

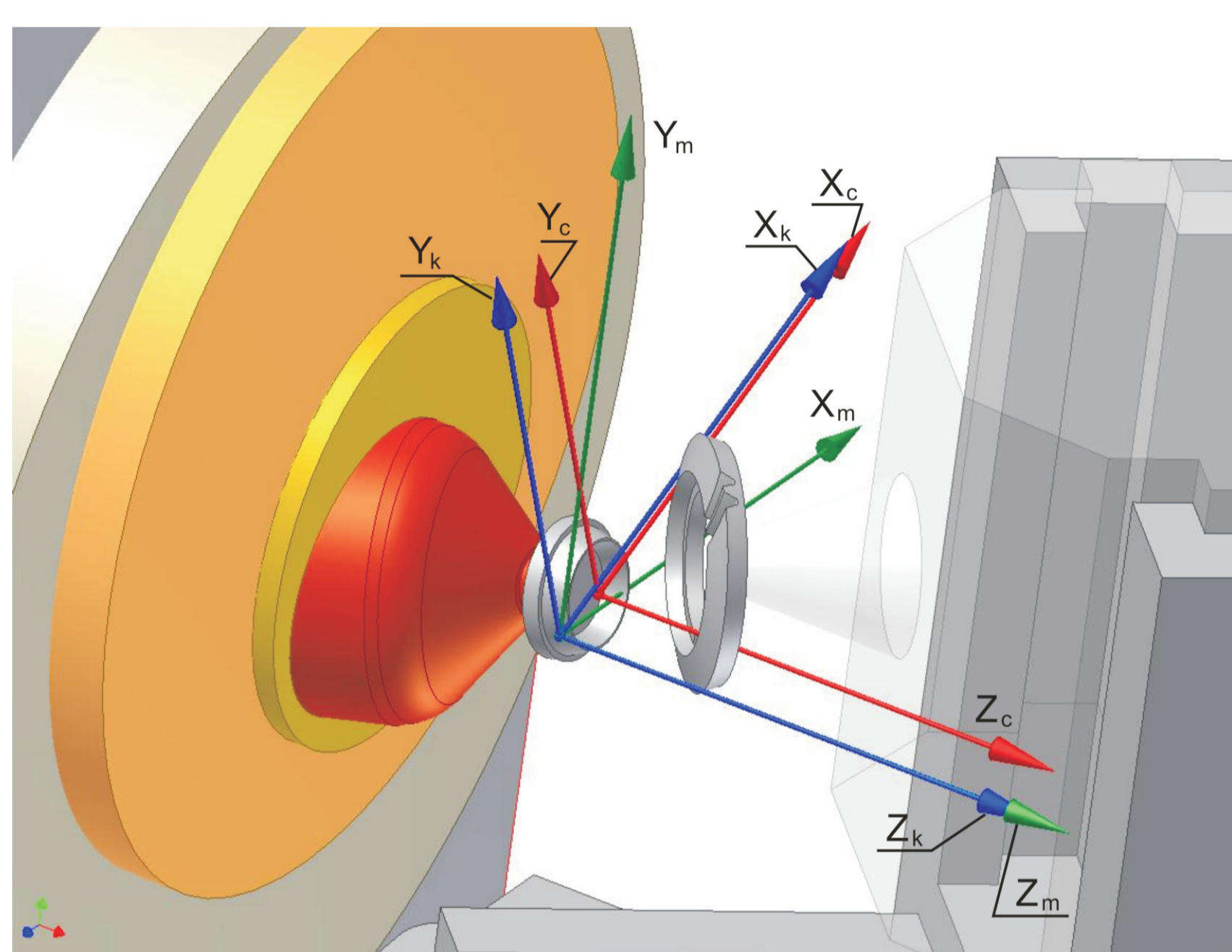
Opracowanie technologii efektywnego systemu projektowania i produkcji przekładni lotniczych z wykorzystaniem systemu PHOENIX firmy Gleason

Wyniki badań

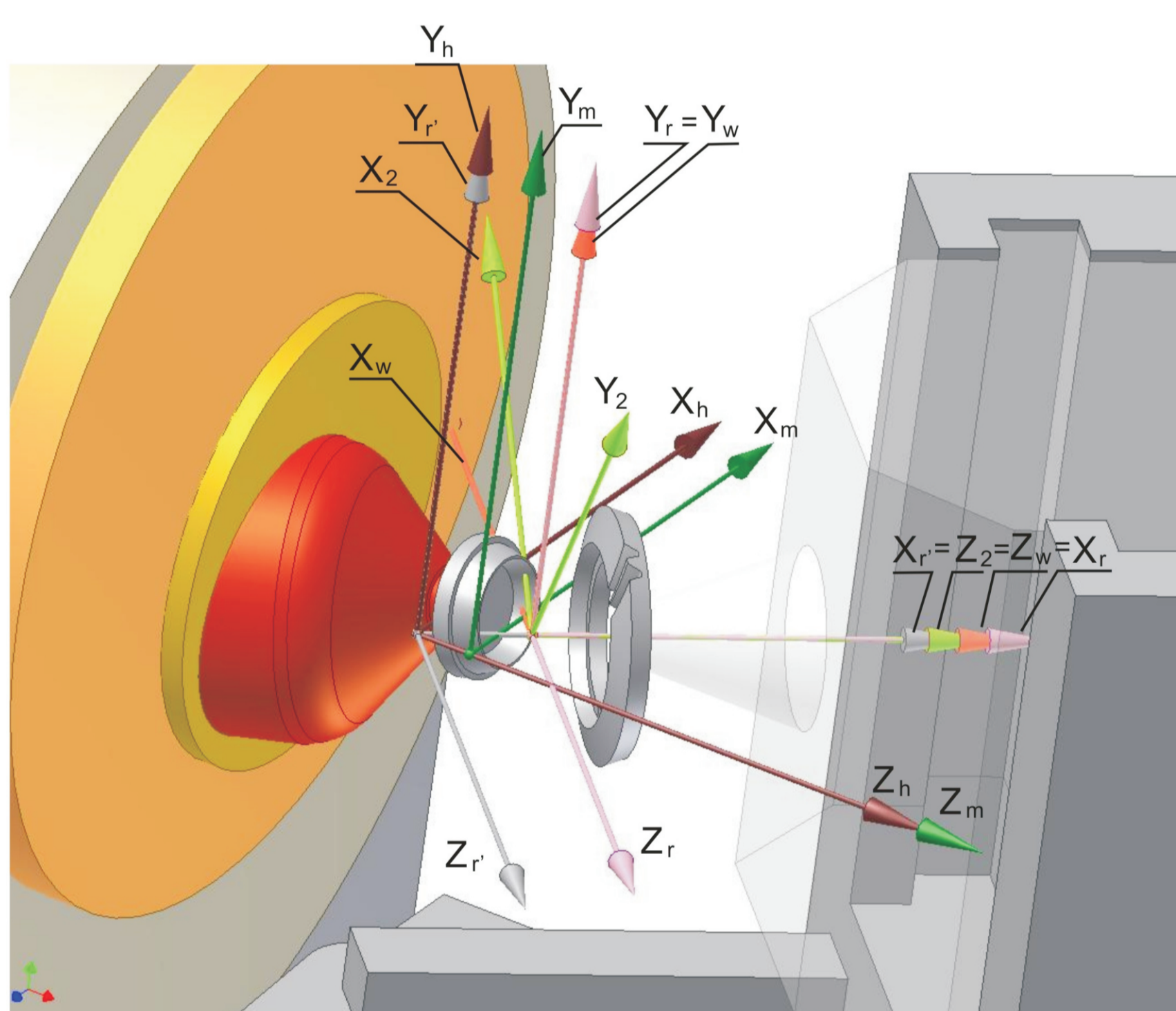
Opracowanie modeli matematycznych obróbki uzębienia koła metodami SFM, SGM, SGT, Duplex Helical

Opracowanie modeli matematycznych obróbki uzębienia zębniaka metodami SFM, SGM, SGT, Duplex Helical

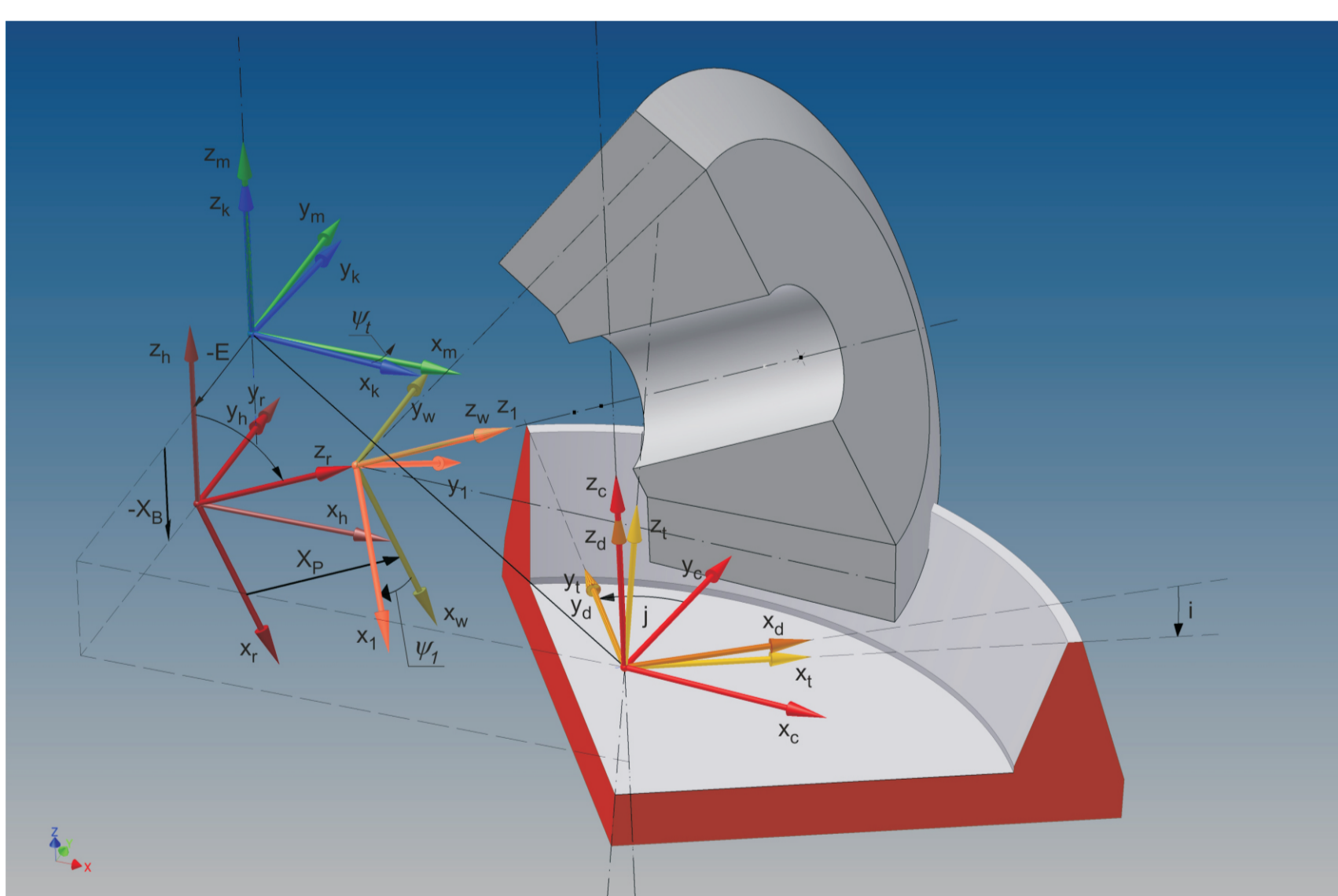
Opracowano uniwersalny model matematyczny obrabiarki kołoskowej (sterowanej mechanicznie) typu Gleason do nacinania uzębienia koła i zębniaka. Przekładnia technologiczna obróbki (wybraną metodą) żądanogoczonu przekładni jest określana zespołem układów współrzędnych (rys. 1-4). Zależności między układami opisano macierzą przekształceń, sformułowaną w oparciu o geometrię i kinematykę rzeczywistej obrabiarki. Matematyczny zapis powierzchni bocznej zęba, nacinanej metodą obwiedniową, otrzymano w oparciu o układ równań, zawierający równanie rodziny powierzchni działania narzędzia oraz równanie ząbienia, wynikające z kinematycznej metody określania obwiedni. Uwzględniając przypadek, gdy nie jest możliwe otrzymanie równania powierzchni bocznej zęba w postaci jawnej, opracowano metodykę definiowania siatki odniesienia w granicach czynnej powierzchni boku zęba (rys. 6). Służy ona do otrzymania powierzchni bocznej zęba metodami numerycznymi.



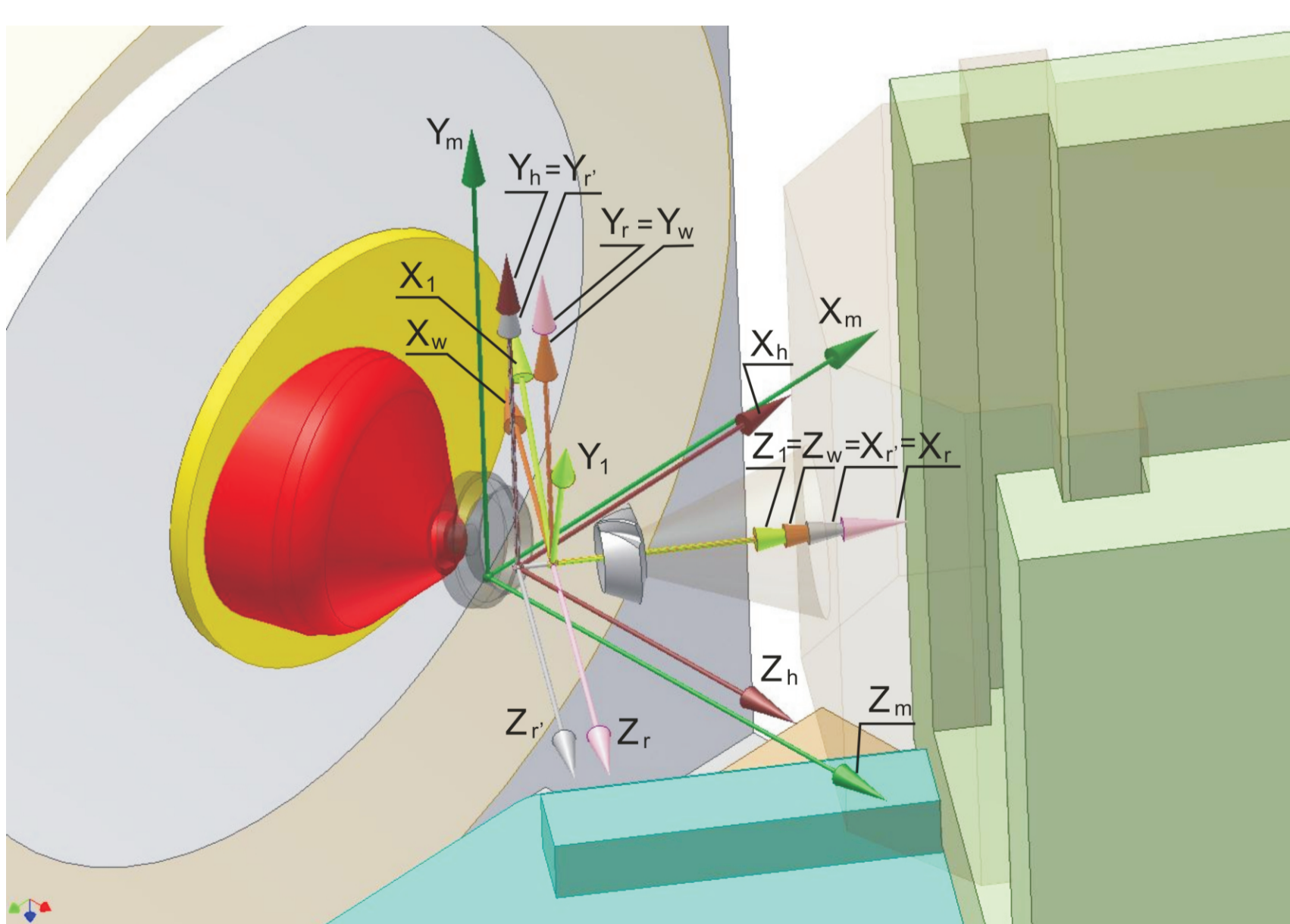
Rys. 1. Zespół układów współrzędnych modelujący suport narzędziowy - obróbka koła



Rys. 2. Zespół układów współrzędnych modelujący wrzeciennik przedmiotu obrabianego - obróbka koła



Rys. 3. Zespół układów współrzędnych modelujący suport narzędziowy - obróbka zębniaka



Rys. 4. Zespół układów współrzędnych modelujący wrzeciennik przedmiotu obrabianego - obróbka zębniaka

Równanie wektorowe powierzchni działania narzędzia w układzie związanym z narzędziem S_i

$$r_i(s_i, \theta_i) = \begin{pmatrix} \cos \theta_i (r_{wk} + s_i \sin \alpha_{wk}) \\ \sin \theta_i (r_{wk} + s_i \sin \alpha_{wk}) \\ -s_i \cos \alpha_{wk} \end{pmatrix}$$

gdzie: s_i, θ_i - współrzędne krzywoliniowe powierzchni kształtującej

α_{wk} - kąt zarysu noży zewnętrznych

r_{wk} - promień głowicy nożowej

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Funkcja wektorowa, określająca rodzinę powierzchni działania narzędzia w układzie związanym z obrabianym zębniakiem (S_i)

$$r_i(s_i, \theta_i, \psi_i) = M_{H_i}(\psi_i) \cdot r_i(s_i, \theta_i)$$

Macierz przekształceń stanowiąca iloczyn macierzy transformacji reprezentujących obroty i translacje układów współrzędnych jednorodnych wchodzących w skład modelu przekładni technologicznej

$$M_{H_i}(\psi_i) = M_{T_w}(\psi_i) \cdot M_{wr} \cdot M_{rh} \cdot M_{hm} \cdot M_{mk}(\psi_i) \cdot M_{kc} \cdot M_{cd} \cdot M_{dg}$$

Przykładowa macierz jednorodna reprezentująca złożenie obrotu i przesunięcia układu S_b do układu S_r

$$M_{rh} = \begin{pmatrix} \cos \delta_{wk} & 0 & \sin \delta_{wk} & -X_{P_{wk}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \delta_{wk} & 0 & \cos \delta_{wk} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Równanie ząbienia

$$\begin{cases} r_i(s_i, \theta_i, \psi_i) \\ n_i \cdot v_i''(s_i, \theta_i, \psi_i) = 0 \end{cases}$$

gdzie:

n_i - jednostkowy wektor normalny do rodziny powierzchni działania narzędzia określony w S_i ,

$v_i''(s_i, \theta_i, \psi_i)$ - wektor prędkości względnej określony w S_i .

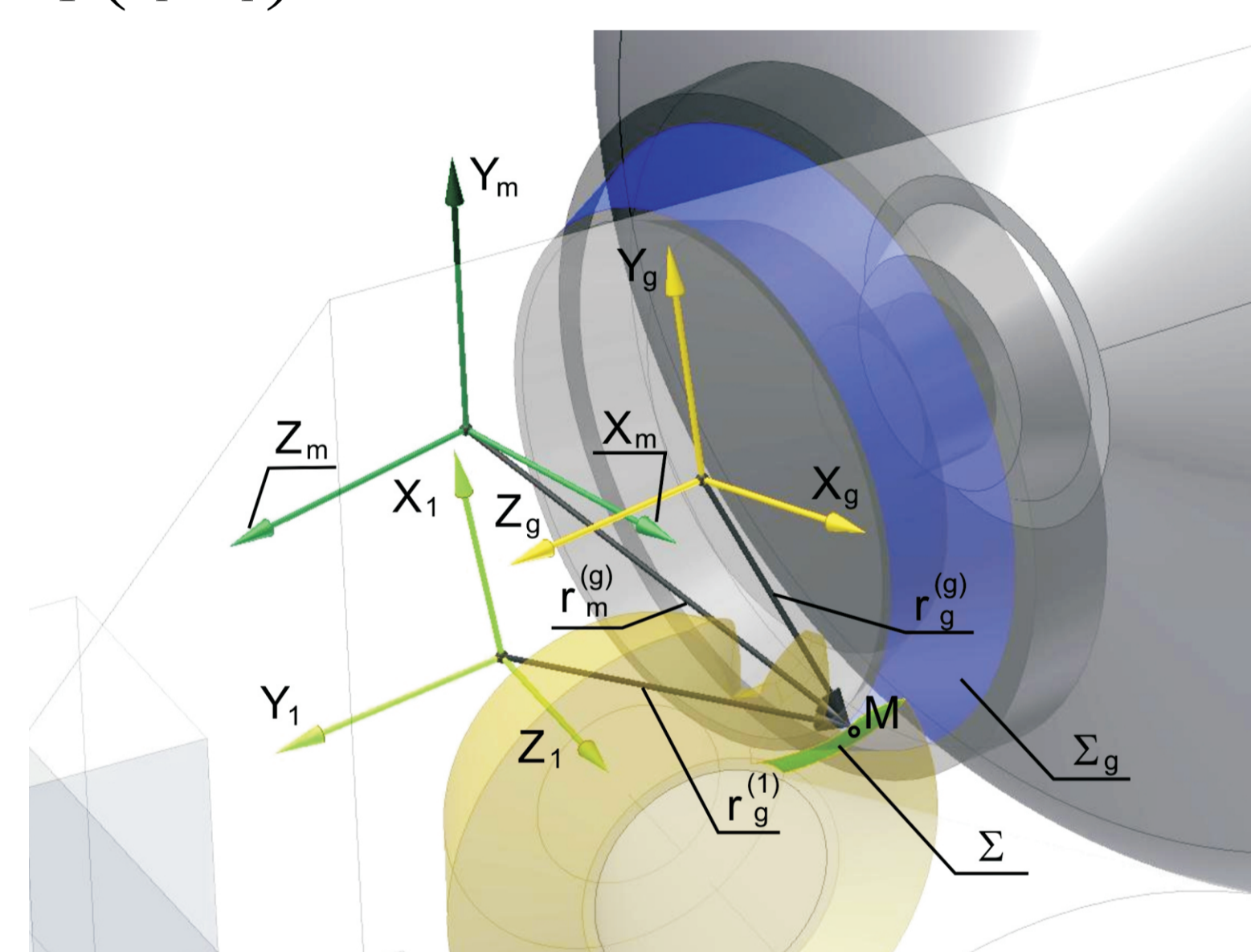
Dwuparametrowe równanie powierzchni bocznej zęba

$$r_i(\theta_i, \psi_i) = r_i(s_i(\theta_i, \psi_i), \theta_i, \psi_i)$$

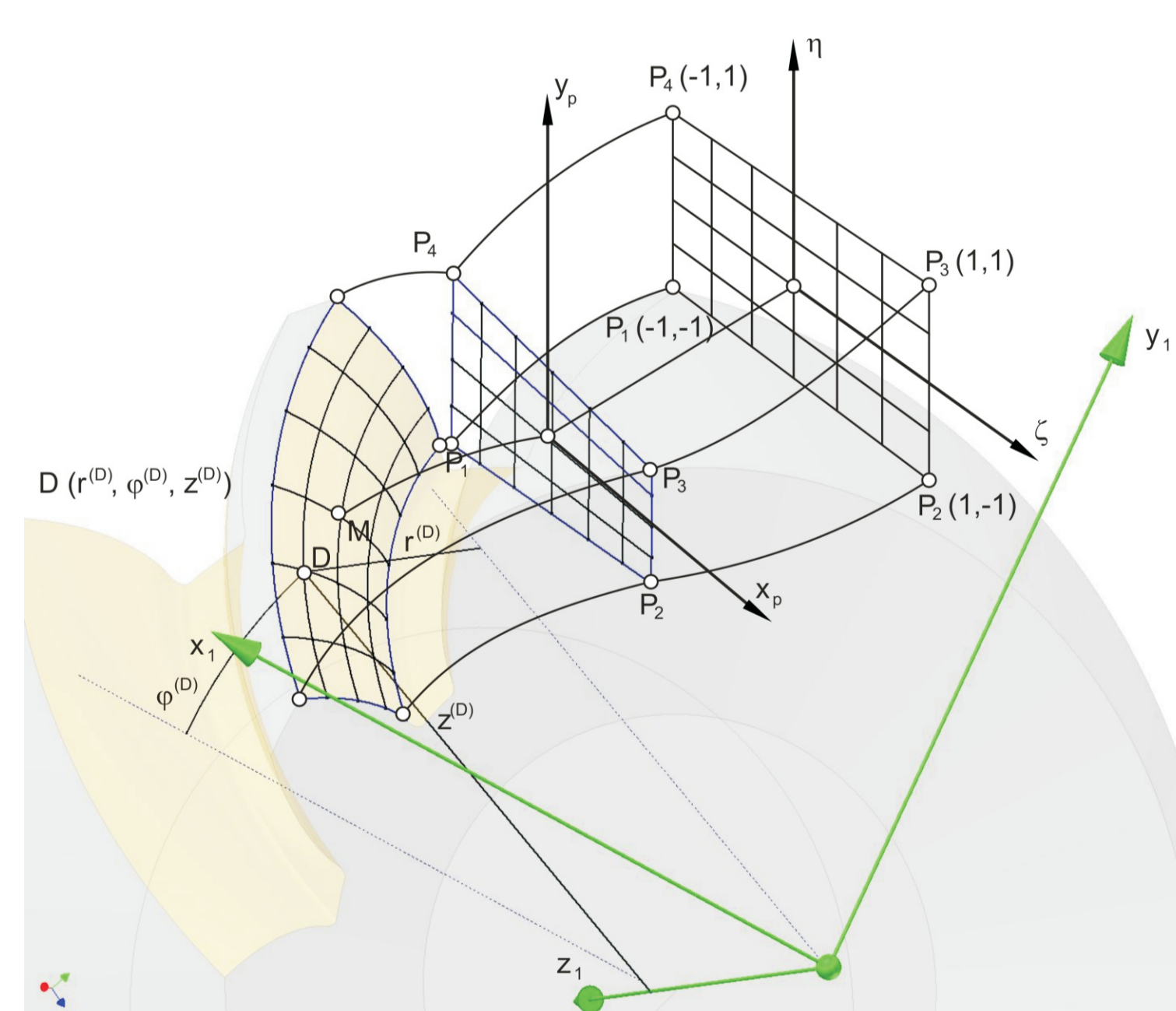
gdzie $s_i(\theta_i, \psi_i)$ - zmienna s_i w funkcji pozostałych parametrów (możliwe rozwiązanie równania ząbienia)

Równanie powierzchni bocznej zęba utworzone przez interpolację współrzędnych punktów powierzchni zęba, stanowiących zbiór rozwiązań dyskretnych odpowiadających punktom w przewidywalnym obszarze rozwiązań (w granicach czynnej wysokości zęba)

$$r_i(\eta_i, \zeta_i)$$



Rys. 5. Powierzchnia działania narzędzia i wygenerowana powierzchnia boku zęba



Rys. 6. Siatka odniesienia w przekroju osiowym i znormalizowana

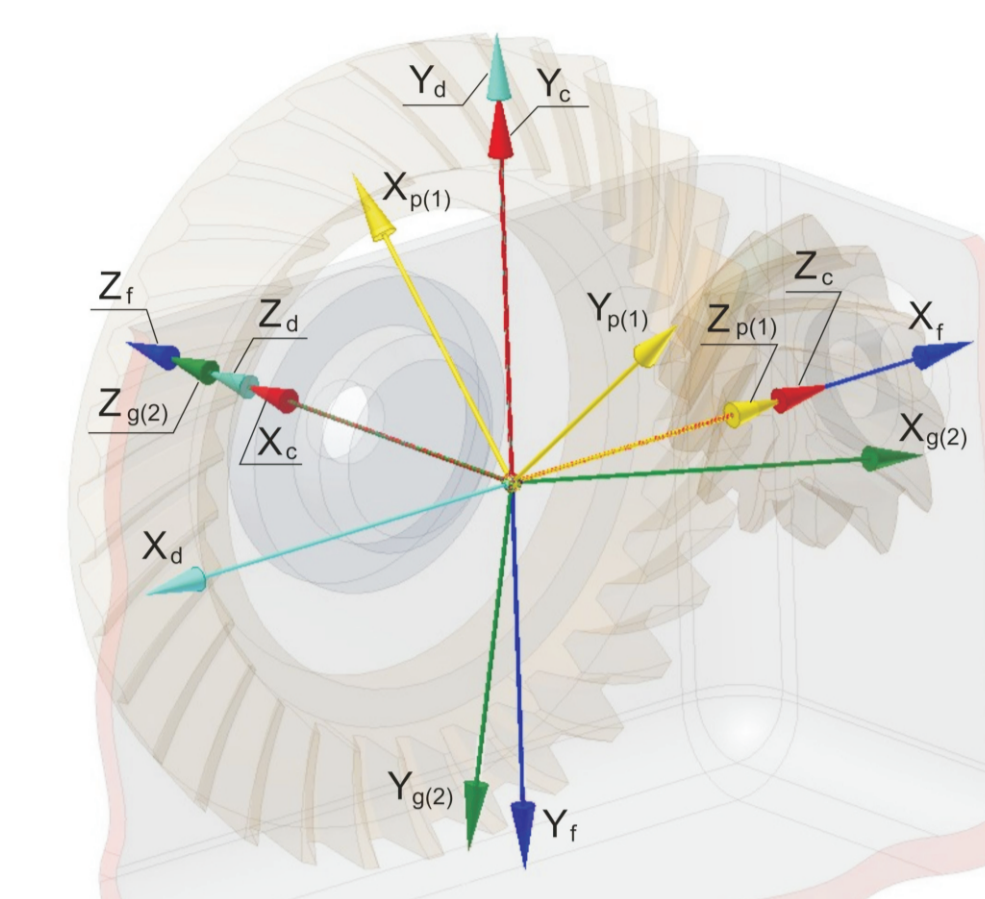
Zbudowanie modelu matematycznego przekładni konstrukcyjnej z uwzględnieniem odchyłek montażowych

Do zbudowania modelu przekładni konstrukcyjnej wykorzystano zależności geometryczne i kinematyczne występujące w przekładni stożkowej. Opracowano model przekładni konstrukcyjnej bezodchyłkowej (rys. 7) oraz jego rozwinięcie do postaci, uwzględniającej błędy wzajemnego położenia członów przekładni (rys. 8). Uwzględniając matematyczny zapis powierzchni bocznych współpracujących zębów sformułowano warunki ich styku w postaci układu pięciu niezależnych równań. Dla zadanych, w kolejnych krokach, wartości kąta obrotu zębniaka $\varphi_{i(i)}$ uzyskuje się rozwiązanie $(\eta_i, \zeta_i, \varphi_i, \psi_i, \theta_i)$. Na podstawie rozwiązania wyznacza się linię przyporu, ścieżki styku na obu pow. zębów a także wykres nierównomierności ruchu. Rozwiązanie pozwala na określenie punktu styku współpracujących powierzchni, linii styku, linii przyporu.

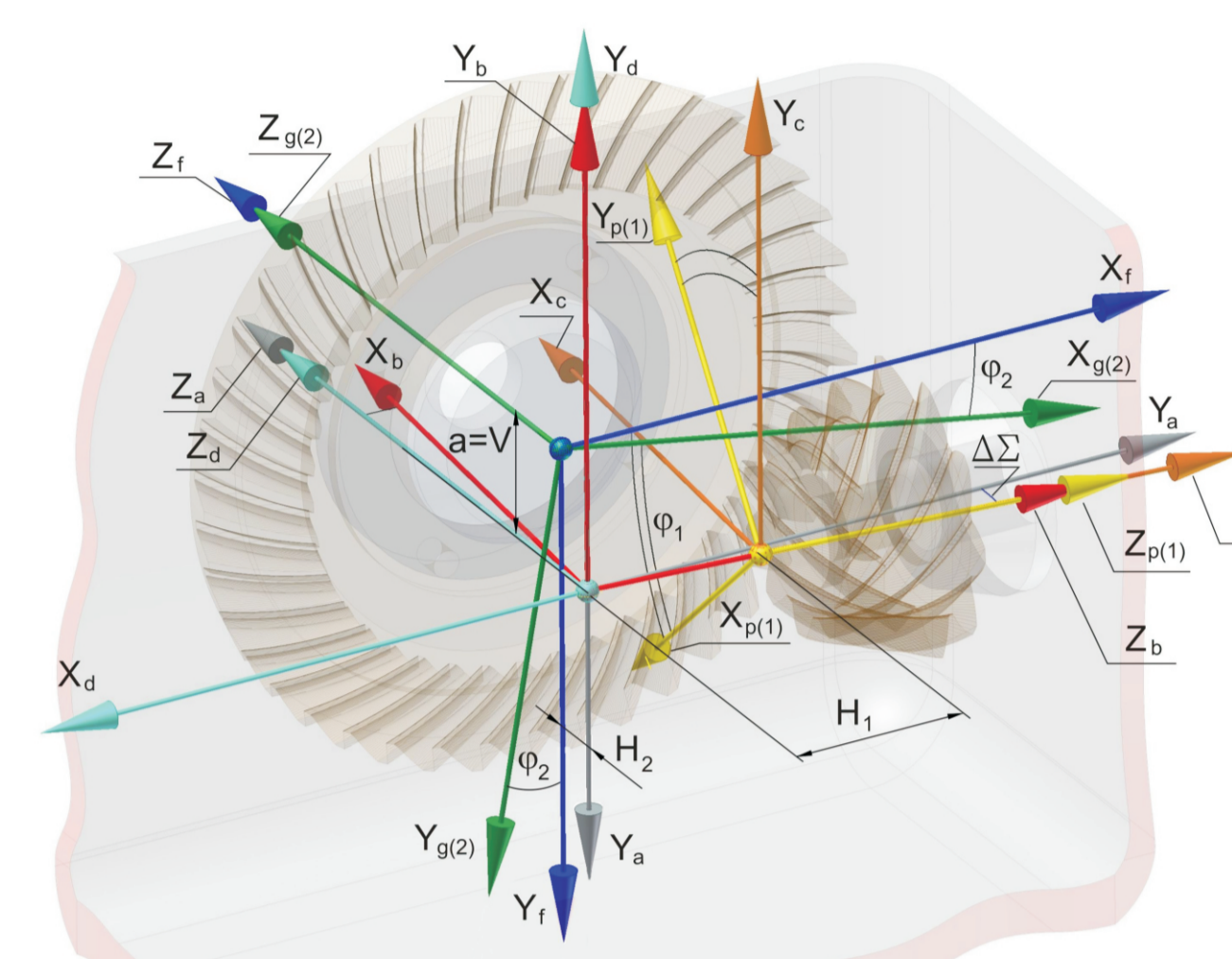
Matematyczny zapis powierzchni boku zęba zębniaka Σ_1 wraz z odpowiadającym mu zapisem wektora normalnego w układzie sztywnym S_f

$$r_f^{(1)}(\eta_1, \zeta_1, \varphi_1) = M_{f1}(\varphi_1) \cdot r_f^{(1)}(\eta_1, \zeta_1)$$

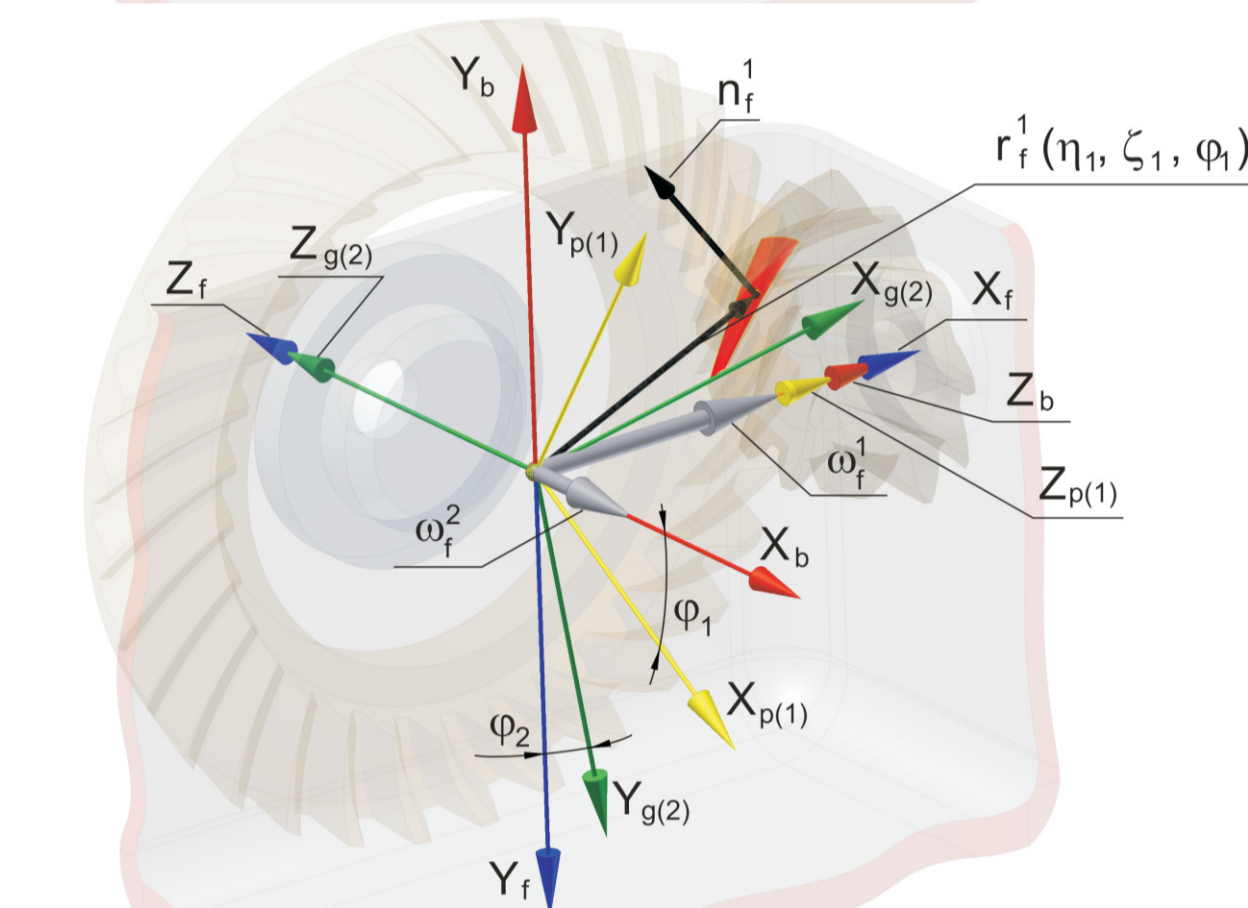
$$n_f^{(1)}(\eta_1, \zeta_1, \varphi_1) = L_{f1}(\varphi_1) \cdot n_f^{(1)}(\eta_1, \zeta_1)$$



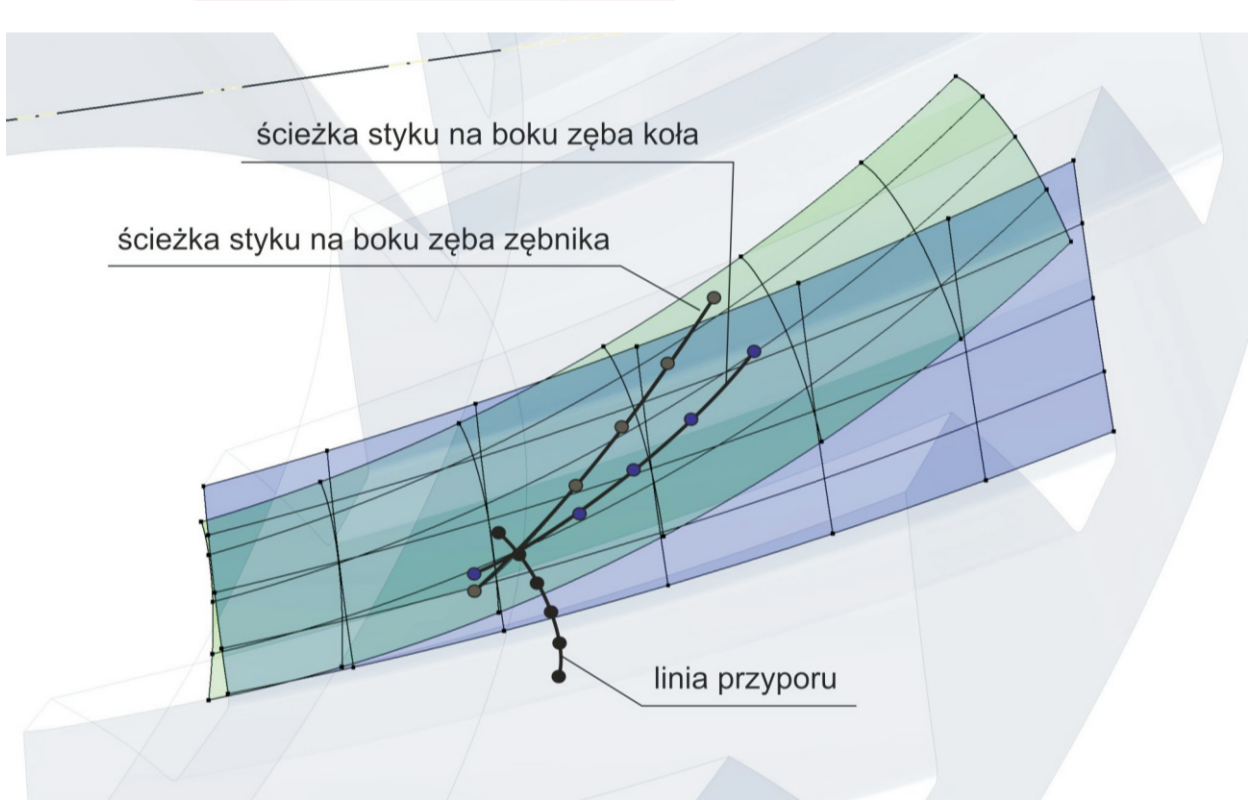
Rys. 7. Zespół układów współrzędnych modelujących przekładnię bezodchyłkową



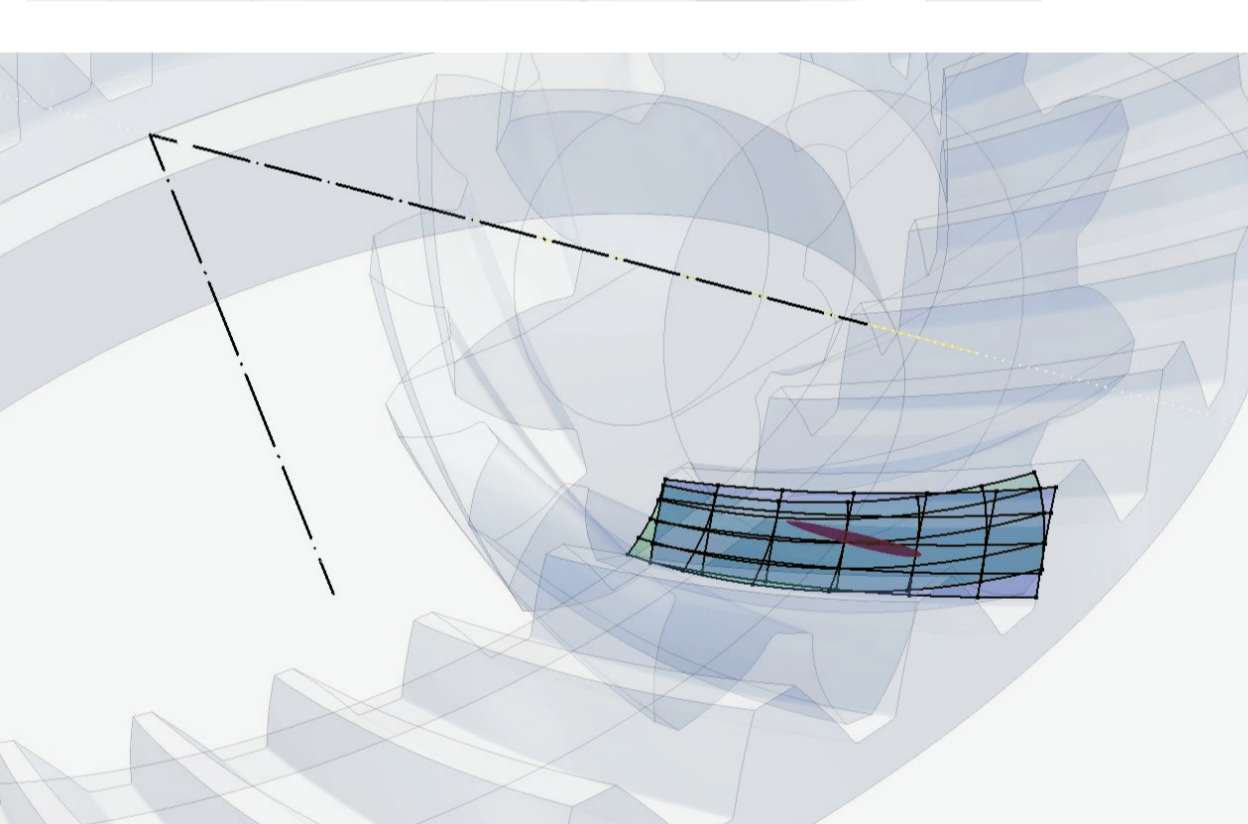
Rys. 8. Zespół układów współrzędnych modelujących przekładnię uwzględniającą odchyłki montażowe



Rys. 9. Powierzchnie boczne współpracujących zębów



Rys. 10. Linia przyporu oraz ścieżka styku



Rys. 11. Chwilowy ślad współpracy ząbienia

Matematyczny zapis powierzchni boku zęba koła Σ_2 wraz z wersorem normalnym w układzie sztywnym S_f

$$r_f^{(2)}(\eta_2, \zeta_2, \varphi_2) = M_{f2}(\varphi_2) \cdot r_f^{(2)}(\eta_2, \zeta_2)$$

$$n_f^{(2)}(\eta_2, \zeta_2, \varphi_2) = L_{f2}(\varphi_2) \cdot n_f^{(2)}(\eta_2, \zeta_2)$$

Warunki styku powierzchni boku zęba zębniaka Σ_1 i koła Σ_2 w układzie S_f

$$r_f^{(1)}(\eta_1, \zeta_1, \varphi_1) - r_f^{(2)}(\eta_2, \zeta_2, \varphi_2) = 0$$

$$n_f^{(1)}(\eta_1, \zeta_1, \varphi_1) - n_f^{(2)}(\eta_2, \zeta_2, \varphi_2) = 0$$

Wnioski

Stworzony model obrabiarki pozwala na otrzymanie powierzchni bocznych zębów członów przekładni stożkowych, stosowanych w napędach lotniczych. Przewiduje się jego wykorzystanie przy wprowadzaniu do produkcji nowych przekładni w zakładach przemysłu lotniczego. Ocena poprawności ząbienia, możliwa do przeprowadzenia w modelu przekładni konstrukcyjnej, uwzględniając błędy montażowe zapewni dobór optymalnych ustawień obrabiarki dla otrzymania powierzchni bocznych zębów, zapewniających wysoką jakość pracy przekładni. Model przekładni konstrukcyjnej będzie wykorzystany do analizy kontaktu w przestrzeni ząbienia (TCA).

Wskaźniki realizacji celów projektu

Konferencje

- Marciniec A., Sobolewski B.: **Matematyczny model konstrukcyjnej przekładni stożkowej**. Materiały XVII Konferencji nt. „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo”. Kraszczyń, 7-9 października 2009.
- Pisula J., Płocica M.: **Matematyczny model generowania powierzchni bocznej zęba zębniaka przekładni stożkowej na maszynie 116G**. Materiały XVII Konferencji nt. „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo”. Kraszczyń, 7-9 października 2009.

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie:

- Krzysztof Marzec, „**Obliczenia przekładni stożkowych w oparciu o normy ISO**” Promotor: dr hab. inż. Adam Marciniec. (obrona: 22 czerwca 2009) Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska
- Krzysztof Lustofin, „**Obliczenia przekładni stożkowych w oparciu o normy AGMA 2003-B97**” Promotor: dr hab. inż. Adam Marciniec. (obrona lipiec 2009) Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska
- Łukasz Pokrzywa, „**Modelowanie obróbki kół zębatych stożkowych wg metody Gleason'a w systemie CATIA**”. Promotor: dr hab. inż. Adam Marciniec. (obrona: lipiec 2009) Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska