

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

### Opracowanie technologii efektywnego projektowania i produkcji przekładni stożkowych z wykorzystaniem systemu Phoenix firmy Gleason

#### Development of the technology of effective design and production of cone gear using Gleason Phoenix system

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

#### Wyniki badań Results

Opracowanie algorytmów dla zintegrowanego programu komputerowego wspomagającego projektowanie przekładni stożkowych. Etap I

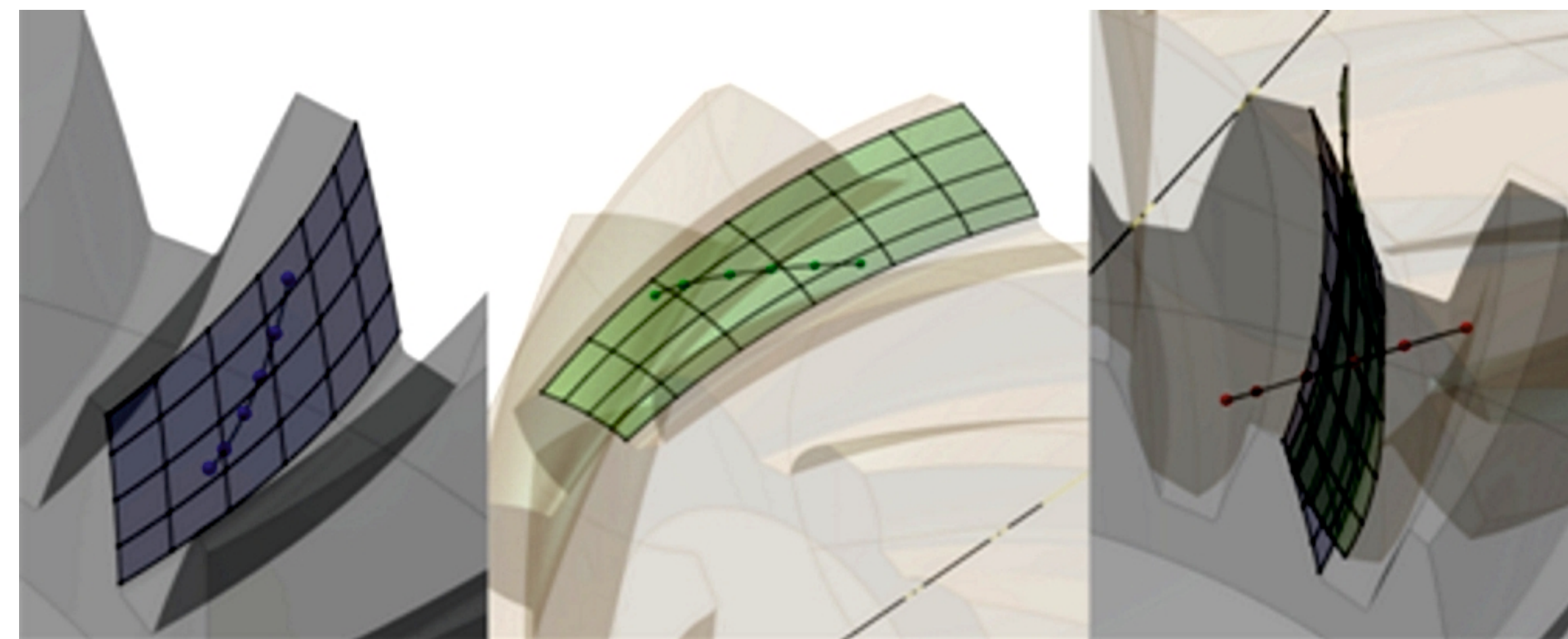
Development of algorithms for integrated computer system of bevel gears design. Stage I

Algorytm programowy modelu technologicznego nacinania uzębienia kół stożkowych opiera się na matematycznym opisie współpracy koła generującego z obrabianą otoczką. Powierzchnia boku zęba naciętego koła powstaje jako obwiednia rodziny powierzchni generowanych przez tor ruchu krawędzi skrawającej narzędzia w zadanym układzie technologicznym. Analiza śladu współpracy prowadzona jest na wirtualnym modelu konstrukcyjnej przekładni stożkowej, który uwzględnia możliwość wprowadzania odchyłek wzajemnego położenia członów przekładni.

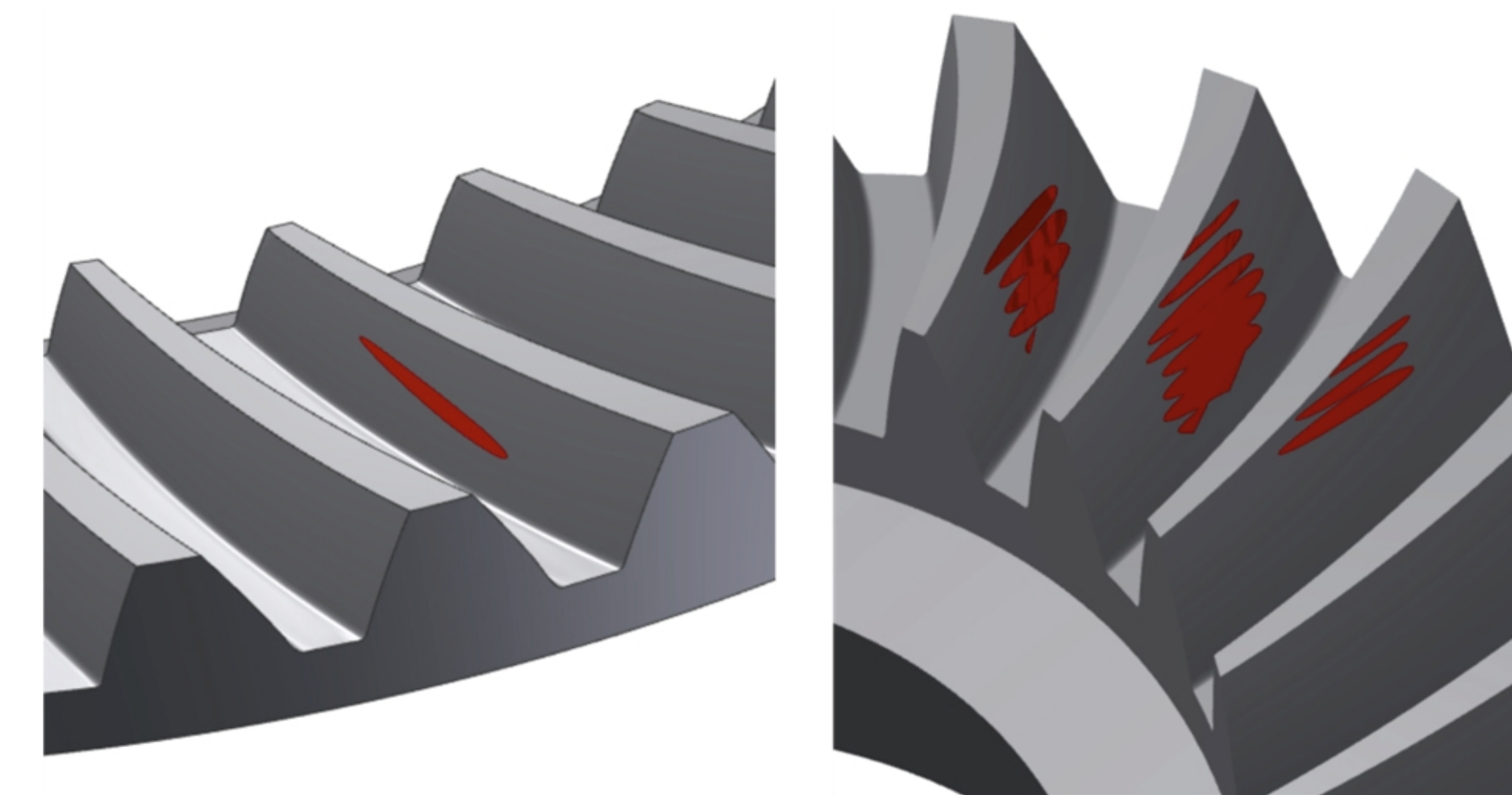
Do testowania algorytmu wybrano trzy przekładnie stożkowe, różniące się parametrami uzębienia i zaszereżowania. W toku prac badano zmiany śladu współpracy po wprowadzeniu korekt parametrów geometrycznych, technologicznych i montażowych. Obserwowano zmiany przebiegu ścieżki styku oraz kształtu, położenia i wielkości sumarycznego śladu współpracy zaszereżowania. Określono zależność między wprowadzaniem korektami parametrów, a parametrami uzyskanego śladu współpracy i wykresu ruchowego oraz wyciągnięto wnioski odnośnie wpływu tych zmian na nośność przekładni.

Algorithm of technological model of cutting bevel gears teeth is based on a mathematical description of the generating gear and its cooperation with the cutting pinion. Flank surface of the tooth is formed as the envelope of a family tool surfaces of the tool operation, generated by the path of the cutting edge tools in actual technological system. An analysis of contact pattern is conducted on a virtual model of constructional bevel gear pair that takes into account the possibility of introducing deviations of the relative position of transmission members.

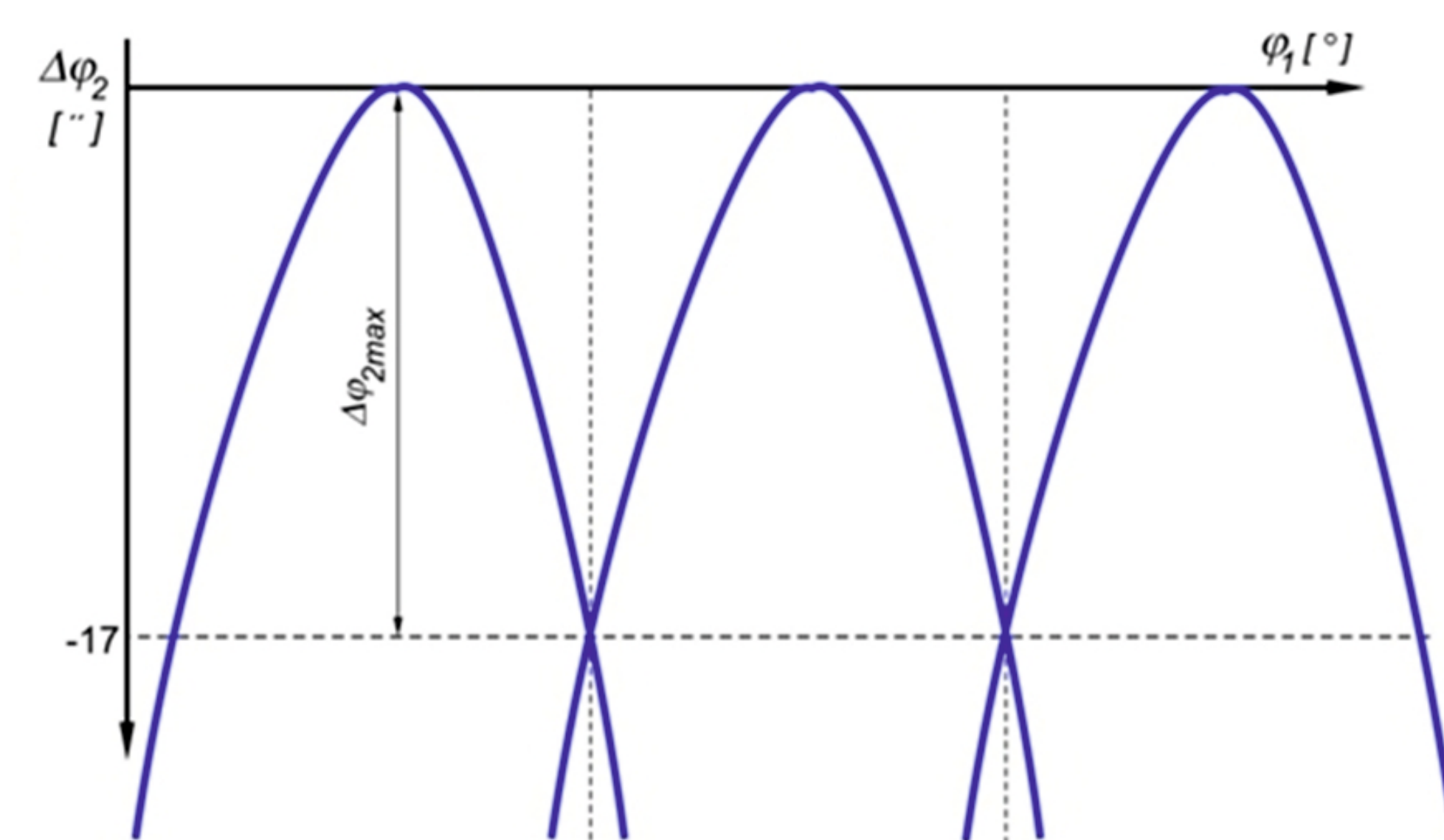
The tests of the algorithm was executed for three bevel gears which differ in parameters of teeth and meshing. In the course of the work were studied changes of contact pattern after making adjustments of geometric, technological and assembly parameters. There was observed a change in the contact path and the shape, position and size of the total contact pattern of mesh. In conclusion, there was determined the relationship between the corrections introduced to geometric parameters and parameters of the resulting contact pattern and motion graph. It was described also the impact of these changes on the load transmission.



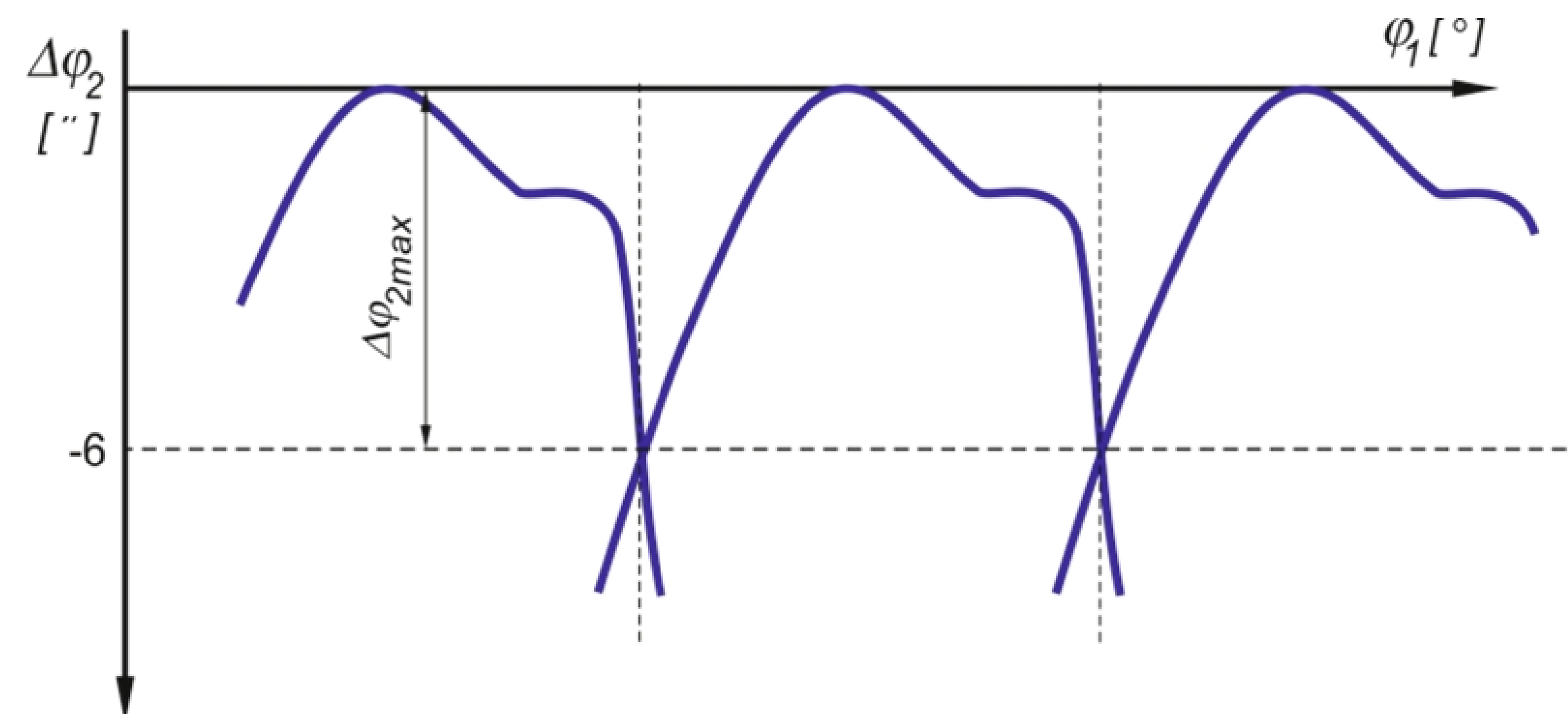
Rys. 5 Ścieżka styku na powierzchni zęba koła i zębniaka oraz linia przyproru  
Fig. 5 Contact path, observed on gear and pinion flank and pressure line



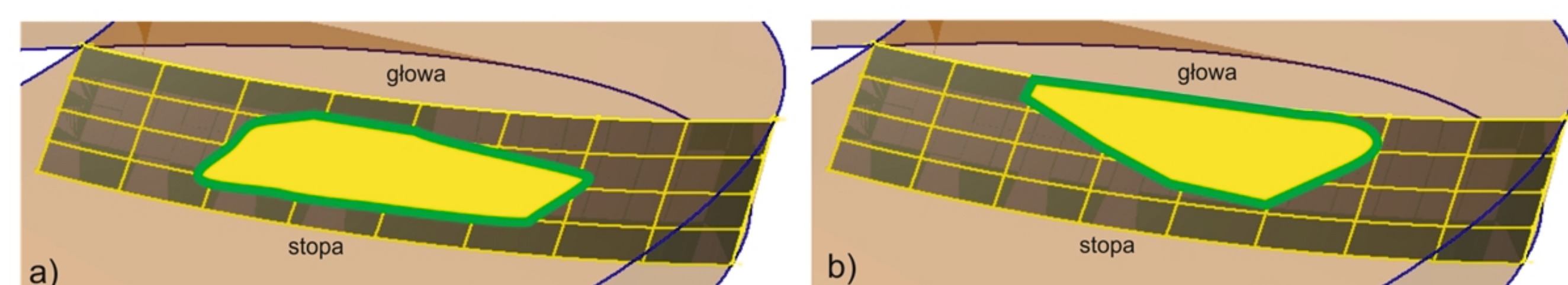
Rys. 6 Chwilowy i sumaryczny ślad współpracy  
Fig. 6 Temporary and total contact pattern



Rys. 1 Przykład korekty geometrii zębniaka (przekładnia 17/35). Wykres ruchowy po zmianie wartości bezczekowości zarysu  
Fig. 1 Sample of pinion geometry correction (17/35 gear). Motion graph after profile factor change



Rys. 2 Przykład korekty technologicznej. Wykres nierównomierności przekazywania ruchu po zmianie ustawienia stołu P.O. (przekładnia 9/44)  
Fig. 2 Sample of technological correction. Motion graph after Sliding Base change (9/44 gear)



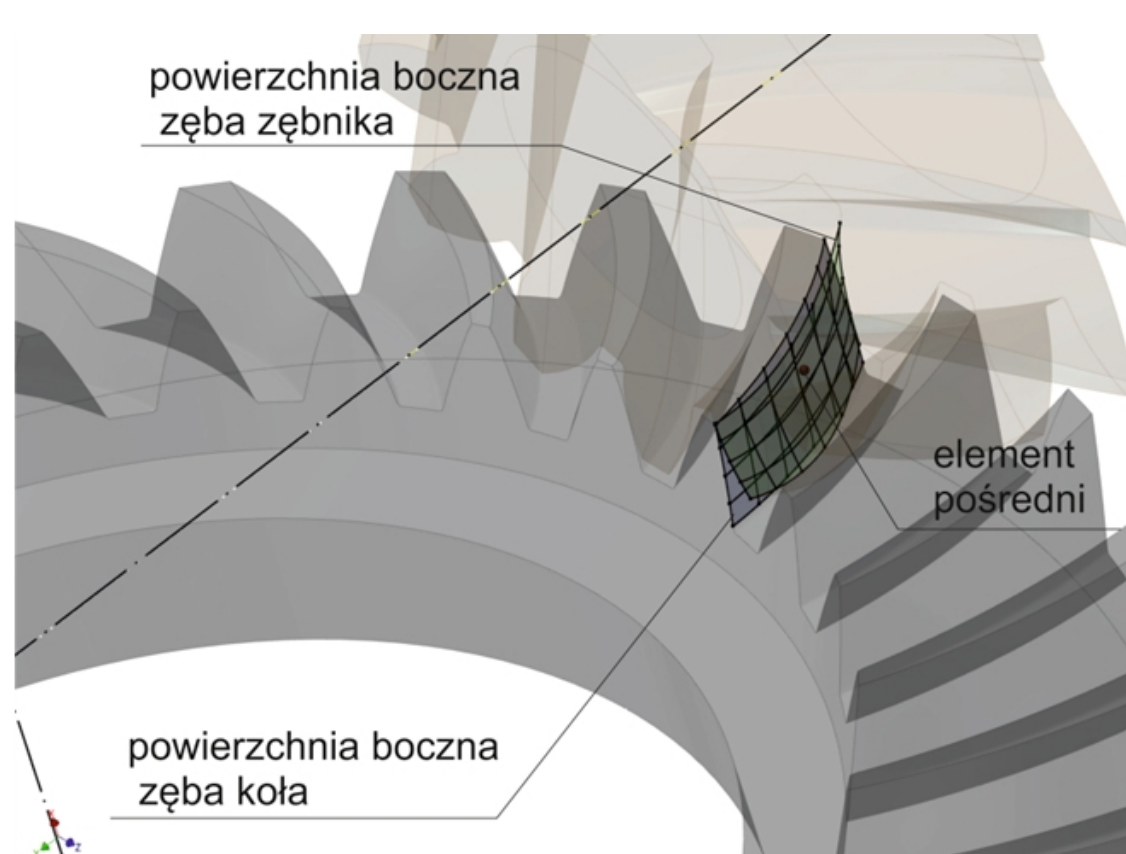
Rys. 3 Przykład błędu montażowego (przekładnia 17/43). Sumaryczny ślad współpracy po zmianie położenia zębniaka względem jego osi: a) dosunięcie (-0,1mm), b) odsunięcie (+0,1mm)  
Fig. 3 Sample of assembly error (17/43 gear). Contact pattern after axial shift of pinion: a) pushing by -0,1mm, b) offset by +0,1 mm

Opracowanie metody analizy współpracy zaszereżowania przekładni stożkowych w środowisku CAD. Etap I

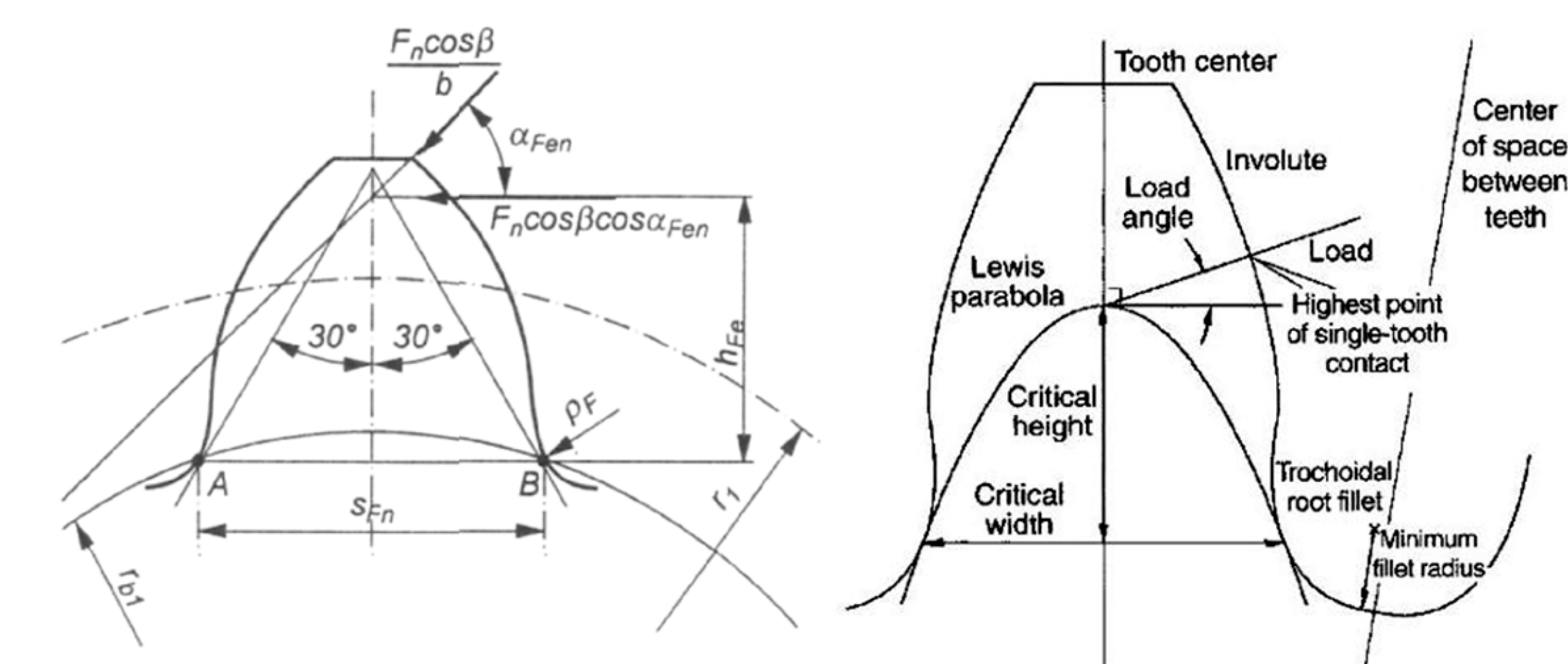
Development of method of bevel gear meshing in the CAD system. Stage I

Opracowano metodę symulacji kinematycznej współpracy przekładni stożkowej wykorzystującą element pośredni. Opracowana metoda pozwala na odwzorowanie rzeczywistej kinematyki przekładni z uwzględnieniem nierównomierności pracy. Przy wykorzystaniu opracowanej procedury możliwe jest wyznaczenie ścieżek styku na powierzchniach bocznych zębów oraz linii styku w układzie nieruchomym przekładni. Metoda ta pozwala także na wygenerowanie chwilowych oraz sumarycznych śladów współpracy, umożliwia także tworzenie wykresów ruchowych.

There are developed a method for kinematic simulation of bevel gear meshing using an adapter unit. The method allows the mapping of the actual kinematics of gear including uneven work. Using the developed procedure is possible to determine the contact paths on the flank surfaces of the teeth and the contact line in the fixed system of gear. This method also allows to generate the contact pattern. It also allows to create the motion graphs.



Rys. 4 Powierzchnie boczne zębów koła i zębniaka w styku punktowym, osiągniętych za pomocą elementu pośredniego  
Fig. 4 Gear and pinion teeth flank surfaces. Point contact is achieved by means of the intermediate element



Rys. 8 Przekrój krytyczny oraz punkt przyłożenia siły gnącej stosowany w normie ISO10300-3 oraz AGMA 2003-C10  
Fig. 8 Critical cross-section and section bending force, shown in ISO10300-3 and AGMA 2003-C10

Opracowanie analizy porównawczej bezstykowych metod pomiarowych w aspekcie zastosowania do pomiaru kół zębatych przekładni stożkowych. Etap I

Comparative analysis of contactless measurement methods in terms apply to the measurement of bevel gears. Stage I

W ramach realizacji zadania badawczego ZB3 opracowano analizę porównawczą bezstykowych metod pomiarowych skanujących systemów optycznych ATOS. Analizy przeprowadzono w odniesieniu do pomiarów stożkowych kół zębatych. Porównanie przedstawionych systemów pomiarowych odbyło się na podstawie badań przeprowadzonych na tych samych obiektach badawczych z uwzględnieniem parametrów technicznych poszczególnych urządzeń.

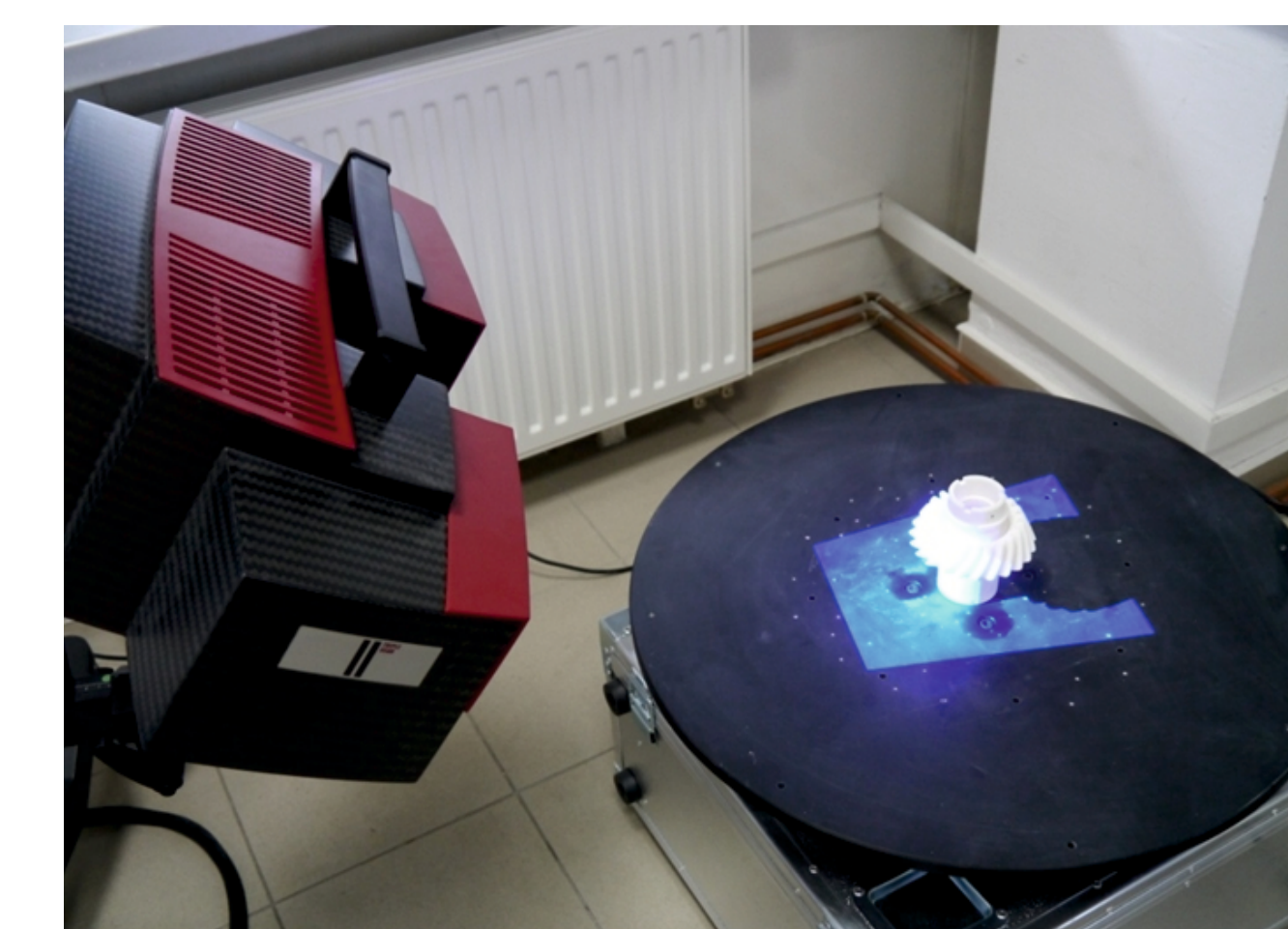
As part of the research task ZB3 developed a comparative analysis of non-contact measurement methods for scanning optical system ATOS. Analyses were performed with respect to the measurement bevel gears. A comparison of the measurement system was based on the studies carried out on the same research facilities including the technical characteristics of each device.

| Konfiguracja                      | ATOS I                      | ATOS II<br>Triple scan       | ATOS III<br>Triple scan      |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Rozdzielczość kamery w pikselach  | 2 x 800 000                 | 2 x 5 000 000                | 2 x 8 000 000                |
| Pole pomiarowe (mm <sup>2</sup> ) | Od 40 x 30<br>do 1000 x 800 | Od 38 x 29<br>do 1500 x 1130 | Od 38 x 29<br>do 2000 x 1500 |
| Odległość między punktami (mm)    | 0.04 - 1.0                  | 0.02 - 0.62                  | 0.01 - 0.61                  |
| Ilość punktów pomiarowych         | 800 000                     | 5 000 000                    | 8 000 000                    |

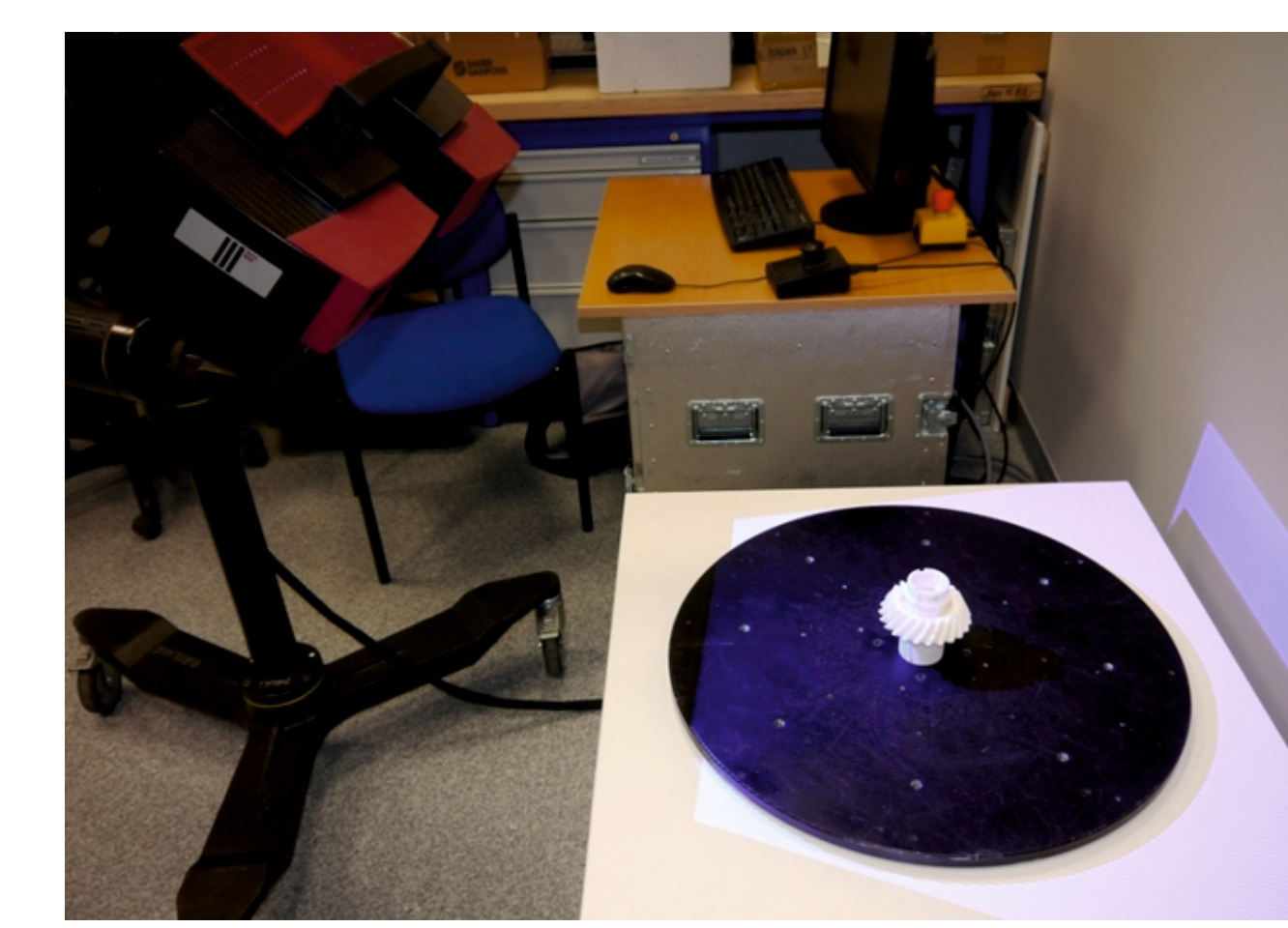
Rys. 9 Dane techniczne systemów ATOS  
Fig. 9 Technical data of ATOS systems



Rys. 10 Pomiar koła skanerem ATOS I (światło białe)  
Fig. 10 Measuring of gear with ATOS I scanner using (white light)



Rys. 11 Pomiar zębniaka skanerem ATOS II Triple Scan (światło niebieskie)  
Fig. 11 Measuring of pinion with ATOS II Triple Scan scanner using (blue light)



Rys. 12 Pomiar zębniaka skanerem ATOS III Triple Scan (światło niebieskie)  
Fig. 12 Measuring of pinion with ATOS III Triple Scan scanner using (blue light)

Opracowanie analizy porównawczej metod wyznaczania wytrzymałości stożkowych przekładni lotniczych. Etap I

Development of a comparative analysis of methods for determining the strength of aircraft bevel gear. Stage I

Zastosowanie numerycznej analizy wytrzymałościowej metodą MES kół zębatych stożkowych o łukowo-kołowej linii zęba pozwoliło na dokładniejsze wyznaczenie stanu naprężeń w zębach kół, co podniesienie ich niezawodność oraz obniży masę. Ponadto, analiza numeryczna umożliwia dokładne wyznaczenie położenia, kształtu i wielkości śladu współpracy zębów pod obciążeniem już na etapie projektowania. Metoda ta pozwala również symulować zachowanie się śladu współpracy pod lekkim obciążeniem, jakie jest używane na maszynach kontrolnych w procesie produkcyjnym. Pozwala to na wyznaczenie pożądanego śladu współpracy (wzorca) jak powinien być otrzymany na kontrolerkach na etapie oceny części w procesie produkcji.

W pierwszym etapie pracy wykonano analizę porównawczą dostępnych metodyk obliczeniowych wytrzymałości zęba na zginanie u podstawy opisanych w międzynarodowej normie ISO, amerykańskiej normie AGMA oraz branżowej normie Gleason. Analizę porównawczą wykonano dla dwóch typów zagadnień:  
- koła wysokoobrotowe (duże obroty, mały moment obrotowy)  
- koła wysokoobciążone (relatywnie małe obroty, duże momenty obrotowe)  
W drugim etapie pracy wykonano analizę porównawczą dostępnych metodyk obliczeniowych dla naprężeń stykowych. Ostatnim etapem pracy jest analiza numeryczna stanu naprężeń w zaszereżeniu z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

The use of numerical stress analysis of bevel gears by FEM has allowed a better determination of the state of stress in the teeth of the gears, which increase the reliability and reduce weight. In addition, numerical analysis to accurately determine the position, shape and size of the contact pattern under load at the design stage. This method also allows you to simulate the behavior of the contact pattern under light load, which is used to control machines in the production process. This allows you to determine the desired contact pattern (standard) and should be prepared to control machines at the assessment stage of the production process.

In the first stage of work was performed a comparative analysis of the available methodologies for the calculation of bending strength of the tooth at the base as described in International Standard ISO, U.S. AGMA standard and industry standard Gleason. Comparative analysis was performed for the two types of issues:  
- high-speed gears (high speed, low torque)  
- heavy-duty gears (relatively low speed, high torque)  
In a second stage of work performed comparative analysis computational methodologies available for contact stress. The final stage of the work is the numerical analysis of the stress state in the mesh using the finite element method.

Tab. 1 Wyniki obliczeń analitycznych dla pary zębatej szybkoobrotowej  
Tab. 1 Effects of analytical calculation for high-speed gear pair

| Moment obrotowy 21.3 [Nm]        | Gleason |      | ISO10300 |      | AGMA 2003-C10 |      |
|----------------------------------|---------|------|----------|------|---------------|------|
|                                  | zębniak | koło | zębniak  | koło | zębniak       | koło |
| Naprężenia u podstawy zęba [MPa] | 20.4    | 20.5 | 93.6     | 88.8 | 20            | 19.4 |
| Naprężenia kontaktowe [MPa]      | 378.9   |      | 302.468  |      | 267.27        |      |

Tab. 1 Wyniki obliczeń analitycznych dla pary zębatej szybkoobrotowej  
Tab. 1 Effects of analytical calculation for heavy-duty gear pair

| Moment obrotowy 4100 [Nm]        | Gleason |       | ISO10300 |      | AGMA 2003-C10 |       |
|----------------------------------|---------|-------|----------|------|---------------|-------|
|                                  | zębniak | koło  | zębniak  | koło | zębniak       | koło  |
| Naprężenia u podstawy zęba [MPa] | 177.7   | 177.9 | 283      | 314  | 132.5         | 131.4 |
| Naprężenia kontaktowe [MPa]      | 1227    |       | 818.6    |      | 1224          |       |

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Publikacje

- Gmyrek Ł., Płocica M.: **Rekonstrukcja geometrii nietypowych uzębienia przekładni walcowo-stożkowej**. Mechanik nr 2/2013, str. 138 (artykuł na CD-ROM)
- Pisula J., Płocica M.: **Ocena jakości współpracy projektowanej pary stożkowej z użyciem autorskiego systemu wspomaganie projektowania**. Mechanik nr 2/2013, str. 138 (artykuł na CD-ROM)

#### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

- W ramach prac nad Zadaniem Badawczym 3, w dniach 30 stycznia - 1 lutego br. zorganizowano wyjazd i spotkania robocze w firmie Pratt&Whitney Kalisz, będącej partnerem projektu. W spotkaniach, ze strony PRz uczestniczyli dr inż. Jadwiga Pisula i dr inż. Mieczysław Płocica.