

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry



Konferencja Rady Partnerów RP CZT AERONET  
i Konferencja Podsumowująca Projekt PKAERO  
30 Listopada- 1 Grudnia 2015

# ZB 4

### Opracowanie nowej, prostszej i tańszej przekładni zębatej w miejsce skomplikowanych i drogich przekładni planetarnych

### Development of a new, simpler and cheaper toothed gear in place of complicated and expensive planetary gears

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Łódzka

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
*Title of the innovative solution*

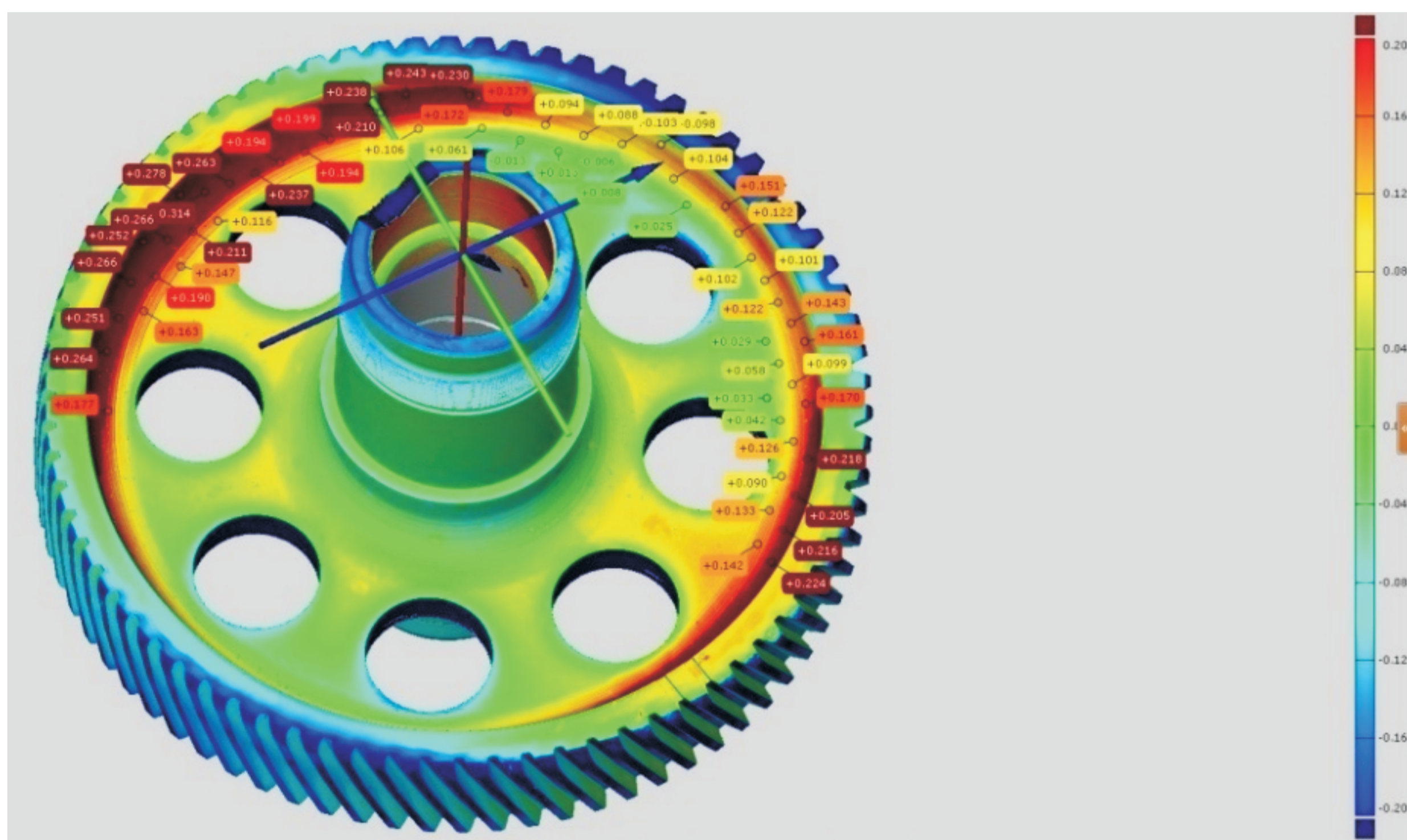
**Metodyka bezstykowych pomiarów walcowych kół zębatych przekładni lotniczych z zastosowaniem skanera optycznego**  
*Methodology of contactless measurement of spur gears from aeronautical transmissions using an optical scanner*

**Krótki opis rozwiązania**  
*Brief description of the solution*

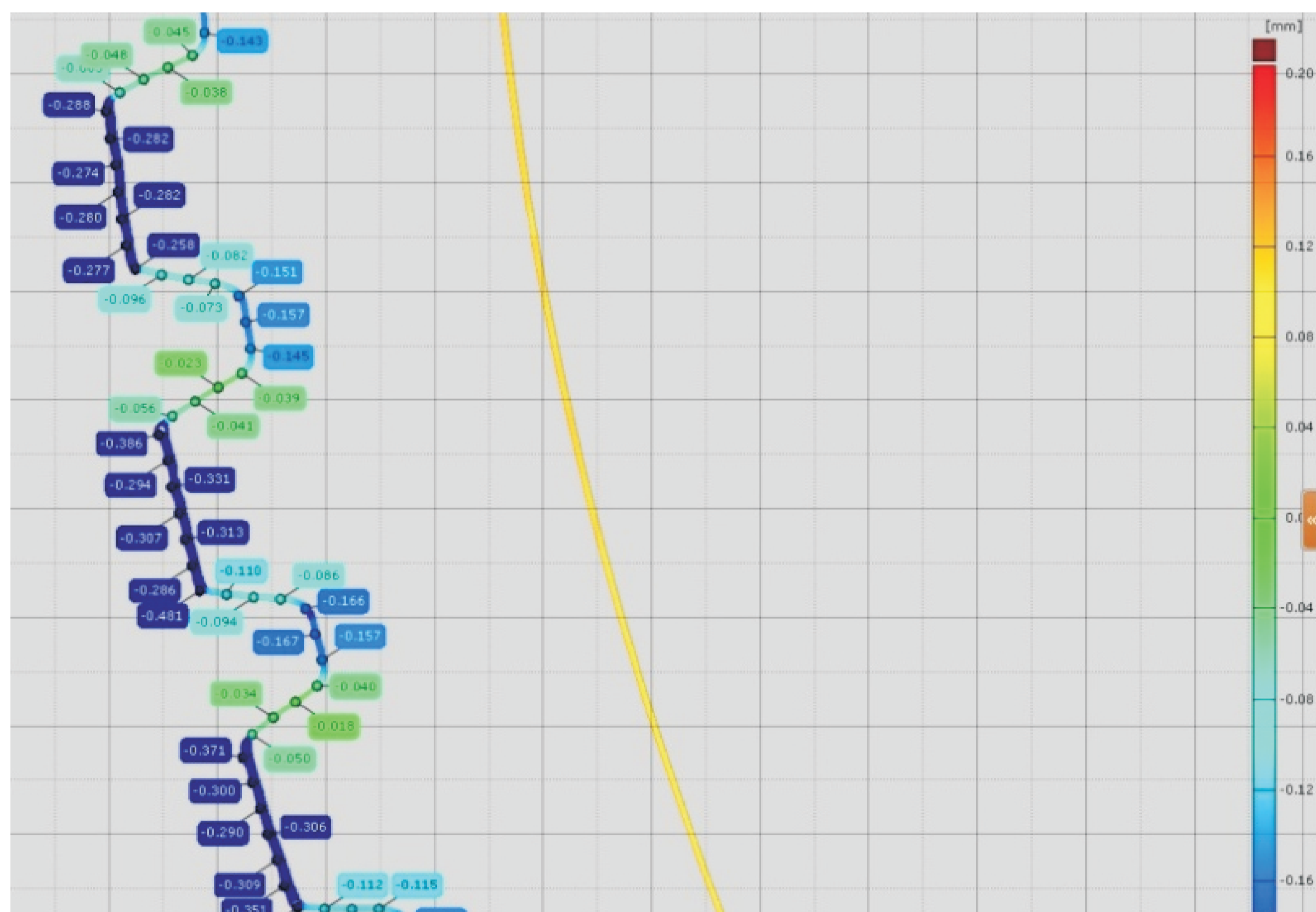
Metodyka bezstykowych pomiarów walcowych kół zębatych przekładni z uwzględnieniem procesów przygotowania i przeprowadzenia pomiarów oraz analizy danych pomiarowych otrzymanych z zastosowaniem skanera optycznego.

*Methodology of contactless measurement of spur gears taking into account the processes of preparing and carrying out the measurement and analysis of measurement data obtained from the optical scanner.*

**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
*Visualization of the innovative solution*



Rys. 1. Globalna analiza odchyłek powierzchni koła zębatego w odniesieniu do modelu 3D-CAD  
Figure 1 Global analysis of surface deviations of the gear with respect to a 3D-CAD model



Rys. 2. Przykładowa analiza odchyłek zarysu  
Figure 2 Exemplary analysis of deviations profile

**Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego**  
*Advantages and restrictions of innovative solution*

Przygotowana metodyka umożliwia szybką i skuteczną ocenę dokładności wykonania lub deformacji geometrii walcowych kół zębatych wynikającą z procesu technologicznego w tym procesie obróbki cieplnej. Zastosowanie proponowanego rozwiązania może dotyczyć weryfikacji wymiarów kształtowej walcowych kół zębatych po obróbce zgrubnej lub wstępnej ocena dokładności wykonania kół.

*Prepared methodology enables fast and effective assessment of the accuracy of performance or geometry deformation of spur gears resulting from the technological process including the heat treatment process. Applying the proposed solution may concern dimension- shape verification of spur gears after roughing or initial assessment of gears accuracy.*

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gąsełkach gospodarki**  
*Examples of application in aviation and other branches*

Firmy zajmujące się projektowaniem, pomiarami oraz wytwarzaniem kół i przekładni zębatych.

*Companies involved in the design, measurement and production of wheels and gears.*

**Oferta dla przemysłu**  
*The offer for industry*

Prowadzenie badań mających na celu określenie dokładności wymiarowo kształtowej z zastosowaniem optycznego skanera 3D z uwzględnieniem procesów przygotowania i przeprowadzenia pomiarów.

*Conducting research to determine the dimension- shape accuracy using a 3D optical scanner, taking into account the processes of preparing and carrying out measurements.*

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
*Title of the innovative solution*

**Sprzężenie zwrotne procesu pomiarowego prowadzonego z zastosowaniem skanera optycznego a procesami rapid prototyping**  
*The feedback of the measurement process carried out using an optical scanner and the processes of rapid prototyping*

**Krótki opis rozwiązania**  
*Brief description of the solution*

Utworzenie sprzężenia zwrotnego pomiędzy procesem pomiarowym prowadzonym z zastosowaniem optycznego skanera 3D, a procesami Rapid Prototyping, ma na celu podwyższenie dokładności prototypów otrzymywanych metodami przyrostowymi.

*Establishing feedback between the measurement process carried out using a 3D optical scanner and the processes of Rapid Prototyping, aims to increase the accuracy of prototypes obtained by incremental methods.*

**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
*Visualization of the innovative solution*



Rys. 1. Pomiar walcowego koła zębatego lotniczej przekładni dwudrożnej prowadzony z zastosowaniem optycznego skanera 3D ATOS II TripleScan  
Figure 1 Measurement of the spur gear from aeronautical dual-path gearbox performed using a 3D optical scanner ATOS II TripleScan



Rys. 2. Przykładowe urządzenia służące do szybkiego prototypowania z zastosowaniem przyrostowych technik wytwarzania U-Print oraz JS - PolyJet  
Figure 2 Examples of devices for rapid prototyping using incremental techniques for production called U-Print, and JS - PolyJet

**Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego**  
*Advantages and restrictions of innovative solution*

Rozwiązanie umożliwia szybką i skuteczną metodę zwiększania dokładności modeli wytwarzanych metodami przyrostowymi oraz ocenę geometrycznej poprawności ich odwzorowania.

Zastosowanie proponowanego rozwiązania może dotyczyć obiektów w tym kół zębatych o wymiarach ograniczonych gabarytami komory roboczej urządzenia do szybkiego prototypowania.

*The solution enables fast and effective method to increase the accuracy of models manufactured incremental methods and evaluation of geometric accuracy of their mappings.*

*Application of the solution may involve objects including a gear measuring the limited dimensions working chamber for rapid prototyping.*

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gąsełkach gospodarki**  
*Examples of application in aviation and other branches*

Firmy zajmujące się projektowaniem, prototypowaniem, pomiarami oraz wytwarzaniem kół i przekładni zębatych.

*Companies involved in the design, prototyping, measurement, and production of wheels and gears.*

**Oferta dla przemysłu**  
*The offer for industry*

Prowadzenie badań mających na celu podwyższenie dokładności prototypów otrzymywanych metodami przyrostowymi, prowadzone z zastosowaniem sprzężenia zwrotnego pomiędzy optycznym skanerem 3D, a procesami Rapid Prototyping.

*Conducting research to increase the accuracy of prototypes received incremental methods, conducted using the feedback between the optical 3D scanner, and the processes of Rapid Prototyping.*

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
*Title of the innovative solution*

**Parametryczny model bryłowy koła zębatego**  
*A parametric solid model of the gear*

**Krótki opis rozwiązania**  
*Brief description of the solution*

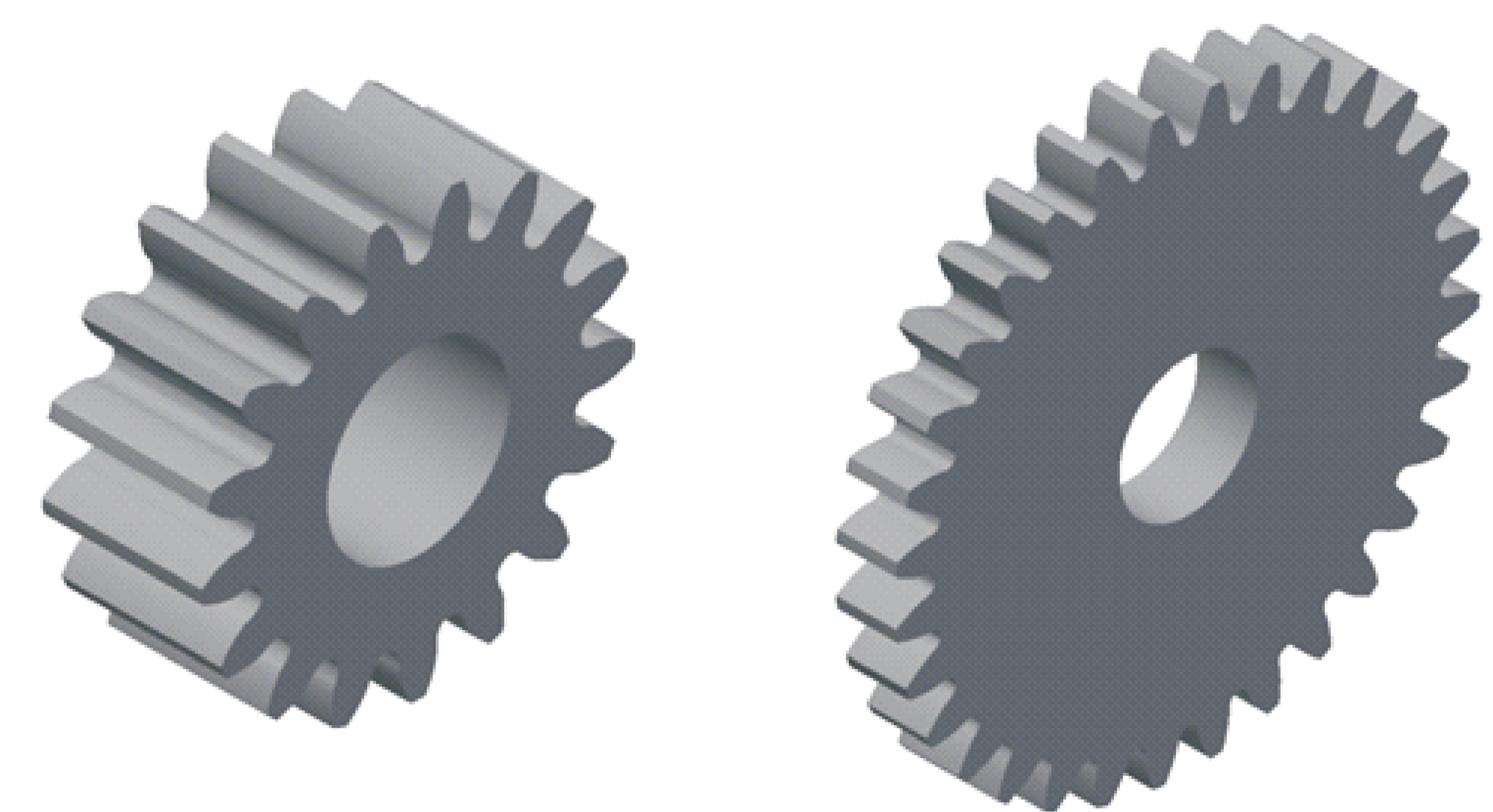
Parametryczny model koła zębatego (opracowany w systemie Autodesk Inventor) umożliwia wprowadzenie modyfikacji i korekty uzębienia oraz pozwala na generowanie modeli bryłowych z dokładnością odwzorowania powierzchni do 0,1µm. Modele bryłowe mogą zostać wyeksportowane do formatu obsługiwane przez większość dostępnych na rynku systemów CAD.

*Parametric gear model (developed in Autodesk Inventor system) allows the introduction of modifications and correction of teeth and allows the generation of solid models with an accuracy of mapping the surface to 0,1µm. Solid models can be exported to the format supported by the majority of commercially available CAD systems.*

**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
*Visualization of the innovative solution*

mm	mm	1 mm
z	ul	17 ul
luz	ul	0,35 ul
alfa	deg	20 deg
kat	deg	2 deg
x	ul	0,0 ul
n	ul	18 ul
l_obw	ul	0,02 ul
b	mm	7 mm

Rys. 1. Dane wejściowe wykorzystywane do generowania modelu bryłowego koła zębatego  
Figure 1 The input data used to generate a solid model of the gear



Rys. 2. Modele bryłowe uzyskane dla różnych wartości parametrów wejściowych  
Figure 2 The solid models generated for different values of input parameters

**Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego**  
*Advantages and restrictions of innovative solution*

Tworzenie modeli bryłowych uzębienia kół zębatych walcowych umożliwiających wykonanie na ich podstawie modeli rzeczywistych. Wykorzystanie otrzymanych modeli jako modeli odniesienia do przeprowadzenia pomiarów.

*Creating solid models of teeth cylindrical gears allow execution on the basis of their actual models. Use received models as a reference model for the measurement.*

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gąsełkach gospodarki**  
*Examples of application in aviation and other branches*

Firmy zajmujące się projektowaniem i wytwarzaniem kół zębatych metodami klasycznymi i przyrostowymi.

*Companies involved in the design and manufacture of gears by classical methods and incremental.*

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

## Opracowanie nowej, prostszej i tańszej przekładni zębatej w miejsce skomplikowanych i drogich przekładni planetarnych

### Development of a new, simpler and cheaper toothed gear in place of complicated and expensive planetary gears

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Łódzka

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
Title of the innovative solution

**Zazębienie wklęsło-wypukłe przekładni zębatych**  
Convexo-Concave Engagement of Gears

**Krótki opis rozwiązania**  
Brief description of the solution

Zazębienie wklęsło-wypukłe przekładni zębatych, w którym zarysy zębów w przekroju czołowym są łukami o promieniach nieznacznie różniących się, charakteryzuje się tym, że stosunek grubości zęba wypukłego do grubości zęba wklęsłego mierzonej po łuku okręgu podziałowego w przekroju czołowym mieści się w zakresie od 1,2 do 1,4. Poza tym czołowy kąt przyproru na średnicę toczonej ustalony jest według następującej zależności:

$$\alpha_c = \arcsin \left( \sin \alpha'_c + \frac{\Delta a}{r_2 - r_1} \right)$$

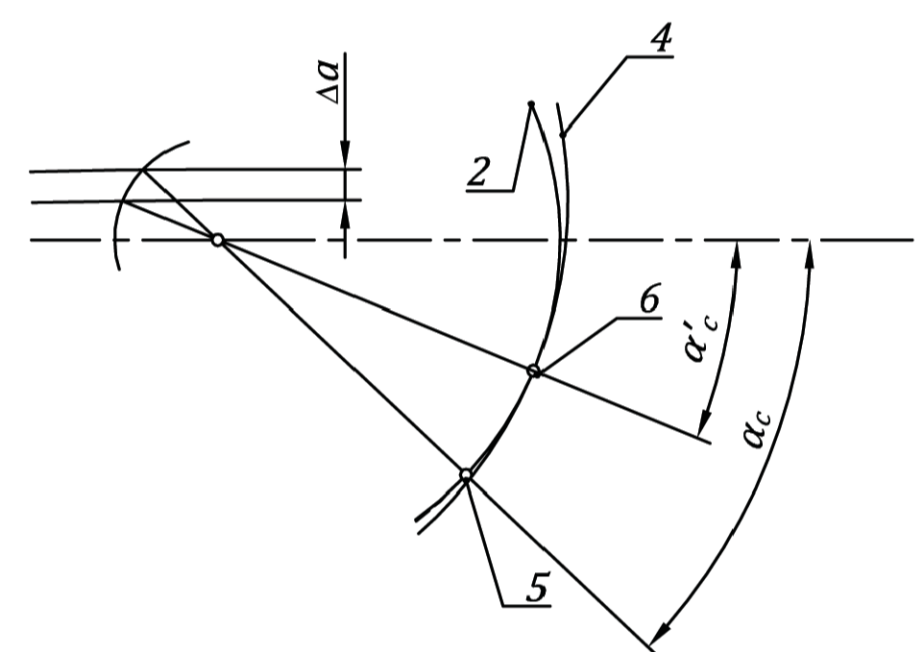
gdzie:  $\alpha_c$  to czołowy kąt przyproru,  $\alpha'_c$  jest rzeczywistym kątem przyproru,  $\Delta a$  to błąd rozstawienia osi kół, natomiast  $r_1$  oznacza promień łuku zęba wypukłego (2) (Rys. 1), a kolei  $r_2$  oznacza promień łuku zęba wklęsłego (4) (Rys. 1).

Convexo-concave engagement of gears, in which the tooth profiles in transverse section are circular-arcs with mismatched radii, according to the invention is characterized by ratio of convex tooth thickness measured on the pitch cylinder in transverse section to concave tooth thickness also measured on the pitch cylinder in transverse section, which is in the range of 1,2 to 1,4. Moreover the transverse pressure angle is given by equation:

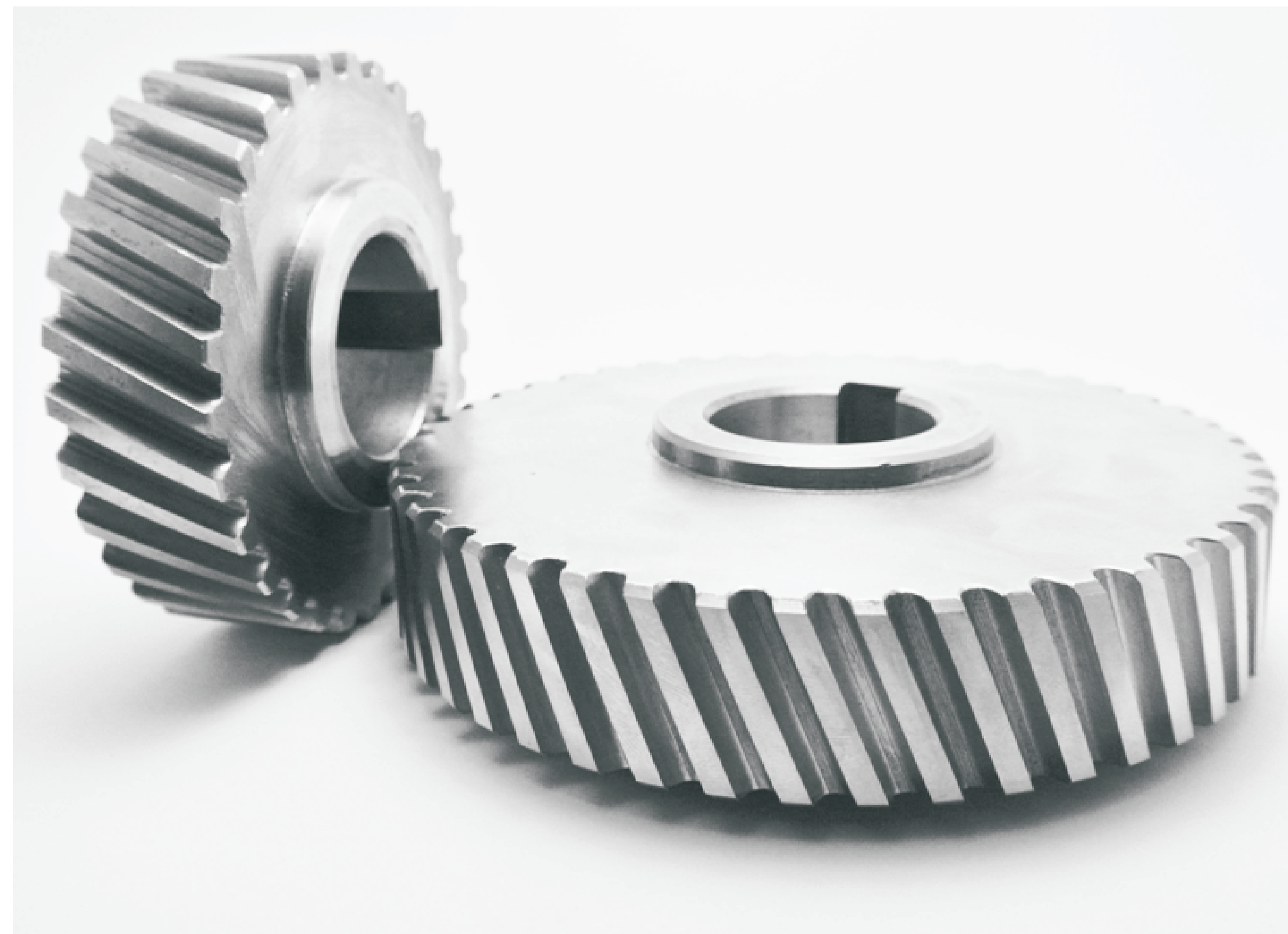
$$\alpha_c = \arcsin \left( \sin \alpha'_c + \frac{\Delta a}{r_2 - r_1} \right)$$

in which:  $\alpha_c$  is the transverse pressure angle,  $\alpha'_c$  is the transverse pressure angle,  $\Delta a$  is axes distance error,  $r_1$  is the convex tooth profile radius (2) (Fig. 1),  $r_2$  is the concave tooth profile radius (4) (Fig. 1).

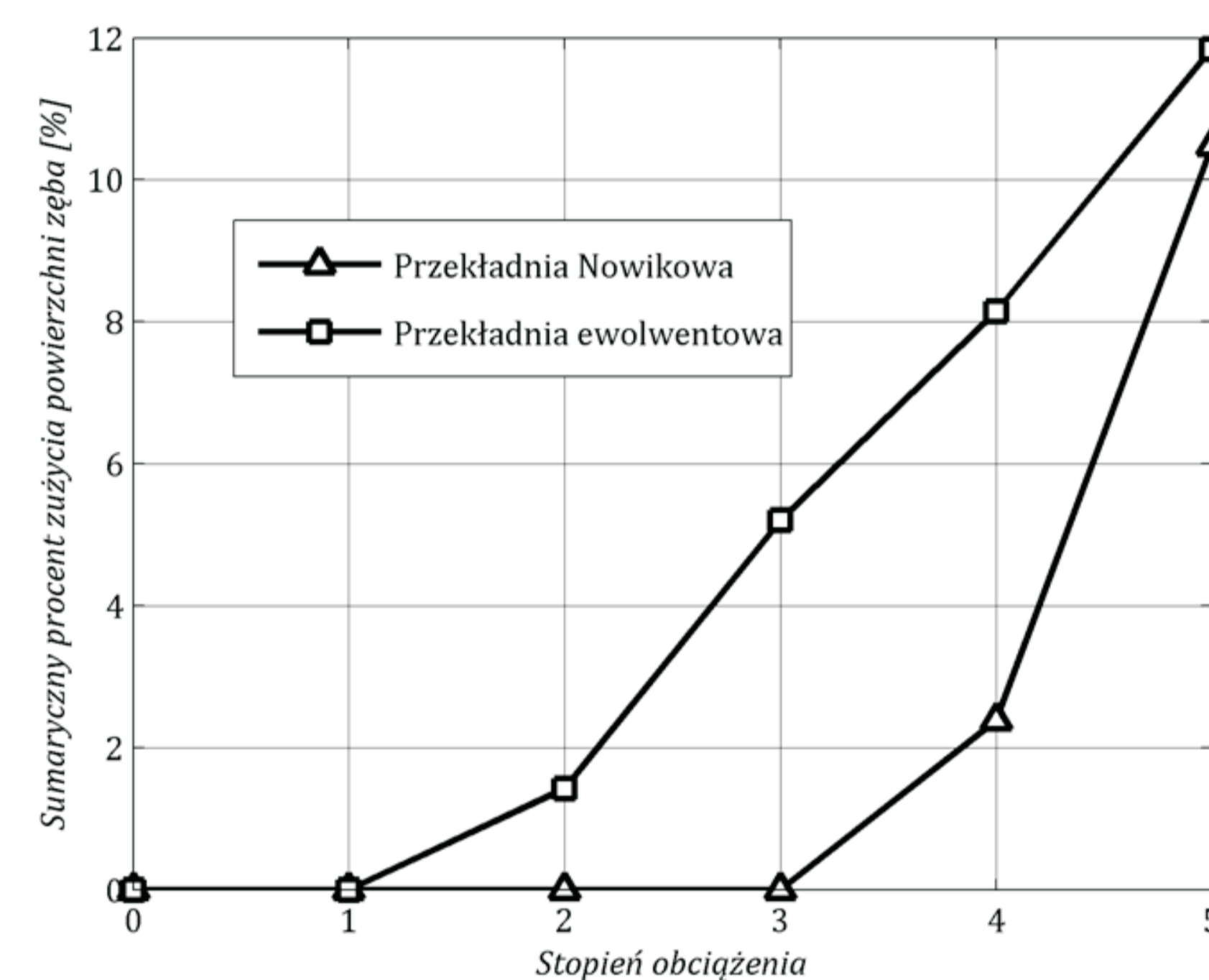
**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution



Rys. 1. Przesunięcie punktu styku zębów w skutek wystąpienia błędu rozstawienia osi kół  
Fig. 1 Translation of contact point resulting from axes distance error occurrence



Rys. 2. Badana przekładnia Nowikowa  
Fig. 2 Tested Novikov gear



Rys. 3. Porównanie sumarycznego procentowego zużycia zębów zębniaka i koła dla przekładni ewolwentowej i Nowikowa  
Fig. 3 Comparison of summary percentage wear of pinion and wheel teeth of Novikov and involute gears

**Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego**  
Advantages and restrictions of innovative solution

Rozwiązanie przekładni zgodne z wynalazkiem zapewnia porównywalną nośność na zginanie jej zębów z przekładniami ewolwentowymi. Poza tym odpowiednie ustalenie kąta przyproru według podanej zależności zapewnia, że po wystąpieniu błędu rozstawienia osi kół przekładni punkt styku, a więc i ślad styku przesunie się z położenia nominalnego (5) (Rys. 1) do położenia określonego przez konstruktora (6) (Rys. 1). Ma to pozytywne skutki zarówno w postaci zmniejszenia naprężeń powierzchniowych według Herta. Punkt styku przesunął się bowiem do punktu, w którym stosunek średniego promienia krzywizny powierzchni zęba wklęsłego do średniego promienia krzywizny powierzchni zęba wypukłego jest mniejszy. Ponadto przesunięcie punktu styku wynikające z błędów położenia osi jest kontrolowane, co pozwala na uniknięcie krawędziowania śladu styku i koncentracji naprężeń.

Zazębienie wg wynalazku zostało zastosowane w przekładni (Rys. 2) poddanej badaniom zmęczeniowym. Badania te wykazały, że przekładnia z prezentowanym zazębieniem odznaczyła się ok. trzy razy większą trwałością niż przekładnia ewolwentowa (Rys. 3), a tym samym większą nośnością powierzchniową. Zazębienie wg wynalazku może być stosowane tylko dla przekładni zębatych o śrubowej linii zęba o poskokowym wskaźniku przyproru większym od jedności.

The solution of gear engagement according to the invention ensures that its fracture strength is comparable with fracture strength of involute gear. Moreover the proper selection of pressure angle based on presented equation ensures that after axes distance error occurrence contact point and therefore the contact pattern will move from nominal position (5) (Fig. 1) to position defined by the designer (6) (Fig. 1). It is favorable situation due to decreasing the surface Hertz stresses. The contact point moves to the point, in which the ratio of average radius of curvature of concave tooth surface to average radius of curvature of convex tooth surface is lower. Moreover the translation of contact point is controlled, which allows to avoid the edge contact and stress concentration. The engagement according to the invention was used in gears (Fig. 2) subjected to fatigue tests. These tests proved that gear with presented engagement is distinguished by approximately three times greater durability than involute gear (Fig. 3) and therefore greater surface load capacity. The engagement according to the invention can be used only in helical gears with overlap ratio greater than one.

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki**  
Examples of application in aviation and other branches

Rozwiązanie wg wynalazku może znaleźć zastosowanie w budowie przekładni zębatych dużej mocy, o których nośności decyduje wytrzymałość styku. Przekładnie tego typu są stosowane między innymi w przemyśle lotniczym (np. przekładnie śmigłowe), motoryzacyjnym (np. skrzynie biegów) oraz budowlanym (np. przekładnie maszyn budowlanych typu powershift).  
Solution according to the invention can be applied in high power gear trains in which the load capacity is defined by surface strength. Such gearboxes are used in aerospace industry (i. e. helicopter gearboxes), automotive industry (i. e. transmissions) and building industry (i. e. powershift gearboxes used in construction machines).

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
Title of the innovative solution

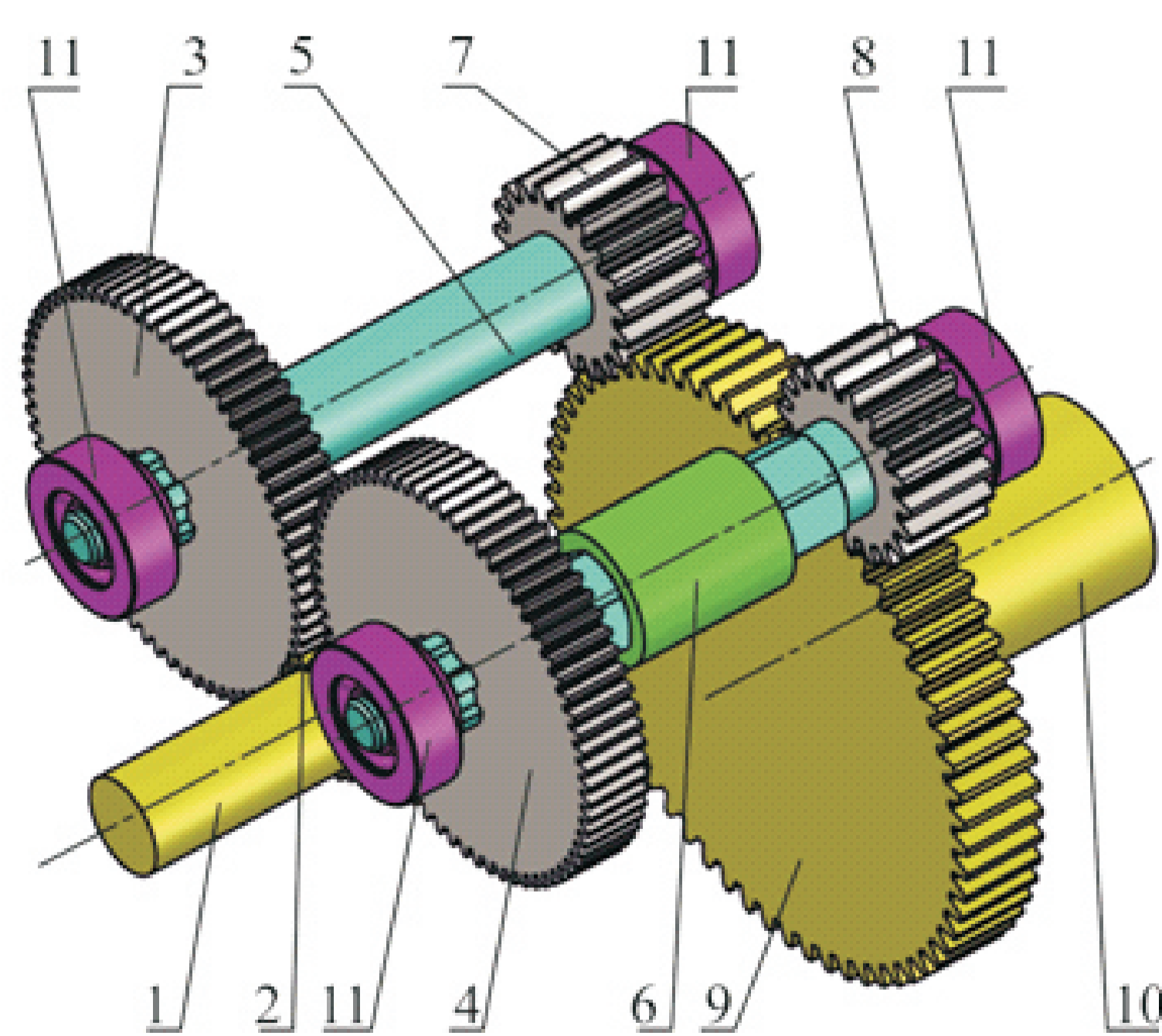
**Przekładnia dwudrożna z kasowaniem luzu międzyzębego**  
Dual-path transmission with deletion of backlash

**Krótki opis rozwiązania**  
Brief description of the solution

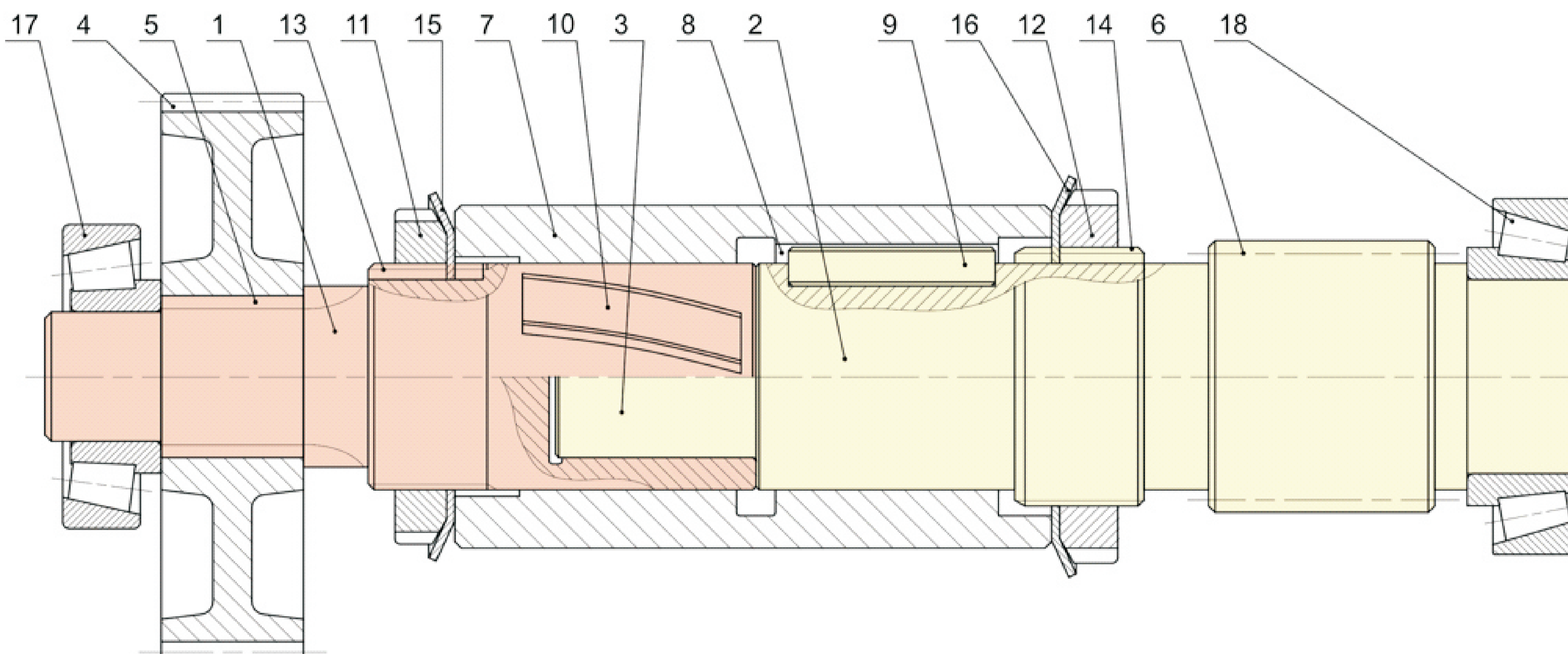
Rozwiązanie umożliwia równomierny rozkład momentu obrotowego przekazywanego dwiema drogami w przekładni dwudrożnej. Wał pośredni wykonano jako dzielony. Części wału połączone są w sposób umożliwiający precyzyjne ustawienie katowe jednej części wału względem drugiej. W tym celu wykorzystano mechanizm śrubowy. Pozwala na korektę położenia koła zębatego, a tym samym regulację luzu między zębami – w tym całkowite jego skasowanie.

The solution enables an even distribution of torque transmitted along two paths in the dual-path transmission. Intermediate shaft was made as a split shaft. Parts of the shaft are connected to allow precise angular positioning of one part of the shaft relative to the other. For this purpose a screw mechanism. This allows for adjustment of the position of the gear and thereby for adjusting the clearance between the teeth - including its total deletion.

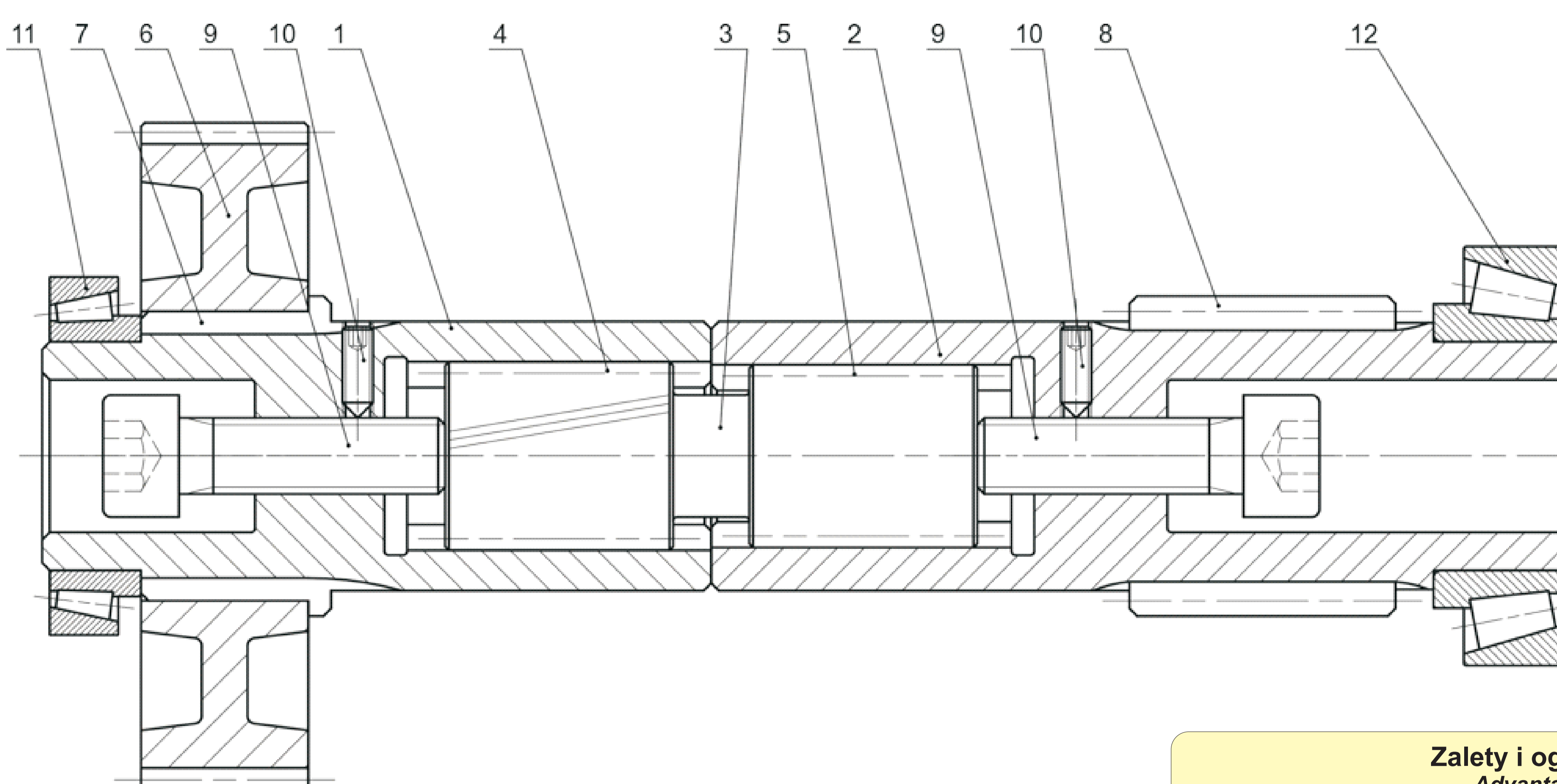
**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution



Rys. 1. Schemat przekładni dwudrożnej z mechanizmem kasowania luzu międzyzębego w widoku izometrycznym; 1 – wał wejściowy, 2 – zębniak, 3, 4 – koła pierwszego stopnia, 5 – wał pośredni, 6 – wał pośredni dzielony, 7, 8 – zębniaki drugiego stopnia, 9 – koło drugiego stopnia, 10 – wał wyjściowy, 11 – łożyska  
Figure 1 Scheme of dual-path transmission with the mechanism for deleting backlash in isometric view; 1 - input shaft, 2 - pinion, 3, 4 - first stage gears, 5 - intermediate shaft, 6 - intermediate shaft divided, 7, 8 - second stage pinions, 9 - second stage gear, 10 - output shaft, 11 - bearings



Rys. 2. Mechanizm pozwalający na kasowanie luzów w przekładni dwudrożnej; 1 – wał (część wejściowa), 2 – wał (część wyjściowa), 3 – czop wału wyjściowego, 4 – koło zębate (wejście napędu – I stopień przekładni), 5 – wielowypust, 6 – zębniak (wejście napędu – II stopień przekładni), 7 – tuleja pośrednia, 8 – rowek w płaszczyźnie tulei pośredniej, 9 – wypust, 10 – śrubowy wypust, 11, 12 – nakrętki łożyskowe, 13, 14 – czopy z gwintem pod nakrętki łożyskowe; 15, 16 – podkładki łożyskowe, 17, 18 – łożyska  
Figure 2 The mechanism for deleting backlash in dual-path gear transmission; 1 - shaft (input part), 2 - shaft (output part), 3 - pin of output shaft, 4 - gear (entrance of drive - first gear stage), 5 - splines, 6 - pinion (output of drive - second gear stage), 7 - intermediate sleeve, 8 - groove in hub of intermediate sleeve, 9 - groove, 10 - screw spline, 11, 12 - lock nuts, 13, 14 - threaded plugs under lock nuts; 15, 16 - bearing washers, 17, 18 - bearings



Rys. 3. Mechanizm pozwalający na kasowanie luzów w przekładni dwudrożnej – odmiana z wewnętrznym łącznikiem; 1 – część wejściowa wału, 2 – część wyjściowa wału, 3 – łącznik, 4 – wielowypust ewolwentowy o śrubowej linii zęba, 5 – wielowypust ewolwentowy o prostej linii zęba, 6 – koło zębate I-go stopnia, 7 – wielowypust, 8 – zębniak II stopnia, 9 – śruby dociskające, 10 – wkłady blokujące śruby, 11, 12 – łożyska stożkowe  
Figure 3 The mechanism for deleting backlash in dual-path transmission - a variation with internal connector; 1 - part of input shaft, 2 - part of output shaft, 3 - linker, 4 - involute splines of helical tooth line, 5 - involute spline with straight line of tooth, 6 - first stage gear, 7 - splines, 8 - second stage pinion, 9 - tightening screws, 10 - locking screws bolts, 11, 12 - cone bearings

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki**  
Examples of application in aviation and other branches

Przemysł lotniczy i elektromaszynowy – w budowie przekładni dwudrożnych.  
Aerospace and electromechanical industry – in developing dual-path transmissions.

**Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego**  
Advantages and restrictions of innovative solution

Z uwagi na równomierny rozkład mocy przenoszony dwiema drogami możliwe jest zmniejszenie gabarytów przekładni. Przekładnia taka może przenosić obciążenie nominalne tylko w zadanym – jednym kierunku obrotów.

Due to the uniform distribution of power transmitted along two paths it is possible to reduce dimensions of the transmission. Such a transmission may carry a nominal load only in the specified - one direction of rotation.