

Dr inż. Stanisław Warchoła, email: warchols@prz.edu.pl
Katedra Konstrukcji Maszyn, Politechnika Rzeszowska

KINEMATYKA ROLKOWYCH PRZEKŁADNI TOCZNYCH

Streszczenie: W artykule zaprezentowano rozkłady prędkości i wynikające z nich zależności dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych rolkowych przekładni tocznych. Przedstawiono metodę wyznaczania przesuw osiowego dla możliwych skojarzeń gwintów współpracujących elementów w różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych przekładni.

Słowa kluczowe: rolkowe przekładnie toczne, przesuw osiowy, wskaźnik kinematyczny

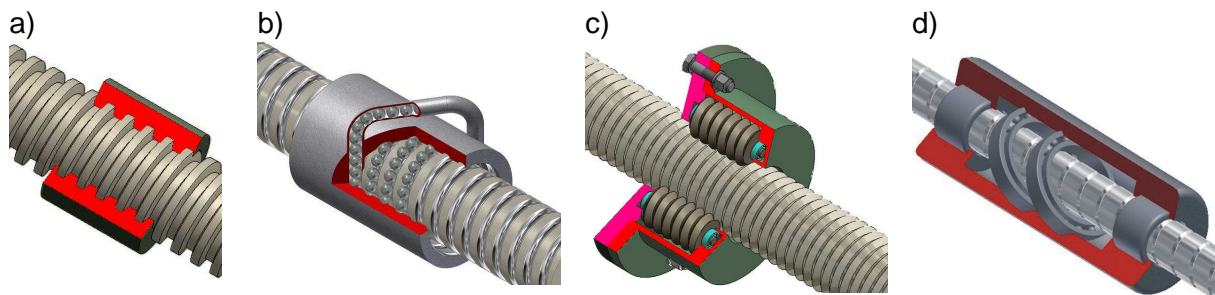
KINEMATICS OF THE ROLLER SCREW

Abstract: The article presents the speed distributions and the results effect for different design solutions of the roller screw. Additionally article presenting method of determining the axial displacements on collaboration thread shapes in different design solutions of the roller screw.

Keywords: roller screw, axial displacements, kinematic parameters

1. WPROWADZENIE

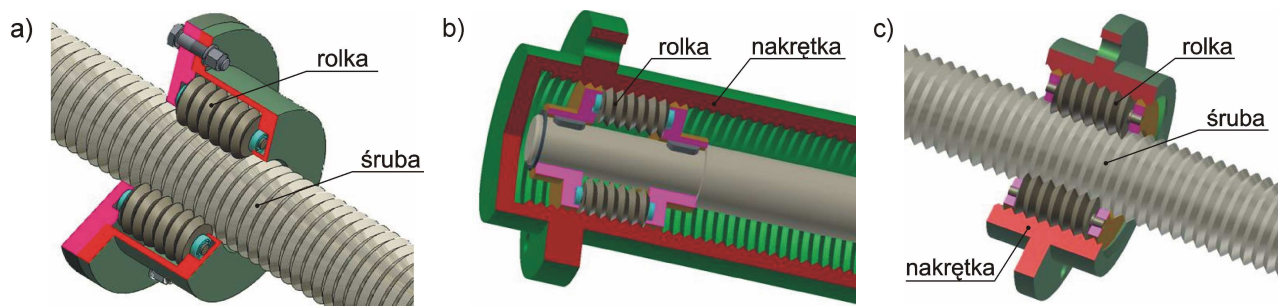
Do zamiany ruchu obrotowego na postępowy wykorzystywane są przekładnie typu zębniak – listwa zębata lub przekładnie śrubowe. Przekładnie śrubowe można podzielić na: parę śruby – nakrętką (rys.1a) lub przekładnie śrubowe toczne (rys.1b,c,d). Przekładnie te z kolei można podzielić ze względu na liczbę i rodzaj elementów pośrednich na: kulkowe (rys.1b), rolkowe (rys.1c), oraz przekładnie łożyskowe (rys.1d).



Rys.1. Przykłady przekładni śrubowych [3]: a) śruby – nakrętka, b) kulkowa przekładnia toczna, c) rolkowa przekładnia toczna, d) przekładnia łożyskowa

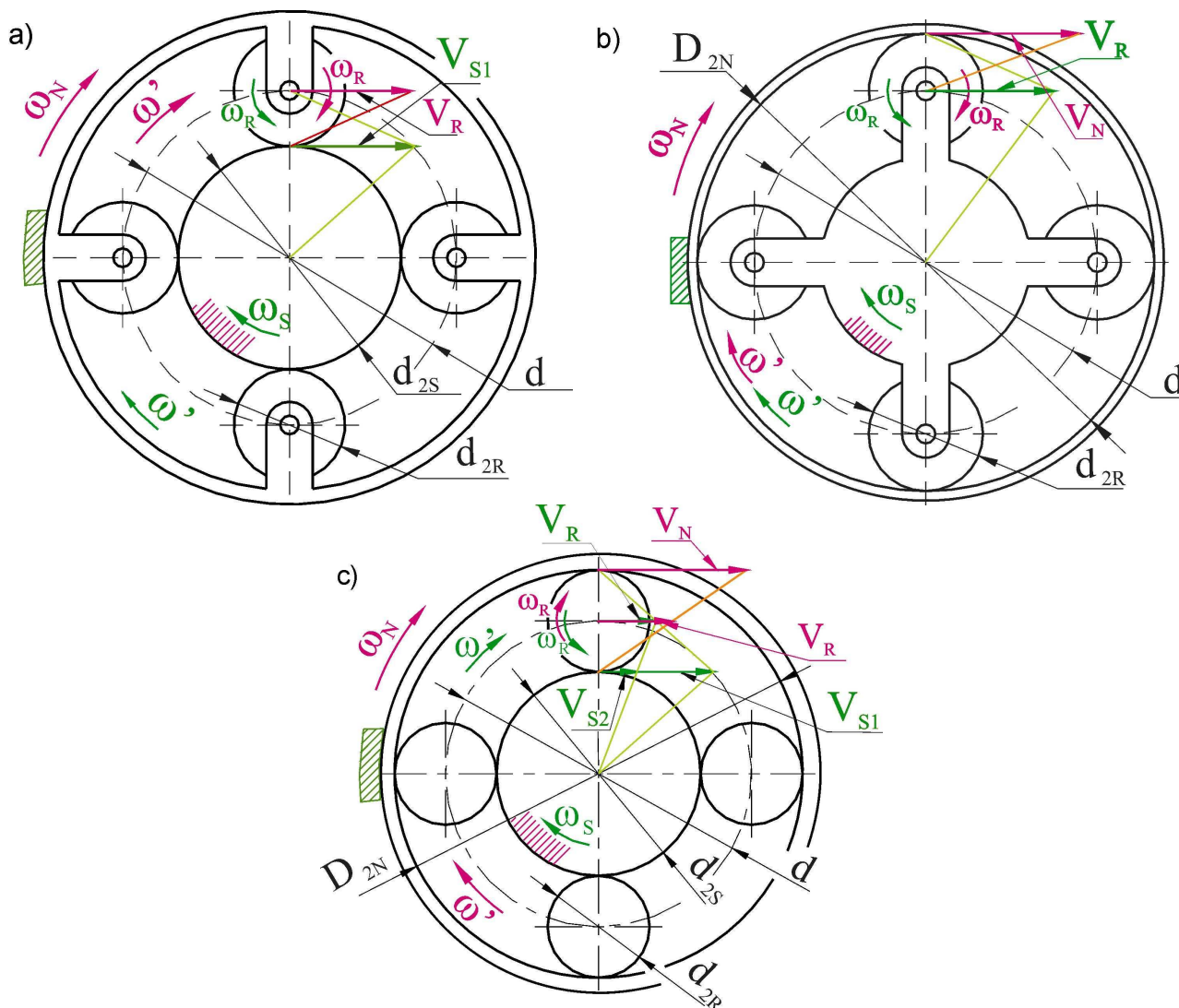
Niniejszym artykuł dotyczy analizy kinematyki rolkowych przekładni tocznych. W zależności od charakteru współpracy rolki, przekładnie te można podzielić na:

- przekładnie rolkowe o współpracy zewnętrznej; w tym typie przekładni rolka współpracuje jedynie ze śrubą (rys.2a),
- współpracy wewnętrznej, tutaj rolka współpracuje tylko z nakrętką (rys.2b),
- współpracy zewnętrznej i wewnętrznej, jest to najbardziej ogólne rozwiązanie, w tym rozwiązaniu rolka współpracuje jednocześnie ze śrubą i z nakrętką (rys.2c).



2. ZALEŻNOŚCI KINEMATYCZNE

Rolkową przekładnię toczną można rozpatrywać podobnie do przekładni planetarnej. Rozkłady prędkości i zależności z nich wynikające zależą od rozwiązania konstrukcyjnego. Kolorem zielonym przedstawiono prędkości dla rozwiązania gdy elementem napędzającym jest śruba (nieruchoma nakrętka), natomiast kolorem czerwonym w przypadku napędu pochodzącego od nakrętki (nieruchoma śruba).



Rys.3. Rozkład prędkości, kolor zielony – napęd od śruby, kolor czerwony – napęd od nakrętki: a) rolka umieszczona w korpusie nakrętki (współpraca tylko ze śrubą); b) rolka umieszczona w jarzmie na wałku (współpraca tylko z nakrętką); c) współpraca rolki ze śrubą i nakrętką jednocześnie.

Dla rozpatrywanych przypadków przedstawionych na rys.3 określono związki między prędkościami kątowymi i liniowymi [2], [4], które opisano zależnościami:

a). W przypadku gdy rolki są umieszczone w korpusie nakrętki (rys.3a):

dla napędu pochodzącego od śruby:

$$\begin{cases} \omega' = 0 \\ \omega_R = \omega_S \cdot \frac{d_{2S}}{d_{2R}} = \omega_S \cdot k \\ V_{S1} = \frac{\omega_S \cdot d_{2S}}{2} \end{cases} \quad (1)$$

dla napędu pochodzącego od nakrętki:

$$\begin{cases} \omega' = \omega_N \\ \omega_R = \omega_N \cdot \frac{d_{2S} + d_{2R}}{d_{2R}} = \omega_N \cdot (k+1) \\ V_R = \frac{\omega' \cdot d}{2} = \frac{\omega_N \cdot (d_{2S} + d_{2R})}{2} \end{cases} \quad (2)$$

b). W przypadku gdy rolki umieszczone są w jarzmie na wałku (rys.3b):

dla napędu pochodzącego od śruby:

$$\begin{cases} \omega' = \omega_S \\ \omega_R = \omega' \cdot \frac{d_{2S} + d_{2R}}{d_{2R}} = \omega_S \cdot (k+1) \\ V_R = \omega' \cdot \frac{d_{2S} + d_{2R}}{2} = \frac{\omega_S}{2} \cdot (k+1) \end{cases} \quad (3)$$

dla napędu pochodzącego od nakrętki:

$$\begin{cases} \omega' = 0 \\ V_N = \frac{\omega_N \cdot D_{2N}}{2} \\ \omega_R = \omega_N \cdot \frac{D_{2N}}{d_{2R}} \end{cases} \quad (4)$$

c) W przypadku rolki współpracują z oboma elementami (rys.3c):

dla napędu pochodzącego od śruby:

$$\begin{cases} \omega' = \frac{\omega_S}{2} \cdot \frac{d_{2S}}{d_{2S} + d_{2R}} = \frac{\omega_S}{2} \cdot \frac{k}{k+1} \\ \omega_R = \frac{\omega_S}{2} \cdot k \\ V_{S1} = \frac{\omega_S \cdot d_{2S}}{2} \\ V_R = \frac{1}{2} \cdot V_{S1} = \frac{\omega_S \cdot d_{2S}}{4} \\ V_{S2} = V_R \cdot \frac{d_{2S}}{d_{2S} + d_{2R}} = \frac{\omega_S \cdot k \cdot d_{2S}}{4 \cdot (k+1)} \end{cases} \quad (5)$$

dla napędu pochodzącego od nakrętki:

$$\begin{cases} \omega' = \omega_N \cdot \frac{d_{2S} + 2 \cdot d_{2R}}{2 \cdot (d_{2S} + d_{2R})} = \omega_N \cdot \frac{k+2}{2 \cdot (k+1)} \\ \omega_R = \omega_N \cdot \frac{d_{2S} + 2 \cdot d_{2R}}{2 \cdot d_{2R}} = \omega_N \cdot \frac{k+2}{2} \\ V_N = \frac{\omega_N \cdot D_{2N}}{2} = \frac{\omega_N \cdot (d_{2S} + 2 \cdot d_{2R})}{2} \\ V_R = \frac{1}{2} \cdot V_N = \frac{\omega_N \cdot (d_{2S} + 2 \cdot d_{2R})}{4} \end{cases} \quad (6)$$

gdzie:

$\omega_S, \omega_R, \omega_N, \omega'$ – prędkości kątowe odpowiednio: śruby, rolki, nakrętki, unoszenia rolki;
 d_{2S}, d_{2R}, D_{2N} – średnice toczne gwintu odpowiednio: śruby, rolki, nakrętki;
 d – średnica rozmieszczenia rolek,

k – parametr określony zależnością:

$$k = \frac{d_{2S}}{d_{2R}} \quad (7)$$

3. WSKAŹNIK KINEMATYCZNY

Poza zależnościami wiążącymi prędkości w ruchu obrotowym do kinematyki należy również wskaźnik kinematyczny będący ważnym parametrem przekładni śrubowej. Wskaźnik kinematyczny przekładni śrubowej jest to wartość przesuwu osiowego elementu biernego przypadająca na jeden obrót elementu czynnego (napędzającego). W analizie wskaźnika kinematycznego rolkowej przekładni tocznej rozpatrzone zostaną następujące przypadki rozwiązań konstrukcyjnych, w których rolka współpracuje:

- tylko ze śrubą,
- ze śrubą i nakrętką jednocześnie,
- tylko z nakrętką.

Przy napędzie pochodzącym od:

- śruby,
- nakrętki.

Analizę przeprowadzono dla wszystkich możliwych kombinacji par gwintów: śruba – rolka (tab.1), oraz rolka – nakrętka (tab.2).

Tabela 1. Możliwe skojarzenia par gwintów pary śruba – rolka

	a	b	c	d	E	f	g	h	i	j	k
śruba	$\gamma_S > 0$	$\gamma_S > 0$	$\gamma_S > 0$	$\gamma_S > 0$	$\gamma_S = 0$	$\gamma_S = 0$	$\gamma_S = 0$	$\gamma_S < 0$	$\gamma_S < 0$	$\gamma_S < 0$	$\gamma_S < 0$
rolka	$\gamma_R = 0$	$\gamma_R > 0$	$\gamma_R < 0$	$\gamma_R < 0$	$\gamma_R = 0$	$\gamma_R < 0$	$\gamma_R > 0$	$\gamma_R = 0$	$\gamma_R < 0$	$\gamma_R > 0$	$\gamma_R > 0$
			$ \gamma_S > \gamma_R $	$ \gamma_S < \gamma_R $						$ \gamma_S > \gamma_R $	$ \gamma_S < \gamma_R $

Tabela 2. Możliwe skojarzenia par gwintów pary nakrętka – rolka

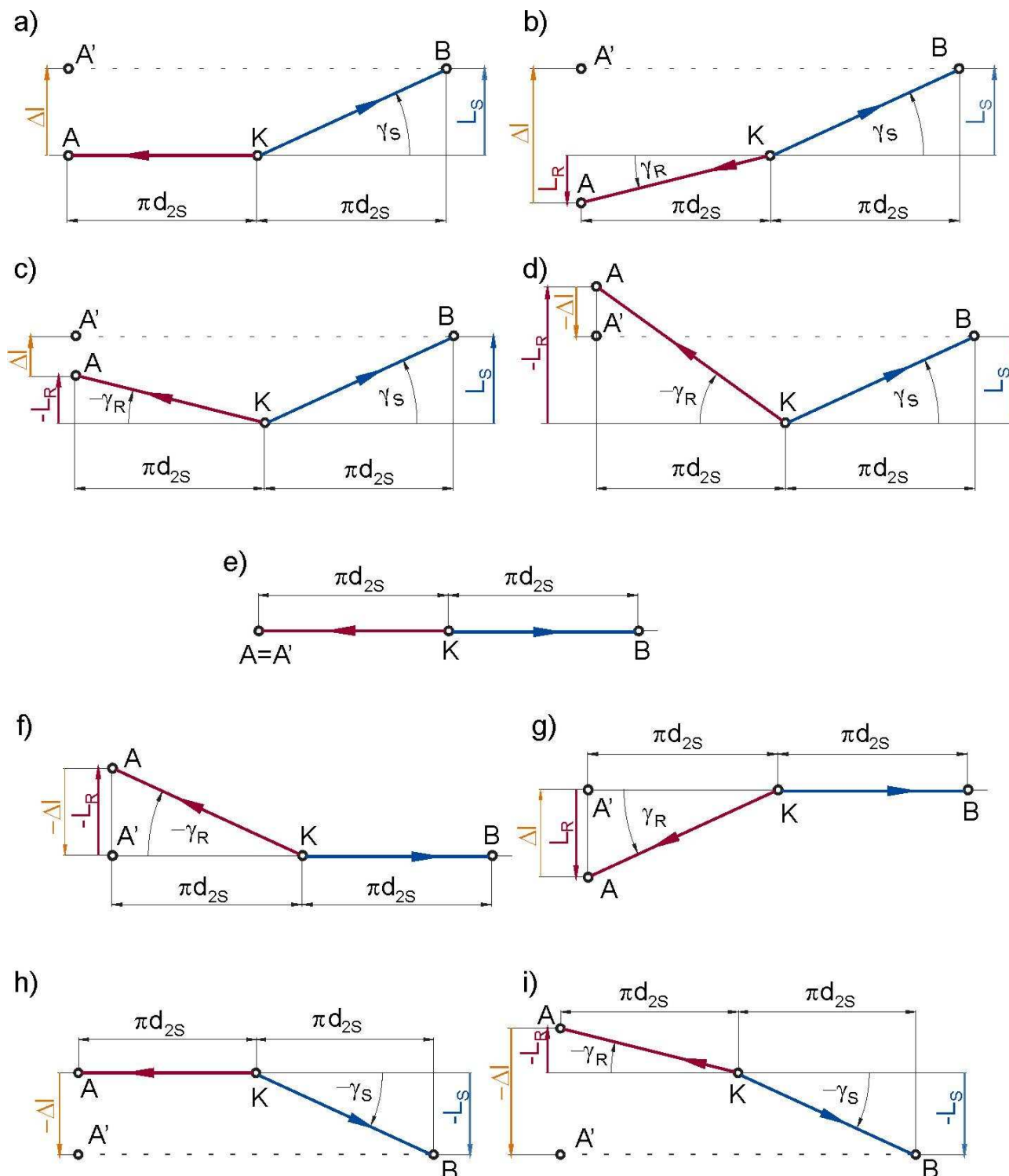
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
nakrętka	$\gamma_N > 0$	$\gamma_N > 0$	$\gamma_N > 0$	$\gamma_N > 0$	$\gamma_N = 0$	$\gamma_N = 0$	$\gamma_N = 0$	$\gamma_N < 0$	$\gamma_N < 0$	$\gamma_N < 0$	$\gamma_N < 0$
rolka	$\gamma_R = 0$	$\gamma_R < 0$	$\gamma_R > 0$	$\gamma_R > 0$	$\gamma_R = 0$	$\gamma_R < 0$	$\gamma_R > 0$	$\gamma_R = 0$	$\gamma_R > 0$	$\gamma_R < 0$	$\gamma_R < 0$
			$ \gamma_N > \gamma_R $	$ \gamma_N < \gamma_R $						$ \gamma_N > \gamma_R $	$ \gamma_N < \gamma_R $

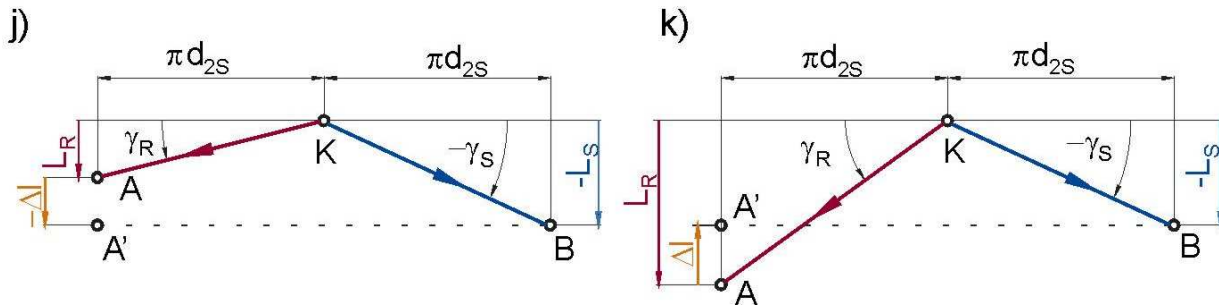
gdzie:

$\gamma_i > 0$ oznacza prawy gwint na i-tym elemencie ($\gamma_S > 0$ – śruba posiada gwint prawy),
 $\gamma_i = 0$ na i-tym elemencie są tylko pierścienie kołowe – nie występuje gwint,
 $\gamma_i < 0$ oznacza lewy gwint na i-tym elemencie.

3.1. WSKAŹNIK KINEMATYCZNY DLA PARY ŚRUBA – ROLKA, ROLKA WSPÓŁPRACUJE TYLKO ZE ŚRUBĄ

Dla przypadku współpracy rolki tylko ze śrubą i napędu pochodzącego od śruby analiza została przeprowadzona m.in. w [1] nie zawierała on jednak wszystkich możliwych skojarzeń gwintów. Ponadto sposób wyznaczania został opisany również w [3] dlatego też przedstawione tutaj zostaną tylko schematy dla zawartych w tab.1 możliwych skojarzeń kierunków pochylenia gwintu współpracujących elementów (śruby z rolką) obrazujące przesunięcie osiowe rolki względem śruby (rys.4a-k). Śrubę zaznaczono kolorem niebieskim, rolkę – brązowym.





Rys.4. Schematy przesunięcia osiowego rolki w rolkowej przekładni śrubowej dla współpracy tylko ze śrubą dla skojarzeń gwintów pokazane w tabeli 1; gdzie: γ_S, γ_R – kąt wznosu linii śrubowej odpowiednio: śruby, rolki

Dla każdego z przedstawionych przypadków przyjmując za dodatnią wartość przesuwu rolki przesuw wynikający z kierunku wznosu linii śrubowej śruby przesunięcie osiowe Δl rolki względem śruby odniesione do jednego obrotu śruby opisane jest zależnością:

$$\Delta l = \pi \cdot d_{2S} \cdot \left(\operatorname{tg} |\gamma_S| \mp \operatorname{tg} |\gamma_R| \right) \quad (8)$$

Znak „+” jest dla zgodnych kierunków pochylenia linii śrubowej gwintu śruby i rolki, natomiast znak „-” dla przeciwnych kierunków. Podstawiając zależność na kąt wznosu linii śrubowej gwintu otrzymano inną wersję wzoru (8):

$$\Delta l = P \cdot \left(n_S \mp k \cdot n_R \right) \quad (9)$$

gdzie:

n_S, n_R – krotność gwintu odpowiednio śruby i rolki,
 P – podziałka gwintu

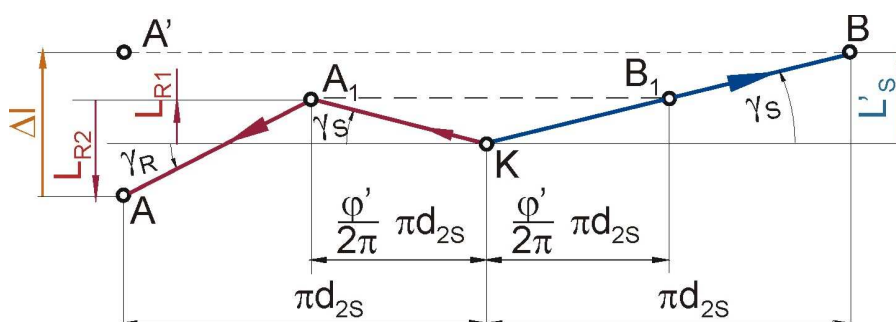
Korzystając z zależności (9) otrzymano wielkość przesunięcia osiowego rolki względem śruby przy zadanym kącie obrotu śruby φ_S w postaci:

$$\Delta l' = \frac{\varphi_S}{2 \cdot \pi} \cdot P \cdot \left(n_S \mp k \cdot n_R \right) \quad (10)$$

3.2. WSKAŹNIK KINEMATYCZNY DLA PARY ŚRUBA – ROLKA, ROLKA WSPÓŁPRACUJE Z OBOMA ELEMENTAMI

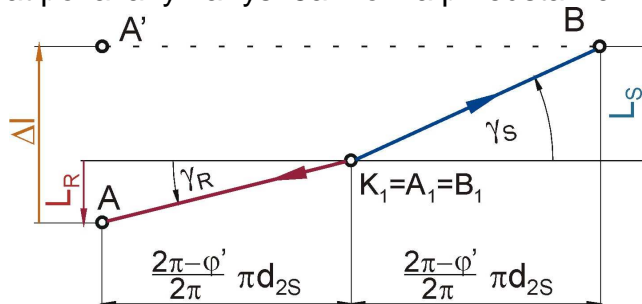
W przypadku gdy rolka współpracuje jednocześnie z oboma elementami (śrubą i nakrętką), gdy członem czynnym jest śruba (rys. 3c), a prędkości kątowe opisane zależnością (5) wartość przesuwu rolki względem śruby na jeden jej obrót wyznacza się w następujący sposób. W wyniku obrotu śruby o jeden obrót punkt K będący punktem styku śruby z rolką pokona drogę $\pi \cdot d_{2S}$ i znajdzie się na śrubie w punkcie B. Wynikiem czego jest jego przesunięcie w kierunku osiowym o wartość L'_S . W tym samym czasie ten punkt na rolce w wyniku obrotu rolki względem osi śruby o kąt φ' pokona drogę $(\varphi' / (2 \cdot \pi)) \cdot \pi \cdot d_{2S}$ i znajdzie się on w punkcie A_1 . Co skutkuje przesunięciem osiowym o wartość L_{R1} , spowoduje to również przemieszczenie punktu styku na śrubie z punktu K do punktu B_1 . Ponadto punkt styku leżący na rolce pokona pozostałą drogę $[1 - \varphi' / (2 \cdot \pi)] \cdot \pi \cdot d_{2S}$ i znajdzie się w punkcie A, co skutkuje dodatkowym przesunięciem w kierunku osiowym o wartość L_{R2} . Podobnie jak w poprzednio opisanym przypadku ze względu na zachowanie ciągłości styku punkt A powinien się znaleźć w punkcie A' , czyli rolka musi przesunąć się w kierunku osiowym o wartość Δl . Na rys. 5a przedstawiono schemat przesuwu osiowego rolki względem śruby dla jednego z możliwych skojarzeń

gwintów współpracujących elementów. Punkty A_1 i B_1 określają położenie kolejnego punktu styku wynikłego z ruchu obrotowego rolki względem osi śruby.



Rys.5a Schemat przesunięcia osiowego rolki względem śruby w rolkowej przekładni tocznej dla współpracy ze śrubą i nakrętką; śruba i rolka posiadają gwint prawy

Wobec czego schemat pokazany na rys. 5a można przedstawić w postaci (rys.5b):

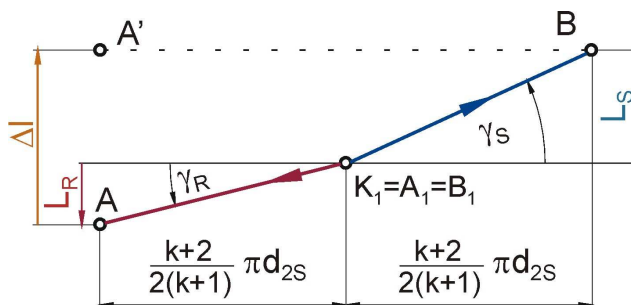


Rys.5b. Przekształcony schemat przesunięcia osiowego rolki względem śruby w rolkowej przekładni tocznej dla współpracy ze śrubą i nakrętką; śruba i rolka posiadają gwint prawy

Na podstawie schematu przedstawionego na rys. 5b wynika, że śruba obracając się wokół własnej osi o kąt φ_S w rzeczywistości wykona obrót względny wokół własnej osi względem nowego położenia punktu styku K_1 o kąt φ'_S będący różnicą kątów $\varphi_S - \varphi'$. Na podstawie zależności (5) otrzymano powiązania kątów obrotu φ_i z kątem obrotu śruby φ_S :

$$\begin{cases} \varphi' = \frac{k}{2 \cdot (k+1)} \cdot \varphi_S \\ \varphi_R = \frac{k}{2} \cdot \varphi_S \end{cases} \quad (11)$$

Korzystając z zależności (11) otrzymano inną postać schematu pokazanego na rys. 5b:



Rys.5c. Uproszczony schemat przesunięcia osiowego rolki względem śruby w rolkowej przekładni tocznej dla współpracy ze śrubą i nakrętką; śruba i rolka posiadają gwint prawy

Analizując przypadek przedstawiony na rys.5c. można zauważyć podobieństwo do przypadku z rys.4b. Analogiczne podobieństwo występuje między rysunkami przedstawiającymi wielkość przesuwu osiowego dla odpowiednich skojarzeń gwintu pokazanych w tabeli 1. Na podstawie powyższego stwierdzenia wielkość przesuwu osiowego Δl dla tego rozwiązania konstrukcyjnego wykorzystując podobieństwo do wzoru (8) opisuje zależność:

$$\Delta l = \frac{k+2}{2 \cdot (k+1)} \cdot \pi \cdot d_{2S} \cdot \left(\operatorname{tg} |\gamma_S| \mp \operatorname{tg} |\gamma_R| \right) \quad (12)$$

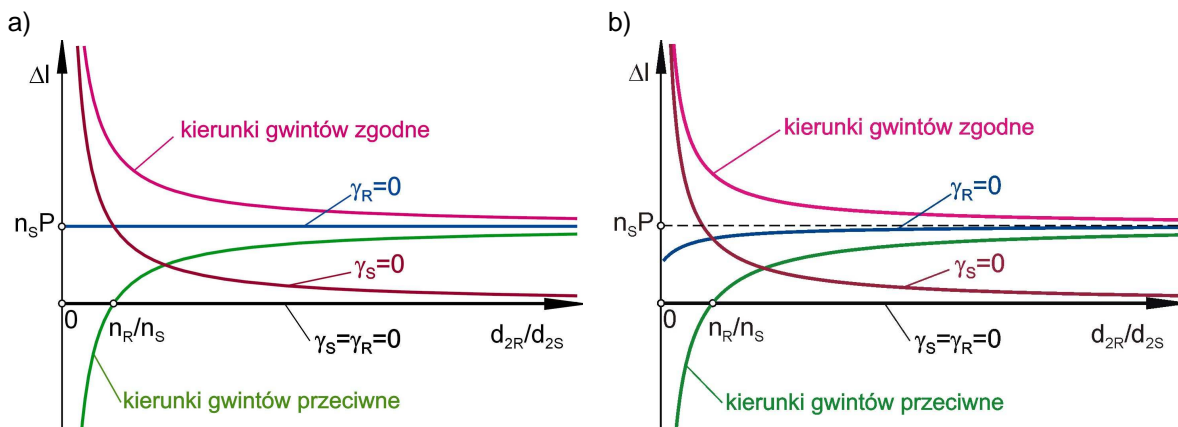
Przekształcając otrzymano inną wersję wzoru (12):

$$\Delta l = \frac{k+2}{2 \cdot (k+1)} \cdot P \cdot \left(n_S \mp k \cdot n_R \right) \quad (13)$$

Na podstawie wzoru (13) otrzymano wielkość przesunięcia osiowego rolki względem śruby przy zadanym kącie obrotu śruby φ_S :

$$\Delta l' = \frac{\varphi_S}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{k+2}{2 \cdot (k+1)} \cdot P \cdot \left(n_S \mp k \cdot n_R \right) \quad (14)$$

Wykonując modyfikację wykresu [1] zależności przesunięcia Δl na jeden obrót śruby w funkcji parametru $1/k = d_{2R}/d_{2S}$ przybierze postać jak na rys. 6.



Rys.6. Zależność przesunięcia osiowego Δl od stosunku średnic d_{2R}/d_{2S} , dla przypadku: a) rolka współpracuje jedynie ze śrubą, b) rolka współpracuje jednocześnie z oboma elementami.

Analizując funkcje $\Delta l(d_{2R}/d_{2S})$ przedstawione na rys. 6 można zauważyć, że wraz ze wzrostem średnicy tocznej gwintu rolki d_{2R} (przy stałej średnicy śruby d_{2S}) osiowe przemieszczenie rolek dąży do wartości równej skokowi gwintu śruby.

W przypadku przeciwnych kierunków pochylenia linii śrubowych, gdy stosunek średnic tocznych rolki d_{2R} do śruby d_{2S} jest równy stosunkowi ich krotności gwintów n_R/n_S

przesunięcie nie występuje. Z rys. 6 widać że dla parametru $\frac{d_{2R}}{d_{2S}} < \frac{n_R}{n_S}$ przesuw rolki

względem śruby będzie w przeciwną stronę niż przesuw wynikający z kierunku wzniosu linii śrubowej śruby.

NAPĘD OD NAKRĘTKI:

W przypadku, gdy napęd pochodzi od nakrętki, wielkość przesuwu osiowego rolki względem śruby na jeden jej obrót ma przeciwny zwrot niż w przypadku napędu od śruby. Wobec czego wartości przesunięć osiowych rolki względem śruby przy napędzie pochodzącym od nakrętki oblicza się z zależności:

- dla przypadku gdy rolka współpracuje jedynie ze śrubą:

$$\Delta l = -P \cdot (n_S \mp k \cdot n_R) \quad (15)$$

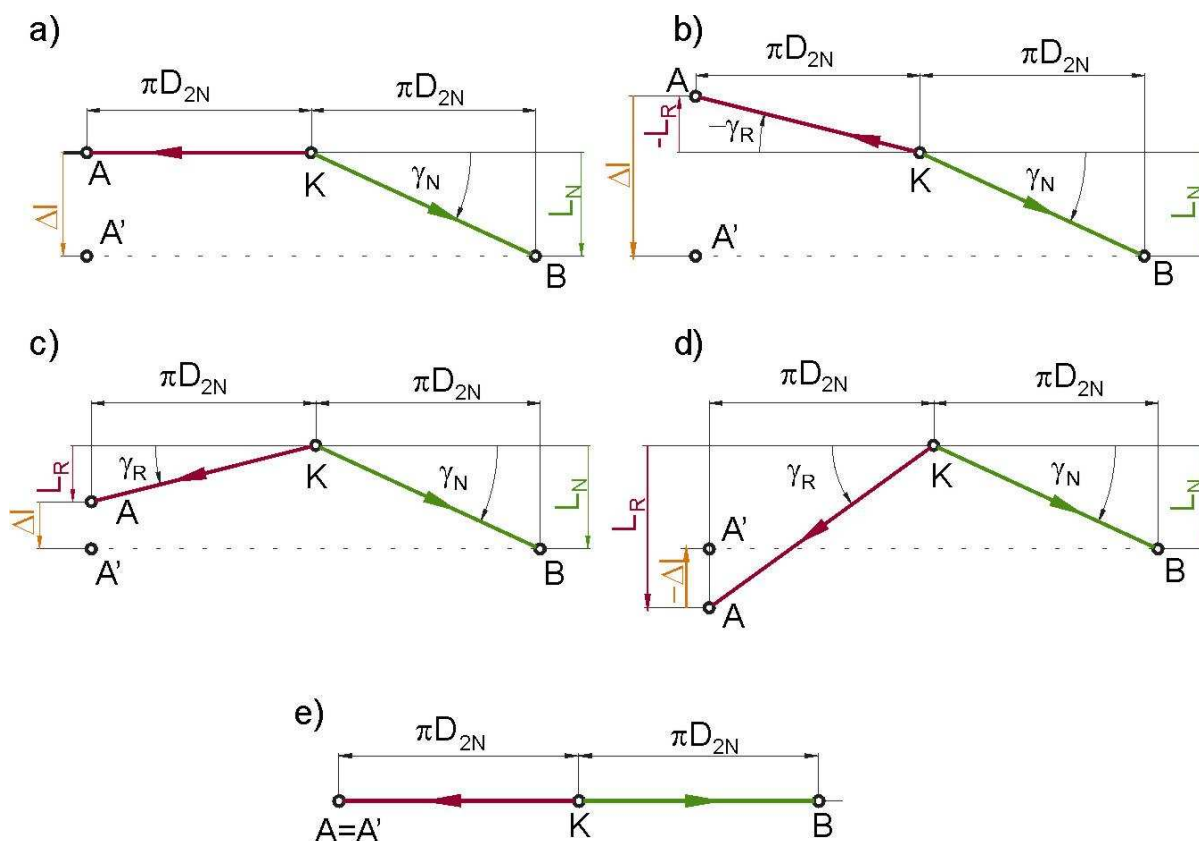
- dla przypadku, w którym rolka współpracuje jednocześnie z oboma elementami (śrubą i nakrętką):

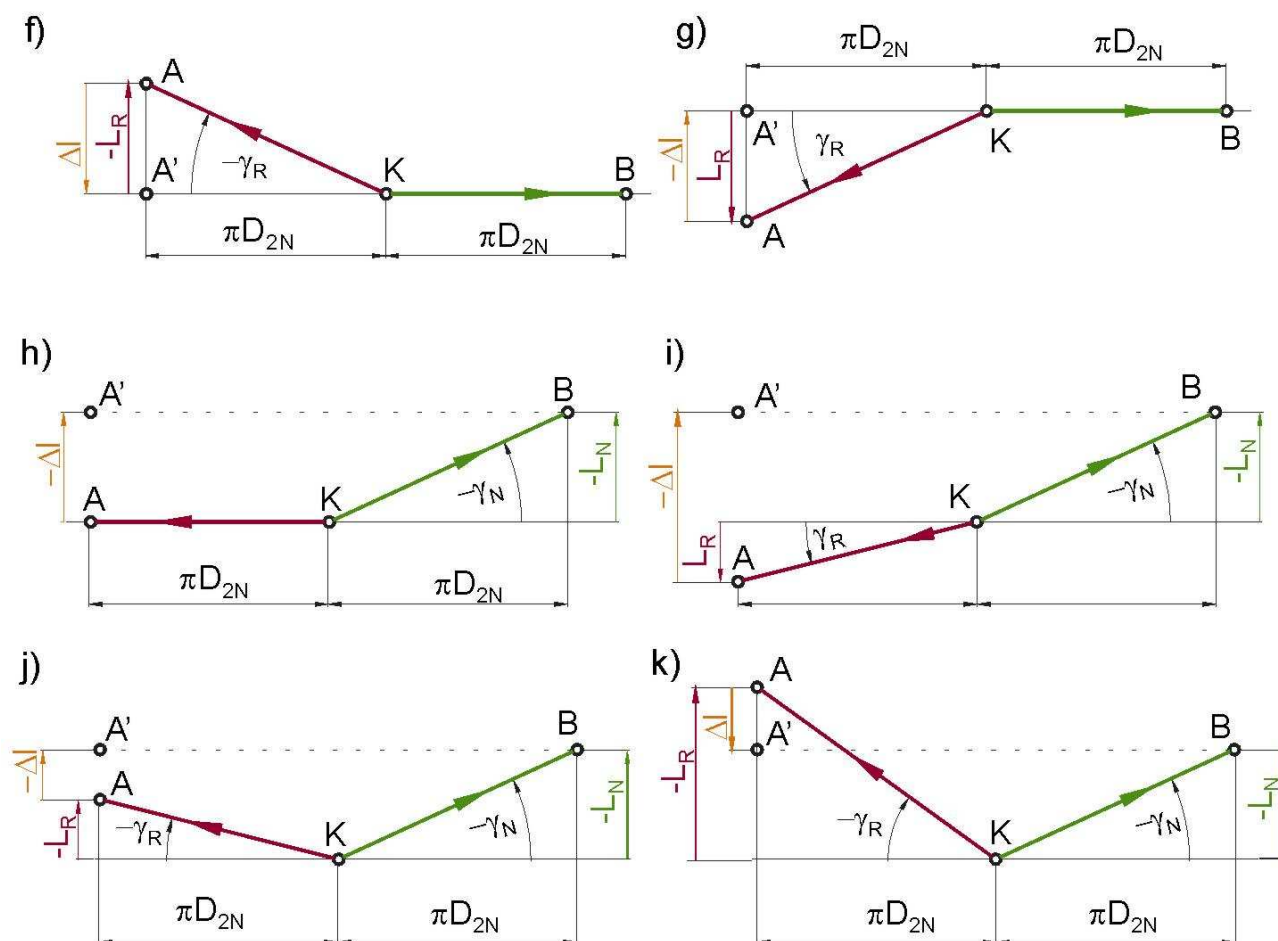
$$\Delta l = -\frac{k+2}{2 \cdot (k+1)} \cdot P \cdot (n_S \mp k \cdot n_R) \quad (16)$$

Wykres przesuwu osiowego Δl takiego przypadku będzie lustrzanym odbiciem względem osi poziomej wykresu przedstawionego na rys. 6.

3.3. WSKAŹNIK KINEMATYCZNY DLA PARY ROLKA – NAKRĘTKA; ROLKA WSPÓŁPRACUJE TYLKO Z NAKRĘTKĄ

Podobnie jak dla pary rolka śruba, ten przypadek również został opisany w [3]. Wobec czego tutaj zamieszczam tylko na rys.7a-k schematy przesunięć osiowych elementów dla możliwych skojarzeń kierunków pochylenia gwintu współpracujących elementów (nakrętki i rolki) przedstawionych w tabeli 2, oraz wzory opisujące ten wskaźnik. Nakrętka pokazana jest kolorem zielonym, rolka – brązowym.





Rys.7. Schematy przesunięcia osiowego rolki w rolkowej przekładni śrubowej dla współpracy tylko z nakrętką dla skojarzeń gwintów pokazane w tabeli 2; gdzie: γ_N , γ_R – kąt wzniosu linii śrubowej odpowiednio: nakrętki, rolki

Przyjmując, że dodatnia wartość przesuwu osiowego rolki odpowiada przesuwowi wynikającemu z kierunku wzniosu linii śrubowej nakrętki, przesunięcie osiowe Δl rolki względem nakrętki przy jednym obrocie nakrętki opisane jest zależnością:

$$\Delta l = \pi \cdot D_{2N} \cdot \left(\operatorname{tg} |\gamma_N| \pm \operatorname{tg} |\gamma_R| \right) \quad (17)$$

Znak „+” jest dla przeciwnych kierunków pochylenia linii śrubowej gwintu rolki i nakrętki, natomiast znak „-” dla zgodnych kierunków. Przekształcając zależność (17) otrzymano:

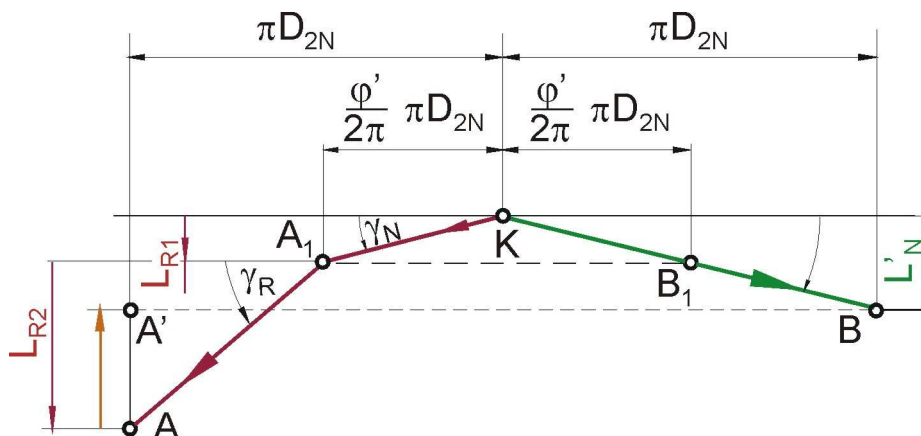
$$\Delta l = P \cdot \left(n_N \pm \frac{D_{2N}}{d_{2R}} \cdot n_R \right) \quad (18)$$

Na podstawie zależności (18) otrzymano wielkość przesunięcia osiowego rolki względem nakrętki przy zadanym kącie obrotu nakrętki φ_N :

$$\Delta l' = \frac{\varphi_N}{2 \cdot \pi} \cdot P \cdot \left(n_N \pm (k+2) \cdot n_R \right) \quad (19)$$

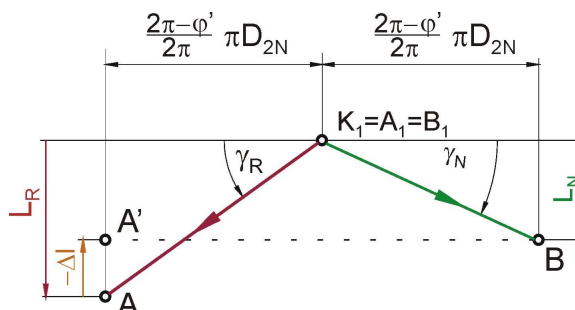
3.4. WSKAŹNIK KINEMATYCZNY DLA PARY ROLKA – NAKRĘTKA; ROLKA WSPÓŁPRACUJE Z OBOMA ELEMENTAMI

Dla rozwiązania konstrukcyjnego, w którym rolka współpracuje jednocześnie z oboma elementami (śrubą i nakrętką), gdy członem czynnym jest nakrętka (rys. 3c), a prędkości kątowe opisane zależnością (6) wartość przesuwu rolki względem nakrętki na jeden jej obrót wyznacza się w następujący sposób. W wyniku obrotu nakrętki o jeden obrót punkt K będący punktem styku rolki z nakrętką pokona drogę $\pi \cdot D_{2N}$ i znajdzie się na nakrętce w punkcie B. Skutkuje to jego przesunięciem w kierunku osiowym o wartość L'_N . W tym samym czasie ten punkt na rolce w wyniku obrotu rolki względem osi śruby o kąt φ' pokona drogę $(\varphi'/(2 \cdot \pi)) \cdot \pi \cdot D_{2N}$ i znajdzie się on w punkcie A_1 . Skutkiem czego jest przesunięcie w kierunku osiowym o wartość L_{R1} . Ponadto spowoduje to również przemieszczenie punktu styku na nakrętce z punktu K do punktu B_1 . Dodatkowo punkt styku leżący na rolce pokona pozostałą drogę $[1 - \varphi'/(2 \cdot \pi)] \cdot \pi \cdot D_{2S}$ i znajdzie się w punkcie A, wynikiem czego jest dodatkowe przesunięcie w kierunku osiowym o wartość L_{R2} . Podobnie jak w poprzednio przedstawianych przypadkach ze względu na zachowanie ciągłości styku punkt A powinien się znaleźć w punkcie A' , czyli rolka musi przesunąć się w kierunku osiowym o wartość Δl (rys.8a).



Rys.8a Schemat przesunięcia osiowego rolki względem nakrętki w rolkowej przekładni tocznej dla współpracy ze śrubą i nakrętką; nakrętka i rolka posiadają gwint prawy

Punkty A_1 i B_1 są położeniem punktu styku wynikłego z ruchu obrotowego rolki względem osi nakrętki. Wobec czego schemat pokazany na rys. 8a można przedstawić w postaci (rys.8b):

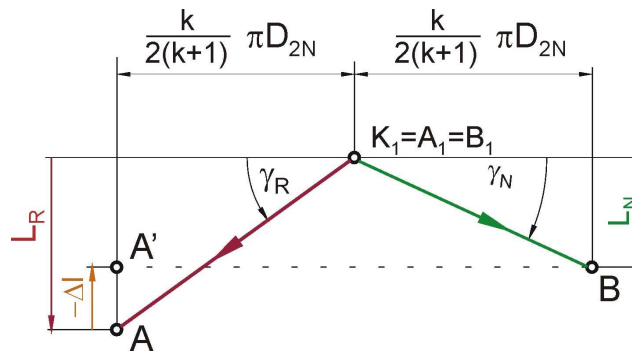


Rys.8b Przekształcony schemat przesunięcia osiowego rolki względem nakrętki w rolkowej przekładni tocznej dla współpracy ze śrubą i nakrętką; nakrętka i rolka posiadają gwint prawy

Nakrętka obracając się wokół własnej osi o kąt φ_N w rzeczywistości wykona obrót wokół własnej osi względem nowego położenia punktu styku K_1 o kąt φ'_N będący różnicą kątów $\varphi_N - \varphi'$. Na podstawie zależności (6) otrzymano powiązania kątów obrotu φ_i z kątem obrotu nakrętki φ_N :

$$\begin{cases} \varphi' = \frac{k+2}{2 \cdot (k+1)} \cdot \varphi_N \\ \varphi_R = \frac{k+2}{2} \cdot \varphi_N \end{cases} \quad (20)$$

Korzystając z zależności (23) otrzymano:



Rys.8c Uproszczony schemat przesunięcia osiowego rolki względem nakrętki w rolkowej przekładni tocznej dla współpracy ze śrubą i nakrętką; nakrętka i rolka posiadają gwint prawy

Analizując schemat przedstawiony na rys.8c. można stwierdzić podobieństwo do schematu przedstawionego na rys.7d. Analogiczne podobieństwo występuje między schematami przedstawiającymi wielkość przesuwu osiowego dla pozostałych skojarzeń gwintów pokazanych w tabeli 2. Na podstawie powyższego stwierdzenia wielkość przesuwu osiowego Δl dla tego rozwiązania konstrukcyjnego wykorzystując podobieństwo do wzoru (17) opisuje zależność:

$$\Delta l = \frac{k}{2 \cdot (k+1)} \cdot \pi \cdot D_{2N} \cdot \left(\operatorname{tg} |\gamma_N| \pm \operatorname{tg} |\gamma_R| \right) \quad (21)$$

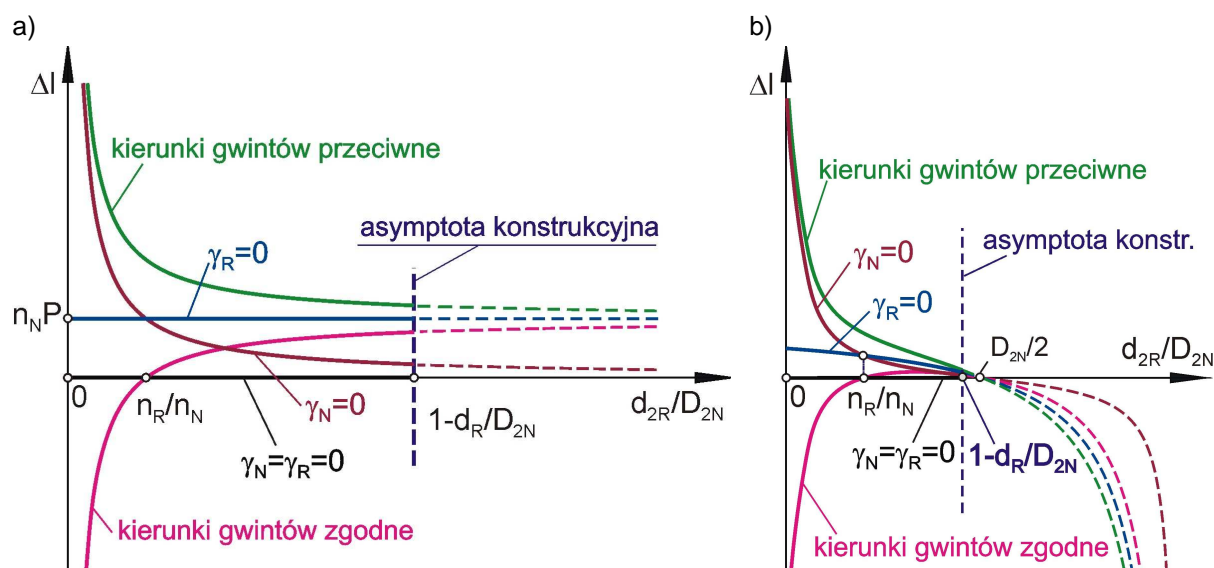
Przekształcając otrzymano inną wersję wzoru (21):

$$\Delta l = \frac{k}{2 \cdot (k+1)} \cdot P \cdot \left(n_N \pm (k+2) \cdot n_R \right) \quad (22)$$

Korzystając z wzoru (22) otrzymano wielkość przesunięcia osiowego rolki względem nakrętki przy zadanym kącie obrotu nakrętki φ_N :

$$\Delta l' = \frac{\varphi_N}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{k}{2 \cdot (k+1)} \cdot P \cdot \left(n_N \pm (k+2) \cdot n_R \right) \quad (23)$$

Znak „+” jest dla przeciwnych kierunków pochylenia linii śrubowej gwintu nakrętki i rolki, natomiast znak „-” dla zgodnych kierunków.



Rys.9. Zależność przesunięcia osiowego Δl od stosunku średnic d_{2R}/D_{2N} , dla przypadku: a) rolka współpracuje jedynie z nakrętką, b) rolka współpracuje jednocześnie z oboma elementami.

Zależności przesunięcia Δl na jeden obrót nakrętki w funkcji parametru d_{2R}/D_{2N} prezentuje rys.9. Analizując funkcje $\Delta l(d_{2R}/D_{2N})$ przedstawione na rys.9 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem średnicy toczonej gwintu rolki d_{2R} (przy stałej średnicy nakrętki D_{2N}) osiowe przemieszczenie rolek dąży do wartości równej skokowi gwintu nakrętki. Ze względów konstrukcyjnych:

$$\frac{d_{2R}}{D_{2N}} \leq 1 - \frac{d_R}{D_{2N}} \Rightarrow d_{2R} \leq D_{2N} - d_R \quad (24)$$

W przypadku zgodnych kierunków pochylenia linii śrubowych, gdy stosunek średnic toczonej rolki d_{2R} do nakrętki D_{2N} jest równy stosunkowi ich krotności gwintów n_R / n_N przesunięcie nie występuje. W przypadku gdy na rolce nie występuje linia śrubowa, a tylko pierścienie wówczas przesunięcie osiowe rolek względem nakrętki równa się dokładnie skokowi gwintu nakrętki¹.

NAPĘD OD ŚRUBY:

W przypadku napędu pochodzącego od śruby wielkość przesuwu osiowego rolki względem nakrętki ma przeciwną wartość niż w przypadku gdy napęd pochodził od nakrętki, jego wartość wyliczana jest z zależności:

- dla współpracy rolki tylko z nakrętką:

$$\Delta l = -P \cdot \left(n_N \mp \frac{D_{2N}}{d_{2R}} \cdot n_R \right) \quad (25)$$

- dla współpracy rolki z oboma elementami (śrubą i nakrętką):

$$\Delta l = -\frac{k}{2 \cdot (k+1)} \cdot P \cdot \left(n_N \pm (k+2) \cdot n_R \right) \quad (26)$$

¹ W przypadku gdy $\gamma_S = \gamma_R = \gamma_N$ oraz kierunki pochylenia linii śrubowej śruby i rolki są przeciwne a rolki i nakrętki zgodne to przekładnia przestanie wykonywać swoje zadanie, a zacznie się zachowywać podobnie, jak przekładnia planetarna.

UWAGA:

W przypadku ogólnym, gdy rolki współpracują jednocześnie ze śrubą i nakrętką, przekładnię należy zaprojektować tak, aby rolki podczas pracy nie wykręcały się z nakrętki czyli $\Delta l = 0$, stąd na podstawie zależności (21) wynika warunek:

$$\gamma_N = \gamma_R \quad (27)$$

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy dotyczącej kinematyki rolkowych przekładni tocznych można wyciągnąć następujące wnioski:

- przekładnia rolkowa pozwala uzyskać wskaźnik kinematyczny w bardzo szerokim zakresie (różnym od skoku gwintu śruby lub nakrętki),
- może pracować jako mechanizm sumujący bądź różnicowy, zależnie od zastosowanych kierunków gwintów współpracujących elementów,
- mniejsze wartości przesuwu osiowego uzyskuje w przypadku gdy rolka współpracuje jednocześnie ze śrubą i nakrętką niż w przypadku współpracy tylko z jednym z nich,
- rolka posiada większe wartości prędkości kątowych w przypadku napędu pochodzącego od nakrętki niż w przypadku napędu od śruby.

LITERATURA:

- [1] Hojjat Y., M. Mahdi Agheli „*A comprehensive study on capabilities and limitations of roller–screw with emphasis on slip tendency*”. Mechanism and Machine Theory 2009.
- [2] Latoszek J., Furmanik L.: „*Przekładnia śrubowa toczna obiegowa*”. Mechanik 1968 nr 8.
- [3] Pisula J., Warchoł S.: „*Zastosowanie systemów CAD w analizach rolkowych przekładni tocznych*” Mechanik nr 2/2012.
- [4] Rejman E.: „*Rolkowe przekładnie gwintowe*”. Zeszyty naukowe PRz, Mechanika z.46. Rzeszów 1995.
- [5] Warchoł S.: „*Parametry symulacji obróbki elementów rolkowych przekładni tocznych*” Mechanik nr 10/2012.



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Badania realizowane w ramach „Podkarpackiego funduszu stypendialnego dla doktorantów”. Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.