



O niektórych zjawiskach mechanicznych pojawiających się na iglicy rozjazdu o promieniu większym niż 1 000 m

*prof. dr hab. inż. Jerzy Kisilowski, UTH Radom
dr inż. Rafał Kowalik, WSOSP Dęblin*

Gdańsk, 18 stycznia 2018

Plan prezentacji



1. Wprowadzenie
2. Elementy rozjazdu i ich związek z modelem mechanicznym iglicy
3. Model matematyczny iglicy
4. Postacie i częstotliwości własne
5. Wyniki symulacji
6. Zjawiska dynamiczne na iglicy przy przejeździe pociągu po torze prostym i zwrotnym; wyniki symulacji i wnioski



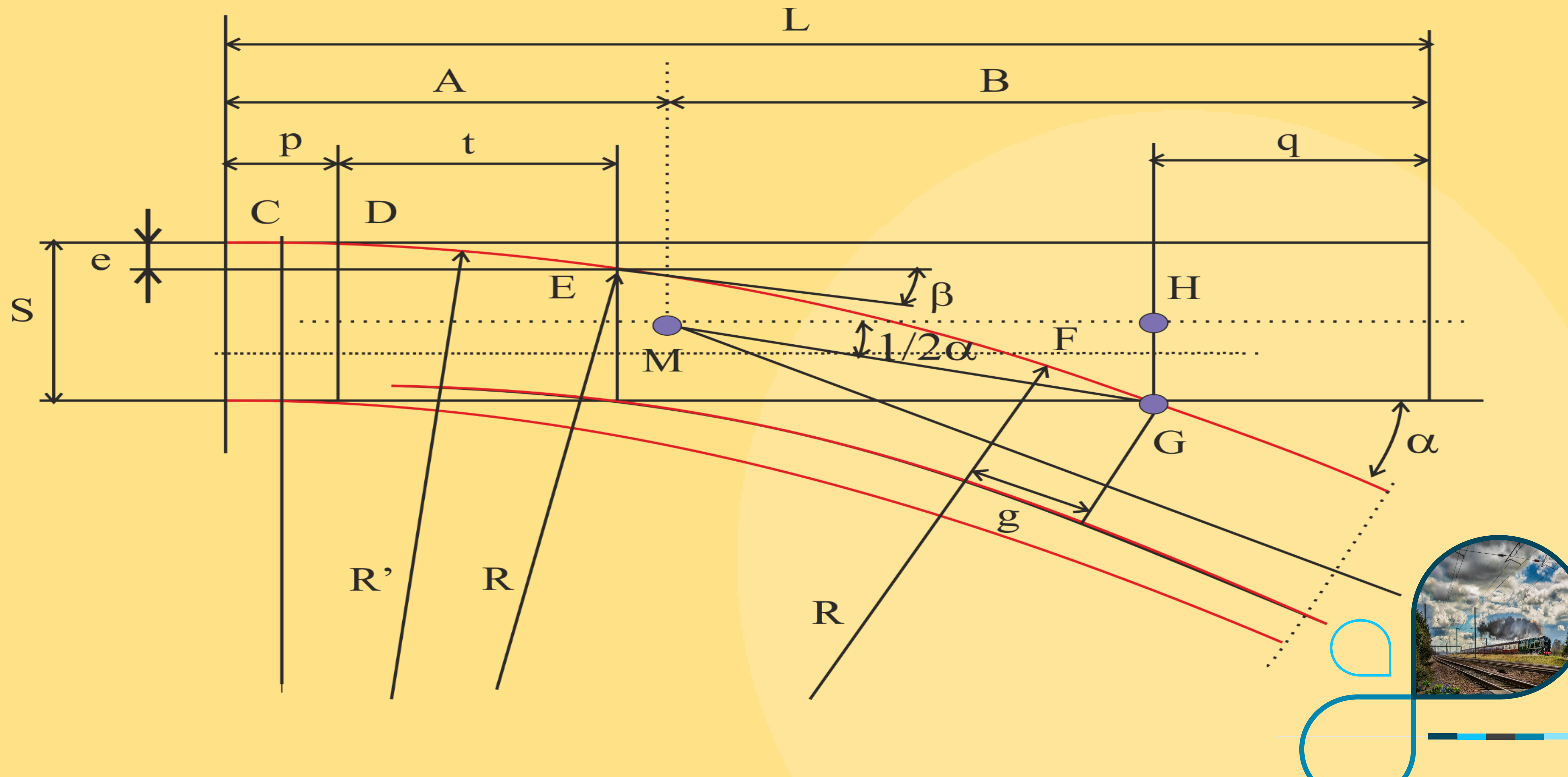
Rozjazd kolejowy jako element konstrukcyjnej nawierzchni



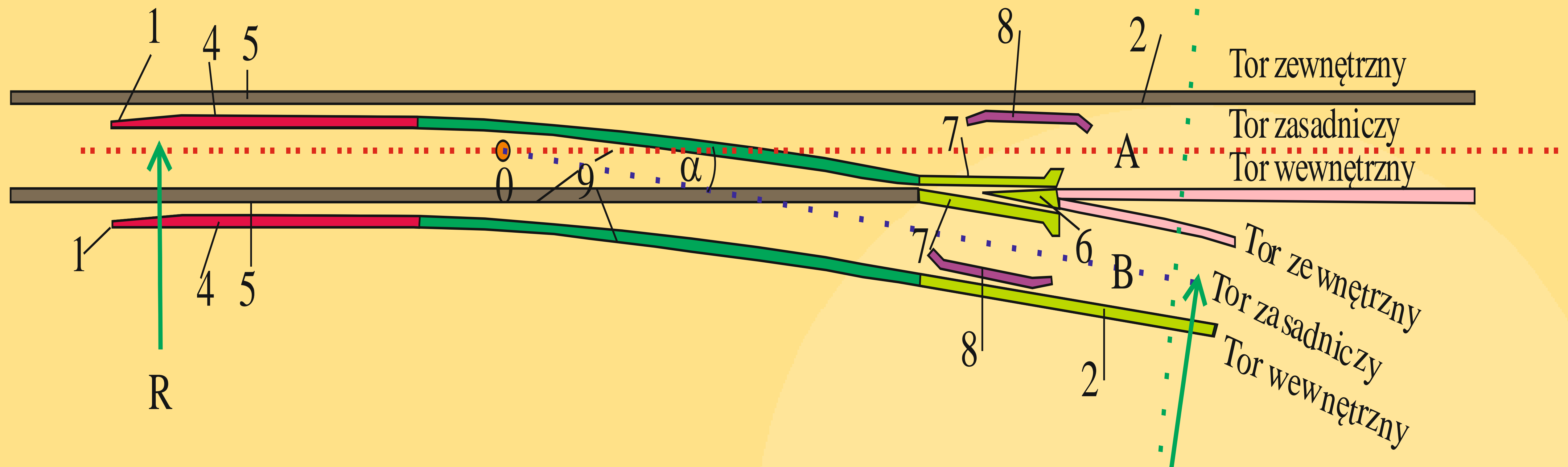
Rys. 1. Zwrotnica rozjazdu zwyczajnego Rz 60E1 – 300 – 1:9 ssbP



Geometria rozjazdu kolejowego zwyczajnego

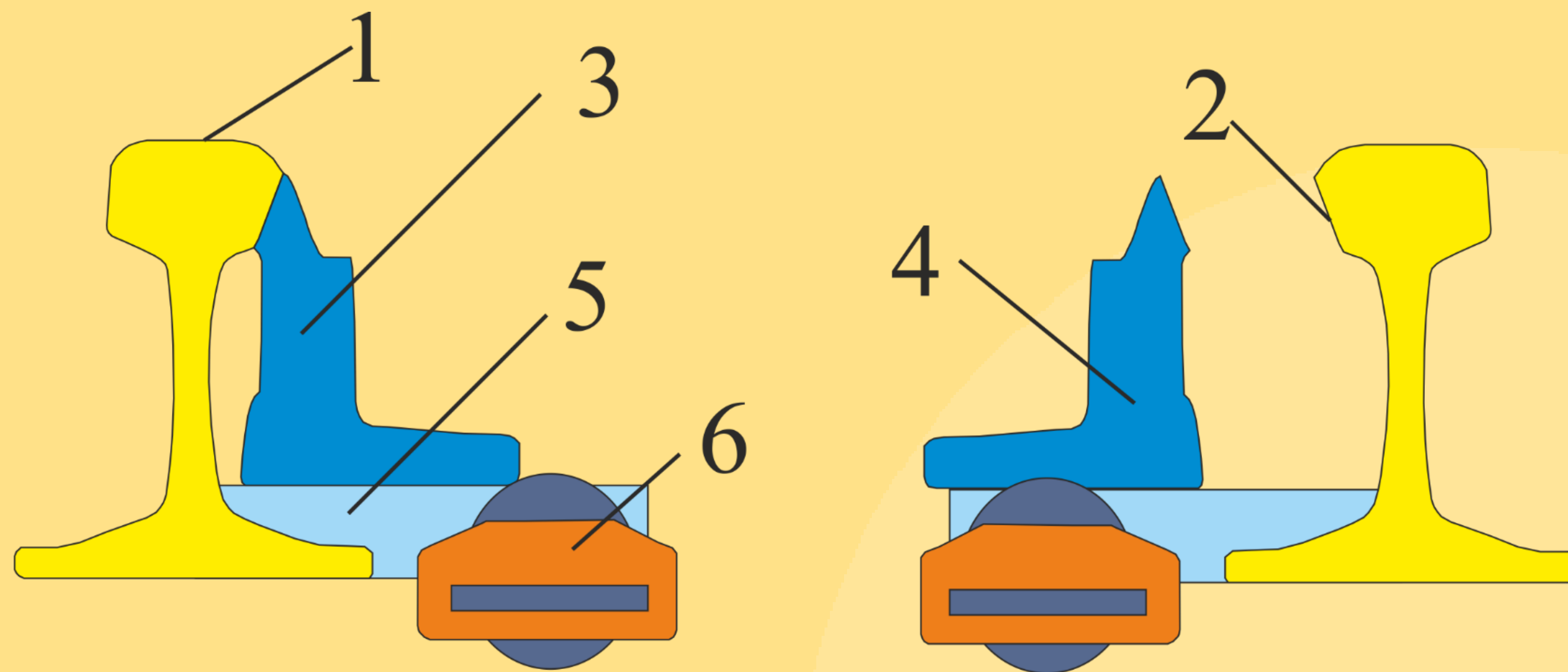


Budowa rozjazdu kolejowego zwyczajnego



1. Zasadniczymi częściami składowymi i elementami geometrycznymi rozjazdu zwyczajnego są:
2. - początek rozjazdu 1 (w styku przediglicowym),
3. - koniec rozjazdu 2 (w styku za krzyżownicą),
4. - środek geometryczny rozjazdu 0, który jest punktem przecięcia osi toru zasadniczego z osią toru zwrotnego,
5. - promień R łuku toru zwrotnego; kąt rozjazdu α (kąt między osiami toru zasadniczego i zwrotnego),
6. - skos rozjazdu – $\text{tg } \alpha$ – wyrażony ułamkiem zwyczajnym z jednością w liczniku,
7. - ostatnia podrozjazdnica 3 rozjazdu; iglice 4; opornice 5; krzyżownica 6; szyny skrzydłowe 7; kierownice 8; szyny łączące 9; trójkąt AOB.





Rys. 4. Przekrój poprzeczny zwrotnicy w pobliżu ostrza z widocznym rolkowym urządzeniem nastawczym Austroroll: 1 – opornica; 2 – zestruganie opornicy; 3 – iglica przylegająca; 4 – iglica odsunięta; 5 – siodełko podiglicowe; 6 – rolka ułatwiająca przestawianie iglic



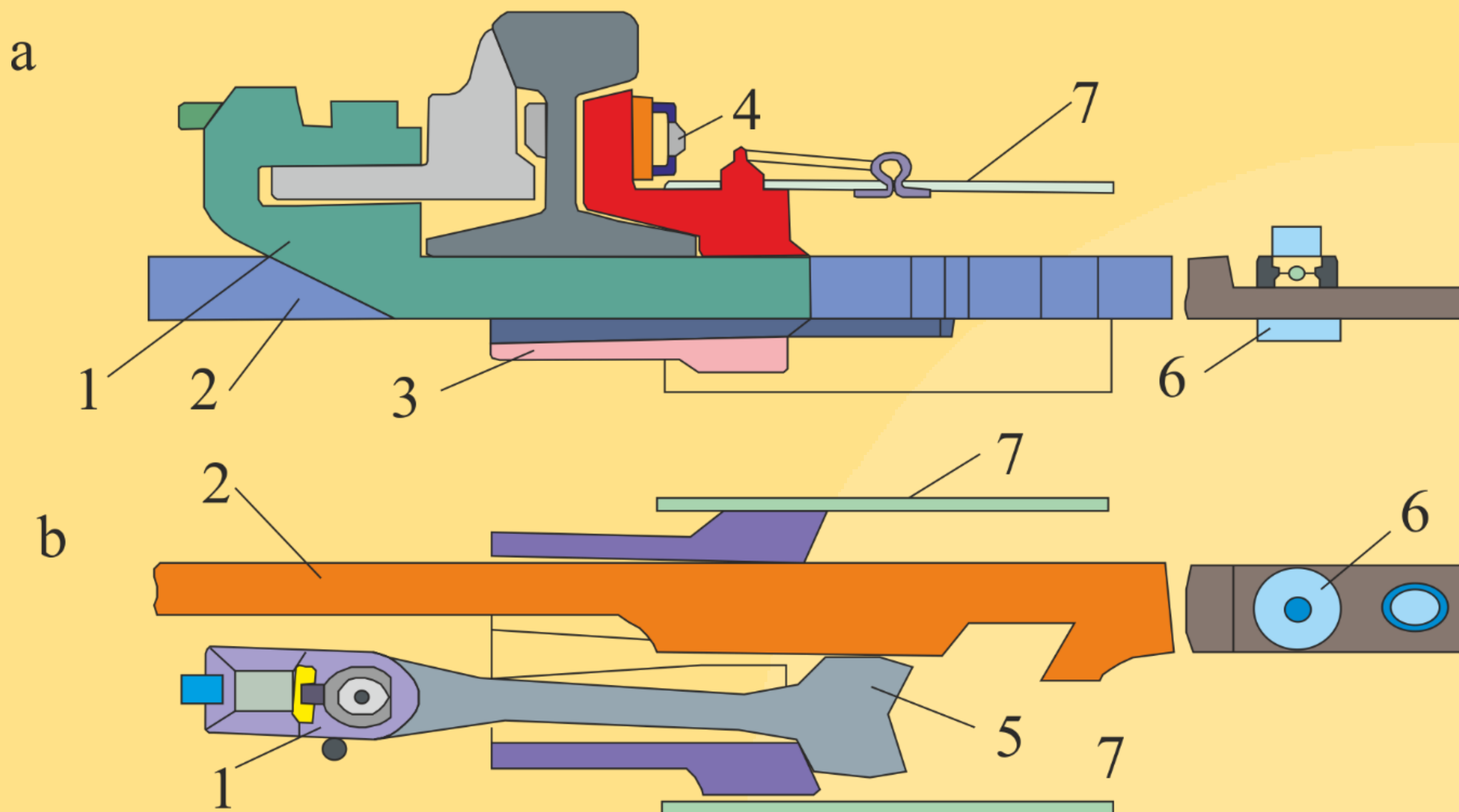
Elementy rozjazdu podlegające badaniu



Rys.5. Zamknięcie nastawcze suwakowe



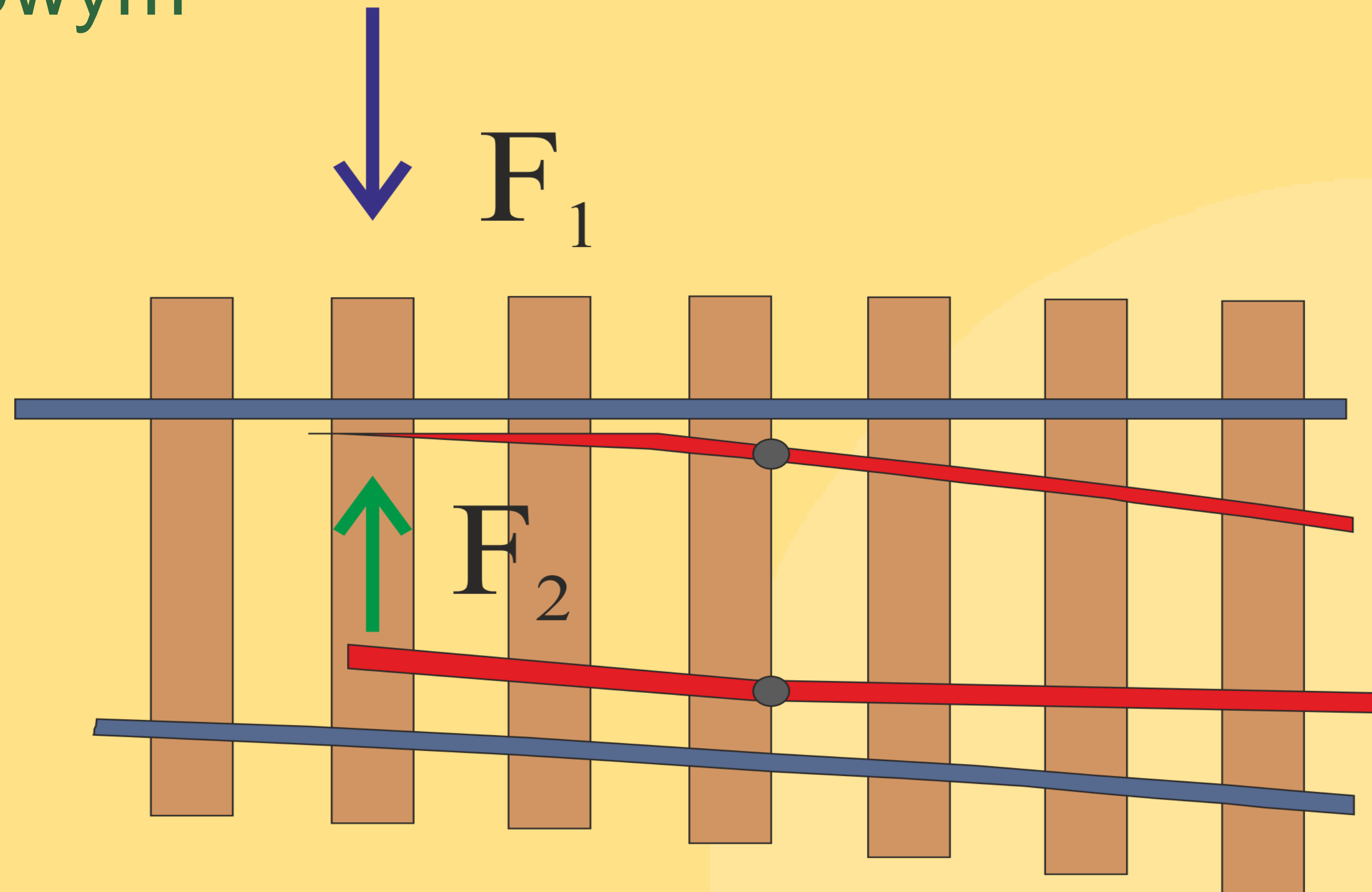
Elementy rozjazdu podlegające badaniu



Rys. 6. Zespół zamknięcia suwakowego a – widok z boku, b – widok z góry 1 – kłamra, 2 – suwak, 3 – prowadnica, 4 – śruby przytwierdzające prowadnicę, 5 – głowica kłamry, 6 – śruba oporowa, pokrywa kłamry



Badanie sił nastawczych i sił trzymania w napędzie zwrotnicowym



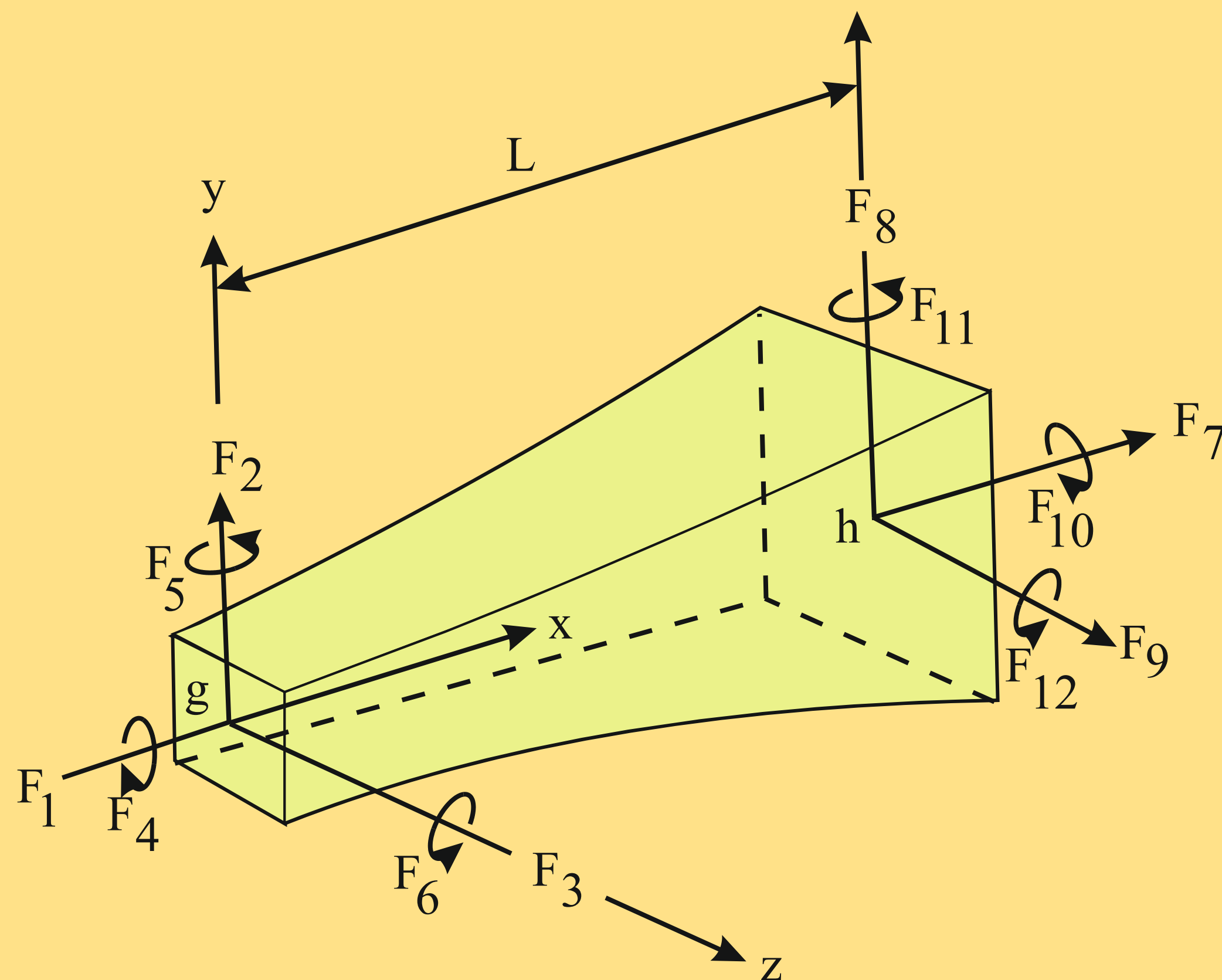
Rys. 7. Siły działające na zwrotnicę, F_1 siła potrzebna do przestawienia zwrotnicy, F_2 siła utrzymująca zwrotnicę w krańcowym położeniu



Początek rozjazdu kolejowego



Iglica kolejowa jako belka o zmiennym przekroju



Rys. 9. Model belki o zmiennym przekroju wraz z wielkościami opisującymi jej dynamikę

Profil zwężania struktury iglicy (belki trapezowej) określić można za pomocą następujących zależności matematycznych:

$$A(x) = A_0 \left(1 + c \frac{x}{L} \right)^l \text{ w kierunku osiowym}$$

$$GJ(x) = GJ_0 \left(1 + c \frac{x}{L} \right)^{m+2} \text{ w kierunku skrętnym}$$

$$I(x) = I_0 \left(1 + c \frac{x}{L} \right)^{n+2} \text{ zginanie}$$



Sztywności osiowe w kierunku x

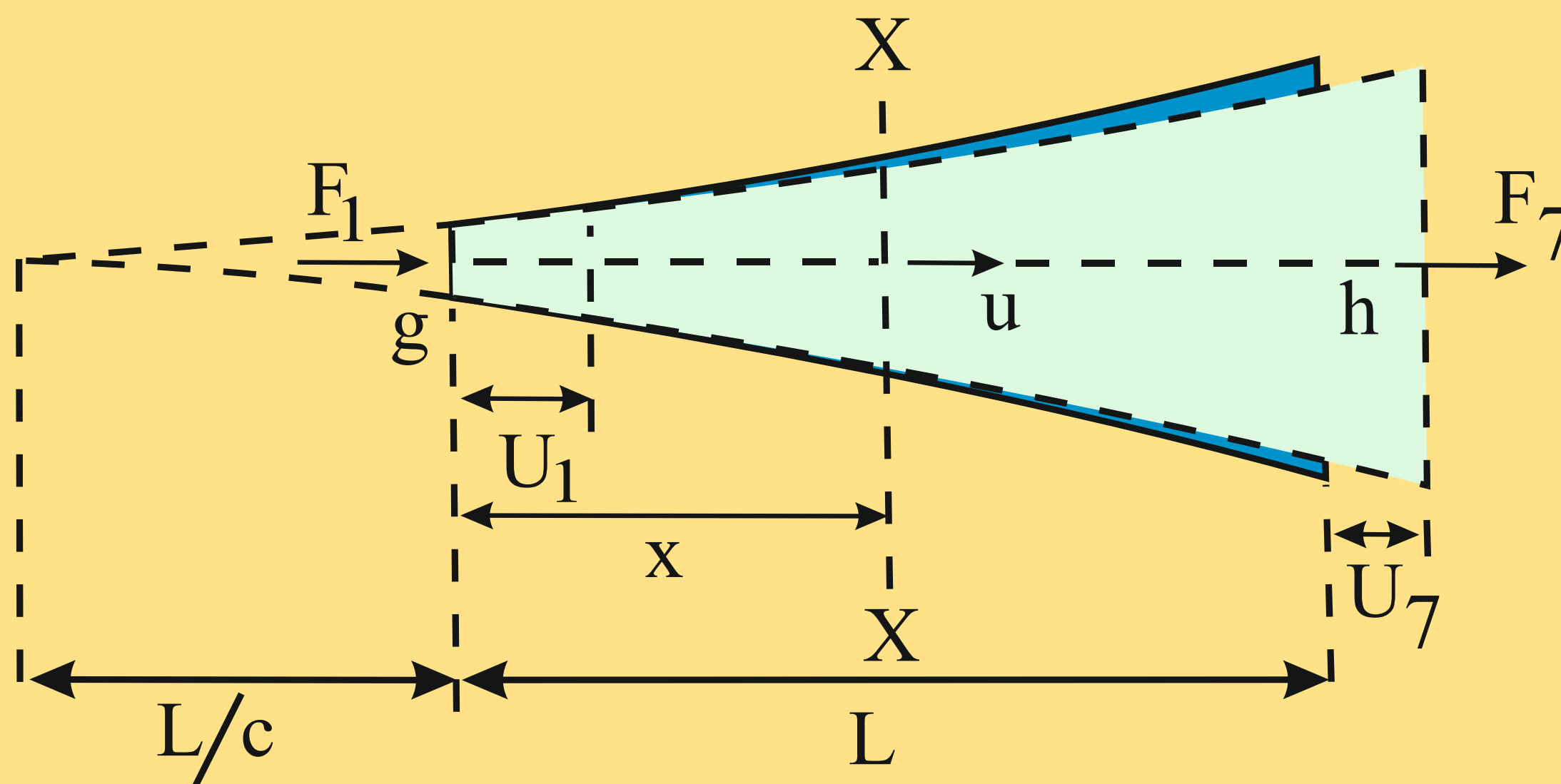
Relacje określające przemieszczenia w zależności od odkształceń osiowych:

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{1,1} & K_{1,7} \\ K_{7,1} & K_{7,7} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_7 \end{bmatrix}$$

gdzie:

$$K_{1,1} = K_{7,7} = -K_{1,7} = -K_{7,1} = \frac{EA_0 c(l-1)(1+c)^{l-1}}{L[(1+c)^{l-1} - 1]} \text{ dla } l \neq 1$$

$$K_{1,1} = K_{7,7} = -K_{1,7} = -K_{7,1} = \frac{EA_0 c}{L \cdot \ln(1+c)} \text{ dla } l = 1$$

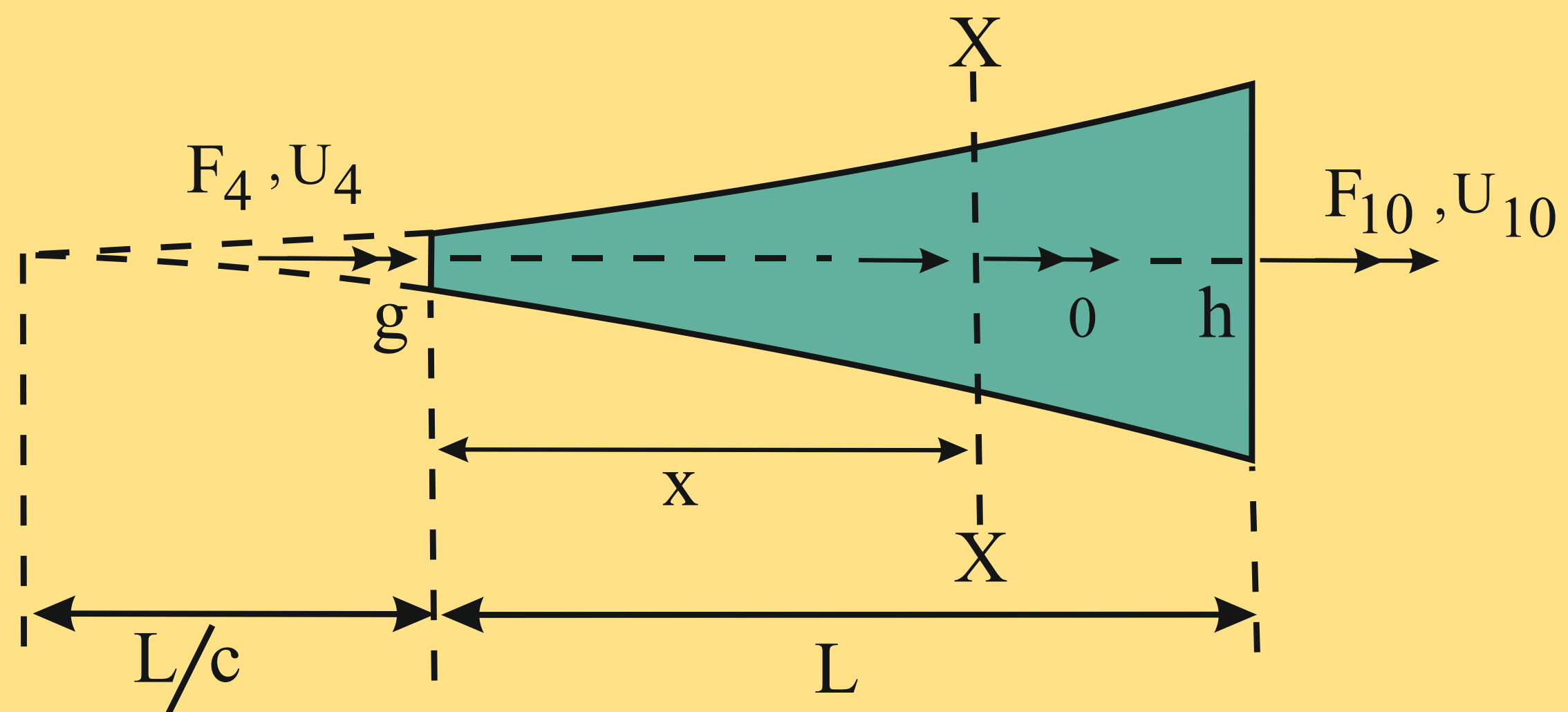


Rys. 10. Ugięcie belki dla zdefiniowanych warunków brzegowych na jej końcu w układzie współrzędnych XX określone przez

$$A(x) = A_g \left(1 + c \left(\frac{x}{L} \right) \right)^l$$



Sztywności skrętne



Rys. 11. Przykład skręcania belki na jej końcu w układzie XX dla zależności

$$GJ(x) = GJ_g \left(1 + c \left(\frac{x}{L} \right) \right)^{m+2}$$

Równanie opisujące sztywność skrętą:

$$\begin{bmatrix} F_4 \\ F_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{4,4} & K_{4,10} \\ K_{10,4} & K_{10,10} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_4 \\ U_{10} \end{bmatrix}$$

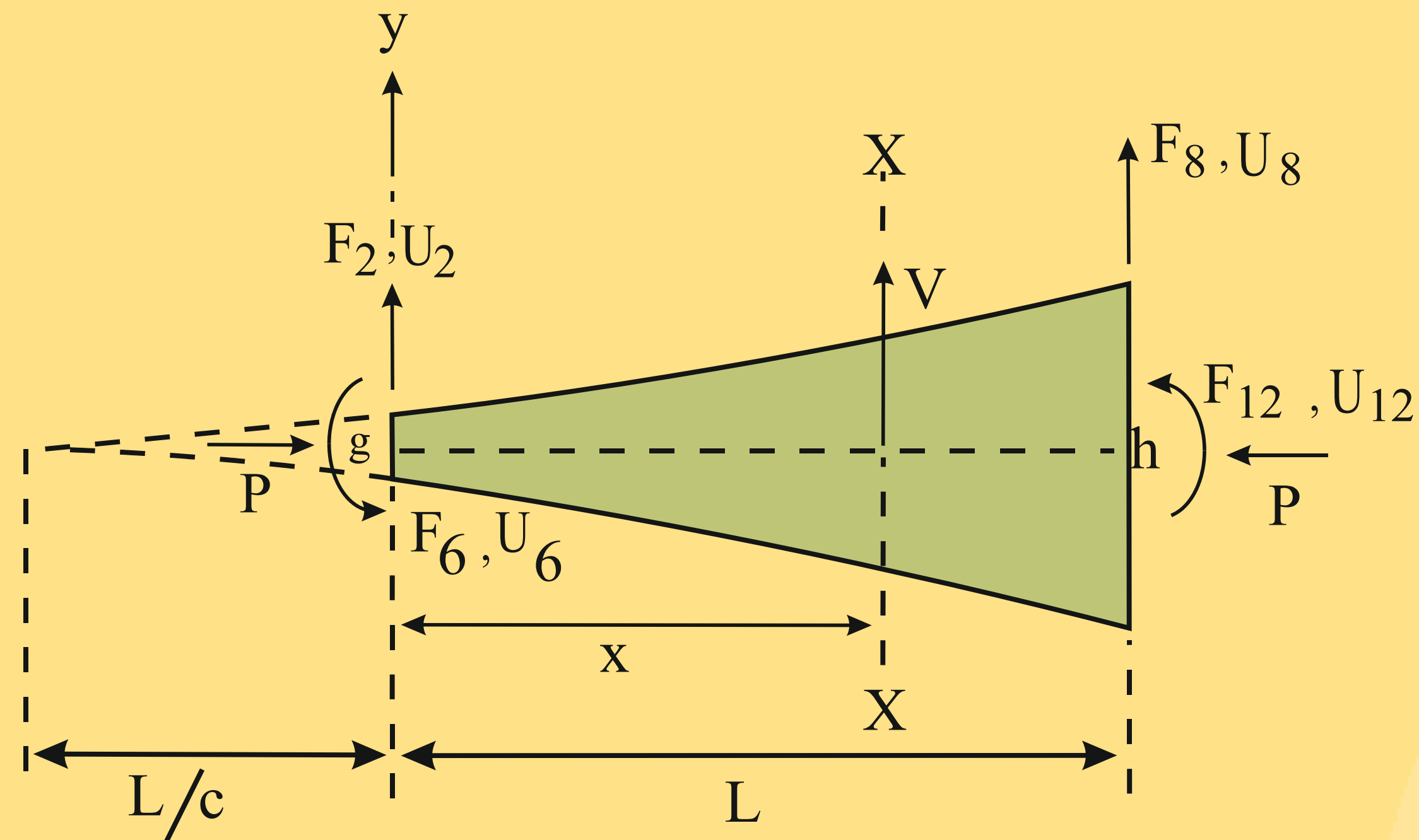
gdzie:

$$K_{4,4} = K_{10,10} = -K_{4,10} = -K_{10,4} = \frac{GJ_g c (m-1)(1+m)^{m-1}}{L[(1+c)^{m-1} - 1]} \text{ dla } m \neq 1$$

$$K_{4,4} = K_{10,10} = -K_{4,10} = -K_{10,4} = \frac{EA_g c}{L \cdot \ln(1+c)} \text{ dla } m = -1$$



Sztywności zginania



Rys. 12. Zjawisko zginania belki o zmiennym przekroju na jej końcu w układzie XX przy warunku

$$I(x) = I_g \left(1 + c \left(\frac{x}{L} \right)^{n+2} \right)$$

Równanie opisujące sztywność zginania:

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ F_6 \\ F_8 \\ F_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{2,2} & K_{2,6} & K_{2,8} & K_{2,12} \\ & K_{6,6} & K_{6,8} & K_{6,12} \\ & & K_{8,8} & K_{8,12} \\ & & & K_{12,12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ U_6 \\ U_8 \\ U_{12} \end{bmatrix}$$

symetryczna

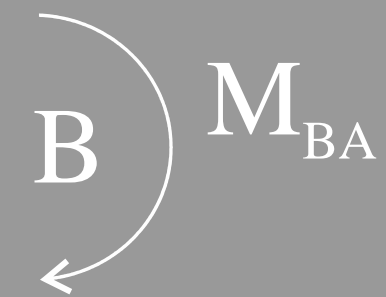
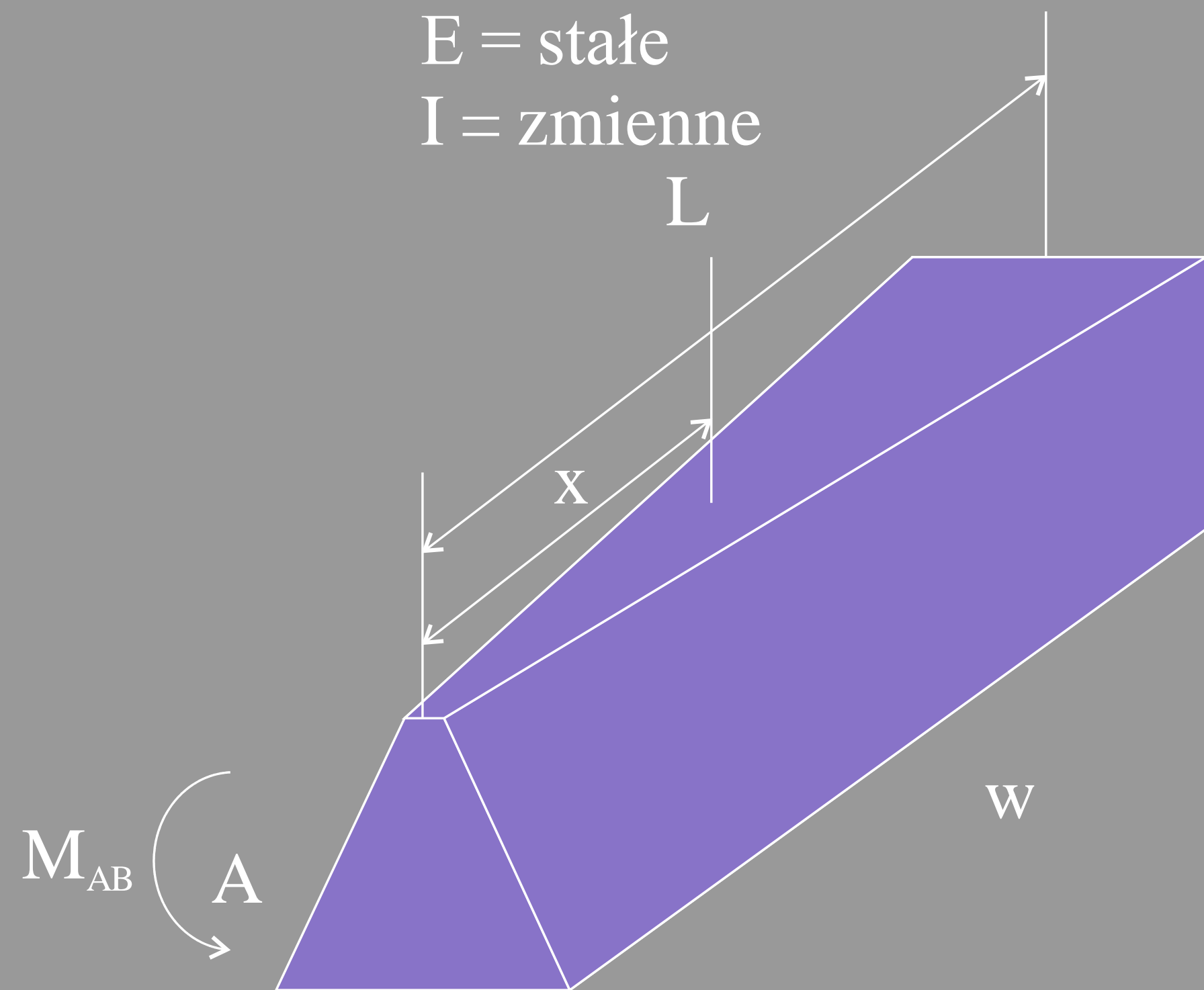
oraz: $K_f = K_f B^{-1}_f$

gdzie:

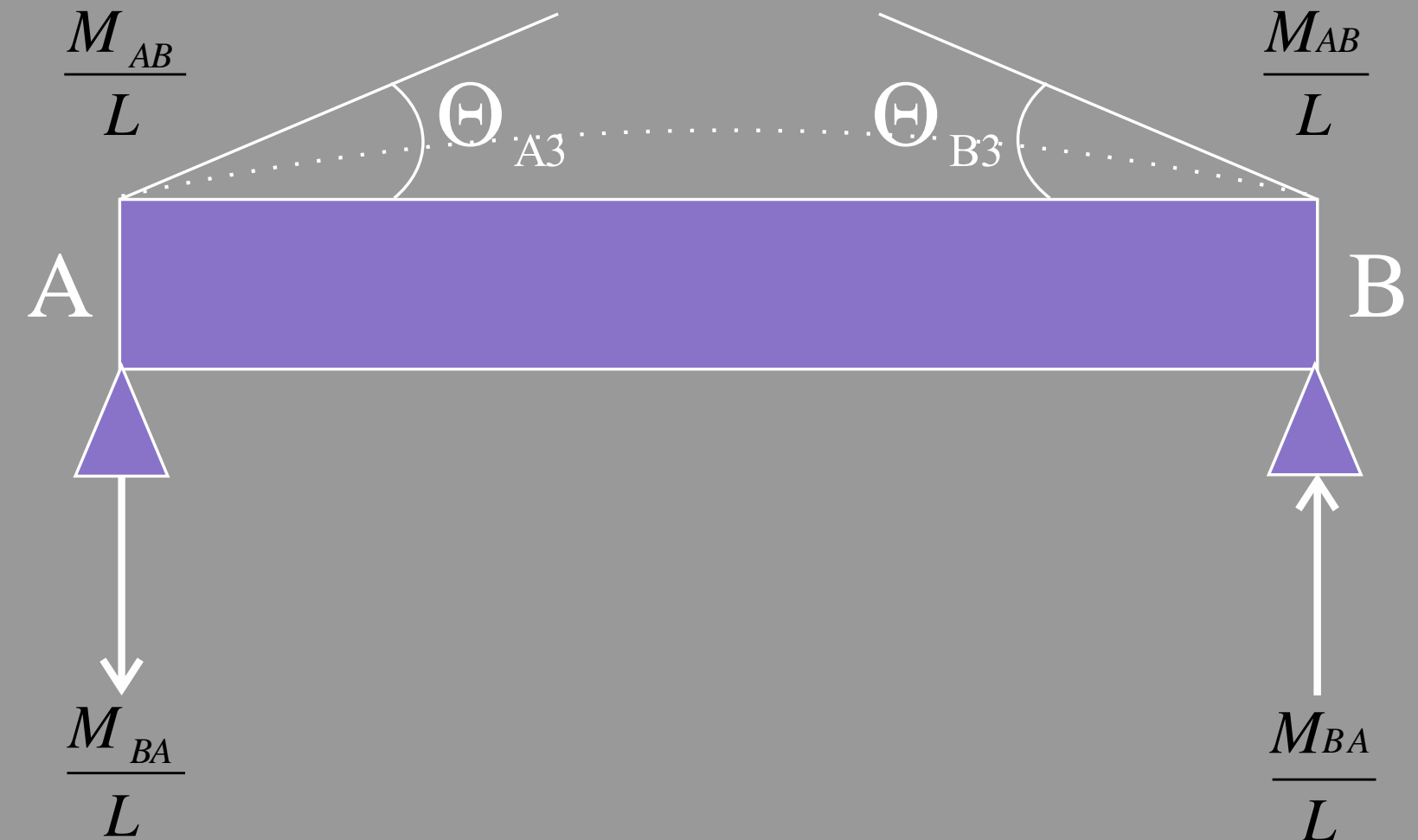
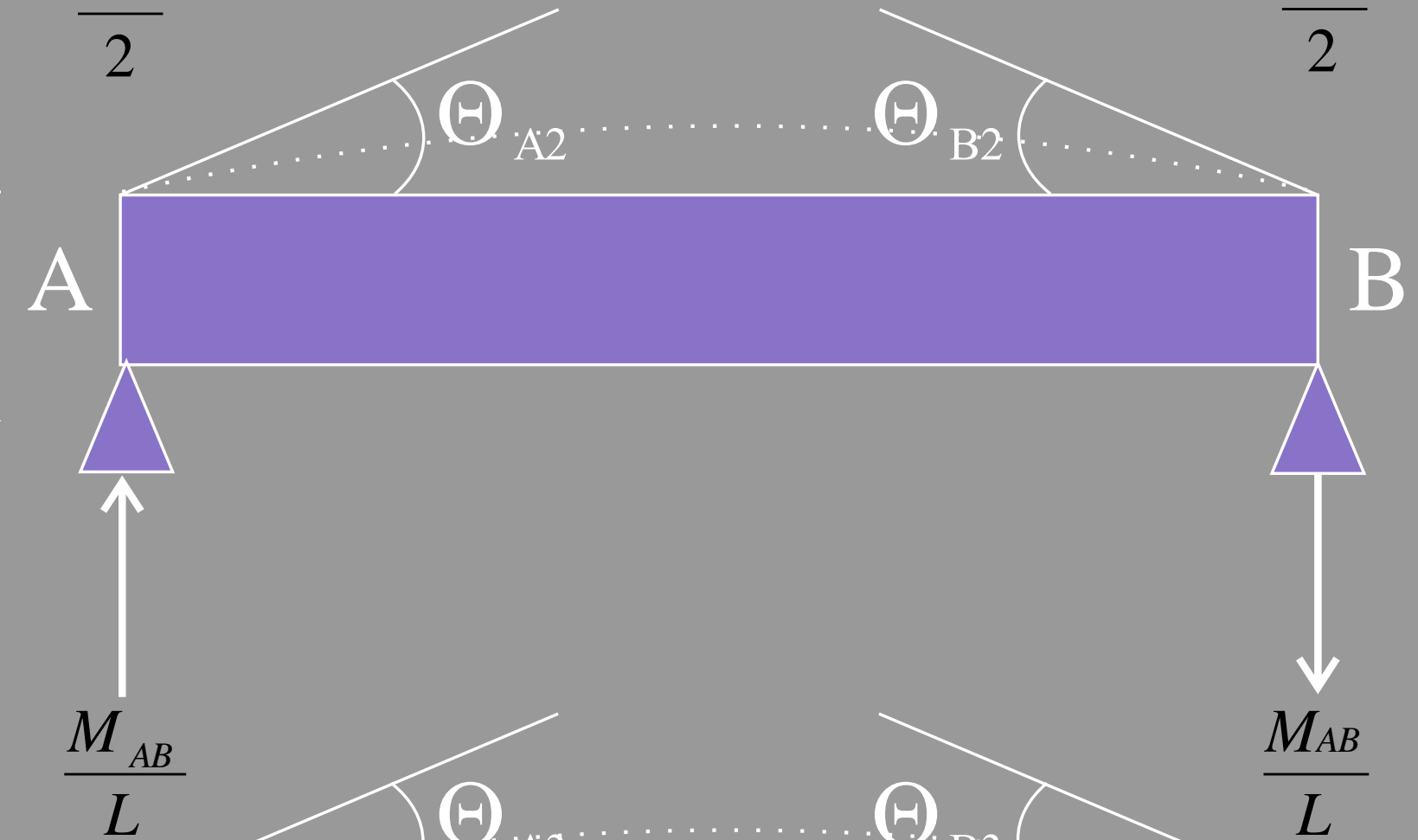
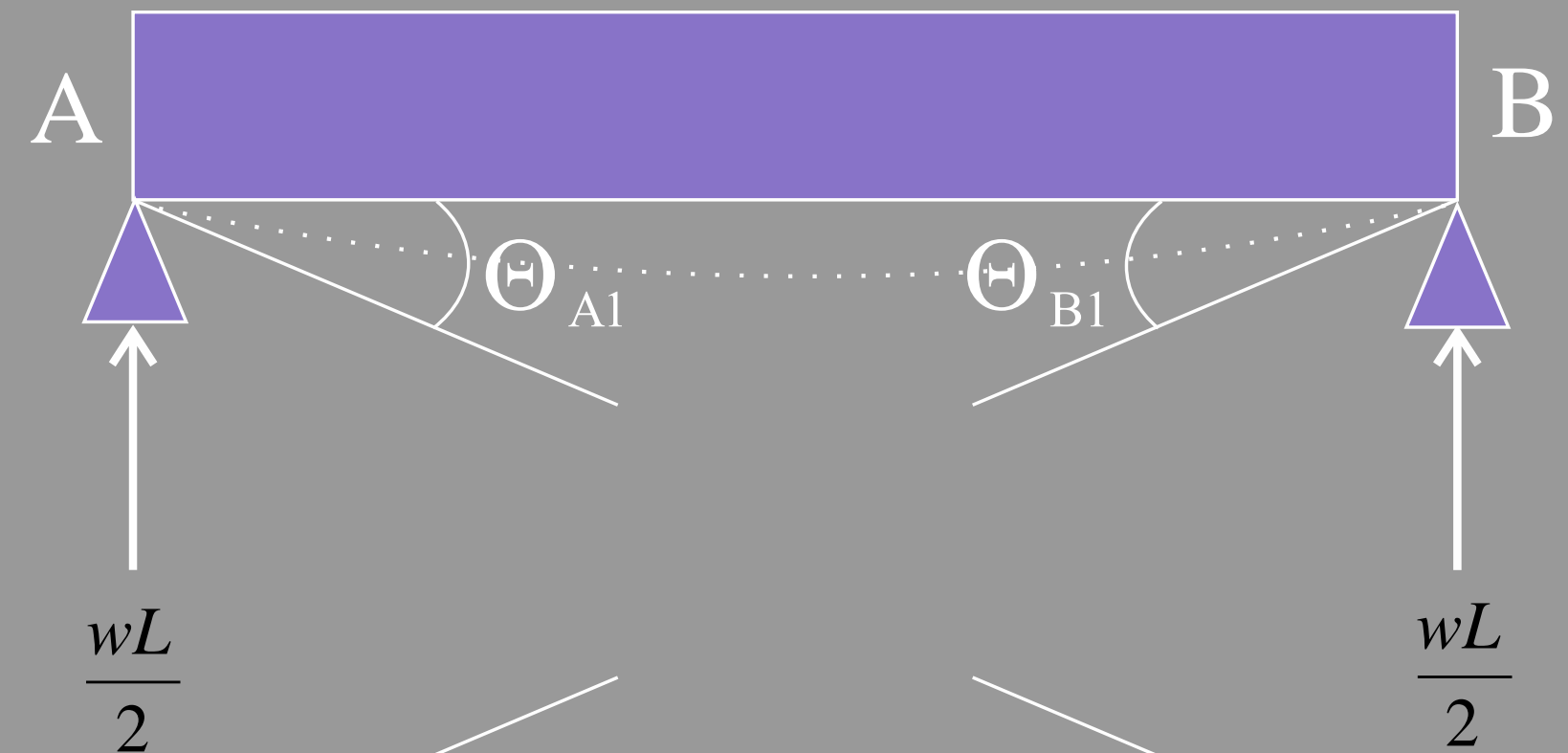
$$\left. \begin{aligned} K_{2,2} &= K_{8,8} = -K_{2,8} = W_3 \phi_1 \\ K_{2,6} &= -K_{6,8} = W_2 \phi_2 \\ K_{2,12} &= -K_{8,12} = W_2 \phi_3 \\ K_{6,6} &= W_1 \phi_4 \\ K_{6,12} &= W_1 \phi_5 \\ K_{12,12} &= W_1 \phi_6 \end{aligned} \right\}$$



||| Zjawiska dynamiczne na belce (na przykładzie iglicy)



M_{AB}



Zjawiska dynamiczne na belce (opis matematyczny)

Ugięcie belki o zmiennej masie i przekroje na całej długości opisano zależnością:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{6\omega a^3}{Eb} \int \frac{(x^2 - Lx)}{(ah + ay_1 - xy_1)^3} dx$$

Ugięcie belki w punkcie A zdefiniowano równaniem:

$$\begin{aligned} & \frac{dy}{dx} \\ &= \frac{12M_{BA}a^3}{EbL} \left(-\frac{2xy_1 + y_1(a - L) + ah}{2y_1^2[xy_1 + y_1(a - L) + ah]^2} \right. \\ &+ \frac{ahy_1^2L^2 - 2a^2hy_1^2L + a^3hy_1^2 + a^2hy_1^2L^2 + a^2h^3L}{2a^3h^3y_1^2L(y_1 + h)} \\ &+ \frac{2}{y_1^2L} \ln \left(\frac{y_1 + h}{h} \right) - \frac{2a^3h^2 - a^3hy_1}{2a^3h^3y_1^2L} \\ &\left. + \frac{(L - a)^3 - a^3}{3a^3h^3L} \right) \end{aligned}$$

Zjawiska dynamiczne na belce (opis matematyczny)

Ugięcie belki w punkcie B zdefiniowano równaniem:

$$\begin{aligned} & \frac{dy}{dx} \\ &= \frac{12M_{BA}a^3}{EbL} \left(-\frac{2xy_1 + y_1(a-L) + ah}{2y_1^2[xy_1 + y_1(a-L) + ah]^2} \right. \\ &+ \frac{ahy_1^2L^2 - 2a^2hy_1^2L + a^3hy_1^2 + a^2hy_1^2L^2 + a^2h^3L}{2a^3h^3y_1^2L(y_1 + h)} \\ &+ \frac{2}{y_1^2L} \ln \left(\frac{y_1 + h}{h} \right) - \frac{2a^3h^2 - a^3hy_1}{2a^3h^3y_1^2L} \\ &\left. + \frac{(L-a)^3 - a^3}{3a^3h^3L} \right) \end{aligned}$$

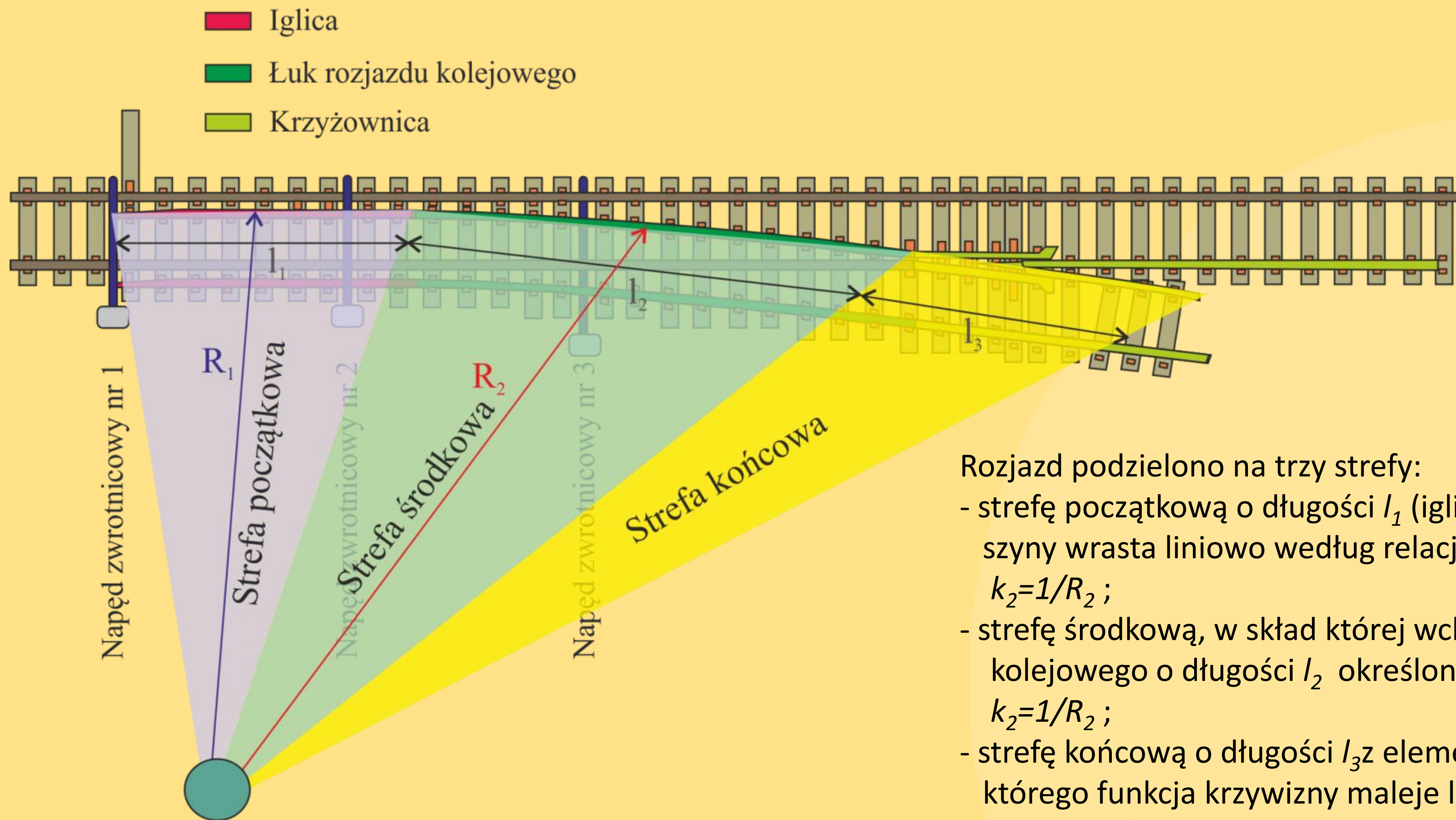
Zjawiska dynamiczne na belce (opis matematyczny)

Moment bezwładności w obu kierunkach M_{AB} i M_{BA} :

$$\begin{aligned} M_{AB} &= w(y_1 \\ &+ h) \left[12a^3 h^3 (y_1 + h) \ln \left(\frac{y_1 + h}{h} \right) - y_1 [y_1^3 (4a^3 - 6a \right. \\ &- L) + h y_1 (3a - 2L) - h^2 L] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{BA} &= w(y_1 \\ &+ h) \left[12a^3 h^3 (y_1 + h) \ln \left(\frac{y_1 + h}{h} \right) - y_1 [y_1^3 (4a^3 - 6a \right. \\ &- L) + h y_1 (3a - 2L) - h^2 L] \end{aligned}$$

Modelowanie elementów rozjazdu



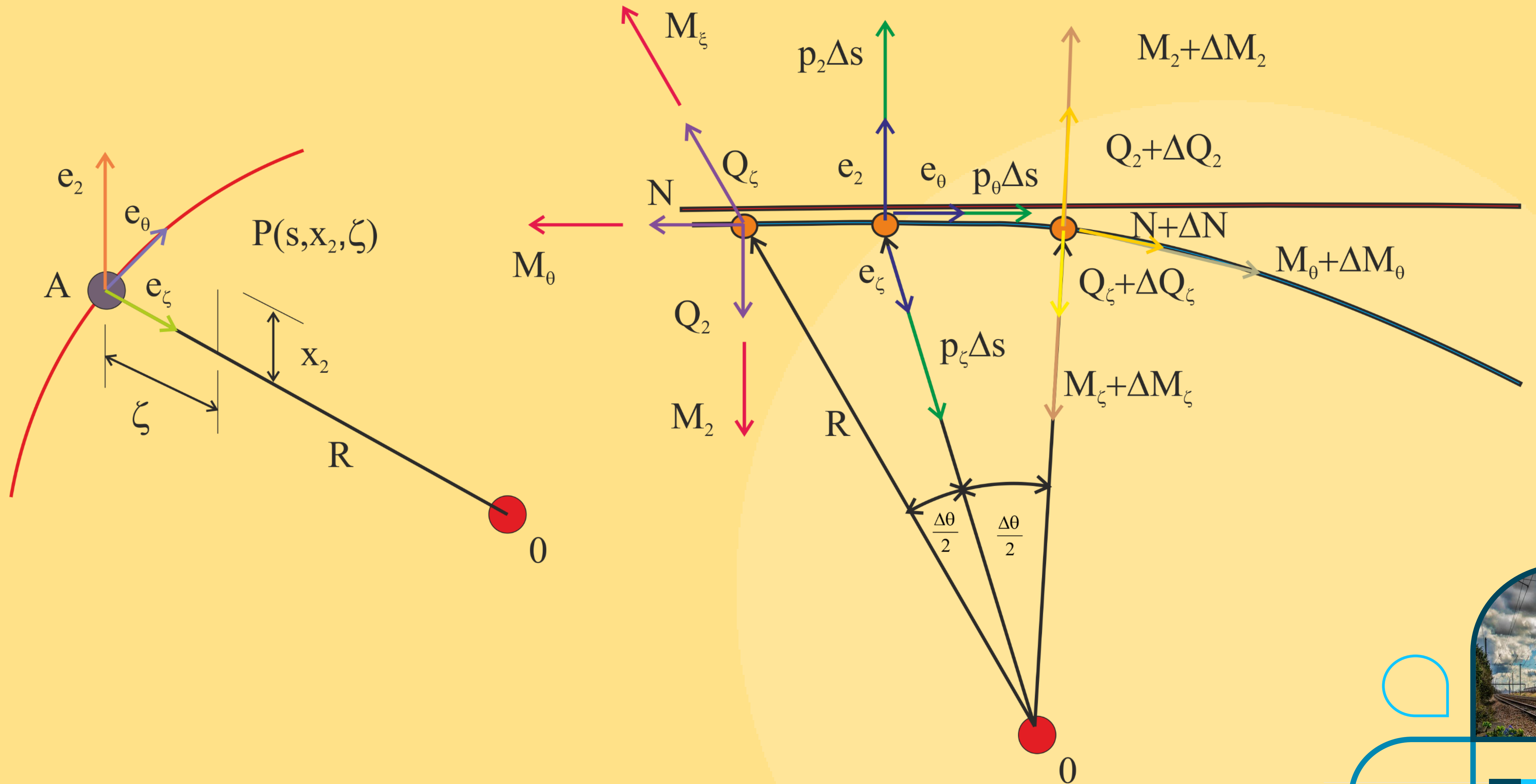
Rozjazd podzielono na trzy strefy:

- strefę początkową o długości l_1 (iglica), w której krzywizna szyny wrasta liniowo według relacji $k_1=1/R_1$ (lub $k_1=0$), to $k_2=1/R_2$;
- strefę środkową, w skład której wchodzi łuk rozjazdu kolejowego o długości l_2 określony funkcją krzywizny $k_2=1/R_2$;
- strefę końcową o długości l_3 z elementem krzyżownicy, dla którego funkcja krzywizny maleje liniowo i wynosi $k_2=1/R_2$ oraz $k_3=1/R_3$ (lub $k_3=0$).

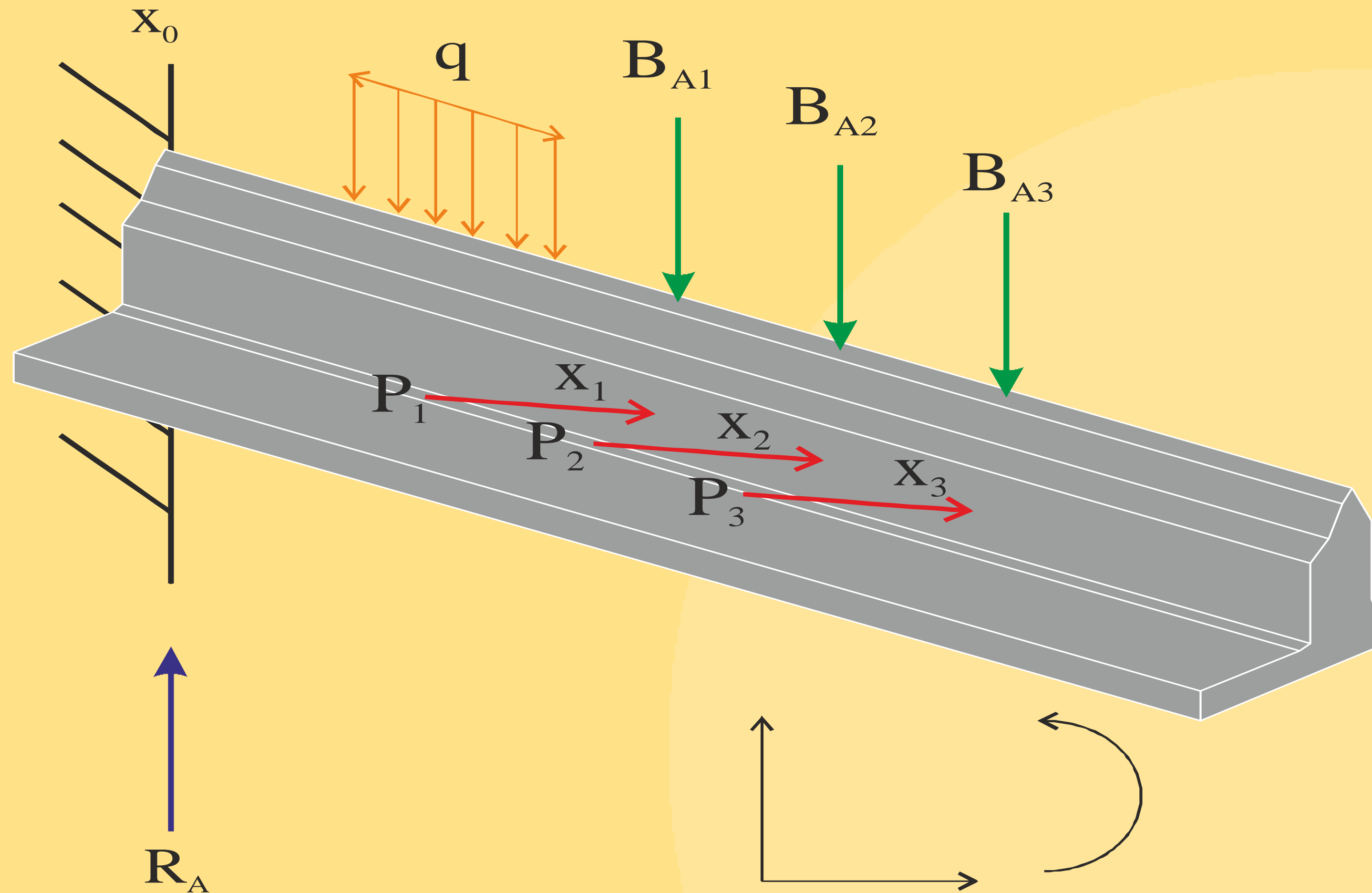
Rys. 14. Model rozjazdu kolejowego o promieniu 1200 m



Model nominalny iglicy – wyznaczanie sił



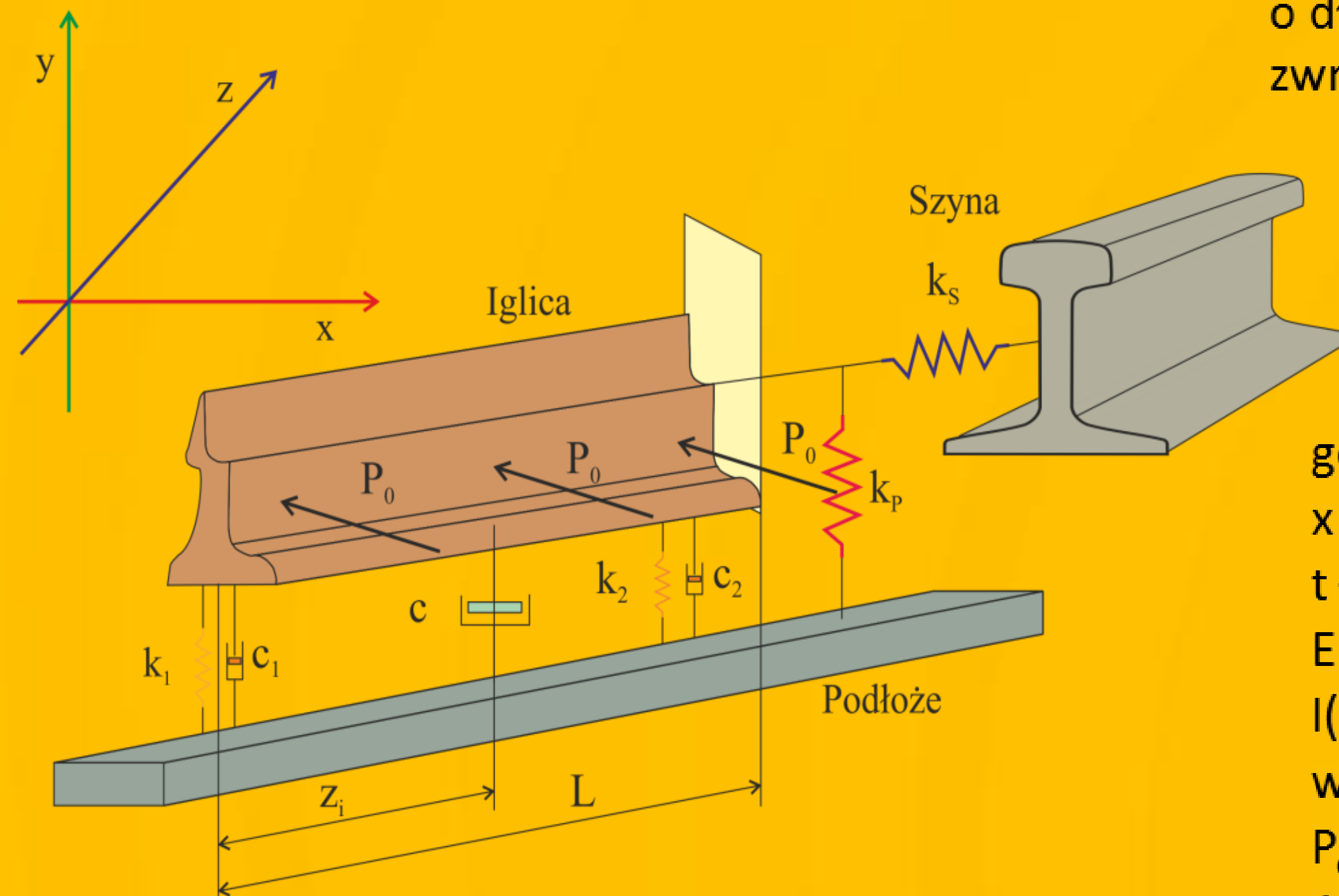
Siła docisku i trzymania napędu zwrotnicowego



21



Iglica rozjazdu jako drgający układ ciągły



Równanie matematyczne opisujące drgania własne iglicy o długości L , wywołane wskutek docisku siły pochodzącej od napędu zwrotnicowego P_0 można opisać jako:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI(x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) - P_0 + k_2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \rho A(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + k_1 y(x) = 0$$

gdzie:

x - należy do przedziału $(0 \leq x \leq L)$ wzdłuż belki,

t - czas,

E - moduł sprężystości belki,

$I(x)$ - moment bezwładności belki wyznaczony na powierzchni przekroju belki w punkcie x ,

P_0 - siła pochodząca od napędu zwrotnicowego,

$A(x)$ - pole powierzchni wyznaczone w przekroju poprzecznym belki w punkcie x ,

ρ - gęstość belki,

$y(x,t)$ - boczne przemieszczenie belki wywołane w skutek działania siły P_0 ,

która jest zewnętrznym obciążeniem bocznym wywołanym działaniem mechanizmu napędu zwrotnicowego działająca na iglicę (belkę),

k_1, k_2 - sprężystość podłoża, na którym umieszczono belkę.

Rys. 17. Model nominalny belki o zmiennym przekroju wykorzystany w rozważaniach matematycznych

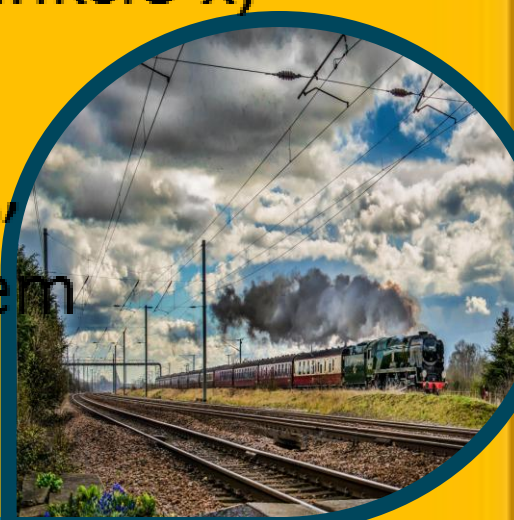
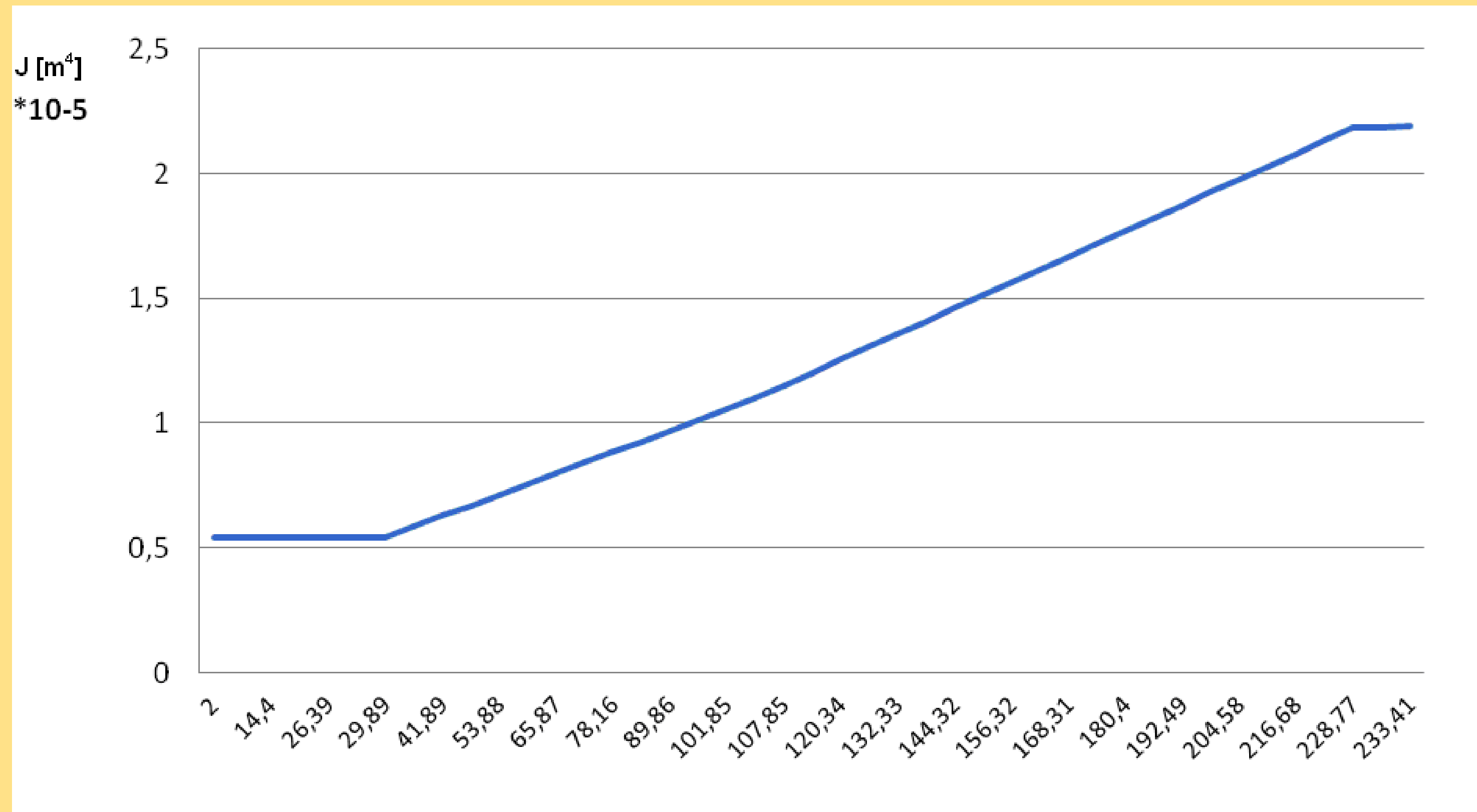


Tabela. Wartości momentu bezwładności iglicy

Długość iglicy	Moment bezwładności J [m ⁴]*10 ⁻⁵
20	0,543
40	0,628
60	0,756
80	0,904
100	1,051
120	1,254
140	1,431
160	1,593
180	1,770
200	1,939
220	2,119
233	2,191

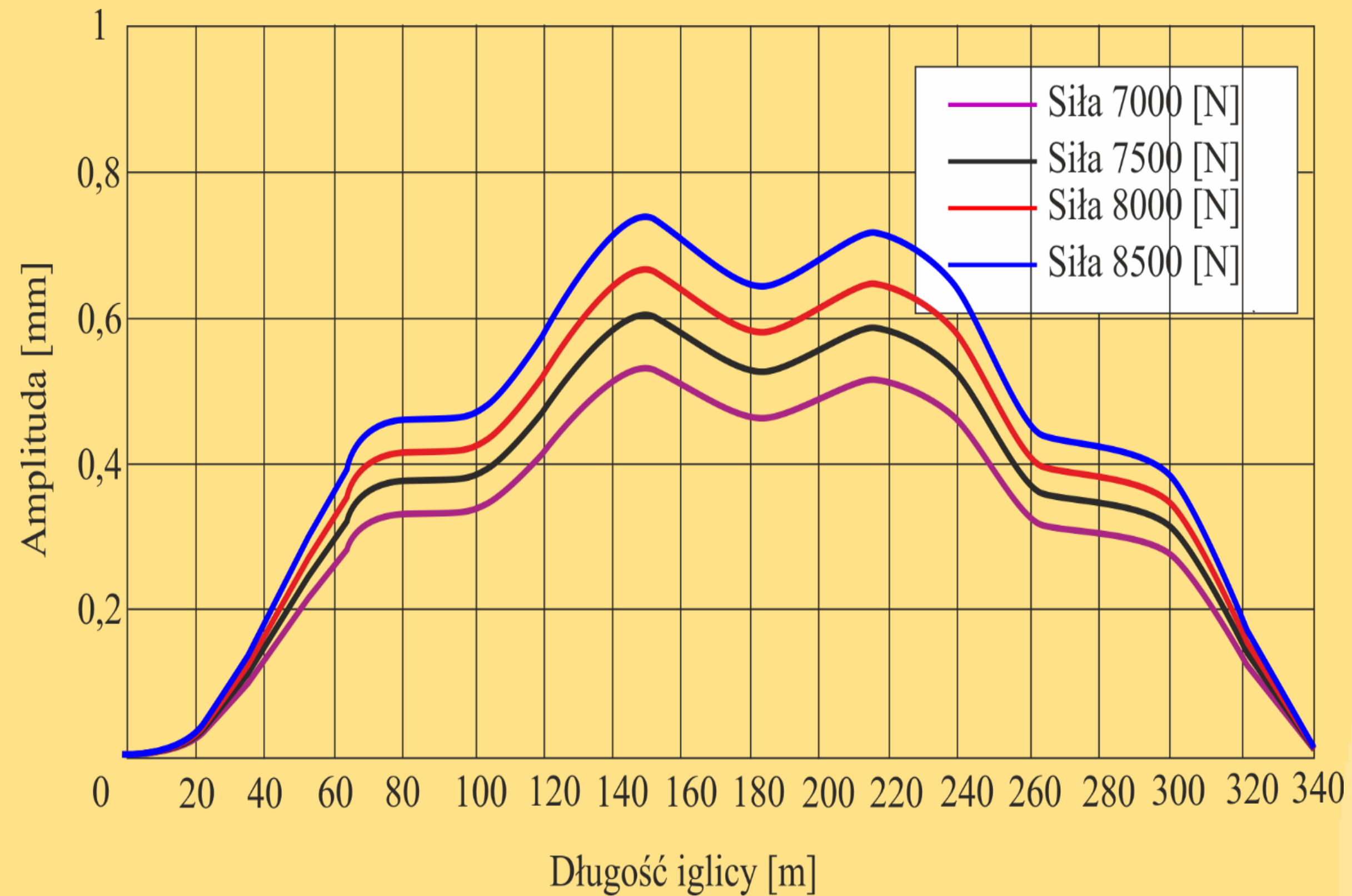
Symulacja modelu matematycznego dla wyznaczenia oscylacji iglicy i sił poprzecznych



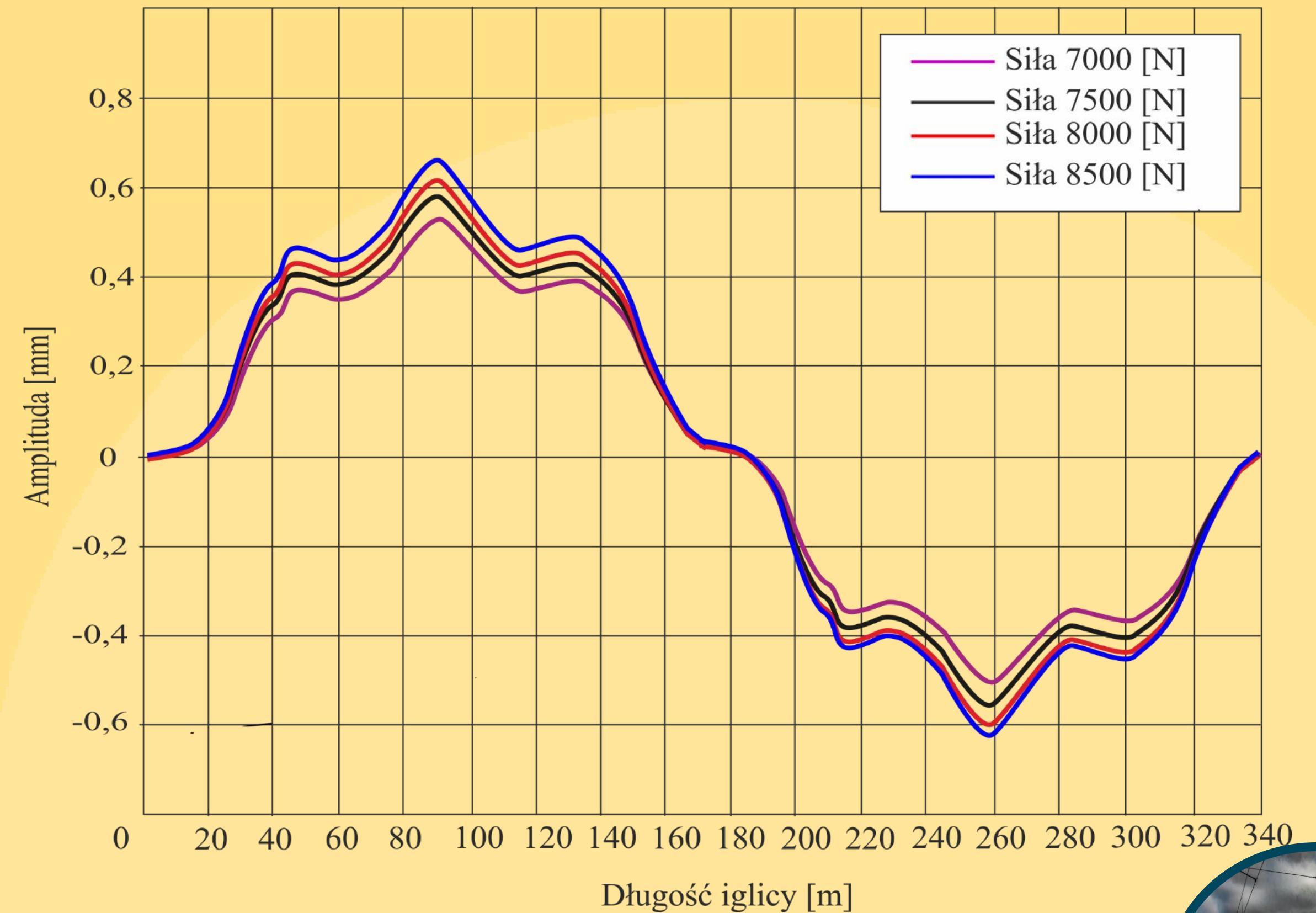
Rys. 18. Zmienność momentu bezwładności iglicy



Wyniki symulacji – wyznaczone postacie własne dla belki o zmiennym przekroju



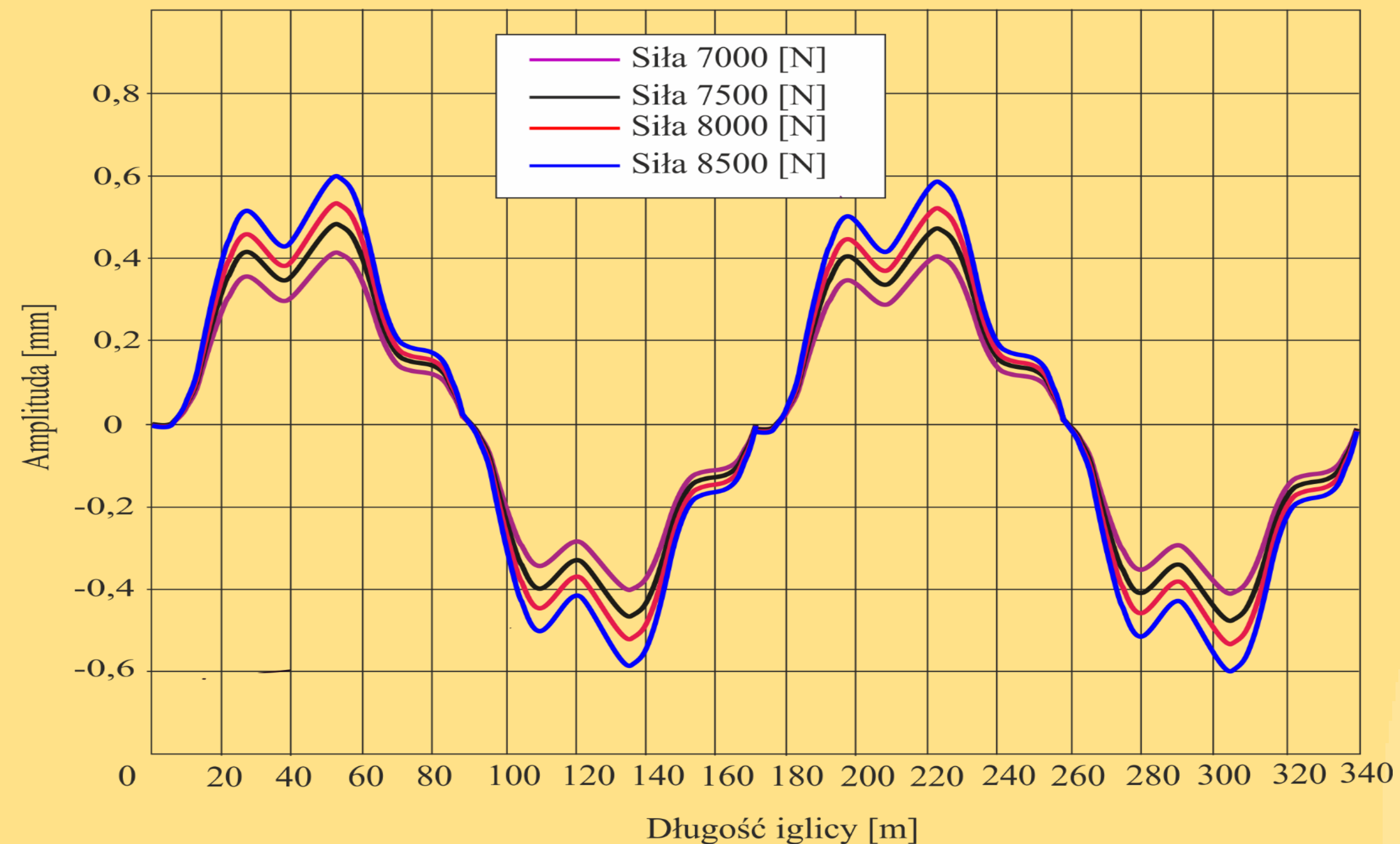
Rys. 19. Pierwsza postać własna dla belki o zmiennym przekroju (iglica rozjazdu)



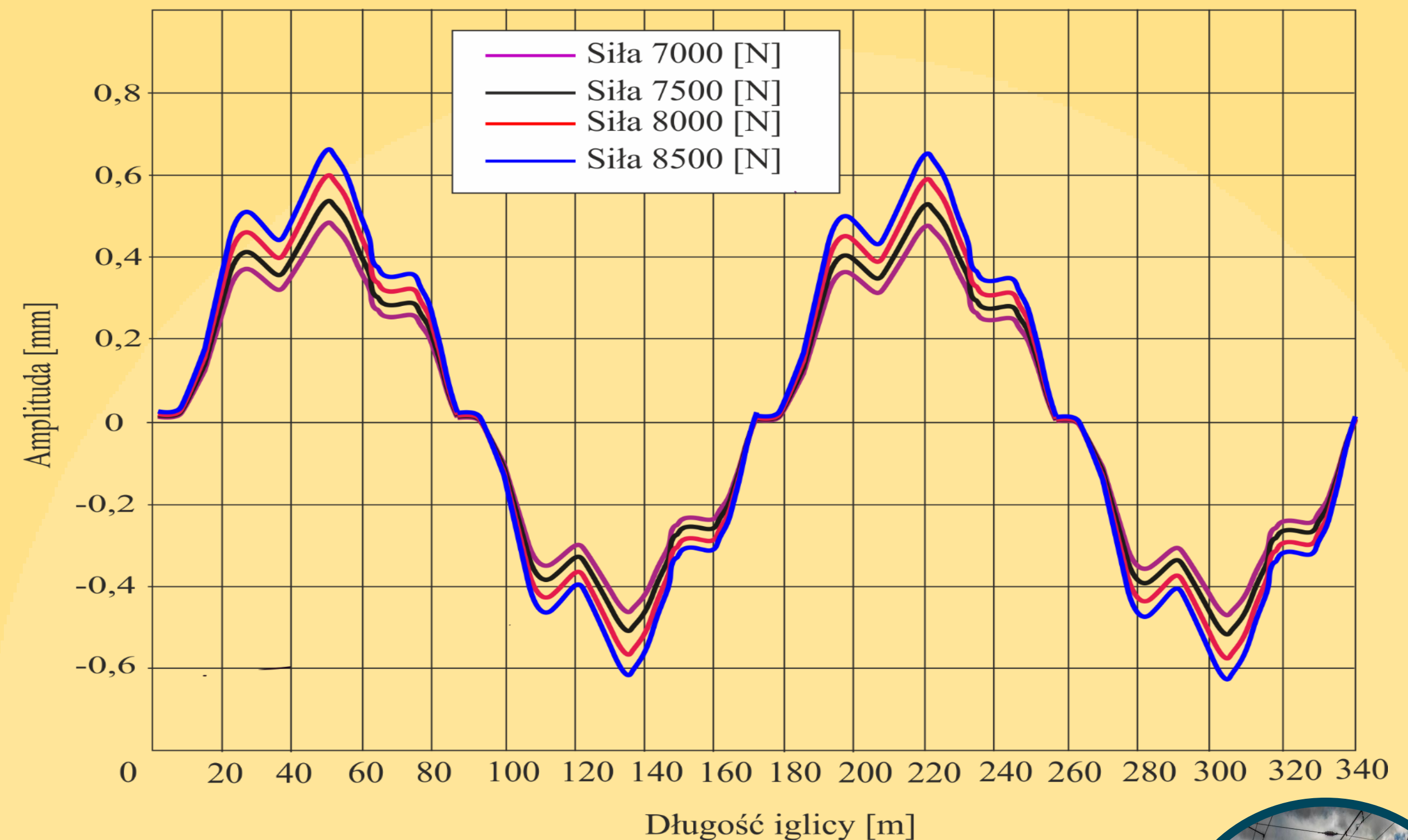
Rys. 20. Druga postać własna dla belki o zmiennym przekroju (iglica rozjazdu)



Wyniki symulacji – wyznaczone postacie własne dla belki o zmiennym przekroju



Rys. 21. Trzecia postać własna dla belki o zmiennym przekroju (iglica rozjazdu)



Rys. 22. Czwarta postać własna dla belki o zmiennym przekroju (iglica rozjazdu)



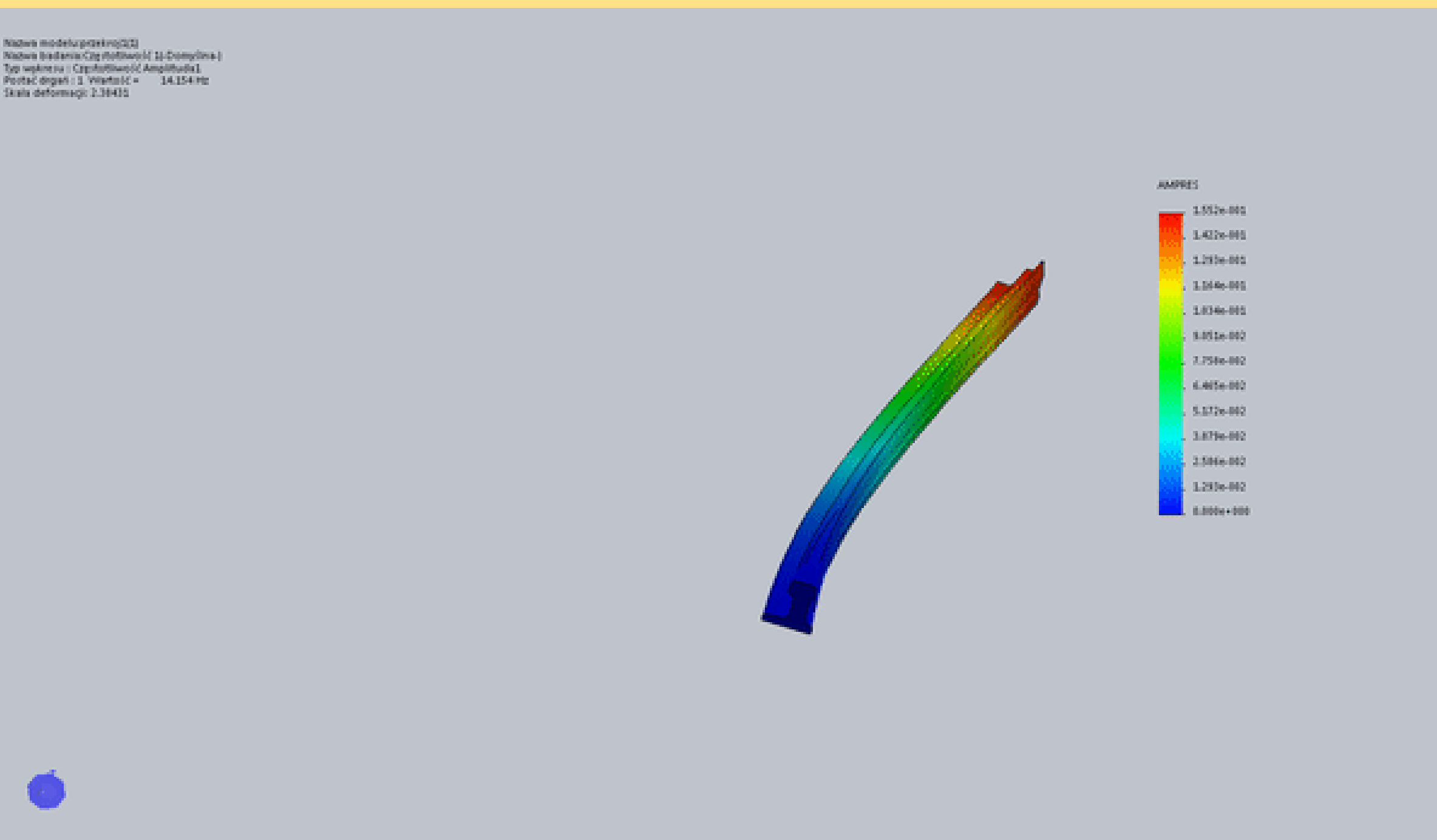
Symulacja modelu matematycznego dla wyznaczenia oscylacji iglicy i sił poprzecznych

Pierwsza częstotliwość [Hz]	Druga częstotliwość [Hz]	Trzecia częstotliwość [Hz]	Czwarta częstotliwość [Hz]	Piąta częstotliwość [Hz]
6.1664	18.385	39.834	71.245	112.89
6.1964	18.386	39.837	71.288	113.33
6.1964	18.385	39.834	71.242	112.83
6.1914	18.386	39.834	—	—
6.1964	18.385	39.834	71.235	112.81
4.6252	19.548	48.579	91.816	149.43
4.6252	19.548	48.579	91.813	149.39
4.6252	19.548	48.579	—	—
4.6252	19.548	48.577	91.806	149.37
3.8551	21.057	56.630	109.76	180.66
3.8551	21.057	56.630	109.76	180.61
3.8551	21.056	56.627	109.75	180.58

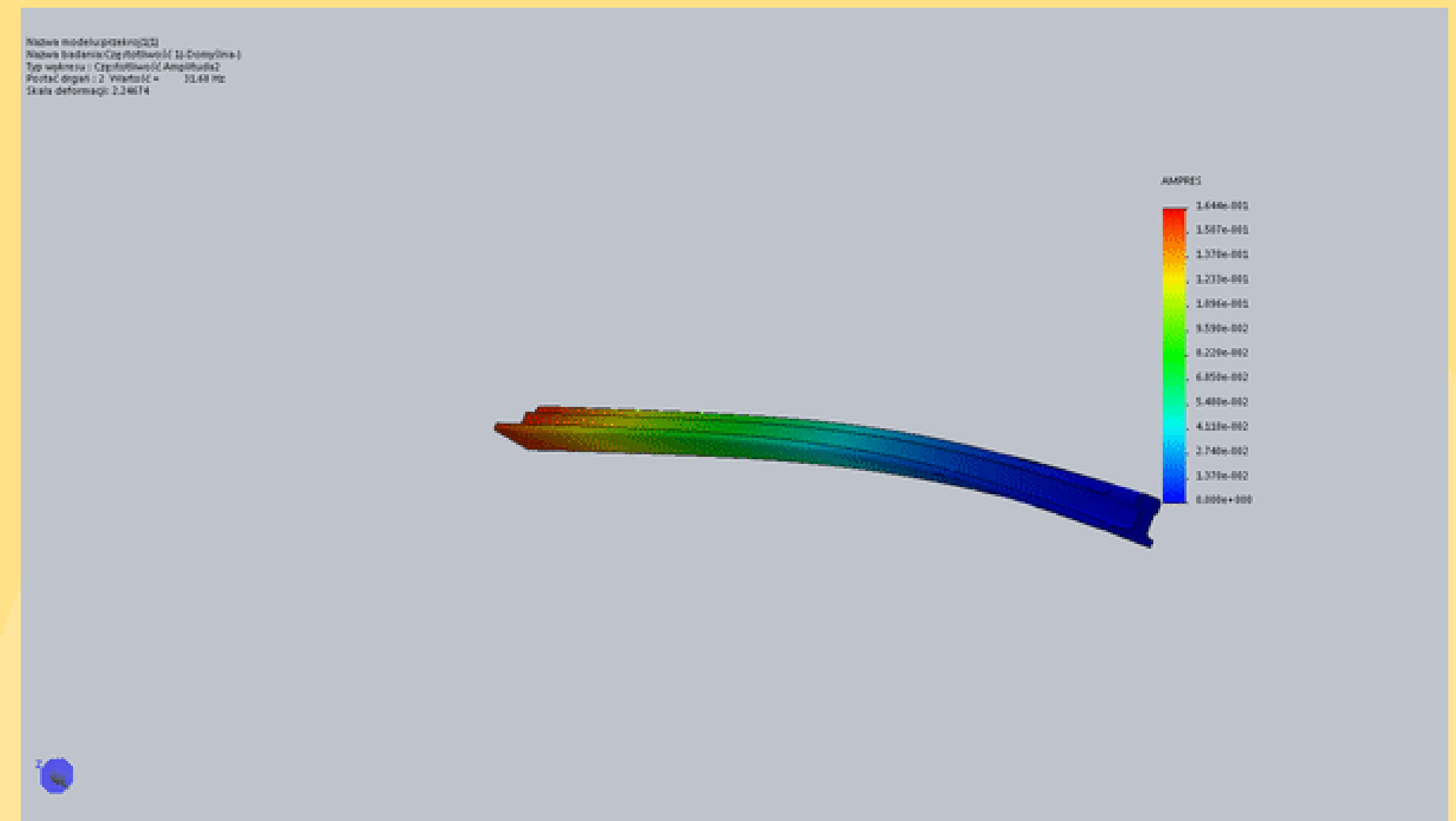
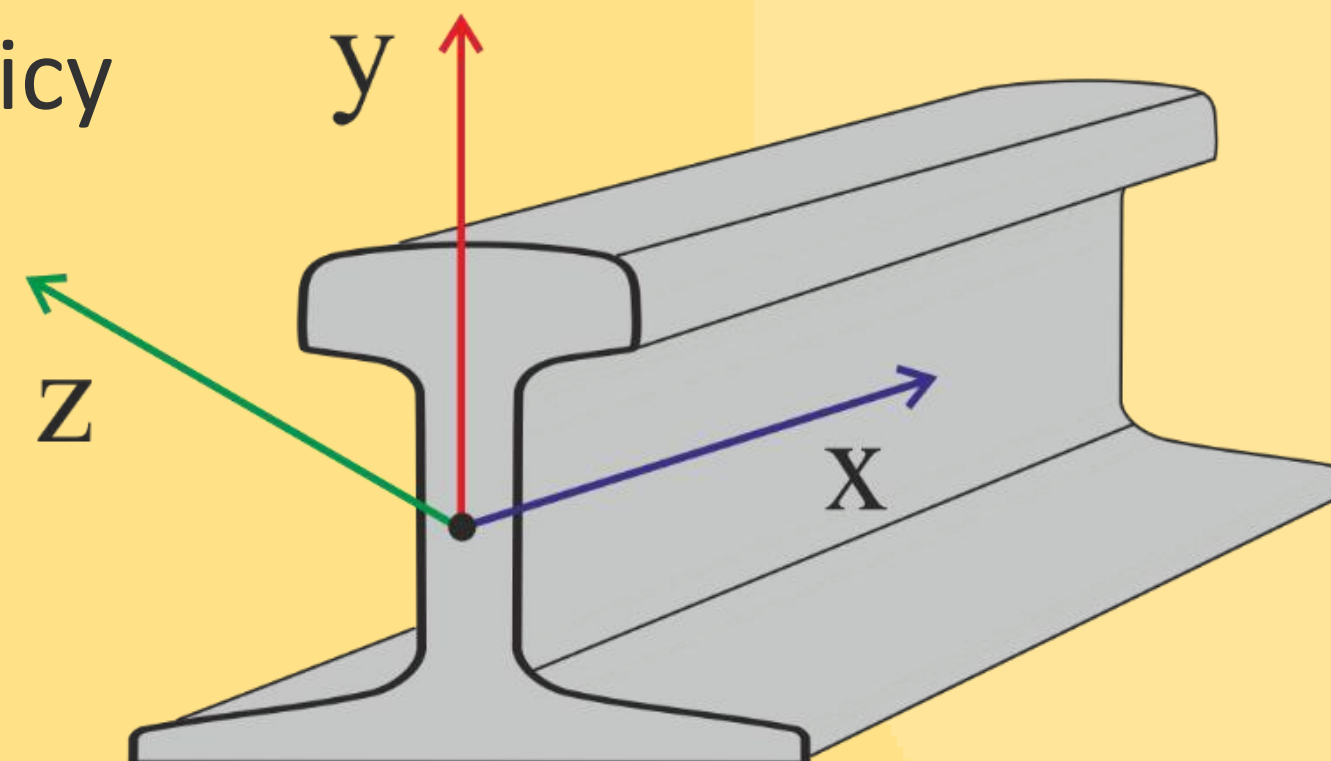
Tabela. Częstości własne iglicy



Wyniki symulacji – wyznaczone postaci własne dla belki zakrzywionej o zmiennej sztywności (zmiana pola przekroju, sztywności i momentów bezwładności)



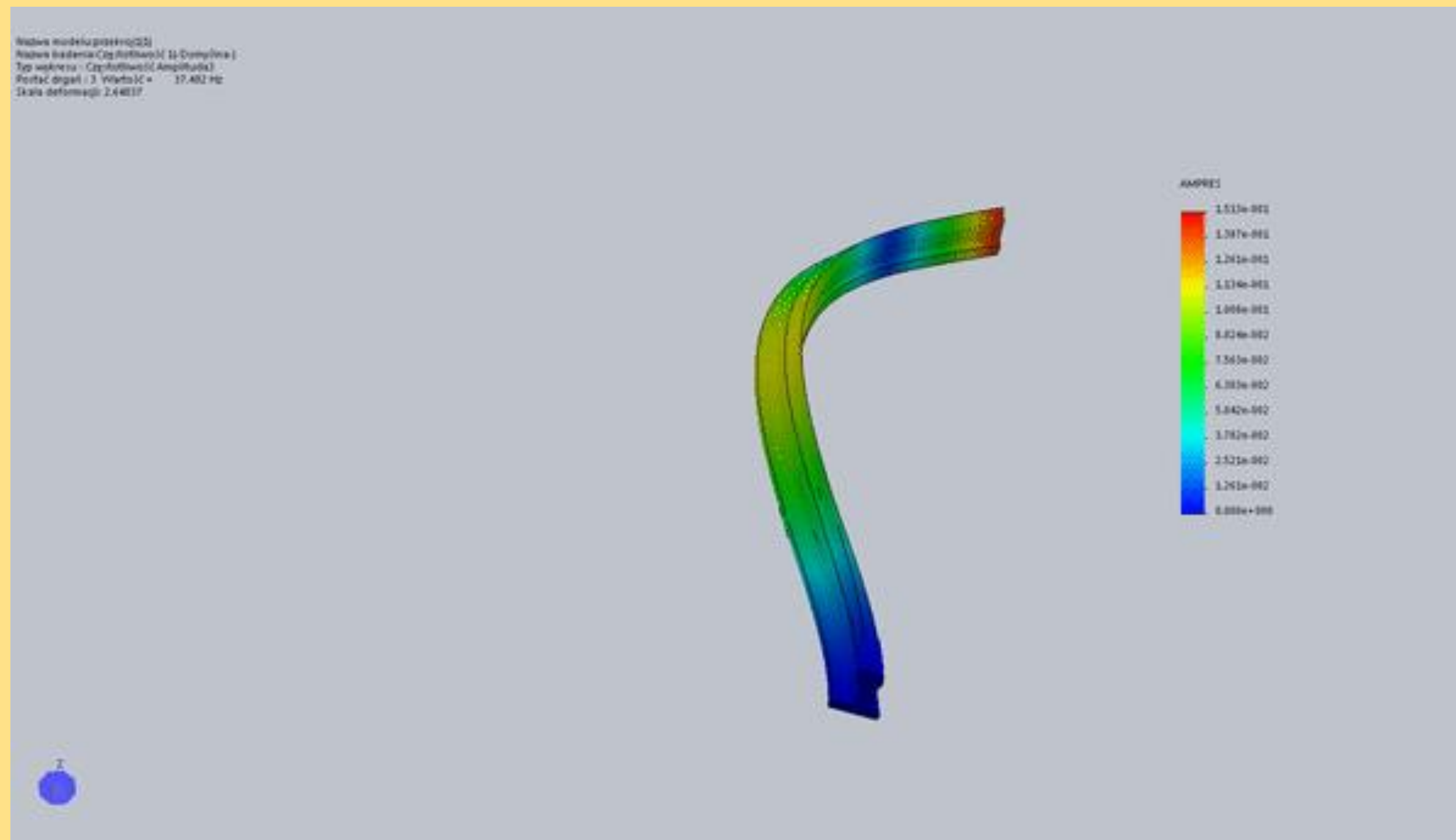
Pierwsza postać drgań dla iglicy



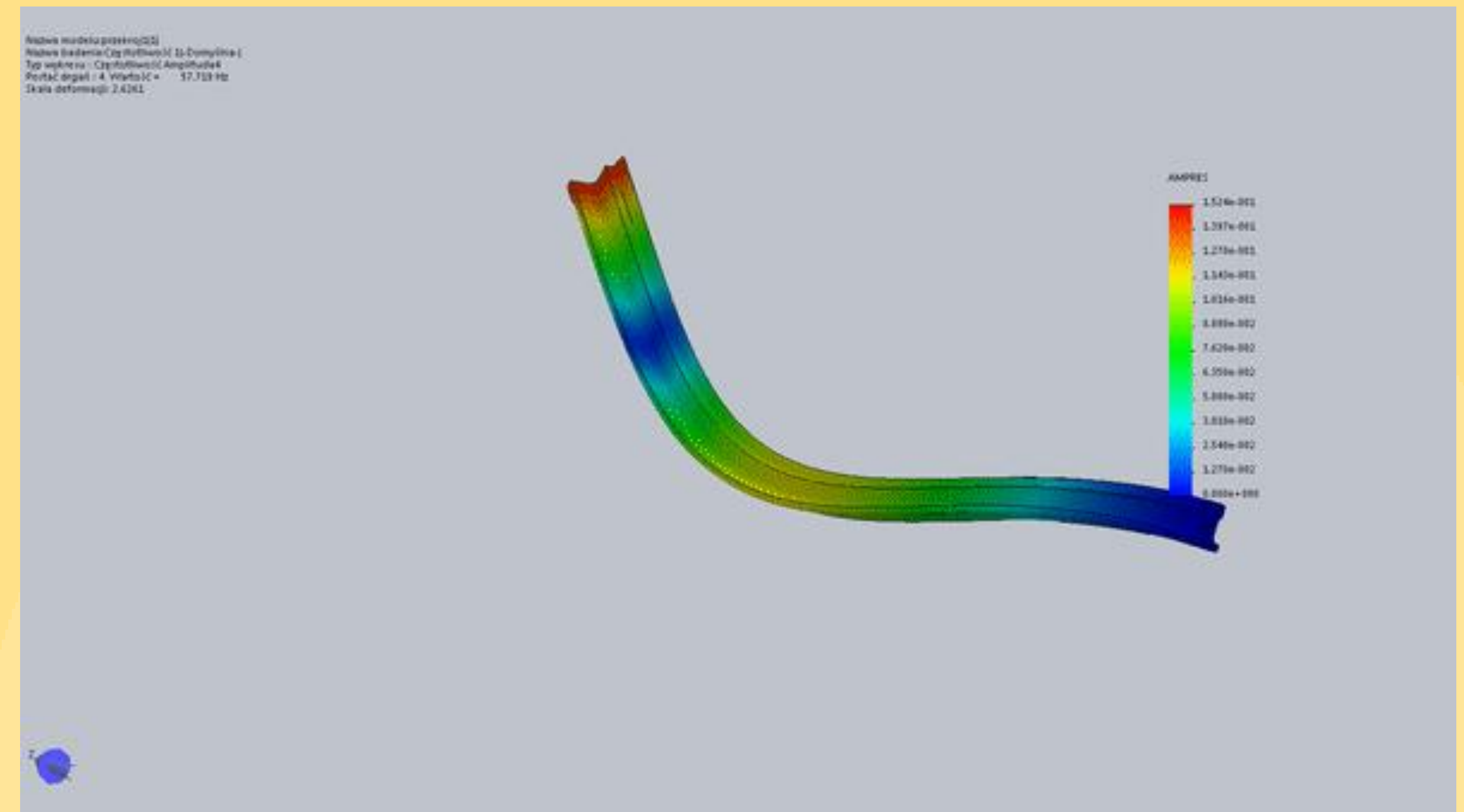
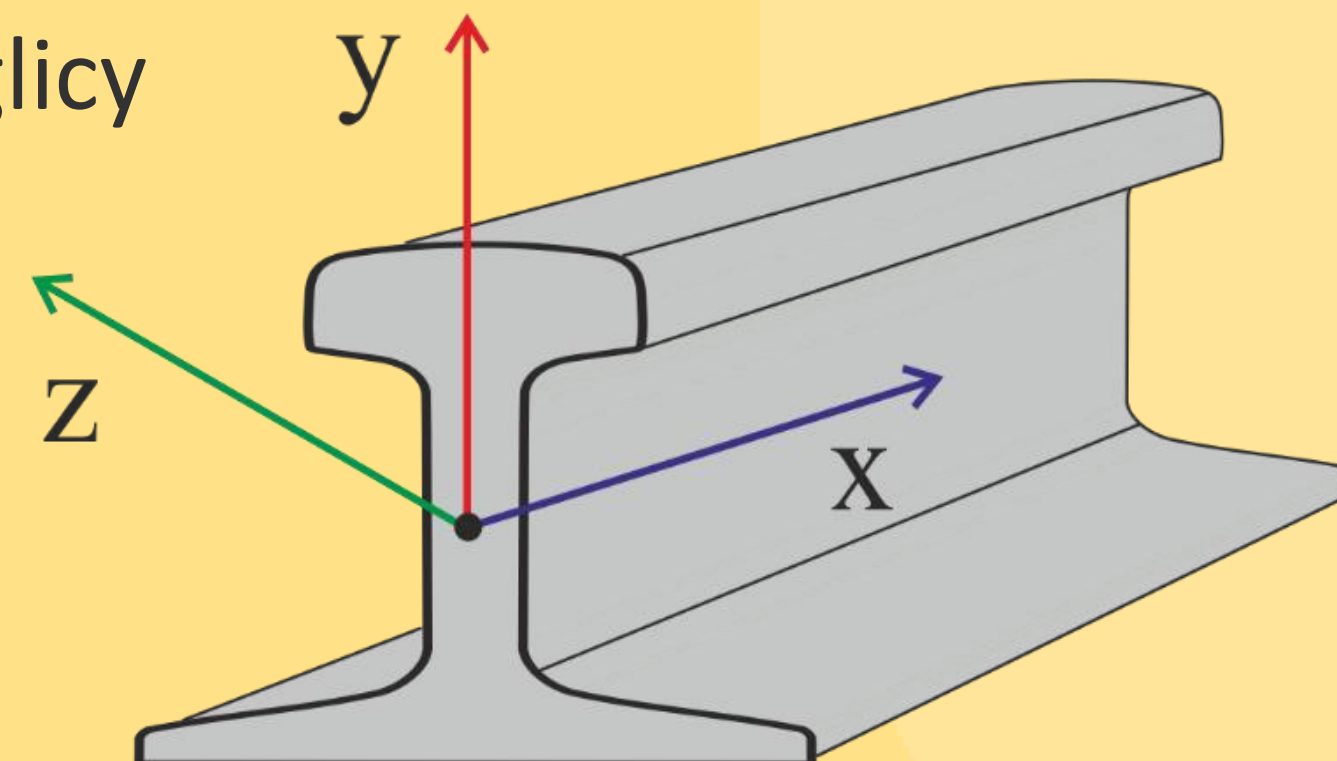
Druga postać drgań dla iglicy



Wyniki symulacji – wyznaczone postaci własne dla belki zakrzywionej o zmiennej sztywności (zmiana pola przekroju, sztywności i momentów bezwładności)



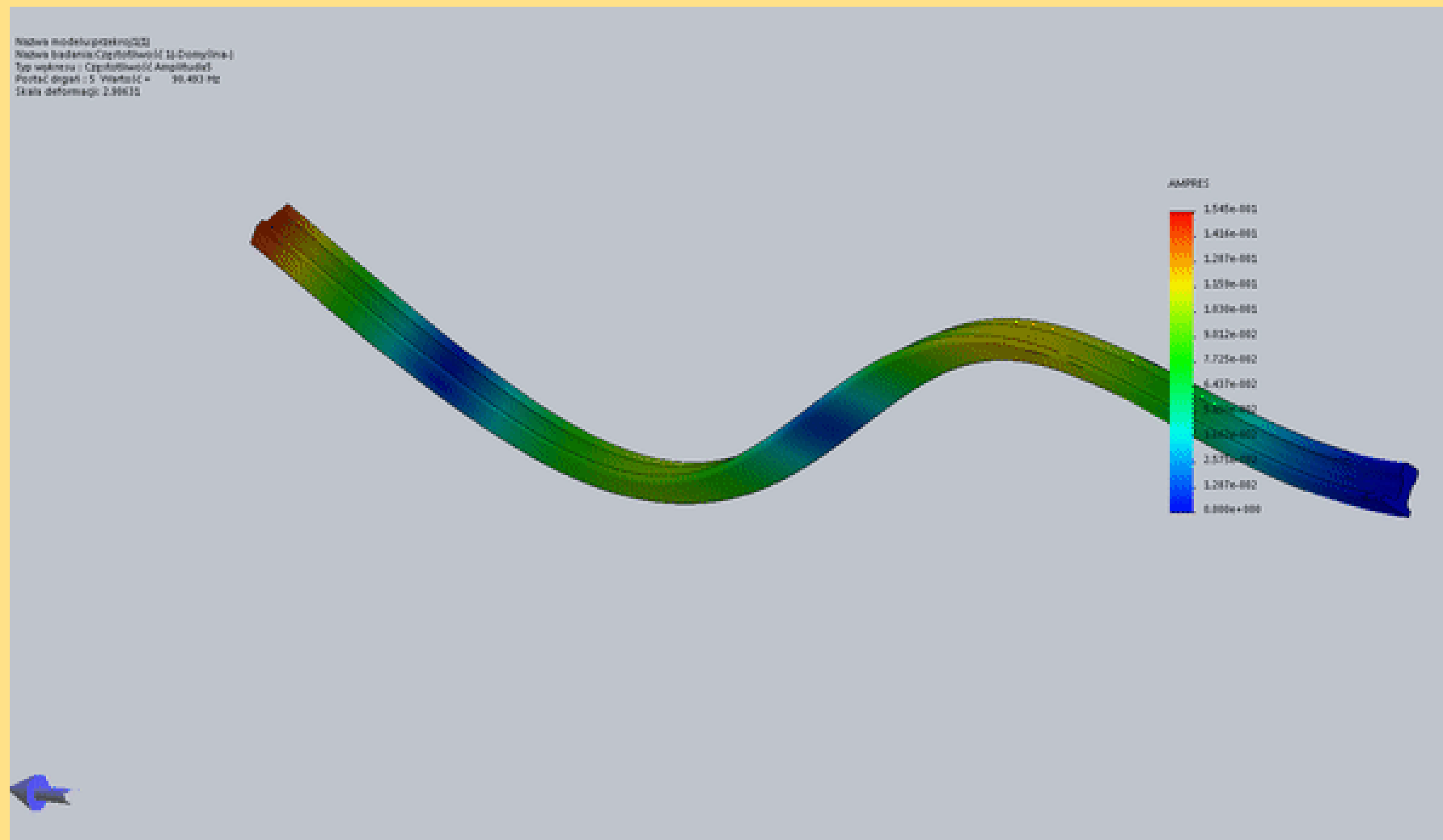
Trzecia postać drgań dla iglicy



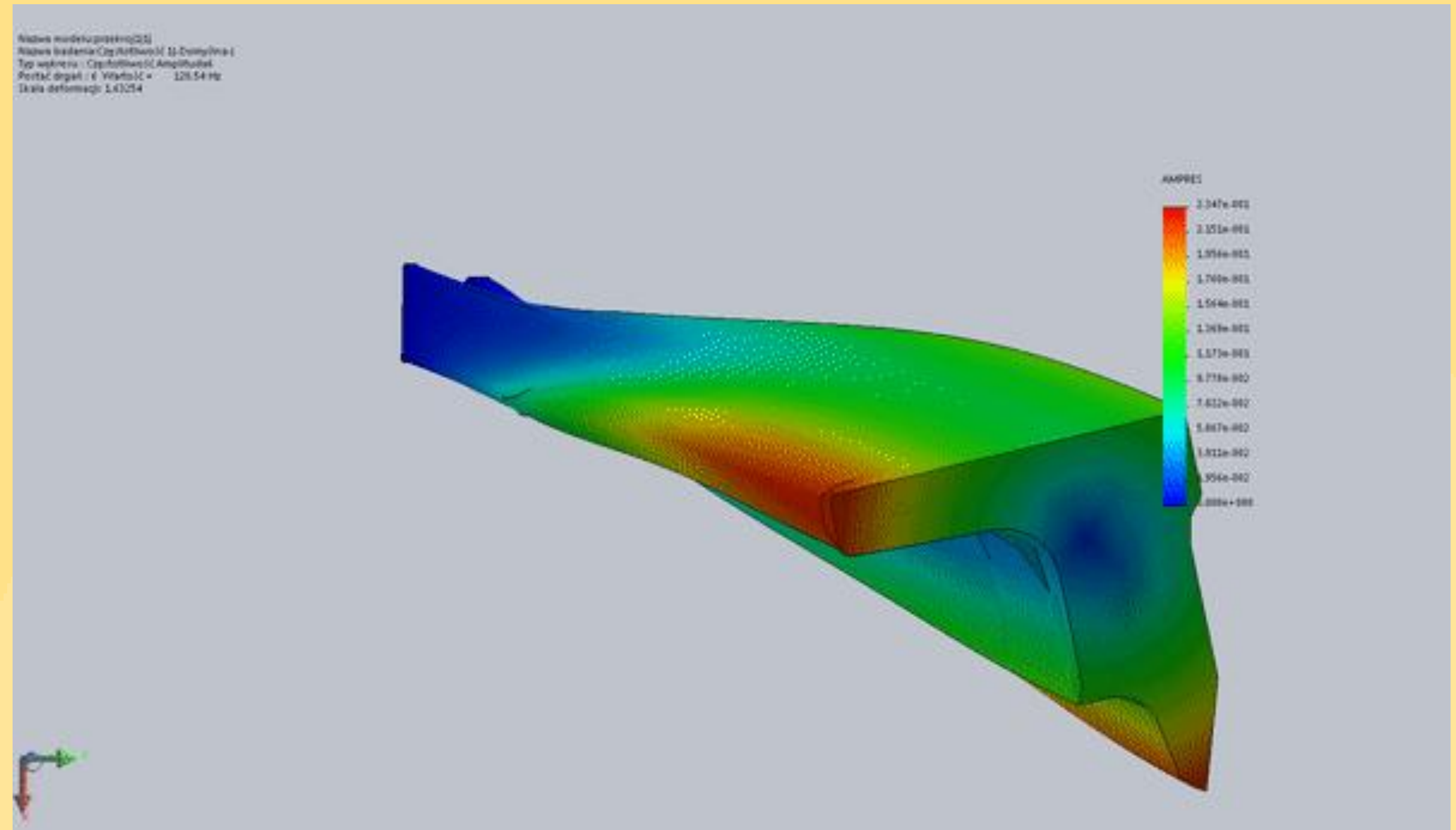
Czwarta postać drgań dla iglicy



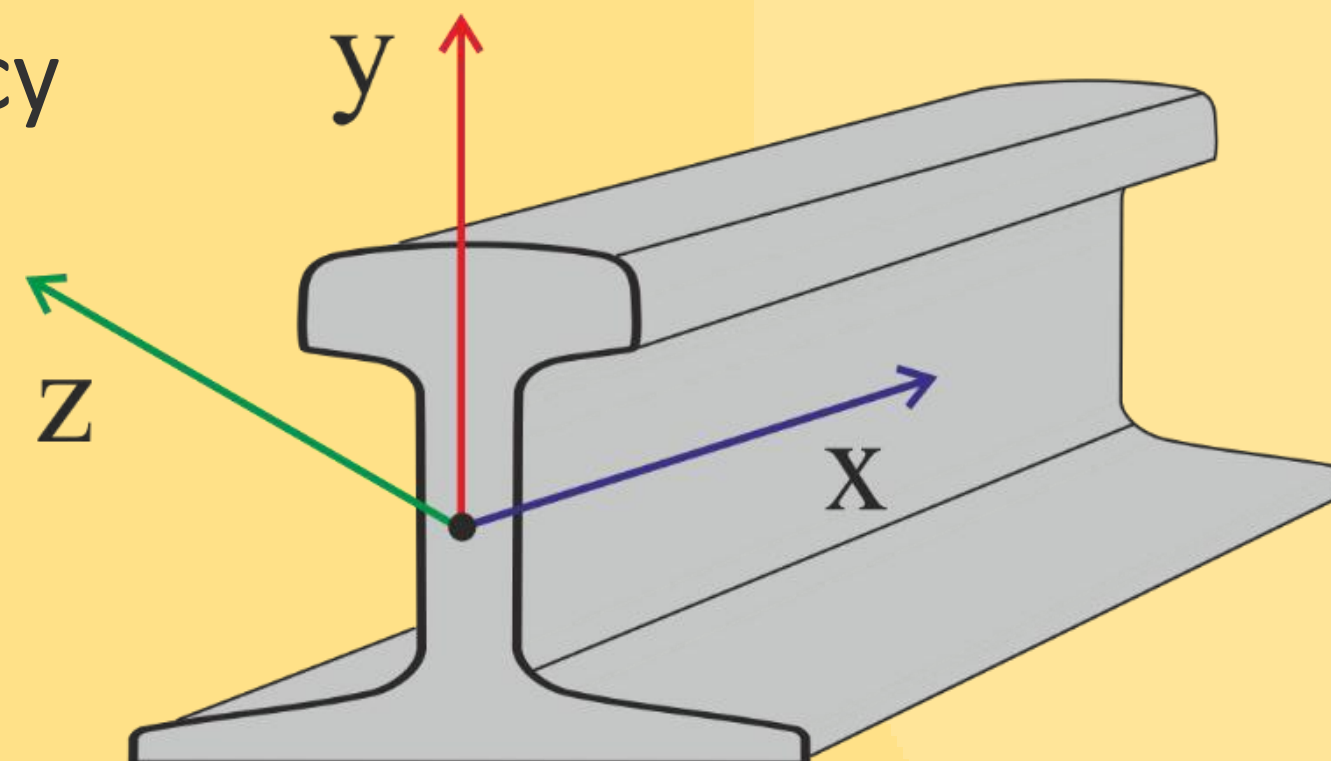
Wyniki symulacji – wyznaczone postaci własne dla belki zakrzywionej o zmiennej sztywności (zmiana pola przekroju, sztywności i momentów bezwładności)



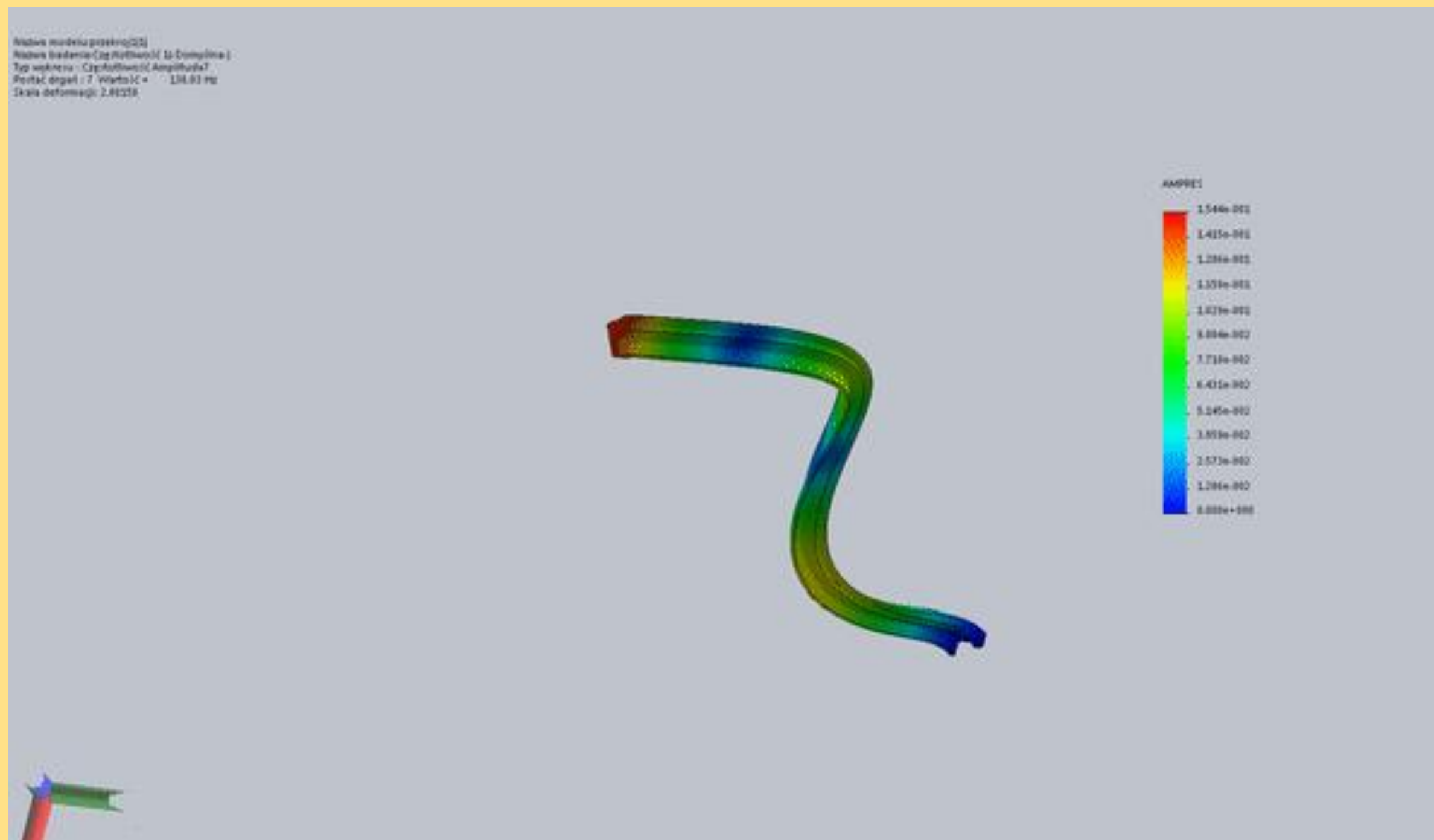
Piąta postać drgań dla iglicy



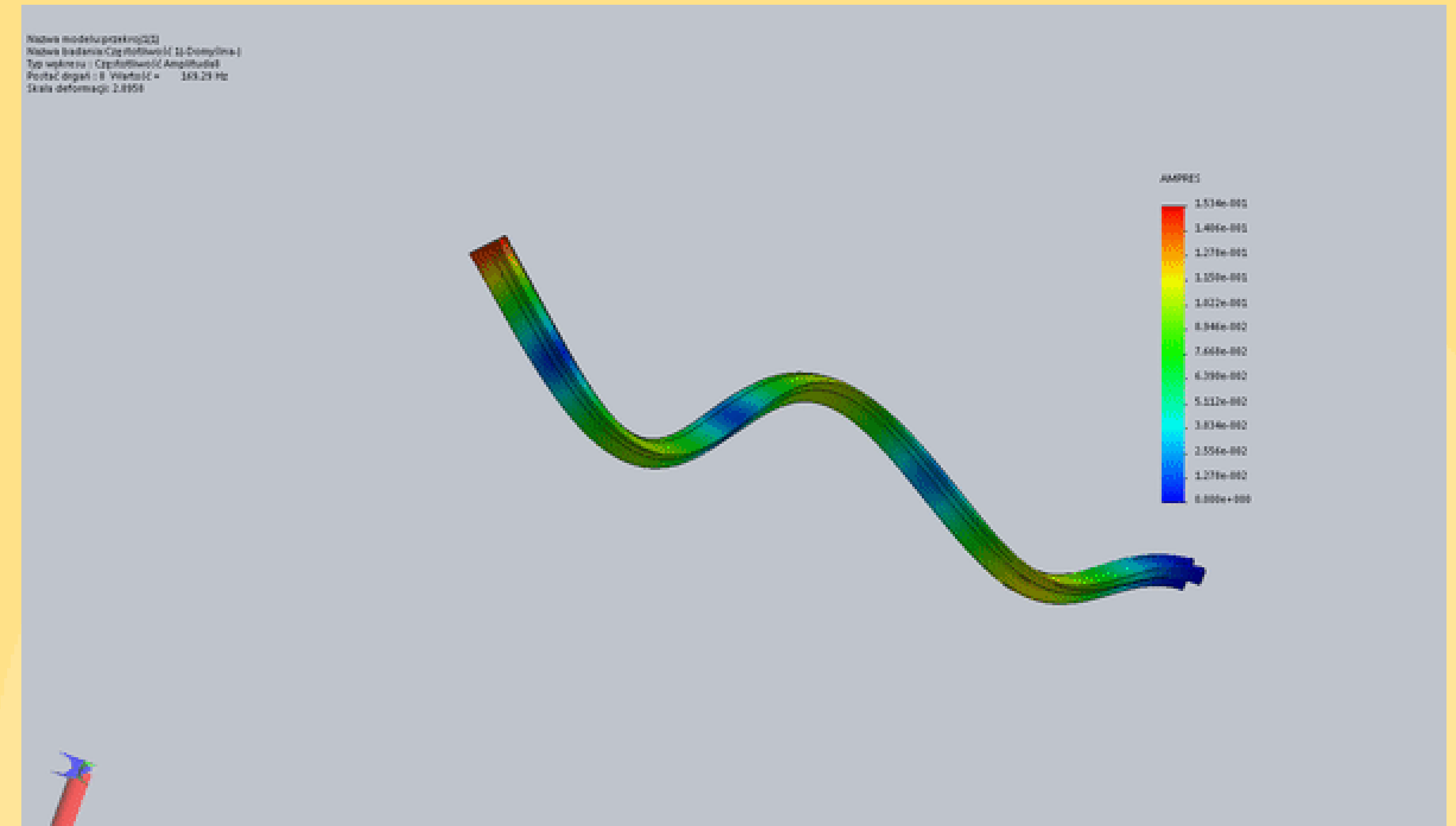
Szósta postać drgań dla iglicy



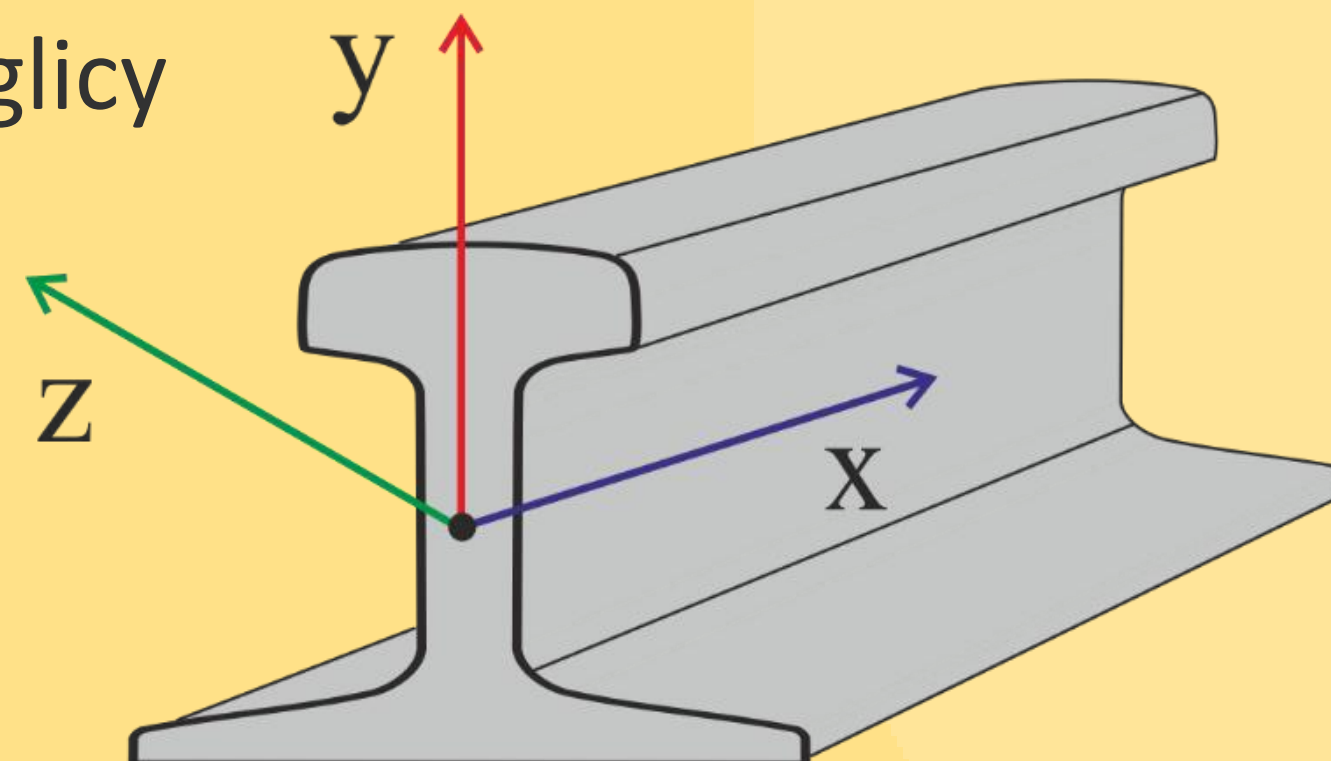
Wyniki symulacji – wyznaczone postaci własne dla belki zakrzywionej o zmiennej sztywności (zmiana pola przekroju, sztywności i momentów bezwładności)



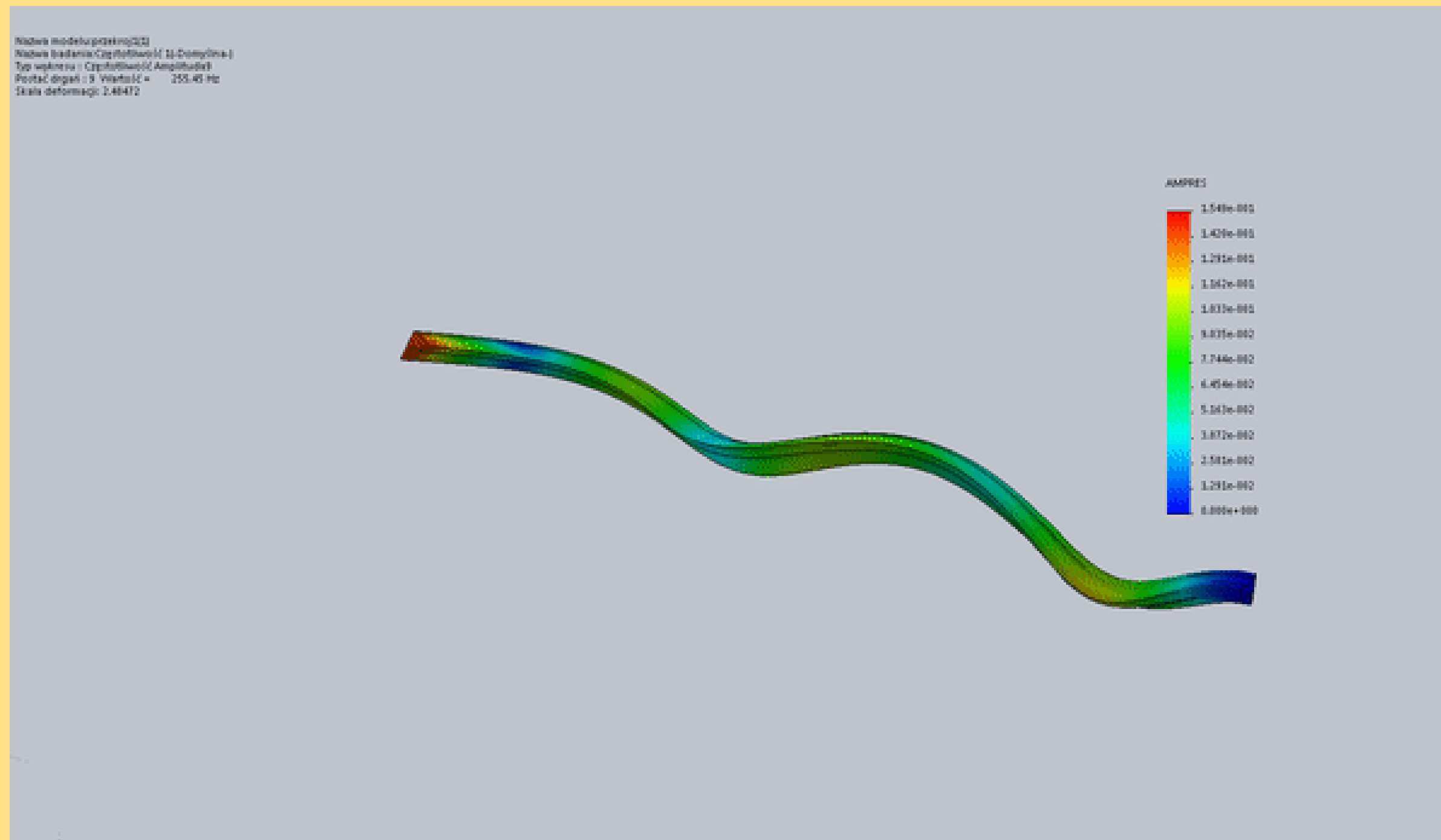
Siódma postać drgań dla iglicy



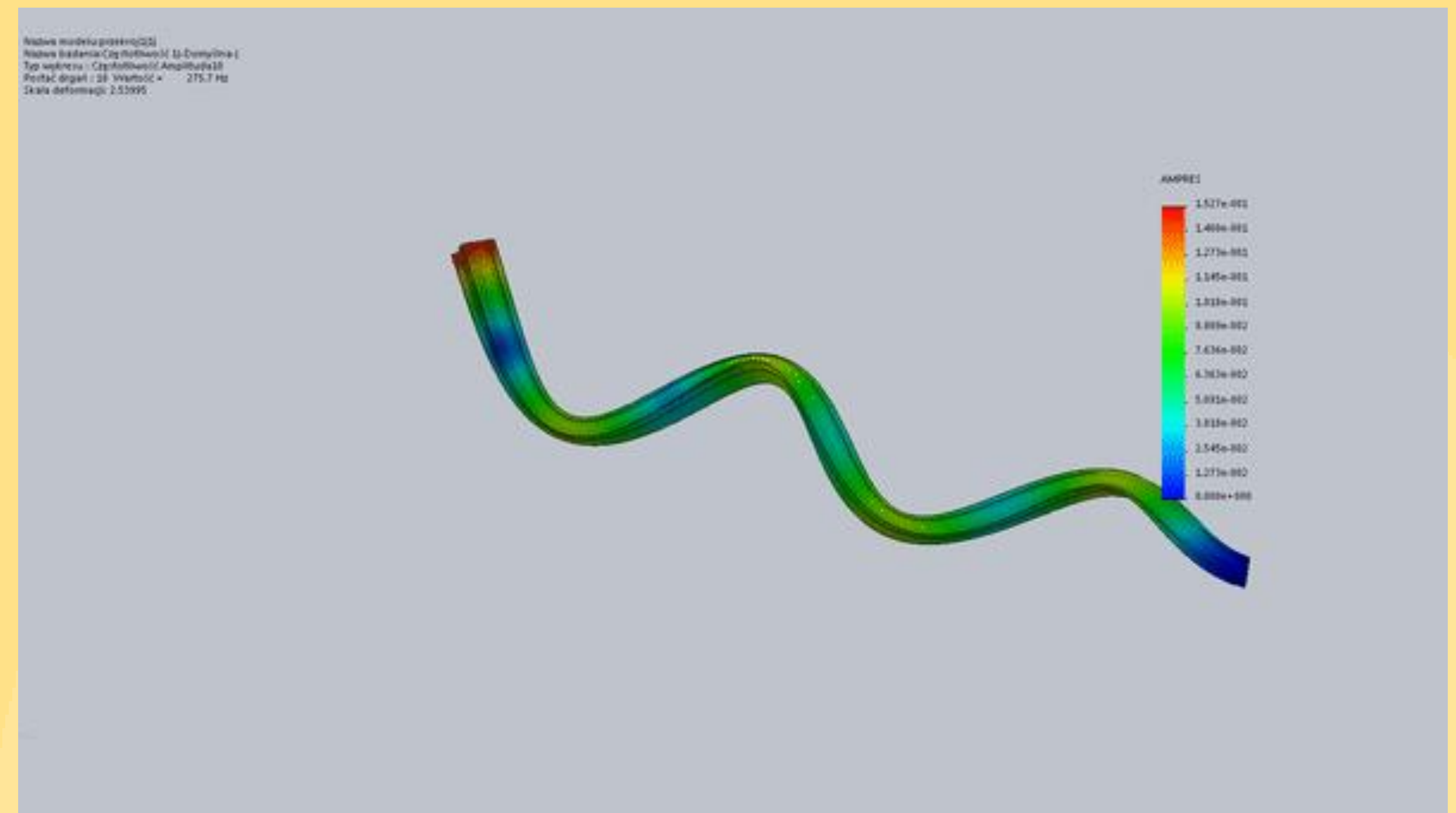
Ósma postać drgań dla iglicy



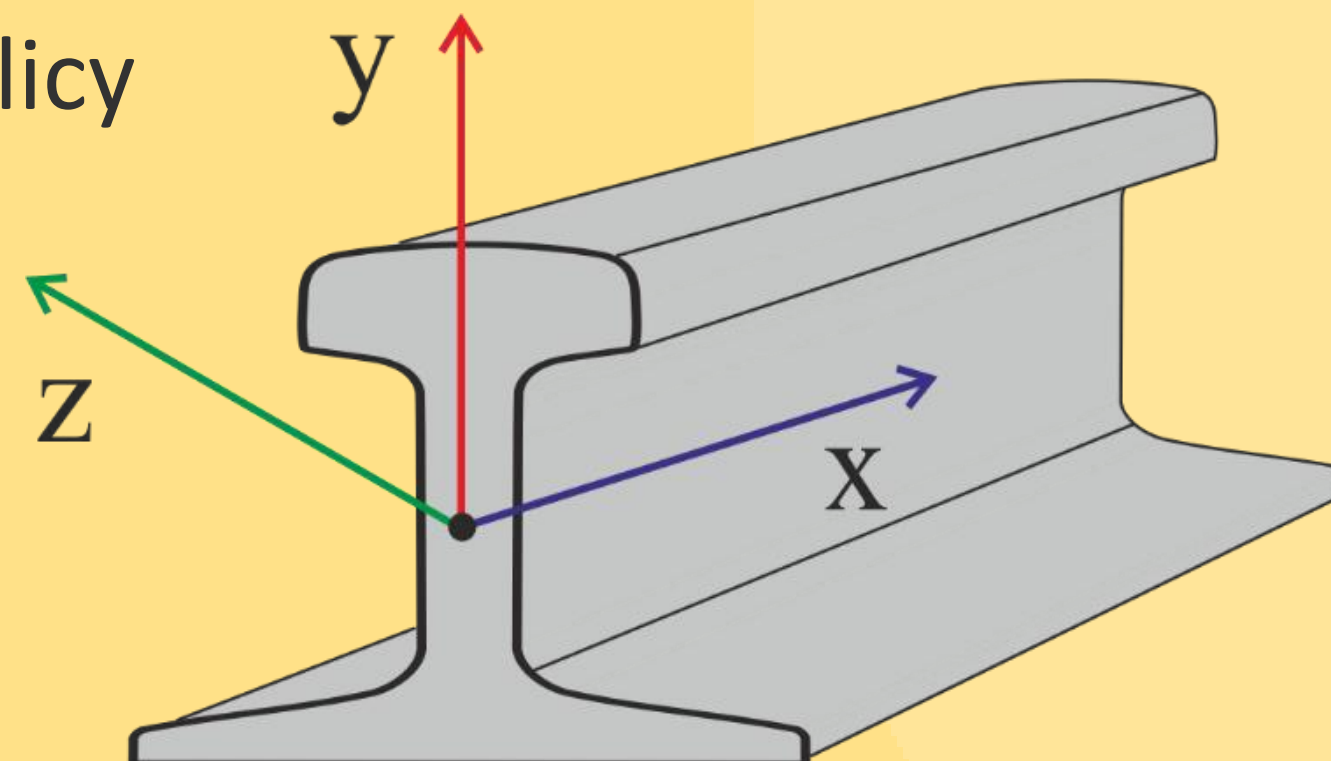
Wyniki symulacji – wyznaczone postaci własne dla belki zakrzywionej o zmiennej sztywności (zmiana pola przekroju, sztywności i momentów bezwładności)



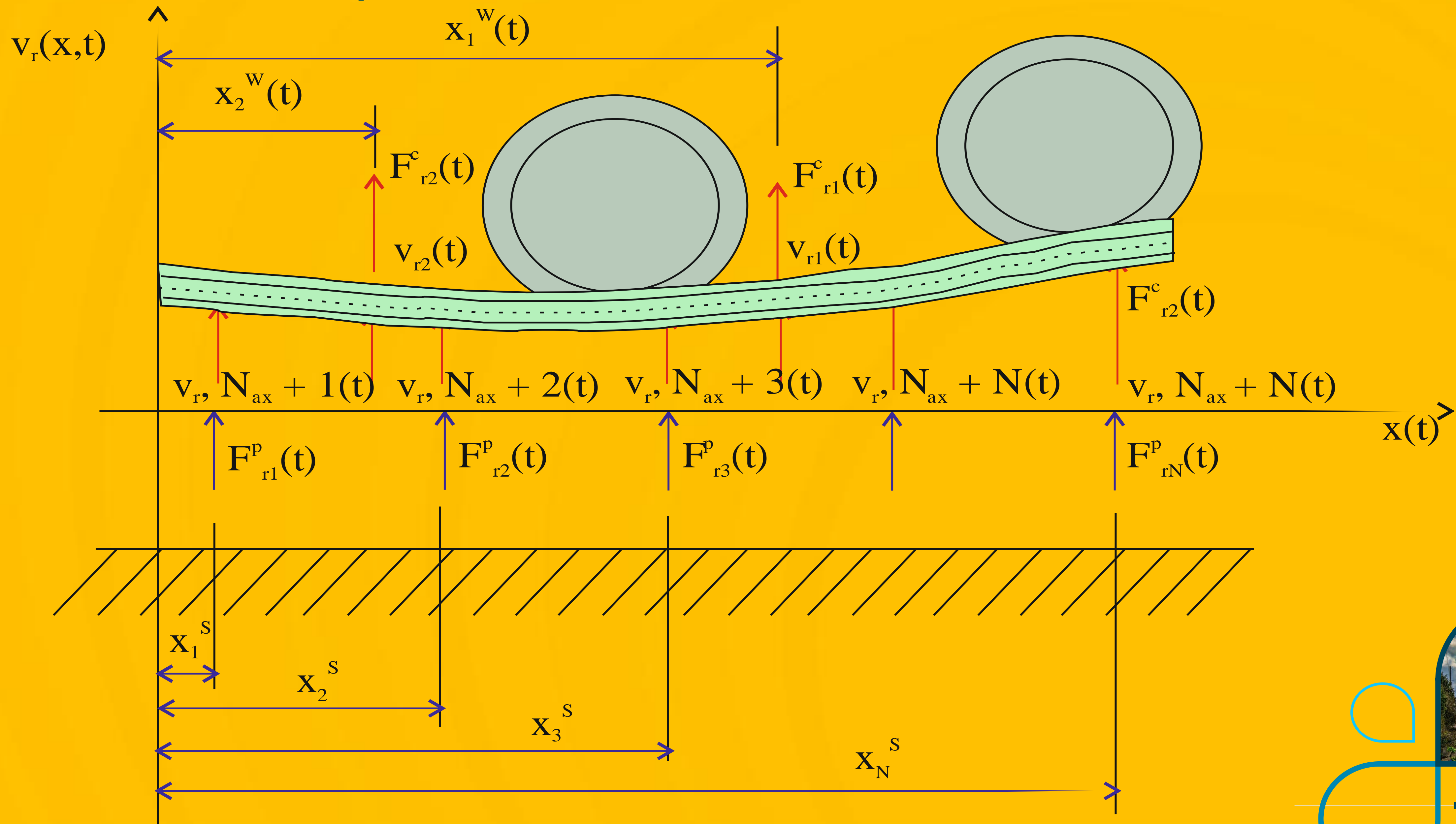
Dziewiąta postać drgań dla iglicy



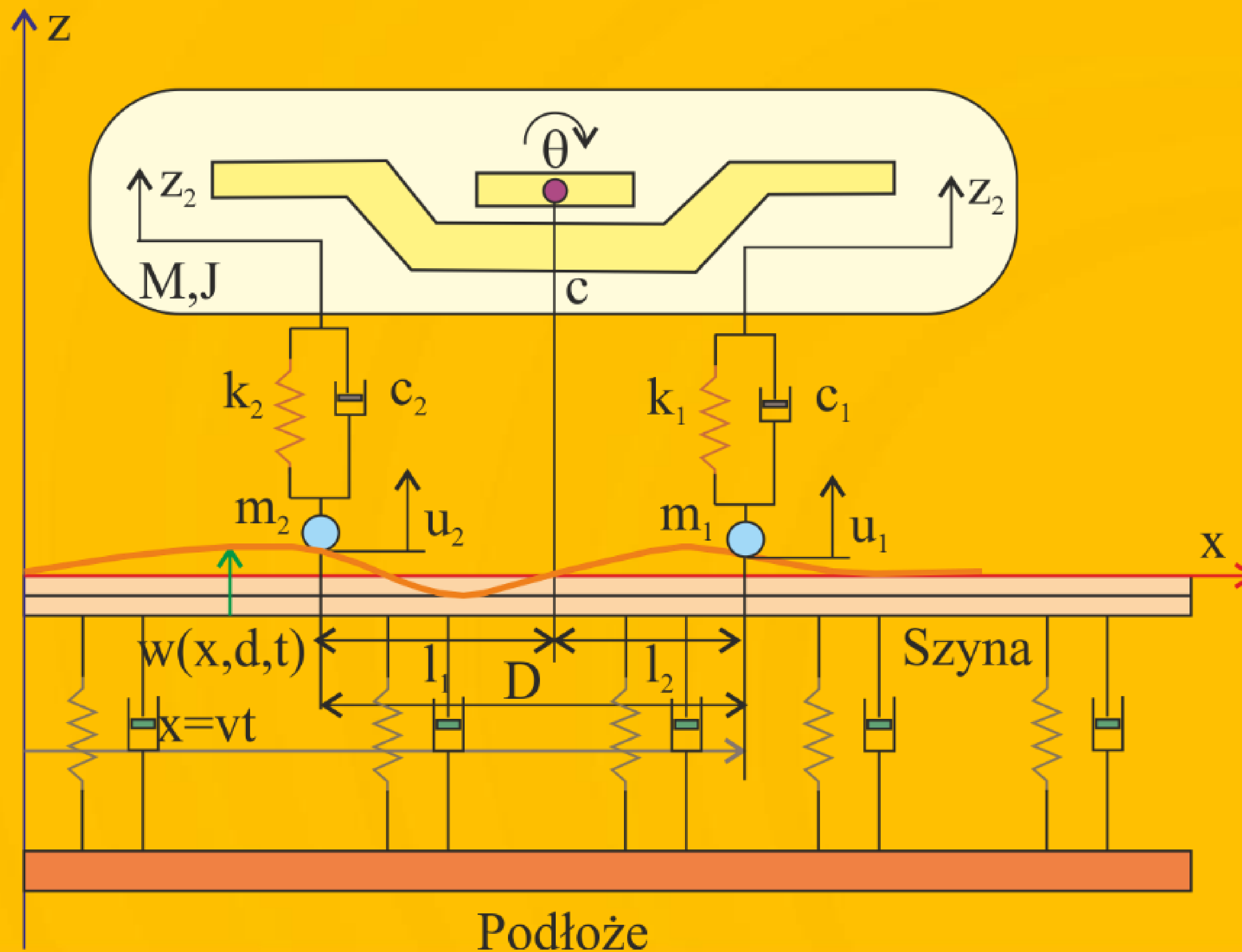
Dziesiąta postać drgań dla iglicy

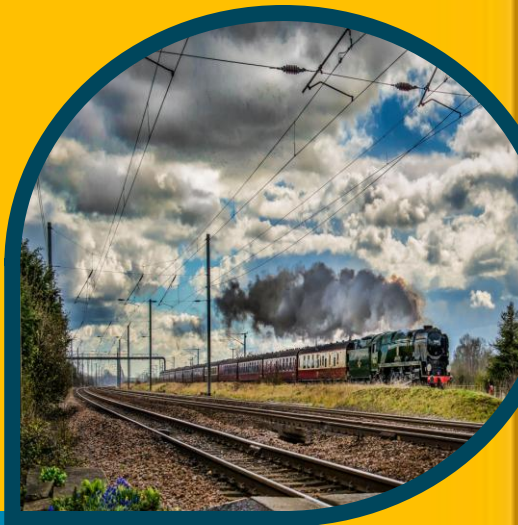
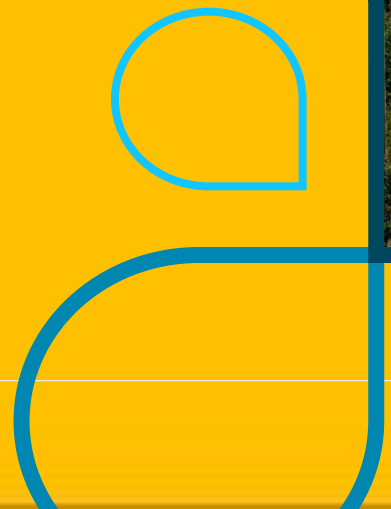


Model ruchu po belce



Ruch po belce





Model matematyczny wagonu na rozjeździe kolejowym

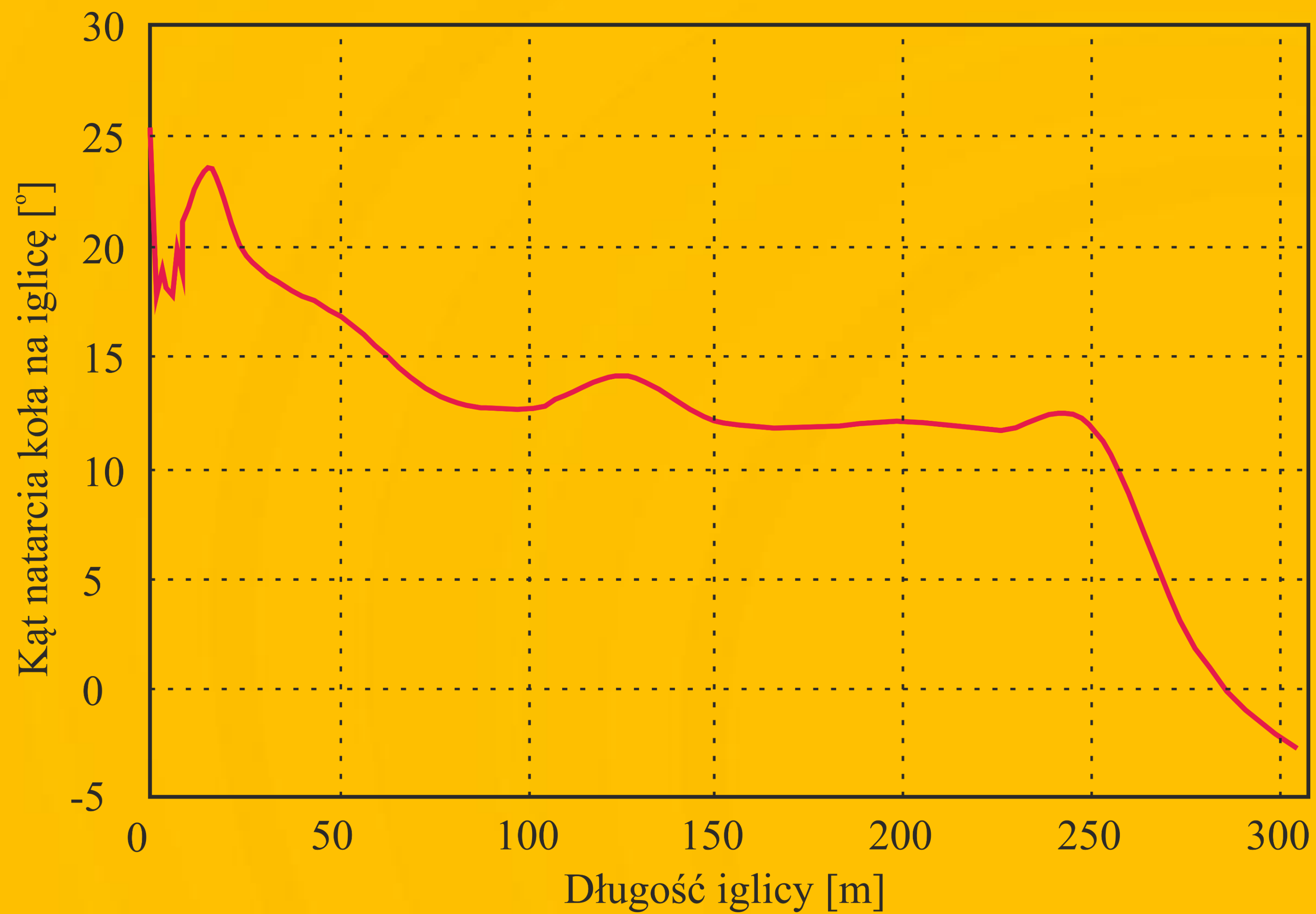
W oparciu o model nominalny pociągu oraz o równania więzów wyprowadzono z równania ruchu w następującej postaci [72]:

$$\begin{aligned}
 & \left(m + \frac{I_\eta}{r^2}\right) \frac{d^2 x}{dt^2} = -F_{nz} \mu_x \operatorname{sign} \frac{dx}{dt}, \\
 & m \frac{d^2 y}{dt^2} - m_{tl} \left[z_l - z_{wl} - \left(y - \frac{y_{wl}}{2}\right) \sigma \right] + k_{t zp}(t) \sigma \left[z_p - z_{wp} - \left(y - \frac{y_{wp}}{2}\right) \sigma \right] \\
 & \quad = F_{nz} - N_l \tau_{yl} - N_p \tau_{yp} - a_1 (|y| - l) \operatorname{sign} y_t + (N_l - N_p) \lambda + (N_l + N_p) \frac{z_p - z_l}{2b} \\
 & \frac{m}{4} \left(\frac{d^2 z_p}{dt^2} - \frac{d^2 z_l}{dt^2} \right) - m_{tl} \left[\frac{d^2 z_l}{dt^2} - \frac{d^2 z_{wl}}{dt^2} - \left(\frac{d^2 y}{dt^2} - \frac{d^2 y_{wl}}{dt^2} \right) \sigma \right] - \frac{J_\xi}{4b^2} \left(\frac{d^2 z_p}{dt^2} - \frac{d^2 z_l}{dt^2} \right) + c_{tz} \left[\frac{dz_l}{dt} - \frac{dz_{wl}}{dt} - \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dy_{wl}}{2} \right) \sigma \right] + k_{zy} z_l - \frac{1}{2} k_{zz} (z_p - z_l) \\
 & \quad + k_{zz}(t) \left[z_l - z_{wl} - \left(y - \frac{y_{wl}}{2}\right) \sigma \right] = 0 \\
 & \left(\frac{d^2 z_p}{dt^2} - \frac{d^2 z_l}{dt^2} \right) - m_{tp} \left[\frac{d^2 z_p}{dt^2} - \frac{d^2 z_{wp}}{dt^2} - \left(\frac{d^2 y}{dt^2} - \frac{d^2 y_{wp}}{dt^2} \right) \sigma \right] - \frac{J_\xi}{4b^2} \left(\frac{d^2 z_p}{dt^2} - \frac{d^2 z_l}{dt^2} \right) + c_{zz} \frac{dz_p}{dt} + \frac{1}{2} c_{zz} \left(\frac{dz_p}{dt} - \frac{dz_l}{dt} \right) \\
 & \quad + c_{tz} \left[\frac{dz_p}{dt} - \frac{dz_{wp}}{dt} - \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dy_{wp}}{2} \right) \sigma \right] + c_{zy} z_p + k_{t zp}(t) \left[z_l - z_{wl} - \left(y - \frac{y_{wl}}{2}\right) \sigma \right] = 0 \\
 & J_\xi \frac{d^2 \psi}{dt^2} + c_\psi \frac{d\psi}{dt} + k_\psi \psi \\
 & \quad = (N_p \tau_{xp} - N_l \tau_{xl}) b + (N_l \tau_{yl} - N_p \tau_{yp}) b \psi + F_{nz} b \psi \pm F_{nz} \mu_x \operatorname{sign} \frac{dx}{dt} \left[\frac{d^2 z_l}{dt^2} - \frac{d^2 z_{wl}}{dt^2} - \left(\frac{d^2 y}{dt^2} - \frac{d^2 y_{wl}}{dt^2} \right) \sigma \right] \sigma \\
 & \quad + m_{tp} \left[\frac{d^2 z_p}{dt^2} - \frac{d^2 z_{wp}}{dt^2} - \left(\frac{d^2 y}{dt^2} - \frac{d^2 y_{wp}}{dt^2} \right) \sigma \right] \sigma + c_{zy} \frac{dy}{dt} - c_{tz} \left[\frac{dz_l}{dt} - \frac{dz_{wl}}{dt} - \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dy_{wl}}{2} \right) \sigma \right] \sigma + c_{tz} \left[\frac{dz_p}{dt} - \frac{dz_{wp}}{dt} - \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dy_{wp}}{2} \right) \sigma \right] \sigma \\
 & \quad - k_{t zl}(t) \sigma
 \end{aligned}$$

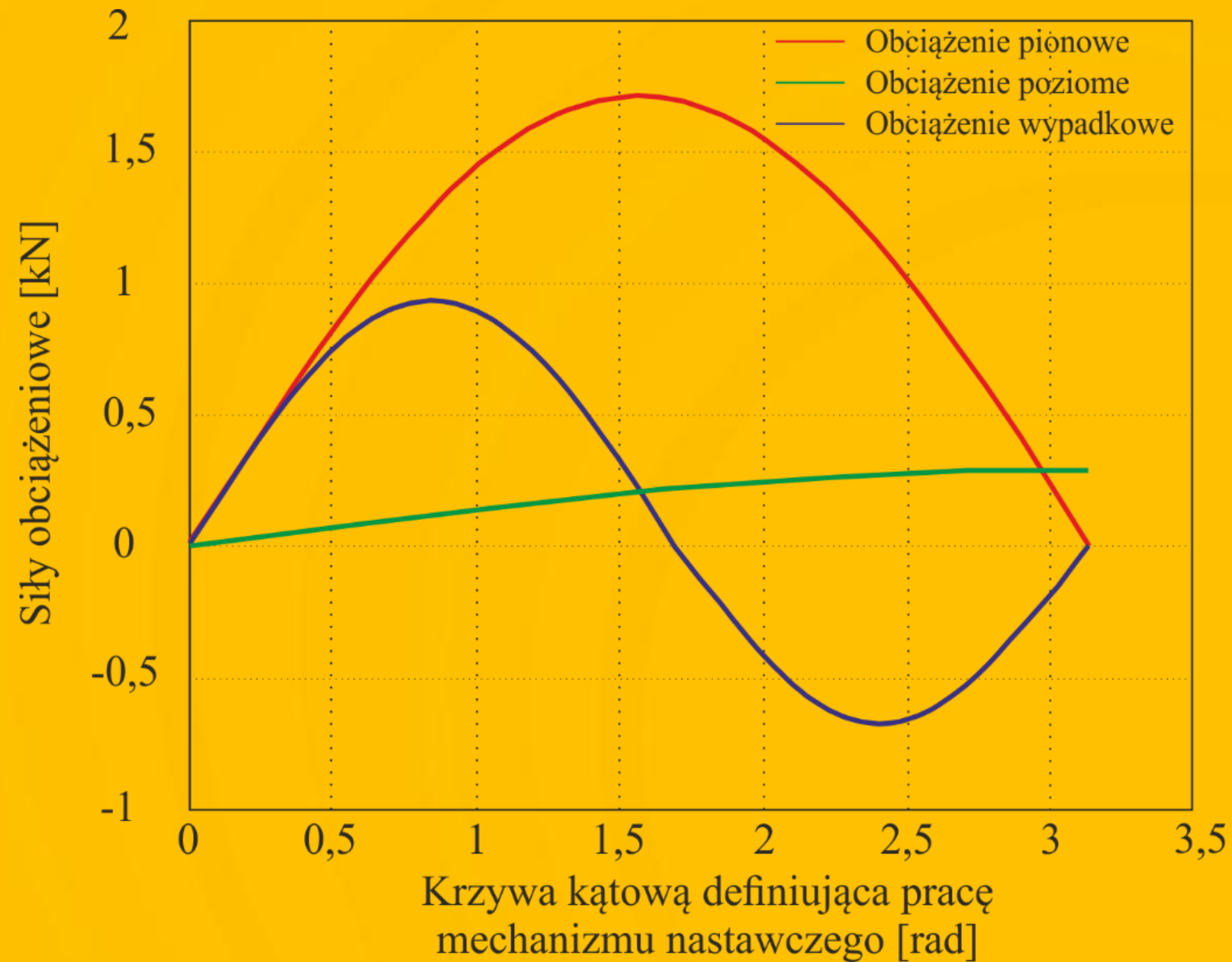




Kąt natarcia na iglicę

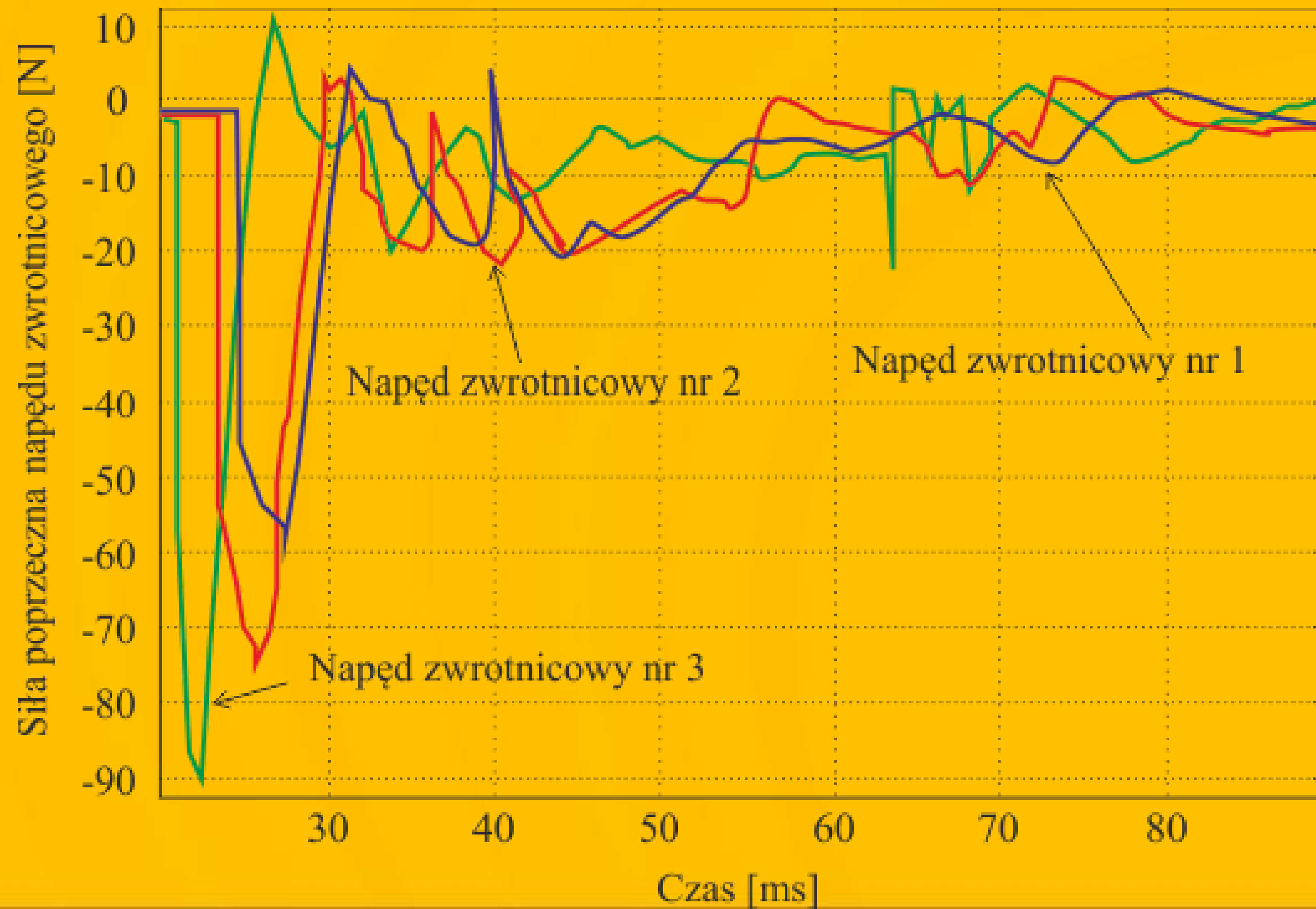


Napęd zwrotnicowy – siły trzymania

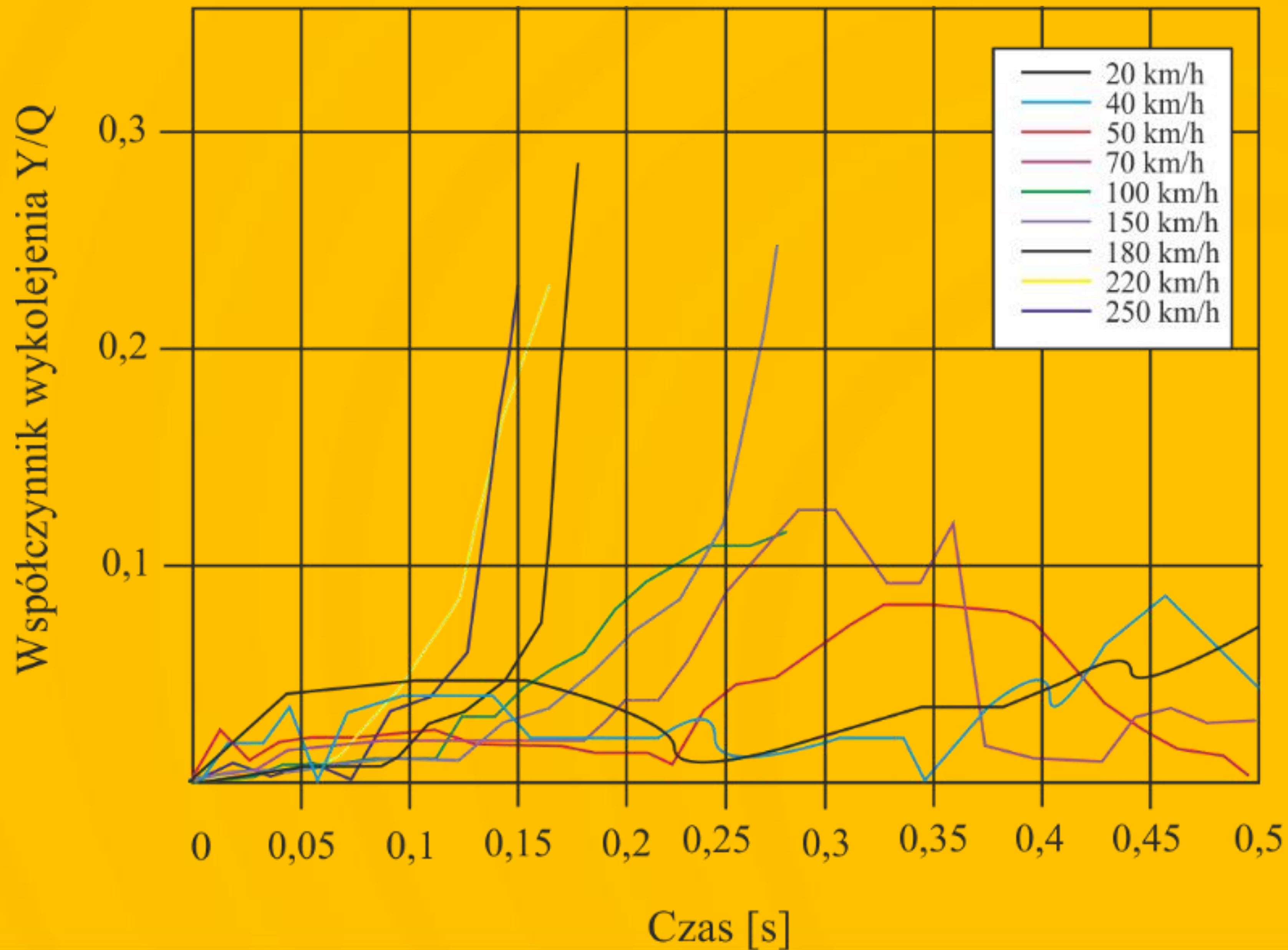


Siła w kierunku poprzecznym docisku napędu zwrotnicowego - symulacje

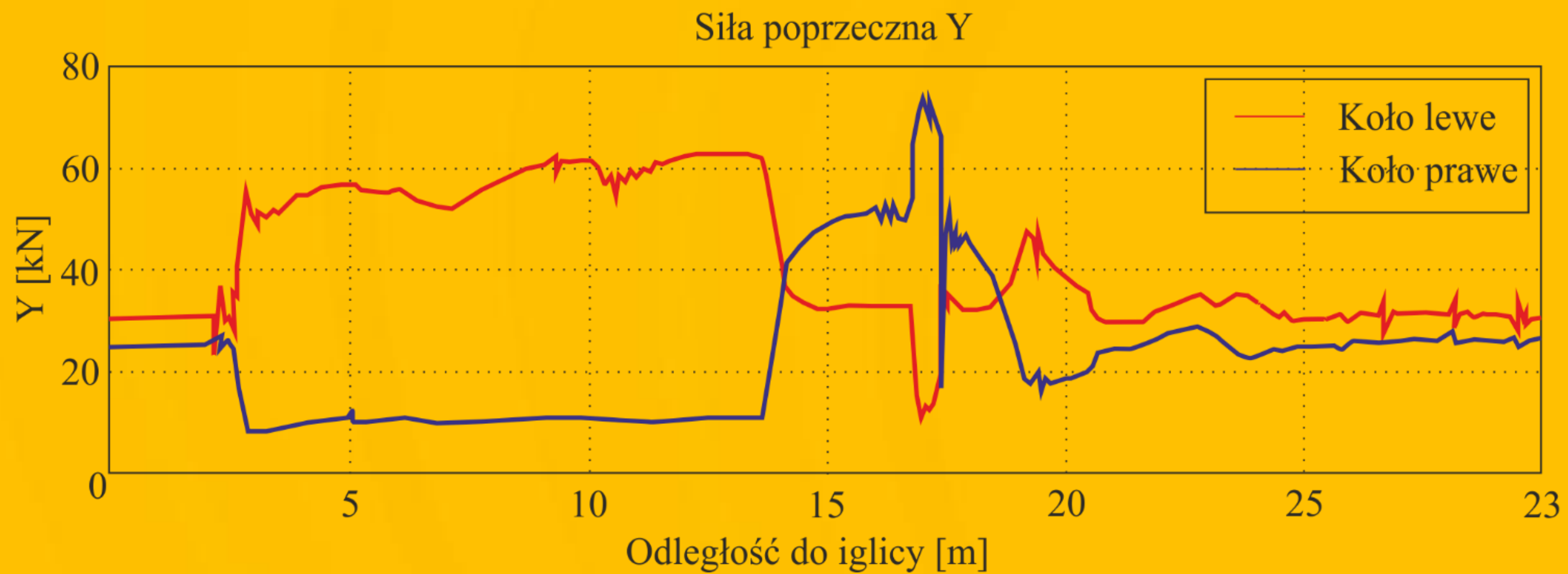
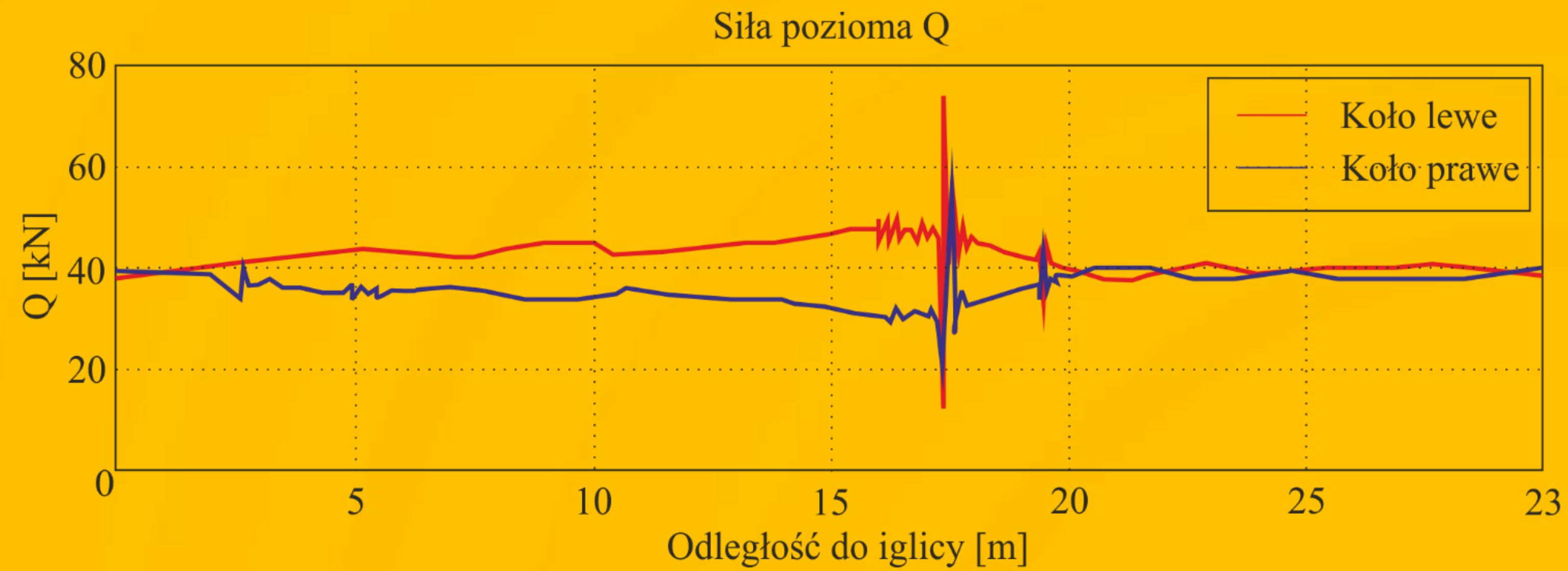
Dla trzech różnych napędów zwrotnicowych, wyprodukowanych przez trzy różne firmy



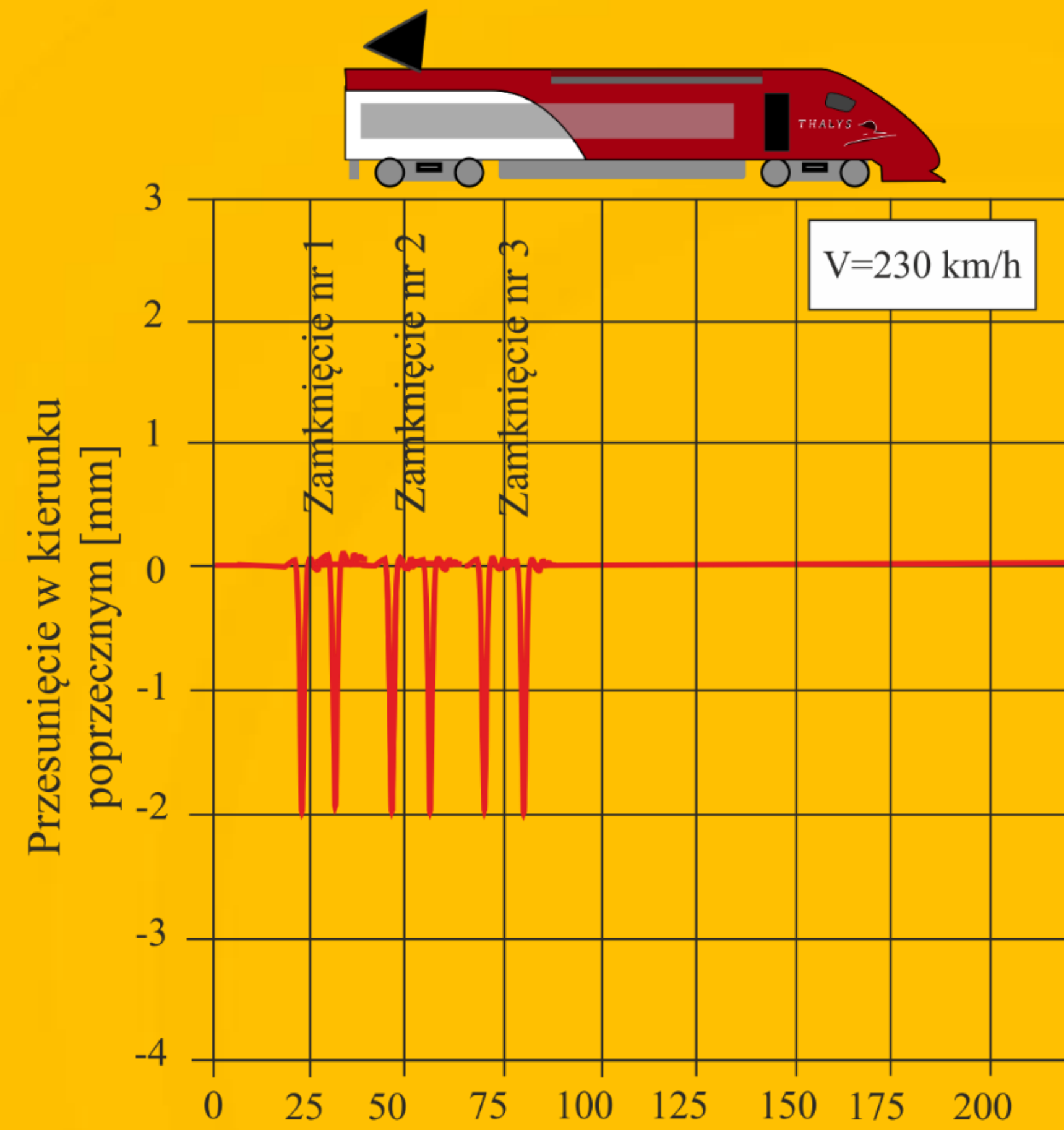
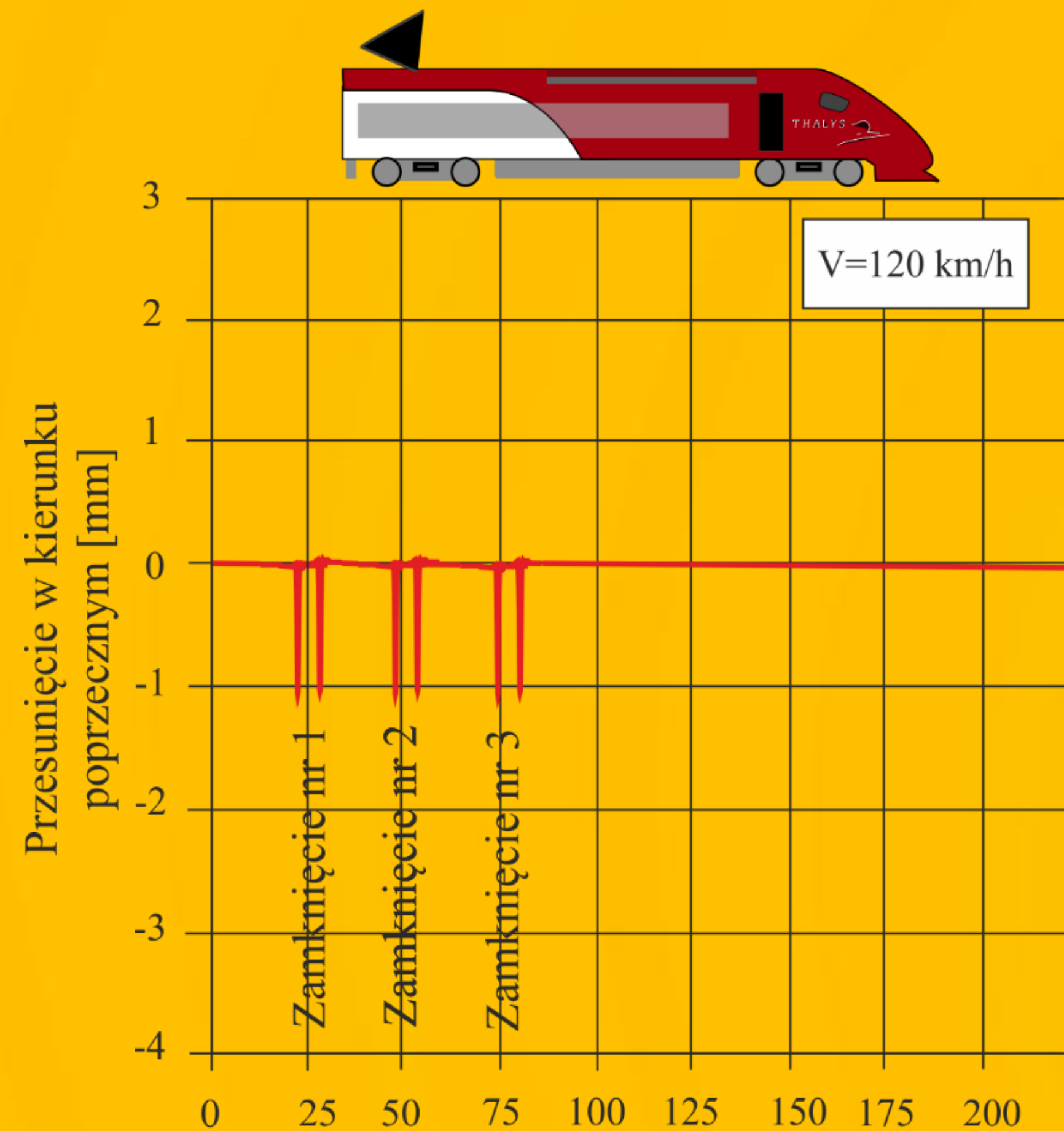
Współczynnik wykolejenia na iglicy



Siły boczne w chwili przejścia koła na iglice



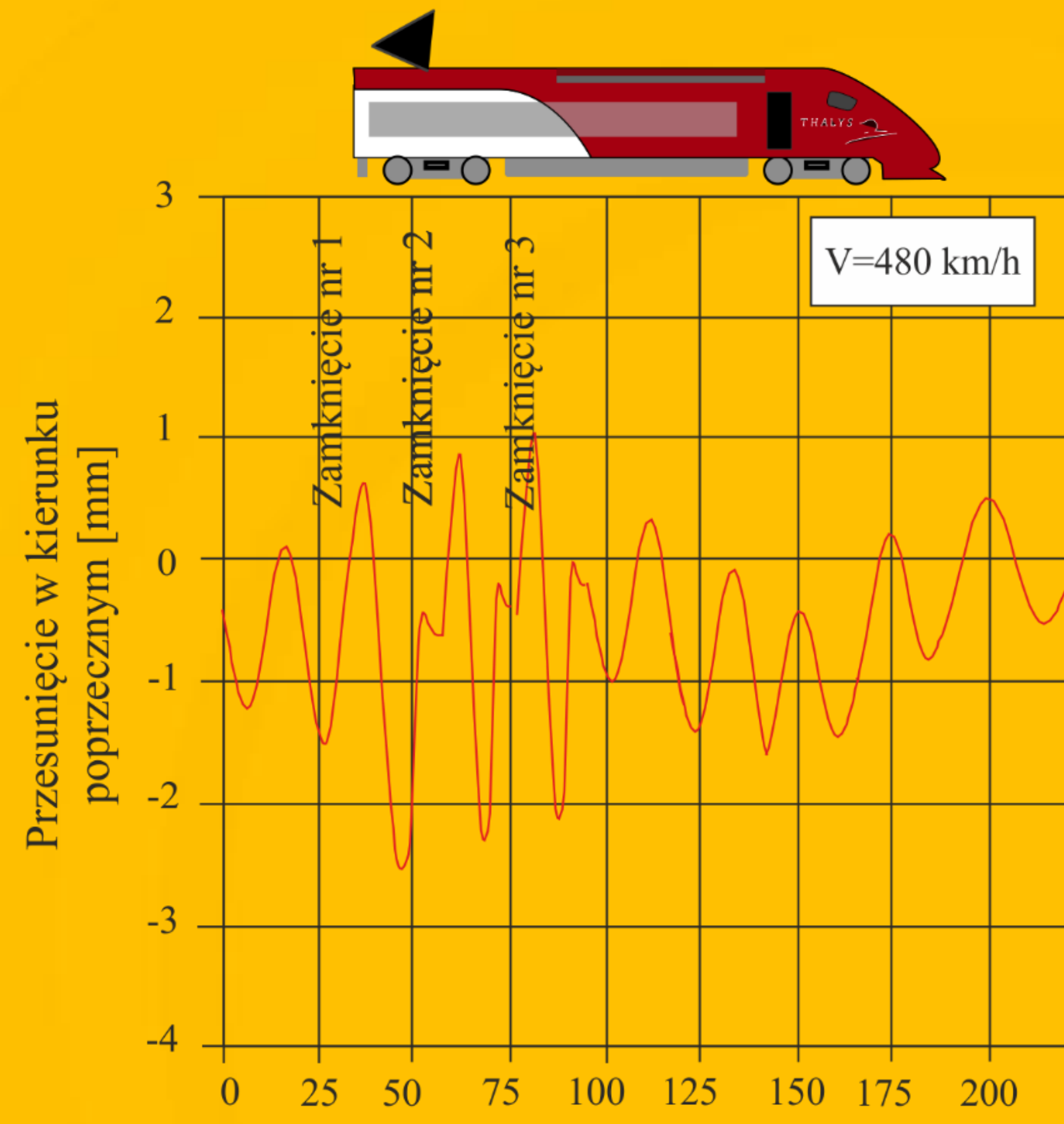
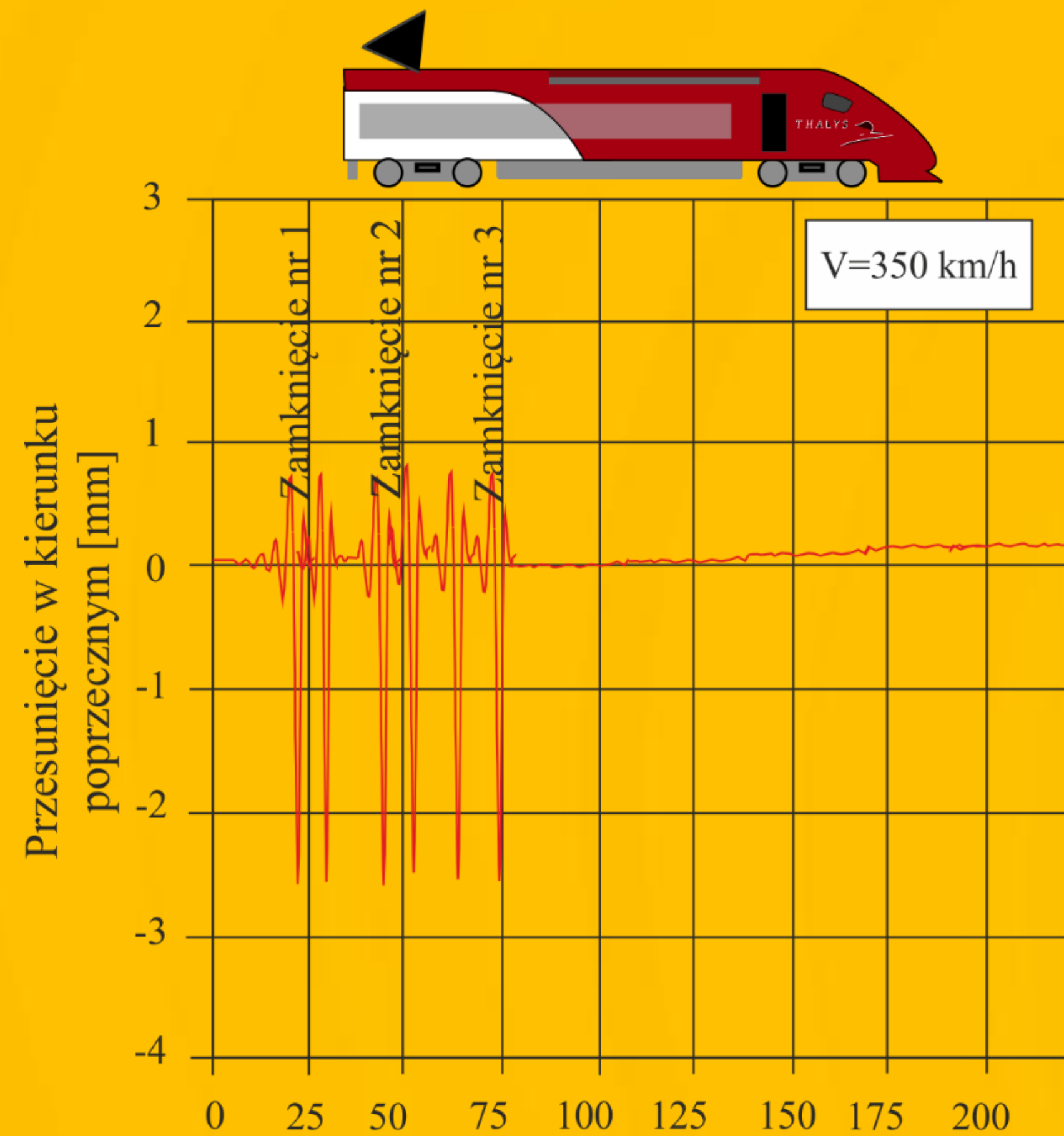
Wykres przesunięcia szyny w kierunku Y (poprzecznym) uzyskany przy prędkości $v = 120$ [km/h] oraz $v = 230$ [km/h]



Odległość na odcinku iglicy [m]



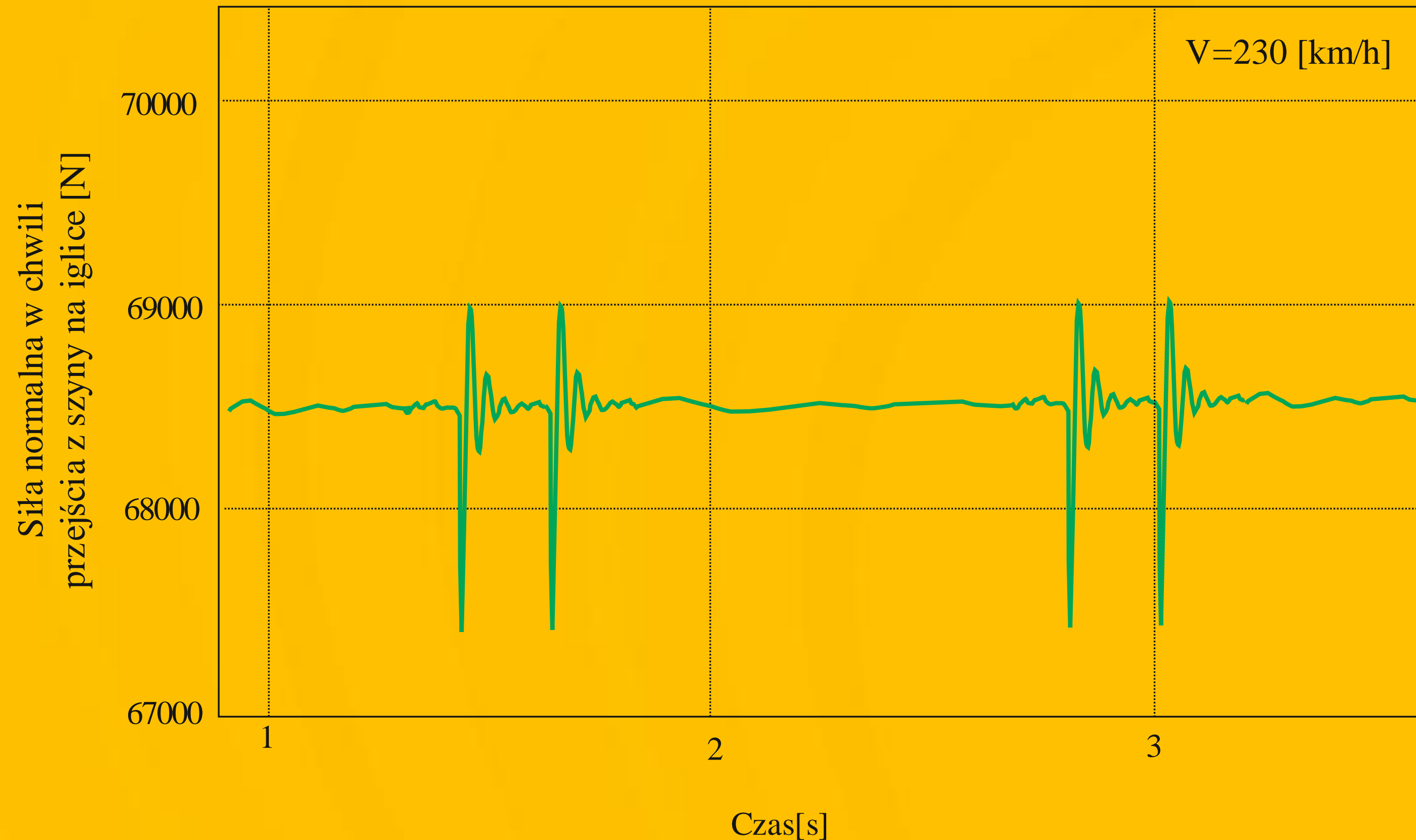
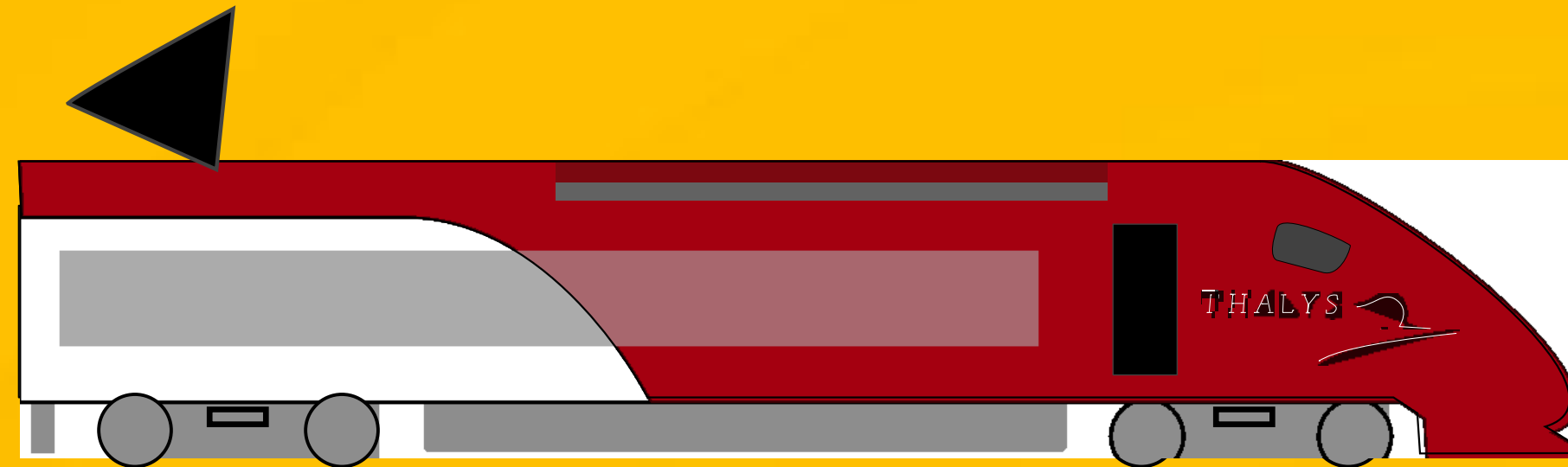
Wykres przesunięcia szyny w kierunku Y (poprzecznym) uzyskany przy prędkości $v = 350$ [km/h] oraz $v = 480$ [km/h]



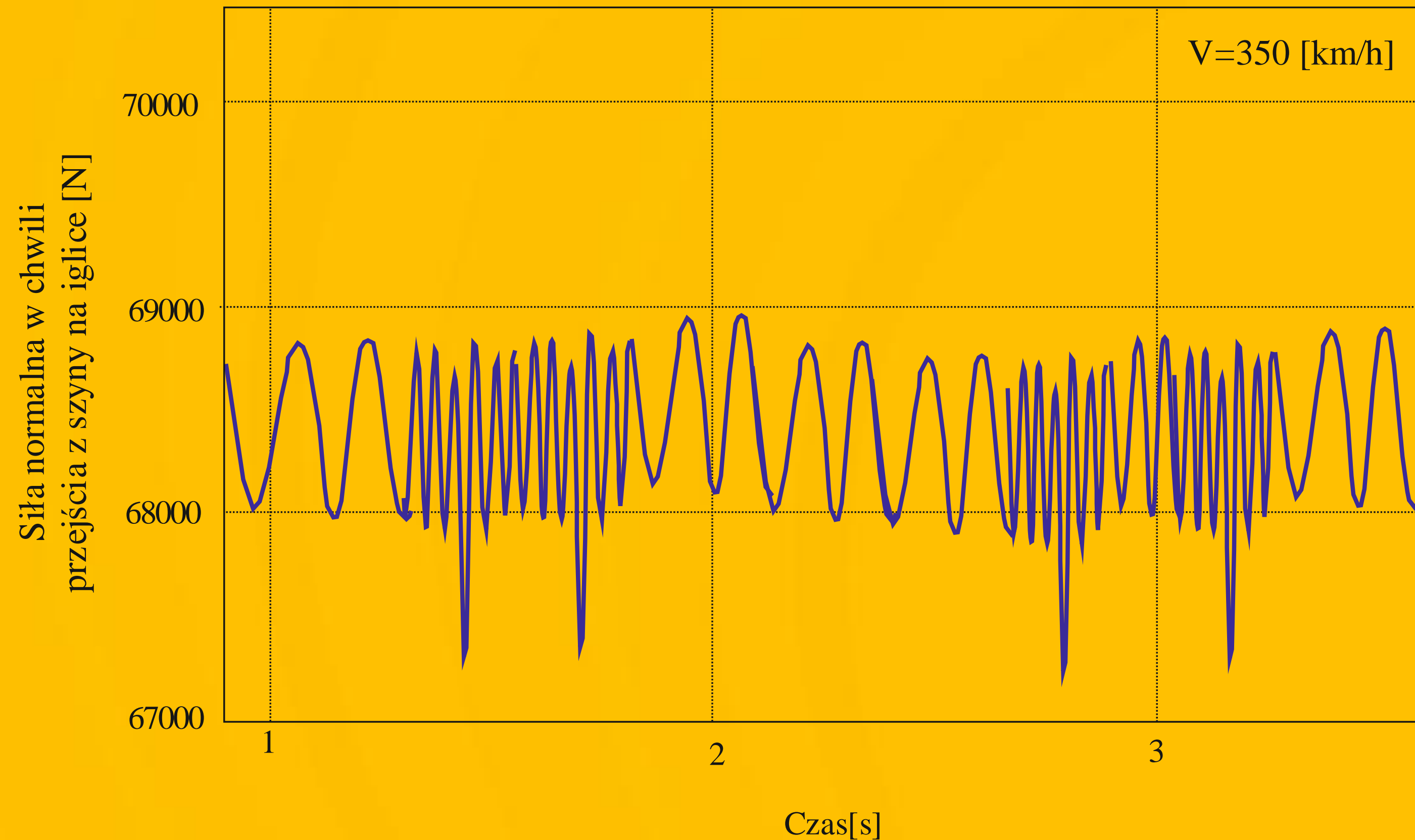
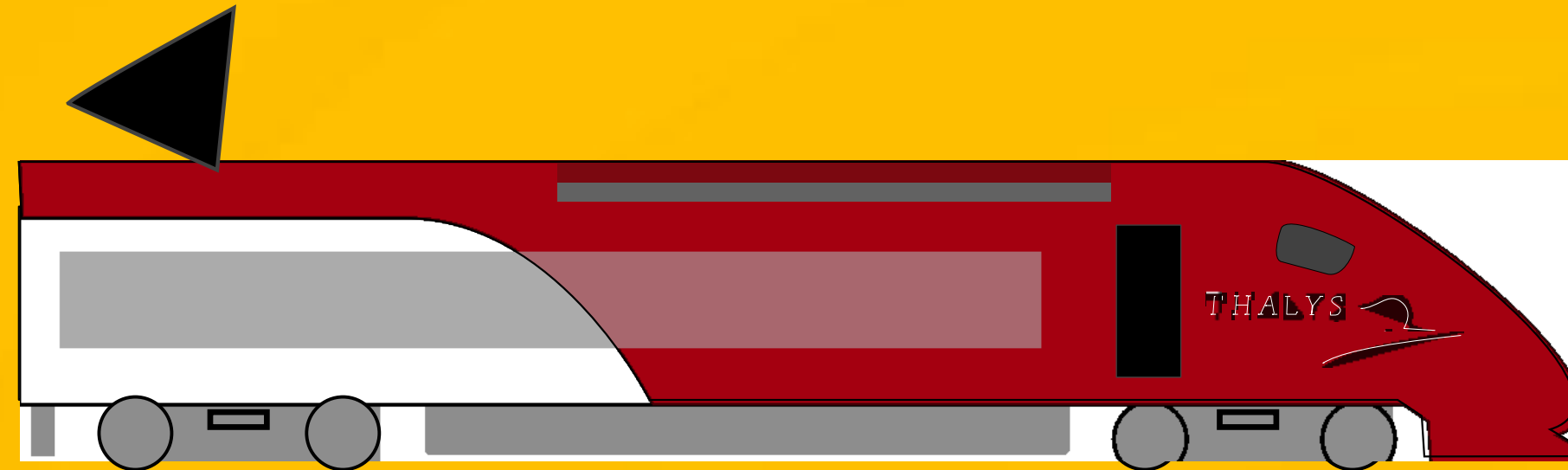
Odległość na odcinku iglicy [m]



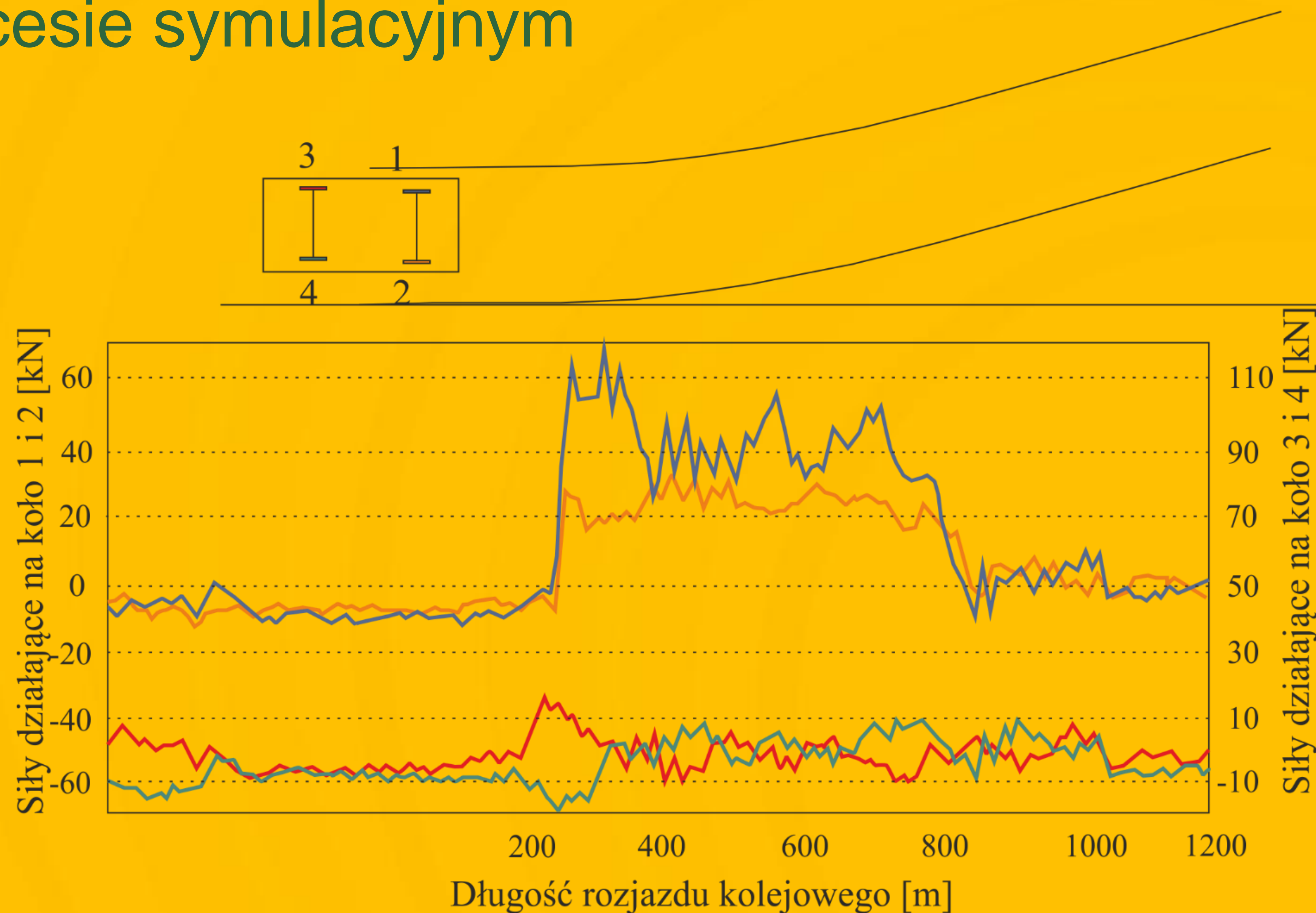
Przebieg siły normalnej przejścia koła z szyny na iglicę przy prędkości [$v = 230 \text{ km/h}$]



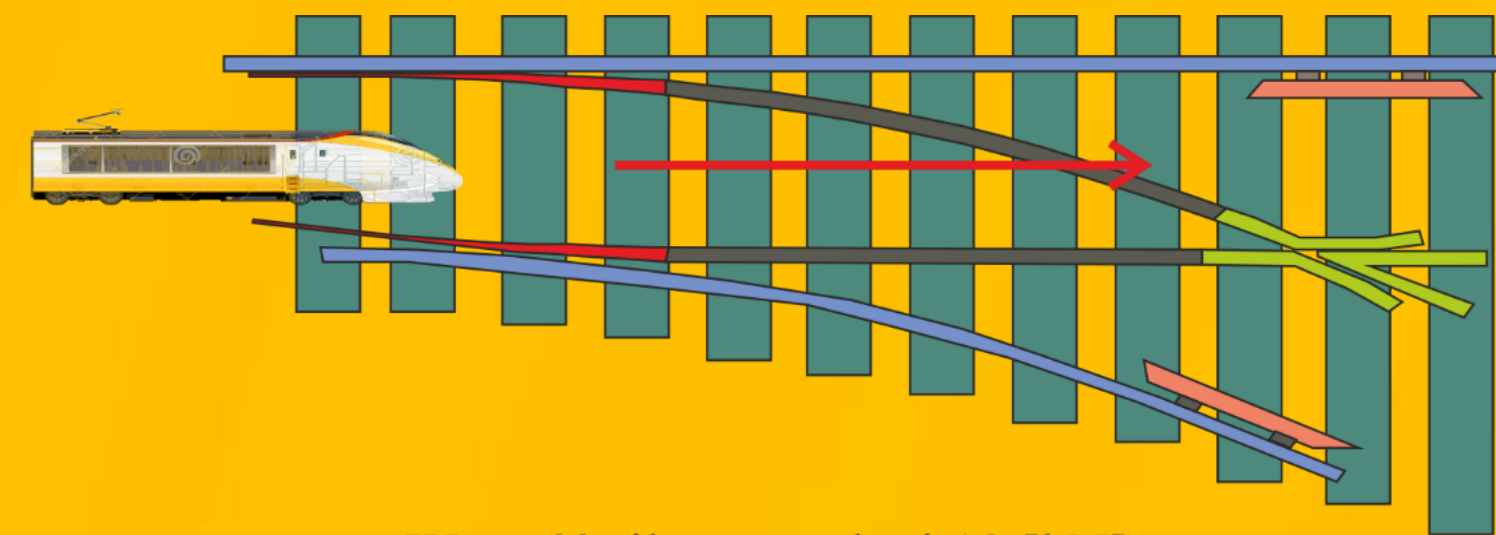
Przebieg siły normalnej przejścia koła z szyny na iglicę przy prędkości [$v = 350 \text{ km/h}$]



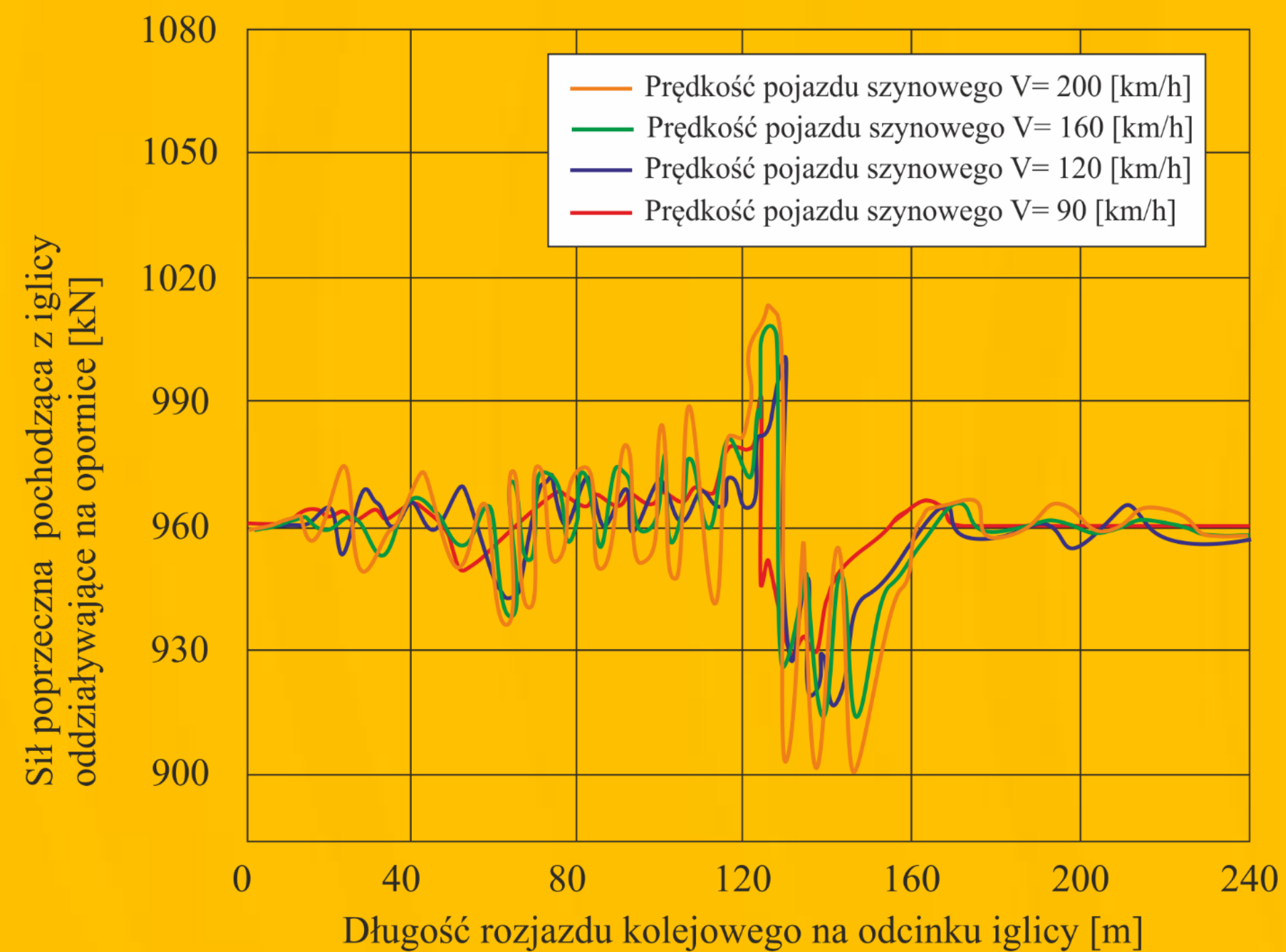
Siły poprzeczne na iglicy – przebiegi siły wyznaczone w procesie symulacyjnym



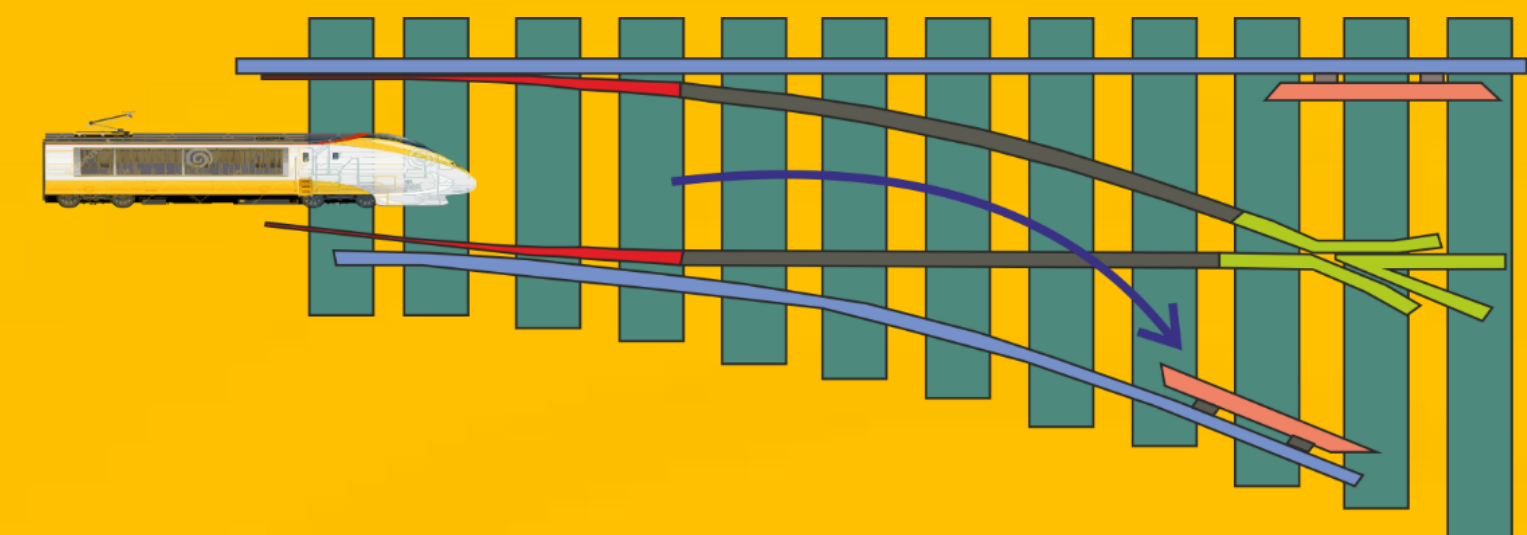
Symulacja modelu matematycznego dla wyznaczenia sił poprzecznych



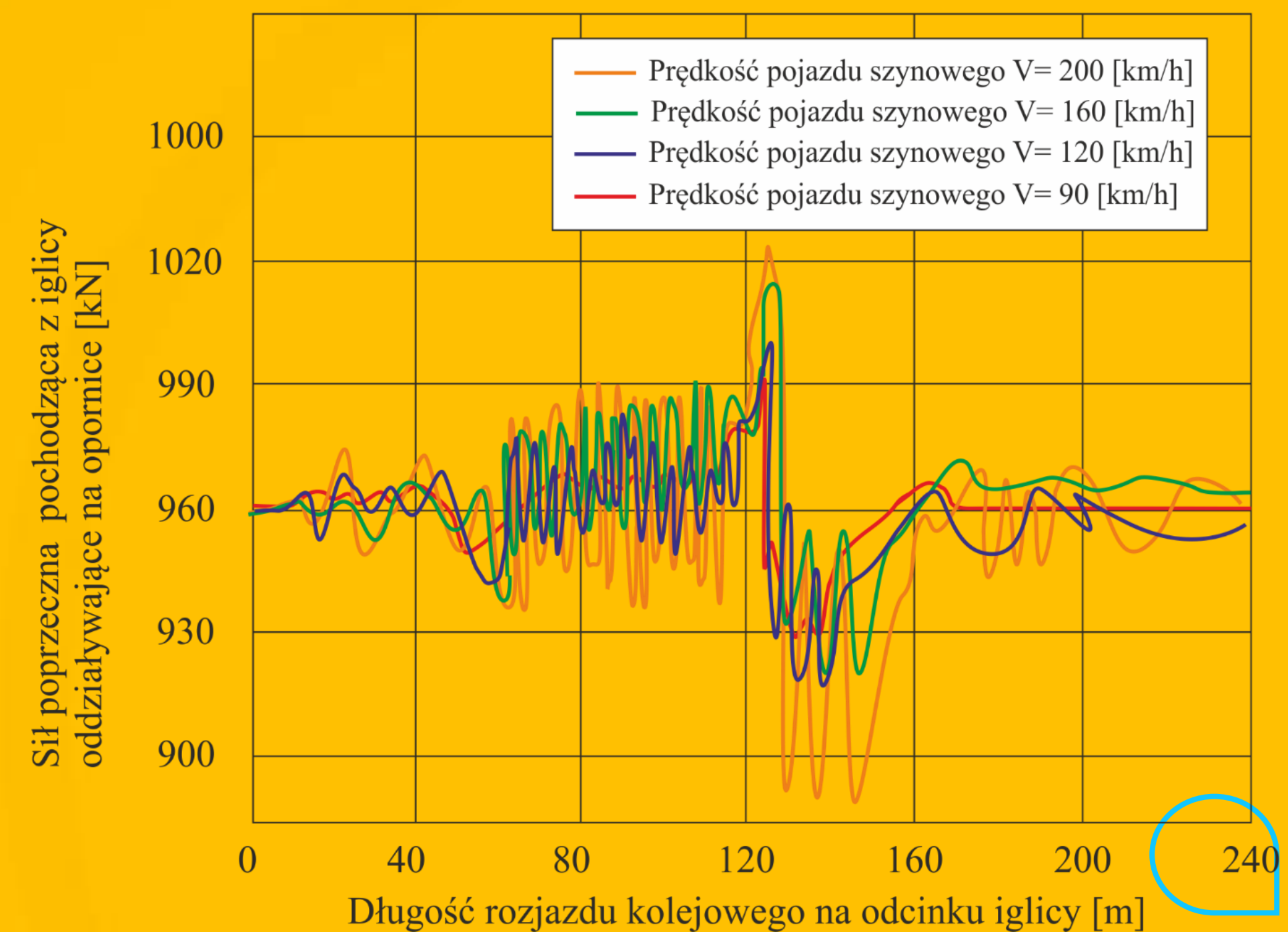
Wartość siły normalnej 12 [kN]



Rys. 42. Siły poprzeczne dla ruchu po torze prostym



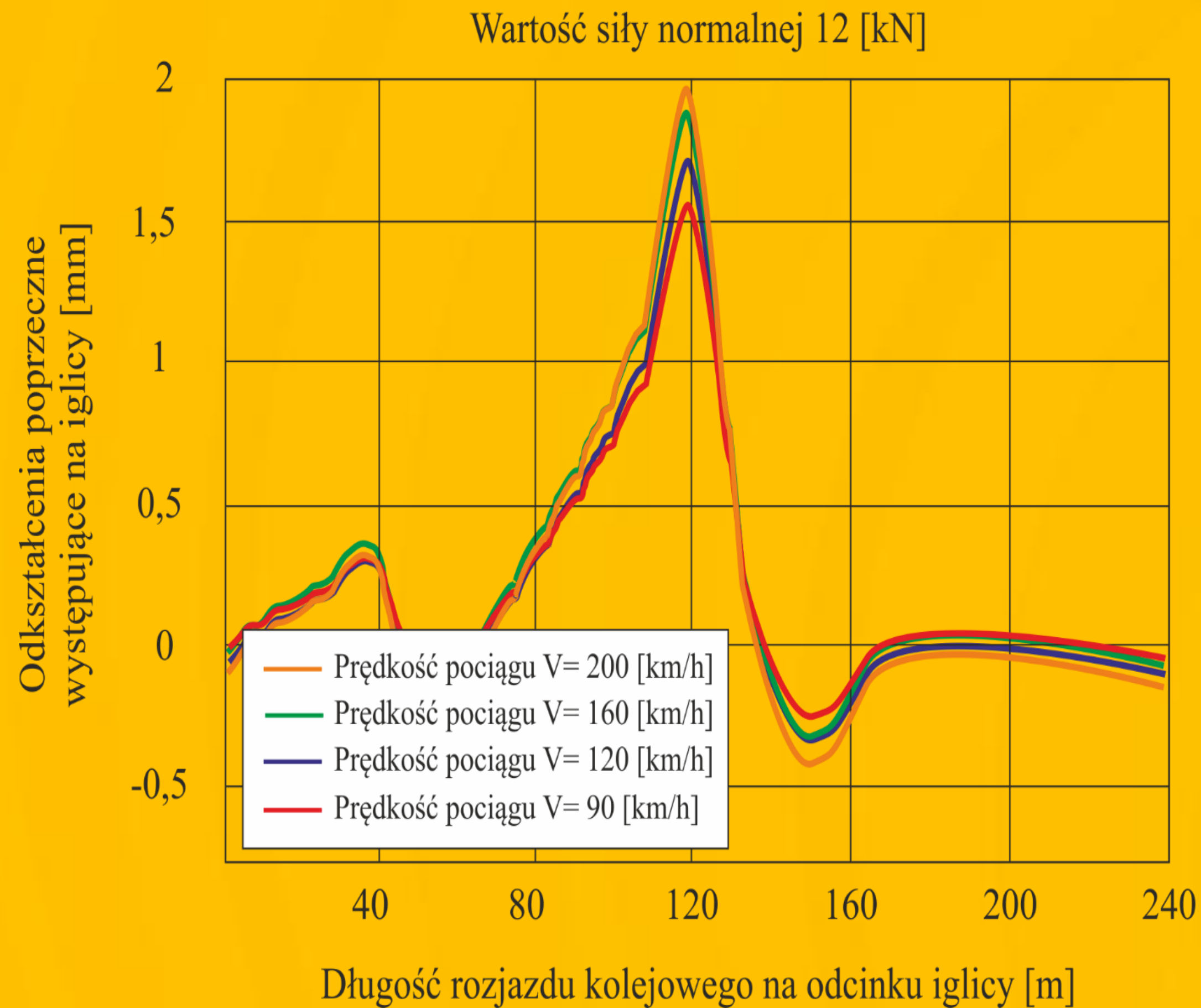
Wartość siły normalnej 12 [kN]



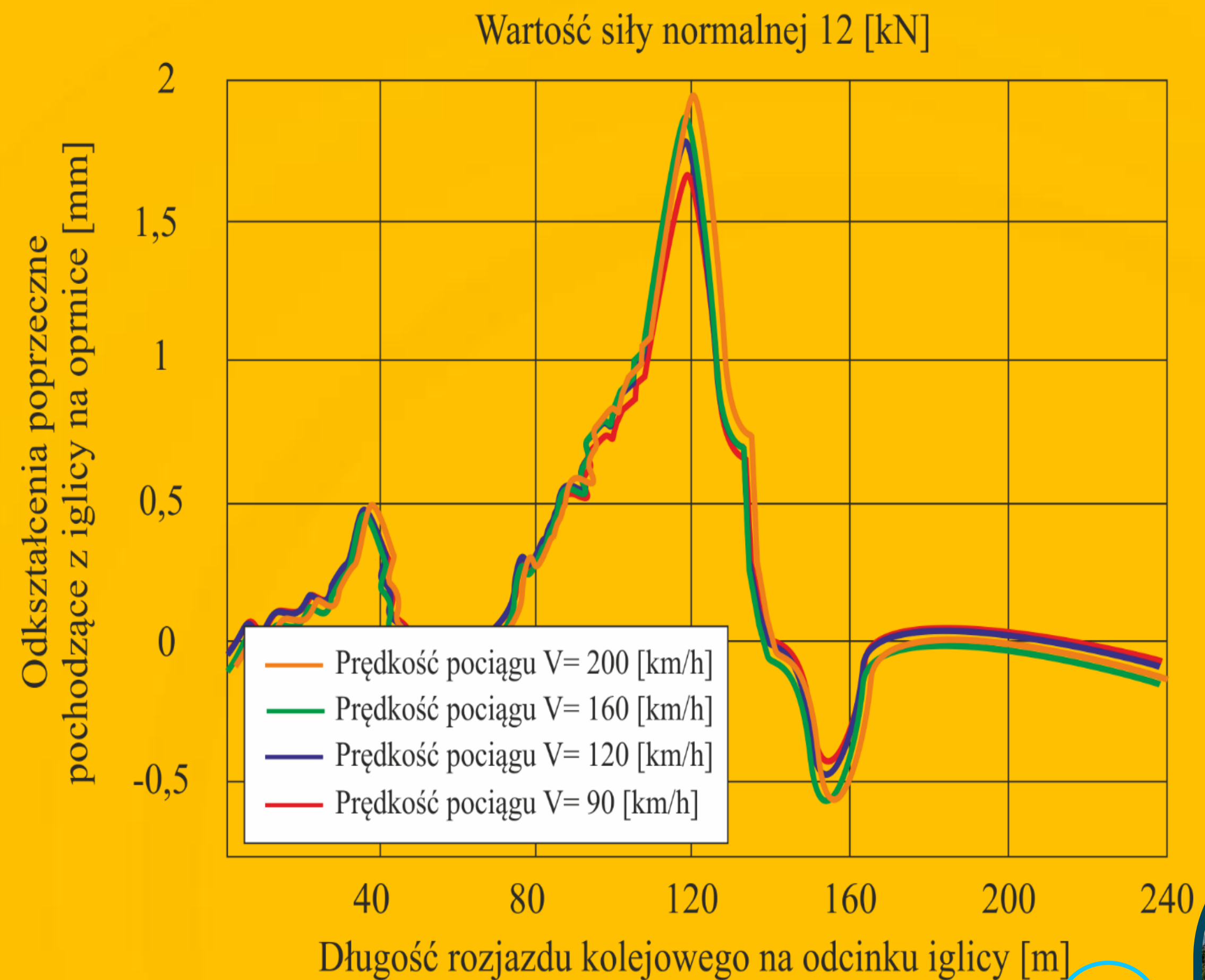
Rys. 43. Siły poprzeczne dla ruchu po torze zwrotnym



Symulacja modelu matematycznego dla wyznaczenia sił poprzecznych



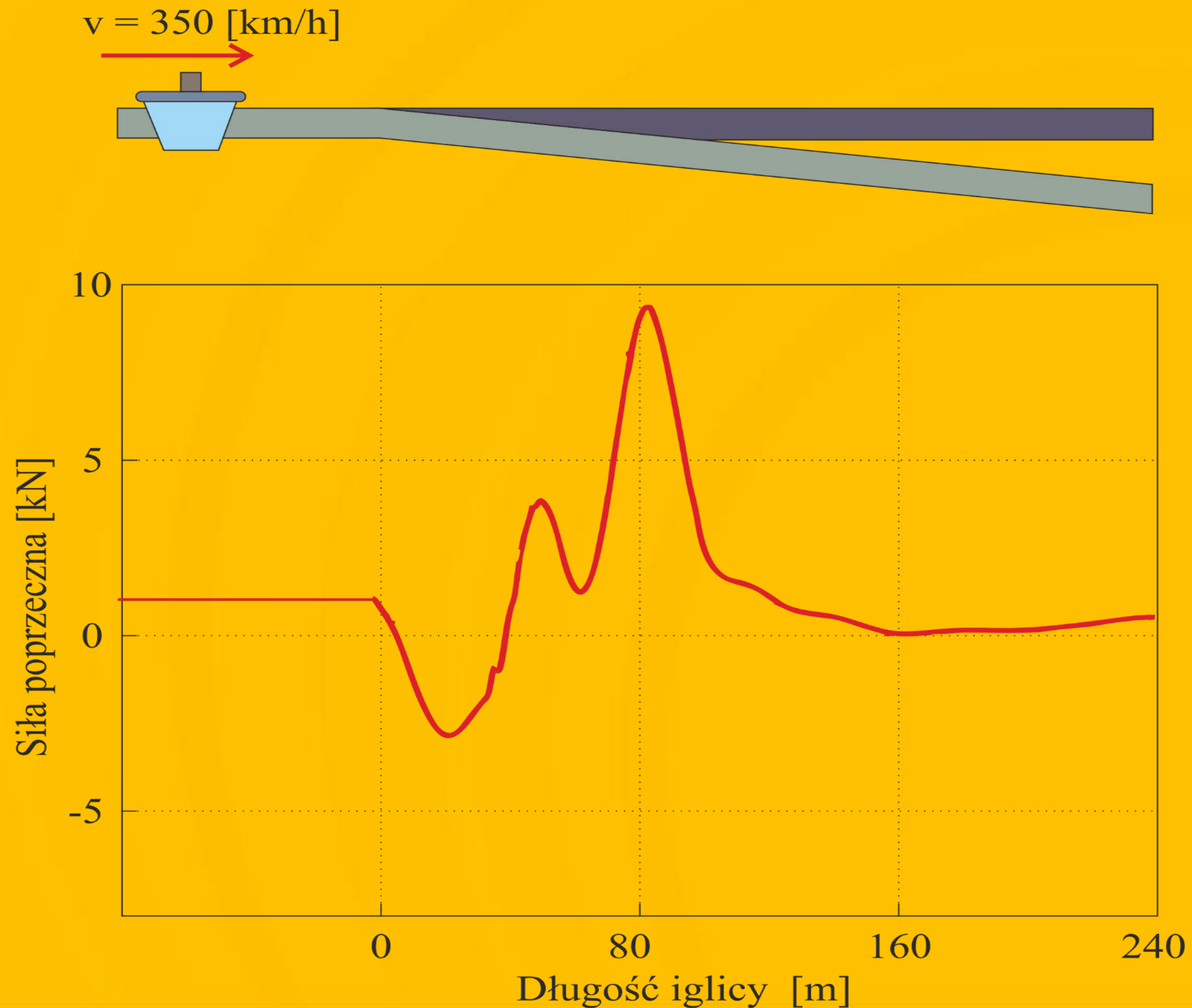
Rys. 44. Odkształcenie poprzeczne iglicy dla ruchu pojazdu po torze prostym



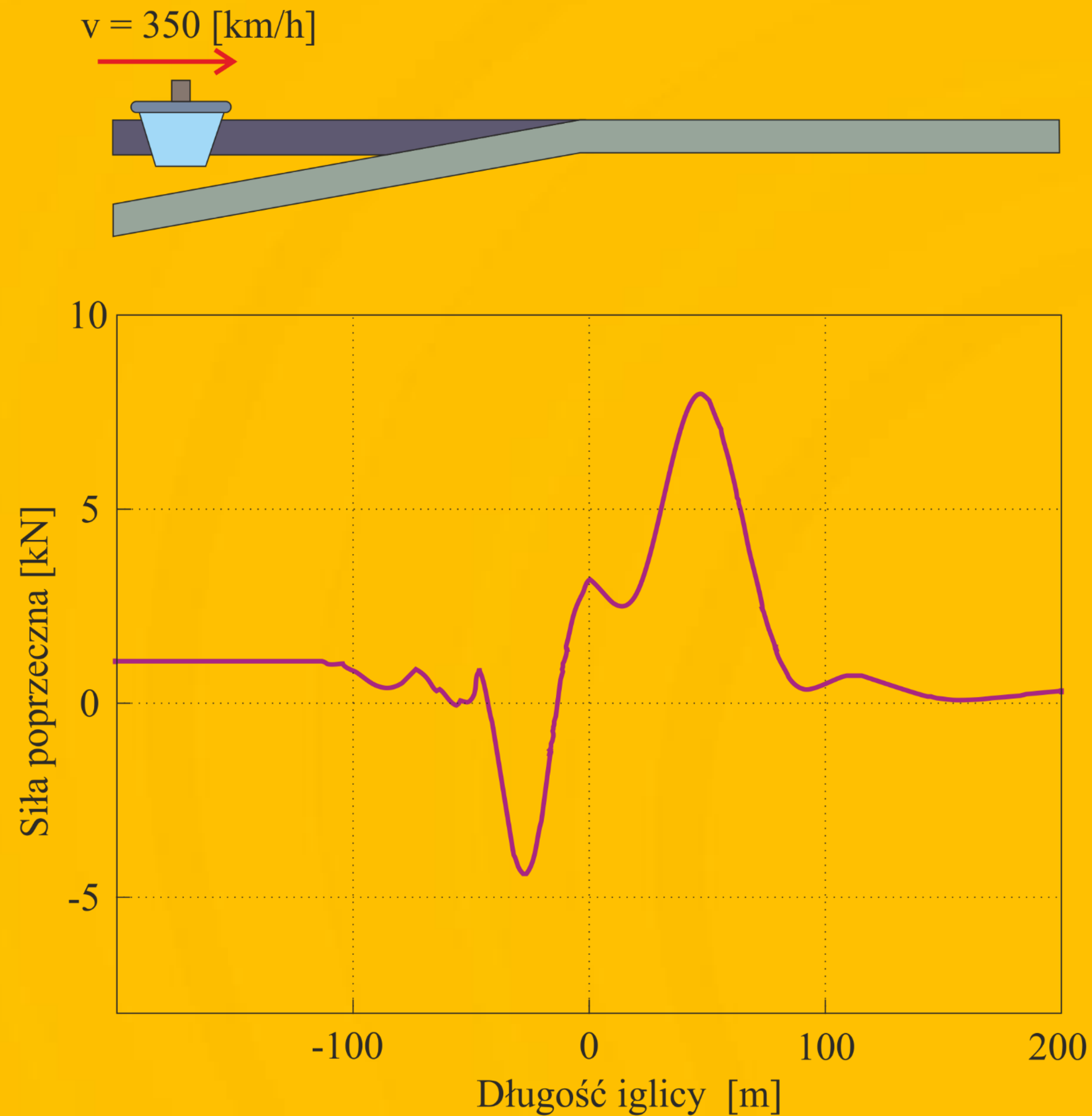
Rys. 45. Odkształcenie poprzeczne iglicy dla ruchu pojazdu po torze zwrotnym



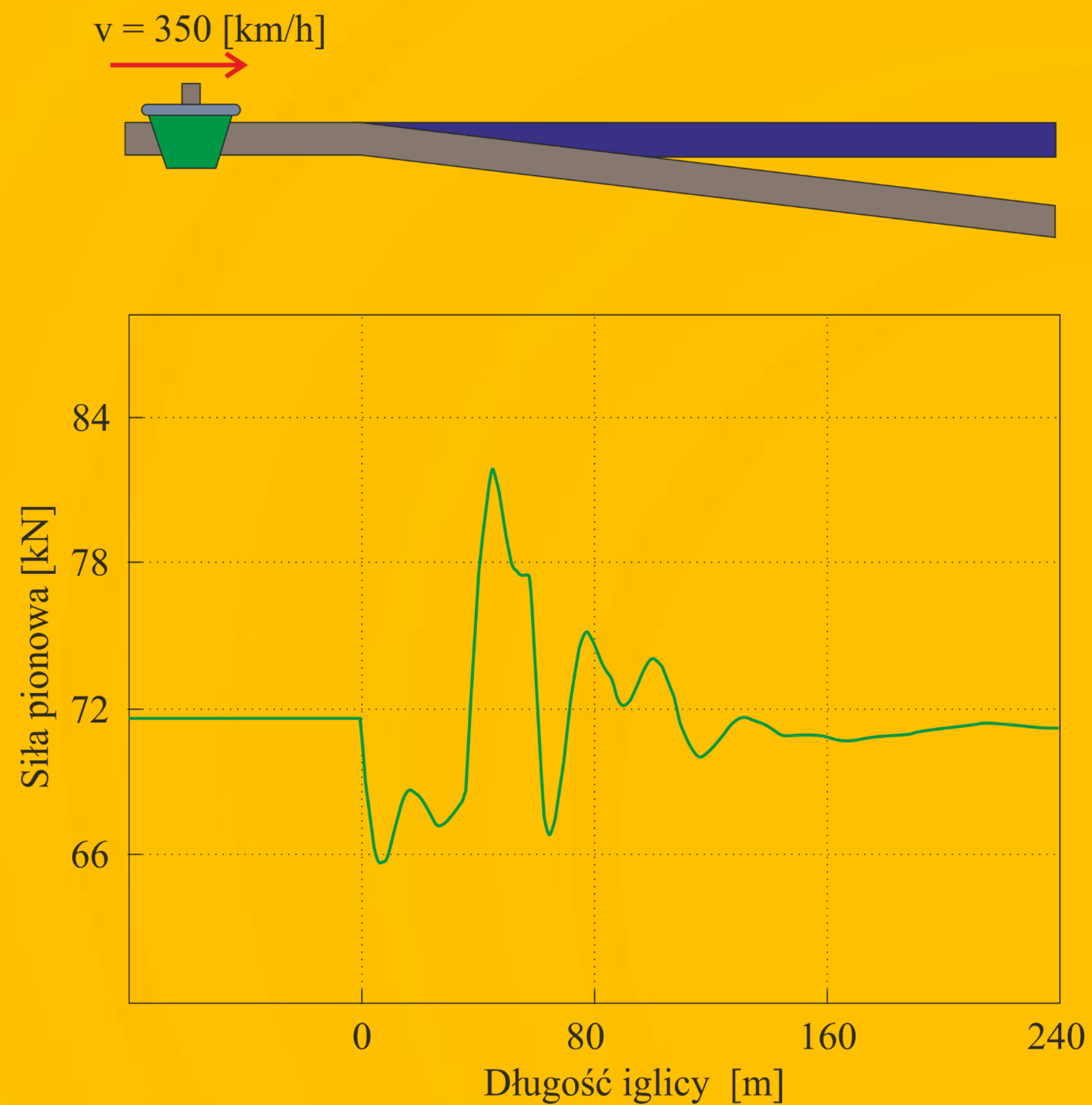
Siła poprzeczna zestawu kołowego na iglicy w torze zwrotnym



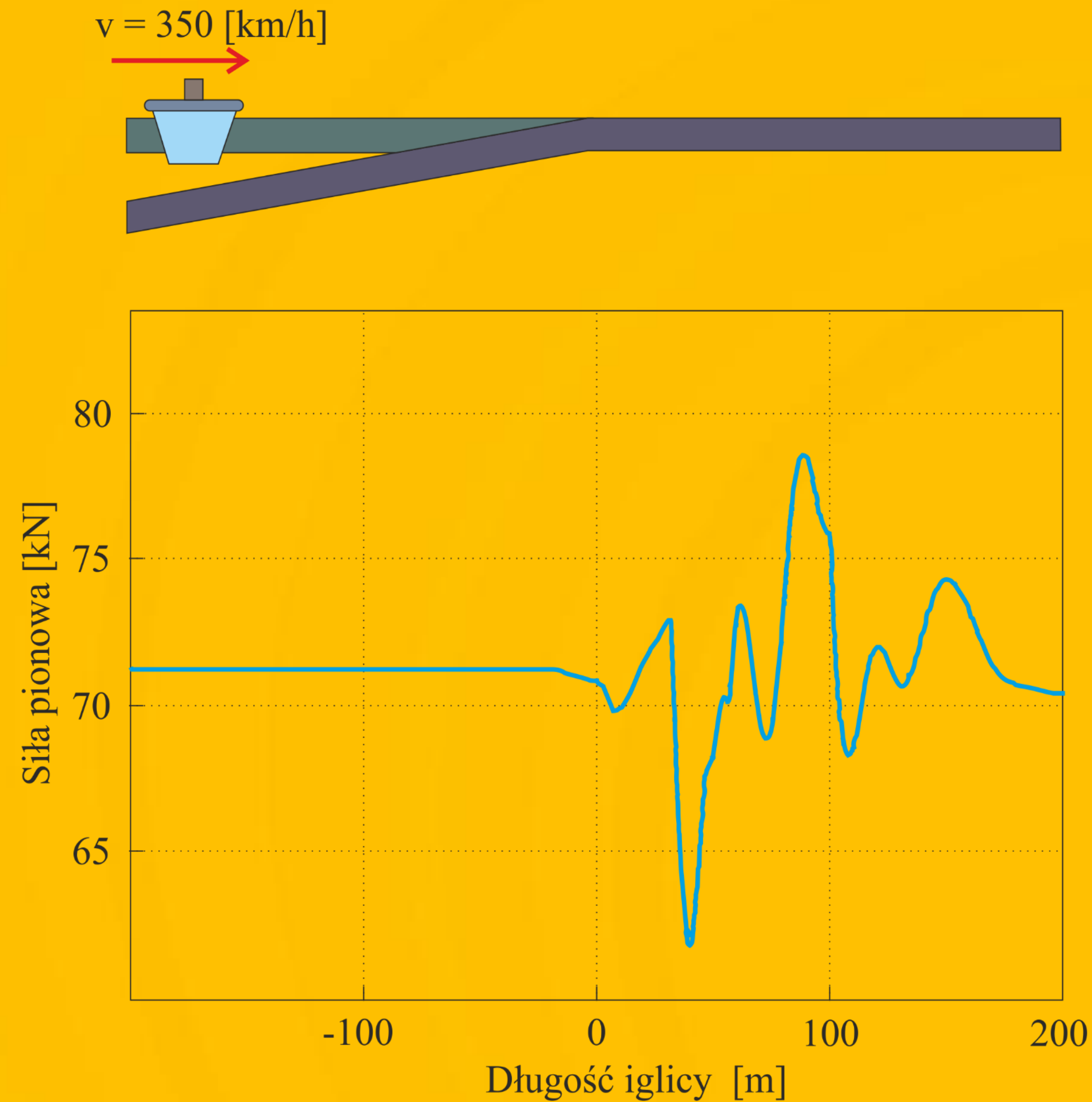
Siła poprzeczna zestawu kołowego na iglicy w torze prostym



Siła pionowa zestawu kołowego na iglicy w torze zwrotnym



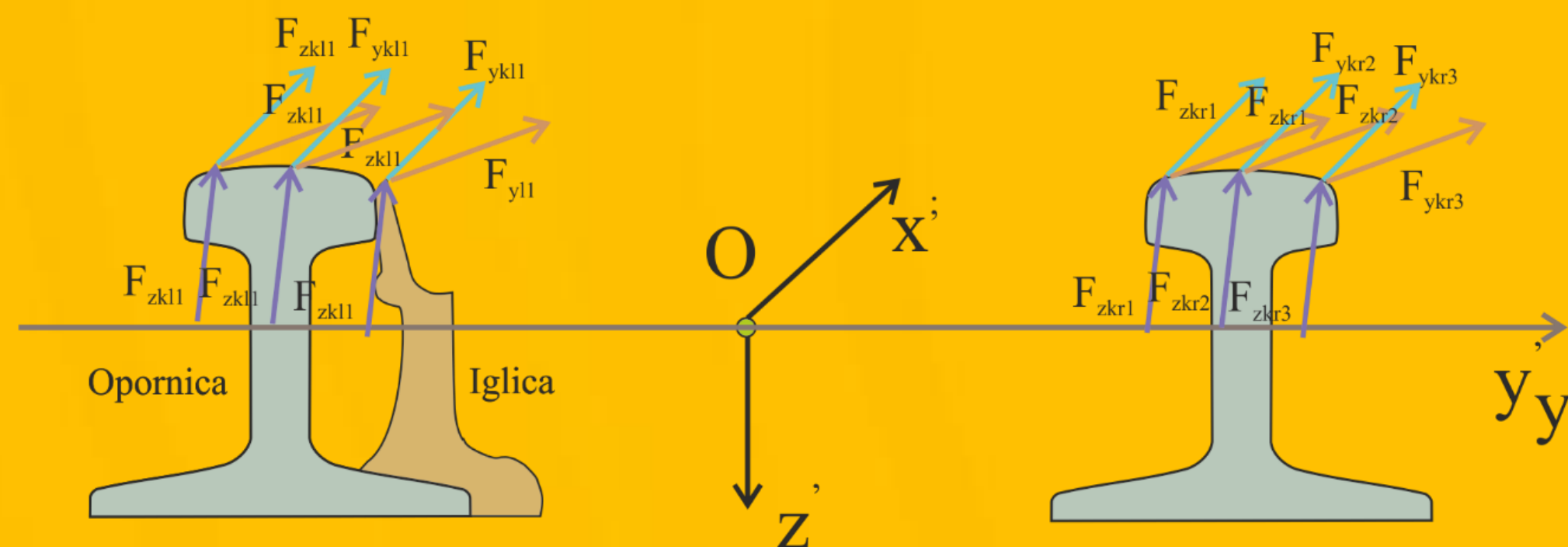
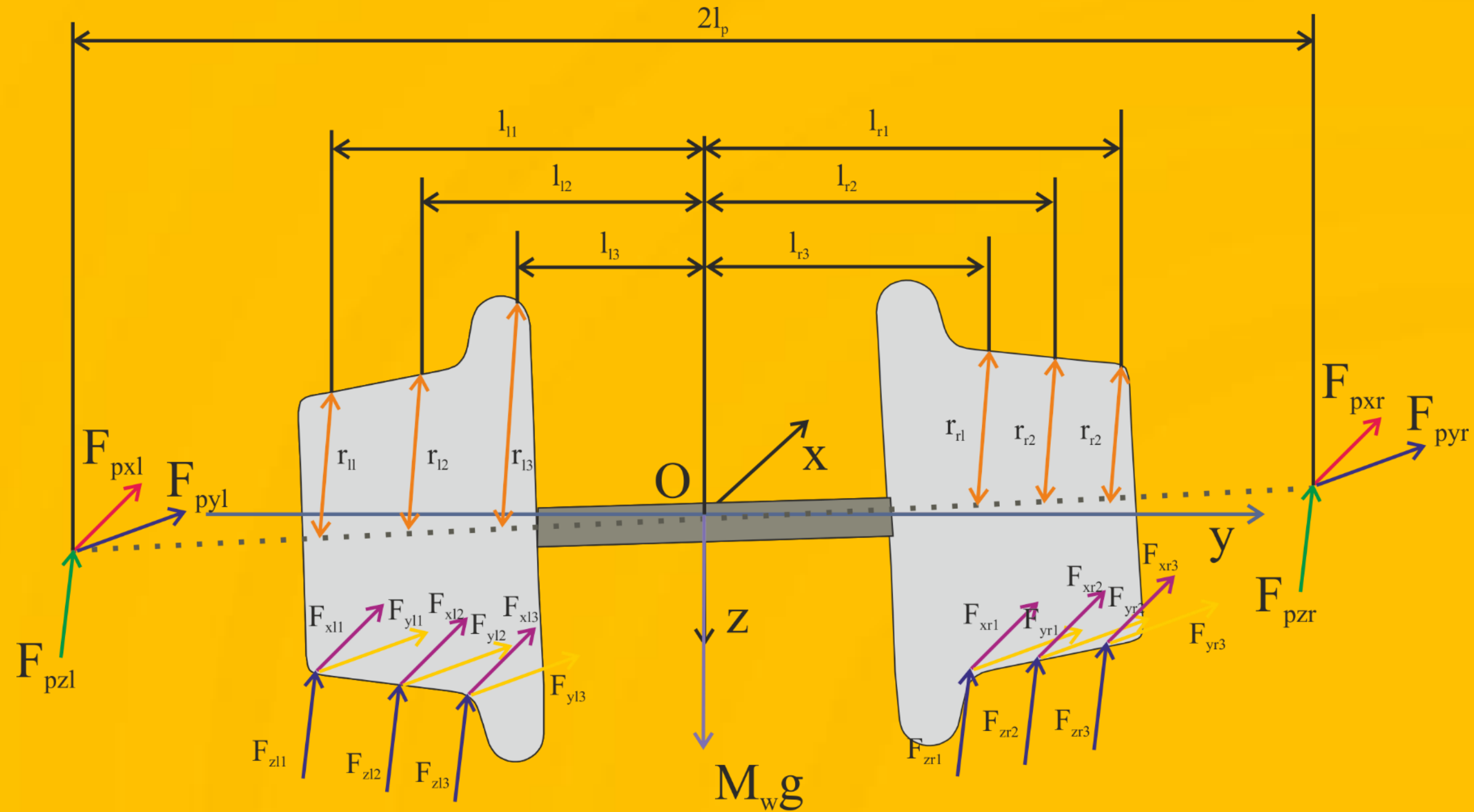
Siła pionowa zestawu kołowego na iglicy w torze prostym



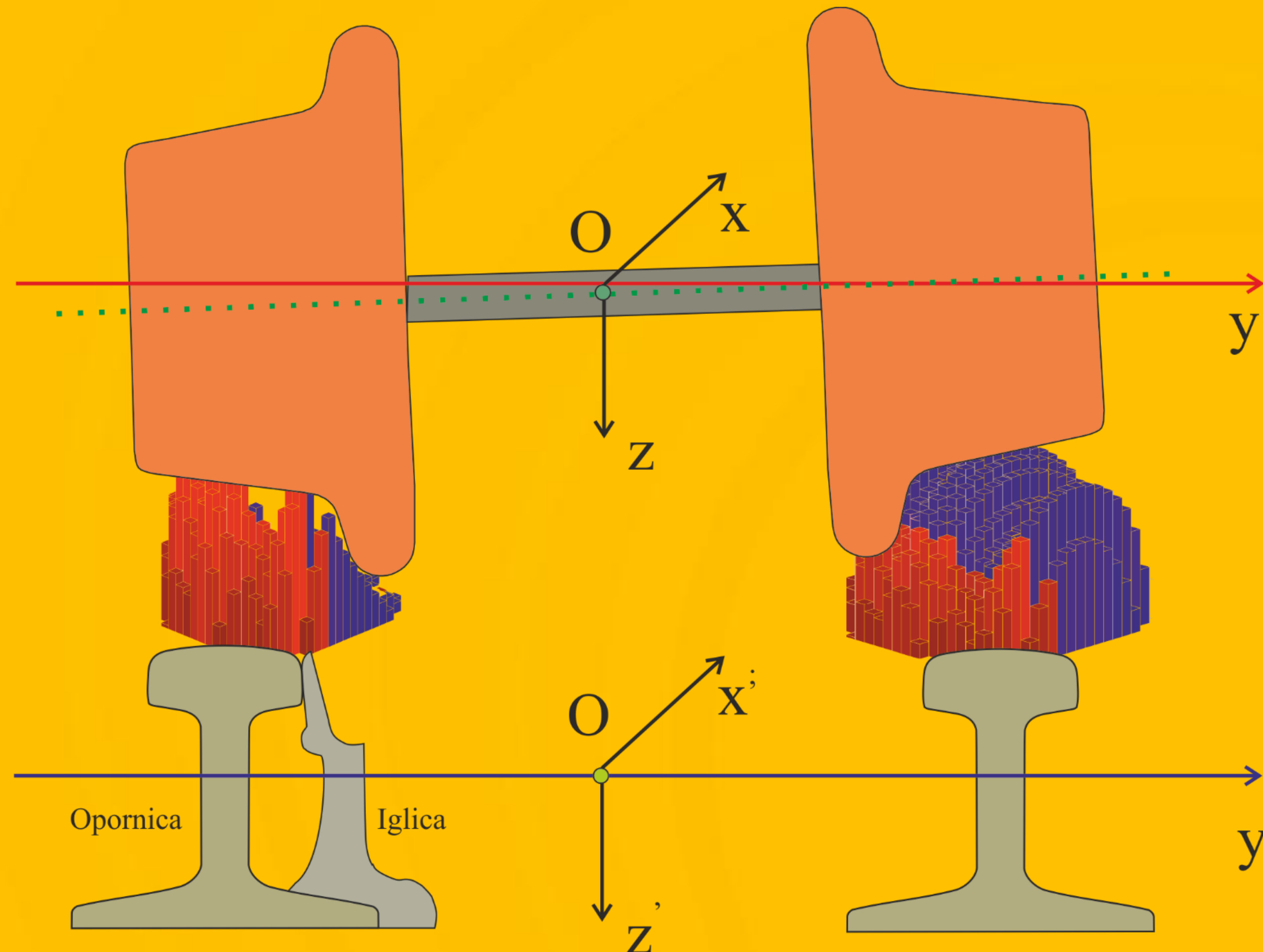
Przebiegi powierzchni kontaktowej na iglicy



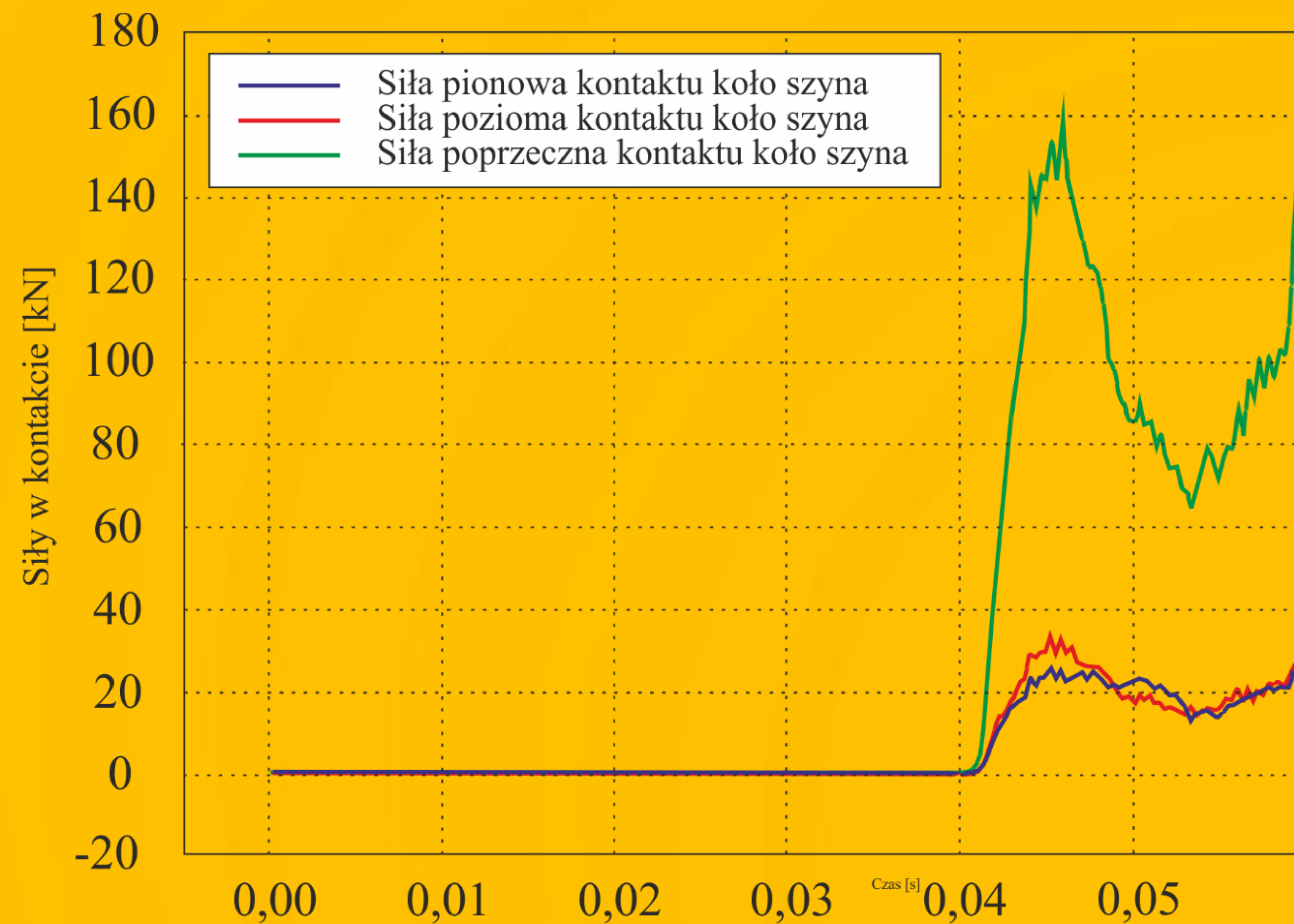
Siły na początku rozjazdu kolejowego - iglica



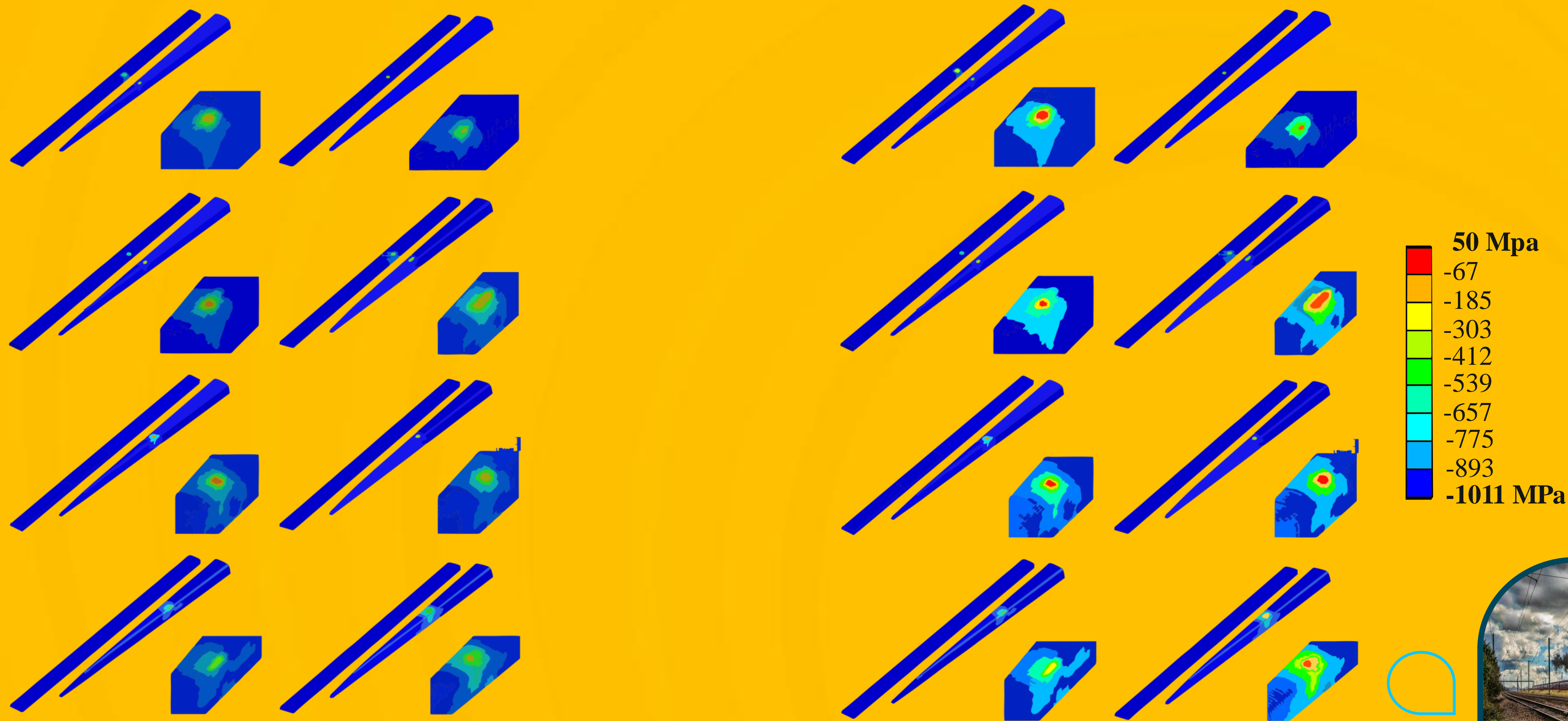
Powierzchnie kontaktowe koło iglica



Siły wstępujące w kontakcie koło iglica



Powierzchnie kontaktowe występujące na iglicy w przypadku obciążenia siłą normalną

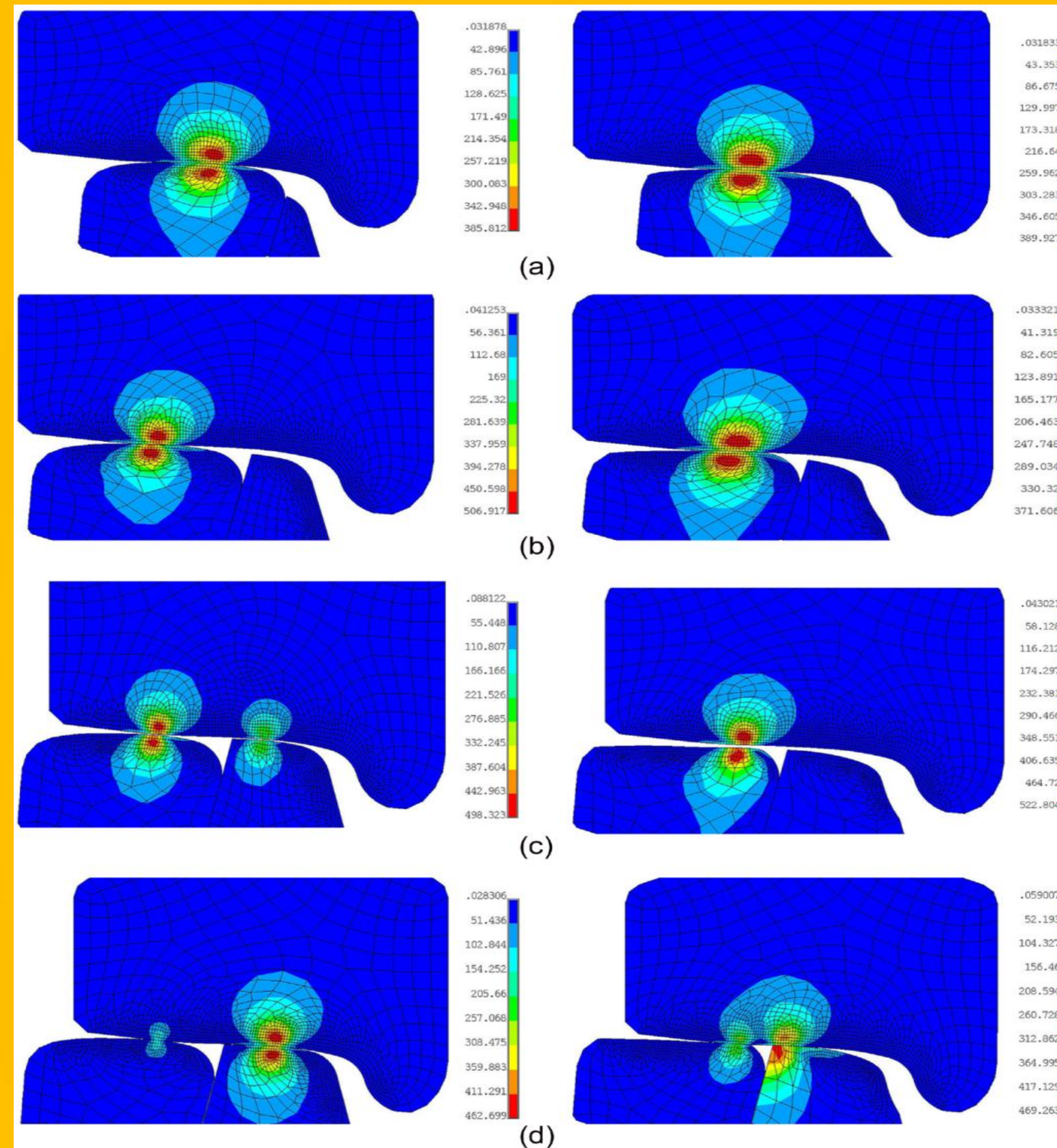


Rys. 54. Powierzchnie kontaktowe występujące na przypadku wystąpienia siły normalnej 12 kN

iglicy w Rys. 55. Powierzchnie kontaktowe występujące na iglicy w przypadku wystąpienia siły normalnej 15 kN



Symulacja modelu matematycznego dla wyznaczenia oscylacji iglicy i sił poprzecznych

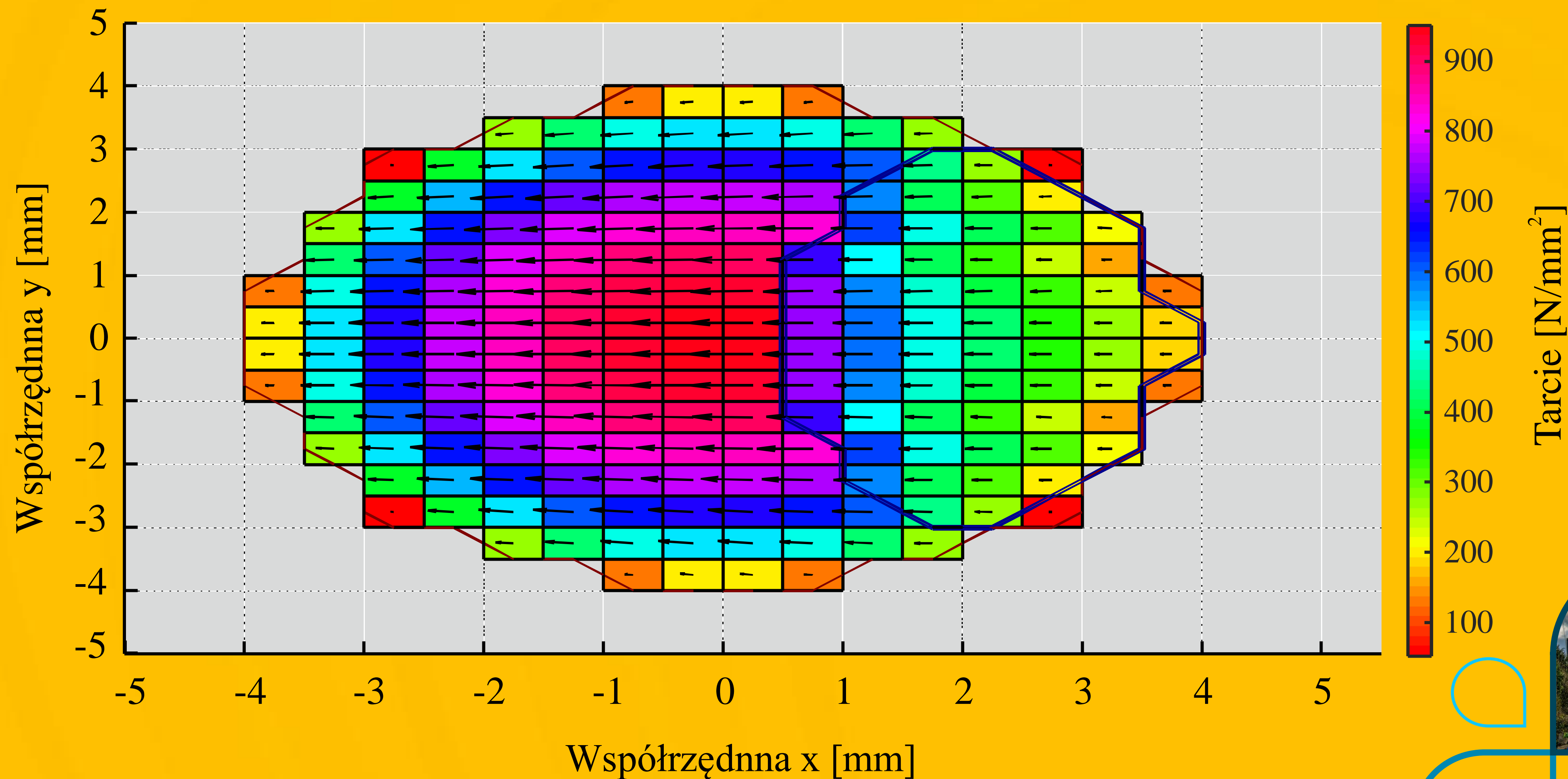


Rys. 56. Kontakt koło-szyna na rozjeździe kolejowym (iglica)



Zjawisko adhezji i tarcia w kontakcie szyna koło – iglica - symulacja

Tarcie w punkcie kontaktowym koło-szyna $p(t)$



Wnioski

- Przedstawione wyniki pokazują fragmenty wyników otrzymane w drodze symulacji dla trzech rodzajów zjawisk, które występują w obszarze iglicy. Autorzy posiadają wyniki dla wielu warunków symulacji w trzech obszarach dla różnych prędkości poruszających się pojazdów szynowych.
- Przedstawione wyniki dotyczą trzech zjawisk występujących na iglicy:
 - Po pierwsze postacie i częstości własne – mogą powodować sprzężenie dynamiczne z elementami pojazdu.
 - Po drugie wielkości sił i przemieszczeń występujące na iglicy przy przejeździe pojazdu z różnymi prędkościami po torze prostym i zwrotnym.
 - Po trzecie wielkości występujące w kontakcie koła z iglicą i szyną wg liniowej teorii Kalkera, otrzymane wyniki są różne od zjawisk w kontakcie koła z szyną.
- Przedstawiona metodologia może być stosowana dla innego typu rozjazdu – o większych promieniach krzywizny.

- Praca realizowana była w ramach projektu PBSTO/2015/067 pt. „System gromadzenia danych eksploatacyjnych i analizy niezawodności i bezpieczeństwa układów automatyki kolejowej”.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ