

Uwarunkowania dla jazdy tego samego zestawu kołowego po torze kolejowym i tramwajowym (1)

W artykule dokonano wszechstronnej analizy technicznej problemów, jakie napotkałby ten sam zestaw kołowy podczas jazdy pojazdu zarówno po torach kolejowych jak i po torach tramwajowych w Polsce. Wykazano, że przy określonych uwarunkowaniach taka jazda jest możliwa, co oznacza realność zbudowania pojazdu tramwajowo-kolejowego.

1. Wstęp

W ostatnich latach w polskiej prasie technicznej [1, 2, 3 i 4] ukazało się szereg artykułów proponujących sprzęgnięcie regionalnego kolejowego systemu komunikacyjnego z systemem tramwajowym. Oznacza to zbudowanie pojazdów tramwajowo-kolejowych, które w miastach będących ośrodkami regionalnymi jeździłyby po torach tramwajowych zbudowanych z szyn tramwajowych zatopionych w jezdniach ulic lub ułożonych na wydzielonych torowiskach, a na przedmieściach wjeżdżałyby na tory kolejowe zbudowane z szyn kolejowych i po tych torach kontynuowałyby jazdę do miejscowości satelitarnych, znajdujących się w pobliżu danego centrum regionalnego.

Pojawiły się różne nazwy tego rodzaju pojazdów (np. w Krakowie byłyby to TRAMKOL, w Poznaniu TRAMPER itp.).

W niniejszym artykule taki pojazd nazwano „tramkol”. Autorzy wym. publikacji dokonują obliczeń naprężeń w kole i w szynie a nawet proponują zastosowanie zestawów kołowych o zmiennym rozstawie kół.

Jest zatem celowe rozpatrzenie szeregu szczegółów technicznych związanych z jazdą i dokonanie analizy możliwości przejazdu tego samego zestawu kołowego po torze kolejowym i tramwajowym i danie odpowiedzi na pytanie, czy taki przejazd jest możliwy i przy jakich uwarunkowaniach.

W artykule rozpatrzono wszechstronnie poszczególne przypadki współpracy zestawu kołowego z torem, a mianowicie:

- a) jazda po prostych torach kolejowych i tramwajowych,
- b) jazda po łukach torów,
- c) jazda po zwrotnicach,
- d) jazda po kolejowych krzyżownicach rozwartokątnych.

2. Jazda po torach prostych

2.1. Istniejące tory

2.1.1. Tor zbudowany z szyn kolejowych

W Polsce istnieją dwa typy szyn kolejowych: S49 i UIC60 [5]. W artykule rozpatrzono typ UIC60.

Szyna kolejowa jest zawsze układana w torze pod pewnym kątem odchylenia jej osi symetrii od pionu (γ). W świecie występują dwie różne wartości tego kąta: 1:20 oraz 1:40. W Polsce stosuje się wartość $\gamma = 1:40$, ale na niektórych torach zbudowanych przed rokiem 1956 występuje kąt $\gamma = 1:20$. W artykule przyjęto wartość $\gamma = 1:40$ lub 1:20, jeżeli wzajemne położenie koła i szyny jest mniej korzystne. Wymiary toru są określone przepisami D1 [10].

2.1.2. Tor zbudowany z szyn tramwajowych

W Polsce istnieją 2 typy szyn tramwajowych [9]:

- typ 180S z obniżoną prowadnicą, stosowany przed rokiem 1992 głównie do budowy torów prostych
- typ 180P z podwyższoną prowadnicą, stosowany przed rokiem 1992 głównie do budowy łuków torów, a obecnie do budowy torów prostych i łukowych.

W artykule rozpatrzono typ 180S jako mniej korzystny. Szyny układa się w torze pionowo.

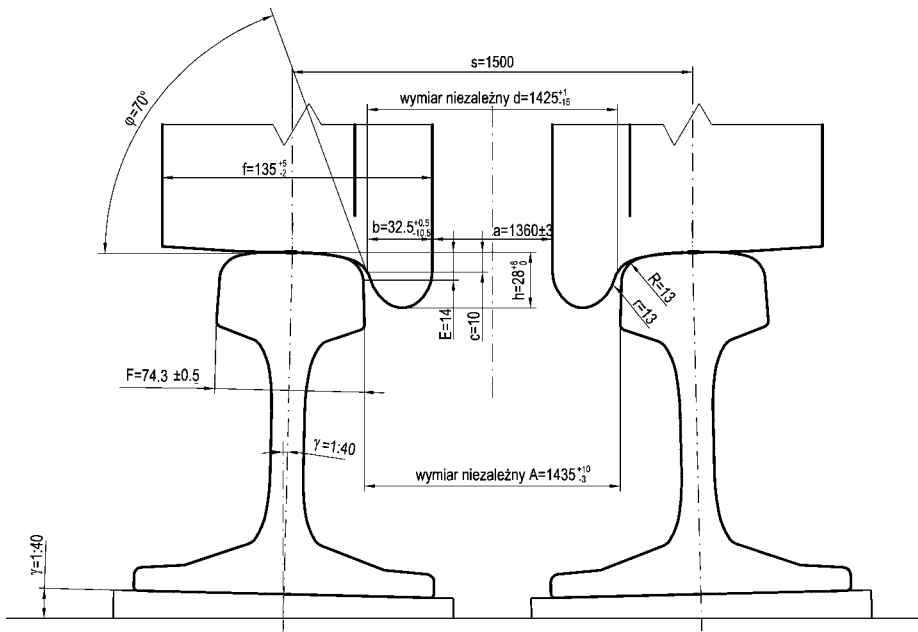
2.2. Współpraca zestawu kołowego z torem

2.2.1. Współpraca kolejowego zestawu kołowego z torem zbudowanym z szyn kolejowych

W Europie wymiary profilu bieżni koła kolejowego są jednakowe i określone przepisami karty UIC 510-2 [6]. Współpraca takiego zestawu kołowego z torem zbudowanym z szyn kolejowych jest przedstawiona na rys.1. Tolerancje podane na tym rysunku są tolerancjami eksploatacyjnymi, przy czym dopuszczalne graniczne zużycie szerokości prowadnej „d” nie jest sumą dopuszczalnych granicznych zużyć grubości „b” obu obrzeży kół. Jest to wymiar niezależny.

Podobnie dla toru kolejowego dopuszczalne graniczne zużycie prześwitu „A” nie jest sumą dopuszczalnych granicznych zużyć szerokości „F” obu główek szyn. Jest to również wymiar niezależny.

Na nowym kole kąt nachylenia tworzącej zewnętrznej części bieżni koła do poziomu (ϵ) musi być zawsze większy niż kąt odchylenia osi symetrii od pionu γ .



Rys.1. Kolejowy zestaw kołowy na prostym torze zbudowanym z szyn kolejowych

2.2.2. Współpraca tramwajowego zestawu kołowego z torem zbudowanym z szyn kolejowych

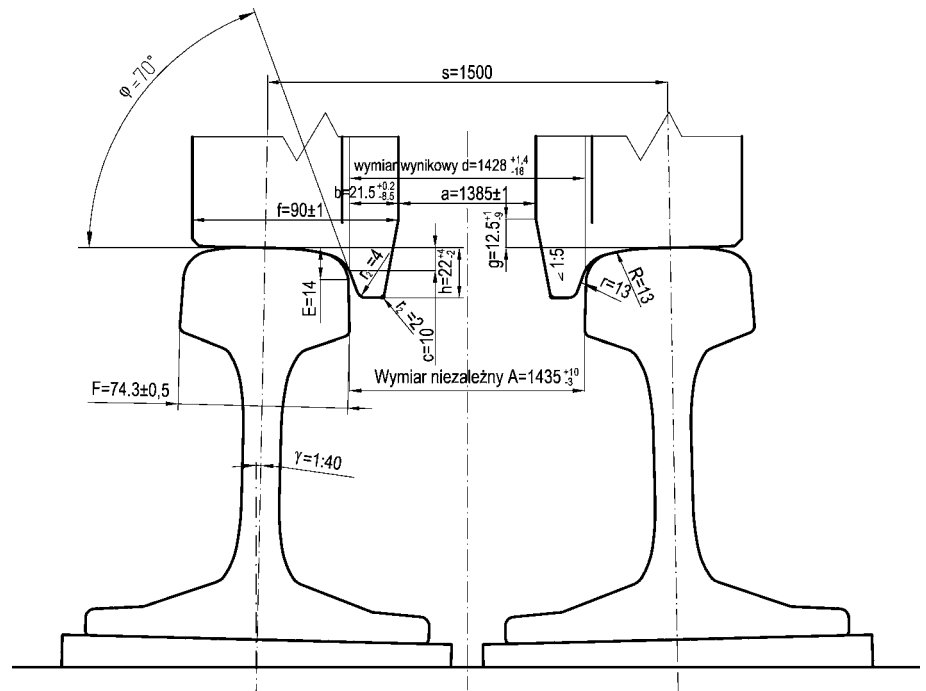
W Polsce wymiary profilu bieżni kół tramwajowych są określone normą PN-91/K-88251 [7]. Współpraca takiego zestawu kołowego z torem zbudowanym z szyn kolejowych jest przedstawiona na rys. 2. Tolerancje podane na tym rysunku są tolerancjami eksploatacyjnymi.

Dla tramwajowego zestawu kołowego dopuszczalne zużycie szerokości prowadnej „d” jest sumą dopuszczalnych zużyć grubości „b” obu obrzeży. Tolerancje eksploatacyjne toru są identyczne jak na rys.1.

W karcie UIC 510-2 [6] postanowiono, że kąt nachylenia tworzącej wynosi $\varepsilon = 1:15$, a więc $\varepsilon > \gamma$.

Wieloletnia praktyka wykazała prawidłowość wymiarów tej pary kinematycznej i współpraca zestawu kołowego z torem jest bardzo dobra.

W kole kolejowym, które zawsze toczy się swoją bieżnią po główce szyny, niezależnie od tego czy będzie to tor kolejowy prosty czy łukowy, czy zwrotnica kolejowa czy też kolejowa krzyżownica rozwartokątna, zużywa się tylko bieżnia koła, w wyniku czego maleje średnica toczna koła. Krąg wierzchołkowy obrzeża koła nigdy nie toczy się po żadnym z elementów toru, wobec czego średnica wierzchołkowa obrzeża koła kolejowego pozostaje niezmienna. Zatem w miarę przebiegu koła kolejowego wysokość obrzeża koła ulega zwiększeniu. Związek UIC ustalił, że największy dopuszczalny wzrost wysokości obrzeża koła kolejowego nie może przekraczać 8 mm, aby obrzeże nie weszło w kolizję z łbami śrub mocujących szynę do podkładów (tolerancja eksploatacyjna wymiaru $h = 28_0^{+8}$).



Rys.2. Tramwajowy zestaw kołowy na prostym torze zbudowanym z szyn kolejowych

Tolerancje eksploatacyjne wysokości obrzeża koła „h” w Polsce nie są ustalone. W Niemczech ustalono je na $h = 22_{-2}^{+4}$ mm [8]. Tolerancje te są rozsądne i można przyjąć takie same dla warunków polskich.

Koło tramwajowe toczy się swoją bieżnią po główce szyny tylko na nowym torze prostym lub łukowym, ale nie w zwrotnicach i krzyżownicach tramwajowych. Na tych elementach toru koło toczy się kręgiem wierzchołkowym swego obrzeża po dnach żłobków wykonanych w sercach zwrotnic i krzyżownicach tramwajowych.

Dlatego w kole tramwajowym zużyciu ulega i krąg toczny i krąg wierzchołkowy. Gdy jakieś koło będzie przeważnie po torze prostym lub łukowym, a ilość zwrotnic i krzyżownic jest na trasie niewielka, to krąg toczny bieżni koła zużywa się szybciej niż krąg wierzchołkowy jego obrzeża.

Ale gdy ilość zwrotnic i krzyżownic na trasie jest duża albo gdy nacisk na oś jest bardzo duży, wówczas krąg wierzchołkowy obrzeża koła zużywa się szybciej niż krąg toczny bieżni koła. Wtedy wysokość obrzeża maleje w miarę przebiegu.

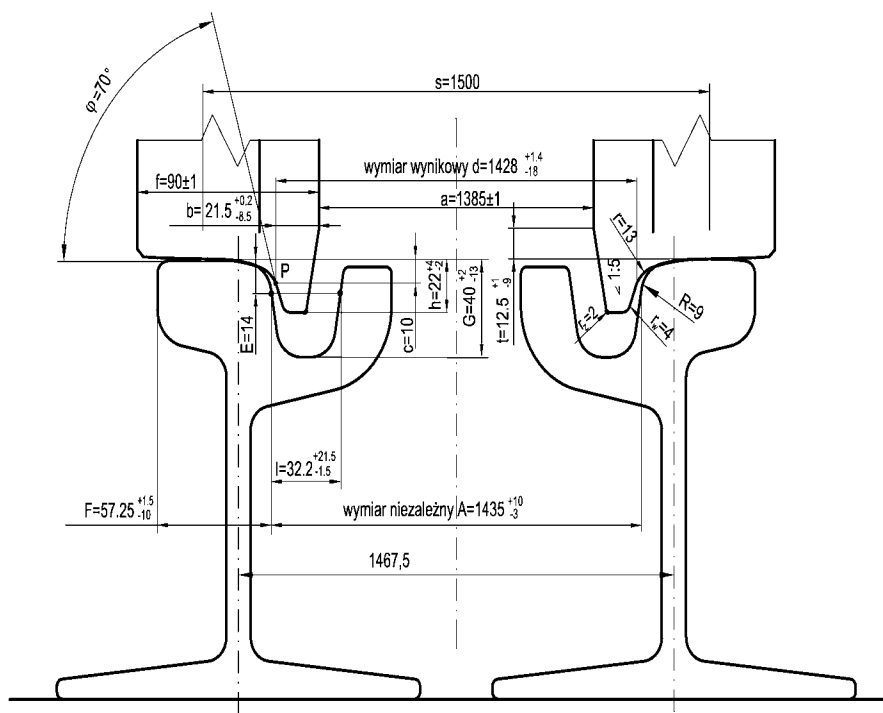
Ten przypadek współpracy nie wymaga analizowania, gdyż w wielu miastach w Polsce tory tramwajowe położone na wydzielonych torowiskach są zbudowane z szyn kolejowych z tym, że serca zwrotnic i krzyżownic zawsze są tramwajowe. Na podmiejskich liniach kursują tramwaje posiadające tramwajowe zestawy kołowe i komunikacja ta funkcjonuje nienagannie.

Jest to oczywiste z tego względu, że główne wymiary współpracy koła za szyną, a mianowicie:

- rozstęp nominalnych kręgów tocznych ($s = 1500$ mm)
- kąt nachylenia bieżni do poziomu na nominalnym kręgu tocznym ($\gamma = 1 : 40$)
- kąt nachylenia roboczego boku obrzeża koła ($\varphi = 70^\circ$)

– położenie punktu atakującego koło ($c = 10$ mm) w tramwajowym zestawie kołowym są identyczne jak w kolejowym. Jedynie długość prowadna tramwajowego zestawu kołowego ($d = 1428_{-18}^{+1,4}$ mm jako wynikowa) jest nieco większa niż kolejowego zestawu kołowego ($d = 1425_{-15}^{+1}$ mm) i luz poosiowy tramwajowego zestawu kołowego w torze zbudowanym z szyn kolejowych ($L = 1435_{-3}^{+10} - 1428_{-18}^{+1,4} = 7_{-4,4}^{+28}$ mm) może być przy nowych kołach mniejszy ok. 3 mm niż luz kolejowego zestawu kołowego w tym samym torze

($L = 1435_{-3}^{+10} - 1425_{-15}^{+1} = 10_{-4}^{+25}$ mm), ale przy prędkościach tramwajów nie przekraczających 75 km/h nie ma to istotnego wpływu ani na spokojność biegu, ani na bezpieczeństwo jazdy.



Rys.3. Tramwajowy zestaw kołowy na prostym torze zbudowanym z szyn tramwajowych

2.2.3. Współpraca tramwajowego zestawu kołowego z torem zbudowanym z szyn tramwajowych

Wzajemne położenie kół i szyn pokazano na rys.3.

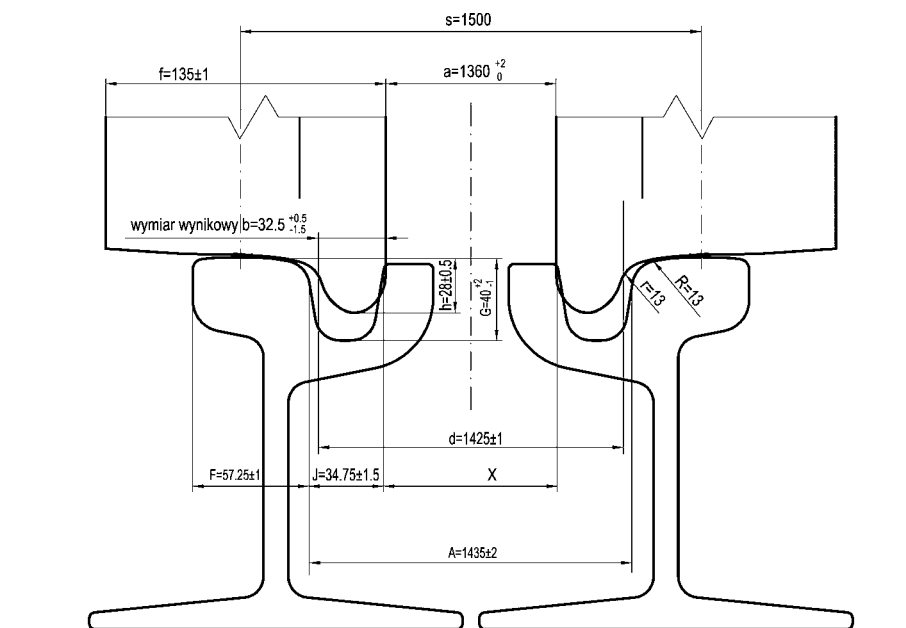
Tolerancje na rys. 3 są tolerancjami eksploatacyjnymi, przy czym dla toru tramwajowego dopuszczalne graniczne zużycie prześwitu toru A nie jest sumą dopuszczalnych granicznych zużyć szerokości główek F obu szyn. Jest to wymiar niezależny. Tolerancje eksploatacyjne tramwajowego zestawu kołowego są identyczne jak na rys. 2.

Ten przypadek współpracy również nie wymaga analizowania, gdyż we wszystkich miastach w Polsce tory tramwajowe zatopione w jezdniach ulic są zbudowane z rowkowych szyn tramwajowych, a po nich toczą się znormalizowane tramwajowe zestawy kołowe i nie występują żadne nieprawidłowości we współpracy tej pary kinematycznej.

2.2.4. Współpraca kolejowego zestawu kołowego z torem zbudowanym z szyn tramwajowych

Rozpatrzono przypadek nowego kolejowego zestawu

kołowego współpracującego z nowym torem zbudowanym z szyn tramwajowych (rys. 4).



Rys.4. Kolejowy zestaw kołowy na prostym torze zbudowanym z szyn tramwajowych

Tolerancje na rysunku 4 są tolerancjami wykonawczymi, przy czym odchyłki wykonawcze grubości „b” każdego z obu obrzeży są wynikiem odchyłek wykonawczych szerokości prowadnej „d” i rozstawu czoł wieńców kół „a”.

Kolejowy zestaw kołowy w ogóle nie pasuje do toru zbudowanego z szyn tramwajowych, gdyż rozstaw wewnętrznych krawędzi prowadnic rowków szyn wynosi:

$$X = A - 2J = 1435^{\pm 2} - 2 \cdot 34,75^{\pm 1,5} = 1365,5^{\pm 5} \text{ mm}$$

Nominalna wartość X wynosi 1365,5 mm, co jest większe niż rozstaw wewnętrznych czoł obrzeży kolejowego zestawu kołowego w stanie nowym, wynoszący $a = 1360^{\pm 2}$ mm, a zatem przynajmniej jedno obrzeże koła nowego zestawu kołowego nie wchodzi w ogóle w rowek szyny i tym samym bieżnia tego koła nie spocznie na główce szyny i nie będzie mogła się w ogóle toczyć.

Z powyższego wynika wniosek, że kolejowy zestaw kołowy z zarysem wg PN nie może w ogóle jeździć po torach zbudowanych z szyn tramwajowych a tramkol musiałby posiadać zestawy kołowe o wymiarach wieńca jak dla tramwajowego zestawu kołowego.

3. Jazda po łukach torów

3.1. Istniejące łuki torów

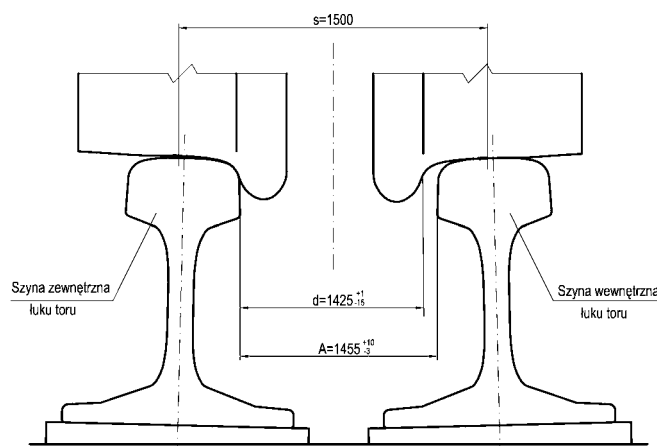
3.1.1 Łuk toru kolejowego z poszerzonym prześwitem toru

Na niektórych łukach torów kolejowych, szczególnie tych zbudowanych przed kilkudziesięciami laty, prześwit toru jest poszerzony zgodnie z przepisami D1 [10] względem wartości nominalnej 1435 mm, stosowanej na torze prostym. Ponadto na łuku toru stosowana jest przechyłka tzn. szyna zewnętrzna jest podniesiona w stosunku do szyny wewnętrznej.

W miarę zużywania się toru poszerzony prześwit powiększa się coraz bardziej. W karcie UIC 505-1 [11] ustalono, że największy dopuszczalny prześwit toru na łuku może wynosić $A = 1465$ mm.

Prowadzący zestaw kołowy przedniego wózka każdego pojazdu zawsze atakuje jednym kołem szynę zewnętrzną łuku, zajmując

położenie w torze pokazane na rys. 5. Tolerancje podane na tym rysunku są tolerancjami eksploatacyjnymi.



Rys.5. Nabieganie koła na szynę zewnętrzną łuku

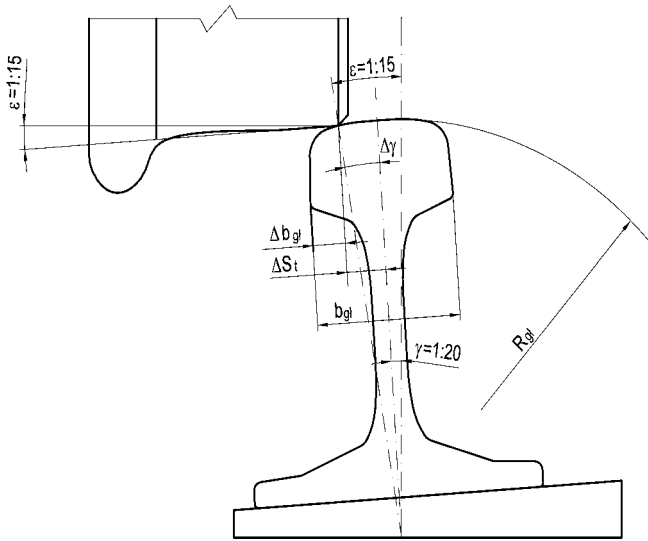
3.1.2. Łuk toru tramwajowego

Tor tramwajowy jest zbudowany bez powiększenia jego prześwitu na łuku. Wymiary głównego toru i zestawu kołowego są identyczne jak w punktach 2.1.2 i 2.2.3.

3.2. Współpraca zestawu kołowego z torem na łuku

3.2.1. Współpraca kolejowego zestawu kołowego z torem kolejowym na łuku o poszerzonym prześwicie toru

Współpracę tę przedstawiono szkicowo na rysunku 6 i uwzględniono kąt pochylenia szyny $\gamma = 1:20$ jako mniej korzystny.



Rys. 6. Współpraca zewnętrznej części bieżni koła z główką wewnętrznej szyny łuku podczas jazdy po łuku toru

Przyrost kąta γ w punkcie styku koła z szyną wynosi:

$$\Delta\gamma = \epsilon - \gamma = \frac{1}{15} - \frac{1}{20} = \frac{4-3}{60} = \frac{1}{60}$$

Odległość ścieżki toczenia (punktów styku) od osi symetrii szyny wynosi:

$$\Delta S_t = R_{gl} \cdot \sin \Delta\gamma \approx R_{gl} \cdot \Delta\gamma$$

Promień główki szyny wg PN-84/H-93421 [5] wynosi $R_{gl} = 300$ mm.

Zatem

$$\Delta S_t = 300 \cdot \frac{1}{60} = 5 \text{ mm}$$

Odległość ścieżki toczenia od krawędzi bocznej szyny wynosi:

$$\Delta b_{gl} = \frac{b_{gl}}{2} - \Delta S_t$$

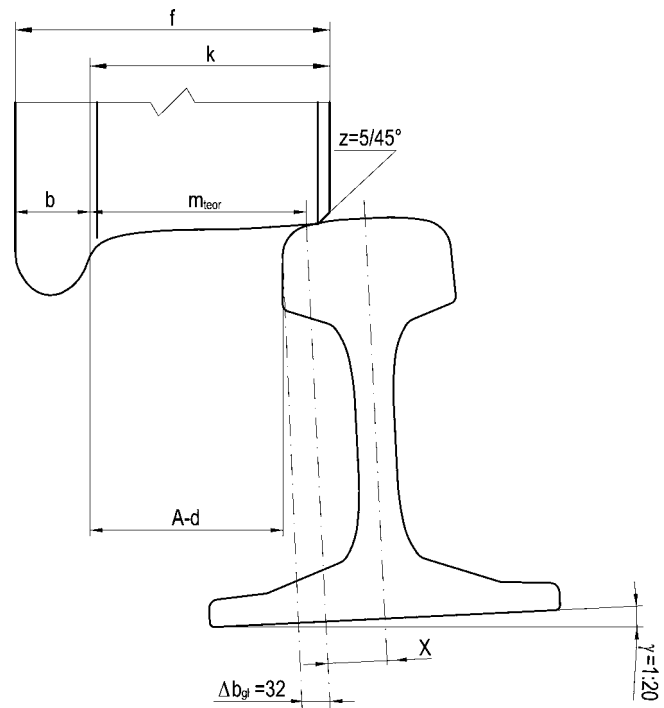
gdzie b_{gl} = szerokość główki szyny; dla szyny S49 wynosi ona wg PN-84/H-93421 [5] 70 mm a dla szyny S60 wynosi 74,3 mm.

Ze względu na obliczenie minimalnej szerokości wieńca koła decydująca jest wartość większa tzn. 74,3 mm

Zatem

$$\Delta b_{gl} = \frac{74,3}{2} - 5 = 32,15 \approx 32 \text{ mm.}$$

Położenie koła na szynie wewnętrznej podczas przejazdu kolejowego zestawu kołowego po łuku o poszerzonym prześwicie toru pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Położenie koła na szynie wewnętrznej łuku

Istnieją następujące zależności wymiarowe:

$$m_{teor} = A - d + (\Delta b_{gl}) \cdot \cos(\text{arc tg}(1:20))$$

Ponieważ

$$\cos(\text{arc tg}(1:20)) = \cos 0,049958395 \approx 1, \text{ to}$$

$$m_{teor} \approx A - d + \Delta b_{gl} \quad (1)$$

Szerokość obręczy koła

$$f \geq b + m_{teor} + z, \text{ czyli}$$

$$f \geq b + A - d + \Delta b_{gl} + z = A - (d - b) + \Delta b_{gl} + z \quad (2)$$

Ale z rys. 1 wynika, że

$$d - b = a + b \quad (3)$$

Podstawiając (3) do (2) otrzyma się

$$f \geq A - (a + b) + \Delta b_{gl} + z \quad (4)$$

Największą wartość f otrzyma się, gdy:

– A będzie największe; $A = 1455_{-3}^{+10}$, a zatem $A_{\max} = 1465$ mm,

– $a + b$ będzie najmniejsze;

$$a + b = 1360_{-3}^{+3} + 32,5_{-10,5}^{+0,5} = 1392,5_{-13,5}^{+3,5},$$

a zatem $(a+b)_{\min} = 1379$ mm.

Wobec tego

$$f \geq 1465 - 1379 + 32 + 5 = 123 \text{ mm}$$

Karta UIC 510-2 [6] zwiększa dla pewności ten wymiar, ustalając $f = 135_{-2}^{\pm 1}$ mm (tolerancje wykonawcze), a tolerancje eksploatacyjne tego wymiaru wynoszą $f = 135_{-2}^{+5}$ mm.

3.2.2. Współpraca kolejowego zestawu kołowego z torem kolejowym na łuku bez poszerzenia prześwitu toru

Wszystkie obliczenia z punktu 3.2.1 są aktualne z tym, że $A = 1435_{-3}^{+10}$ mm zamiast 1455_{-3}^{+10} mm, a zatem $A_{\max} = 1445$ mm, wobec czego ze wzoru (4) otrzyma się $f \geq 103$ mm. Ponieważ kolejowy zestaw kołowy musi mieć zdolność pokonywania zarówno łuków z poszerzeniem prześwitu toru jak i łuków bez poszerzenia prześwitu toru, to decyduje większa szerokość wieńca, czyli $f \geq 123$ mm.

Przyjęty w karcie UIC 510-2 [6] wymiar $f = 135^{\pm 1}$ mm spełnia to wymaganie.

Zatem przejazd kolejowego zestawu kołowego po łuku toru bez poszerzenia prześwitu jest w pełni możliwy.

3.2.3. Przejazd kolejowego zestawu kołowego po łuku toru zbudowanego z szyn tramwajowych

Jak wynika z punktu 2.2.4. współpraca kolejowego zestawu kołowego na torze prostym zbudowanym z szyn tramwajowych jest niemożliwa i tym samym niemożliwy jest również przejazd kolejowego zestawu kołowego po łuku toru zbudowanego z szyn tramwajowych.

3.2.4. Przejazd tramwajowego zestawu kołowego po łuku toru zbudowanego z szyn kolejowych bez poszerzenia prześwitu toru

Dla tramwajowych zestawów kołowych zgodnie z rys. 2, $a = 1385^{\pm 1}$ mm, $b = 21,5_{-8,5}^{+0,2}$ mm oraz prześwit toru $A = 1435_{-3}^{+10}$ mm.

Z wzoru (4) otrzyma się:

$$f \geq A_{\max} - (a_{\min} + b_{\min}) + \Delta b_{gl} + z = 1445 - (1384 + 13) + 32 + 5 = 85$$

czyli $f \geq 85$ mm.

Przyjęto dla pewności $f = 90^{\pm 1}$ mm i taka jest szerokość obręczy kół tramwajowych. Wynika z tego, że przejazd tramwajowego zestawu kołowego po łuku toru zbudowanego z szyn kolejowych bez poszerzenia prześwitu toru jest możliwy.

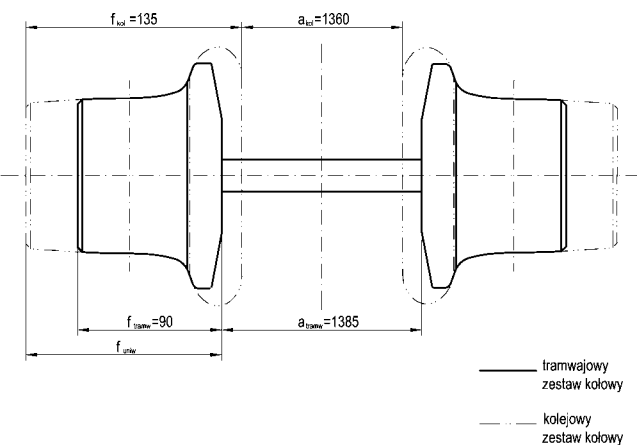
3.2.5. Przejazd tramwajowego zestawu kołowego po łuku toru zbudowanego z szyn tramwajowych

W oparciu o pkt. 3.1.2 i 3.2.4 przejazd tramwajowego zestawu kołowego po łuku toru zbudowanego z szyn tramwajowych jest w pełni możliwy.

3.3. Omówienie i wnioski wynikające ze współpracy po łukach torów

3.3.1. Szerokość koła dla tramkolu

Należy wyznaczyć f_{uniw} , czyli szerokość koła dla pojazdu tramwajowo-kolejowego w oparciu o istniejące wymiary kół tramwajowych i kolejowych. Sytuację przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Szerokość koła dla pojazdu tramwajowo-kolejowego

Zachodzi zależność

$$a_{\text{kol}} + 2f_{\text{kol}} = a_{\text{tramw}} + 2f_{\text{uniw}} \quad (5)$$

Stąd nominalny wymiar f_{uniw} wynosi:

$$f_{\text{uniw}} = \frac{a_{\text{kol}} - a_{\text{tramw}} + 2f_{\text{kol}}}{2} = \frac{1360 - 1385 + 2 \cdot 135}{2} = 122,5 \text{ mm}$$

Wymiar ten należy stolerować na $122,5^{\pm 1}$ mm. Tolerancje eksploatacyjne tego wymiaru będą takie, jak dla koła kolejowego, czyli $f_{\text{uniw}} = 122,5_{-2}^{+5}$ mm.

3.3.2. Wystawianie koła poza zewnętrzną szynę

Dla wyznaczonej szerokości koła f_{uniw} przedstawiono na rys.9 tramwajowy zestaw kołowy oraz zestaw uniwersalny dla tramkolu, stojące na torze zbudowanym z szyn tramwajowych zatopionych w jezdni (tolerancje na rysunku są tolerancjami eksploatacyjnymi) w położeniu skrajnie przesuniętym do zewnętrznej szyny łuku toru.

Zachodzą zależności:

$$\Delta y_{\text{tramw}} + F + b_{\text{tramw}} = f_{\text{tramw}}$$

$$\Delta y_{\text{uniw}} + F + b_{\text{uniw}} = f_{\text{uniw}}$$

Stąd

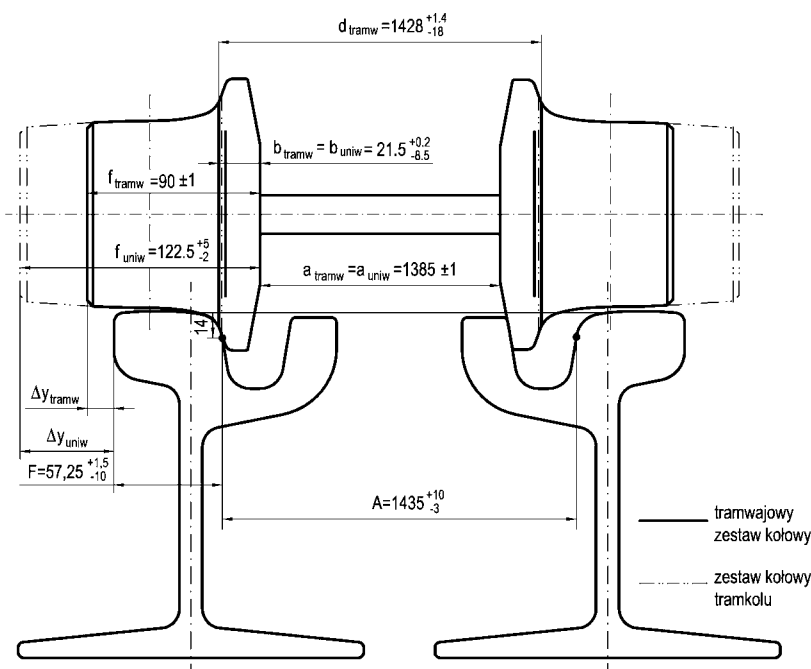
$$\Delta y_{\text{tramw}} = f_{\text{tramw}} - b_{\text{tramw}} - F \quad (6)$$

$$\Delta y_{\text{uniw}} = f_{\text{uniw}} - b_{\text{uniw}} - F \quad (7)$$

Δy_{tramw} będzie największe, gdy f_{tramw} będzie największe, a b_{tramw} i F będzie najmniejsze.

Zatem wg (6):

$$\Delta y_{\text{tramw}} = 91 - 13 - 47 = 31 \text{ mm}$$



Rys.9. Wystawianie koła poza zewnętrzną szynę łuku toru przy skrajnym przesunięciu zestawu kołowego

Analogicznie wg (7):

$$\Delta y_{uniw} = 127,5 - 13 - 47 = 67,5 \text{ mm}$$

Koło uniwersalnego zestawu kołowego wystawałoby o 67,5 mm poza szynę na łuku toru, podczas gdy koło tramwajowe wystaje tylko o 31 mm. Na torze prostym koło uniwersalnego zestawu kołowego, ustawionego symetrycznie w środkowym położeniu w ramach luzów w torze, wystawałoby poza szynę w sposób ciągły o wielkość:

$$\Delta y_{pr tramw} = \frac{a_{tramw} + 2f_{tramw} - (A + 2F)}{2} \quad (8)$$

Przy tym długość $A+2F$ jest dla danego toru wielkością stałą, zależną tylko od odchyłek wykonawczych, a niezależną od zużycia szyn.

Zatem $\Delta y_{pr tramw}$ będzie największe, gdy a_{tramw} oraz f_{tramw} będą największe, a długość $A+2F$ będzie najmniejsza.

Z równania (8) otrzymuje się (decydują tolerancje wykonawcze):

$$\Delta y_{pr tramw} = \frac{1386 + 2 \cdot 91 - 1545,5}{2} = 11,2 \text{ mm}$$

Wokół tej wartości wielkość Δy będzie oscylować podczas ruchów wężykowania zestawu kołowego, ale to będą przemieszczenia chwilowe, z których każde trwa najwyżej ułamek sekundy i można je pominąć.

Analogicznie będzie dla koła uniwersalnego:

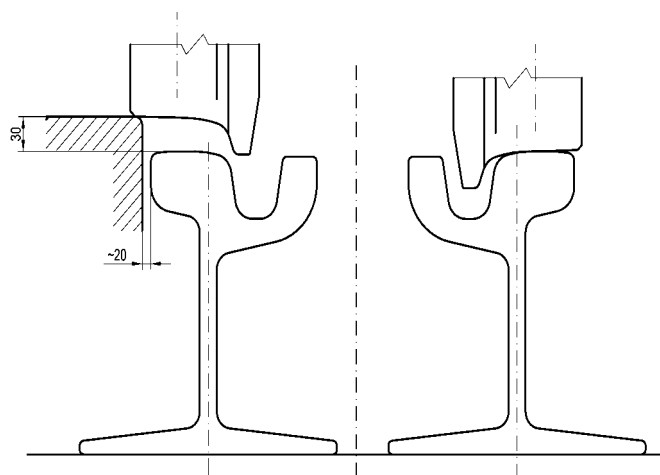
$$\Delta y_{pr uniw} = \frac{1386 + 2 \cdot 127,5 - 1545,5}{2} = 47,7 \text{ mm}$$

Uniwersalne koło wystawałoby poza szynę o 47,7 mm, podczas gdy koło tramwajowe wystaje tylko o 11,2 mm.

3.3.3. Podnoszenie koła ponad poziom jezdni

Gdy tor jest zatopiony w jezdni ulicy, to obok szyn znajduje się nawierzchnia jezdni, przeważnie asfaltowa, czasem wykonana z kostek kamiennych, a często jest to płyta betonowa. Z reguły między główką szyny a krawędzią asfaltowej czy betonowej jezdni występuje szczelina o szerokości około 20 mm.

Nierzadkie są miejsca we wszystkich miastach polskich, w których tor zapadł się aż o 30 mm w stosunku do poziomu jezdni. Gdy koło tramwajowe wystaje poza główkę szyny o 11,2 mm, to nic się wtedy nie dzieje, gdyby jednak koło uniwersalne musiało wystawać poza główkę szyny o 47,7 mm, to w miejscu, gdzie tor się zapadł, wytworzy się sytuacja przedstawiona na rys. 10.



Rys.10. Przejazd uniwersalnego zestawu kołowego przez zapadnięty tor tramwajowy

Jak widać z rysunku 10, koło podniesie się na płytę betonową, a to już jest wykolejenie.

Zatem przedsiębiorstwo tramwajowe w przypadku użytkowania uniwersalnych zestawów kołowych w tramkolach musiałyby bardzo skrupulatnie pilnować, aby wszelkie zapadnięcia toru były systematycznie natychmiast naprawione na całej długości torów tramwajowych, po których poruszałyby się tramkole.

Obecnie takie naprawy są dokonywane tylko na łukach torów, gdyż tam koła tramwajowe mogą wystawać o 32 mm poza główkę szyny, a więc mogłyby podnieść się na asfalt i wykolejać.

3.3.4. Wnioski

Dla pojazdu, który byłby w stanie poruszać się po torach tramwajowych i jednocześnie po torach kolejowych należałoby:

- zastosować zestawy kołowe o szerokości wieńca koła równej $f_{uniw} = 122,5^{\pm 1}$ mm.
- dokonać przeróbki wszystkich łuków na linii kolejowej, po której miałyby jeździć tramkole, na łuki pozbawione poszerzenia prześwitu toru. Tak przerobiony łuk zachowałby zdolność do prowadzenia pojazdów kolejowych, gdyż poszerzenie toru na łukach nie jest konieczne.

Wobec braku poszerzenia toru wystarczyłaby szerokość koła taka, jaką stosuje się w tramwajach, czyli $f_{tramw} = 90^{\pm 1}$ mm. Oczywiście, koszt przeróbki łuków byłby znaczny, ale jest to koszt jednorazowy.

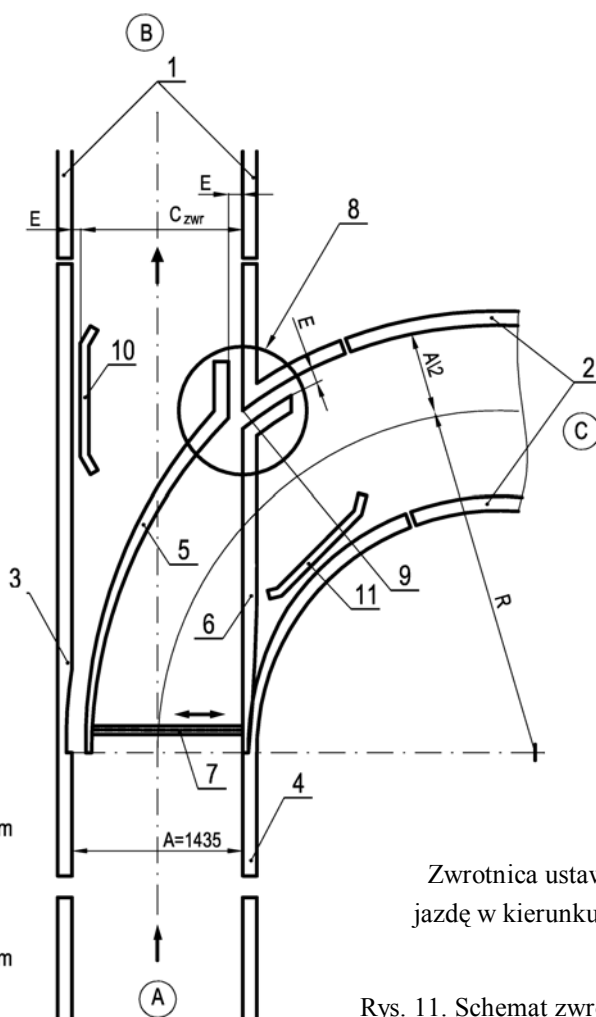
4. Jazda po zwrotnicach

4.1. Budowa zwrotnic

4.1.1. Budowa zwrotnicy kolejowej

Schemat zwrotnicy kolejowej pokazano na rys.11.

- 1-tor prosty
- 2-tor łukowy
- 3-szyna prosta zwrotnicy
- 4-szyna łukowa zwrotnicy
- 5-iglica przestawna toru łukowego
- 6-iglica przestawna toru prostego
- 7-zwora iglic przestawnych
- 8-serce zwrotnicy
(ang. crossing in the switch;
niem. Herzstück in der Weiche;
franc. coeur des jonctions)
- 9-nos serca zwrotnicy
(ang. nose of the crossing;
niem. Herzstückspitze;
franc. point de la coeur)
- 10-kierownica koła na torze prostym
(ang. checkrail; niem. Radlenker;
franc. contrerail)
- 11-kierownica koła na torze łukowym



Zwrotnica ustawiona na jazdę w kierunku prostym

Rys. 11. Schemat zwrotnicy kolejowej

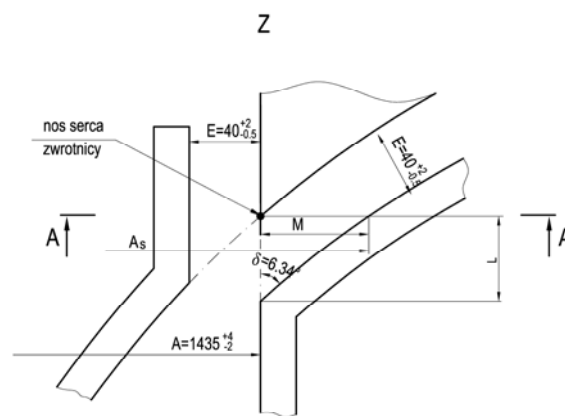
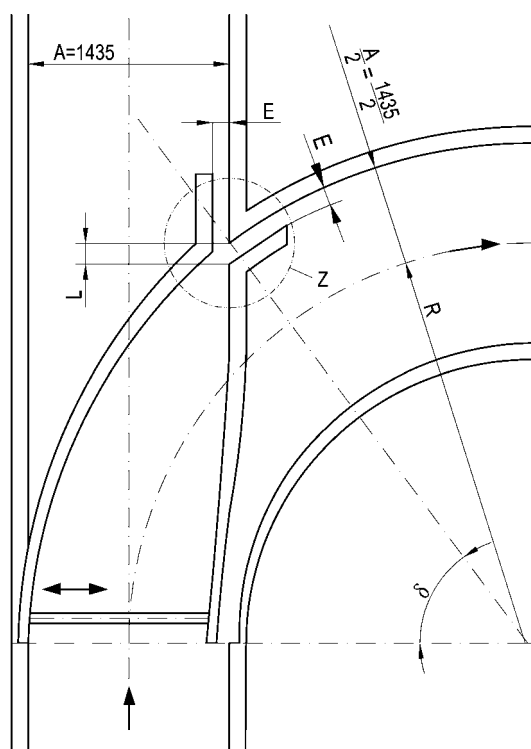
4.1.2. Budowa zwrotnicy tramwajowej

W tramwajnictwie istnieje inna zasada przejeżdżania przez serca zwrotnic niż na kolejach. Serce zwrotnicy tramwajowej jest wykonane ze specjalnie ukształtowanej bryły metalowej, w której są wyżłobione dwie przecinające się z sobą płytkie koleiny o głębokości 10_{-1}^{+9} mm (tolerancje eksploatacyjne) i o szerokości równej szerokości rowka szyny tramwajowej.

4.2. Jazda po zwrotnicy kolejowej

4.2.1. Serce zwrotnicy kolejowej

Wymiary serca zwrotnicy kolejowej pokazano na rys.12.



Przekrój A-A pokazano na rys.13

R – promień łuku toru

δ – kąt pochylenia rozjazdu

Zwrotnica ustawiona na jazdę w kierunku łukowym

Rys. 12. Wymiary serca zwrotnicy kolejowej

Zachodzi zależność:

$$\left(R + \frac{A}{2}\right) \cdot (1 - \cos \delta) = A$$

Podstawiając $(1 - \cos \delta) = 2 \sin^2 \frac{\delta}{2}$,

to $\left(R + \frac{A}{2}\right) \cdot 2 \sin^2 \frac{\delta}{2} = A$

Stąd otrzymuje się:

$$\sin \frac{\delta}{2} = \sqrt{\frac{A}{2R + A}} \quad (9)$$

Zakłada się, że tramkole będą kursowały po torach kolejowych, których łuki $R \geq 150 \text{ m}$.

Ze wzoru (9) otrzymuje się:

$$\sin \frac{\delta}{2} = \sqrt{\frac{A}{2R + A}} = \sqrt{\frac{1435}{2 \cdot 150000 + 1435}} = 0,068996825$$

i stąd:

$$\frac{\delta}{2} = 3,956^{\circ} \quad \delta = 7,912^{\circ}$$

oraz

$$\text{tg } \delta = 0,138988119 = 1 : 7,194859567$$

Gdy R rośnie, to $\frac{\delta}{2}$ maleje, a zatem również $\text{tg } \delta$ maleje.

Ale $\text{tg } \delta$ nie może być zbyt mały, gdyż wtedy nos serca zwrotnicy byłby bardzo cienki i łatwo mógłby ulec uszkodzeniu. Związek UIC zalecił w pkt. J.7 karty UIC 510-2 [6], że najmniejszy dopuszczalny kąt pochylenia rozjazdu δ wynosi $\text{tg } \delta = \frac{1}{9} = 0,111111$.

Należy wyznaczyć promień R, dla którego wystąpi powyższa wartość.

Z wzoru (9):

$$R = \frac{1}{2} \left(\frac{A}{\sin^2 \frac{\delta}{2}} - A \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1435}{0,003059553} - 1435 \right) = 233793,9 \text{ mm}$$

Wystarczy rozpatrzeć wartość kąta $\delta = 6,34^{\circ}$, dla którego $\text{tg } \delta = 1 : 9$.

Szerokość koleiny wraz z tolerancjami eksploatacyjnymi według pkt. J.7 karty UIC 510-2 [6] wynosi $E = 40_{-0,5}^{+2} \text{ mm}$.

Wg rys.12 zachodzą zależności wymiarowe:

$$L = \frac{E}{\sin \delta} = \frac{40_{-0,5}^{+2}}{\sin 6,34^{\circ}} = \frac{40_{-0,5}^{+2}}{0,1104330} \approx 362_{-4}^{+18} \text{ mm}$$

$$M = \frac{E}{\cos \delta} = \frac{40_{-0,5}^{+2}}{\cos 6,34^{\circ}} = \frac{40_{-0,5}^{+2}}{0,9938836} \approx 40_{-0,25}^{+2,25} \text{ mm}$$

Szerokość prześwitu toru prostego w przekroju A-A wraz z tolerancjami eksploatacyjnymi zwrotnicy wynosi $A = 1435_{-2}^{+4} \text{ mm}$

Szerokość ta powiększona o wymiar M skośnej koleiny w przekroju A-A wynosi:

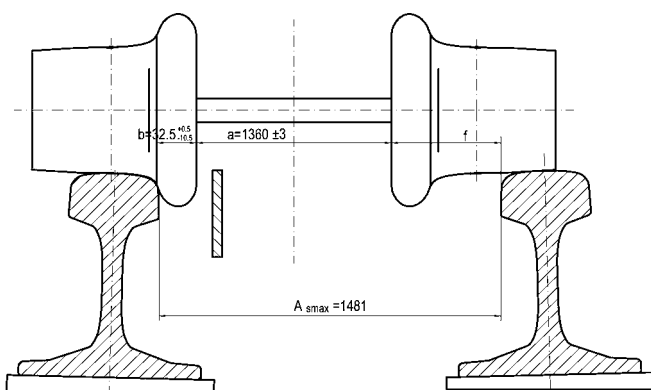
$$A_s = A + M = 1435_{-2}^{+4} + 40_{-0,25}^{+2,25} = 1475_{-2,25}^{+6,25} \approx 1475_{-2}^{+6} \text{ mm}$$

Największa dopuszczalna wartość tego wymiaru wyniesie $A_{s \max} = 1481 \text{ mm}$.

4.2.2. Potrzebna szerokość koła kolejowego

Zestaw kołowy może przejeżdżać nad sercem zwrotnicy od wjazdu (A) do wyjazdu (B) (rys. 11), innymi w ten sposób (przypadek skrajny), że obrzeże jego lewego koła będzie biegło tuż przy szynie 3, a obrzeże prawego koła będzie oddalone od iglicy 6 o największą możliwą odległość.

Wytworzy się sytuacja pokazana na rys. 13.



Rys.13 – Skrajne lewe ustawienie kolejowego zestawu kołowego w zwrotnicy (przekrój A-A z rys.12)

Zachodzi zależność

$$f > A_{s \max} - (b_{\min} + a_{\min}) \quad (10)$$

czyli

$$f > 1481 - (22 + 1357) = 102 \text{ mm}$$

Koło kolejowe ma szerokość

$$f_{kol} = 135_{-2}^{+5} \text{ mm, a więc spełnia}$$

warunek, że $f_{kol} > 102 \text{ mm}$.

4.2.3. Potrzebna szerokość koła tramwajowego

Rozważania te będą identyczne jak w punkcie 4.2.2 z tą różnicą, że dla tramwajowego zestawu kołowego:

$$b = 21,5_{-8,5}^{+0,2} \text{ mm i } a = 1385_{\pm 1} \text{ mm.}$$

W tym przypadku z nierówności (10) otrzyma się:

$$f > 1481 - (13 + 1384) = 84 \text{ mm}$$

Tramwajowe koło ma szerokość $f_{tramw} = 90_{\pm 1} \text{ mm}$.

Zatem pokrywa ono prawą szynę tylko szerokością równą w skrajnym przypadku

$$\Delta f = 89 - 84 = 5 \text{ mm}$$

Akurat tyle wynosi załamanie krawędzi nowego koła. Wobec tego ta wartość pokrycia jest stanowczo za mała. Potrzebna jest większa szerokość koła tramwajowego.

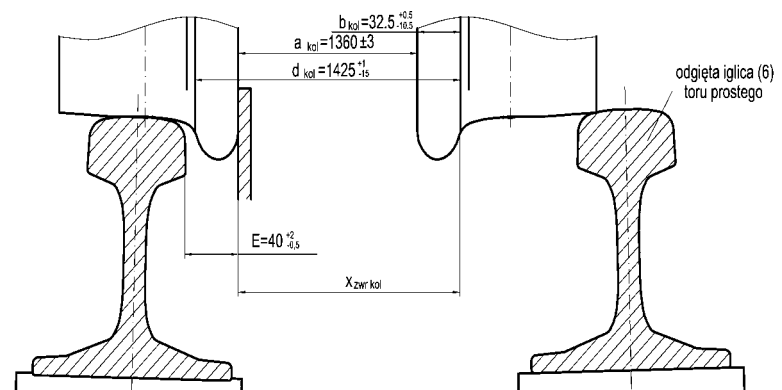
4.2.4. Jazda kolejowego zestawu kołowego po zwrotnicy kolejowej w kierunku prostym w skrajnie prawym położeniu

Jazda od wejścia (A) do wyjścia (B) (rys.11), jest bardziej niekorzystna niż jazda w kierunku odwrotnym ze względu na to, że koło prawe toczące się po szynie 4 i dalej po iglicy toru prostego 6 napotyka w sercu 8 zwrotnicy wzajemne przecięcie się dwu kolein, na którym koło to traci swe prowadzenie boczne z prawej strony i może próbować skrócić w prawo w kierunku łukowym do wyjścia (C), w efekcie czego trafiłoby ono na nos 9 i mogłoby się podnieść i wykołować. Jednak utrata prowadzenia bocznego tego koła jest skompensowana wtedy przez kierownicę 10, jaka w tym czasie prowadzi lewe koło, które dzięki temu musi toczyć się po szynie prostej 3, a wraz z nim cały zestaw kołowy porusza się po torze prostym od wejścia (A) do wyjścia (B).

Szczelina między kierownicą 10 a szyną 3 ma szerokość $E = 40_{-0,5}^{+2} \text{ mm}$, a tak zwana szerokość prowadząca zwrotnicy (ang. „guiding width”; niem. „Leitweite”; franc. „cote de protection de pointe”) wynosi $C_{ZWR} = 1395_{-2}^{+3} \text{ mm}$ (tolerancje eksploatacyjne).

W sercu zwrotnicy obie koleiny są „pustą przestrzenią” (szczegóły Z na rys.12).

Ustawienie kolejowego zestawu kołowego tuż przed nosem serca zwrotnicy, gdy prowadzi go kierownica lewego koła, pokazano na rys. 14.



Rys.14. Ustawienie zestawu kołowego przy kierownicy

Zachodzi zależność

$$X_{zwr kol} = a_{kol} + b_{kol} \quad (11)$$

$X_{zwr kol}$ byłoby największe, gdyby a_{kol} oraz b_{kol} były największe dopuszczalne.

Wtedy

$$X_{zwr} = 1363 + 33 = 1396 \text{ mm}$$

Ale dla nowego zestawu kołowego z tolerancji wykonawczych $d_{kol} = 1425^{+1}$ mm wynika, że górna odchyłka sumy wymiarów $a_{kol} + 2b_{kol}$ nie może być większa niż +1mm. Na nowym zestawie kołowym wymiar a_{kol} wynosi 1360^{+2}_{-0} mm, czyli największy możliwy wymiar a_{kol} w stanie nowym wynosi 1362 mm.

Jedno obrzeże może mieć największą dopuszczalną grubość 33 mm.

Wtedy obrzeże drugiego koła może mieć najwyżej grubość x_b . Zachodzi zależność $1426 = 1362 + 33 + x_b$ i $x_b = 31$ mm.

Jest mało prawdopodobne, aby nowy zestaw kołowy został wykonany z taką różnicą grubości obu obrzeży kół. Można zatem przyjąć, że górna odchyłka łącznego wymiaru $a_{kol} + b_{kol}$, nie przekroczy 2 mm.

Zatem największa szerokość prowadzona zestawu kołowego w zwrotnicy kolejowej według równania (11) wynosi:

$$X_{zwr} = (1360 + 32,5)^{+2} = 1392,5^{+2} \text{ mm}$$

Największa wartość tej szerokości prowadzonej zestawu kołowego w zwrotnicy wynosi

$$(X_{zwr})_{max} = 1394,5 \text{ mm.}$$

Z drugiej strony szerokość prowadząca zwrotnicy wynosi: $C_{zwr} = 1395^{+3}_{-2}$ mm.

Najmniejsza szerokość prowadząca zwrotnicy wynosi $(C_{zwr})_{min} = 1393$ mm.

W skrajnym przypadku szerokość prowadząca zwrotnicy jest mniejsza niż szerokość prowadzona zestawu kołowego.

Zatem w najbardziej niekorzystnym przypadku obrzeże koła nachodzi na nos serca zwrotnicy o wielkość y .

$$y = (X_{zwr})_{max} - (C_{zwr})_{min} = 1394,5 - 1393 = 1,5 \text{ mm}$$

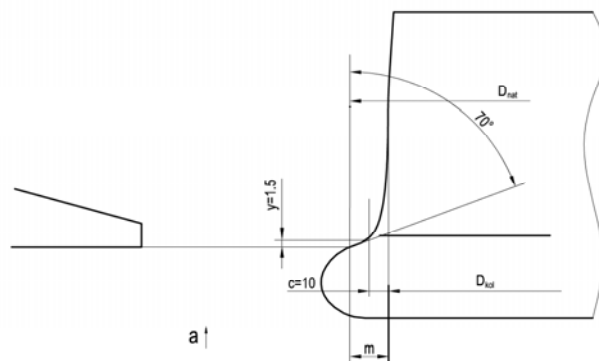
Wzajemne ustawienie obrzeża koła i nosa zwrotnicy w najbardziej niekorzystnym przypadku pokazano na rys. 15 i 16.

Zachodzi zależność:

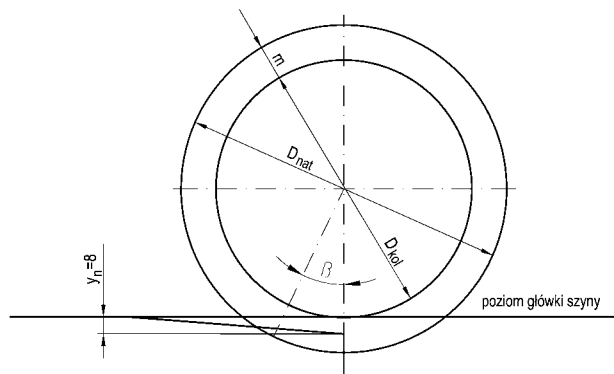
$$m = c + y \cdot \operatorname{tg} 70^{\circ} = 10 + 1,5 \cdot 2,747 = 14,12 \approx 14 \text{ mm}$$

$$D_{nat} = D_{kol} + 2 \cdot m = D_{kol} + 2 \cdot 14 = D_{kol} + 28$$

Obniżenie czola nosa wynosi $y_n = 8$ mm według karty UIC 510-2 [6]. Zatem kąt natarcia koła na nos wyniesie:



Rys.15 Najbardziej niekorzystne wzajemne ustawienie koła kolejowego względem nosa serca zwrotnicy kolejowej



Rys.16 Widok „a” z rys.15 w chwili, gdy środek koła znajduje się nad nosem serca zwrotnicy

$$\cos \beta = \frac{\frac{D_{kol}}{2} + y_n}{\frac{D_{kol}}{2} + 2m} = \frac{D_{kol} + 2y_n}{D_{kol} + 2m}$$

Rozpatrywany niekorzystny przypadek ma miejsce, gdy koło jest nowe. Średnica nowego kolejowego koła wagonowego wynosi $D_{kol} = 920$ mm.

Zatem

$$\cos \beta = \frac{920 + 2 \cdot 8}{920 + 2 \cdot 14} = \frac{936}{948} = 0,987341772$$

Stąd

$$\beta = 9,1260589 \approx 9^{\circ}$$

Koło wchodzi w styk z nosem niemal stycznie do niego. Z łatwością wślizgnie się ono po powierzchni bocznej nosa, przy czym zestaw kołowy zostanie łagodnie (ale skutecznie) odepchnięty na powrót w bok o kolidującą wartość $y_n = 1,5$ mm w kierunku do środka toru.

Takie zachowanie się zestawu kołowego przewidziano w karcie UIC 510-2 [6] (droga odepchnięcia powrotnego, niem. „Rückdrangweg”).

Zatem dzięki kierownicy 10 zestaw kołowy nie uniesie się na nos 9 w sercu 8 zwrotnicy, lecz bok roboczy obrzeża koła toczącego się uprzednio po iglicy 6 wślizgnie się po powierzchni roboczego boku nosa 9, odpychając zestaw kołowy w bok o drogę

odepchnięcia y_n i tym sposobem kolejowy zestaw kołowy przejedzie bezpiecznie przez serce zwrotnicy kolejowej 8.

4.2.5. Jazda kolejowego zestawu kołowego po zwrotnicy kolejowej w kierunku łukowym

Toczenie się zestawu kołowego od wejścia (A) do wyjścia (C) na rys. 11 początkowo odbywa się w taki sposób, że lewe koło jest prowadzone przez iglicę toru łukowego 5 aż do chwili, gdy napotyka ono szczelinę w sercu zwrotnicy i wtedy koło utraci prowadzenie boczne.

Jednak utrata prowadzenia bocznego lewego koła jest skompensowana przez kierownicę 11, jaka teraz prowadzi prawe koło, które dzięki temu musi toczyć się po szynie łukowej 4, a wraz z nim cały zestaw kołowy skręca tocząc się od wejścia (A) do wyjścia (C).

Rachunek wymiarowy jest identyczny, jak dla jazdy w kierunku prostym i wyniki są takie same.

4.2.6. Jazda tramwajowego zestawu kołowego po zwrotnicy kolejowej w kierunku prostym w skrajnie prawym położeniu

Analiza będzie analogiczna jak w punkcie 4.2.4 z tą różnicą, że zamiast wymiaru $a_{kol} = 1360^{+3}$ mm wystąpi wymiar $a_{tramw} = 1385^{+1,4}$ mm, a zamiast wymiaru $b_{kol} = 32,5^{+0,5}_{-10,5}$ mm wystąpi wymiar $b_{tramw} = 21,5^{+0,2}_{-8,5}$ mm (rys. 14).

Równanie (11) przyjmuje postać:

$$X_{zwr tramw} = (a_{tramw} + b_{tramw})^{\pm 1,6} = (1385 + 21,5)^{\pm 1,6} = 1406,5^{\pm 1,6} \text{ mm}$$

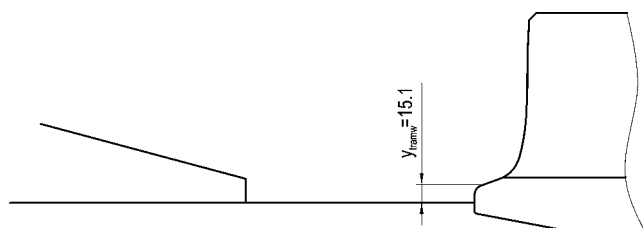
Szerokość prowadząca zwrotnicy (rys. 11) wynosi $C_{zwr} = 1395^{+3}_{-2}$ mm

Nachodzenie obrzeża koła na nos serca zwrotnicy może wynosić:

$$y_{tramw} = 1406,5^{\pm 1,6} - 1395^{+3}_{-2} = 11,5^{+3,6}_{-4,6} \text{ mm}$$

czyli w najbardziej niekorzystnym przypadku 15,1 mm.

Wzajemne ustawienie obrzeża koła i nosa zwrotnicy w najbardziej niekorzystnym przypadku przedstawiono na rys.17 (podczas jazdy po łuku od wjazdu (A) do



Rys.17 Najbardziej niekorzystne wzajemne ustawienie koła tramwajowego względem nosa serca zwrotnicy kolejowej

Możliwe ustawienie pokazane na rys. 17 spowoduje natychmiastowe wykolejenie tramwajowego zestawu kołowego, gdyż szerokość prowadzona tramwajowego zestawu kołowego w zwrotnicy równa $X_{zwr tramw} = 1406,5^{\pm 1,6}$ mm jest dużo większa od szerokości prowadzącej zwrotnicy równej $C_{zwr} = 1395^{+3}_{-2}$ mm, skutkiem czego kierownica zwrotnicy kolejowej przestaje spełniać swoją funkcję, tzn. nie jest zdolna do prowadzenia tramwajowego zestawu kołowego w zwrotnicy kolejowej.

4.3. Jazda po zwrotnicy tramwajowej

4.3.1. Jazda kolejowego zestawu kołowego po zwrotnicy tramwajowej

Jazda taka jest niemożliwa, gdyż obrzeża kół kolejowych w żaden sposób nie pasują do rowków szyn tramwajowych, a poza tym obrzeże koła kolejowego jest zaokrąglone łukiem o promieniu 12 mm i przez to okrąg wierzchołkowy koła nie nadaje się w ogóle do toczenia się po jakiegokolwiek powierzchni.

4.3.2. Jazda tramwajowego zestawu kołowego po zwrotnicy tramwajowej

Jazda taka może odbywać się bezproblemowo.

Koło tramwajowe przejeżdża przez serce zwrotnicy tramwajowej w ten sposób, że toczy się ono swoim kręgiem wierzchołkowym obrzeża po dnie jednej z kolein, zależnie od nastawienia zwrotnicy.

Koło to jest prowadzone bocznie trochę przez tę koleinę, a głównie przez drugie koło tego samego zestawu kołowego, które toczy się wtedy w rowku zwykłej szyny tramwajowej i jest prowadzone przez prowadnicę tej szyny.

Zasada ta funkcjonuje zadawalająco. Ponieważ uniwersalny zestaw kołowy posiada takie samo obrzeże jak tramwajowy, to będzie on przejeżdżał przez serca zwrotnic tramwajowych tak samo nienagannie jak tramwajowy zestaw kołowy.

4.4. Omówienie i wnioski wynikające z jazdy po zwrotnicy

4.4.1. Szerokość koła dla tramkolu

Aby uniwersalnemu zestawowi kołowemu (dla tramkolu) umożliwić jazdę po zwrotnicach kolejowych, należałoby po wewnętrznej stronie koła tramwajowego dodać warstwę materiału o odpowiedniej grubości, aby odległość pomiędzy czołami tych dodatkowych warstw materiału na obu kołach wynosiła $a_{kol} = 1360^{\pm 1}$ mm.

Jednak z uwagi na konieczność współpracy uniwersalnego zestawu kołowego z torem zbudowanym z szyn tramwajowych, ta dodatkowa warstwa materiału nie może pojawić się niżej niż na pewnej wysokości „i” ponad główką szyny, takiej, aby w żadnym stanie zużycia koła ta dodatkowa warstwa materiału nie zesza poniżej poziomu główki szyn.

Ta wysokość „i” musi kompensować następujące elementy:

- zużycie pionowe główki szyny
- zużycie radialne koła między dwoma kolejnymi reprofilowaniami; można założyć, że koło będzie reprofilowane każdorazowo po zużyciu radialnym (pionowym) równym $\delta_k = 8$ mm
- na szynie 180P według normy PN-92/H-93440 [9] górna krawędź prowadnicy szyny w stanie nowym leży o 3 mm wyżej niż poziom główki szyny; wielkość ta również musi zostać uwzględniona
- tolerancję wykonawczą dodatnią wymiaru „i”, równą 1 mm
- minimalny luz pomiędzy najbardziej zużytym kołem, a prowadnicą szyny o najbardziej zużytej bieżni, równy 1 mm.

Wielkość „i” powinna być odnawiana z tolerancją wykonawczą przy każdym reprofilowaniu koła.

Według [12] promień zaokrąglenia wewnętrznego boku obrzeża typowego koła kolejowego wynosi 20,5 mm. Ponieważ podczas wchodzenia dodatkowej warstwy materiału koła uniwersalnego zestawu kołowego w kierownicę zwrotnicy sytuacja jest identyczna jak w przypadku wchodzenia obrzeża typowego koła kolejowego w tę kierownicę, to promień zaokrąglenia tej dodatkowej warstwy materiału musi być taki sam, jak promień zaokrąglenia wewnętrznego boku obrzeża koła kolejowego, a kąt nachylenia wprowadzenia dodatkowej warstwy materiału do poziomu według [12] powinien wynosić co najmniej 40° .

4.4.2. Wysokość kierownicy szyny

Aby dodatkowa warstwa materiału spełniała swoje zadanie, musi ona swą płaską powierzchnią kontaktować się z kierownicą szyny na wysokości co najmniej 10 mm.

Zatem kierownica szyny musiałaby mieć wysokość co najmniej równą H ponad główkę szyny, a więc musiałaby być wyższa od istniejących kierownic.

Takich kierownic w zwrotnicach dotychczas w Polsce nie ma. Trzeba by wykonać specjalne kierownice o wysokości H. Na trasach, po których miałyby kursować tramkole trzeba by wszystkie kierownice zwrotnic wymienić na kierownice o wysokości H z tolerancją eksploatacyjną H^{+10} mm (zgodnie z kartą UIC 510-2 [6] zużycie pionowe główki szyny w zwrotnicy może wynieść 10 mm).

Wówczas uniwersalny zestaw kołowy przejeżdżałby przez serce zwrotnicy kolejowej tak samo niezawodnie, jak czyni to klasyczny kolejowy zestaw kołowy.

4.4.3. Wnioski

Uniwersalny zestaw kołowy, który byłby zdolny do przejazdu zarówno przez zwrotnicę kolejową jak i przez tramwajową, musiałby mieć koła, których wymiary poprzeczne byłyby takie, jak przedstawiono na rys. 2 z uwzględnieniem dodatkowej warstwy materiału, a jego obrzeże byłoby identyczne z obecnym obrzeżem koła tramwajowego.

Do tego we wszystkich zwrotnicach kolejowych na trasach, po których miałyby kursować tramkole, musiałby zostać wymienione wszystkie kierownice zwrotnic na kierownice o wysokości H^{+10} mm ponad poziom główki szyny. To nie popsułoby przejeżdżalności tych zwrotnic przez klasyczny tabor kolejowy, gdyż takie kierownice występują we Francji i po tych zwrotnicach jeździ bez przeszkód klasyczny tabor kolejowy wszystkich krajów, w tym również tabor polski. Nadto zarys odniesienia kolejowej skrajni kinematycznej stosowanej przez UIC dla lokomotyw i pojazdów trakcyjnych ma wysokość swej dolnej krawędzi równą 80 mm ponad główką szyny, a wysokość dolnej krawędzi zarysu odniesienia skrajni stosowanej dla wagonów wynosi 130 mm nad główką szyny, wobec czego wymiar H nie stanowiłby żadnej przeszkody dla przejeżdżającego taboru.

Ale w samym tramwaju, który miałby stać się tramkolem, dotychczasowy zarys odniesienia skrajni kinematycznej ma swą dolną krawędź położoną na wysokości 60 mm ponad główką szyny. Mogłaby zaistnieć kolizja części zawieszonych pod wózkiem tramwaju z kierownicami zwrotnic o wysokości H. Należałoby zatem przekonstruować wszelkie elementy wózka tramwajowego znajdujące się nisko nad główkami szyn (przekładnie zębate napędu głównego, tarcze hamulców tarczowych, maźnice itp.) na takie, które nie kolidowałyby ani z kierownicami zwrotnic o wysokości H, ani ze zmniejszonym w stosunku do obecnego odstępem wewnętrznych czół kół tramwaju ($a_{kol} = 1360^{+1}$ mm, wobec obecnie stosowanego $a_{tramw} = 1385^{+1}$ mm). Te przeróbki konstrukcji tramwaju mogą być bardzo trudne, a dla wagonów niskopodłogowych wręcz niemożliwe do wykonania.

Drugą możliwością jest zastosowanie zwrotnic kolejowych z zamykanym sercem na wszystkich trasach, po których miałyby jeździć tramkole. Zwrotnica z zamykanym sercem nie potrzebuje kierownicy i nie posiada pustej przestrzeni w sercu.

Wtedy dla tramkolu wystarczającym byłoby obecnie stosowane zwykle koło tramwajowe o szerokości $f = 90^{+1}$ mm. Zwrotnica taka byłaby również przejezdna dla taboru kolejowego bez żadnych przeszkód.

LITERATURA

- [1] J. Dąbrowski: „Rozważania nad koncepcją napędu tramwajowego dwusystemowego w warunkach polskich”. *Technika Transportu Szynowego*, Nr 9/1999.

- [2] W. Czyczula: „Koncepcja zintegrowanego systemu transportu szynowego dla Krakowa”. *Technika Transportu Szynowego*, Nr 9/1999.
- [3] J. Wesolowski: „Pociągiem przez centrum Łodzi”. *Technika Transportu Szynowego*, Nr 9/1999.
- [4] W. Czyczula, A. Tulecki: „Budowa i badania eksploatacyjne pojazdu kolejowo-tramwajowego TRAMKOL 02”. *Technika Transportu Szynowego*, Nr 6/2000.
- [5] PN-84/H-93421. Szyny normalnotorowe.
- [6] Karta UIC 510-2. Pojazdy doczepne. Warunki dla stosowania kół o różnych średnicach w układach biegowych różnego typu. Wydanie 4 z kwietnia 2004r.
- [7] PN-91/K-88251. Zestawy kołowe taboru tramwajowego. Kontur bieżni kół elastycznych wagonów tramwajowych.
- [8] Radreifen 2WU 022-206 h 1800 mm Achsabstand, rysunek niemiecki z r. 1993.
- [9] PN-92/H-93440. Stal. Szyny tramwajowe z rowkiem.
- [10] Przepisy D1 – Przepisy techniczne utrzymania i eksploatacji nawierzchni na liniach kolejowych normalnotorowych użytku publicznego, wprowadzone Zarządzeniem nr 47 Ministra Komunikacji z dn. 01.06.1982r.
- [11] Karta UIC 505-1. Pojazdy kolejowe. Skrajnia pojazdów.