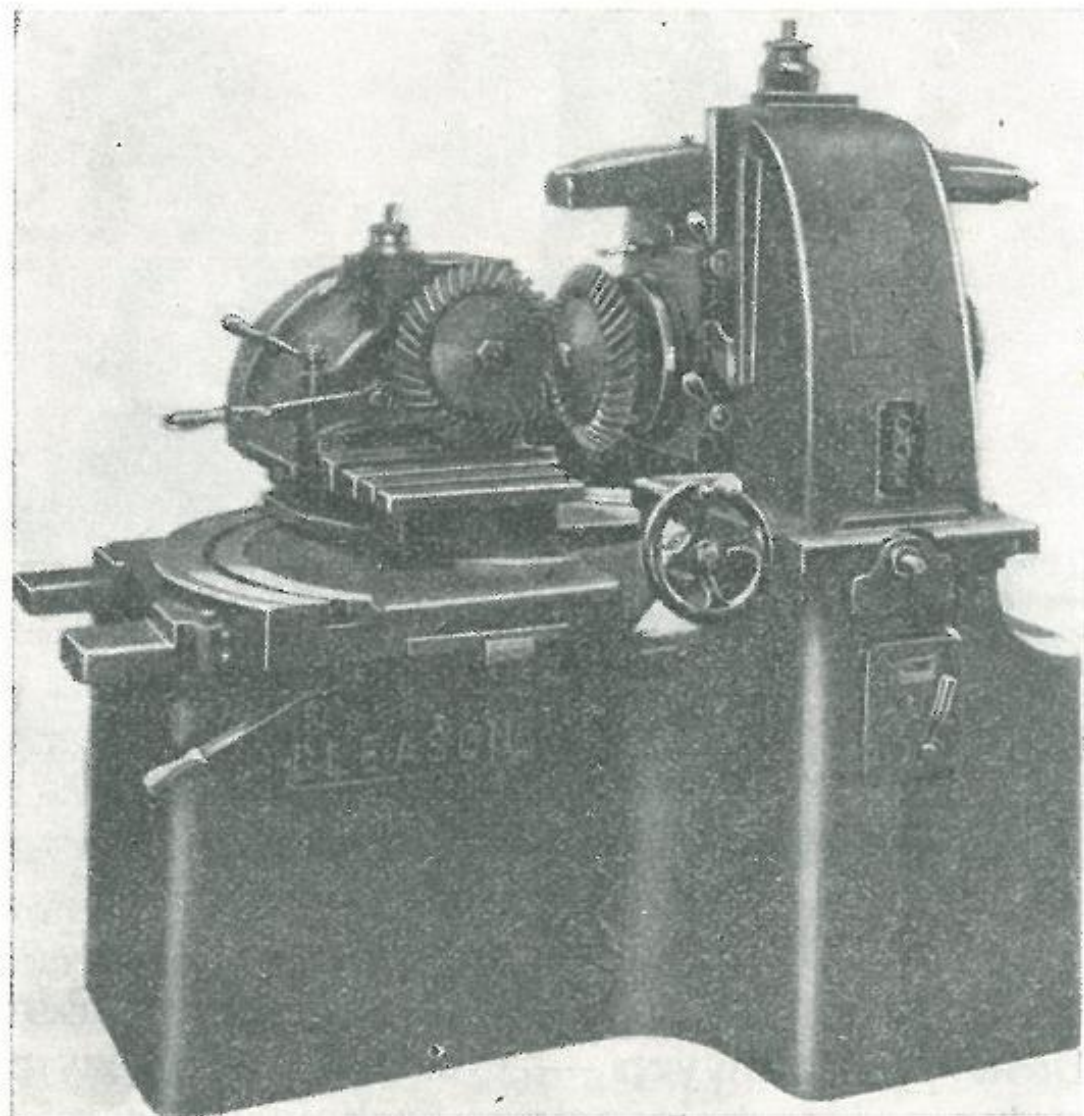




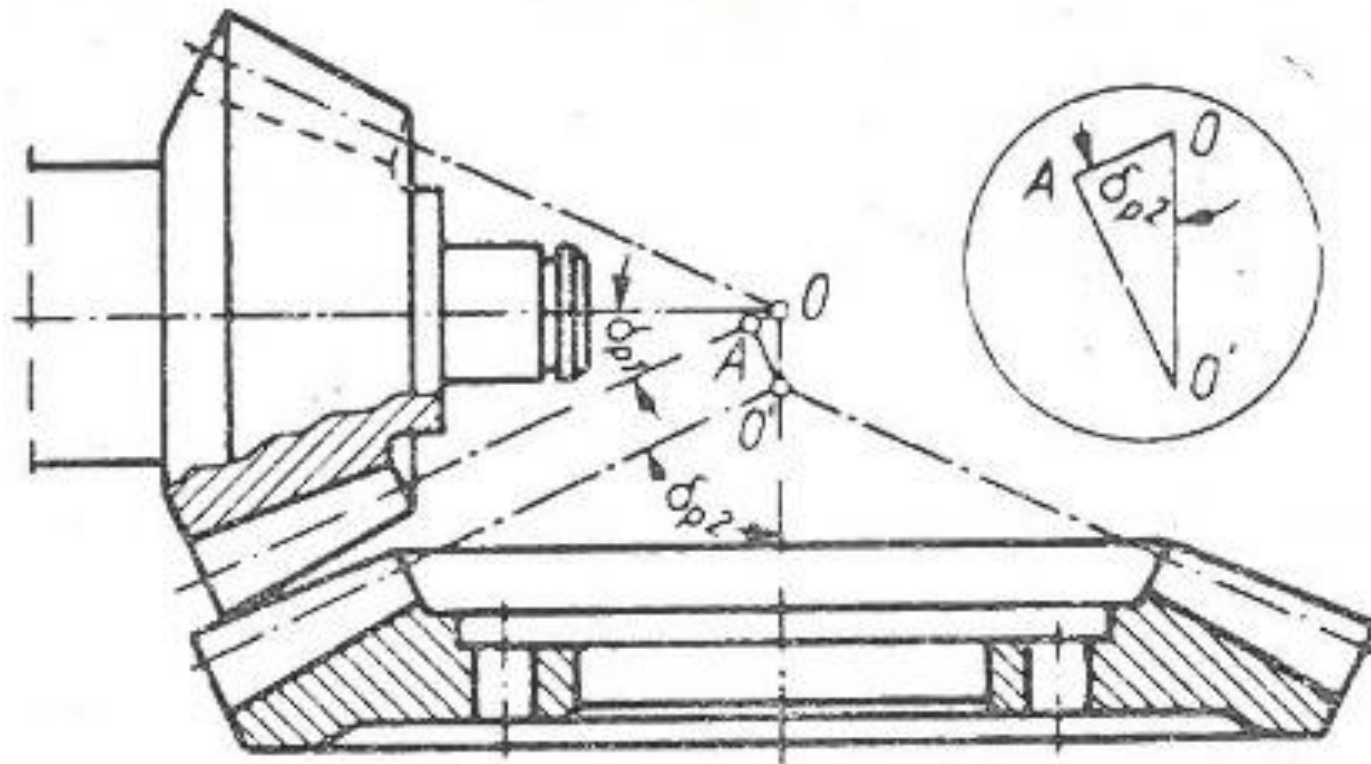
Rys. 142.  
Przyrząd w wykonaniu  
f. Klingelnberg  
do sprawdzania współ-  
pracy stożkowych kół  
zębanych



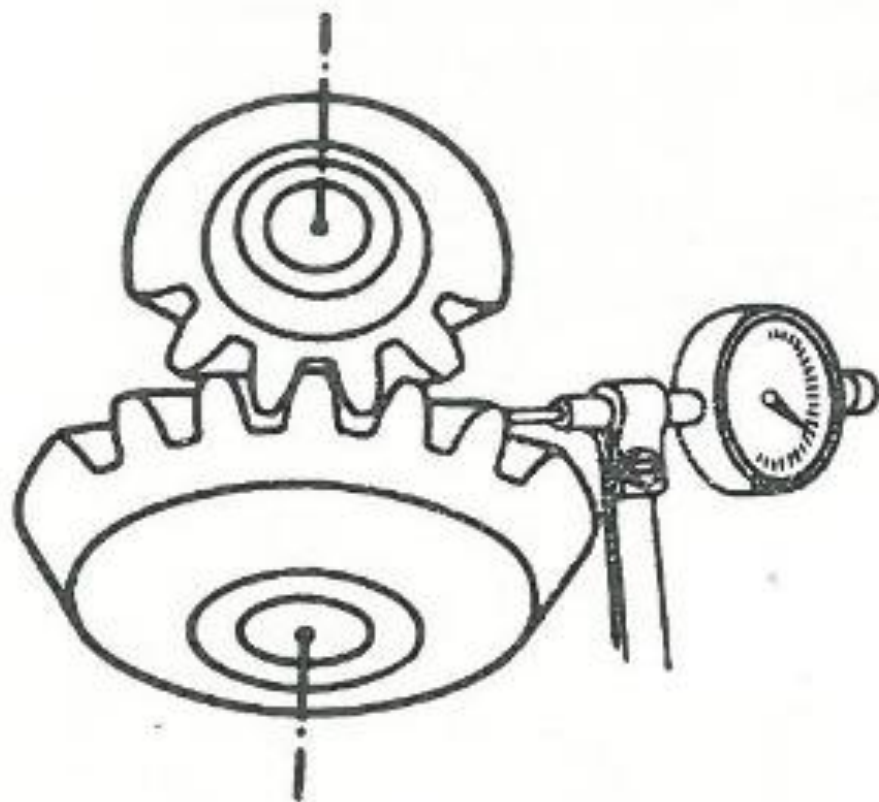
Rys. 143.  
Początkowe położenie kół przy  
ustawianiu przyrządów do  
sprawdzania współpracy, czoła  
kół „licują” ze sobą



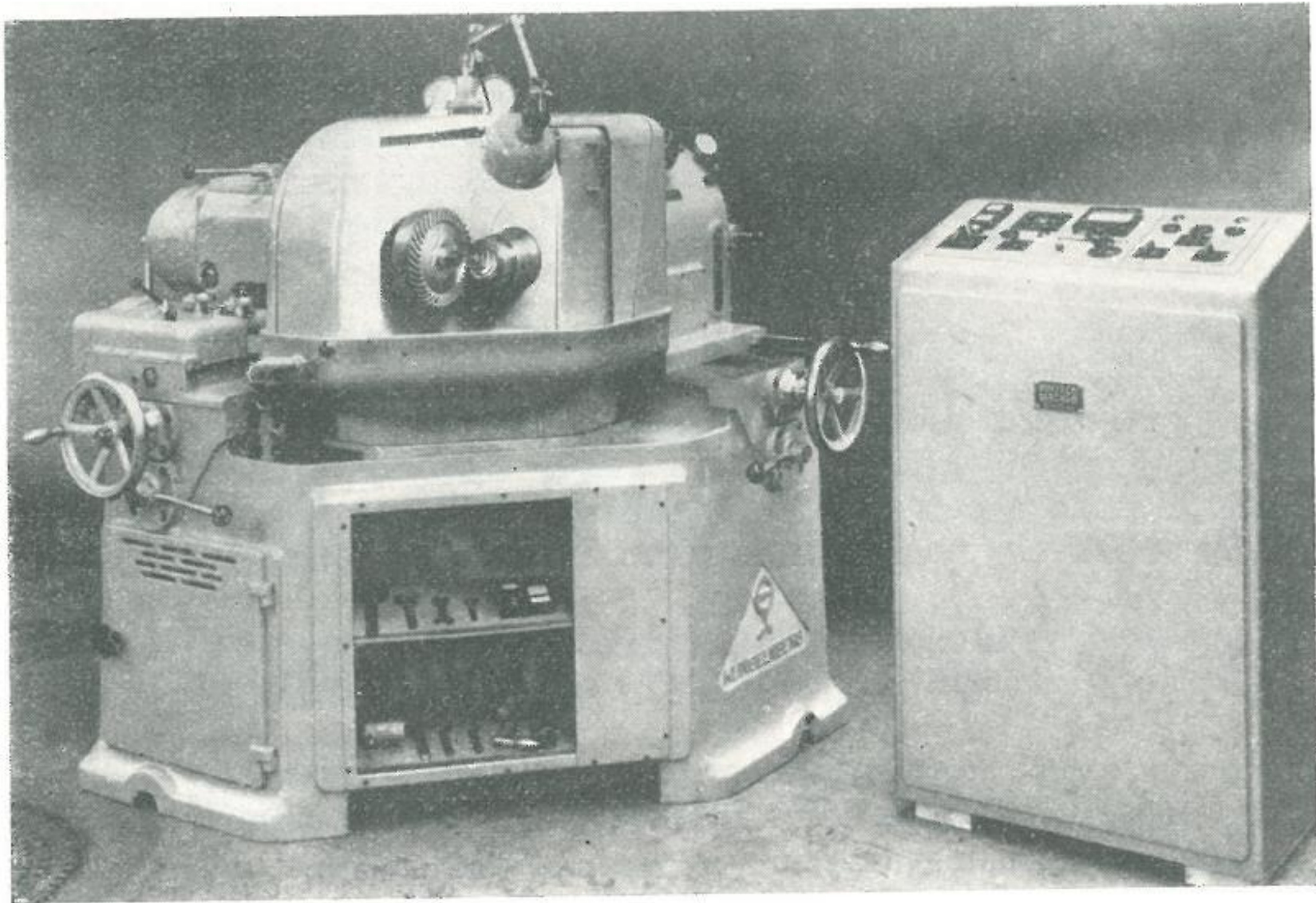
Rys. 144.  
Przyrząd do sprawdzania  
współpracy w wykonaniu  
f. Gleason



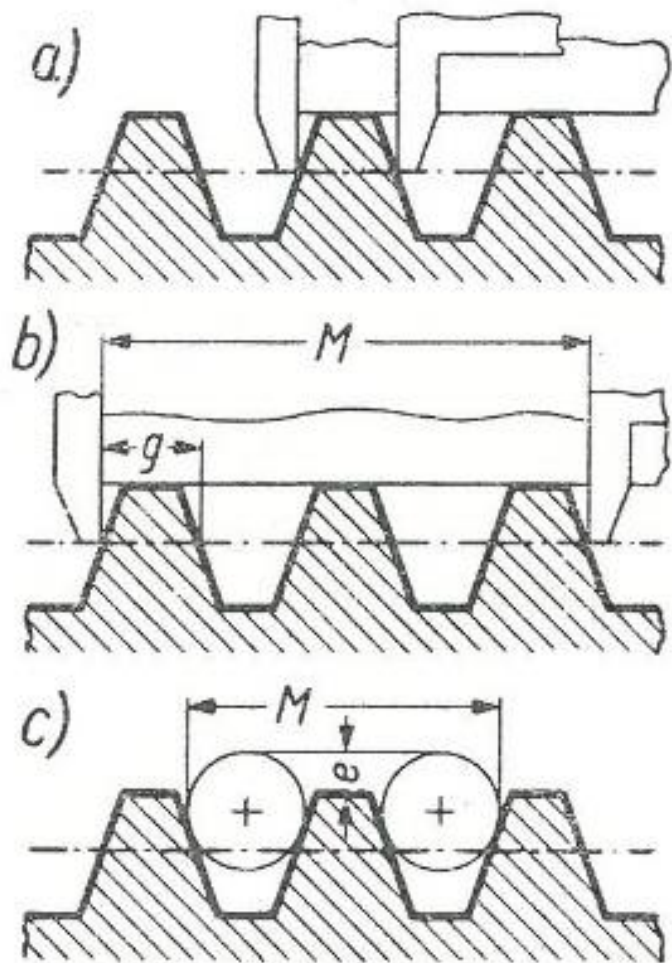
Rys. 145. Pomiar sumy wysokości głów zębów współpracujących kół zębatych stożkowych



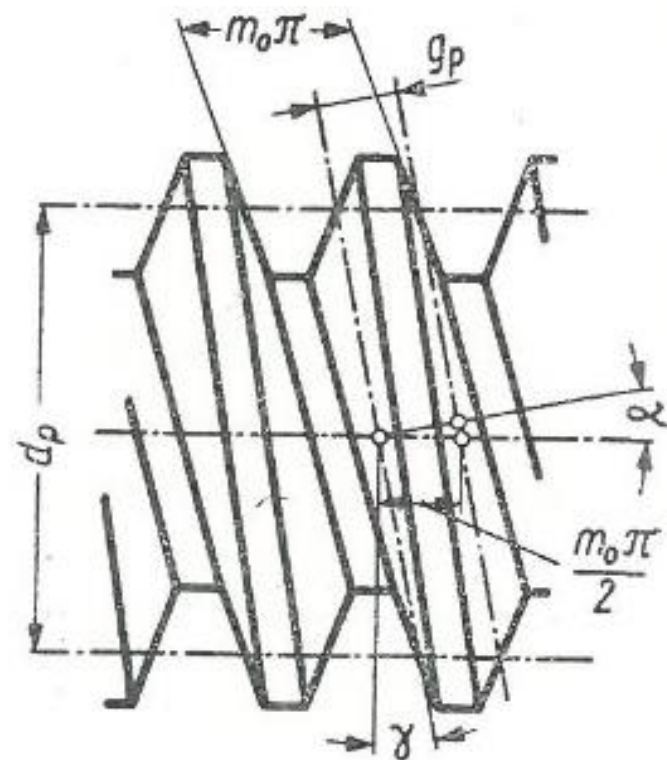
Rys. 146. Pomiar wielkości luzu międzyzębnego przy użyciu czujnika



Rys. 148. Maszyna do sprawdzania cichobieżności w wykonaniu f. Klingelberg

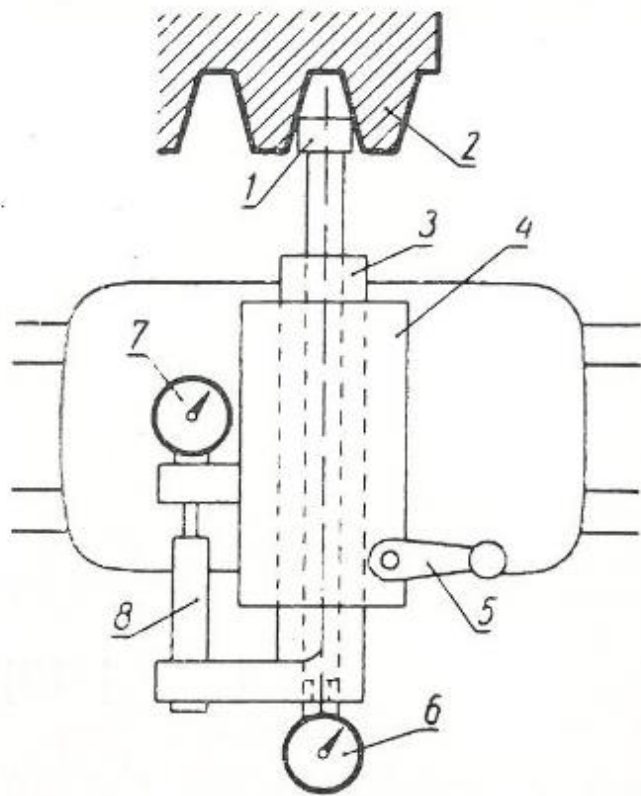


Rys. 149.  
Trzy sposoby pomiaru grubości zęba ślimaka: a) przy pomocy suwmiarki modułowej — pomiar jednego zęba, b) przy pomocy suwmiarki modułowej — pomiar przez kilka zębów, c) pomiar przy pomocy wałków kontrolnych

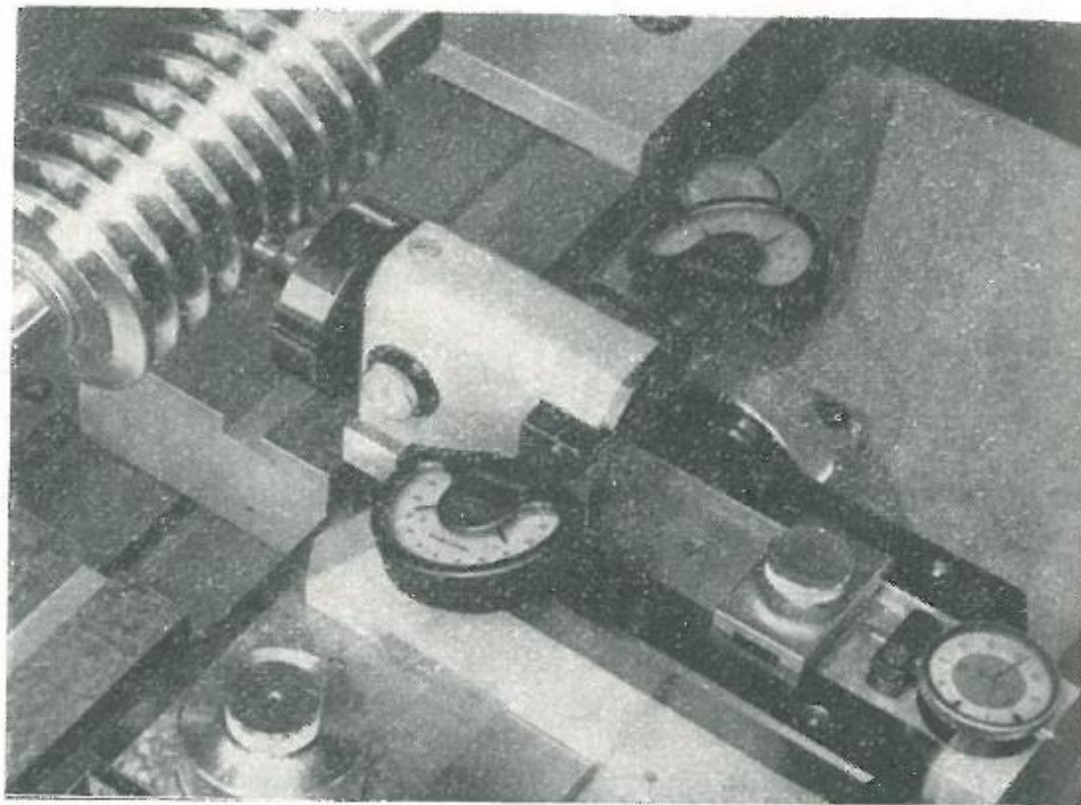


Rys. 150. Pomiar grubości zęba ślimaka odbywa się prostopadłe do linii śrubowej zwoju

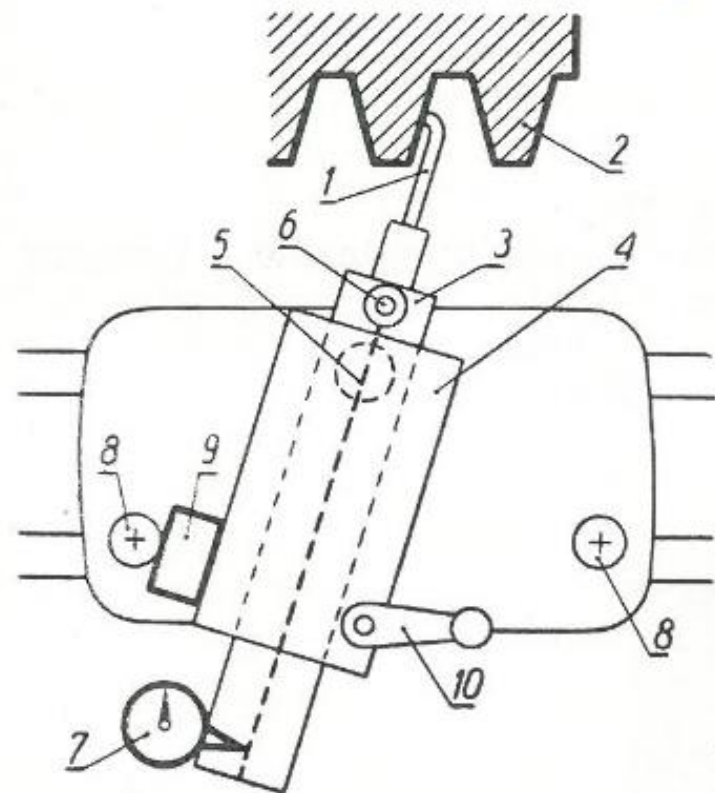




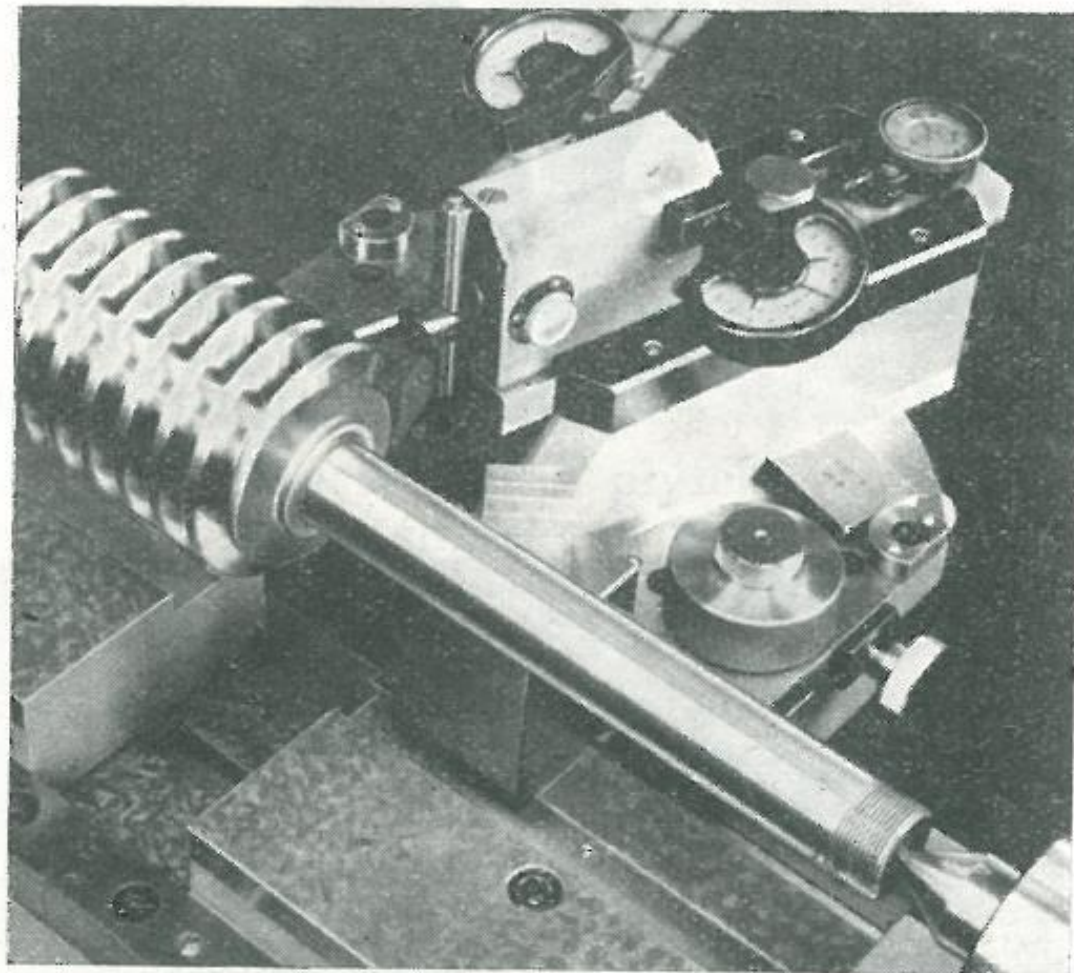
Rys. 152. Pomiar grubości zęba (w danym wypadku wrębu) ślimaka; 1 — końcówka pomiarowa, 2 — ślimak, 3 — tuleja przesuwana przy pomocy korbki 5, 4 — nadbudówka suportu, 6 — czujnik, 7 — czujnik, 8 — zderzak



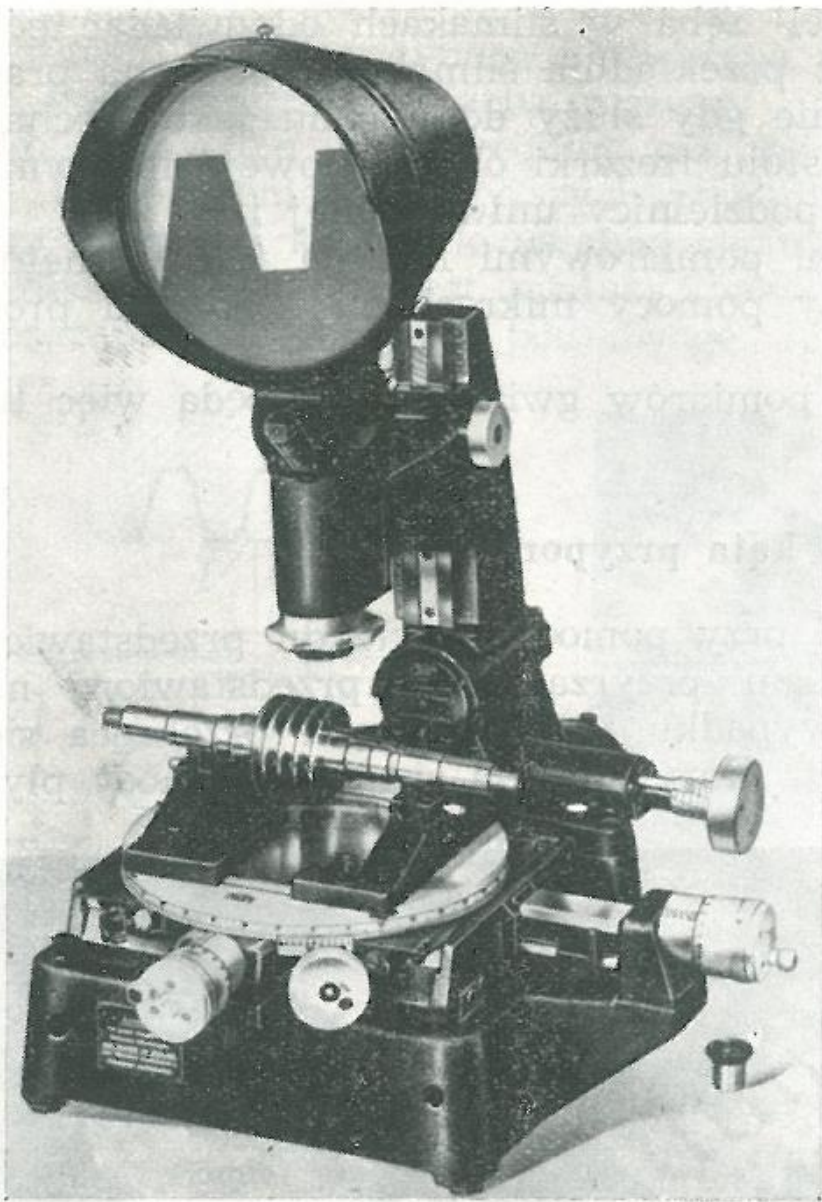
Rys. 153. Pomiar grubości zęba (wrębu) ślimaka za pomocą walcowej końcówki pomiarowej i czujników na przyrządzie w wykonaniu f. Klingelnberg. Schemat tego pomiaru umieszczono na rys. 152



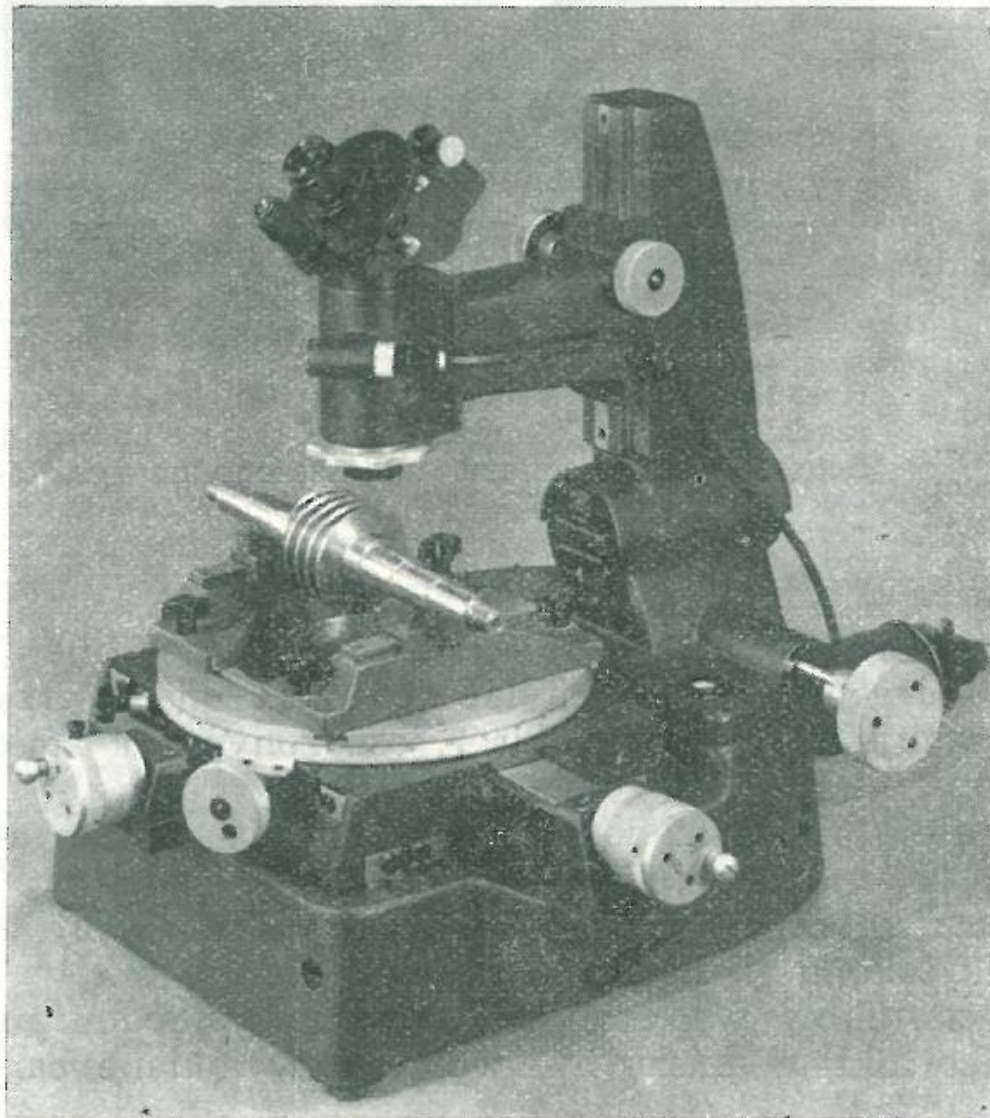
Rys. 154. Pomiar kąta przyporu ślimaka; 1 — końcówka pomiarowa dźwigni wychylnej, 2 — ślimak, 3 — tuleja przesuwana przy pomocy korbki 10, 4 — nadbudówka suportu, 5 — czop, 6 — czop, 7 — czujnik, 8 — czop ustawczy, 9 — stos płytek wzorcowych



Rys. 155. Pomiar kąta przyporu ślimaka na przyrządzie w wykonaniu f. Klingelnberg. Schemat tego pomiaru umieszczono na rys. 154



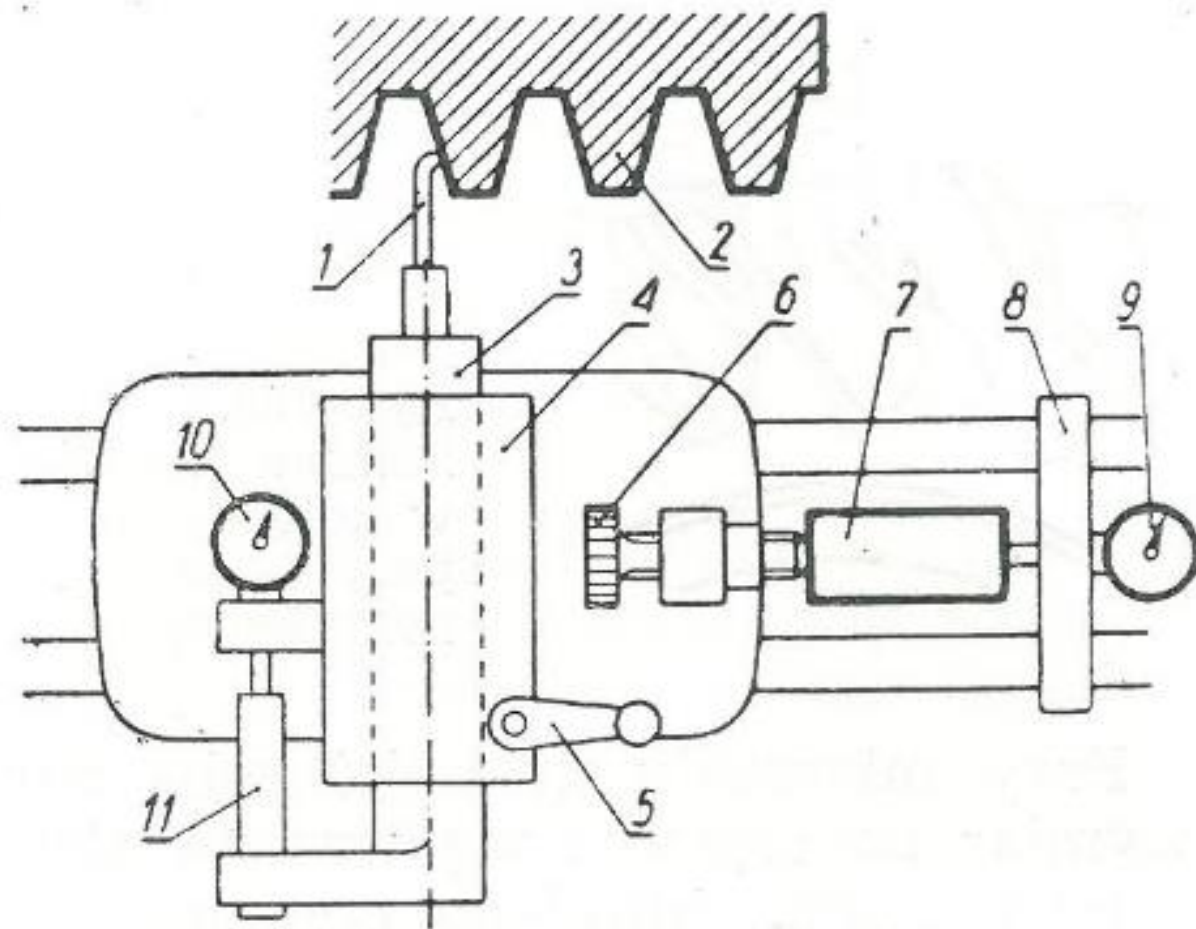
Rys. 156.  
Sprawdzanie wymiarów i kształtu  
zęba ślimaka za pomocą aparatu  
projekcyjnego w wykonaniu  
f. C. Zeiss

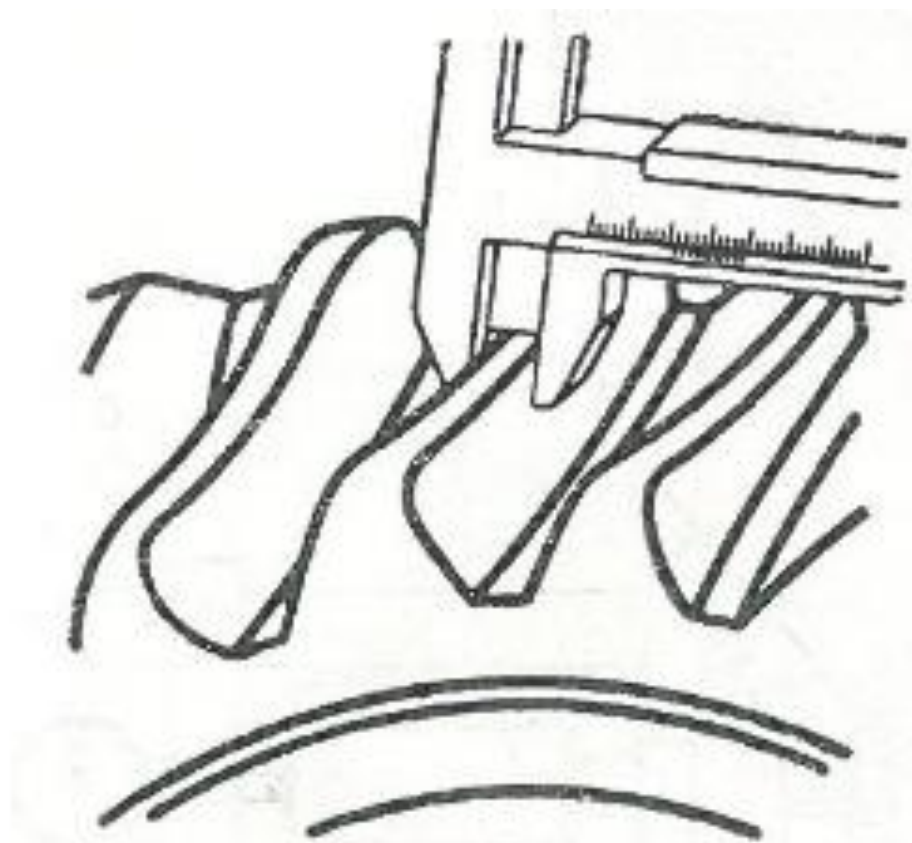


Rys. 157.  
Sprawdzanie wymiarów i  
kształtu zęba ślimaka na  
warsztatowym mikroskopie  
w wykonaniu f. C. Zeiss

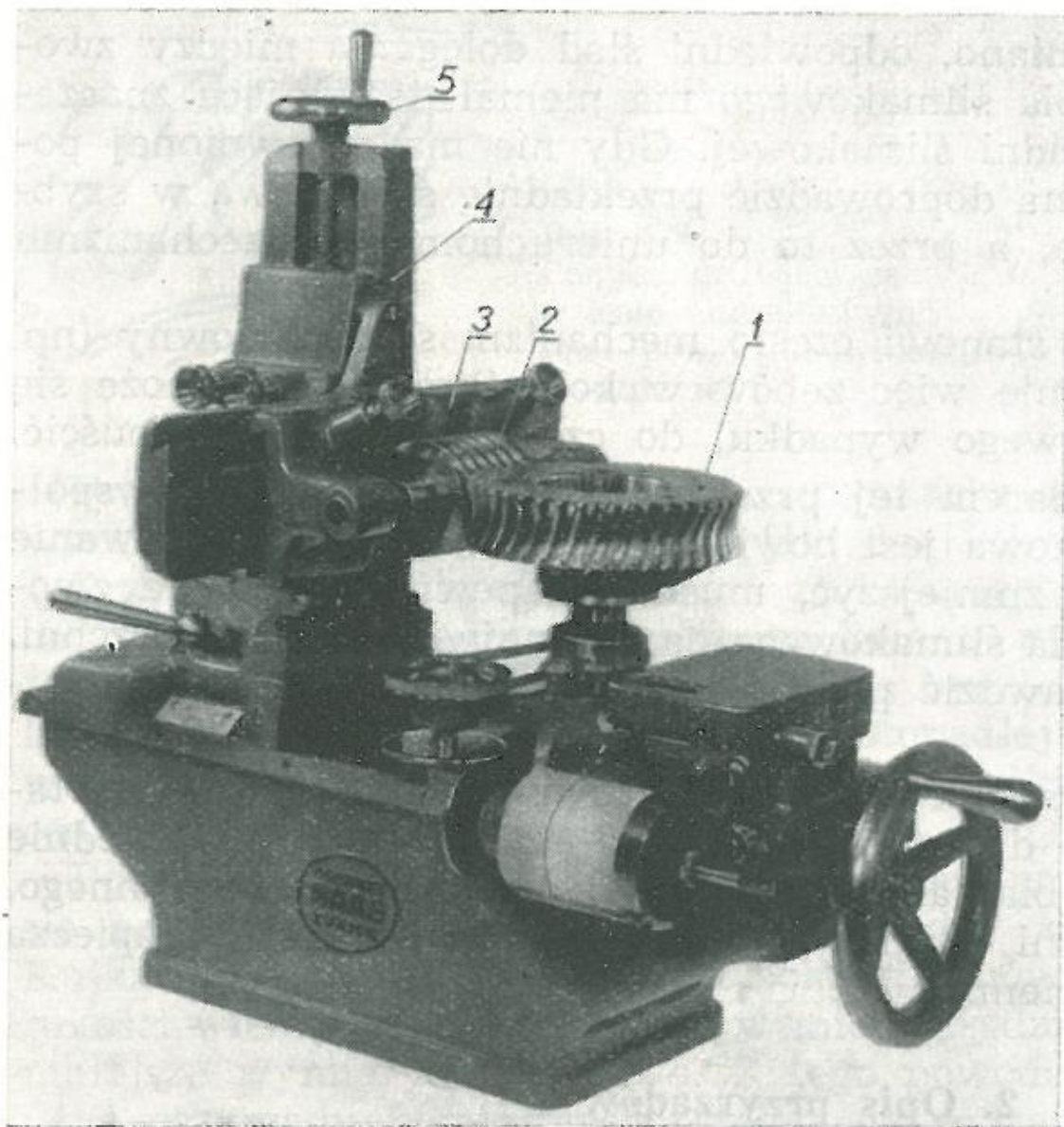
Rys. 158.

Sprawdzanie podziałki ślimaka na przyrządzie f. Klingelnberg;  
1 — końcówka pomiarowa, 2 — sprawdzany ślimak, 3 — przesuwna tuleja,  
4 — nadbudówka suportu, 5 — korbka, 6 — śruba zderzakowa, 7 — płytki wzorcowe, 8 — belka oporowa z czujnikiem 9, 10 — czujnik, 11 — zderzak

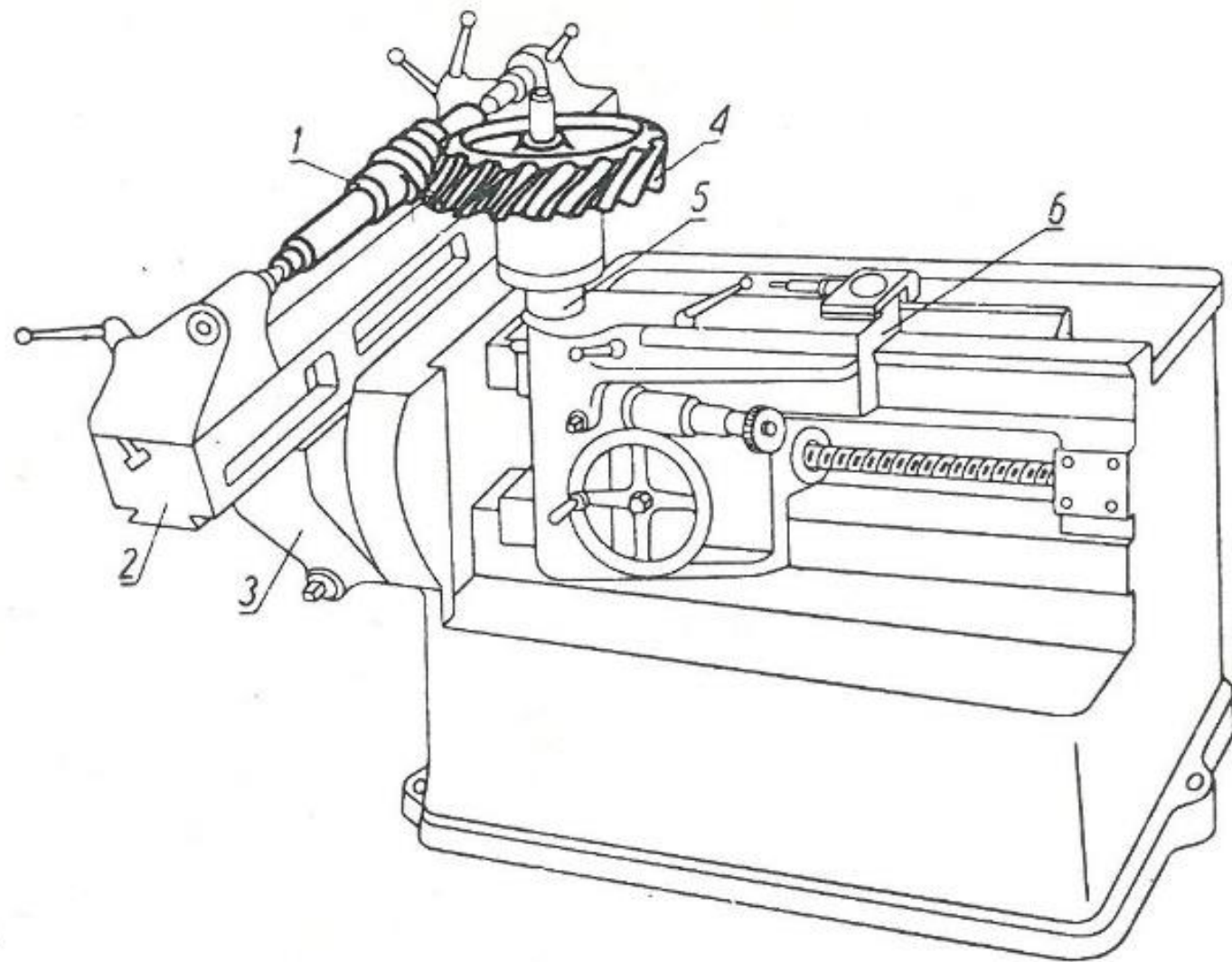




Rys. 159.  
Pomiar grubości zęba  
w kole ślimakowym  
przy pomocy suwmiarki  
modułowej



Rys. 160.  
Przyrząd f. Maag  
do sprawdzania prze-  
kładni ślimakowej



Rys. 162.  
Przyrząd do sprawdzania  
współpracy przekładni  
ślimakowej w wykonaniu  
f. John Holroyd



**Tabela XIII. Dopuszczalne błędy uzębienia prostych**  
wg normy amerykańskiej ASA

Klasa dokładności	Mo- duł mm	Dopuszczalne błędy podziałki obwodowej								Dopuszczalny sumaryczny błąd podziałek (z wyłączeniem bicia uzębienia)							
		Średnica podziałowa, mm								Średnica podziałowa, mm							
		19	38	76	152	305	635	1270	2540	19	38	76	152	305	635	1270	2540
4 $(v > 10 \text{ m/sek})$	0,75	5	5	5	5	6	6			25	25	25	25	25	30		
	1,5		5	6	6	6	8	8	8		25	25	25	25	30	50	76
	3			6	6	8	8	8	8			25	25	25	30	50	76
	6				9	10	10	10					25	25	30	50	
3 $(v < 10 \text{ m/sek})$	0,75	5	5	6	6	8	8			40	40	40	40	40	40		
	1,5	6	6	8	8	9	9	10		40	40	40	40	40	40	60	
	3		9	9	9	10	10	13	13		40	40	40	40	40	76	115
	6			9	9	10	10	13	13			40	40	40	50	85	135
	12				13	13	14	15	15				50	50	70	110	180
2 $(v < 2 \text{ m/sek})$	1,5	9	9	10	10	11	13	14									
	3		13	14	15	17	18	18									
	6			13	15	18	20	23	25								
	12				25	40	50	63	76								
	25					63	90	115	150								
1 $(v < 0,4 \text{ m/sek})$	1,5	40	40	50	63	63											
	3		40	50	63	76	90	90									
	6			76	100	125	150	230	300								
	12				100	125	180	250	380								
	25					125	190	320	460								

w walcowych kołach zębatych o zębach  
i śrubowych

B6.6—1946, w  $\mu = 1/1000$  mm

Dopuszczalny błąd zarysu boku zęba								Bicie uzębienia								Błąd pochyle- nia linii zęba			
Średnica podziałowa, mm								Średnica podziałowa, mm								Szerokość wieńca, mm			
19	38	76	152	305	635	1270	2540	19	38	76	152	305	635	1270	2540	25	152	305	457
8	8	8	8	8	8			25	25	25	25	25	30			5	10	15	20
	8	8	8	8	8	8	8		25	25	25	25	30	35	40	5	10	15	20
		10	10	10	10	10	10			25	25	25	30	35	40	5	10	15	20
			13	13	13	13					25	25	30	35		7	15	20	25
13	13	13	13	13	13			25	25	25	40	50	63			7	15		
13	13	13	13	13	13	13		25	25	25	40	50	63	63		7	15		
	15	15	15	15	15	15	15		25	25	40	50	63	63	76	7	15		
		20	20	20	20	20	20			25	50	50	63	63	76	10	18		
			30	30	30	30	30				50	50	63	63	76	10	20		
18	18	18	18	18	18	20		40	40	40	50	50	63	76		10	20		
	23	23	23	23	23	25			40	40	50	50	63	76		10	20		
		25	25	30	30	30	30			50	50	50	63	76	90	13	23		
			50	50	63	76	76				50	50	63	76	90	13	25		
				76	90	100	100					76	90	100	115	15	28		
40	40	40	50	50	63			76	76	125	150	150	200						
	50	50	63	63	76	76			76	125	150	150	200	200					
		63	76	90	100	100	100			125	150	150	200	200	230				
			76	90	100	115	125				150	150	200	200	230				
				125	150	180	200					180	230	230	230				

Tabela XIV. Zestawienie wzorów do obliczania dopuszczalnych błędów uzębienia wg norm angielskich i francuskich  
Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

Norma	Nr nor- my	Klasa do- kładności	Charaktery-tyki klas dokład- ności	Rodzaj błędu						
				$\Delta e_f$	$\Delta t_0$	$\Sigma \Delta t_0$	$\Delta r$	$\Delta \beta$		
angielska	436 — 1940	A1	bardzo starannie oszlifowane koła	0	$15,2 + 0,6 m_0 + 0,01 d_p$	$25,4 + 0,157 d_p$				
		A2	bardzo starannie nacięte koła	$-1,5 m_0$						
		B	starannie nacięte koła	$-3 m_0$	$30,5 + 1,2 m_0 + 0,02 d_p$	$50,8 + 0,314 d_p$				
		C	koła handlowe	$-6 m_0$	$45,7 + 1,8 m_0 + 0,03 d_p$	$76,2 + 0,471 d_p$				
		D	duże koła o uzębieniu wewnętrznym	$-6 m_0$	$91,4 + 3,6 m_0 + 0,06 d_p$	$76,2 + 0,471 d_p$				
	1807 — 1952	A1	koła duże $v > 50$ m/sek	$+2,5 + 0,3 \frac{m_n}{\cos \beta}$	$2 \sqrt{\pi m_0 + 254} - 28$	$2 \sqrt{0,5 \pi d_p + 254} - 28$				
		A2	koła duże $v > 50$ m/sek	$-\left(5 + 1,9 \frac{m_n}{\cos \beta}\right)$	$2 \sqrt{\pi m_0 + 254} - 23$	$2 \sqrt{0,5 \pi d_p + 254} - 23$				
		B	koła duże $v < 50$ m/sek	$+2,5 + 0,3 \frac{m_n}{\cos \beta}$ $-\left(5 + 2,5 \frac{m_n}{\cos \beta}\right)$	$3 \sqrt{\pi m_0 + 254} - 33$	$3 \sqrt{0,5 \pi d_p + 254} - 33$				
		francuska	E 23 — 006	bliżej nie określona	A	$\mp (2 + 0,25 m_0)$	$5 + m_0 + 0,01 d_p$	$\Sigma \Delta t_0 = 2 \Delta t_0$	$5,5 + 0,5 m_0 + 0,005 d_p$	$1 + 0,5 m_0 + 0,01 b$
					B	$+2 + 0,5 m_0$ $-(4 + m_0)$	$10 + 1,5 m_0 + 0,02 d_p$		$8 + 0,75 m_0 + 0,01 d_p$	$2 + m_0 + 0,02 b$
C	$+4 + m_0$ $-(10 + 2,5 m_0)$				$25 + 3 m_0 + 0,04 d_p$	$12,5 + 1,5 m_0 + 0,02 d_p$	$4 + 2 m_0 + 0,04 b$			
D	$+8 + 2 m_0$ $-(20 + 5 m_0)$				$50 + 5 m_0 + 0,04 d_p$	$25 + 2,5 m_0 + 0,02 d_p$	$6 + 3 m_0 + 0,06 b$			
E	$+15 + 3,75 m_0$ $-(40 + 10 m_0)$				$100 + 7 m_0 + 0,04 d_p$	$50 + 3,5 m_0 + 0,02 d_p$	$10 + 5 m_0 + 0,10 b$			

Objaśnienia:

$m_0$  — nominalny moduł (mm),  
 $d_p$  — średnica podziałowa (mm),  
 $b$  — szerokość wieńca (mm),  
 $\beta$  — kąt pochylenia linii zęba na walcu podziałowym w stopniach,  
 $\Delta e_f$  — błąd zarysu boku zęba,

$\Delta t_0$  — błąd podziałki obwodowej,  
 $\Sigma \Delta t_0$  — sumaryczny błąd podziałek obwodowych,  
 $\Delta r$  — dopuszczalne bicie uzębienia,  
 $\Delta \beta$  — błąd kąta pochylenia linii zęba.

**Tabela XV. Zestawienie wzorów do obliczania dopuszczalnych błędów uzębienia  
wg DIN 3961—1953 dla 5 klasy dokładności**  
Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

Rodzaj błędu	Iloraz $\varphi^1)$	Zakres modułów $m_0$ (mm)			
		do 0,6	0,6 do 1,6	1,6 do 4	4 do 10
$\Delta e_f \Delta t_p \Delta o \Delta t_0$	1,4/1,6	$3 + 0,3m_0 + 0,2\sqrt{d_p}$			
$\Delta e_z$	1,4/1,6	$2,5 + 0,25m_0 + 0,15\sqrt{d_p}$			
$\Sigma \Delta t_0$	1,4/1,6	$10 + m_0 + 0,8\sqrt{d_p}$			
$\Delta g$	1,4	$1,4 + 1,85\sqrt{m_0} + 2,06\sqrt[4]{d_p}$	$1,4 + 1,85\sqrt{m_0} + 2,18\sqrt[4]{d_p}$	$1,4 + 1,85\sqrt{m_0} + 2,30\sqrt[4]{d_p}$	$1,4 + 1,85\sqrt{m_0} + 2,43\sqrt[4]{d_p}$
$\Delta r$	1,4	$2 + 2,57\sqrt{m_0} + 2,89\sqrt[4]{d_p}$	$2 + 2,57\sqrt{m_0} + 3,07\sqrt[4]{d_p}$	$2 + 2,57\sqrt{m_0} + 3,25\sqrt[4]{d_p}$	$2 + 2,57\sqrt{m_0} + 3,45\sqrt[4]{d_p}$
$\Delta M$	1,4	$1,32 + 1,7\sqrt{m_0} + 1,95\sqrt[4]{d_p}$	$1,32 + 1,7\sqrt{m_0} + 2,06\sqrt[4]{d_p}$	$1,32 + 1,7\sqrt{m_0} + 2,18\sqrt[4]{d_p}$	$1,32 + 1,7\sqrt{m_0} + 2,3\sqrt[4]{d_p}$

**Objaśnienia:**

$\Delta e_f$  — błąd zarysu (flanki) boku zęba,  
 $\Delta t_p$  — błąd podziałki przyporu,  
 $\Delta o$  — nierównomierność podziałek,  
 $m_0$  — nominalny moduł (mm),  
 $\Delta t_0$  — błąd podziałki obwodowej,  
 $\Delta e_z$  — błąd koła zasadniczego,

$\Sigma \Delta t_0$  — sumaryczny błąd podziałki obwodowej,  
 $d_p$  — średnica podziałowa (mm),  
 $\Delta g$  — błąd grubości zęba,  
 $\Delta r$  — dopuszczalne bicie uzębienia,  
 $\Delta M$  — błąd pomiaru przez  $n$  zębów.

<sup>1)</sup> Iloraz wartości między sąsiednimi klasami dokładności; bliższe dane — patrz tab. XVII.

Tabela XVI. Zestawienie wzorów do obliczania dopuszczalnych błędów zazębienia  
wg DIN 3961 — 1953 dla 5 klasy dokładności  
Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

Rodzaj błędu	Iloraz $\varphi^1)$	Zakres modułów $m_0$ (mm)			
		do 0,6	0,6 do 1,6	1,6 do 4	4 do 10
$\Delta a$	1,4	$0,5 + 4,87 \sqrt[4]{a}$			
$\Sigma \Delta w_j$	1,4	$0,9 + 1,15 \sqrt{m_0} + 1,28 \sqrt[4]{d_p}$	$0,9 + 1,15 \sqrt{m_0} + 1,36 \sqrt[4]{d_p}$	$0,9 + 1,15 \sqrt{m_0} + 1,45 \sqrt[4]{d_p}$	$0,9 + 1,15 \sqrt{m_0} + 1,55 \sqrt[4]{d_p}$
$\Delta w_j$	1,4	$0,3 + 0,4 \sqrt{m_0} + 0,475 \sqrt[4]{d_p}$	$0,3 + 0,4 \sqrt{m_0} + 0,5 \sqrt[4]{d_p}$	$0,3 + 0,4 \sqrt{m_0} + 0,53 \sqrt[4]{d_p}$	$0,3 + 0,4 \sqrt{m_0} + 0,56 \sqrt[4]{d_p}$
$\Sigma \Delta w_o$	1,4	$2 + 2,57 \sqrt{m_0} + 2,89 \sqrt[4]{d_p}$	$2 + 2,57 \sqrt{m_0} + 3,07 \sqrt[4]{d_p}$	$2 + 2,57 \sqrt{m_0} + 3,25 \sqrt[4]{d_p}$	$2 + 2,57 \sqrt{m_0} + 3,45 \sqrt[4]{d_p}$
$\Delta w_o$	1,4	$0,7 + 0,9 \sqrt{m_0} + 1,03 \sqrt[4]{d_p}$	$0,7 + 0,9 \sqrt{m_0} + 1,09 \sqrt[4]{d_p}$	$0,7 + 0,9 \sqrt{m_0} + 1,15 \sqrt[4]{d_p}$	$0,7 + 0,9 \sqrt{m_0} + 1,21 \sqrt[4]{d_p}$

Objaśnienia:

$\Delta a$  — błąd odległości osi,  
 $\Sigma \Delta w_j$  — sumaryczny błąd współpracy jednostronnej,  
 $m_0$  — nominalny moduł (mm),  
 $\Delta w_j$  — pojedynczy błąd współpracy jednostronnej.

$\Sigma \Delta w_o$  — sumaryczny błąd współpracy obustronnej,  
 $d_p$  — średnica podziałowa (mm),  
 $\Delta w_o$  — pojedynczy błąd współpracy obustronnej,  
 $a$  — odległość osi (mm).

**Tabela XVII. Współczynniki przeliczeniowe dla różnych błędów i klas dokładności**

Rodzaj błędu	Klasa dokładności											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta e_f, \Delta t_p, \Delta o,$ $\Delta t_0, \Delta e_2, \Sigma \Delta t_0,$	0,26	0,36	0,51	0,71	1	1,4	1,96	2,74	3,84	6,15	9,82	15,7
$\Delta g, \Delta r, \Delta a, \Sigma \Delta w_j,$ $\Delta w_j, \Sigma \Delta w_o, \Delta w_o,$	0,26	0,36	0,51	0,71	1	1,4	1,96	2,74	3,84	5,36	7,50	10,5
$\Delta \beta$	0,37	0,44	0,63	0,75	1	1,32	1,69	2,12	2,81	3,63	4,68	6,12

Tabela XVIII. Dopuszczalne błędy uzębienia wg DIN 3962 z 1952 r.

Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

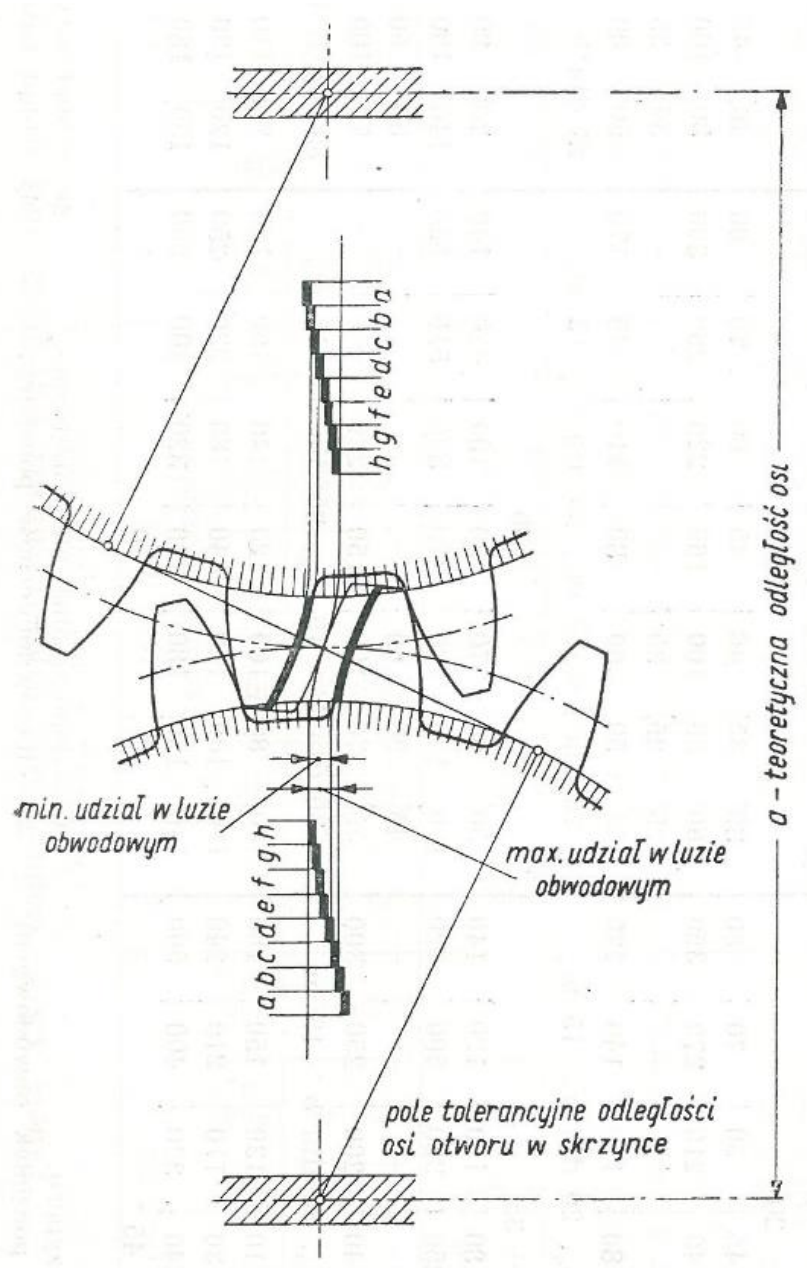
$m_0 =$  do 0,6

Rodzaj błędu	Klasa dokładności	Średnica podziałowa, mm								Klasa dokładności	Średnica podziałowa, mm							
		do 3	3 do 6	6 do 12	12 do 25	25 do 50	50 do 100	100 do 200	200 do 400		do 3	3 do 6	6 do 12	12 do 25	25 do 50	50 do 100	100 do 200	200 do 400
		$\Delta e_f$	$\Delta t_p$	$\Delta o$	$\Delta t_o$	$\Delta e_z$	$\Sigma \Delta t_o$	$\Delta g$	$\Delta r$									
$\Delta e_f$	$\Delta t_p$	$\Delta o$	$\Delta t_o$	$\Delta e_z$	$\Sigma \Delta t_o$	$\Delta g$	$\Delta r$											
$\Delta e_f$	$\Delta t_p$	$\Delta o$	$\Delta t_o$	$\Delta e_z$	$\Sigma \Delta t_o$	$\Delta g$	$\Delta r$											
$\Delta e_f$	$\Delta t_p$	$\Delta o$	$\Delta t_o$	$\Delta e_z$	$\Sigma \Delta t_o$	$\Delta g$	$\Delta r$											
$\Delta e_f$	$\Delta t_p$	$\Delta o$	$\Delta t_o$	$\Delta e_z$	$\Sigma \Delta t_o$	$\Delta g$	$\Delta r$											
$\Delta e_f$	$\Delta t_p$	$\Delta o$	$\Delta t_o$	$\Delta e_z$	$\Sigma \Delta t_o$	$\Delta g$	$\Delta r$											
$\Delta e_f$	$\Delta t_p$	$\Delta o$	$\Delta t_o$	$\Delta e_z$	$\Sigma \Delta t_o$	$\Delta g$	$\Delta r$											
$\Delta e_f$	$\Delta t_p$	$\Delta o$	$\Delta t_o$	$\Delta e_z$	$\Sigma \Delta t_o$	$\Delta g$	$\Delta r$											

Objaśnienia:

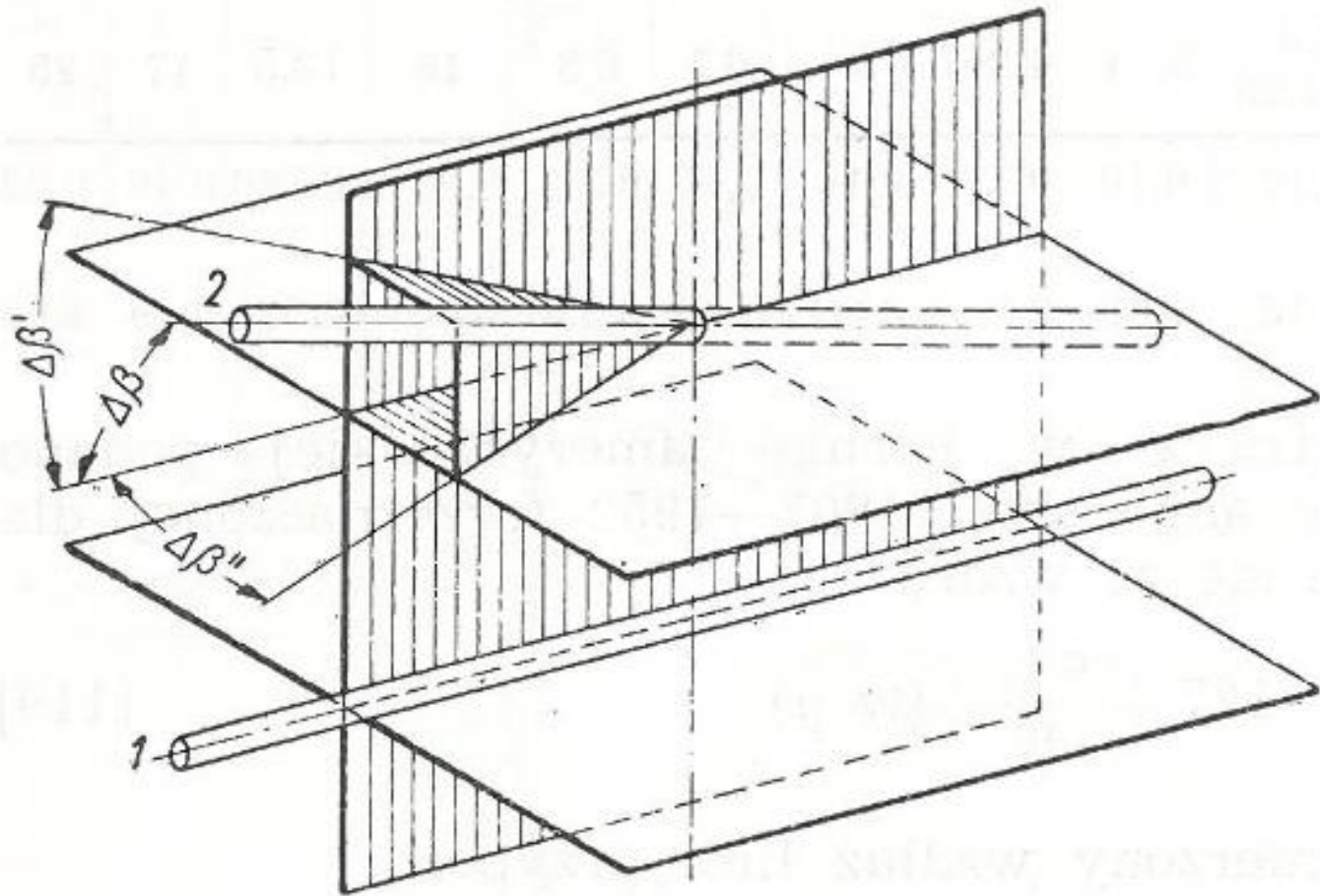
$\Delta e_f$  — błąd zarysu (flanki) boku zęba,  
 $\Delta t_p$  — błąd podziałki przyporu,  
 $\Delta o$  — nierównomierność podziałek,  
 $\Delta t_o$  — błąd podziałki obwodowej,

$\Delta e_z$  — błąd koła zasadniczego,  
 $\Sigma \Delta t_o$  — sumaryczny błąd podziałek obwodowych,  
 $\Delta g$  — błąd grubości zęba,  
 $\Delta r$  — dopuszczalne bicie uzębienia.



Rys. 164.  
Rozkład pól tolerancyjnych  
grubości zęba w zależności  
od wymaganego luzu



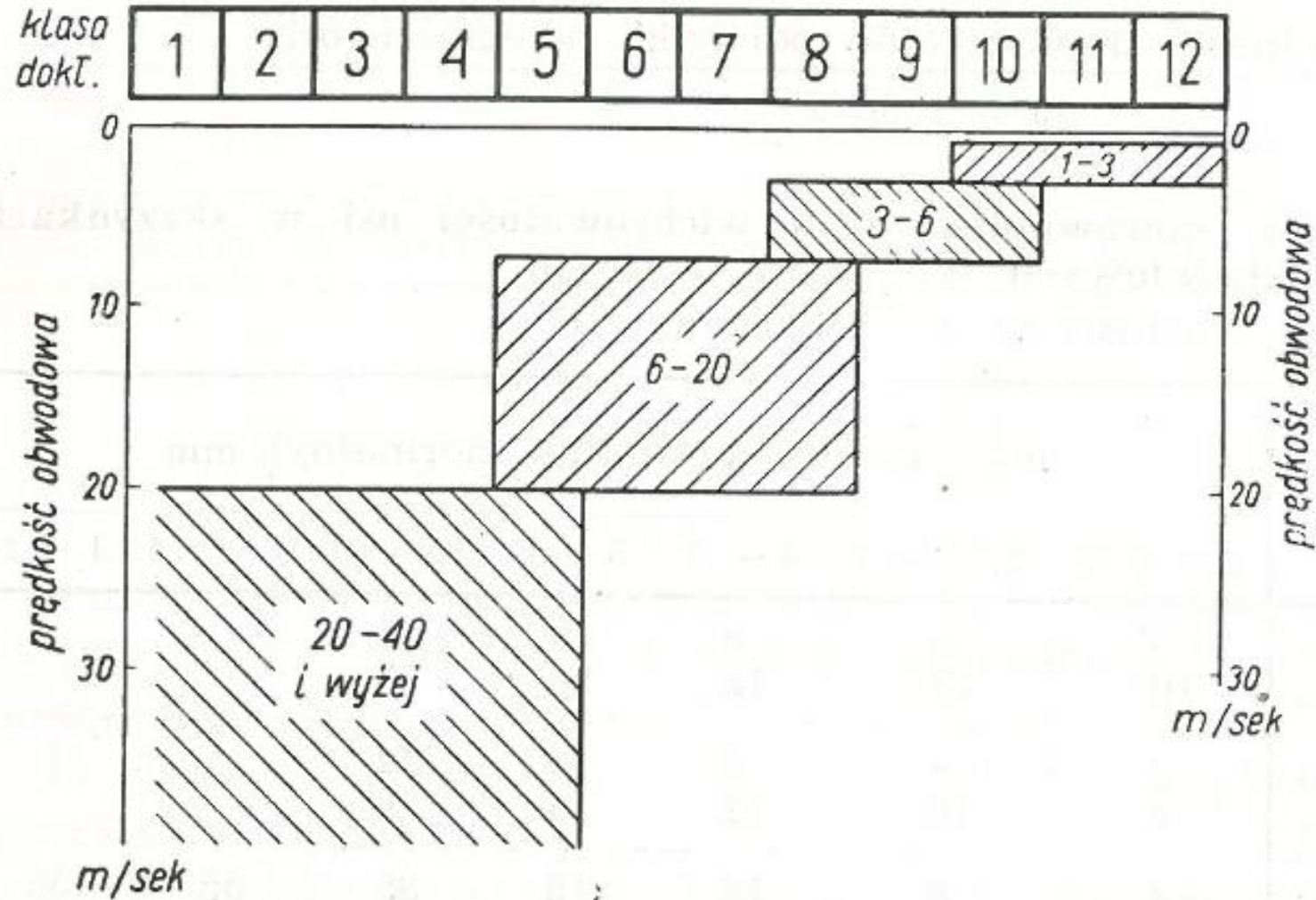


Rys. 165.  
 Błędy nierównoległości  $\Delta\beta'$   
 i wchrowatości  $\Delta\beta''$  osi  
 w skrzynkach przekładniowych

**Tabela XXVIII. Tolerancje nierównoległości i wchrowatości osi w skrzynkach przekładniowych wg GOST 1643—46**

Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

Klasa dokładności	Rodzaj błędu	Szerokość wieńca mm	$m_n$ — moduł nominalny (normalny), mm						
			1 — 2,25	2,25 — 4	4 — 6	6 — 8	8 — 10	10 — 14	14 — 20
1	$\Delta\beta'$	$\leq 15 m_n$	3	5	8	10	15		
		$> 15 m_n$	10	15	18	20	25		
1	$\Delta\beta''$	$\leq 15 m_n$	2	4	6	8	12		
		$> 15 m_n$	8	10	12	15	20		
2	$\Delta\beta'$	$\leq 15 m_n$	4	8	12	15	25	35	50
		$> 15 m_n$	18	20	25	30	35	45	60
2	$\Delta\beta''$	$\leq 15 m_n$	3	6	10	12	20	30	35
		$> 15 m_n$	12	15	20	25	30	35	45
3	$\Delta\beta'$	$\leq 15 m_n$	8	12	20	25	40	50	65
		$> 15 m_n$	25	30	40	45	50	60	80
3	$\Delta\beta''$	$\leq 15 m_n$	5	10	15	20	30	35	50
		$> 15 m_n$	18	20	25	30	35	40	60
4	$\Delta\beta'$		50		60	70	80	100	120
			35		45	50	60	70	80



Rys. 166.  
Wybór klasy dokładności w zależności od prędkości obwodowej koła zębatego



Rys. 168.

Wybór metody obróbki w zależności od wymaganej dokładności koła zębatego oraz od tego, czy koła mają pracować jako miękkie, czy też zahartowane



3) w normie angielskiej 1807—1952 — są: 3 klasy dokładności dla dużych kół o znacznych prędkościach obwodowych,

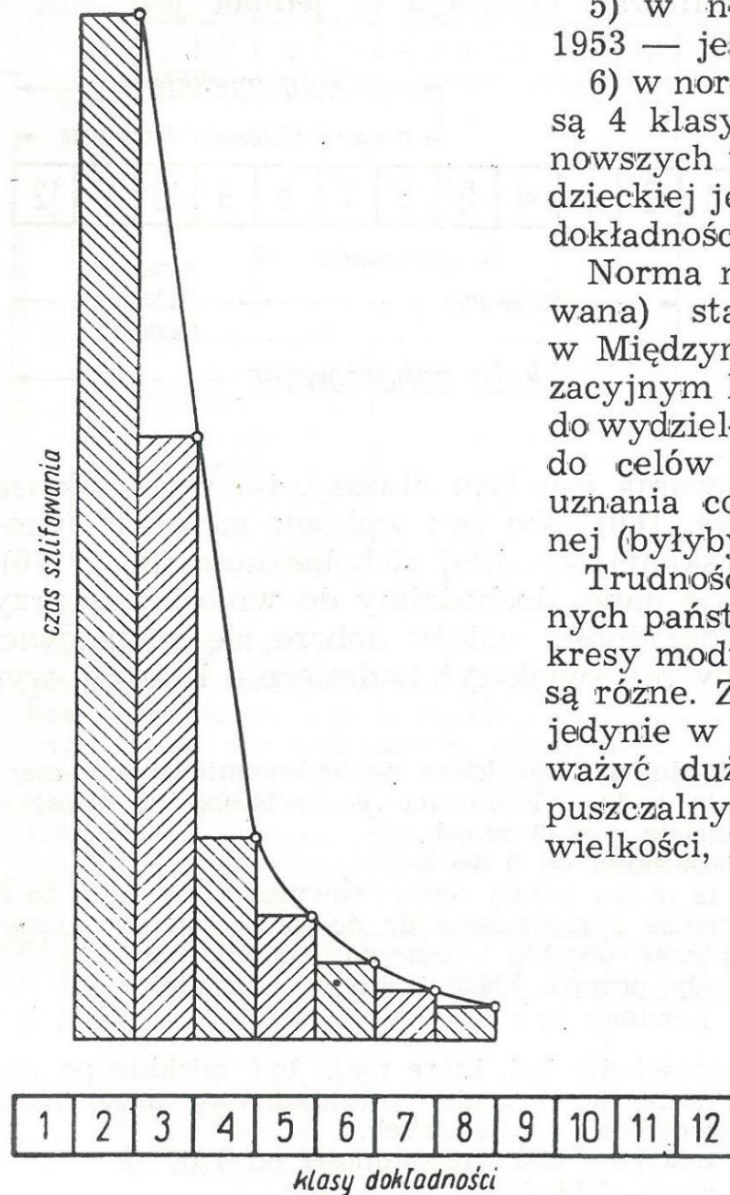
4) w normie francuskiej E23—006 — jest 5 klas dokładności,

5) w normie niemieckiej DIN 3961—1953 — jest 12 klas dokładności,

6) w normie radzieckiej GOST 1643-46—są 4 klasy dokładności (jednak wg najnowszych wiadomości w nowej normie radzieckiej jest przewidziane również 12 klas dokładności).

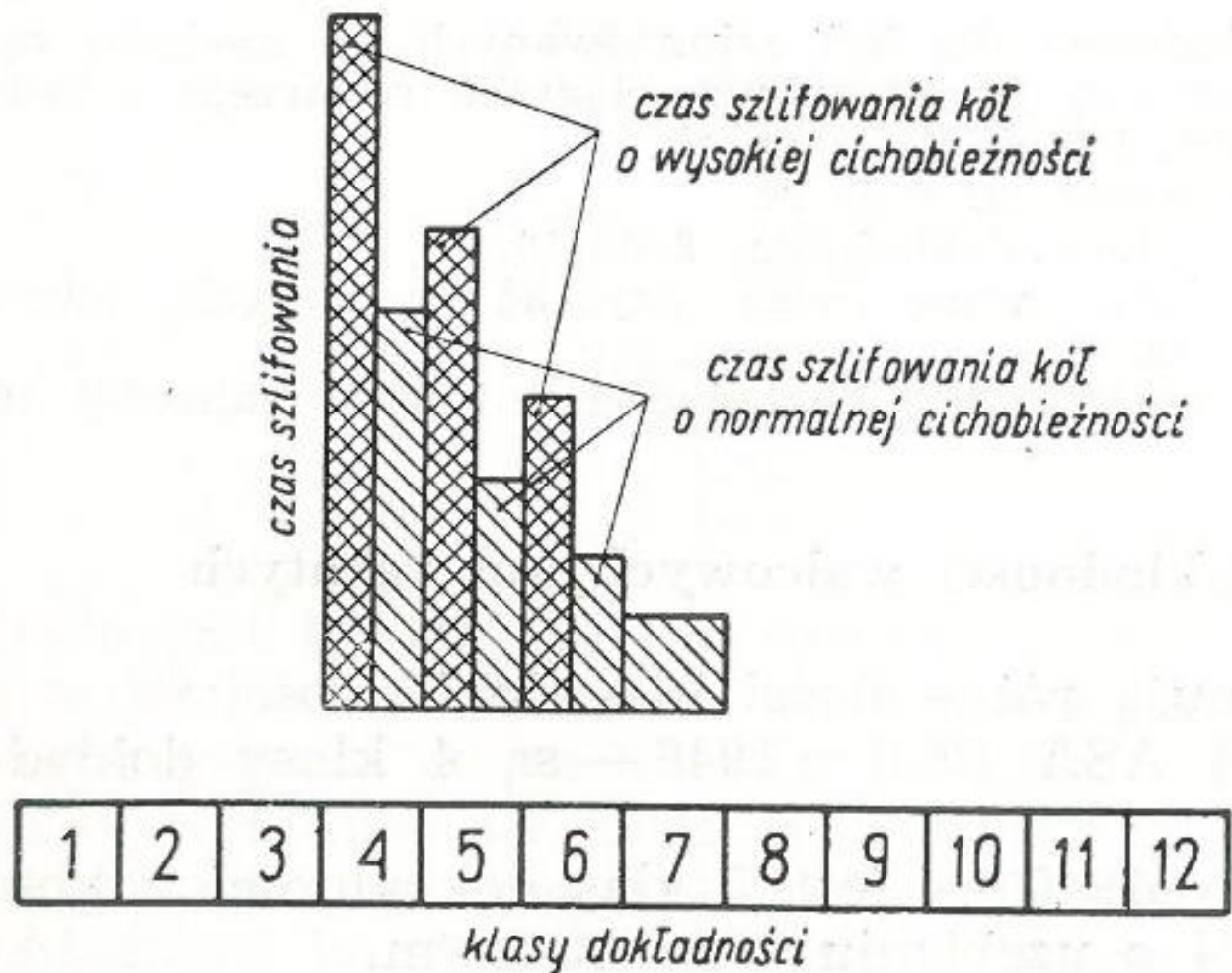
Norma niemiecka (najbardziej rozbudowana) stanowi podstawę do dyskusji w Międzynarodowym Komitecie Normalizacyjnym ISO, istnieje przy tym tendencja do wydzielenia klas 1 do 5 przeznaczonych do celów specjalnych, a z pozostałych uznania co drugiej jako uprzywilejowanej (byłyby nimi klasy 6, 8, 10 i 12).

Trudność porównania norm poszczególnych państw polega jeszcze na tym, że zakresy modułów oraz średnic podziałowych są różne. Z tego powodu możemy określić jedynie w przybliżeniu, że nie da się zauważyć dużych różnic liczbowych w dopuszczalnych błędach dla poszczególnych wielkości, które podlegają sprawdzaniu.



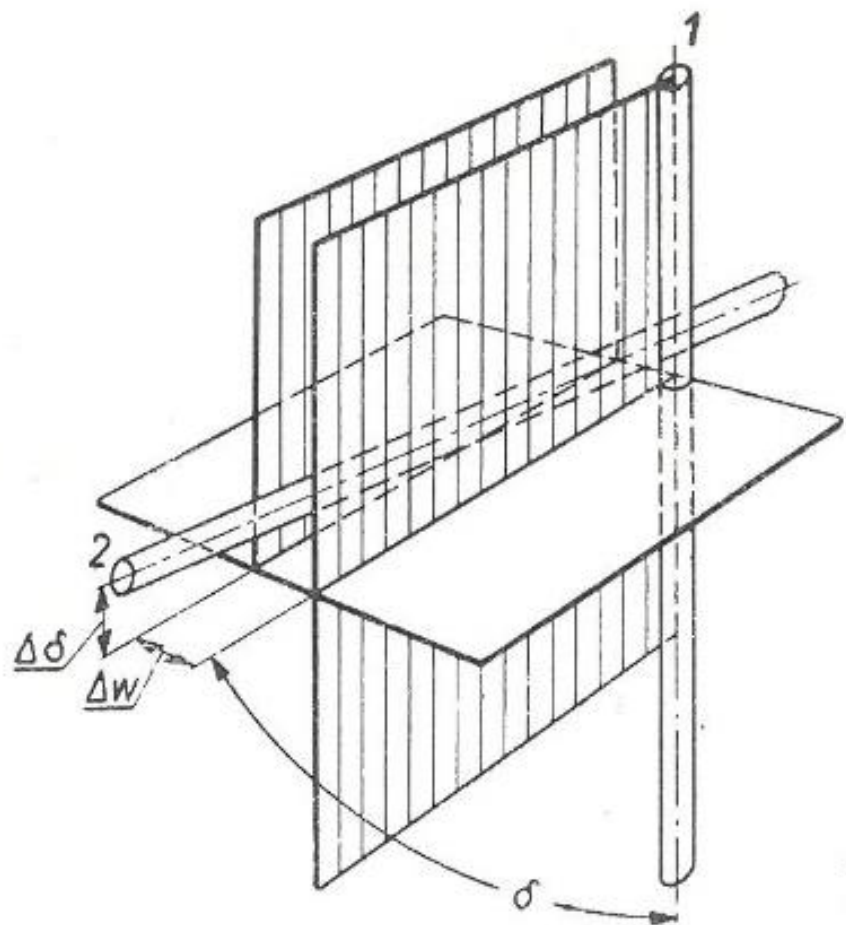
Rys. 169.

Porównawczy wykres czasów szlifowania zębów kół wykonywanych w różnych klasach dokładności

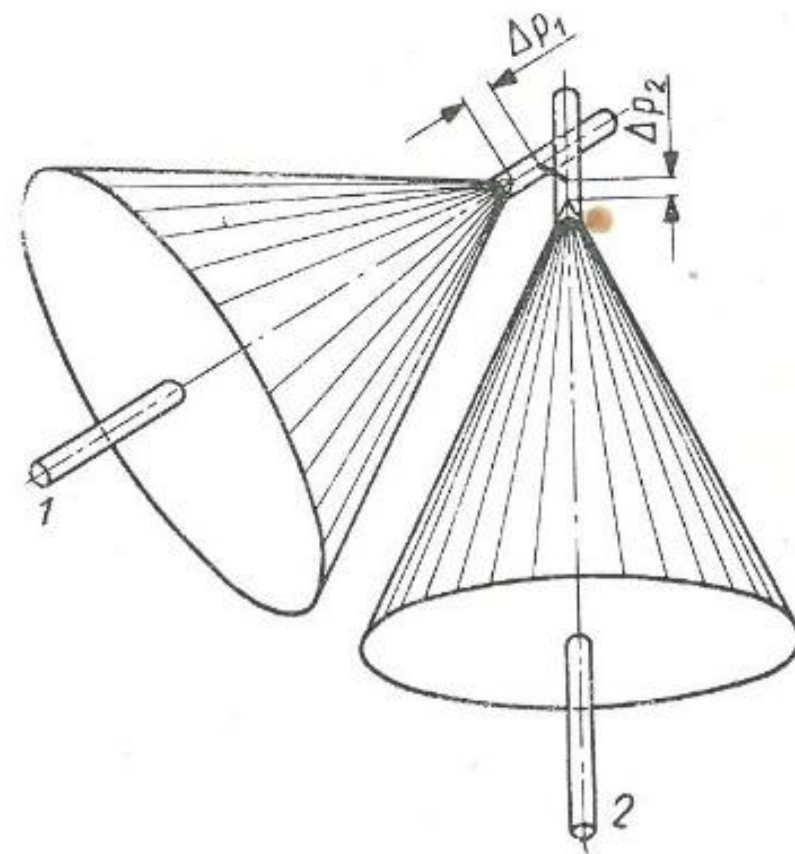


Rys. 170.

Wpływ żądania wysokiej cichobieżności na czas szlifowania w stosunku do czasu szlifowania kół o normalnej cichobieżności



Rys. 171. Błędy położenia osi w skrzynce przekładniowej;  $\Delta\delta$  — błąd kąta między osiami,  $\Delta w$  — błąd wychowatości osi



Rys. 172. Błędy położenia powierzchni oporowej kół wpływają na niepokrywanie się stożków podziałowych



**Tabela XXIX. Dopuszczalne błędy w stożkowych kołach zębatych o zębach prostych<sup>1)</sup> i łukowych oraz w przekładni hypoidalnej wg normy amerykańskiej ASA B6.6 — 1946**  
w  $\mu = 1/1000$  mm

Klasa dokładności	Moduł	Bicie uzębienia								Dopuszczalny błąd podziałki obwodowej								Dopuszczalny sumaryczny błąd podziałek (z wykluczeniem wpływu bicia uzębienia)								Pożądane minimalne początkowe pole styku %	
		Średnica podziałowa, mm								Średnica podziałowa, mm								Średnica podziałowa, mm									
	mm	19	38	76	152	305	635	1270	2540	19	38	76	152	305	635	1270	2450	19	38	76	152	305	635	1270	2540		
4 ( $v > 10$ m/sek)	0,75	15	20	20	20					8	8	8	8					25	25	25	25						70
	1,5		20	20	20	25	36				8	8	8	10	13				25	25	25	25	30				
	3			20	20	25	36	45				8	8	10	13	13				25	25	25	30	50			
	6				20	25	36	45	60				8	10	13	13	15				25	25	30	50	76		
3 ( $v < 10$ m/sek)	0,75	25	30	36						13	13	13	13	15												60	
	1,5		30	36	36	40	50				13	13	13	15	18												
	3			36	36	40	50				13	13	13	15	18	18											
	6				36	40	50					13	13	15	18	18											
	12					40	50	60	70				13	15	18	18	20										
2 ( $v < 2$ m/sek)	1,5		40	40	40	50	60				18	18	20	20	23											50	
	3			40	40	50	60					18	20	20	23												
	6					50	60						18	20	23												
	12					50	60	70						20	23									23			
	25					50	60	80	100					20	23	23	25										

<sup>1)</sup> Koła zębate stożkowe o zębach prostych można stosować przy  $v < 5$  m/sek.

**Tabela XXX. Dopuszczalne błędy uzębienia w stożkowych kołach zębatych o zębach prostych i łukowych wg GOST 1758—42**

Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

1 klasa dokładności

Rodzaj błędu	Moduł mm	Średnica kół, mm			
		40 do 100	100 do 200	200 do 400	400 do 800
$\Delta e_f$	1 do 3	15	15	18	
	3 do 5	15	18	20	
	5 do 7	18	18	20	
	7 do 10	20	20	25	
$\Delta o$	1 do 3	15	18	20	25
	3 do 5	18	20	25	30
	5 do 7	20	25	25	35
	7 do 10	25	25	30	35
$\Sigma \Delta t_0$		50	60	70	100
$O_g$	1 do 3	-40	-50	-60	-90
	3 do 5	-40	-50	-60	-90
	5 do 7	-45	-60	-70	-100
	7 do 10	-50	-60	-70	-100
$T_g$	1 do 3	30	35	45	60
	3 do 5	30	40	50	60
	5 do 7	35	45	60	70
	7 do 10	40	60	70	80
$\Delta g$	1 do 3	20	25	25	30
	3 do 5	25	30	30	30
	5 do 7	25	30	35	35
	7 do 10	30	35	40	50
$\Delta r$		35	40	50	80

Objaśnienia:

- $\Delta e_f$  — błąd zarysu (flanki) boku zęba,
- $\Delta o$  — nierównomierność podziałek,
- $\Sigma \Delta t_0$  — sumaryczny błąd podziałki obwodowej,
- $T_g$  — tolerancja grubości zęba,
- $\Delta g$  — błąd grubości zęba,
- $\Delta r$  — bicie uzębienia.
- $O_g$  — odchyłka górna grubości zęba.

Tabela XXXI. Dopuszczalne błędy uzębienia w stożkowych  
Wartości

Klasa dokładności		2					Sred-	
Rodzaj błędu	Moduł mm	Średnica koła, mm					Sred-	
		40 do 100	100 do 200	200 do 400	400 do 800	800 do 1200	40 do 100	100 do 200
$\Delta e_f$	1 do 3	25	25	30	—	—	45	45
	3 do 6	25	25	40	—	—	50	60
	6 do 10	30	30	45	—	—	60	70
	10 do 14	35	35	50	—	—	70	80
	14 do 20	—	45	60	—	—	—	90
$\Delta o$	1 do 3	25	30	35	50	—	45	50
	3 do 6	30	35	40	60	70	50	60
	6 do 10	35	40	45	70	80	60	70
	10 do 14	40	45	50	80	90	70	80
	14 do 20	—	50	60	90	100	—	90
$\Sigma \Delta t_o$		80	100	120	180	250	160	180
$O_{gg}$	1 do 3	— 60	— 80	— 100	— 130	—	— 90	— 110
	3 do 6	— 80	— 90	— 110	— 150	— 180	— 100	— 120
	6 do 10	— 90	— 100	— 120	— 160	— 200	— 120	— 130
	10 do 14	— 100	— 110	— 130	— 180	— 230	— 130	— 150
	14 do 20	—	— 130	— 150	— 200	— 250	—	— 170
$T_g$	1 do 3	50	70	90	120	—	110	120
	3 do 6	60	80	100	140	180	120	140
	6 do 10	70	90	120	160	200	130	150
	10 do 14	80	100	140	180	230	150	170
	14 do 20	—	120	150	200	250	—	200
$\Delta g$	1 do 3	30	40	50	60	—	60	70
	3 do 6	35	50	60	70	80	70	80
	6 do 10	40	60	70	80	90	80	90
	10 do 14	50	60	80	90	100	90	100
	14 do 20	—	70	90	100	110	—	110
$\Delta r$		50	60	90	150	200	100	120

Objaśnienia:

$\Delta e_f$  — błąd zarysu (flanki) boku zęba,  
 $\Delta o$  — nierównomierność podziałek,

$\Sigma \Delta t_o$  — sumaryczny błąd podziałki obwodowej,  
 $O_{gg}$  — odchyłka górna grubości zęba,

kołach zębatych o zębach prostych i łukowych wg GOST 1758—42  
 w  $\mu = 1/1000$  mm Klasy dokładności 2 do 4

3			4				
nica koła, mm			Średnica koła, mm				
200 do 400	400 do 800	800 do 1200	40 do 100	100 do 200	200 do 400	400 do 800	800 do 1200
50	—	—					
70	—	—					
80	—	—					
90	—	—					
100	—	—					
70	100	—	80	100	130	200	—
80	130	190	90	110	150	220	320
90	140	200	110	130	170	240	340
100	150	200	130	150	190	260	360
110	150	210	—	180	220	280	380
220	300	400	400	500	600	800	1000
-140	-200	—	-120	-140	-180	-250	—
-150	-210	-200	-130	-150	-190	-260	-360
-160	-220	-300	-150	-170	-210	-280	-380
-180	-240	-320	-170	-190	-230	-300	-400
-200	-260	-340	—	-200	-250	-330	-430
170	250	—	170	220	280	400	—
180	250	350	190	240	300	410	560
190	260	360	210	250	300	420	580
200	280	380	230	260	320	440	600
250	330	420	—	350	450	550	800
80	100	—	80	100	130	200	—
90	110	120	90	120	140	220	300
100	120	150	110	150	180	250	350
110	130	170	130	180	200	280	380
120	140	200	—	200	250	300	400
150	300	400	300	400	500	600	800

$T_g$  — tolerancja grubości zęba,  
 $\Delta g$  — błąd grubości zęba,

$\Delta r$  — bicie uzębienia.

**Tabela XXXII. Minimalne luzy obwodowe w stożkowych kołach zębatych wg GOST 1758—42**

Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

Klasa dokładności	Średnica kół, mm				
	40 do 100	100 do 200	200 do 400	400 do 800	800 do 1200
<b>1</b>	35	60	100	200	
<b>2</b>	50	80	120	220	350
<b>3</b>	60	90	140	250	380
<b>4</b>	80	110	160	280	400

**Tabela XXXIII. Dopuszczalne błędy uzębienia, zazębienia i położenia osi w skrzynce dla przekładni stożkowej wg GOST 1758—42**

Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

1 klasa dokładności

Rodzaj błędu		Moduł, mm			
		1 do 3	3 do 5	5 do 7	7 do 10
$\Delta\beta_b$		$\pm 10$	$\pm 15$	$\pm 20$	$\pm 30$
$\Delta\delta_b$		$\pm 8$	$\pm 12$	$\pm 15$	$\pm 20$
$\Delta w_b$		$\pm 5$	$\pm 8$	$\pm 10$	$\pm 12$
ślady dolegania	na szerokości wieńca	co najmniej 70% b			
	na wysokości zęba	cała wysokość na 50% długości zęba			

Tabela XXXIV. Dopuszczalne błędy uzębienia, zazębienia i położenia osi w skrzynce dla przekładni stożkowej wg GOST 1758—42

Wartości w  $\mu = 1/1000$  mm

Klasy dokładności 2 do 4

Klasa dokładności	Rodzaj błędu		Moduł, mm				
			1 do 3	3 do 6	6 do 10	10 do 14	14 do 20
2			$\pm 15$	$\pm 25$	$\pm 35$	$\pm 45$	$\pm 60$
			$\pm 10$	$\pm 18$	$\pm 30$	$\pm 40$	$\pm 50$
			$\pm 8$	$\pm 12$	$\pm 18$	$\pm 25$	$\pm 35$
	ślady dolegania	na szerokości wieńca	co najmniej 60% b				
na wysokości zęba		cała wysokość na 40% długości zęba					
3			$\pm 20$	$\pm 30$	$\pm 45$	$\pm 60$	$\pm 80$
			$\pm 15$	$\pm 25$	$\pm 35$	$\pm 45$	$\pm 60$
			$\pm 15$	$\pm 20$	$\pm 30$	$\pm 40$	$\pm 50$
	ślady dolegania	na szerokości wieńca	co najmniej 50% b				
na wysokości zęba		cała wysokość na 30% długości zęba					
4			$\pm 35$	$\pm 50$	$\pm 70$	$\pm 90$	$\pm 120$
			$\pm 25$	$\pm 35$	$\pm 50$	$\pm 60$	$\pm 80$
			$\pm 25$	$\pm 30$	$\pm 40$	$\pm 50$	$\pm 80$
	ślady dolegania	na szerokości wieńca	co najmniej 40% b				
na wysokości zęba		cała wysokość na 20% długości zęba					

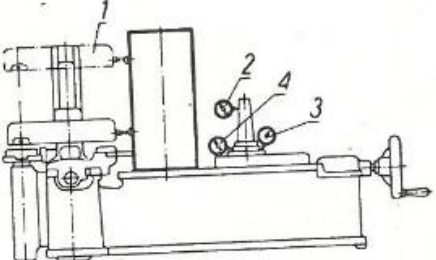
Tabela XXXV. Instrukcja sprawdzania walcowych kół zębatach wykonywanych seryjnie

Rodzaj pomiaru	Klasa dokładności kół			
	najdokładniejsze	dokładne	średnio dokładne	najmniej dokładne
Oględziny: a) boków zębów b) dna wrębów c) załamania krawędzi wierzchołkowych i czołowych w zębach d) znakowanie	100%			
Pomiar: a) średnicy wierzchołkowej i jej bicia b) średnicy dna wrębów	50%		100% 5%	
Pomiar grubości zęba	100%			
Sprawdzanie bicia uzębienia	100%			
Sprawdzanie: a) prawidłowości zarysu boków zębów b) dokładności podziałek c) równomierności podziałek	1 % 5 % 5 %	2 % 2 % 2 %	tylko w wypadkach specjalnych	— — —
Sprawdzanie współpracy: a) z wykonaniem wykresu b) z odczytem wskazań czujnika c) od ręki	100% —	10 % 90 % —	5 % 45 % 50 %	2 % — 98 %
Sprawdzanie bicia: a) walca wierzchołkowego b) czół	100 % 80 %	50 % 20 %	100 % <sup>1)</sup> 100 % <sup>1)</sup>	10 % 10 %
Sprawdzanie prawidłowości przebiegu linii zęba	30 %	20 %	10 %	10 %

1) Przy kołach zębatach do pompek zębatach — średnica wierzchołkowa oraz szerokość wieńca i bicia czół są szczególnie ważne, gdyż są tolerowane.



Tabela XXXVI. Pomiar przyrządu do sprawdzania prawidłowości ewolwenty  
(rys. 51)

Lp.	Sprawdzana wielkość	Szkic	Przyrządy pomiarowe	Dop. błąd	Sposób pomiaru
1	Prostopadłość prowadnic sań aparatu samopiszącego do prowadnic suportu przedmiotowego		walec kontrolny	0,005 na 120 mm	Ustawić walec kontrolny na prowadnicach suportu przedmiotowego. Przesunąć sianie aparatu samopiszącego o 120 mm
2	Bicie trzpienia przedmiotowego		czujnik	0,005	dostawić nóżkę czujnika do czoła trzpienia; obrócić trzpień
3	Bicie czoła kołnierza oporowego dla tarczki tocznej		czujnik	0,005	dostawić nóżkę czujnika do czoła kołnierza; obrócić trzpień
4	Bicie gniazda tarczki tocznej		czujnik	0,005	dostawić nóżkę czujnika do gniazda; obrócić trzpień

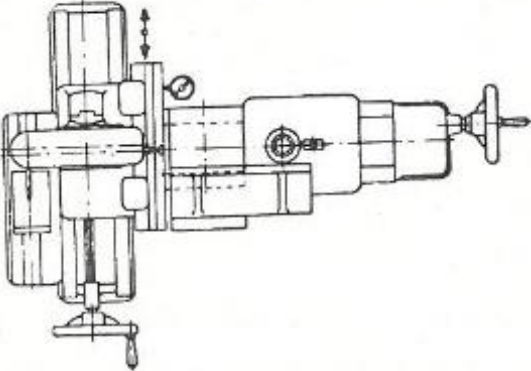
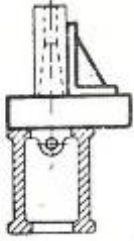
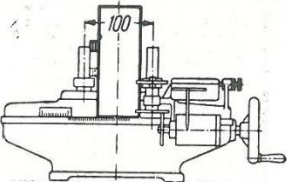
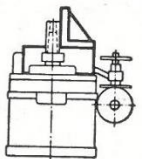
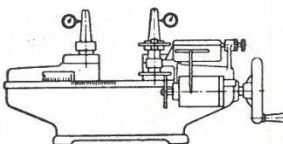
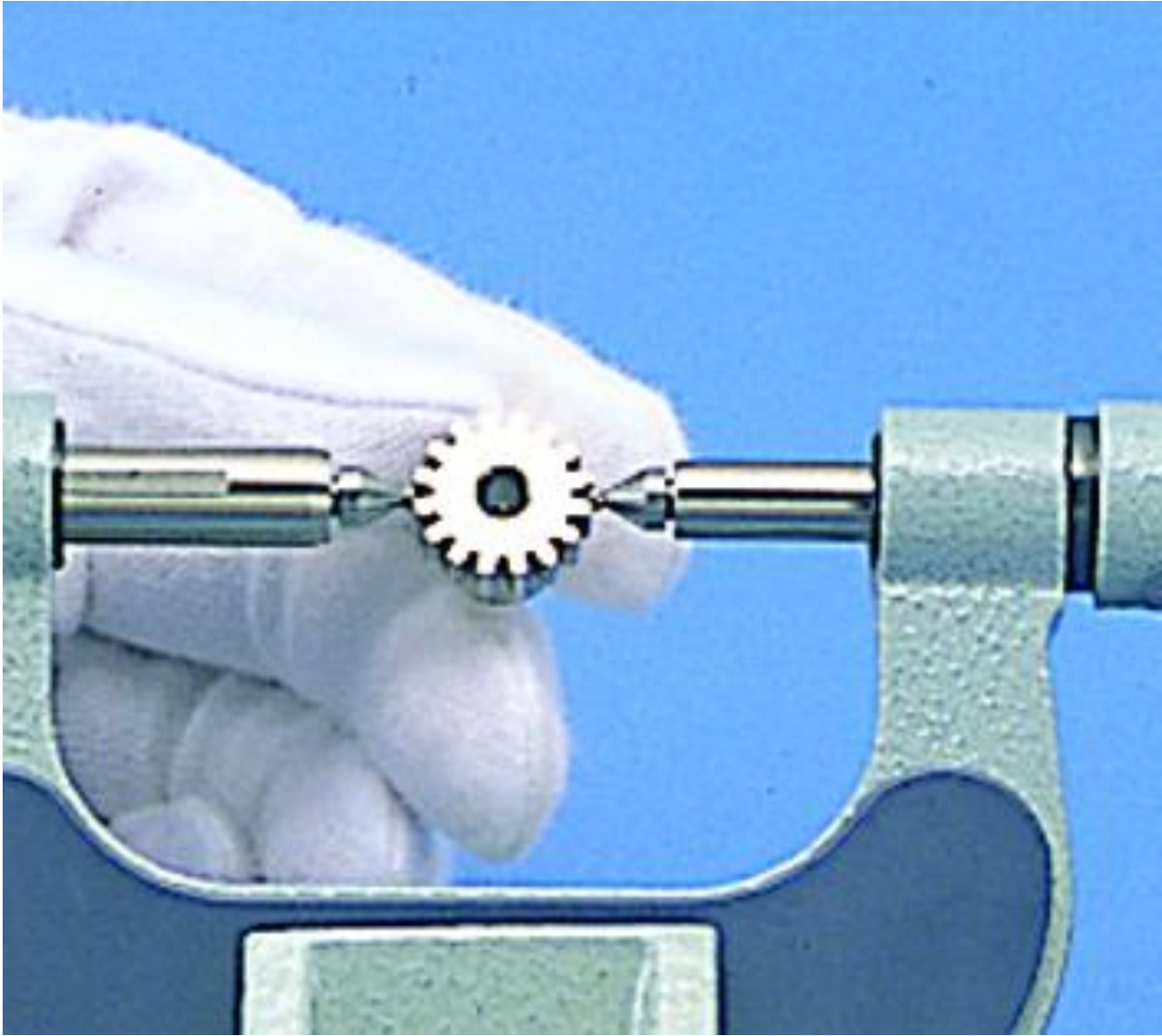
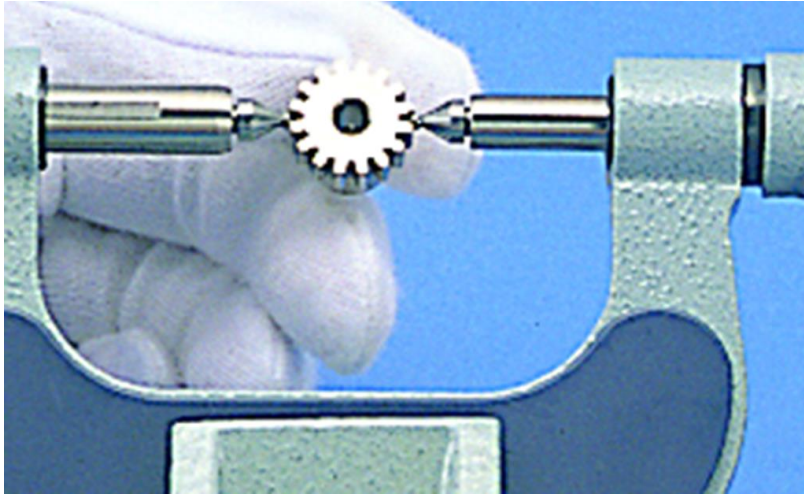
5	Prostolinio- wość liniału tocznego		krawędź narzędziar- ska	0,003	dostawić kra- wędź narzędziar- ską; sprawdzić szparę pod światło
6	Równoległość liniału tocz- nego do pro- wadnic supor- tu poprzecz- nego		czujnik	0,005 na 100 mm	dostawić nóżkę czujnika do linia- łu tocznego; przesunąć suport poprzeczny o 100 mm
7	Prostopadłość trzenia przedmioto- wego do pro- wadnic supor- tu przedmio- towego		klocek o ścianach równole- głych; tu- lejka cylin- dryczna; kątownik wzorcowy	0,003	ustawić kątownik kontrolny na klocku, położo- nym na prowa- dnicach suportu przedmiotowego; dostawić kąto- wnik kontrolny do cylindrycznej tulejki, osadzonej na trzpieniu przedmiotowym

Tabela XXXVII. Pomiar przyrządu do sprawdzania współpracy (rys. 119)

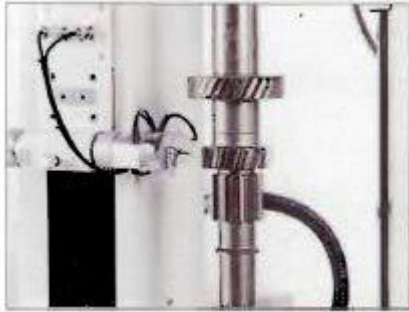
Lp.	Sprawdzana wielkość	Szkic	Przyrządy pomiarowe	Dop. błąd	Sposób pomiaru
1	Równoległość trzpieni		walec kontrolny, tulejki cylindryczne, płytki wzorcowe	0,005 na 100 mm	ustawić walec kontrolny na prowadnicach suportów przedmiotowych. Osadzić na trzpieniach tulejki cylindryczne. Wstawić płytki wzorcowe między walec kontrolny i tulejki
2	Prostopadłość osi trzpieni do prowadnic suportów przedmiotowych		jw. oraz klocek o ścianach równoległych, kątownik wzorcowy	0,003	jw. oraz ustawić kątownik wzorcowy na klocek, położonym na prowadnicach suportów przedmiotowych; dostawić kątownik do tulejek cylindrycznych
3	Bicie trzpieni		czujnik	0,005	dostawić nóżkę czujnika do trzpieni przedmiotowych
4	Dokładność wskazań skali na długości 100 mm		tulejki cylindryczne, płytki wzorcowe	$\pm 0,005$	wstawić stos płytek wzorcowych między tulejki cylindryczne, osadzone na trzpieniach przedmiotowych







Detektor UD-414  
dla HH-411



Maszyny do inspekcji przekładni - Testery przekładni -  
Sprawdzarki przekładni - Przyrządy do testowania  
przekładni - Sprzęt do pomiaru przekładni

W pełni zautomatyzowany pomiar profilu zęba, spirali i  
podziałki

Przyrządy te służą do pomiaru i kontroli profilu,  
wyprzedzenia, pochylenia i bicia kół zębatych w celu  
uzyskania wysokiej wydajności przekładni.







## QUINDOS Gear

Pomiar kół zębatach cylindrycznych, prostych lub walcowych skośnych, wewnętrznych lub zewnętrznych na bardzo dokładnych Współrzędnościowych Maszynach Pomiarowych. Ocena według norm DIN, ISO, JIS, AGMA, ANSI, CNOMO lub standardów CAT, z uwzględnieniem i bez uwzględnienia mimośrodów. Zmiany zarysu, linii śrubowej i tolerancji. Pakiet oprogramowania QUINDOS Gear umożliwia badanie zębów kół zębatach o zarysie prostym lub ewolwentowym, zgodnie z normą DIN 5481 oraz DIN 5482.





Firma Nikon Metrology wprowadziła HN-C3030, nowy bezkontaktowy system pomiarowy do szybkich pomiarów 3D kół zębatach, wirników, płyt grzewczych, łopatek turbin i innych złożonych elementów z dokładnością do pojedynczej liczby mikronów.

<https://www.tctmagazine.com/metrology-3d-scanning-imagine-inspection-news/nikon-metrology-3d-measuring-system-inspection/>

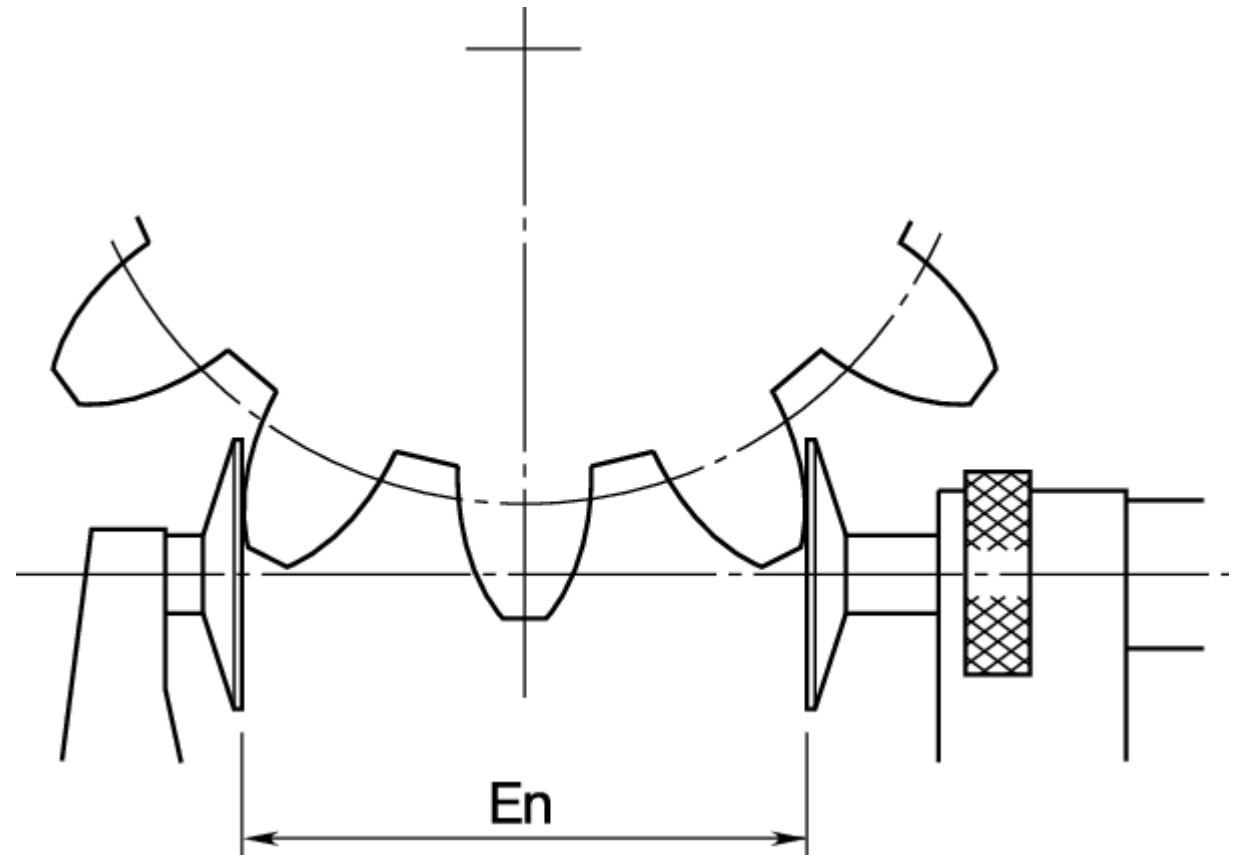
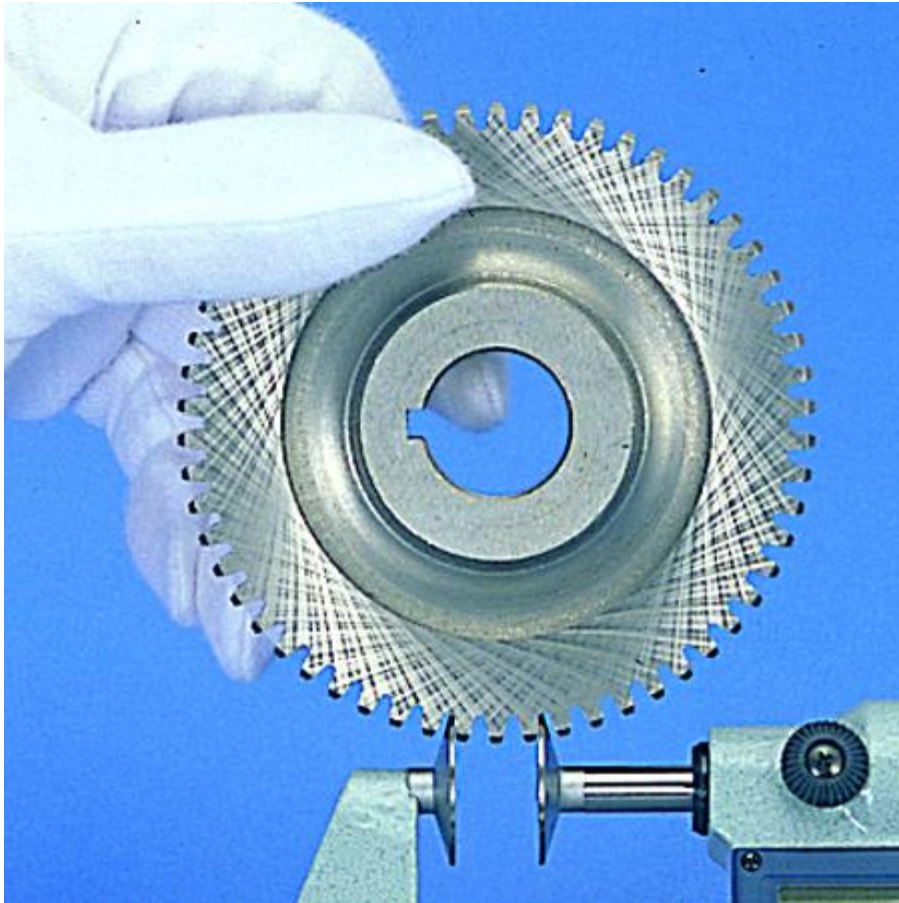
## Mikrometr "DIGIMATIC" do pomiaru kół zębatach



Zakres:	0 - 25 mm
Dokładność:	$\pm 4 \mu\text{m}$
Waga:	295 g
Podziałka:	0,01 mm
Rozdzielczość:	0,001 mm / 0,001 mm/0.00005" (digimatic model)
Skala:	Bęben i tuleja matowo chromowane, $\varnothing$ 18 mm
Wrzeciono pomiarowe:	$\varnothing 6,35$ mm
Nacisk pom.:	5 - 10 N

[https://shop.mitutoyo.pl/web/mitutoyo/pl\\_PL/mitutoyo/01.02.01.060/Mikrometr%20%22DIGIMATIC%22%20do%20pomiaru%20k%3%B3%20z%20C4%99batych%20Wersja%20specjalna%20-25%20mm/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/124-173/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.pl/web/mitutoyo/pl_PL/mitutoyo/01.02.01.060/Mikrometr%20%22DIGIMATIC%22%20do%20pomiaru%20k%3%B3%20z%20C4%99batych%20Wersja%20specjalna%20-25%20mm/$catalogue/mitutoyoData/PR/124-173/index.xhtml)

**Mikrometr talerzykowy Digimatic umożliwia pomiary trudno dostępnych cech.  
Pomiary grubości zębów i modułu kół zębatych.  
Pomiary innych cech trudnych do zmierzenia standardowym mikrometrem.**



**Mikrometr talerzykowy Digimatic umożliwia pomiary trudno dostępnych cech.  
Pomiary grubości zębów i modułu kół zębatych.  
Pomiary innych cech trudnych do zmierzenia standardowym mikrometrem.**

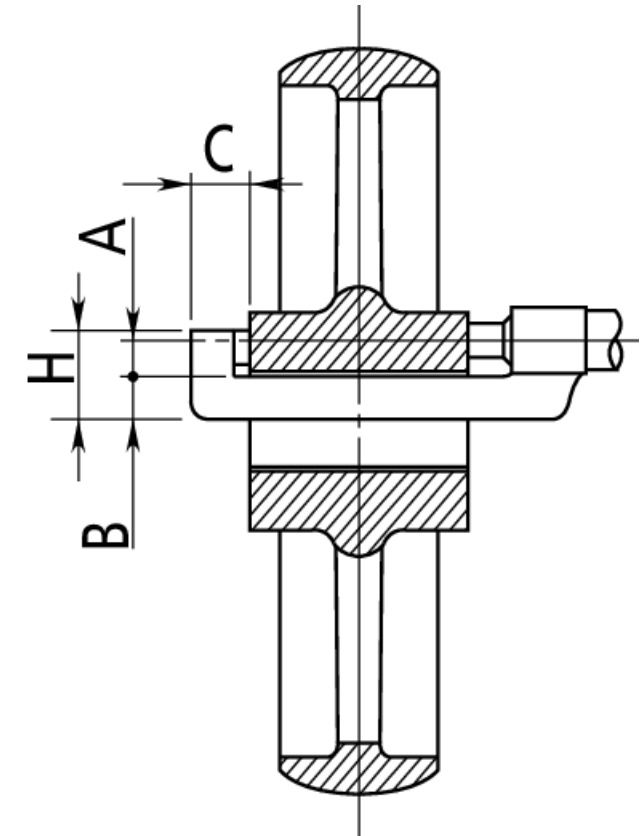
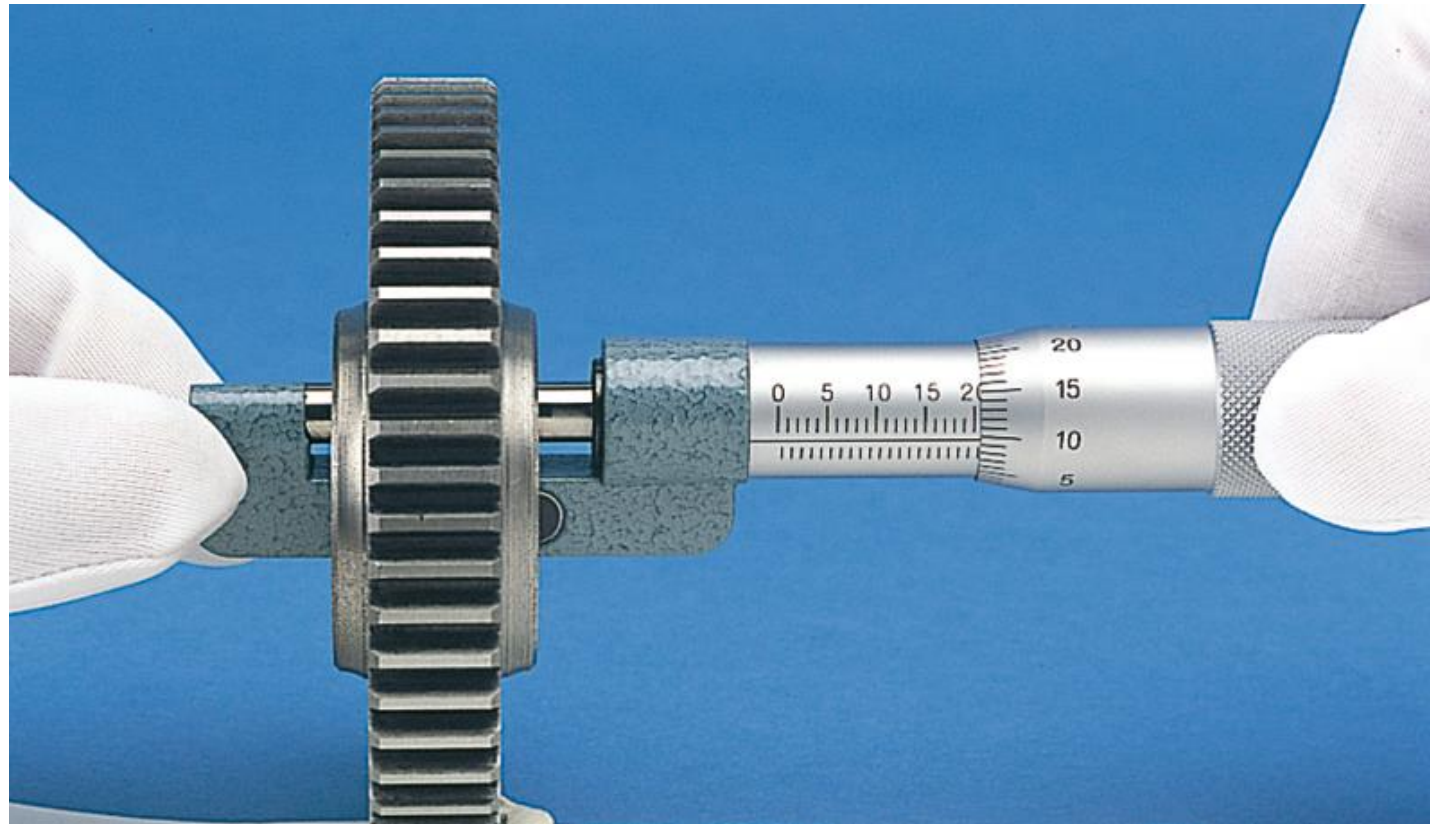


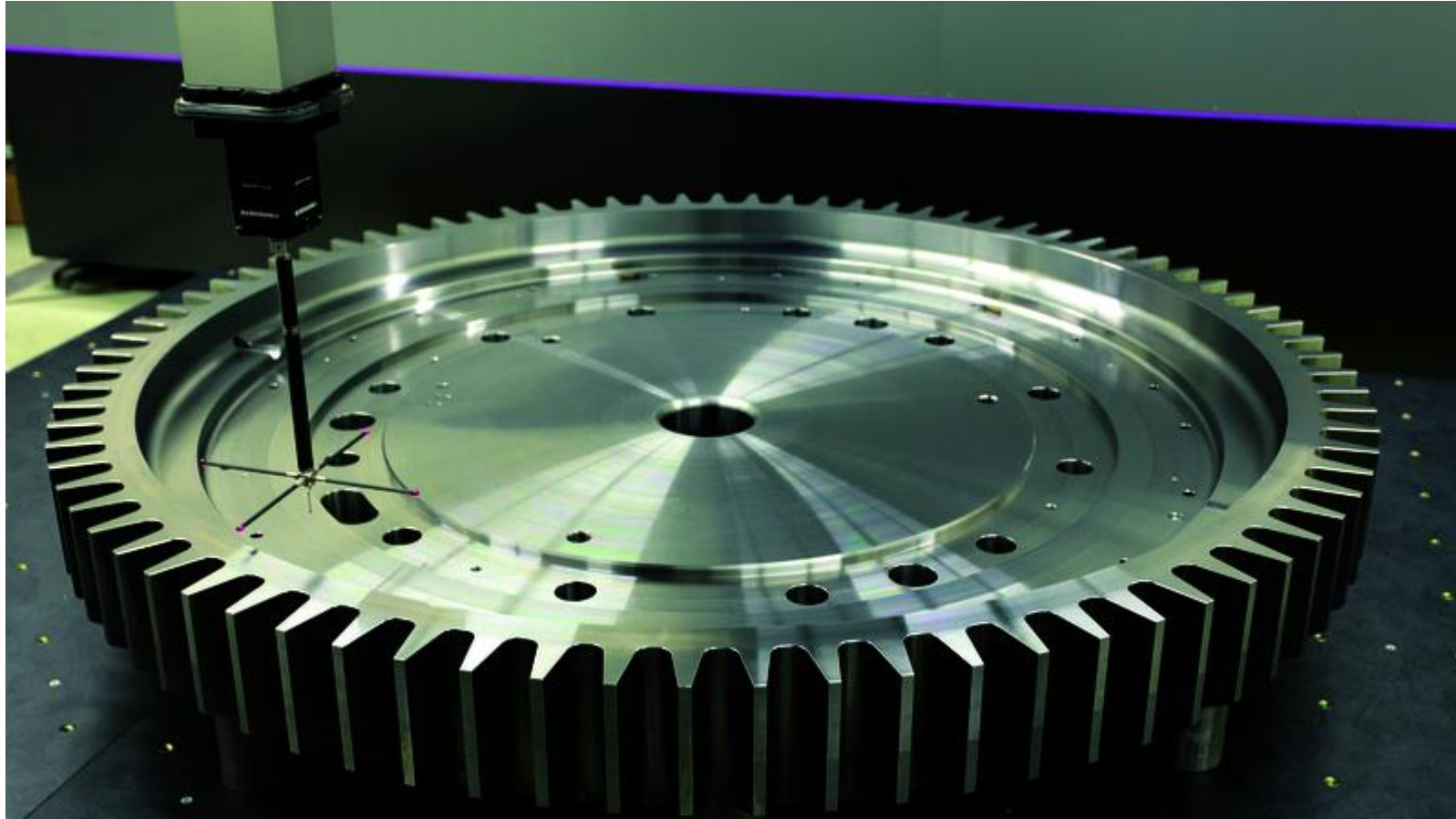
- Zakres: 0 - 25 mm
- Dokładność:  $\pm 4 \mu\text{m}$
- Płaskość:  $1 \mu\text{m}$
- Równoległość:  $4 \mu\text{m}$
- Waga: 290 g
- Rozdzielczość: 0,001 mm
- Skala: Bęben i tuleja matowo chromowane,  $\varnothing 18 \text{ mm}$
- Wrzeciono pomiarowe:  $\varnothing 6.35 \text{ mm}$ , spindle pitch 0.5 mm, with spindle lock
- Zakres pomiaru modułu: 0.5-6
- Nacisk pom.: 3 - 8 N

## Mikrometr do pomiaru grubości piast o wyjątkowo niskim pałąku 0-25 mm



Mikrometr o bardzo małej wysokości kabłąka przeznaczony do pomiarów grubości piast, wystających części wewnątrz otworów, panewek łożysk, itp.

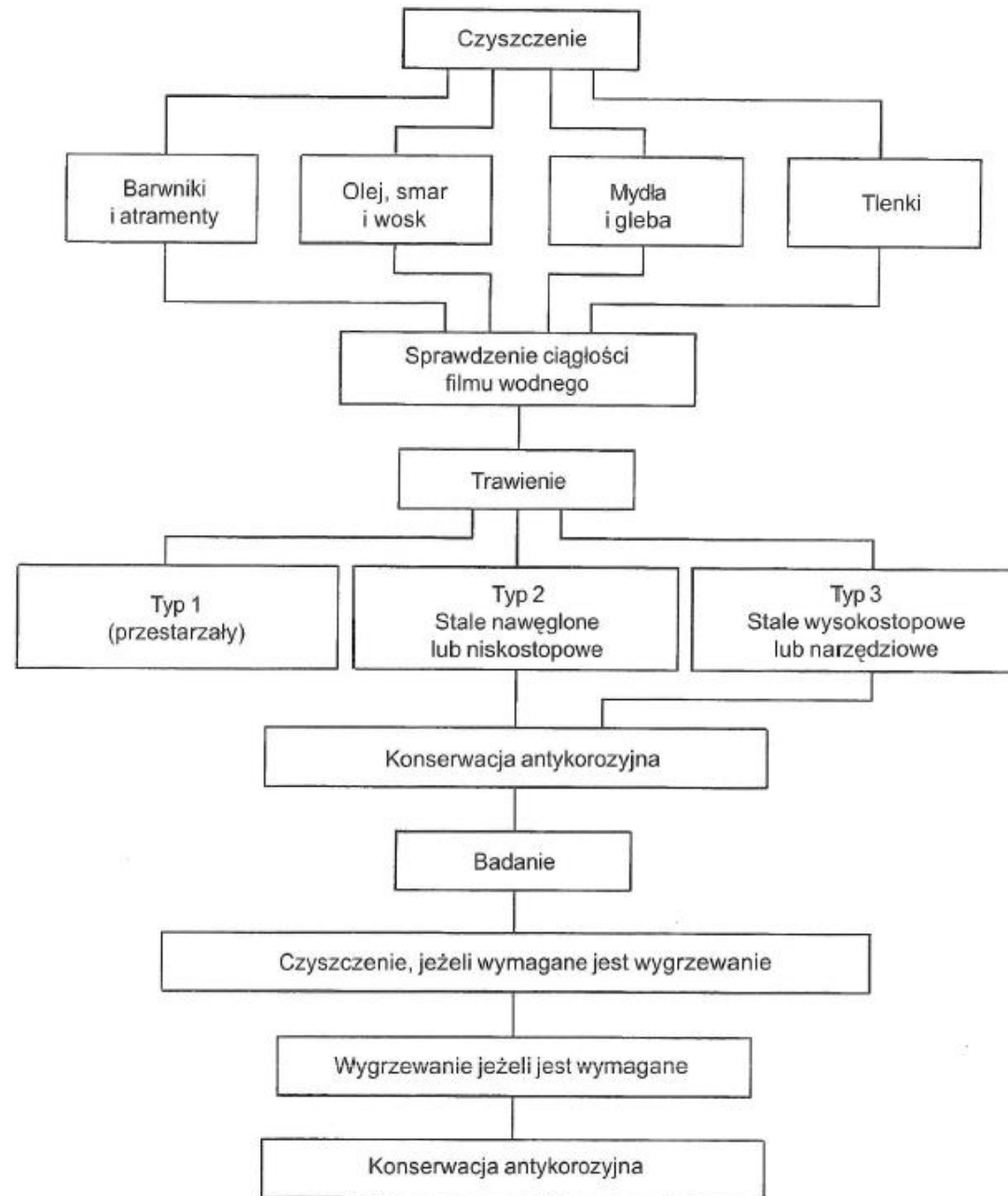




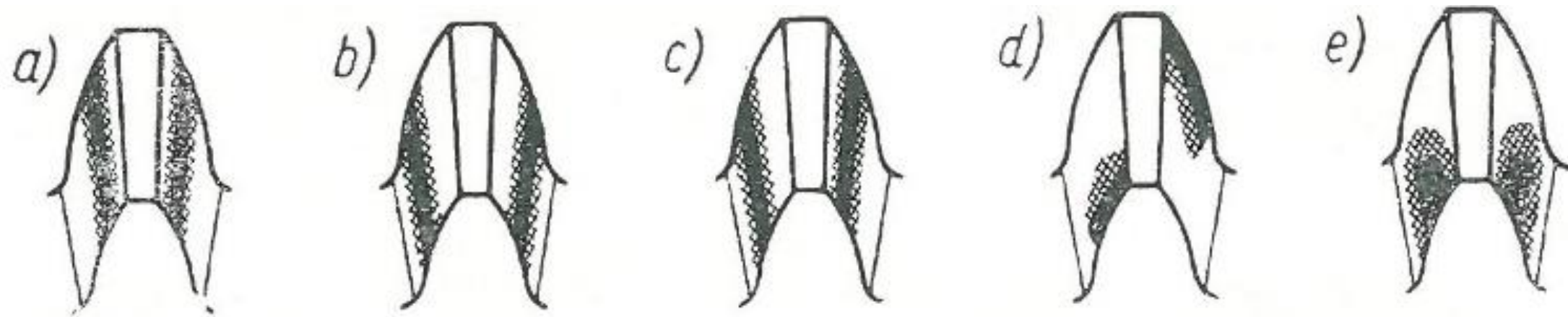




**Metodologia badania  
odpuszczenia powierzchni  
kół po szlifowaniu  
wg. PN-ISO 14104**






# Analiza uszkodzeń kół zębatach



Rys. 147. Ślady dolegania zębów prostych podczas pracy; a), b) i c) obustronne wadliwe kąty przyporu: a) za mały kąt przyporu, b) za duży kąt przyporu, c) z jednej strony za duży, a z drugiej za mały kąt przyporu, d) wadliwa linia zęba, e) prawidłowy ślad dolegania zębów

**Tabela XII. Instrukcja sprawdzania i montażu stożkowych kół zębatach o łukowej linii zęba**

Ślad współpracy	Charakterystyka	Sposób usunięcia błędu
	<p>naprzemianległe „doleganie” na końcach zębów: pracujący „p” bok bliżej cieńszego, niepracujący „n” — na grubszym końcu zęba</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) sprawdzić położenie otworów w skrzynce</li> <li>2) można jeszcze zastosować pod warunkiem, że ślad <math>\geq \frac{1}{2}</math> długości zęba</li> </ol>
	<p>jw.: bok pracujący „p” na grubszym końcu, niepracujący „n” na cieńszym końcu zęba; doleganie niedopuszczalne</p>	<p>bezwzględnie nie należy montować</p>
	<p>„doleganie” na cieńszym końcu zęba</p>	<p>oddalić koła większe od wierzchołka stożka</p>



„doleganie“  
na grubszym końcu zęba

zbliżyć koło większe ku  
wierzchołkowi stożka



„doleganie” u podstawy zę-  
bów w dowolnym miejscu  
wzdłuż zęba

oddalić koło mniejsze od  
wierzchołka stożka



„doleganie“ u wierzchołka  
w dowolnym miejscu wzdłuż  
zęba

zbliżyć koło mniejsze ku  
wierzchołkowi stożka



„doleganie“ silne z jednej strony u wierzchołka, a z drugiej u podstawy zęba

przez odpowiednie przesunięcia wg powyższych wskazówek można dla roboczej strony zęba doprowadzić ślad współpracy do znośnego stanu

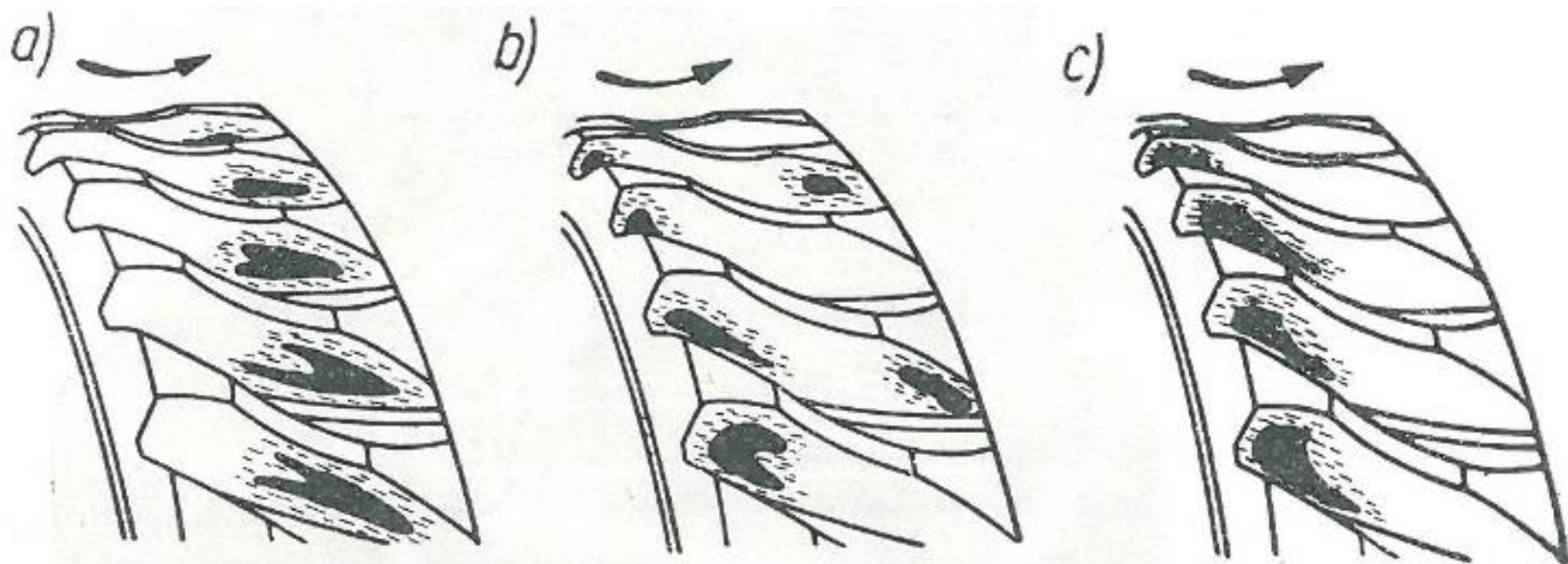


„doleganie” po stronie „p” pracującej w środku, a po stronie „n” niepracującej bliżej grubszego końca zęba

właściwy ślad, w stanie nieobciążonym. W stanie obciążonym ślad zbliża się ku cieńszemu końcowi zęba

**U w a g a:** Wszelkie nastawienia mogą być dokonywane w małych granicach. Pamiętać przy tym należy, że przez przesunięcie osiowe koła większego zmienia się luz międzyzębny ( $l_0$ )

przy  $\alpha = 141/^\circ$  - 41 - 05 - 4

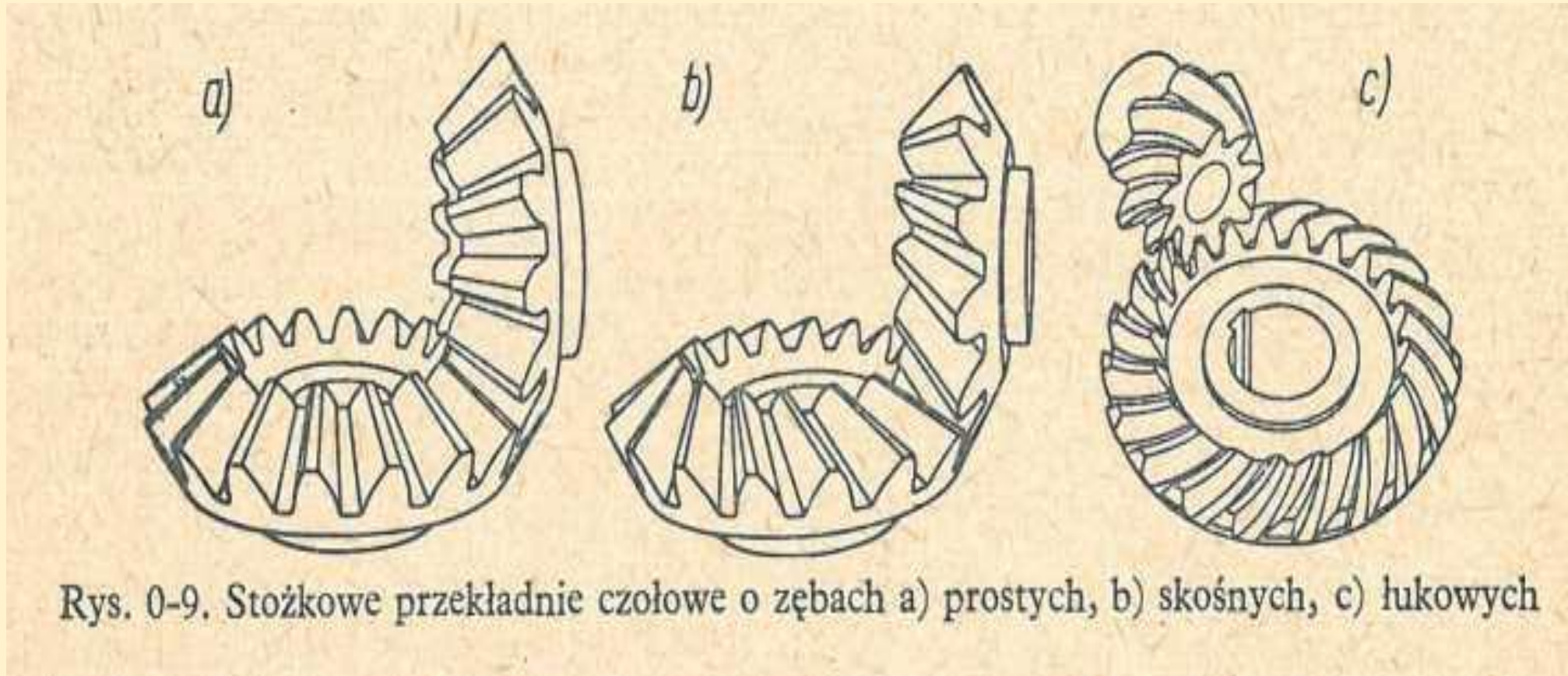


Rys. 163. Ślady dolegania między zwojami ślimaka i zębami koła ślimakowego; a) ślad poprawny po wyjściowej stronie wieńca koła ślimakowego, b) obustronny ślad dolegania uniemożliwia powstanie klina olejowego — niekorzystny, c) ślad po stronie wejściowej wieńca jest również niekorzystny

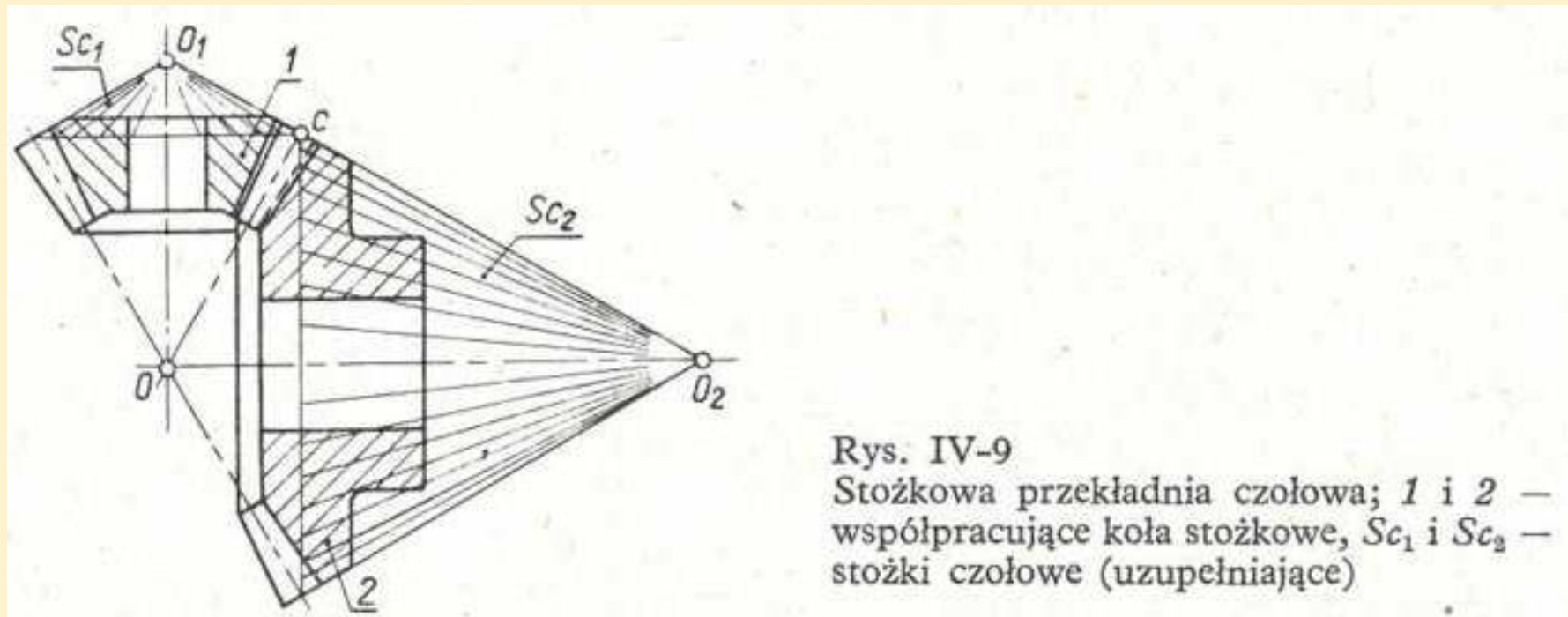
# Obliczenie wytrzymałościowe kół zębatach stożkowych



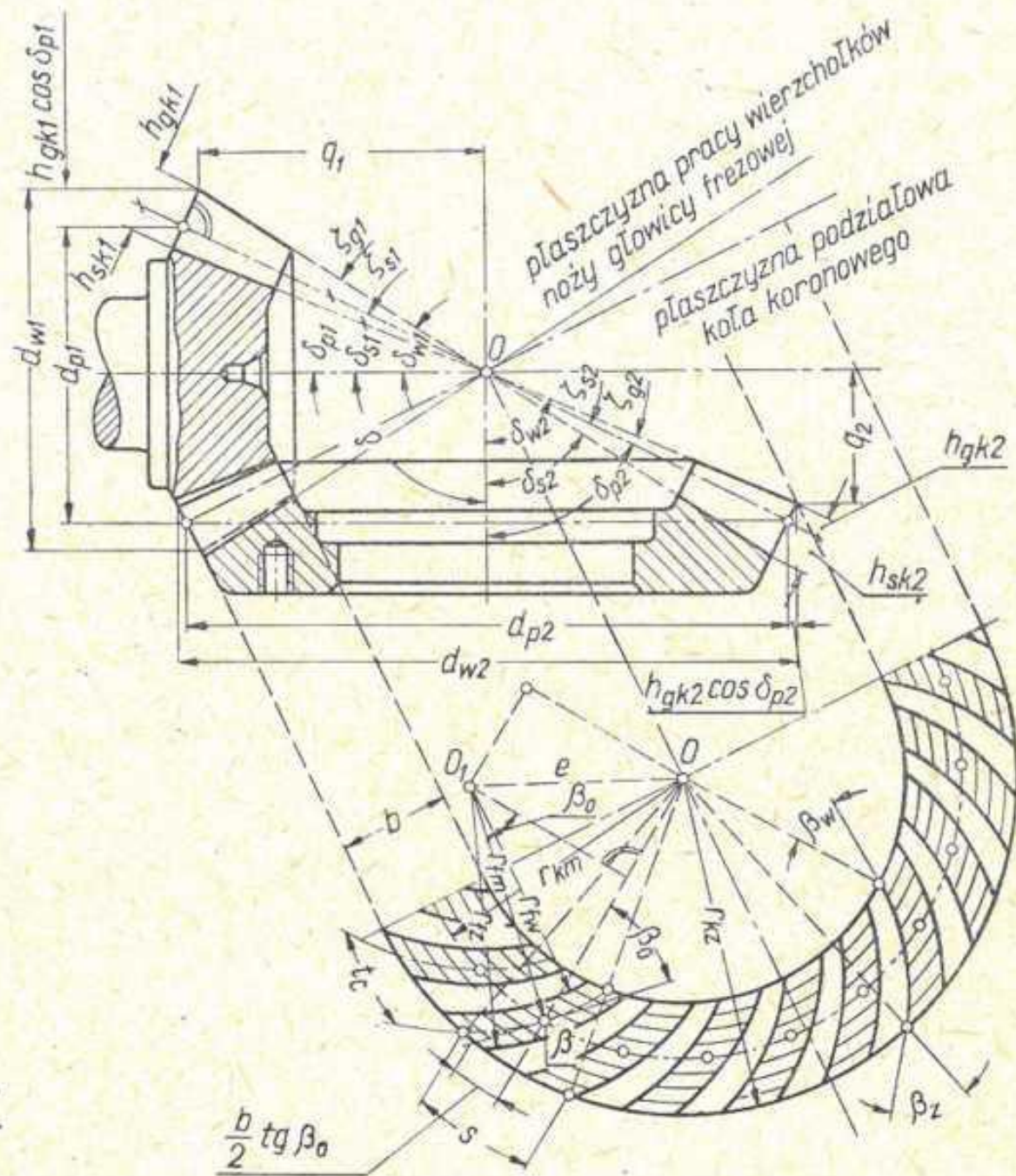
# Stożkowe przekładnie czołowe



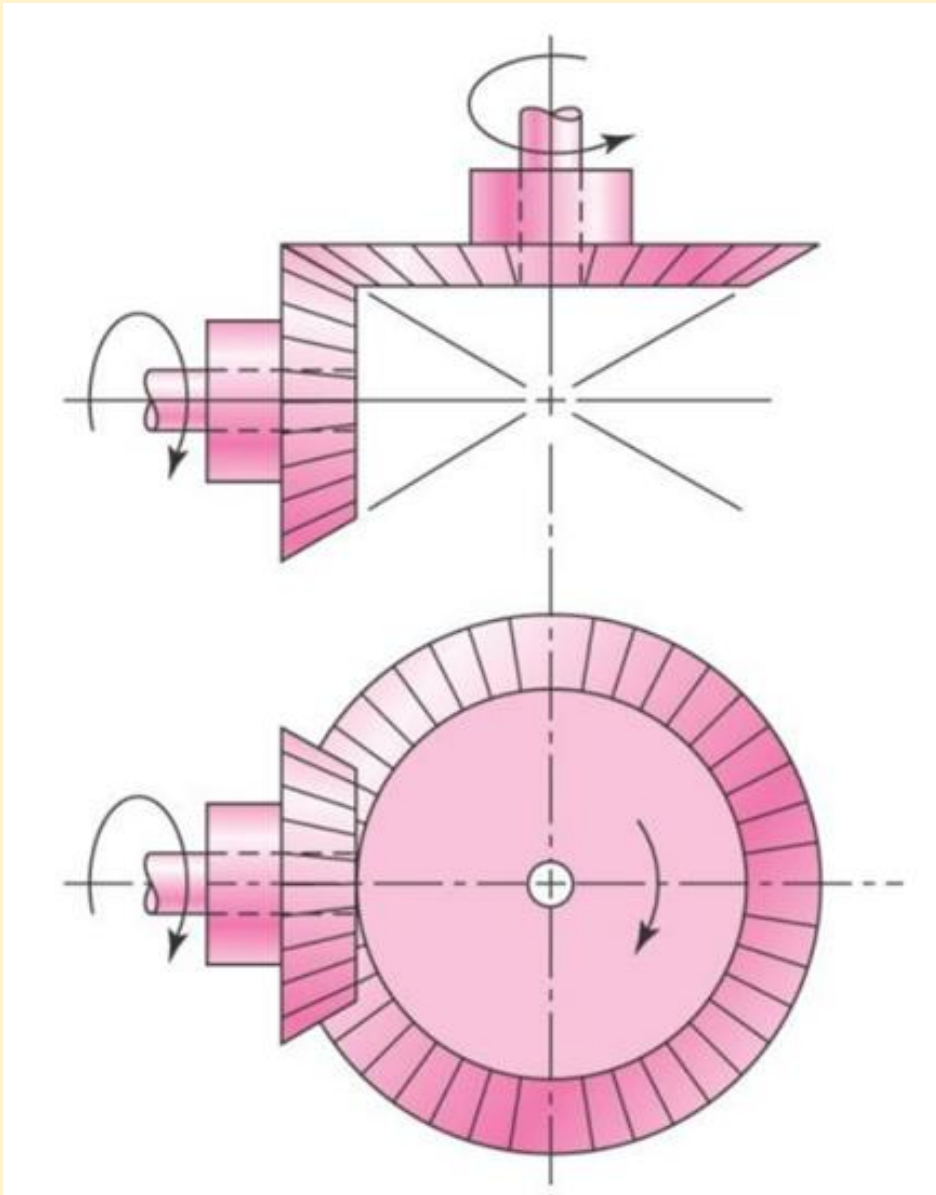
# Stożkowa przekładnia czołowa



# Stożkowa przekładnia o zębach kołowo-łukowych

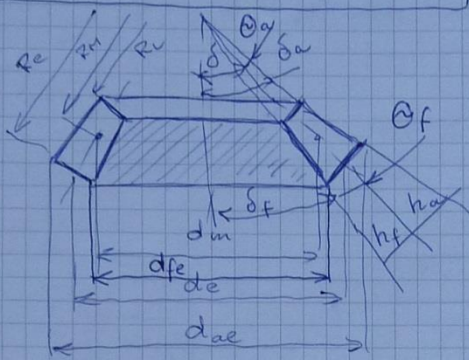


Rys. VI-5  
Konstrukcja przekładni stożkowej o zębach kołowo-łukowych (f. Gleason)



# OBLICZANIE KÓŁ STOŻKOWYCH

## O ZĘBACH PROSTYCH



$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_{f2}}{d_{f1}}$$

1) średnica podziałowa  $d_e = m \cdot z$

2) wysokość głowy zęba  $h_{ae} = m$

3) wysokość stopy zęba  $h_{fe} = 1,25m$

4) średnica wierzchołków  $d_{ae} = d_e + 2h_{ae} \cdot \cos \delta = m(z + 2 \cos \delta)$

5) średnica podstaw  $d_{fe} = d_e - 2h_{fe} \cdot \cos \delta = m(z - 2,5 \cos \delta)$

6) ~~średnica~~  $d_{fm} = d_e - 2,5h_{ae} \cdot \cos \delta = m(z - 2,5 \cos \delta)$

7) długość tworzącej stożka podziałowej

$$R_e = \frac{d_e}{2 \sin \delta}$$

8) szerokość uzębienia  $b \rightarrow b = (0,25 \div 0,33) R_e$

9) tangens  $\theta_a$  głowy zęba

$$\tan \theta_a = \frac{h_{ae}}{R_e} = \frac{2 \sin \delta}{z}$$

9) tangens  $\delta$  stopy zęba

$$\operatorname{tg} \theta_f = \frac{h_{fe}}{R_e} = \frac{2,5 \sin \delta}{z}$$

KOŁA  
STOŻKOWE  
O ZĘBACH  
PROSTYCH

10a) kąt stożka wierzchołków  $\delta_a = \delta + \theta_a$  | 10b) kąt stożka podstawy  $\delta_f = \delta - \theta_f$

11) średnica podwiatowa koła zastępczego

12) ~~zastępczy~~

$$d_{ez} = \frac{d_e}{\cos \delta} = \frac{m \cdot z}{\cos \delta}$$

12) zastępcza liczba zębów koła stożkowego

$$z_z = \frac{d_{ez}}{m} = \frac{z}{\cos \delta}$$

13) graniczna liczba zębów koła stożkowego

$$z_{gs} = z_g \cdot \cos \delta$$

$z_g$  - graniczna liczba zębów dla koła stożkowego o tym samym kącie przyproru *wałkowy*

14) Dla przekładni stożkowej o osiach przecinających się pod  $\neq 90^\circ$  można określić przeliczenie zastępcze

$$iz = \frac{d_{ez2}}{d_{ez1}} = i \cdot \frac{\cos \delta_1}{\cos \delta_2} = i \cdot \frac{\sin \delta_2}{\cos \delta_2} = i \cdot \operatorname{tg} \delta_2 = i^2$$

15) WYTRZYMAŁOŚĆ UZĘBIENI

$$m_m \geq \sqrt[3]{\frac{2 M_{obl} \cdot q \cdot \cos \delta}{\lambda \cdot z \cdot k_{g1}}}$$

$m_m$  - moduł svedni

$q$  - dla zastępczej liczby zębów

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = 5 \div 10 \\ b = \lambda \cdot m_m \end{array} \right.$$

$$b = \lambda \cdot m_m$$



$$a = 5 = 10$$

KOŁA  
STOJKOWE  
O ZĘBACH  
PROSTYCH

Moduł nominalny (zewnątrzny)

$$m = m_m = \frac{d_e}{z} = m_m \cdot \frac{z + \lambda \sin \delta}{z}$$

↑  
moduł  
średni

$$p_{max} = C \cdot \sqrt{\frac{F_{obl} \cdot \cos \delta}{b \cdot d_m} \left(1 + \frac{1}{i^2}\right)} \leq k_0$$

↑  
współczynnik C dla stali: 478,2 (stal po stali)

$d_m$  - średnica średnica podziałowa

$$F_{obl} = \frac{2M_{obl}}{d} = \frac{2M_{obl} \cdot \cos \beta}{m \cdot z}$$

$$F_{obl} = \frac{F \cdot K_p \cdot K_H}{K_e} = \frac{F \cdot 1,1 \cdot 1,3}{1}$$

## Modul

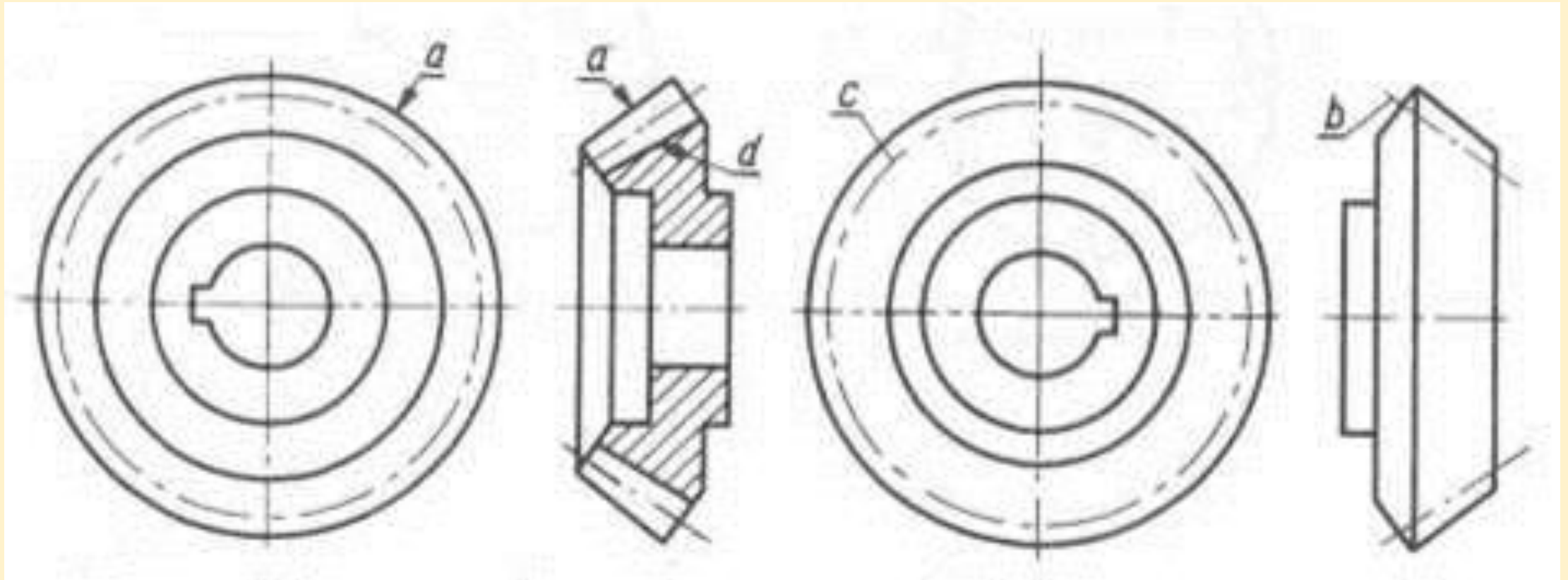
$$m_{nm} = 486 * \sqrt[3]{\frac{P * \sin \delta_1 * \cos^2 \beta_m}{\lambda_{zast} * z_1^2 * n_I * C_B * k_g}} [mm]$$

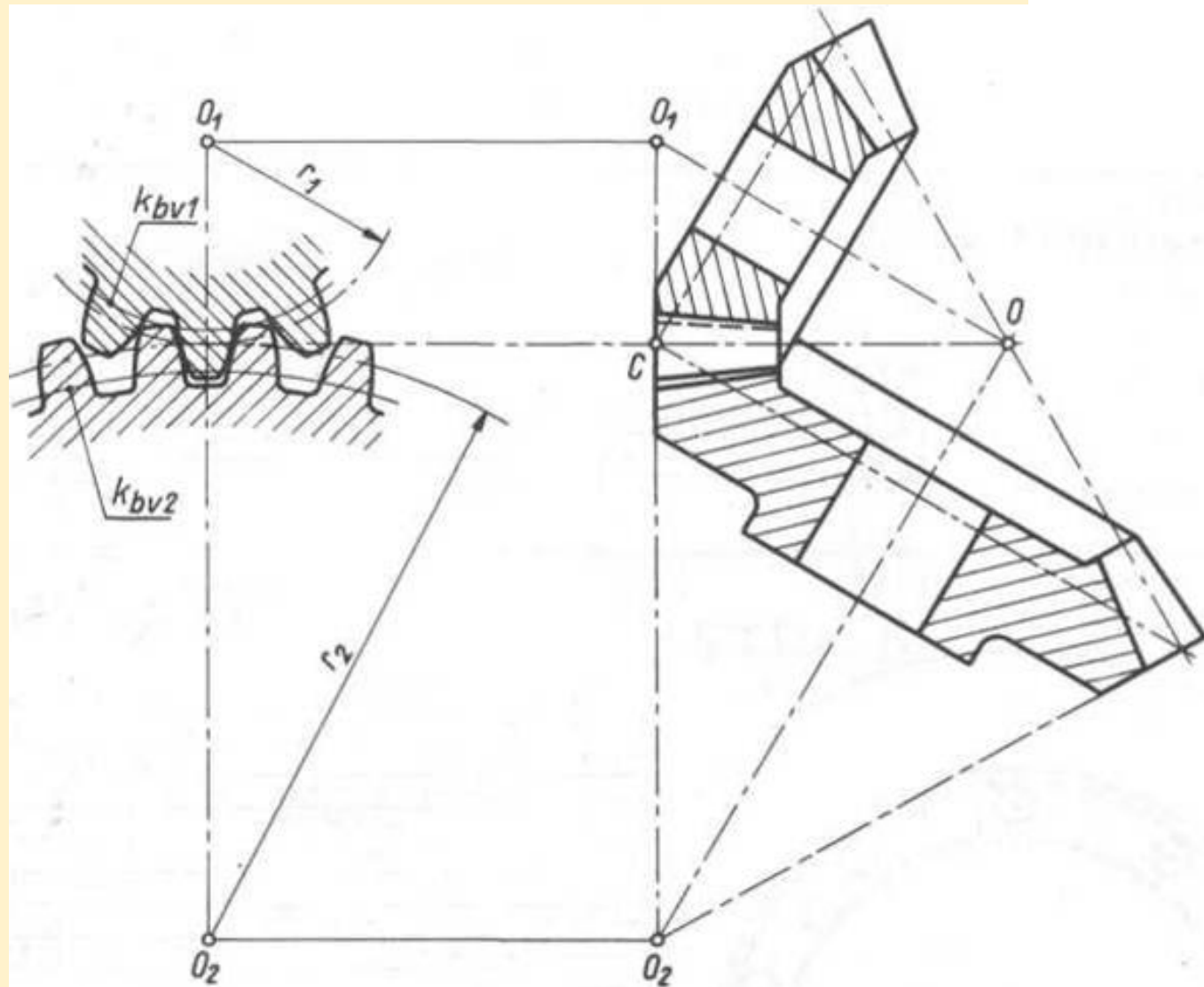


# Wariantowanie rozwiązania konstrukcyjnego koła zębatego stożkowego

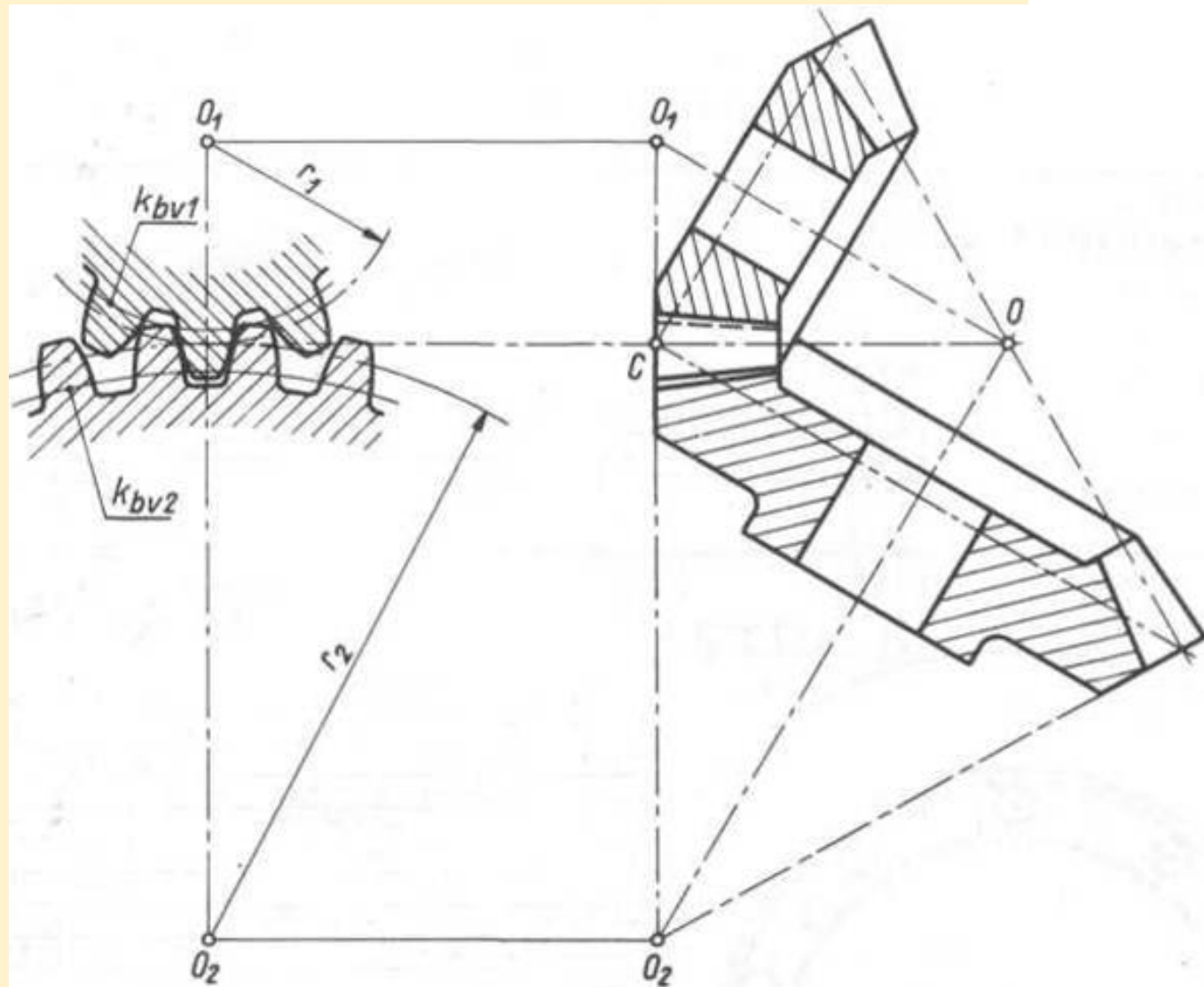
# Wykonanie dokumentacji rysunkowej

## Rysunki koła zębatego stożkowego



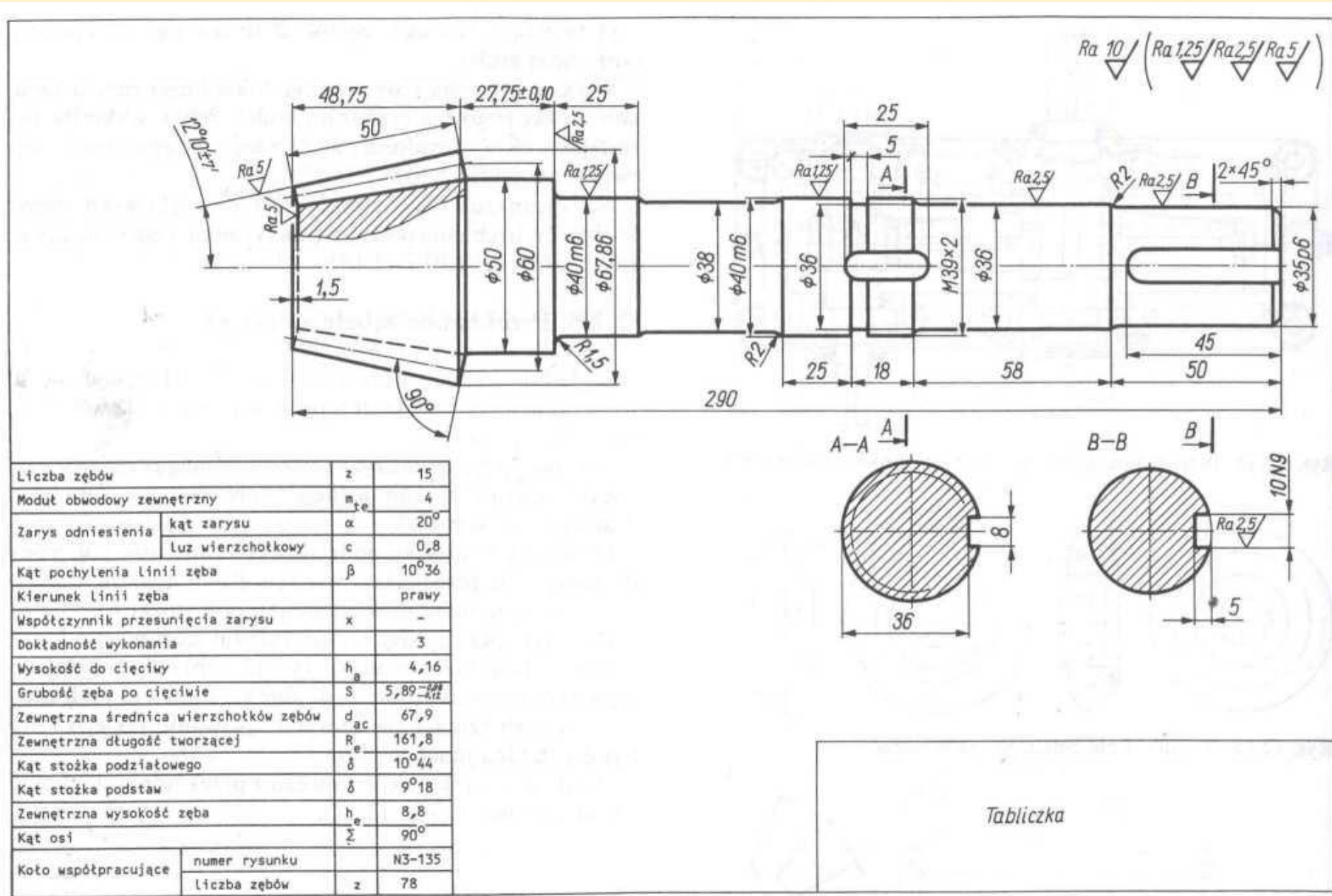


Rys. 12.16. Rysunki zarysów zębów kół stożkowych o zębach prostych



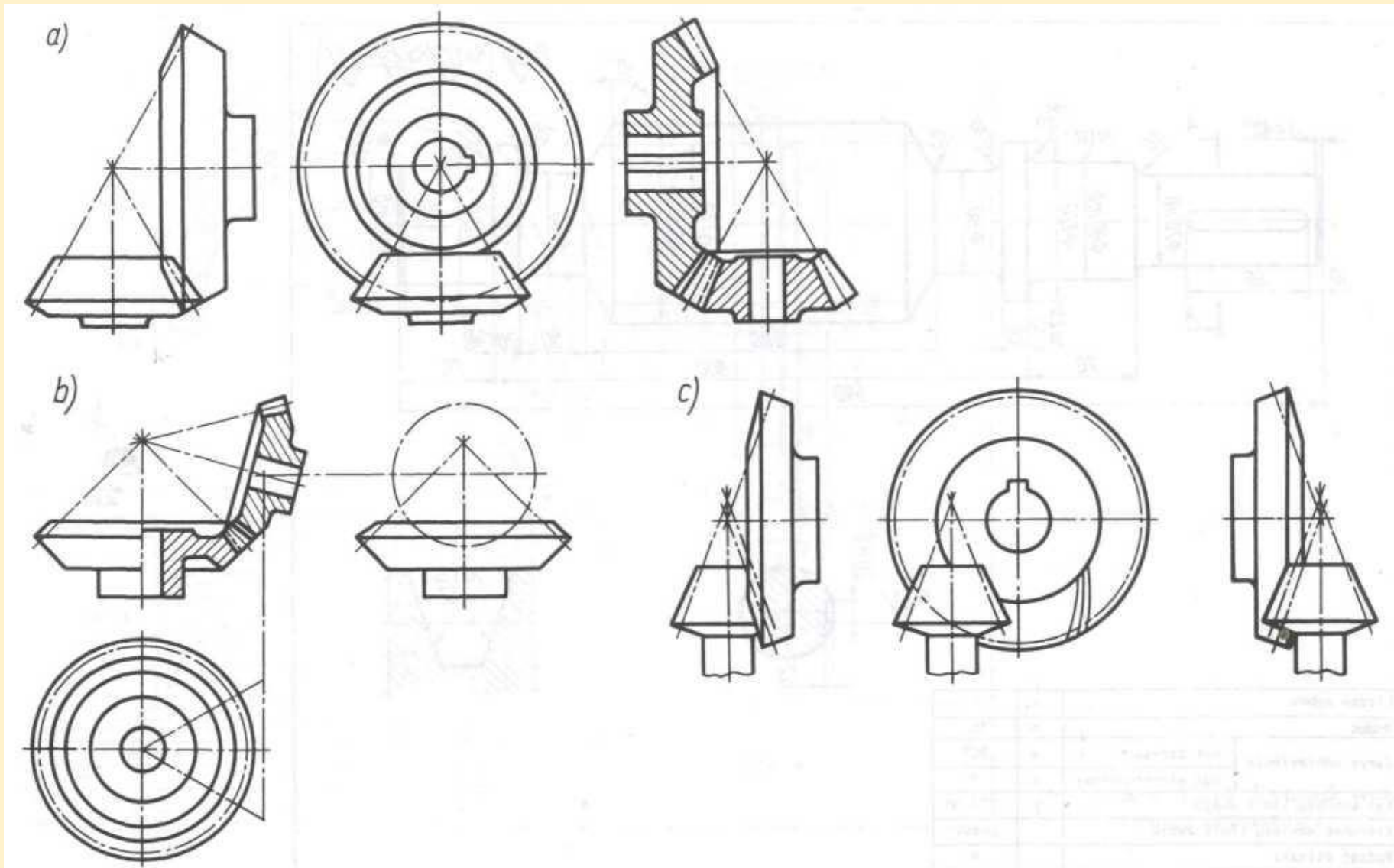
Rys. 12.16. Rysunki zarysów zębów kół stożkowych o zębach prostych

# Rysunek wykonawczy koła zębatego stożkowego o zębach skośnych



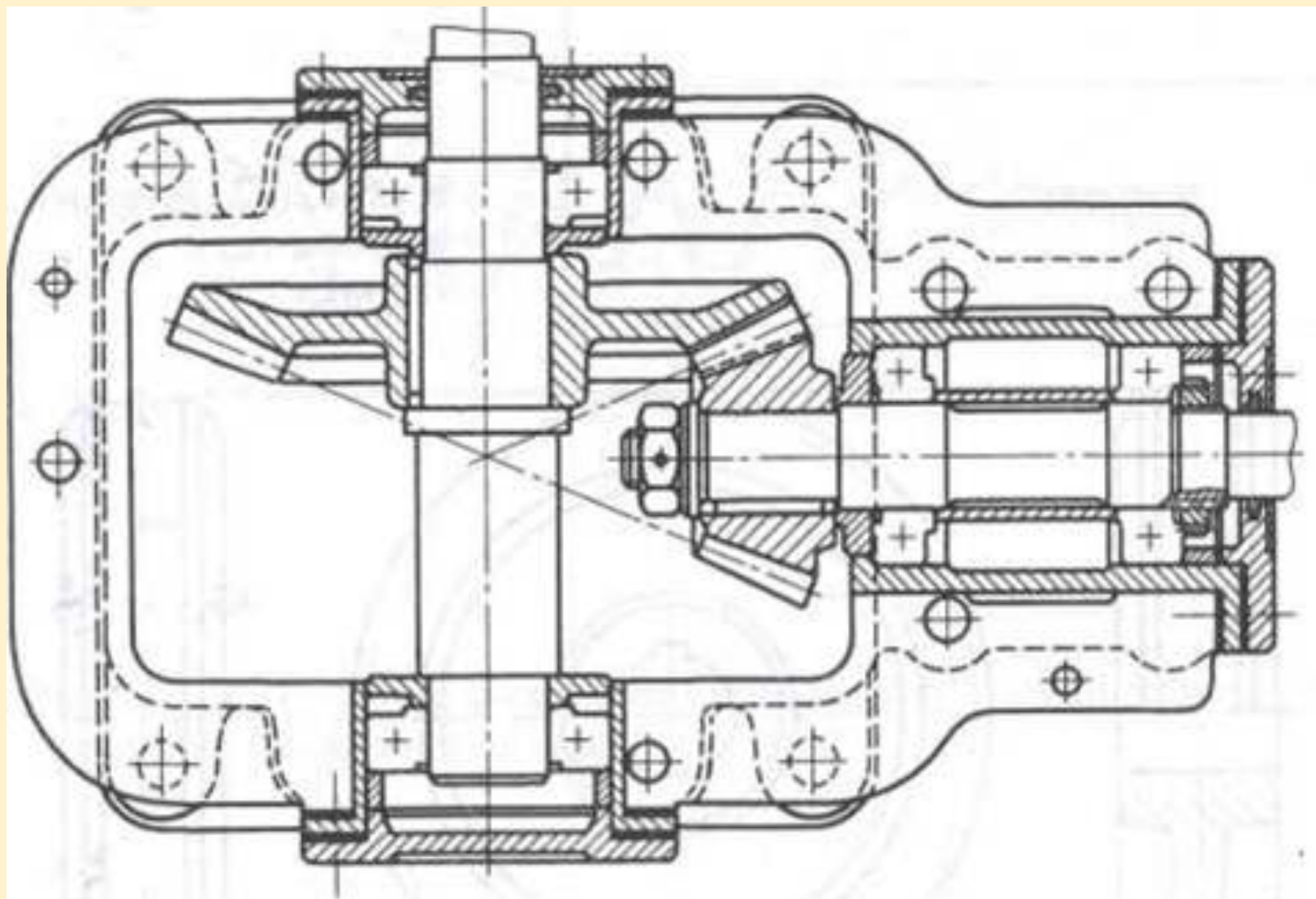


**Rysunki przekładni zębatych stożkowych: a) o kącie  $90^\circ$  między osiami, h) o kącie  $90^\circ$  między osiami, c) hipoidalne**





## Przekładnia zębata stożkowa



Rys. 12.20. Przekładnia zębata stożkowa na rysunku złożenio-

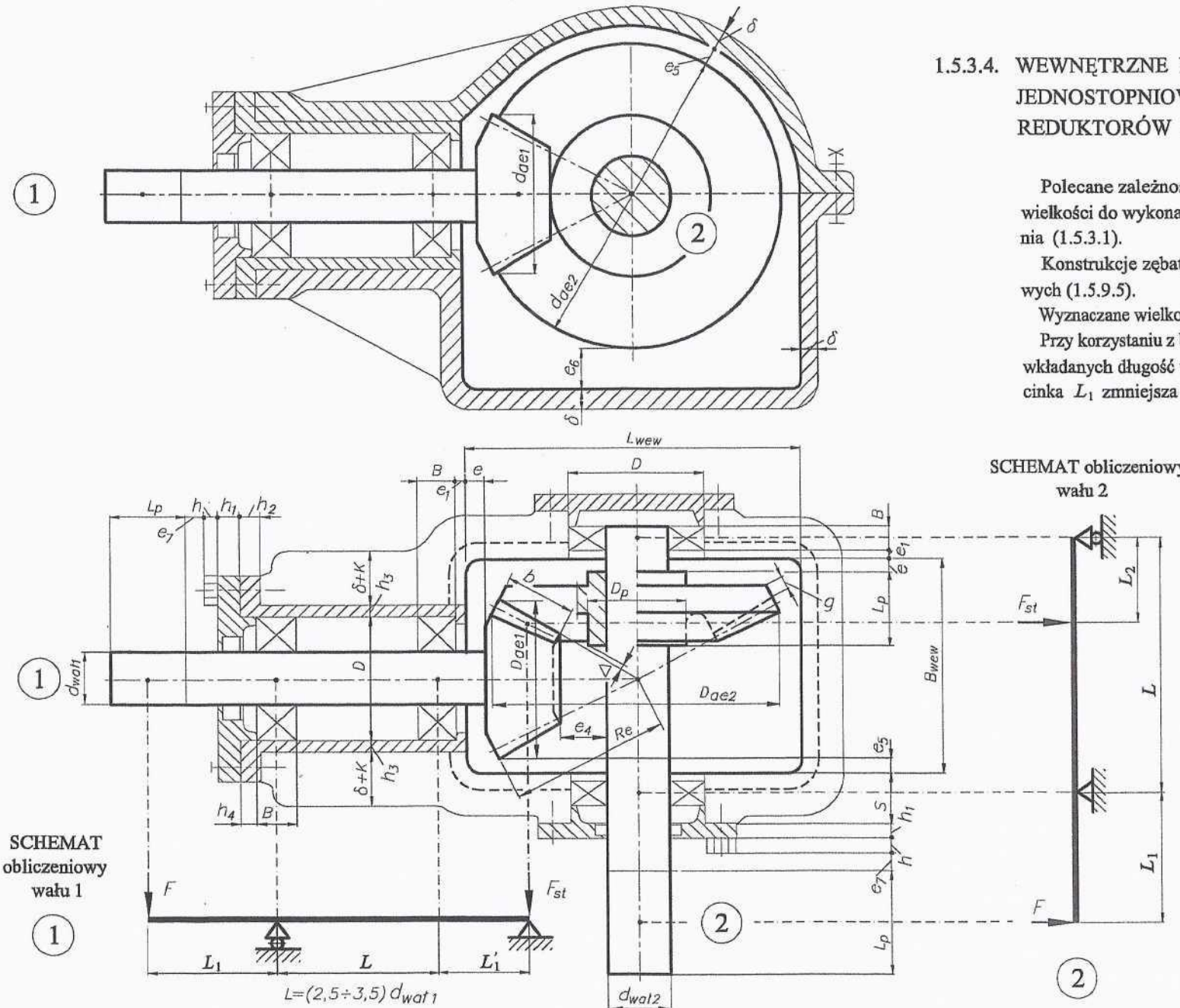
### 1.5.3.4. WEWNĘTRZNE ROZPLANOWANIE JEDNOSTOPNIOWYCH REDUKTORÓW STOŻKOWYCH

Polecane zależności i niezbędne wielkości do wykonania rozplanowania (1.5.3.1).

Konstrukcje zębatach kół stożkowych (1.5.9.5).

Wyznaczane wielkości  $L$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ .

Przy korzystaniu z bocznych pokryw wkładanych długość wysięgowego odcinka  $L_1$  zmniejsza się o  $(h_1+h)$ .

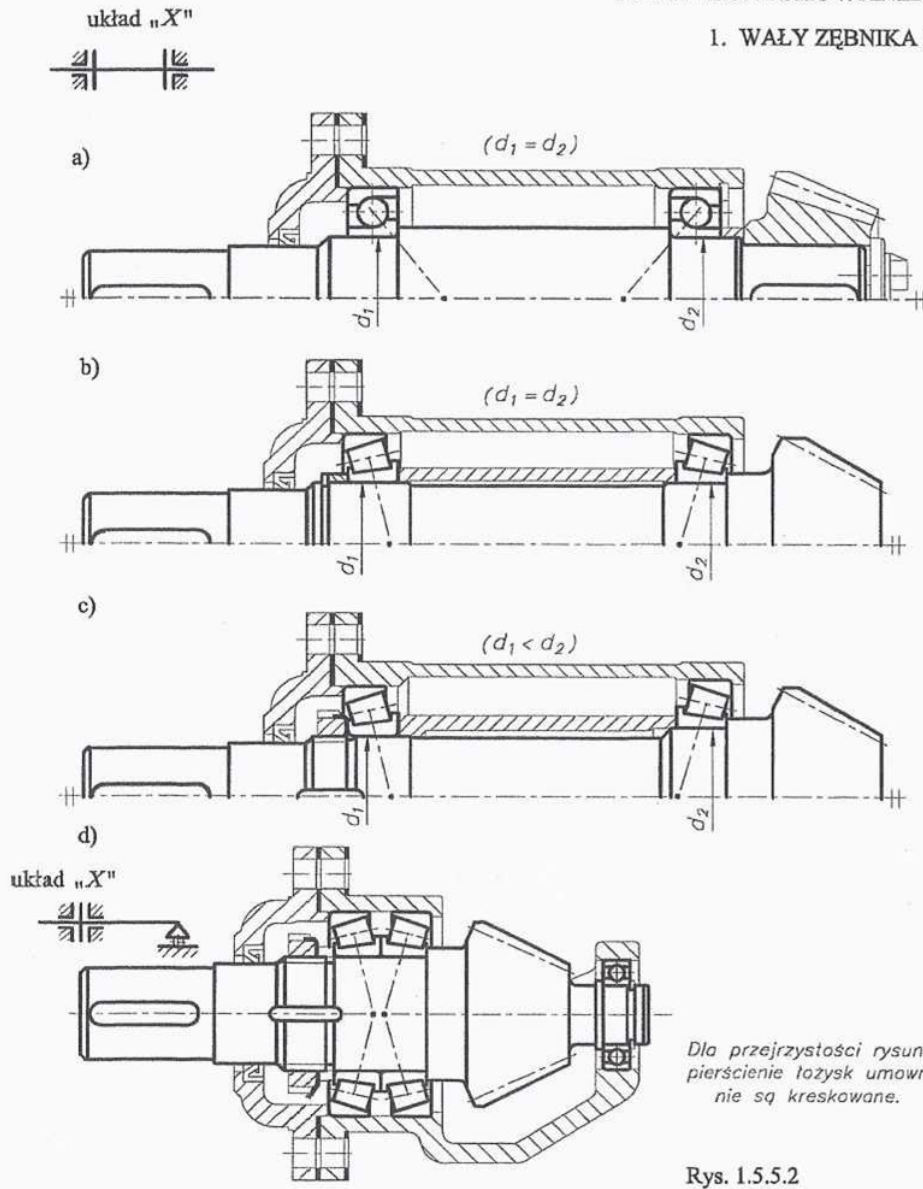


$F_{st}$  – sily działające w ząbieniu przekadni stożkowej,  
 $F$  – sily obciążające wysięgowy odcinek wału.

Rys. 1.5.3.5

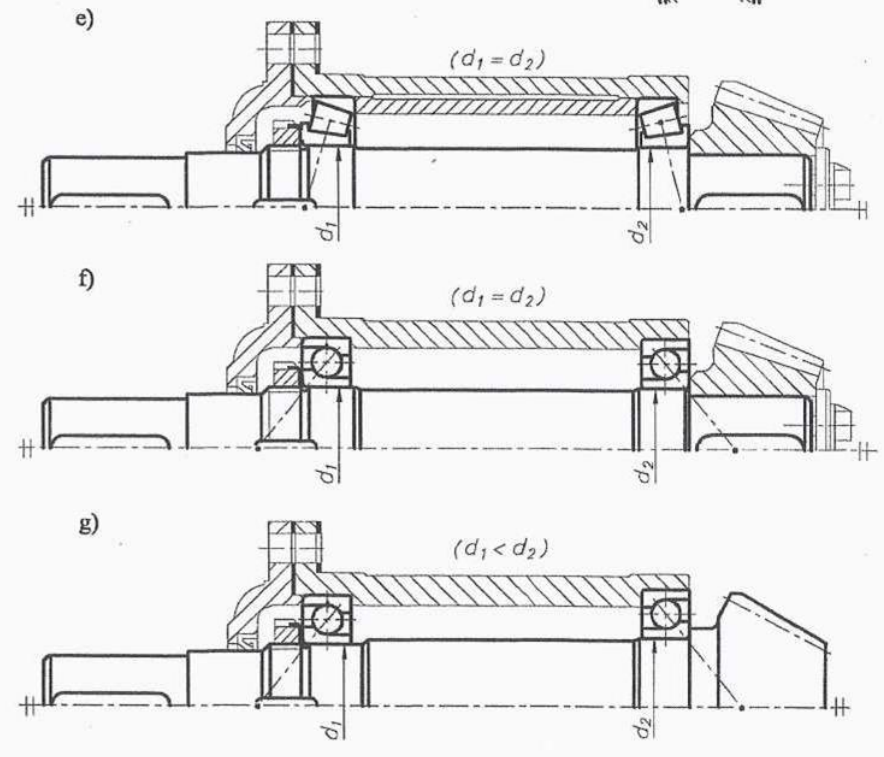
### 1.5.5.2. ŁOŻYSKOWANIE WAŁÓW REDUKTORÓW

#### 1. WAŁY ZĘBNIKA PRZEKŁADNI STOŻKOWYCH

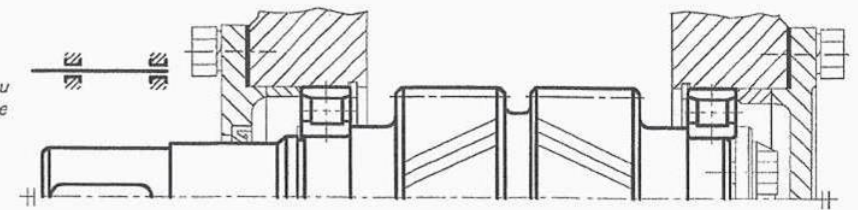


Rys. 1.5.5.2

#### układ „O”



#### 2. WAŁ ZĘBNIKA PRZEKŁADNI O ZĘBACH DASZKOWYCH



Rys. 1.5.5.3