

TARCZE HAMULCOWE POJAZDÓW SZYNOWYCH

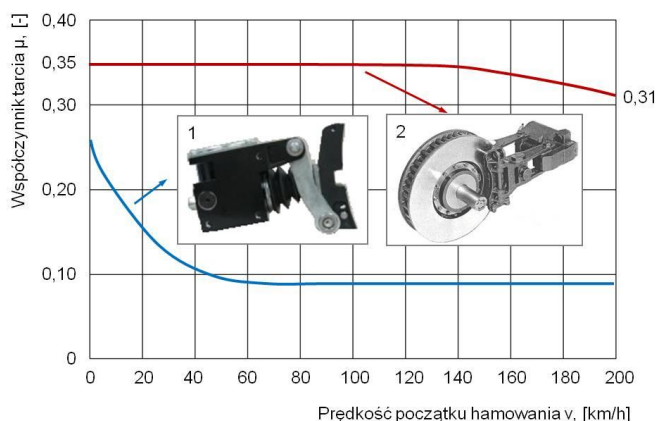
Streszczenie

Hamulec tarczowy pojazdów szynowych jest obecnie podstawowym hamulcem ciernym odpowiedzialnym za zatrzymanie pojazdu na wymaganej drodze hamowania. W wielu współczesnych pojazdach z trakcyjnymi silnikami elektrycznymi, hamulec tarczowy współpracuje z hamulcem elektrodynamicznym co dodatkowo wpływa na zwiększenie skuteczności hamownia poprzez realizację blendingu w sterowaniu hamulcami.

Celem artykułu jest przedstawienie obecnie stosowanych tarcz hamulcowych pojazdów szynowych.

WSTĘP

Jedną z wielu zalet hamulca tarczowego w pojazdach szynowych, względem hamulca klockowego jest stabilny przebieg średniego współczynnika tarcia w funkcji prędkości początku hamowania, co przedstawia rysunek 1. Jedyne w wagonach towarowych przystosowanych do 100km/h prędkości jazdy, nie jest wymagane stosowanie hamulca tarczowego (wyjątek stanowią wózki towarowe typu 4RSS/N oraz 4RSa/N).



Rys. 1. Zależność współczynnika tarcia w funkcji prędkości hamowania: 1-dla hamulca klockowego, 2-dla hamulca tarczowego

Ze względu na szerokie stosowanie hamulca tarczowego w technice kolejowej, powstało jego wiele odmian konstrukcyjnych umożliwiających zastosowanie go we wszystkich pojazdach szynowych, zarówno w pojazdach komunikacji miejskiej (tramwajach), pojazdach tych metro oraz kolejowych. Możliwości zabudowy oraz warunki w których muszą pracować były powodem powstawania wielu odmian tarcz hamulcowych.

Wszystkie obecnie eksploatowane tarczowe układy hamulcowe cechują się różnorodną konstrukcją tarczy hamulcowej. Z tych względów tarcze hamulcowe dzieli się na:

- jednostronne, bezpośrednio mocowane do tarczy koła,
- dwustronne, w których dwa pierścienie cierne zostały odsunięte od siebie w celu umożliwienia przepływu czynnika chłodzącego.

Ze względu na skuteczność odprowadzenia ciepła hamowania do otoczenia stosuje się tarcze nie wentylowane oraz wentylowane.

Ze względu na sposób odprowadzenia ciepła, stosuje się tarcze z:

- wentylującymi łopatkami,
- wentylującymi prętami (kołkami) dystansowymi.

Ze względu na ilość tarcz, na osi zestawu kołowego zakłada się:

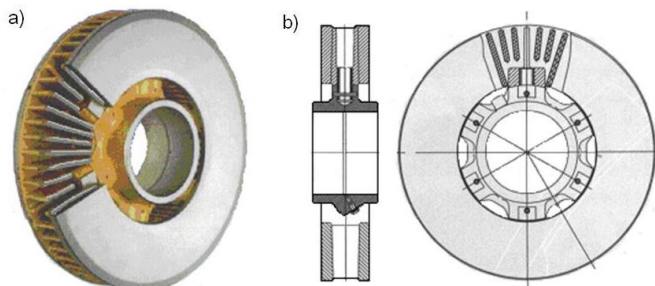
- jedną tarczę hamulcową w przypadku pojazdów komunikacji miejskiej,
- do czterech tarcz, stosowanych w pociągach dalekobieżnych kursujących z dużymi prędkościami jak np. TGV i inne. Ponadto wszystkie tarcze hamulcowe są wytwarzane jako:
 - dzielone w płaszczyźnie poprzecznej dla ułatwienia przeprowadzenia wszelkich czynności obsługowych,
 - nie dzielone, monolityczne (rozwiązanie klasyczne).

1. TARCZE PODWÓJNE WENTYLOWANE

Wzrost wymagań stawianym tarczowym układom hamulcowym w zakresie realizacji większych mocy hamowania spowodował, że naturalne ich chłodzenie w przypadku tarcz pojedynczych okazało się mało efektywne w oddawaniu nagromadzonego ciepła powstałego w czasie hamowania. Było to powodem odkształceń i deformacji tarczy hamulcowej i wiązało się z jej przetaczaniem lub nawet wymianą. W celu uniknięcia tych problemów, zaczęto stosować tarcze podwójne z wymuszonym wewnętrznym przepływem powietrza przez specjalnie ukształtowane kanały. Stosuje się przy tym promieniście rozłożone łopatki chłodzące lub pręty dystansowe.

1.1. Tarcze z wentylującymi łopatkami

Pierwszym sposobem odprowadzenia ciepła hamowania z powierzchni tarczy, jest stosowanie układu łopatek umieszczonych między dwoma pierścieniami ciernymi tak, jak w wentylatorze promieniowym. Łopatki w liczbie 60-100 sztuk rozstawione są co 6-3,6°, a zadaniem ich jest odprowadzenie ciepłego powietrza z części środkowej tarczy na zewnątrz pod wpływem siły odśrodkowej. W kanałach między łopatkami następuje przyrost prędkości obwodowej powietrza, które przepływając wewnątrz tarczy "odbiera" ciepło powstałe w czasie hamowania. Na rysunku 2 przedstawiona jest tarcza z wentylującymi łopatkami.

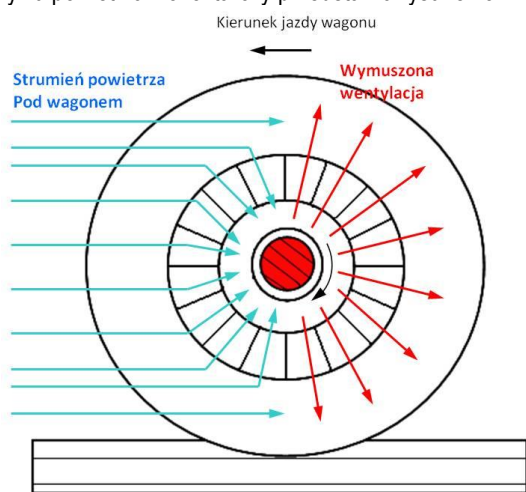


Rys. 2. Tarcza z wentylującymi łopatkami: a) widok, b) przekrój [1]

Jest to tarcza klasyczna, wykonana jako monolit połączona z piastą za pomocą 4 lub 6 sworzni, które jednocześnie umożliwiają osiowe prowadzenie tarczy względem piasty na skutek rozszerzalności cieplnej. Ponieważ sworznie są promieniowo rozmieszczone

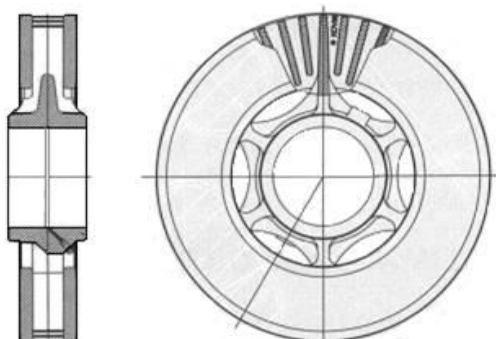
na tarczy, a dodatkowo działa na nie siła odśrodkowa, aby nie wysuwały się w czasie obrotu tarczy, poprzecznie zabezpieczone są kołkami. Również stosuje się inne rozwiązania połączenia pierścienia ciernego z piastą, jak obwodowo rozmieszczone śruby łączące.

Należy podkreślić, że łopatki wewnątrz tarczy hamulcowej pełnią zarówno funkcję wentylatora jak również radiatora zwiększającego pojemność cieplną tarczy. Ze względu na przepływ powietrza pod wagonem wymiana ciepła z tarczy do otoczenia jest złożona. Od strony przepływu powietrza pod wagonem, tarcza hamulcowa nie działa jak wentylator promieniowy ponieważ powietrze wpada kanałami wentylacyjnymi do środka tarczy dławiąc tym samym wymuszony przepływ powietrza. Jest to również powodem dodatkowych strat generowanych przez tarczę wentylowaną w czasie jej obrotu. Jedynie za tarczą hamulcową realizowana jest funkcja przepływu wymuszonego jak w wentylatorze promieniowym. Ogólny schemat przepływu powietrza wokół tarczy przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat przepływu powietrza wokół tarczy hamulcowej w czasie jazdy wagonu

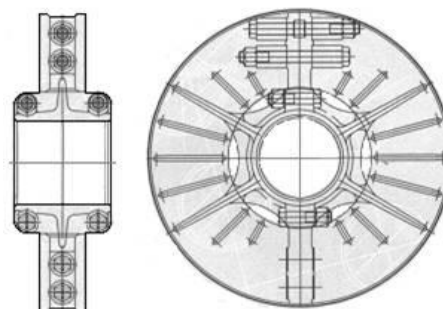
Spotyka się również tarcze z wentylowanymi łopatkami, w których tarcza wraz z piastą wykonana jest jako monolit i nie stanowią osobnych elementów. Takie rozwiązanie (rysunek 4) jest stosowane w pojazdach do ruchu miejskiego i lokalnego, które odznaczają się niewielkim ciężarem a prędkości nie przekraczają 120km/h. W takich przypadkach, ciepło powstałe w czasie zatrzymania pojazdu nie powoduje powstania naprężeń wewnętrznych w materiale tarczy. Z tych powodów nie ma potrzeby "uwalniania" tarczy cierniej od piasty dla specjalnego ich połączenia.



Rys. 4. Tarcza monoblokowa z wentylującymi łopatkami [1]

W celu dokonywania wymiany pierścienia ciernego hamulca tarczowego bez konieczności ściągania kół z osi, stosuje się tarcze dzielone segmentowe, których połówki tarczy skręcane są wewnątrz za pomocą specjalnych śrub lub łączone są z piastą kołkami sprężystymi. Takie rozwiązanie tarczy wymaga bardzo dokładnego

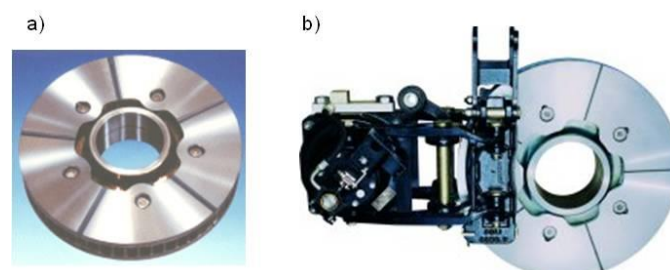
ustalenie dwóch lub większej ilości segmentów tarczy względem siebie, gdyż w przeciwnym razie odstające krawędzie spowodują wrywanie materiału okładziny cierniej, przyspieszając jej zużycie, a w skrajnych przypadkach powodują nawet zniszczenie. W przypadku łączenia śrubami, "połówki" tarczy są pasowane względem siebie w otworach pod łączniki gwintowane co przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Tarcza dzielona z wentylującymi łopatkami [1]

Dodatkową wadą dzielonych tarcz hamulcowych jest ograniczona przestrzeń pod łopatki wentylujące, których fragmenty muszą być usunięte dla wprowadzenia śrub łączących. Występowanie łopatek o różnej długości powoduje nierównomierne oddawanie ciepła hamowania do otoczenia, a w miejscach złączenia jest całkowity brak wentylacji. W materiale tarczy powstaje zjawisko "szoku termicznego"; charakteryzuje się ono występowaniem obszarów o różnych temperaturach co powoduje deformacje i odkształcenia tarczy. Natomiast po ostygnięciu tarczy (w obszarach najwyższych temperatur) mogą pojawiać się pęknięcia.

Odmianą konstrukcją tarczy dzielonej z wentylującymi łopatkami, w której poszczególne segmenty tarczy nie są łączone za pomocą śrub, lecz przez poprzecznie wciśnięte sworznie, jest tarcza typu Poli oraz tarcza 141 BK. Włoska tarcza hamulcowa Poli co przedstawia rysunek 6 składa się z piasty montowanej na osi zestawu kołowego, z pięciu lub siedmiu segmentów ciernych, tworzących pierścienia hamulcowy oraz elementów łączących. Każdy segment jest mocowany promieniowo do kołnierza piasty za pomocą sworznia i jest połączony obwodowo (na powierzchni czołowej) z sąsiednim segmentem za pomocą pary kołków.

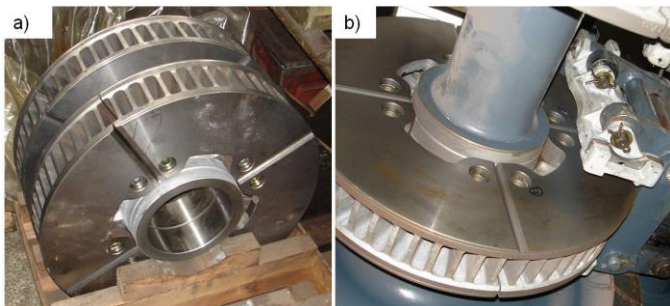


Rys. 6. Tarcza segmentowa Poli: a) widok pierścienia ciernego, b) tarcza wraz z mechanizmem zaciskowym [7, 8]

Segmenty ciernie muszą być wymienione wówczas, gdy ich zużycie osiągnie poziom rys na zewnętrznej powierzchni, lub gdy zostanie poważnie uszkodzona powierzchnia cierna. W przypadku granicznego zużycia, lub gdy zaistnieje konieczność wymiany choćby jednego segmentu tarczy, należy wymienić wszystkie segmenty na nowe. Wymiana segmentów nie wymaga zdejmowania kół z osi zestawu, wymaga jednak wymontowania zestawu z wagonu dla uzyskania dostępu do wszystkich segmentów tarczy hamulcowej. Samą wymianę poszczególnych segmentów można przeprowadzić

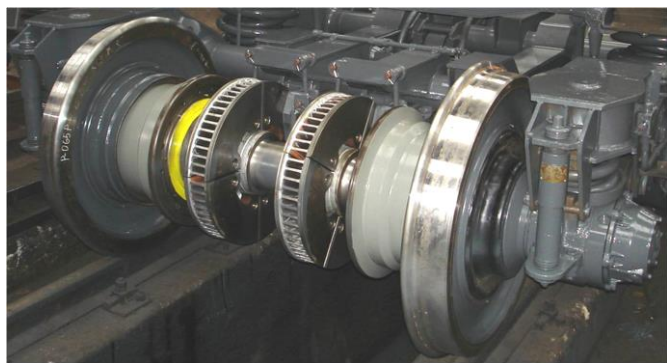
w ciągu godziny, a po wymianie tarcza hamulcowa ma takie same charakterystyki (łącznie z wyważeniem) jak tarcza nowa [10].

Kolejną odmianą tarczy dzielonej z wentylującymi łopatkami, jest polska tarcza hamulcowa 141 BK opracowana przez dr inż. Ryszarda Suwalskiego z Centralnego Biura Konstrukcyjnego PKP. Segmentowa tarcza 141 BK, co przedstawia rysunek 7 składa się z czterech segmentów z wentylowanymi łopatkami, osadzonymi na piaście oraz z ośmiu poprzecznie montowanych sworzni sprężystych zabezpieczonych pierścieniami osadczymi.



Rys. 7. Tarcza segmentowa BK 141: a) widok nowej tarczy hamulcowej, b) tarcza na osi wraz z mechanizmem zaciskowym

Tarcza 141 BK charakteryzuje się tym, że każdy segment jest przymocowany rozłącznie do zabieraka piasty za pomocą kołków sprężystych w otworach przelotowych. Powierzchnie otworów przelotowych w segmentach i zabierakach piasty oraz powierzchnie cylindryczne sworzni są powierzchniami ustalającymi położenie segmentów względem środka tarczy. Konstrukcja tarczy zapewnia prosty sposób wymiany segmentów, bez konieczności zdejmowania kół z osi zestawu, a także bez konieczności wymontowania zestawu kołowego z wagonu. Na rysunku 8 przedstawiono zestaw kołowy przestawczy SUW 2000 z dwiema tarczami 141 BK.



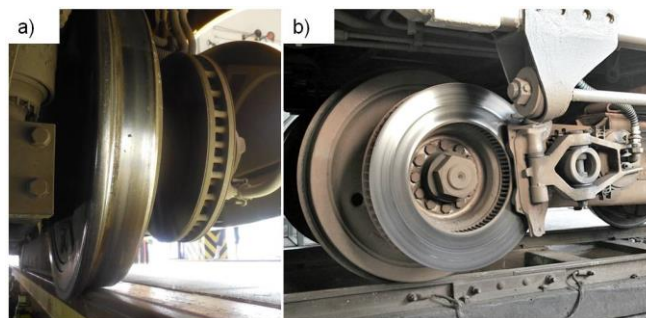
Rys. 8. Widok zestawu kołowego przestawczego SUW 2000 z dwiema tarczami segmentowymi typu BK 141

Czas wymiany segmentów jednej tarczy wynosi około 20 minut dla zestawu wymontowanego z wagonu oraz około 40 minut podczas wymiany segmentów w wagonowni, pod wagonem ustawionym na torze kanałowym. Bezpośrednio po wymianie tarcza hamulcowa nadaje się do pracy, a zestaw kołowy nie wymaga ponownego wyważenia. Wyważanie segmentów jest wykonywane u producenta na piaście technologicznej, po wyważeniu ustala się kolejność montowania segmentów należących do kompletu i numeruje się cyframi od 1 do 4 [10].

Badania wykazały, że tarcze segmentowe w przeciwieństwie do tarcz pełnych, wykazują większe zużycie okładzin ciernych o około 30%. Wynika z to z faktu istnienia poprzecznych krawędzi (podział na 5 lub 4 segmenty) na pierścieniu ciernym, które powodują wyrywanie materiału okładziny. W związku z tym są prowadzone prace nad optymalizacją skojarzeń ciernych okładziny z tarczą

segmentową dla uzyskania okładziny lepiej przystosowanej do takiej współpracy [10].

W zestawach kołowych wagonów napędnych, w których przestrzeń między tarczami kół zajęta jest przez układ napędowy, tarcze hamulcowe przenosi się na zewnątrz koła. Przykład tarczy z łopatkami wentylowanymi przedstawia rysunek 9.

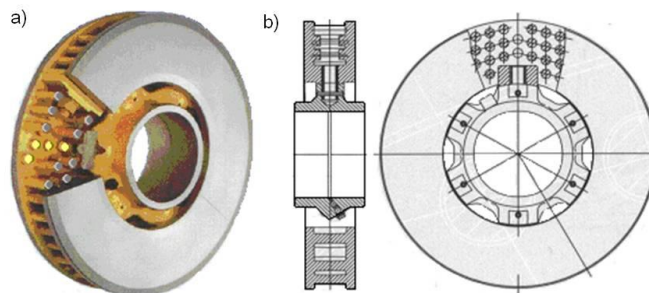


Rys. 9. Tarcza z wentylującymi łopatkami mocowana na zewnątrz koła: a) tarcza pojazdu komunikacji miejskiej, b) tarcza wagonu pasażerskiego [9]

Należy podkreślić, że w tego typu tarczach, piasta ma odmienny kształt, jest poszerzona z jednej strony, posiadając kołnierz do zamocowania z kołem za pomocą obwodowo rozmieszczony śrub. Odstająca piasta jest niezbędna do wprowadzenia mechanizmu zaciskowego. W tego typu układach stosuje się tarcze monoblokowe, gdzie tarcza z piastą tworzy całość lub stosuje się tarcze segmentowe włoskiej firmy Poli. Zaletą takiego rozwiązania (tarcz na zewnątrz koła), jest łatwość wykonania wymiany tarczy oraz sprawdzenie docięnięcia okładzin do tarczy hamulcowej na stanowisku badawczym bez konieczności wchodzenia pod wagon. Ponadto nie jest konieczne stosowanie urządzeń sygnalizujących docisk okładziny do pierścienia ciernego.

1.2. Tarcze z wentylującymi prętami

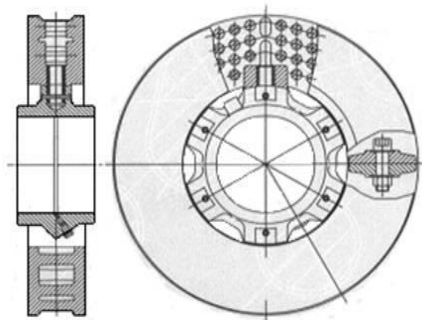
W tarczowych układach hamulcowych, tarcze z wentylującymi prętami uznaje się za najnowsze rozwiązanie, ponieważ w odróżnieniu do tarcz z łopatkami, wykazują mniejsze straty energii w wyniku wymuszonej wentylacji. Taki efekt uzyskano zastępując wirujące łopatki gęsto rozmieszczonymi prętami co przedstawia rysunek 10. Wówczas przestrzeń wentylacyjna została zmniejszona o około $\frac{1}{3}$, pozostawiając intensywność odprowadzenia ciepła na tym samym poziomie jak przy tarczach z wentylującymi łopatkami.



Rys. 10. Tarcza z wentylującymi prętami: a) widok, b) przekrój [1]

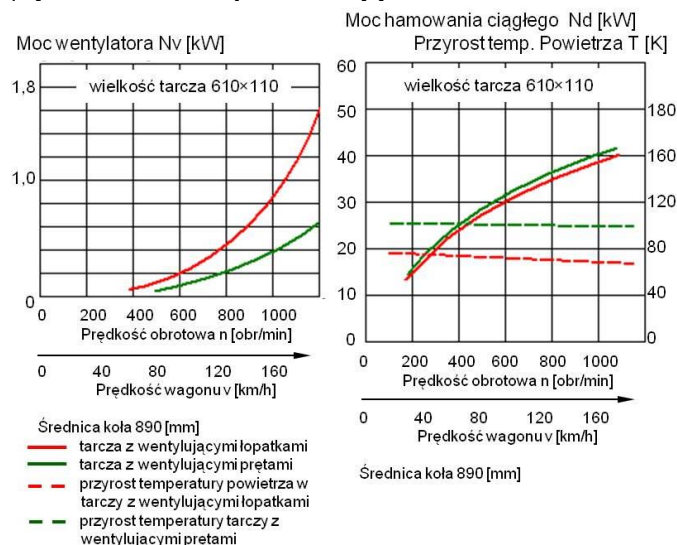
Gęste rozmieszczenie prętów na całej powierzchni wewnątrz tarczy umożliwia dobre przewodnictwo cieplne a ruch obrotowy tarczy powoduje odprowadzenie go na zewnątrz poprzez turbulentny przepływ powietrza [1]. Zassane powietrze rozbijane jest przez pręty, ciągle zmienia kierunki przepływu dokładnie opływając je i odbierając z ich powierzchni całkowitą ilość ciepła. Zjawisko takie nie występuje w tarczy z łopatkami, ponieważ przepływające powie-

trze odbiera nagromadzone ciepło tylko z powierzchni łopatek i bocznych powierzchni tarczy. Powietrze nie ma możliwości tak głębokiej "penetracji", przez co odbiera mniej ciepła, a tarcza utrzymuje wyższą temperaturę. Tarcze z wentylowanymi prętami również występują w postaci dzielonej, lub w postaci monolitu (rozwiązanie klasyczne). Należy nadmienić, że elementy łączące tarcze zabierają część przestrzeni wewnętrznej, zmniejszając tym samym intensywność chłodzenia kosztem łatwej i szybkiej wymiany tarczy na nową. Jest to pokazane na rysunku 11.



Rys. 11. Przekrój dzielonej tarczy hamulcowej z wentylującymi prętami [4]

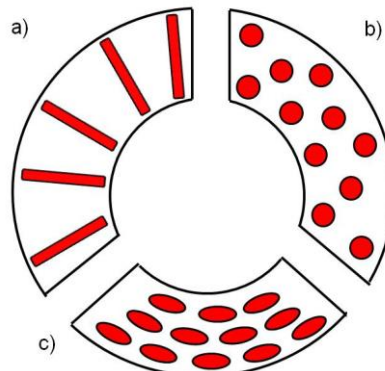
Przy połączeniu tarczy hamulcowej z piastą stosuje się rozwiązanie firmy Knorr-Bremse przy użyciu sześciu sworzni. Tarcza tej konstrukcji stosowana jest zarówno w pojazdach kursujących z prędkościami 160km/h jak 200km/h [1].



Rys. 12. Przebieg straty mocy na wentylatorze, mocy hamowania oraz przyrostu temperatury powietrza dla tarczy z wentylującymi prętami względem tarczy z wentylującymi łopatkami w funkcji prędkości [3]

Badania przeprowadzone na tarczy z wentylującymi prętami oraz łopatkami wykazały, że tarcza wyposażona w pręty dystansowe charakteryzuje się o 60% mniejszą stratą energii z tytułu wymuszonej wentylacji, w przeciwieństwie do klasycznej tarczy z wentylującymi łopatkami. Ponadto badania wykazały, że w tarczach z prętami wentylującymi można stosować większą o 3% moc hamowania a przez równomierne rozłożenie prętów (mostków) na całej powierzchni tarczy, możliwe jest lepsze odprowadzenie ciepła hamowania do otoczenia. Dzięki temu, tarcza jest mniej wrażliwa na powstawanie pęknięć termicznych podczas hamowania nagłego. Na rysunku 12 przedstawiono przebiegi porównawcze straty mocy na wentylatorze, mocy hamowania oraz przyrostu temperatury powie-

trza, dla tarczy z wentylującymi prętami oraz łopatkami w funkcji prędkości [3]. Z tego względu producenci tarcz hamulcowych do pojazdów szynowych w celu zmniejszenia strat generowanych przez tarczę w czasie jazdy opracowują różne kształty przekroju prętów ze względu na prędkość pojazdu co przedstawia rysunek 13.

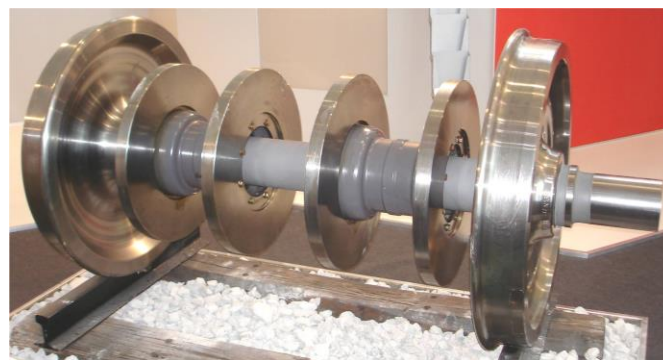


Rys. 13. Schemat rozmieszczenia elementów wentylacyjnych tarczy hamulcowej: a) z łopatkami do prędkości jazdy $v=120\text{km/h}$, b) z prętami okrągłymi do prędkości $v=160\text{km/h}$, c) z prętami eliptycznymi dla prędkości powyżej 160km/h

Tarcze do ruchu miejskiego lub lokalnego (do prędkości 120km/h) wyposażane są w klasyczne łopatki łączące pierścienie cierne. Przy wyższych prędkościach do 160km/h łopatki zastępowane są prętami o przekroju okrągłym. Natomiast prędkości jazdy powyżej 160km/h ze względu na wymóg niższych strat na wentylatorze tarcze wymuszają stosowanie tarcz hamulcowych również z prętami jednak o przekroju eliptycznym lub zbliżonym do niego rozmieszczonych dłuższym bokiem po obwodzie a nie promieniowo, co przedstawia rysunek 13c).

2. TARCZE POJEDYNCZE

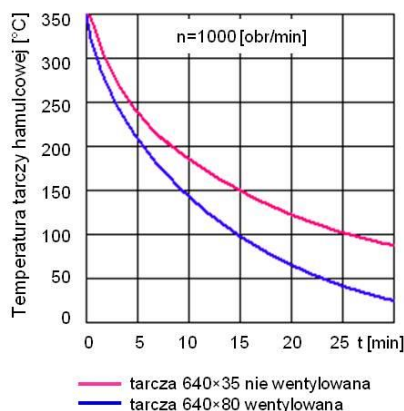
Tarcze pojedyncze pełne (bez kanałów wentylacyjnych), całkowicie eliminują straty mocy trakcyjnej pochodzącej od oporów przepływu powietrza przez te kanały. Ponadto nie występują uszkodzenia, którymi są pęknięcia w pobliżu żeber w tarczach wentylowanych. Długotrwała eksploatacja tarcz pojedynczych pełnych wykazała, że generują mniejsze drgania i obniżają poziom hałasu. Na ogół stosuje się je, gdy liczba hamowań pojazdu nie jest duża oraz w przypadkach, kiedy ze względu na profil szlaku, nie jest wymagane długotrwałe hamowanie ruchowe. Z tych względów tarcze pełne są zakładane w szybkich pociągach jak ICE, TGV i inne, z trzema lub czterema tarczami na osi (rys. 14).



Rys. 14. Widok zestawu kołowego z czterema (pełnymi) tarczami pojedynczymi niewentylowanymi

W pociągach dalekobieżnych jak wspomniane TGV czy ICE, duże odstępy między poszczególnymi stacjami umożliwiają oddanie

do otoczenia całej energii cieplnej powstałej w czasie hamowania. Z tych względów nie dochodzi do obciążenia cieplnego elementów pary ciernej i zakłócenia procesu hamowania, również nie dochodzi do deformacji i odkształceń tarczy. Należy jednak się liczyć z dłuższym czasem chłodzenia tarczy pełnej, ponieważ wymiana ciepła z otoczeniem przebiega wolniej, co przedstawia rysunek 15 [5, 6].



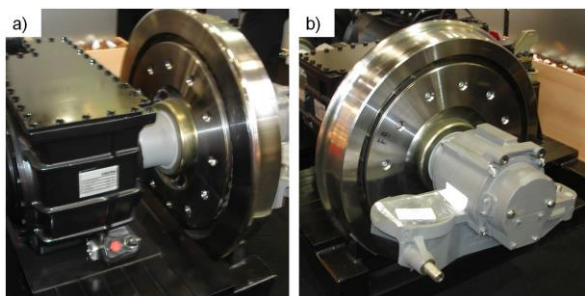
Rys. 15. Przebiegi chłodzenia tarcz hamulcowych, wentylowanej i niewentylowanej (pełnej) [11]

2.1. Tarcze montowane na kołach zestawu kołowego

Eksploatacja tarczowego układu hamulcowego wykazała, że zamocowanie tarczy hamulcowej na osi zestawu kołowego między kołami charakteryzuje się pewnymi wadami. Brak jest łatwego dostępu do sprawdzenia docięnięcia wstawek ciernych do tarczy, co często zmusza obsługę do wejścia pod wagon, lub zmusza zakładanie specjalnych urządzeń sygnalizujących docisk okładzin do pierścienia cierneho [4]. Ponadto w przypadku monoblokowej tarczy hamulcowej, każda wymiana związana jest z demontażem zestawu kołowego i ściąganiem kół. W przypadku zestawów kołowych napędnych utrudnione jest zamocowanie tarczy hamulcowej na osi ze względu na występowanie silników trakcyjnych i przekładni. Z tych względów opracowano nową konstrukcję tarczy hamulcowej, która zakładana jest obustronnie na koła pojazdu. Obecnie tego typu tarcze, mają najszersze zastosowanie w pojazdach komunikacji miejskiej, pojazdach trakcyjnych oraz elektrycznych zespołach trakcyjnych (EZT). Ze względu na ograniczoną przestrzeń na urządzenia i zespoły hamulcowe a zważywszy że większość współczesnych pojazdów komunikacji miejskiej to pojazdy niskopodłogowe, w których koła nie są osadzone na wspólnej osi, a powiązane są przez skomplikowane układy konstrukcyjne jak np. układy portalo-we, wymusza to stosowanie tarcz jednostronnych zakładanych na koła zestawu kołowego.

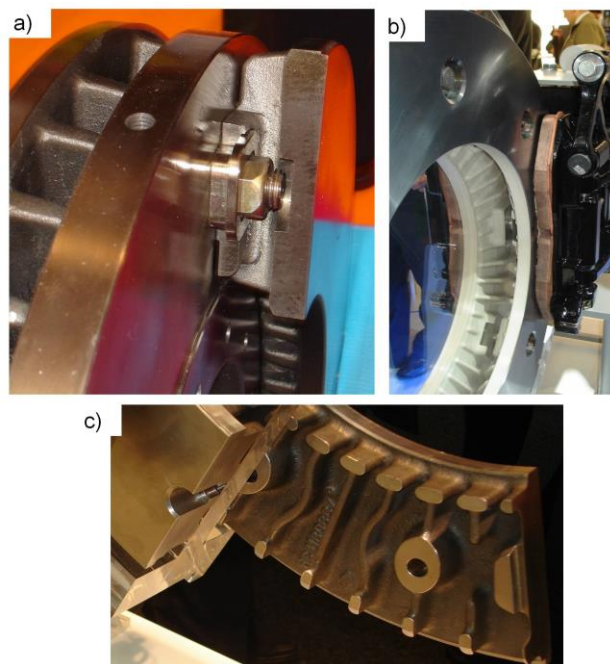
Tarcza typu "K"

Tarcze typu "K" są tarczami jednostronnymi z wentylującymi łopatkami i przystosowane do dwustronnego zamocowania na tarczę koła.



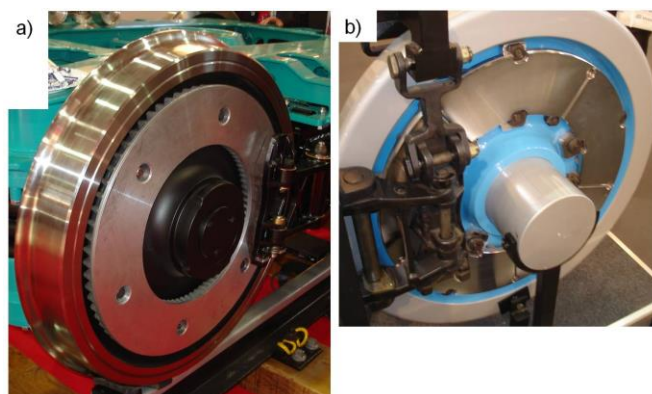
Rys. 16. Widok tarczy hamulcowej jednostronnej: a) od strony przekładni, b) od strony ułożyskowania

Jedna z powierzchni tarczy (strona gładka), współpracuje z okładziną cierną, a druga z łopatkami wentylującymi, styka się z powierzchnią boczną koła. Taki układ tarczy umożliwia przepływ powietrza między tarczą a kołem odprowadzając ciepło powstałe w procesie hamowania. Na rysunku 16 przedstawiono tarczę jednostronną (strona gładka oraz strona wentylująca) zamocowaną do napędnego zestawu kołowego. Osadzenie tarczy na kole zestawu kołowego odbywa się najczęściej za pośrednictwem obwodowo rozmieszczonych śrub oraz kołków ustalających, co przedstawia rysunek 17c).



Rys. 17. Widok tarczy hamulcowej jednostronnej: a) od strony przekładni, b) od strony ułożyskowania

Inną odmianą tarczy jednostronnej typu "K", jest tarcza mocowana do koła zestawu kołowego za pomocą specjalnie wykonanych gniazd pod nakrętki do śrub montażowych, co przedstawia rysunek 17a) i 17b). Przedstawione rozwiązanie umożliwia osiowe prowadzenie pierścienia cierneho ze względu na procesy termiczne związane z nagrzewaniem i chłodzeniem. Wyfrezowania w gniazdach o szerokości nakrętki umożliwiają przemieszczanie się tarczy hamulcowej. Tego typu tarcze mogą występować jako monolit lub dzielone (rys.18), wtedy jednak konieczne jest bardzo dokładne ustalenie połówek tarczy względem siebie, aby krawędzie powierzchni czołowej poszczególnych segmentów nie niszczyły okładziny hamulcowej.



Rys. 18. Widok tarczy hamulcowej jednostronnej: a) pełnej (monolit), b) dzielonej (segmentowej)

Na rysunku 19 przedstawiony jest wózek napędny, w który występowanie przekładni mechanicznej w środkowej części zestawu kołowego, wymusiło zamocowanie tarcz hamulcowych (dzielonych) na koła pojazdu.



Rys. 19. Widok wózka napędowego FLEXX do pociągu Twindex Express w dwóch rzutach z tarczami jednostronnymi zamocowanymi do tarczy koła

Tarcze hamulcowe typu "K" ze względu na swój zakres średnic (od 450mm do 1000mm) mogą być stosowane na koła wszystkich zestawów kołowych, począwszy od tramwajowych, kończąc na zestawach pojazdów trakcyjnych [1]. Długoletnia eksploatacja tarcz jednostronnych wykazała, że mają większą tendencję do odkształceń sprężystych przy nierównomiernym rozkładzie temperatur, a także odkształceń spowodowanych nadmiernym obciążeniem cieplnym. Graniczna wytrzymałość tak osadzonych tarcz jest około 20% niższa od wytrzymałości tarczy montowanej na osi [10]. Duża różnorodność konstrukcji kół, zwłaszcza pojazdów trakcyjnych, utrudnia opracowanie ujednoliconych rozwiązań. Dlatego w europejskim ruchu międzynarodowym zunifikowany jest jedynie hamulec tarczowy wagonów pasażerskich [5, 6].

2.2. Tarcze zewnętrznie zakładane na koła zestawu kołowego

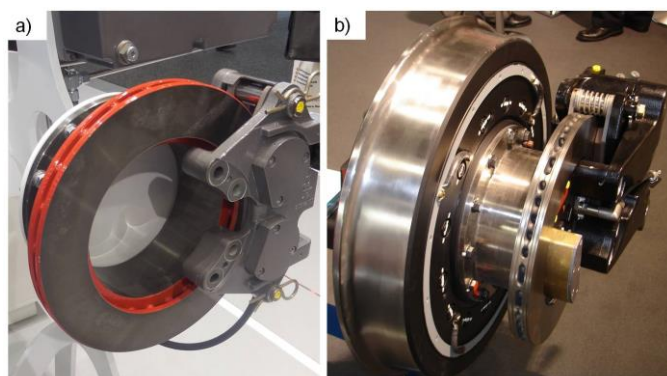
Zamocowanie tarczy hamulcowej na zewnątrz koła, również ułatwia przeprowadzenie wszelkich czynności obsługowych, związanych z wymianą tarczy jak i sprawdzeniem dociśnięcia okładzin do tarczy [4]. Dodatkowo umożliwia to założenie klasycznej tarczy dwustronnej występującej między kołami na osi zestawu kołowego. Jedynej zmiany wymaga piasta, która jest szersza z jednej strony tak, aby umożliwić wprowadzenie mechanizmu zaciskowego między koło a tarczę. Tego typu rozwiązania są stosowane w wagonach tramwajowych niskopodłogowych zarówno w członach napędnych jak doczepnych, w których koła nie są zamocowane na wspólnej osi a powiązane są przez skomplikowane układy konstrukcyjne jak np. układy portalowe.

Tarcza typu "P"

Tarcze tramwajowe typu "P", zakładane są na zewnątrz koła i występują w dwóch odmianach [1]:

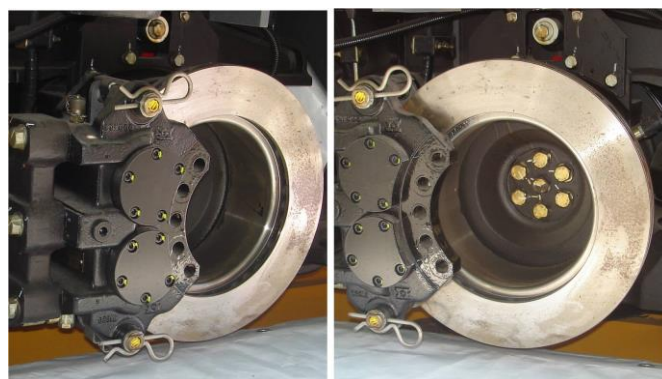
- przykręcone bezpośrednio do tarczy koła z poszerzoną piastą z jednej strony w kształcie wywiniętego kołnierza,
- wciskane na czop końcowy zestawu kołowego.

Pierwsze rozwiązanie, przedstawione na rysunku 20, cechuje się możliwością łatwego i szybkiego demontażu tarczy bez użycia specjalistycznych narzędzi. Wysokie wymagania postawione są w stosunku do elementów mocujących tarczę do koła, ze względu na przeniesienie siły hamowania. Dodatkowo tarcza ta umożliwia odprowadzenie ciepła powstałego podczas hamowania. Jest to możliwe dzięki oddzieleniu obu tarcz prętami wentylującymi bardzo podobnymi jak opisane w podrozdziale 1.2. Jest to niezbędne ze względu na jednolitą konstrukcję tarczy z piastą. Brak wentylacji powodowałby większe nagrzewanie tarczy i skłonność jej do rozszerzania. Jest to typowa tarcza tramwajowa, której średnica zewnętrzna wynosi 420mm, przy szerokości 45mm [1].



Rys. 20. Widok tarczy mocowanej na kole zestawu kołowego: a) tarcza wraz z zaciskiem, b) tarcza zamocowana do kole

Drugą odmianą tarczy hamulcowej typu "P", jest tarcza której osadzenie na czopie osi zestawu kołowego odbywa się przez połączenie skurczowe na zimno lub połączonej z czołem osi zestawu kołowego śrubami montażowymi (rys. 21). W przeciwieństwie do tarczy opisanej poprzednio, nie jest to układ monoblokowy. Tarcza ma możliwość zwiększania swojego wymiaru, przez co nie musi być wentylowana. Wynika to z faktu, że przenoszone moce hamowania, są znacznie mniejsze od tych, które występują w wagonach kolejowych [1].



Rys. 21. Widok tarczy zewnętrznej zamocowanej do osi zestawu kołowego w dwóch rzutach

PODSUMOWANIE

Różnorodne konstrukcje tarczowych układów hamulcowych, pozwalają zastosować je do niemal wszystkich pojazdów szynowych, począwszy od lekkich pojazdów komunikacji miejskiej, a skończywszy na ciężkich pociągach towarowych. Łatwość zabudowy oraz wysoka skuteczność hamowania jest powodem ich ciągle-

go rozwoju. Konstruktorzy nieprzerwanie pracują nad nowymi rozwiązaniami, które wyeliminują istniejące problemy dotyczące hamulców tarczowych. Związane jest to w głównej mierze z procesami cieplnymi i stratami energii podczas wyłączonych układów hamulcowych. Odnosząc się do problemu cieplnego, obecnie z dużym powodzeniem zaczęto stosować tarcze wykonane ze stopu aluminium-ceramicznego, które wykazują o 25% lepsze odprowadzenie ciepła w stosunku do tarcz żeliwnych. Z tych względów możliwe jest zastąpienie trzech tarcz wykonanych z żeliwa dwiema tarczami "aluminiumowymi". Wówczas zmniejszenie masy układu tarczowego wynosi 55%. W przypadku tarcz wykonanych z żeliwa, za największe osiągnięcie uważa się tarcze podwójne z wentylującymi prętami dystansowymi. W porównaniu z klasycznymi tarczami z wentylującymi łopatkami, tarcza z prętami (mostkami) charakteryzuje się o 60% mniejszą stratą energii z tytułu wymuszonej wentylacji. Ponadto badania wykazały, że w tarczach z prętami wentylującymi można stosować większą o 3% moc hamowania. W przypadku stosowania tarcz pojedynczych bez kanałów wentylacyjnych, całkowicie eliminuje się straty mocy pobieranej przez wentylator. Stosuje się je, gdy częstotliwość hamowania pojazdu nie jest duża oraz w przypadku, kiedy ze względu na profil szlaku, nie jest wymagane długotrwałe hamowanie ruchowe. Należy jednak się liczyć z dłuższym czasem chłodzenia tarczy pełnej, gdyż wymiana ciepła z otoczeniem przebiega wolniej. W celu zmniejszenia ciężaru pojazdów szynowych, również od wielu lat dokonywane są próby z zastosowaniem włókien węglowych jako materiału na tarcze hamulcowe.

BIBLIOGRAFIA

1. KOVIS Zavorni Disc – oferta odlewów tarcz hamulcowych.
2. Knorr-Bremse AG., Bremsen für schienenfahrzeuge – oferta firmy Knorr-Bremse.
3. Knorr-Bremse AG., Energie sparen – oferta firmy Knorr-Bremse,
4. Orlik A., Hamulce pociągów kolejowych. WŁK, W-wa 1978.
5. Piechowiak T., Hamulce pojazdów szynowych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.
6. Sorochtej M., Hamulec tarczowy pojazdów szynowych. Przegląd kolejowy 6/93.
7. Strona internetowa:
www.polibrakes.com/english/components.htm
8. Strona internetowa:
www.polibrakes.com/english/components.htm
9. Strona internetowa:
www.en.wikipedia.org/wiki/Disc_brake#/media/File:T%C5%8Dky%C5%AB_7000_series_EMU_011.JPG
10. Suwalski R., Segmentowa tarcza hamulcowa typu 141BK dla pojazdów kolejowych. Pojazdy szynowe 117/94.
11. Wirth X., Improving the Performance of Disc Brakes on High-speed Rail Vehicles with a Novel Types of Brake Pad: Isobar. RTR 1998.

BRAKE DISCS OF RAILWAY VEHICLES

Abstract

The disc brake of rail vehicles is currently the primary friction brake responsible for stopping a vehicle on the required braking distance. In many modern vehicles with traction electric motors, disc brake works with brake electrodynamic which further increases the efficiency of braking by implementing blending to control brakes.

The aim of the article is to present the currently used brake discs of railway vehicles. Authors proposed action to be taken to reduce

Autorzy:

Dr inż. **Wojciech Sawczuk** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Pojazdów Szynowych, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, Tel. 61 224-4510, Fax. 61 665-2204, e-mail: wojciech.sawczuk@put.poznan.pl.

mgr inż. **Mateusz Jüngst** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Pojazdów Szynowych, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, Tel. 61 665-2023, Fax. 61 665-2204, e-mail: matusz.m.jungst@doctorate.put.poznan.pl.