

## Możliwości kształtowania optymalnego zarysu pojazdu tramwajowego

*Artykuł jest poświęcony studium możliwości kształtowania optymalnego zarysu pojazdu tramwajowego w oparciu o obowiązujące przepisy w zakresie skrajni kinematycznej pojazdu tramwajowego oraz skrajni budowli. W pierwszej części przedstawiono układ stopień wejściowy –peron, czynniki wpływające na minimalną wysokość podłogi oraz możliwości konstrukcyjne usytuowania urządzeń pomocniczych na dachu pojazdu tramwajowego.*

*Artykuł powstał w ramach projektu badawczego nr N 509 03531/2367, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków na naukę na lata 2006÷2009, pt.: „Metodyka wyznaczania kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni oraz luzów bezpieczeństwa dla pojazdów tramwajowych, celem ustalenia optymalnego zarysu pojazdu”.*

### 1. Wstęp

W związku ze zwiększającymi się wymaganiami rynkowymi w zakresie transportu miejskiego pojazd tramwajowy musi posiadać możliwie maksymalne wymiary gabarytowe, umożliwiające odpowiedni komfort jazdy pasażerów [2÷5]. Szczególną uwagę należy zwrócić w tym wypadku na:

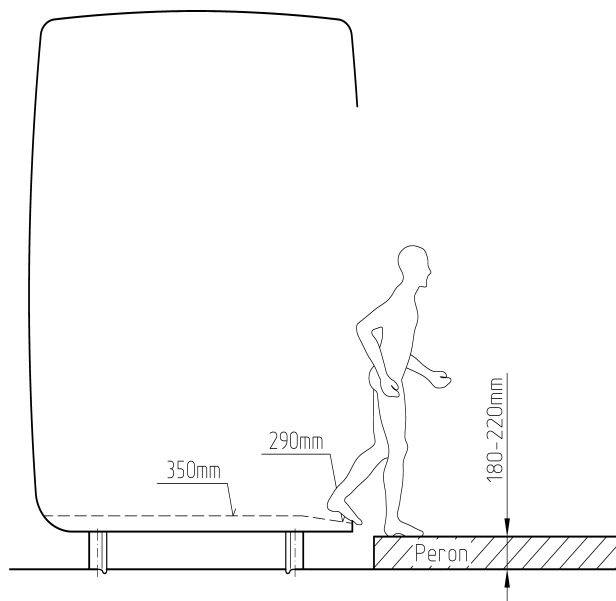
- efektywną szerokość pojazdu tramwajowego, od której zależy między innymi układ i szerokość miejsc siedzących, szerokość korytarza przejściowego (niem. „Gangbreite”)
- zapewnienie maksymalnej rotacji podróźnych przy wsiadaniu i wysiadaniu podróźnych poprzez zastosowanie możliwie maksymalnej ilości podwójnych drzwi oraz możliwie równomiernego ich rozdziału na pełnej szerokości pojazdu tramwajowego
- efektywną wysokość pojazdu tramwajowego, od której zależy między innymi usytuowanie agregatów pomocniczych na dachu
- usytuowanie stopnia wejściowego i podłogi w stosunku do główki szyny.

Istotnym ograniczeniem projektowym dla dopuszczalnego zarysu tramwajowego jest dopuszczalny zarys odniesienia skrajni kinematycznej wg normy PN-K-92008 [6] oraz PN-K-92008/Ap1 [7], po uwzględnieniu zwężeń wewnętrznych  $E_i$  i zewnętrznych  $E_a$ . Zarys skrajni kinematycznej skrajni jest z kolei uwarunkowany zarysem skrajni budowli wg normy PN-K-92009:1998 [8]. W przypadku niemieckich przedsiębiorstw przewozowych obowiązują w tym zakresie przepisy BOStrab [9]. W wyniku jazdy na torze prostym oraz łukach pojazd tramwajowy podlega przemieszczeniom geometrycznym i kinematycznym, które składają się na kinematyczne zapotrzebowanie przestrzeni (niem. „Lichtraumbedarf”). W ponad 100-letniej historii rozwoju ruchu tramwajowego przez

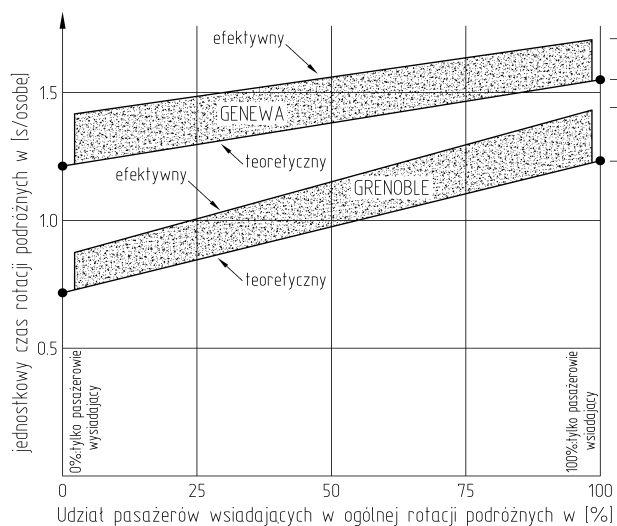
ok.80 lat eksploatacja tramwajów zmieniła się w nieznanym stopniu, natomiast przez ostatnie 20 lat można mówić o rewolucji w tym zakresie. Zmiany zostały wymuszone przede wszystkim upowszechnieniem transportu samochodowego, zwłaszcza w latach 60-tych, kiedy coraz więcej ludzi zostało posiadaczami samochodów, co spowodowało znaczne zmniejszenie ilości pasażerów komunikacji miejskiej. Zmiany, które pochodzą jednoznacznie z potrzeby racjonalizacji, miały istotny wpływ na budowę pojazdu tramwajowego. Głównym problemem, jaki powstał przy konstruowaniu nowoczesnych pojazdów tramwajowych było dopasowanie wysokości podłogi do wysokości peronów. Wskutek tego powstała nowa generacja pojazdów tramwajowych, zwanych pojazdami niskopodłogowymi (niem. „Niederflurstrassenbahnen”), które zgodnie z [1] charakteryzują się wysokością wsiadania (niem. „Einstiegshöhe”) < 400 mm. W przypadku tramwajów średniopodłogowych (niem. „Mittelflurstrassenbahnen”) wysokość podłogi zawiera się w przedziale 400 do 600 mm, natomiast w przypadku tramwajów wysokopodłogowych (niem. „Hochflurstrassenbahnen”) wysokość podłogi jest większa od 600 mm. Pierwszy tramwaj niskopodłogowy typu „20TFS2” pojawił się po raz pierwszy w Grenoble w 1987 roku, w związku z czym można już mówić o blisko dwudziestoletniej ich historii w zakresie konstruowania, produkcji i doświadczeń eksploatacyjnych. Głównym zadaniem zastosowania tramwaju niskopodłogowego w eksploatacji było przede wszystkim oprócz polepszenia wskaźnika rotacji podróźnych podczas wsiadania i wysiadania podróźnych między innymi korzystanie przez pasażerów niepełnosprawnych, pasażerów z dziećmi oraz osoby w starszym wieku ze środków komunikacji miejskiej.

## 2. Wysokość peronu tramwajowego

Istotnym ograniczeniem skrajniowym o charakterze ciągłym dla pojazdów tramwajowych jest wysokość peronu ( niem., „Bahnsteigshöhe”). Punktem wyjściowym do dalszych rozważań konstrukcyjnych jest wysokość stopnia wejściowego ( niem., „Türtrittshöhe” lub „Einstiegshöhe”), która wynosi w większości eksploatowanych pojazdów tramwajowych 290÷300 mm. Zastosowanie tramwajów niskopodłogowych powoduje rezygnację z pośredniego stopnia wejściowego („ niem. Trittstufe”), co powoduje znaczne efekty przyspieszające rotację podróżnych, widoczne dla przykładowych tramwajów niskopodłogowych dla Grenoble (Francja) oraz Genewy ( Szwajcaria). W wyniku poprawy warunków wsiadania i wysiadania należy liczyć się, że przy drzwiach podwójnych ( niem. „Doppeltür”) ilość pasażerów będzie dochodziła nawet do 40.



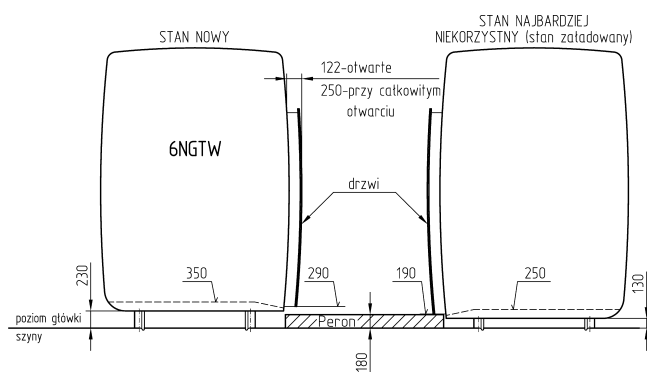
Rys.2. Warunki wsiadania i wysiadania dla podróżnych w przypadku tramwaju niskopodłogowego typu 6NGTW dla Kassel ( Niemcy)



Rys.1. Zwiększenie efektywności jednostkowego wskaźnika rotacji pasażerów wsiadających i wysiadających ( niem. „Fahrgastwechselzeit”) na przykładzie tramwaju niskopodłogowego dla Grenoble w stosunku do tramwaju dla Genewy

Kolejnym przykładem polepszenia warunków wsiadania i wysiadania dla pasażerów jest tramwaj niskopodłogowy dla Kassel ( niem., „Kasseler Niederflurfahrzeug”), co jest przedstawione na rys.2.

Jak widać z przykładu pokazanego na rys.2, warunkiem zwiększenia komfortu przy wsiadaniu oraz wysiadaniu przez podróżnych jest nie tylko zmniejszenie wysokości podłogi i stopnia wejściowego pojazdu tramwajowego, ale również odpowiednie dopasowanie wysokości peronu. W stanie nowym pokazanym na rys.2, różnica wysokości pomiędzy stopniem wejściowym oraz peronu wynosi 70÷110 mm. Warunki wsiadania i wysiadania dla pasażerów tramwaju niskopodłogowego typu 6NGTW w stanie nowym oraz najbardziej niekorzystnym z punktu widzenia statycznego ugięcia i maksymalnego zużycia szyn oraz powierzchni tocznej kół w przypadku peronu o wysokości 180 mm przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Usytuowanie tramwaju niskopodłogowego typu 6NGTW na tle peronu o wysokości 180 mm

Czynniki wpływające na usytuowanie stopnia wejściowego sprowadzają się do:

- połowy zużycia wieńca koła na powierzchni tocznej ( niem., „1/2 Radreifenverschleiss”): 20 mm
- ugięcia usprężynowania w stanie statycznym, kołysanie pudła ( niem. „ Durchfederung, Wanken”): 65 mm
- zużycia szyn ( niem. „Schienenabnutzung”): 15 mm
- swobodnej przestrzeni ( niem. „Freiraum”): 10 mm, co daje łączne zmniejszenie wysokości podłogi ( stopnia wejściowego) wynoszące 110 mm i wynikającą z tego wysokość peronu wynoszącą 290-110= 180 mm.

Jeśli ugięcie i kołysanie udałoby się zmniejszyć z 65 mm do 50 mm oraz zużycie szyn do 10 mm wówczas zmniejszenie wysokości podłogi ( stopnia wejściowego) wynosiłoby 90 mm i wynikałoby z tego wysokość peronu wynosząca  $290-90=200$  mm. Powyższe obliczenia uzasadniają przyjętą wysokość dla peronów w Kassel wynoszącą  $180\pm 200$  mm. Zużycie szyn w kierunku pionowym jest przyjęte na podstawie wymogu regularnych kontroli przeprowadzonych przez przedstawicieli infrastruktury. Zgodnie z przepisami krajowymi dla miejskich przedsiębiorstw przewozowych dopuszczalne zużycie szyn w kierunku pionowym wynosi odpowiednio:

-dla szyn rowkowych  $P\leq 18$  mm

-dla szyn kolejowych:

– o dopuszczalnym ciężarze jednostkowym do 422N/m:  $P\leq 12$  mm

– o dopuszczalnej ciężarze jednostkowym powyżej 422 N/m:  $P\leq 15$  mm [11].

Zgodnie z niemieckimi przepisami BOStrab [10] pionowe zużycie szyn pomiędzy dwoma okresami naprawczymi, w których dokonuje się podbijania podkładów przyjmuje się nawet na poziomie 5 mm ( niem. „ vertikaler Schienenverschleiss zwischen zwei Stopfintervallen”). W związku z powyższymi wymogami sformułowanymi dla polskich oraz niemieckich przedsiębiorstw komunikacyjnych ograniczenie zużycia szyn w kierunku pionowym do 10 mm wydaje się być realne.

### 3. Czynniki wpływające na usytuowanie podłogi tramwaju nisko-podłogowego względem peronu

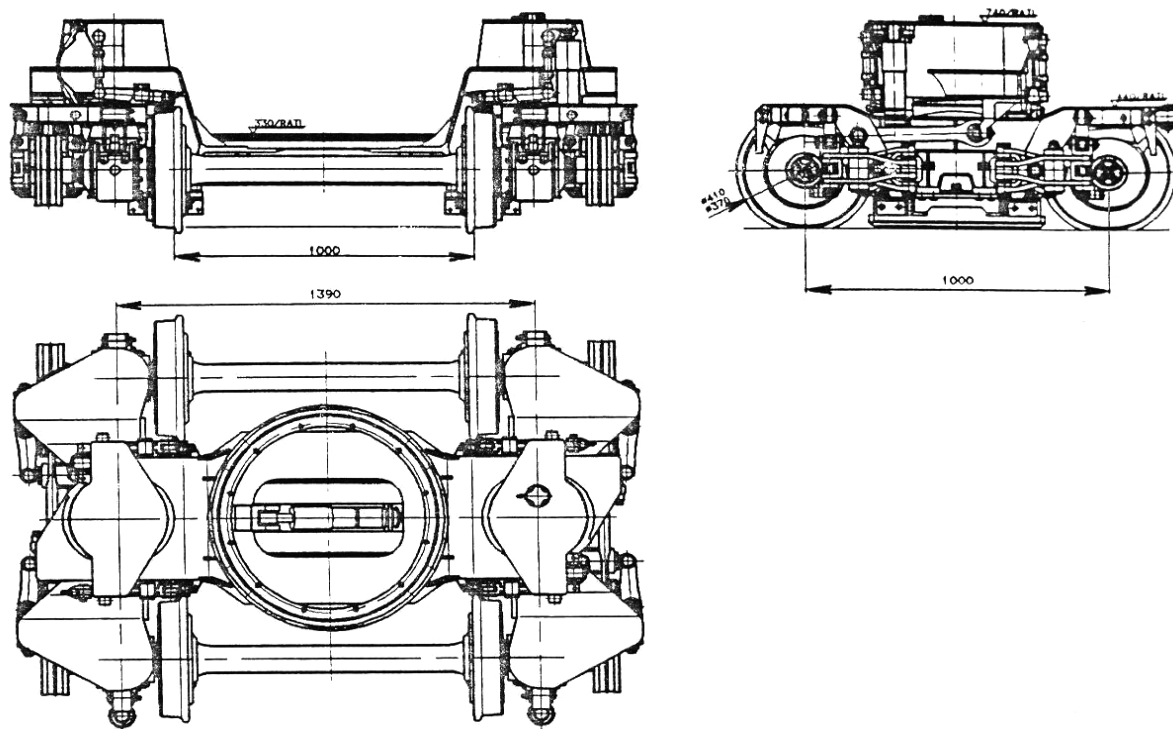
Zużycie wieńca koła i szyny jest we wzajemnej zależności i odbywa się w wyniku procesów niszczących zachodzących na wzajemnie stykających się powierzchniach. Wielkości, które wpływają w sposób znaczący na zużycie i których procentowy udział w zużyciu kół odbywa się wg następującej reguły dla danej sieci toru:

- w 10% jest zależne od luzu zestawu kołowego w torze
- w 40% jest zależne od rodzaju prowadzenia zestawu kołowego w torze
- w 50% jest zależne od własności materiałowych wieńca koła.

Podane wartości procentowe mogą się zmienić w zależności od okoliczności, jednakże podają one zasadnicze wytyczne do poprawy sytuacji w zakresie zużycia.

Zasadniczo zużycie kół pojazdów tramwajowych można zmniejszyć poprzez stworzenie lepszych warunków ruchu tocznego oraz poprzez lepsze warunki ustawiania się zestawów kołowych w łuku toru.

Następujące środki konstrukcyjne przyczyniają się do mniejszego zużycia kół zestawów kołowych:

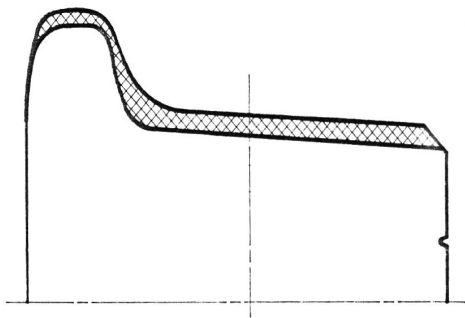


Rys.4. Układ biegowy toczny dla tramwaju niskopodłogowego w Bernie

- krótka baza, stąd mały kąt nabiegania pomiędzy kołem i szyną podczas jazdy na łuku toru
- elastyczne prowadzenie wzdłużne zestawów kołowych, przez co mogą się ustawiać w łuku toru sposób częściowo radialny, poprzez „samonastawianie się”
- elastyczne prowadzenie poprzeczne zestawów kołowych, z czego wynika nabieganie na łuk ze zmniejszonym uderzeniem podczas nabiegania
- zredukowana masa nieusprężynowana dzięki zastosowaniu techniki kół o małych średnicach
- zredukowana masa własna układu biegowego ( niem. „Niederflurlaufwerk”) w wyniku zastosowania kompaktowej, zwartej budowy ( niem. „ kompakte Bauweise”)
- zmniejszony moment obrotowy wózka poprzez zastosowanie łożyska obrotowego ( niem. „ Kugeldrehkranz”) poprzez zmniejszenie sił prowadzących.

Z powyższego wynika, że zastosowanie wózka o klasycznej budowie dla tramwajów niskopodłogowych jest niemożliwe.

Potwierdzenie skuteczności zastosowanych ww. środków konstrukcyjnych dostarczyły badania eksploatacyjne ( podczas komercyjnej eksploatacji) przeprowadzone w Bernie w 1988 roku. Zużycie koła po przebiegu 83 100 km układu biegowego dla tramwajów niskopodłogowych ( rys.4) jest przedstawione na rys.5.



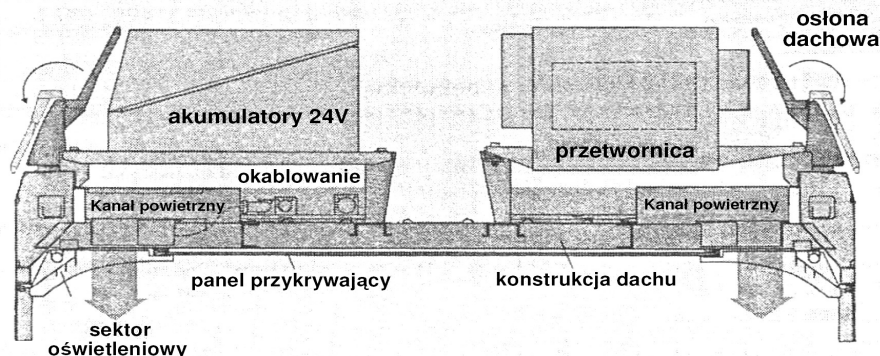
Rys.5. Zużycie zarysu zewnętrznego wieńca koła po 83 100 km dla wózka tocznego niskopodłogowego ( niem. „Niederflurdrehgestell”)

Zużycie koła o średnicy w stanie nowym  $\varnothing$  410 mm (przystosowane do maksymalnego pionowego obciążenia statycznego na szynę wynoszącego 35kN) po przebiegu wynoszącym 83 100 km wynosiło ok. 4 mm na promieniu w płaszczyźnie okręgu tocznego. Różnica średnic obydwu kół zestawu kołowego wynosiła mniej niż 0,3 mm. Na koła została zastosowana stal stopowa o wytrzymałości na rozciąganie  $R_m=880\div 980$  MPa z maksymalną zawartością węgla 0,60%. Na uwagę zasługuje w miarę równomierne zużycie zarysu

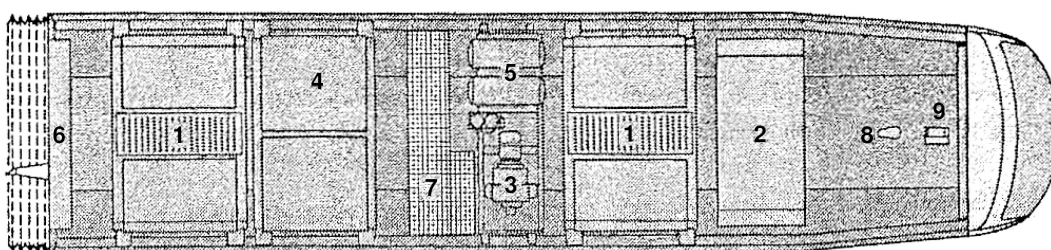
zewnętrznego wieńca koła. Uzyskane pozytywne wyniki badań można przenieść również dla kół o normalnej średnicy tocznej  $\varnothing$  660 mm. Zmniejszonemu zużyciu kół zestawów kołowych w wyniku zastosowanych środków konstrukcyjnych towarzyszą bardzo korzystne efekty uboczne, do których zalicza się między innymi polepszenie komfortu jazdy, zmniejszenie emisji hałasu do otoczenia podczas jazdy i mały opór toczenia w łukach toru. Doświadczenia eksploatacyjne z małymi kołami  $\varnothing$ 410 /370 mm, przeprowadzone w 1988 roku zostały wykorzystane w nowej generacji tramwajów typu NGT 8D użytkowanych przez BSVAG ( Braunschweig)-rok budowy 2007, typu ST14 użytkowanych przez HEAG ( Darmstadt)-rok budowy 2007 oraz typu NGT8G użytkowanych przez GVB (Gera)-rok budowy 2006/2007. Ww. tramwaje niskopodłogowe posiadają wózki toczne z małymi kołami o średnicy  $\varnothing$  410 /370 mm ( stan nowy/stan zużyty) oraz wózki napędne z kołami o średnicy 590/510 mm. Dzięki zastosowaniu wózków tocznych z małymi średnicami tocznymi kół udało się osiągnąć 67% udział obniżonej podłogi ( niem. „Niederfluranteil”). Istotnym czynnikiem ograniczającym zastosowanie kół o małych średnicach jest oprócz ograniczenia dopuszczalnego nacisku pionowego ( statycznego oraz dynamicznego) jest dolne ograniczenie zarysu skrajni kinematycznej, które w przypadku polskich przepisów PN-K-92008:1998 [7] oraz PN-K-92008/Ap1:1998 [8] wynosi 60 mm od główki szyny, natomiast w przepisach Zachodniej Europy 50 mm [2].

#### 4. Możliwości konstrukcyjne w zakresie usytuowania urządzeń pomocniczych na dachu tramwaju

Jedną z ważniejszych tendencji rozwojowych w tramwajach niskopodłogowych jest zastosowanie na ich dachu urządzeń o budowie modułowej ( niem.„ Gerätemodule”), które w celu ułatwienia montażu i demontażu podczas prac remontowych i kontrolnych są wyposażone ucha ułatwiające zaczepianie przez urządzenia dźwigowe ( niem. „Kranösen” lub „ Befestigungsösen“). Przykłady rozmieszczenia urządzeń pomocniczych o budowie modułowej na dachu tramwaju z obniżoną podłogą typu VÖV są przedstawione na rys.6, 7 i 8. Tramwaj został opracowany na zlecenie niemieckiego Ministerstwa Badań i Rozwoju ( niem.„ Bundesministerium für Forschung und Technologie”) oraz Ministerstwa Komunikacji ( niem. „Bundesministerium für Verkehr”) przez konsorcjum pod przewodnictwem Rheinische Bahngesellschaft GmbH.

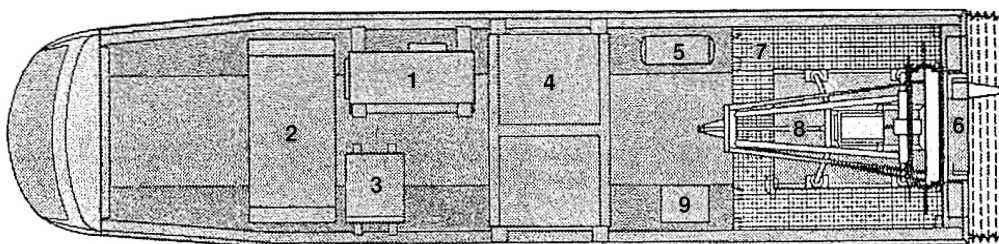


Rys.6. Przekrój dachu tramwaju niskopodłogowego typu VÖV wyposażonego w urządzenia pomocnicze o budowie modułowej



- |                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| 1.Przetwornica           | 6.Obudowa przegubu |
| 2.Ogrzewanie             | 7.Ruszt            |
| 3.Sprężarka              | 8.Antena           |
| 4.Skrzynia na urządzenia | 9.Urządzenie IRIS  |
| 5.Zbiornik powietrza     |                    |

Rys. 7. Rozmieszczenie urządzeń pomocniczych na części „A” przegubowego tramwaju niskopodłogowego typu VÖV



- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| 1.Przetwornica           | 6.Obudowa przegubu      |
| 2.Ogrzewanie             | 7.Ruszt                 |
| 3.Skrzynia akumulatora   | 8.Odbierak prądu        |
| 4.Skrzynia na urządzenia | 9.Napęd odbieraka prądu |
| 5.Zbiornik powietrza     |                         |

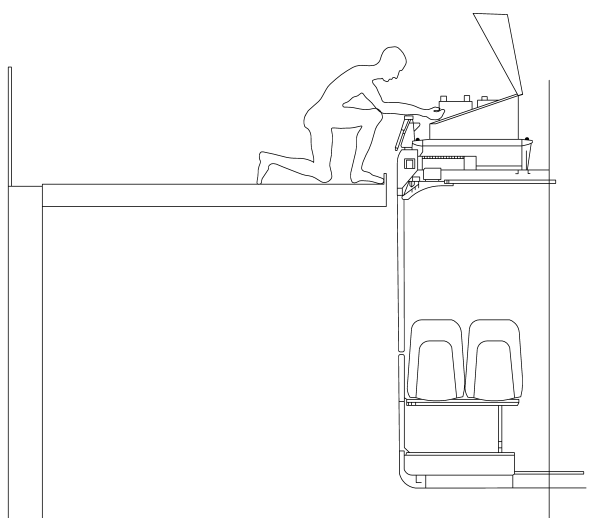
Rys.8. Rozmieszczenie urządzeń pomocniczych na części „B” przegubowego tramwaju niskopodłogowego typu VÖV

Rozmieszczenie urządzeń pomocniczych odbywało się przy uwzględnieniu warunków:

- modułowa budowa poszczególnych urządzeń
- równomierne rozmieszczenie mas względnie rozkład nacisków pionowych kół
- funkcjonalne rozmieszczenie modułów przy minimalnym orurowaniu i okablowaniu.
- ze względu na narażenie konstrukcji na warunki atmosferyczne, urządzenia pomocnicze muszą wykazywać wymagane warunki szczelności i zabezpieczenia antykorozyjnego.

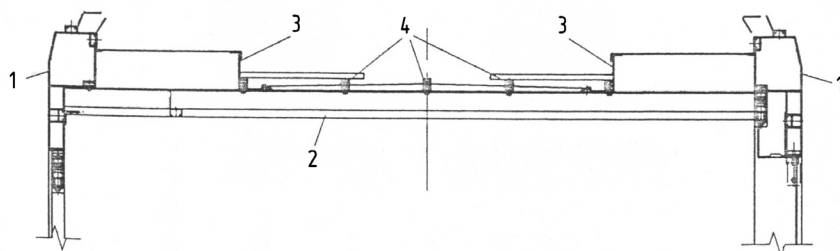
Urządzenia modułowe są kompletnie okablowane i podlegają odbiorowi przez każdego z producentów. Kolejną cechą lokalizacji urządzeń modułowych jest montaż na sztywno lub usprężynowane za pomocą elementów gumowo-metalowych tłumiących drgania i uderzenia o charakterze udarowym w zależności od ich cech konstrukcyjnych.

Urządzenia umieszczone na dachu części A (z dwoma wózkami napędowymi) posiadają masę całkowitą ok.1600 kg, natomiast część B (z jednym wózkiem tocznym) 1200 kg. Osłony dachowe (niem., Dachblende”) po poluzowaniu kilku połączeń zatrzaskowych mogą być odchylone, przez co powstaje możliwość korzystnej dostępności do urządzeń, celem wykonania prac konserwacyjnych i naprawczych (rys.9).



Rys. 9. Dostępność urządzeń o budowie modułowej rozmieszczonych na dachu pojazdu tramwajowego typu VÖV przy pracach konserwacyjnych i naprawczych przy użyciu pomostu roboczego (niem., Arbeitsbühne”)

Osłony dachowe są wykonane z ujednoliconych, znormalizowanych części i po zluźnieniu kilku połączeń śrubowych są łatwe do zdemontowania oraz spełniają warunek zamienności. Modułową zabudowę urządzeń pomocniczych umożliwia specjalna konstrukcja dachu, przedstawiona na rys.10.



- 1 - ostojnice dachowe
- 2 - poprzecznice
- 3 - poprzecznice pośrednie
- 4 - profile podpierające

Rys.10. Konstrukcja dachu tramwaju z obniżoną podłogą typu VÖV

Pomiędzy obydwoma zewnętrznymi podłużnicami dachu (1) są przykręcone poprzecznice (2) w praktycznie równej odległości. Wzdłuż przebiegają jeszcze pośrednie elementy nośne (3) i w celu lepszego podparcia dachu trzy dalsze małe profile podpierające (4). Płaszcz dachu został ukształtowany lekko pod górę, aby uniknąć koncentracji wody. Konstrukcja dachu umożliwia swobodne przechodzenie dla personelu obsługującego, jak również bardzo dobre dojście do stref o szczególnym znaczeniu jak np. miejsca zainstalowania odbieraka prądu.

### Literatura

- [1] *Hondius H.: Entwicklung der Niederflurstrassen- und Stadtbahnen. Stadtverkehr Nr.12 /2007*
- [2] *Müller A.: Niederflur-Stadtbahnwagen. Eine neue Fahrzeuggeneration. Vorträge der ETG Fachtagung vom 13 bis 14 März 1990 Kassel. ETG-Fachbericht Nr.31.*
- [3] *Sobaś M.: Skrajnia kinematyczna i budowli pojazdów tramwajowych. Pojazdy Szynowe Nr 3/2007*
- [4] *Sobaś M.: Analiza przemieszczeń geometrycznych i kinematycznych krajowych pojazdów tramwajowych na torze prostym oraz na łuku o minimalnym promieniu. Pojazdy Szynowe Nr 4/2007*
- [5] *Sobaś M.: Luzy bezpieczeństwa między skrajnią kinematyczną i skrajnią budowli dla pojazdów tramwajowych (1). Pojazdy Szynowe Nr 1/2008.*
- [6] *Sobaś M.: Luzy bezpieczeństwa między skrajnią kinematyczną i skrajnią budowli dla pojazdów tramwajowych (2). Pojazdy Szynowe Nr 1/2008*
- [7] *Norma PN-K-92008:1998: Komunikacja miejska. Skrajnia kinematyczna wagonów tramwajowych.*
- [8] *Norma PN-K-92008/Ap1:1998: Komunikacja miejska. Skrajnia kinematyczna wagonów tramwajowych.*
- [9] *Norma PN-K-92009:1998: Komunikacja miejska. Skrajnia budowli. Wymagania.*
- [10] *Tymczasowe wytyczne dla określenia zapotrzebowania przestrzeni dla kolei miejskich wg zarządzenia dotyczącego budowy i eksploatacji tramwajów (niem. „Vorläufige Richtlinien für die Bemessung des lichten Raumes nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen(BOStrab-Lichtraum-Richtlinien))” .12. 1996.*
- [11] *Wytyczne techniczne projektowania budowy i utrzymania torów tramwajowych. Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska. Departament Komunikacji Miejskiej i Dróg. Warszawa 1983.*