

Martin Molák

## Ochrona przeciwporażeniowa na kolejach Republiki Czeskiej

**Ochrona części biernych elektrycznych urządzeń trakcyjnych przed ryzykiem porażenia napięciem dotykowym towarzyszy elektryfikacji sieci od początku jej powstania. Początki kolei elektrycznych na terytorium dzisiejszej Republiki Czeskiej sięgają początków minionego wieku (linię Tabor – Bechynie w 1903 r. zelektryfikowano systemem 2×700 V).**

Do rozwoju ochrony przed porażeniem napięciem dotykowym na kolejach czeskich doszło w okresie powojennym, przy wprowadzaniu trakcji prądu stałego 3 kV. W 1949 r. rozpoczęto stopniową elektryfikację głównej magistrali Praga – Czeska Trzepowa – Koszyce – Czerna nad Tisą. W 1967 r. nastąpiło zwolnienie tempa elektryfikacji systemem prądu stałego 3 kV i intensyfikacja systemem prądu przemiennego jednofazowego 25 kV 50 Hz.

Rozwojowi i wprowadzaniu obydwu systemów zasilania towarzyszył również rozwój sposobów oraz wybór zastosowanej ochrony przed porażeniem napięciem dotykowym od części biernych. Pierwotnie przeważała ochrona indywidualna przez uszynienie lub uziemienie.

W ostatnim okresie, ze względu na rygorystyczne wymagania związane z dopuszczalnym napięciem dotykowym i krokowym oraz konieczność respektowania obowiązujących norm dotyczących sieci trakcyjnej na kolei, stosuje się ochronę indywidualną przez uszynienie bezpośrednio bądź przez iskiernik lub uszynienie grupowe. Ochrona przez uziemienie jest ochroną rezerwową, stosowaną tam gdzie nie można zastosować uszynienia.

### Ochrona części biernych elektrycznych urządzeń trakcyjnych przed porażeniem napięciem dotykowym na kolejach czeskich (obecnie SŽDC – zarząd linii kolejowych)

Ochronę taką stosuje się w elektrycznych urządzeniach trakcyjnych kolei elektrycznej prądu stałego lub jednofazowego, w której pojazdy trakcyjne są zasilane z sieci trakcyjnej.

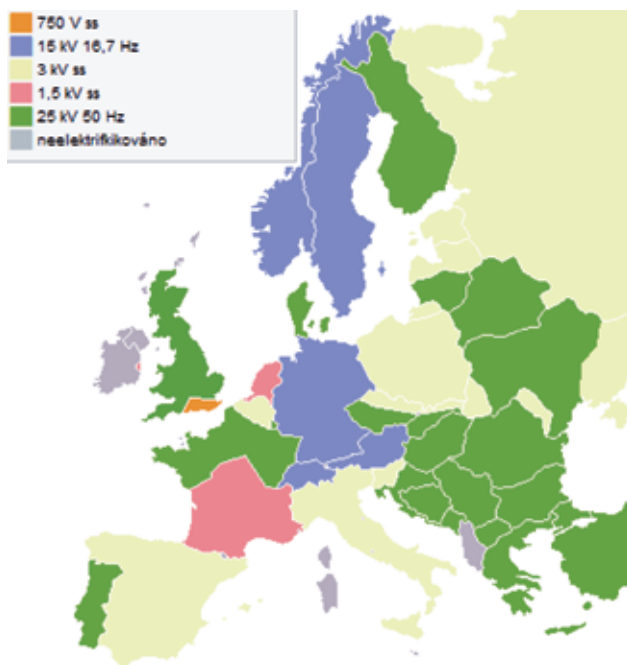
Do ustalenia sposobu ochrony oraz jej prawidłowego zaprojektowania konieczne są następujące informacje:

- aktualny, istniejący stan torowiska;
- sposób rozwiązania urządzeń zabezpieczenia ruchu – obwody szynowe lub liczniki osi;
- dokumentacja projektowa towarzyszących obiektów eksploatacyjnych i budowlanych, głównie w obrębie torowiska, urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego, sieci trakcyjnej, obiektów mostowych, wiat peronowych, ścian dźwiękochłonnych oraz wszelkich innych urządzeń elektrycznych znajdujących się w pobliżu sieci trakcyjnej, jak słupy oświetleniowe, urządzenia nagłaśniające itp.;
- wzorcowe rozwiązanie sieci trakcyjnej według układu zasilania, zawierające typowy układ uszynienia;

■ obowiązujące normy i przepisy dotyczące sieci trakcyjnej, zwłaszcza:

- ČSN 34 1500 *Przepisy elektrotechniczne. Przepisy dotyczące elektrycznych urządzeń trakcyjnych*;
- ČSN 34 1530 *Elektryczne sieci trakcyjne na kolejach ogólnokrajowych, regionalnych i bocznicach*;
- ČSN EN 50122-1 *Urządzenia kolejowe – Stałe urządzenia trakcyjne – Część 1: Środki ochrony związane z zabezpieczeniem przed porażeniem prądem elektrycznym oraz uziemienia*;
- ČSN EN 50122-2 *Urządzenia kolejowe – Stałe urządzenia trakcyjne – Część 2: Środki ochrony związane z prądami błędzającymi, wywołanymi przez kolejowe układy zasilania trakcji elektrycznej*.

W dalszym etapie prac należy ustalić, jakiego systemu zasilania dotyczy badana problematyka. W Europie stosowane są różne systemy zasilania, jednakże dominują układy prądu przemiennego (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja systemów zasilania trakcyjnego w Europie

W Republice Czeskiej dominują dwa układy zasilania:

- system jednofazowy prądu przemiennego 25 kV 50 Hz,
- system prądu stałego 3 kV.

Ich lokalizację na obszarze kraju przedstawiono na rysunku 2, gdzie kolor niebieski oznacza system prądu przemiennego, a jasnoniebieski – stałego.

Z rysunku 2 widać, że na północy kraju dominuje prąd stały, a na południu przemienny. Przyczyna takiego stanu ma przeważnie charakter historyczny, ponieważ przy projektowaniu systemu



Rys. 2. Systemy zasilania trakcyjnego w Republice Czeskiej

zasilania brano pod uwagę systemy krajów sąsiednich, czyli częściowo działano pod ich wpływem, lub ponieważ system prądu stałego był stosowany wcześniej, a to dlatego, że wtedy stosowanie do napędu silników prądu stałego było o wiele prostsze, np. do dnia dzisiejszego w komunikacji miejskiej stosowany jest system prądu stałego również z powodu bezproblemowej rekuperacji energii elektrycznej.

Należy stwierdzić, że aktualnie systemy trakcji prądu stałego są w całej Europie stopniowo zastępowane przez systemy prądu przemiennego. System prądu przemiennego jest bardziej korzystny, głównie ze względu na stosunek spadku napięcia w związku z dostarczaniem mocy na całej trasie, do ceny całkowitej na budowę i eksploatacją sieci, które obejmuje również fakt stosowania lokomotyw wielosystemowych (np. lokomotywy Taurus, zestawy Pendolino). Okazuje się, że ze względów inwestycyjnych i eksploatacyjnych korzystniejszy jest system prądu przemiennego. Np. mniejsze przekroje drutu jezdni i liny nośnej, bez konieczności stosowania przewodów wzmacniających, lżejsze przewody trakcyjne, a co za tym idzie lżejsze trakcyjne konstrukcje nośne. Ponadto występują mniejsze problemy, lub ich całkowity brak, związane z korozyjnym oddziaływaniem prądów błędzących, tj. bez konieczności dobrej izolacji szyny od ziemi, czyli również z ochroną urządzeń usytuowanych w pobliżu sieci trakcyjnej. Mniejsze obciążenie przewodów i pantografów oraz mniejsze prądy zwarciovowe powodują mniejsze efekty awarii, co mimo większych problemów z poziomem napięcia – przede wszystkim napięciem indukowanym, stanem izolacji lub kompatybilnością elektromagnetyczną urządzeń, stanowi, że system prądu zmiennego jest bardziej korzystny. W systemach prądu stałego muszą być stosowane prostowniki dużej mocy, co jest szczególnie ważne w czasach większych wymogów na dostarczenie mocy. Również ze względu na większe spadki napięcia na trasie, podstacje

zasilające muszą być umieszczone gęściej, czyli jest ich więcej niż przy systemie prądu zmiennego. Wada systemu prądu zmiennego, polegająca na tym, że jedna faza dostawcy energii elektrycznej jest bardziej obciążona niż pozostałe, jest kompensowana w ten sposób, że na kolejnych podstacjach zasilających energia jest pobierana z innej, nieobciążonej fazy, czyli na przemian (jednak w praktyce uniemożliwia to rekuperację). Argumenty te są głównymi powodami stopniowej przebudowy na kolejach słowackich systemu prądu stałego 3 kV na system prądu przemiennego 25 kV 50 Hz. Rozdział systemów zasilania Słowacji przedstawiono na rysunku 3, gdzie również kolor niebieski oznacza system prądu przemiennego, a kolor jasnoniebieski – system prądu stałego.

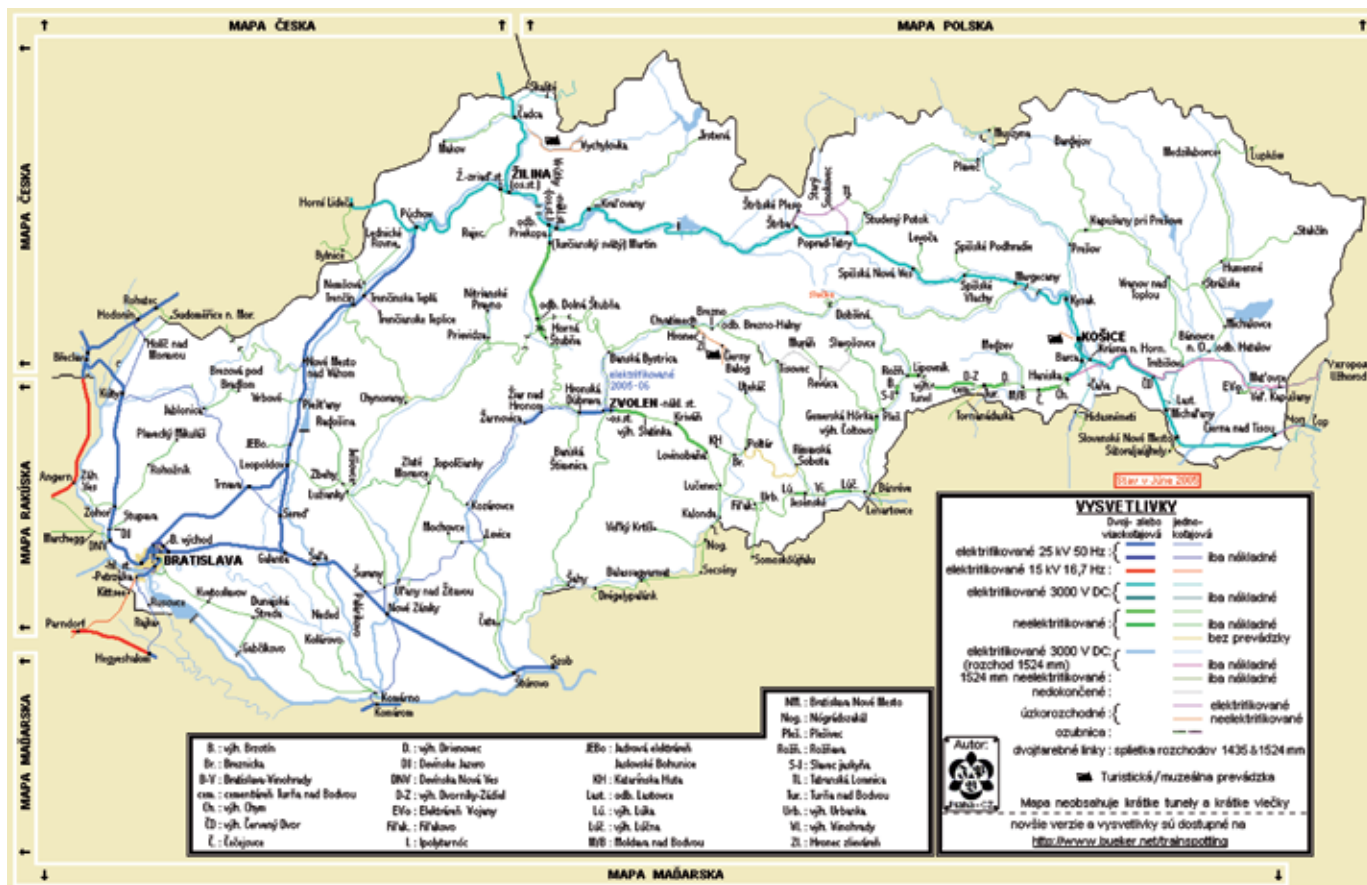
W Polsce stosuje się obecnie wyłącznie system prądu stałego 3 kV (rys. 4).

W celu wyznaczenia ochrony przed porażeniem napięciem dotykowym od części biernych sieci trakcyjnej ustalono tzw. dopuszczalne napięcia dotykowe i krokowe. Napięcia te zależą od poziomu zagrożenia porażeniem w danym miejscu oraz od czasu trwania. Wartości napięć dotykowych i krokowych podano w tabeli 1.

Jeżeli nie można zachować wymaganych poziomów napięć dotykowych, należy zastosować jeden z wymienionych środków ochronnych:

- izolowanie okolicy stupa trwałą warstwą izolacyjną (np. krużywko itp.) w promieniu min. 1,3 m od konstrukcji;
- pierścienie potencjałowe w promieniu 1 m od stupa do głębokości 0,4 m;
- uniemożliwienie dostępu przez odgródzenie tak, aby uniemożliwić dotyk części biernych sieci trakcyjnej.

W przypadku awarii, kiedy na biernych częściach konstrukcji pojawi się napięcie niebezpieczne, głównym założeniem jest



Rys. 3. Systemy zasilania trakcyjnego na Słowacji

Tabela 1

## Wielkości dopuszczalnych napięć dotykowych i krokowych

Lokalizacja sieci trakcyjnej	Układ zasilania sieci trakcyjnej			
	25kV 50Hz		3kV	
	Czas trwania awarii			
	t ≤ 1 s	t < 1 s	t ≥ 1 s	t < 1 s
Miejsca ogólnie dostępne, np. perony	125 V	125/pierwiastek (t)	175 V	175/pierwiastek (t)
Miejsca odległe, które nie są ogólnie dostępne, np. przydrożach polnych	250 V	250/pierwiastek (t)	250 V	250/pierwiastek (t)
Miejsca niedostępne, ogrodzone i z zakazem wstępu	Nie ograniczone			

ochrona zagrożenia zdrowia, przez maksymalnie szybkie wyłączenie uszkodzonej części sieci trakcyjnej.

Rozróżnia się następujące ochrony:

- ochrony podstawowe:
  - uszynienie,
  - uziemienie,
  - izolacja;
- ochrony dodatkowe:
  - uniemożliwienie dostępu,
  - położenie,
  - wyrównanie potencjałów.

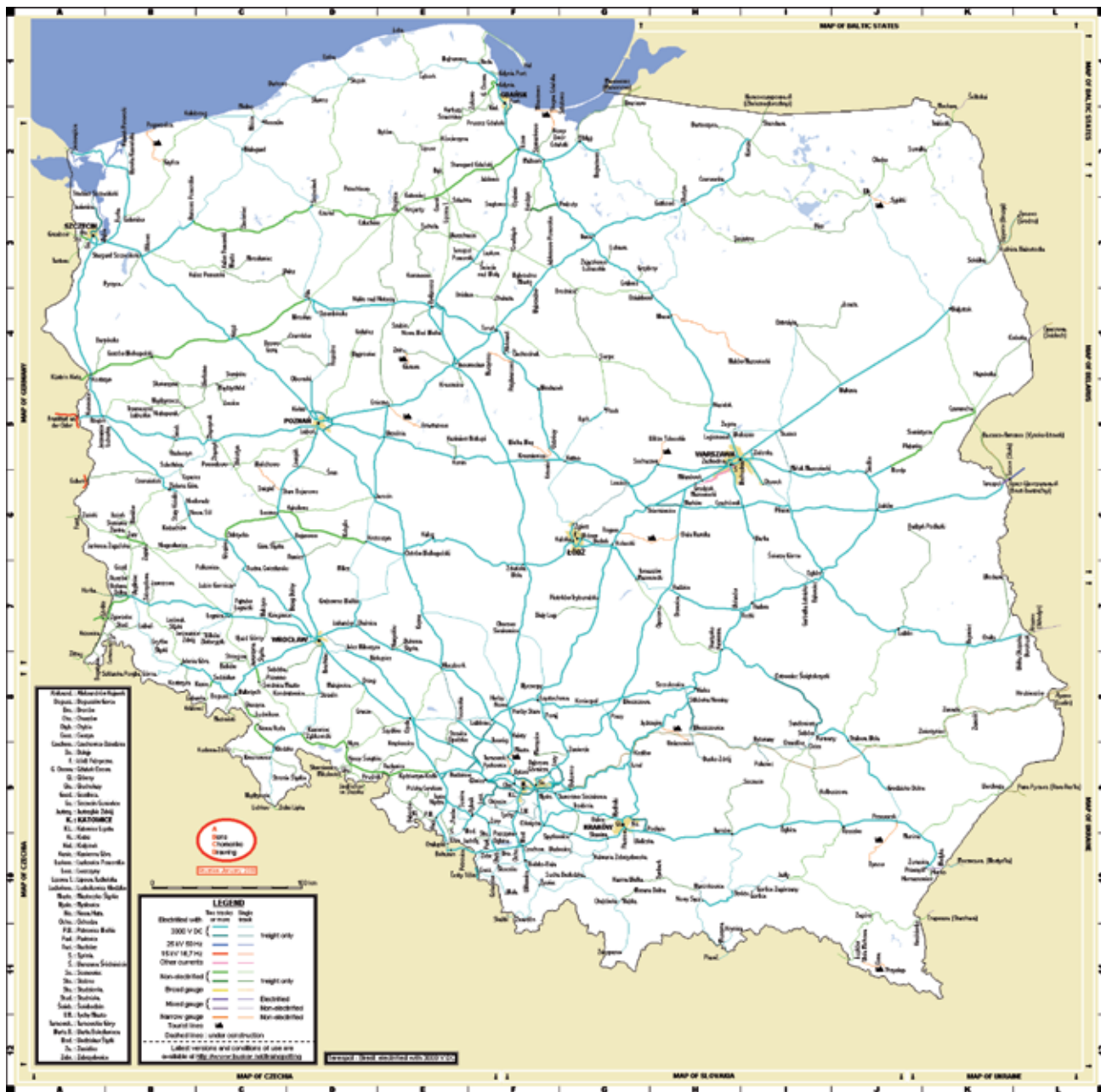
Ochrona przez uszynienie jest najczęstszym sposobem ochrony przed napięciem niebezpiecznym stosowanym na kolejach czeskich. Uszynienie jest celowym połączeniem biernych elementów sieci trakcyjnej, które muszą być chronione, czyli głównie słupów trakcyjnych podtrzymujących jej część przewodzącą

prąd trakcyjny, oraz konstrukcji przewodzących będących w obrębie OZST – obszaru zagrożonego przez sieć trakcyjną, z siecią powrotną składającą się z szyn kolejowych, z równoczesnym wyłączeniem zasilania uszkodzonej części sieci trakcyjnej.

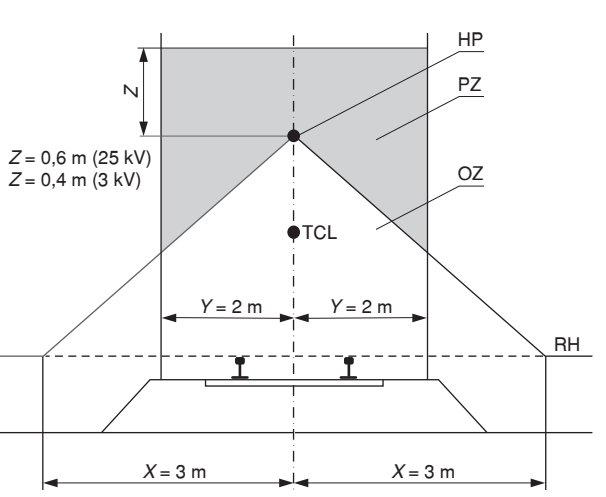
OZST – obszar zagrożony przez sieć trakcyjną jest zdefiniowany na rysunku 5 i 6, gdzie PZ oznacza obszar pantografowy a OZ obszar zagrożony na skutek zerwania sieci trakcyjnej.

W uproszczeniu można powiedzieć, że jest to obszar zagrożony w wyniku zerwania sieci trakcyjnej przy awarii wraz z obszarem zagrożonym przez pantograf. Uwzględnia się również obszar widoczny na rzucie poziomym w kształcie półkola wokół słupa trakcyjnego z obrotowym mocowaniem wysięgnika zawieszenia sieci jezdnej, którego promień jest określany długością ramienia wysięgnika. Główny obszar zagrożony w wyniku zerwania sieci trakcyjnej wynosi minimum 3 m od osi toru, na każdą stronę, dla łuków o promieniu 800–1600 m odległość od osi toru zwiększa się do 4 m, dla łuków 600–800 m – do 4,5 m, a dla łuków o promieniu mniejszym niż 600 m – do 5 m. Ze względu na małe prawdopodobieństwo uszkodzenia obszarów tych nie stosuje się dla przewodów wzmacniających, obejściowych lub zasilających, prowadzonych poza obszarem pantografowym. Nie stosuje się ich również przy stałych połączeniach przewodów wzmacniających z siecią trakcyjną. Uwzględnia się je jednak przy odejściach do kotwień lub punktów stałych sieci trakcyjnej.

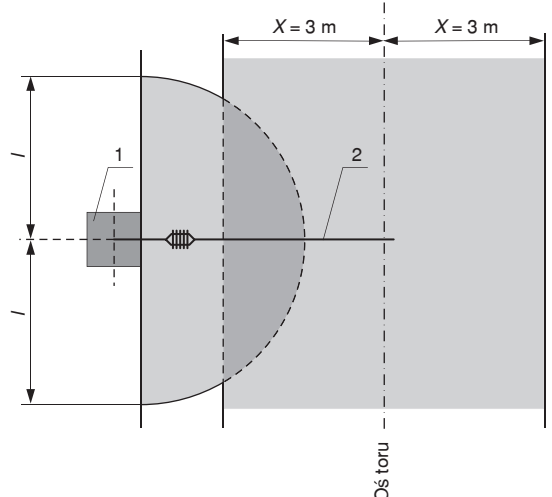
Oznacza to, że chronione muszą być wszystkie słupy trakcyjne (również poza OZST) oraz konstrukcje przewodzące znajdujące się w OZST, oprócz konstrukcji, co do których nie ma wątpliwości, że napięcie niebezpieczne przeniesie się na inny element,



Rys. 4. Systemy trakcyjnego zasilania w Polsce



Rys. 5. Obszar zagrożony przez sieć trakcyjną (POTV)



Rys. 6. Rzut poziomy OZST

nie spowoduje innej poważnej awarii lub zagrożenia mienia i zdrowia.

### Przykłady konstrukcji, które muszą być chronione

Zawsze muszą być chronione słupy sieci trakcyjnej, zawieszania w tunelach lub inne elementy nośne elementów przewodzących prąd w sieci trakcyjnej oraz wszelkie inne konstrukcje przewodzące znajdujące się w OZST lub w obszarze pantografowym, jak na przykład:

- a) ekrany akustyczne
- b) mosty i wiadukty,
- c) ściany oporowe i inne ściany żelbetonowe,
- d) siatki wzmacniające skarpy,
- e) sygnalizatory,
- f) płoty stalowe,
- g) nie rozdzielone bariery o wysokości min. 1,2 m, dłuższe niż 15 m (w przypadku systemu prądu stałego) i dłuższe niż 2 m (w przypadku prądu zmiennego),
- h) daszki,
- i) słupy oświetleniowe i głośnikowe,
- j) podświetlone tablice informacyjne,
- k) skrzynki ogrzewania wstępnego, itp.

### Przykłady konstrukcji, które nie muszą być chronione

Konstrukcje z materiałów przewodzących o małych rozmiarach, które nie podtrzymują ani nie zawierają urządzeń elektrycznych, przy których nie ma zagrożenia przeniesienia napięcia niebezpiecznego na inne elementy, jak na przykład:

- a) pokrywy kanałów,
- b) słupki krzyży ostrzegawczych,
- c) pojemniki na odpady,
- d) bariery o wysokości do 1,2 m i konstrukcje z siatki o długości do 15 m (w systemie prądu stałego) oraz o długości do 2 m (w systemie prądu zmiennego), prowadzone równoległe do sieci trakcyjnej w odległości min. 2 m (dłuższe konstrukcje muszą być odpowiednio rozdzielone lub uszynione),
- e) dławiki torowe,
- f) skrzynki torowe itp.:

  - elementy przewodzące konstrukcji w OZST, w których jest wbudowana uszyniona lub uziemiona konstrukcja wsporcza;
  - urządzenia i materiały w pobliżu sieci składowane tymczasowo;
  - wszelkie pozostałe konstrukcje przewodzące zlokalizowane poza OZST.

Jeżeli nie wiemy czy dany, przewodzący element znajdujący się w OZST ma być uszyniony czy nie, należy stosować zasadę, że lepiej jest uszynienie wykonać niż nie wykonać.

### Sposoby uszyniania i uziemiania

Stosowane sposoby uszyniania są następujące:

- indywidualne,
- grupowe.

Z uszynieniem indywidualnym mamy do czynienia, jeżeli każda chroniona konstrukcja jest oddzielnie podłączona do sieci powrotnej. Stosuje się uszynienia bezpośrednie oraz przez iskiernik.

Uszynienie bezpośrednie polega na bezpośrednim połączeniu chronionej konstrukcji siecią powrotną. Do połączenia bezpo-

średniego używa się przewód FeZn  $\varnothing 10$  mm w izolacji plastikowej, który można stosować jedynie w trakcji prądu zmiennego oraz urządzeniach zabezpieczenia ruchu kolejowego bez obwodów szynowych (liczniki osi), lub jednoszynowych obwodów izolowanych, przy słupach z zamontowanymi odłącznikami dla obydwu systemów zasilania (stosuje się podłączenie  $2\times$ ), również przy słupach trakcyjnych, które równocześnie służą do odprowadzenia przepięć (stosuje się również podłączenie  $2\times$ ). Sposób ten przestano już stosować, obecnie używa się wyłącznie izolowane układy przepięciowe (ograniczniki przepięcia, odgromniki). Można je stosować również przy słupach ogólnie dostępnych, jednak aktualnie staramy się zastąpić je iskiernikami o niższym napięciu przebicia. Jeżeli oporność konstrukcji chronionej do ziemi jest większa niż  $100 \Omega$ , konstrukcję taką należy uszynić bezpośrednio, również w przypadku systemu prądu stałego oraz przy liniach z dwuszynowymi obwodami torowymi.

Uszynienie przez iskiernik wykonuje się również przewodem FeZn  $\varnothing 10$  mm w plastikowej rurce, jednak w miejscu zamocowania przewodu do konstrukcji chronionej wstawia się urządzenie z wkładką izolacyjną, tzw. iskiernik. Aktualnie stosuje się wyłącznie iskierniki wielokrotnego działania, to znaczy, że w przypadku przebicia napięciem wyższym niż wielkość znamionowa następuje samoczynne wznowienie funkcji iskiernika. Najczęściej stosuje się iskierniki o napięciu przebicia 250 V – do ochrony konstrukcji ogólnie dostępnych lub 500 V w przypadkach pozostałych. Iskiernik stosuje się zawsze przy urządzeniach zabezpieczenia ruchu kolejowego z dwuszynowymi obwodami torowymi. Celem tego jest niewprowadzanie asymetrii do obwodów torowych z powodu małego oporu uziemienia podłączanej konstrukcji lub sumy oporów uziemienia kilku konstrukcji w ramach jednego obwodu torowego (większa liczba konstrukcji uziemionych oznacza lepsze połączenie z ziemią). Wprowadzenie iskierników ogranicza ponadto występowanie prądów błądzących w systemach prądu stałego, ponieważ nie łączymy z ziemią sieć powrotną, służącą do powrotu prądu trakcyjnego. Iskiernik należy traktować jako opornik wstawiony między chronioną konstrukcją a sieć powrotną, który przy wystąpieniu napięcia przebicia (awarii, gdy na konstrukcji pojawi się napięcie niebezpieczne) staje się elementem przewodzącym, i w związku z tym zapewnia połączenie z siecią powrotną oraz skuteczne wyłączenie zasilania, w przypadku awarii. W przypadkach szczególnych, uzasadnionych technicznie można uszynienie przez iskiernik zastosować przy słupach z odłącznikami,



Rys. 7. Iskiernik działania wielokrotnego

jednak ich napięcie przebicia musi wynosić 250 V. Wielką wadą iskierników jest ich duża liczba, ponieważ obowiązuje zasada – do każdej konstrukcji jeden iskiernik. Zwiększa to znacznie koszty inwestycji i nakłady na ich konserwację przez cały okres użytkowania.

Z tego powodu bywa często korzystniejsze zastosowanie uszynienia grupowego. Uszynienie grupowe jest sposobem uszynienia, w którym kilka oddzielnych konstrukcji łączy się w jedną całość i dopiero ten układ łączy się z siecią powrotną. Takie bezpośrednie podłączenie można wykonać z zachowaniem opisanych powyżej zasad dotyczących uszynienia bezpośredniego lub całą grupę połączyć z siecią powrotną przez jeden iskiernik. W przypadku uszynienia bezpośredniego zaleca się podłączenie całej chronionej grupy na środek dławika torowego (ze względu na parametry odległościowe uszynienia grupowego jest to łatwiejsze, ponieważ przewód uszynienia indywidualnego może być stosowany maksymalnie do długości 50 m – przede wszystkim ze względu na spadek napięcia na stosowanym przewodzie FeZn). Połączenie konstrukcji wykonuje się najczęściej linką ochronną, można również zastosować przewód FeZn  $\varnothing 10$  mm, ewentualnie kable Cu. Wszystkie przewody uszynienia grupowego muszą być obliczone z uwzględnieniem prądu zwarciovego i napięć dotykowych, które występują w przypadku zwarcia oraz muszą być zgodne z parametrami podanymi w tabeli 1. Jeżeli skrajne elementy konstrukcji chronionej są oddalone od miejsca podłączenia do sieci powrotnej o więcej niż 50 m, nie muszą być badane napięcia dotykowe. Wadą uszynienia grupowego jest konieczność wyliczenia maksymalnej długości przewodu w przypadku połączeń większych niż 50 m, ze względu na dopuszczalny spadek napięcia, przy przewodach wykonanych z materiałów, które są dużą pokusą dla złodziei. Obowiązuje zależność: im materiał bardziej popularny u złodziei (np. miedź), tym dłuższe może być uszynienie grupowe. Z tego powodu często stosuje się kompromis w postaci linki  $1 \times 50Bz$  przy maksymalnej długości około 500 m lub  $2 \times 70Fe$  dla długości do 300 m. W tunelach jako główny przewód uszynienia grupowego stosuje się przewody  $120Cu$ , a dla przewodów podłączeniowych –  $50Cu$  lub  $50Bz$ .

Innym typem ochrony przed porażeniem napięciem dotykowym jest ochrona przez uziemienie. Ochrona ta jest wykonywana wszędzie tam, gdzie nie ma możliwości zastosowania uszynienia, ewentualnie korzystniejsze jest uziemienie niż uszynienie chronionego urządzenia (np. słup trakcyjny w podstacji zasilającej, lub duża odległość konstrukcji od szyny). Ochrony uziemieniem nie można stosować tam, gdzie uziemienie konstrukcji może spowodować wystąpienie i przepływ prądów błądzących, czyli głównie w systemach prądu stałego. Ochrona przez uziemienie musi również gwarantować odpowiednio szybkie wyłączenie zasilania w przypadku awarii na danym odcinku sieci. Z tego względu należy postarać się o jak najlepsze połączenie konstrukcji z ziemią, jak najmniejszy opór konstrukcji w stosunku do ziemi. Rodzaje uziemień są podobne jak uszynień zarówno grupowe, jak i indywidualne. Wielkości oporności uziemienia w miejscu uziemienia przyjmuje się w sposób następujący:

- konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej lub znajdujące się w OZST muszą mieć minimalnie wielkość uziemienia  $15 \Omega$ , w odległości 5 m od najbliższego zelektryfikowanego toru, przy czym można wykorzystać tzw. przypadkowy obiekt uziemiający znajdujący się w pobliżu (np. most) lub uwzględnić

fakt, że konstrukcja jest doskonale uziemiona i wielkość oporności nie ulegnie zwiększeniu;

- w podstacjach trakcyjnych, w których elementy bierne są połączone z układem trakcyjnym dopuszcza się maksymalną oporność uziemienia  $0,5 \Omega$ ;
- w stacjach trakcyjnych transformatorowych  $1 \Omega$ ;
- w kabinach sekcyjnych i urządzeniach podgrzewania składów w systemach prądu stałego, jeżeli nie można zastosować ochrony przez uszynienie,  $2 \Omega$ ;
- w kabinach sekcyjnych, urządzeniach podgrzewania składów, stacji transformatorowych do ogrzewania zwrotnic itp. w systemach prądu zmiennego, jeżeli nie można zastosować ochrony przez uszynienie,  $5 \Omega$ .

Ochrona przez izolowanie polega na wykonaniu izolacji podstawowej i dodatkowej, które razem tworzą izolację podwójną. Stosuje się wyłącznie do ochrony słupów podtrzymujących przewody zasilające, wzmacniające, obejściowe lub powrotne, jeżeli odległość słupa w płaszczyźnie poziomej od najbliższego toru jest większa niż 50 m lub 10 m w płaszczyźnie pionowej. Ochrona wykonuje się np. przez szeregowo połączenie dwóch izolatorów podtrzymujących przewód.

Ochrona dodatkowa przez uniemożliwienie dostępu polega na zastosowaniu takich zabezpieczeń mechanicznych, które chronią przed porażeniem napięciem dotykowym oraz zabezpieczają przed zbliżeniem się osób do biernych elementów chronionych. Najczęściej stosuje się umieszczenie elementu urządzenia w osłonie plastikowej lub wygrodzenie drewnianym płotem, ewentualnie obudowanie elementu tak, aby przez cały okres jego użytkowania uniemożliwić dostęp człowieka.

Ochrona dodatkowa przez usytuowanie polega na takim umieszczeniu elementów biernych chronionego urządzenia, aby dostęp do niego był niemożliwy, bez zastosowania specjalnych urządzeń, np. przy wieszakach w tunelu, umieszczonych nad siecią trakcyjną ochrona ta jest używana jako ochrona podstawowa.

Ochrona podstawowa przez wyrównanie potencjałów polega na połączeniu wszystkich biernych elementów podlegających ochronie, włącznie z metalowym miejscem pracy. Jeżeli miejsce pracy nie jest wykonane z metalu, ale przewodzi prąd elektryczny (podłoga, ziemia), potencjał podłoga musi być wyrównany z potencjałem chronionych urządzeń, np. przez wstawienie w podłogę metalowej siatki itp. Aby wejście na miejsce pracy było odpowiednio zabezpieczone, należy odgrodzić je pasem izolacyjnym o szerokości min. 1,3 m (na zewnątrz można zastosować np. gruby żwir).

Z tabeli 2 wynika, że z punktu widzenia kosztów inwestycji, na odcinkach międzystacyjnych korzystniejsze jest uszynienie indywidualne, natomiast na stacjach uszynienie grupowe. Ze względu na małe prawdopodobieństwo kradzieży lin uszynienia grupowego na stacji kolejowej, jedynym powodem uszynienia indywidualnego na stacji może być żądanie właściciela sieci trakcyjnej.

### **Ochrona konstrukcji w celu ograniczenia prądów błądzących w systemach trakcyjnych prądu stałego**

Eksploatacja sieci trakcyjnej prądu stałego powoduje powstawanie tzw. prądów błądzących, które działają niekorzystnie na urządzeniu kolejowe oraz inne obiekty niekolejowe. W celu określenia wpływu prądów błądzących na różne urządzenia w zasięgu ich działania, należy przeprowadzić analizę korozji (w przypadku elektryfikacji należy przeprowadzić badania przed budową sieci oraz

Tabela 2

## Koszty inwestycji dla poszczególnych systemów uszynienia

Nazwa pozycji		Cena materiału i montażu	
		CZK	PLN
Uszynienie bezpośrednie stupa T, P, 2T, BP, DS, OK – 1 przewód	[szt.]	2 951	492
Uszynienie bezpośrednie stupa T, P, 2T, BP, DS, OK – 2 przewody	[szt.]	5 211	869
Uszynienie bezpośrednie wzmocnione pary 2T, 2P – 1 przewód	[szt.]	4 380	730
Uszynienie bezpośrednie wzmocnione pary 2T, 2P – 2 przewody	[szt.]	6 904	1151
Uszynienie z iskiernikiem T, P, 2T, BP, DS, OK – 1 przewód	[szt.]	8 070	1345
Uszynienie z iskiernikiem T, P, 2T, BP, DS, OK – 2 przewody	[szt.]	10 415	1736
Uszynienie z iskiernikiem wzmocnione pary 2T, 2P – 1 przewód	[szt.]	9 323	1554
Uszynienie z iskiernikiem wzmocnione pary 2T, 2P – 2 przewody	[szt.]	11 741	1957
Podłączenie konstrukcji wsporczej do pręta uziemiającego	[szt.]	7 046	1174
Konsola do liny ochronnej na stupie T, P, BP, DS i bramce	[szt.]	2 772	462
Kotwienie liny ochronnej na T, P, BP – pojedyncze, podwójne	[szt.]	6 756	1126
Układanie liny ochr. 50 mm <sup>2</sup> Fe	[m]	56	9
Układanie liny ochr. 70 mm <sup>2</sup> Fe	[m]	82	14
Układanie liny ochr. 50 mm <sup>2</sup> Bz	[m]	224	37
Układanie liny ochr. 70 mm <sup>2</sup> Bz	[m]	303	51
Układanie liny ochr. 240 mm <sup>2</sup> AlFe	[m]	177	30
<i>Koszty inwestycji na km</i>			
Linia dwutorowa – uszynienie indywidualne		415 000	69 167
Linia dwutorowa – uszynienie grupowe		1 000 000	166 667
Stacja średnia o długości 2 km i 5 torach – uszynienie indywidualne		600 000	100 000
Stacja średnia o długości 2 km i 5 torach – uszynienie grupowe		400 000	66 667



Rys. 8. Typowe uszynienie stupa przez iskiernik



Rys. 9. Uziemienie stupa na terenie podstacji zasilającej Grygov

- niebezpieczeństwo przegrzania, iskrzenia oraz zapalenia i związanego z tym zagrożenia osób i mienia, które nie muszą wystąpić na obszarze odpowiedzialności zarządcy kolei;
- wpływ na niezabezpieczone urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego oraz systemy łączności;
- wpływ na inne katodowe urządzenia ochronne;



Rys. 10. Uszynienie wiaduktu przez iskiernik na stacji kolejowej Bystrice

w trakcie eksploatacji, po zakończeniu budowy, ponieważ prądy błędzące nie muszą pochodzić wyłącznie od urządzeń kolejowych). Aby ograniczyć wpływ prądów błędzących, stosuje się przede wszystkim odizolowanie od ziemi całego obwodu elektrycznego. Głównie przez odizolowanie szyn od ziemi, sieć trakcyjna jest odizolowana z założenia. Urządzenia o mniejszej oporności uziemienia niż 100 Ω są podłączane do szyny z uwagi na ochronę przed porażeniem napięciem dotykowym, wyłącznie przez iskiernik. Generalnie wszelkie podłączenia do sieci powrotnej podlegają zatwierdzeniu przez właściciela sieci, przy założeniu, że środki ochrony przed porażeniem napięciem dotykowym są nadrzędne nad zabezpieczeniem przed powstawaniem i działaniem prądów błędzących.

Głównymi skutkami działania prądów błędzących są:

- korozja i związane z tym uszkodzenia konstrukcji metalowych i wbudowanych urządzeń, usytuowane w miejscach wypływania z nich prądów błędzących;



Rys. 11. Uszynienie podwieszenia przewodu wzmocniającego pod wiaduktem



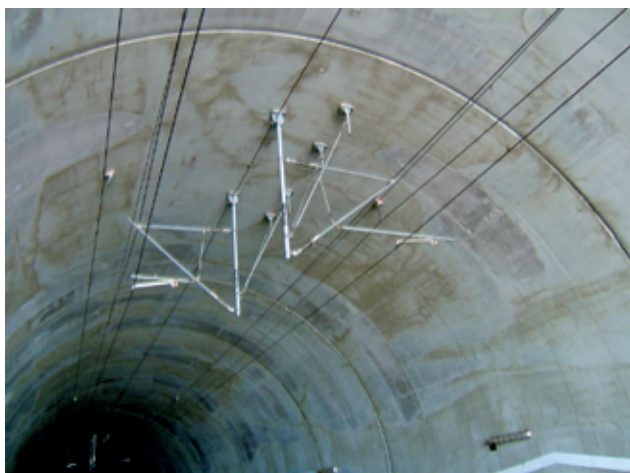
Rys. 14. Szczegóły połączenia podwieszeń przewodu wzmocniającego linę 50Bz



Rys. 12. Wysięgniki sieci trakcyjnej w tunelu



Rys. 15. Lina ochronna służąca również do odprowadzenia prądu powrotnego  $2 \times 120\text{Cu}$  Šatov – granica Republiki Czeskiej/Austrii (system austriacki 15 kV 16,7 Hz)



Rys. 13. Połączenie wieszaków z liną uszynienia 120Cu



Rys. 16. Uszynienie muru oporowego z ekranem akustycznym przez słup trakcyjny na stacji kolejowej Bystřice





Rys. 17. Uszynienie ekranu akustycznego przez podłączenie do słupa trakcyjnego, ścianki połączone między sobą wewnątrz cokółu



Rys. 18. Połączenie na dole ekranu akustycznego przewodem gołym FeZn



Rys. 19. Połączenie na górze ekranu akustycznego przewodem gołym FeZn

- wpływ na inne systemy prądu stałego i przemiennego (np. komunikacji miejskiej).



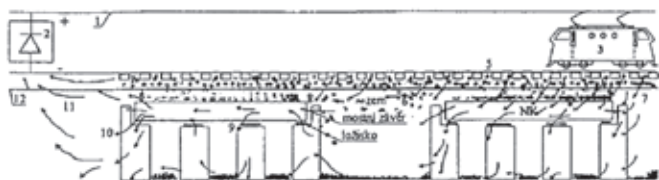
Rys. 20. Skutki awarii przy braku uszynienia

Głównymi źródłami prądów błędnych są kolejowe systemy trakcyjne prądu stałego, komunikacja miejska oraz aktywne ochrony katodowe oraz drenaże urządzeń gazowych, umieszczonych w ziemi, chronionych przed działaniem prądów błędnych.

Głównymi urządzeniami podlegającymi zagrożeniu działaniem prądów błędnych są tunele, mosty, wiadukty, ściany żelbetonowe, ale również podkłady żelbetonowe (stosowanie podkładów stalowych jest zakazane), urządzenia lokomotywowni i warsztatów, w których z powodów bezpieczeństwa zezwolono na podłączenie do sieci powrotnej, wszelkie rurociągi podziemne, wodociągi, gazociągi, stalowe płaszcze kabli, cysterny, zbiorniki, systemy uziemień itp.

Na rysunku 21 przedstawiono sposób rozprzestrzeniania się prądów błędnych podczas przejazdu pociągu przez most.

Rodzaj i sposób rozwiązania uszynienia musi respektować ograniczenie prądów błędnych, z tego powodu powszechnie stosuje się uszynienie indywidualne przez iskiernik. Przykładowo uszynienie mostu jest wykonane w ten sposób, że zdylatowana górna część budowli jest uszyniona przez iskiernik na szynie, przęsła mostu z poręczami są uszyniane osobno również przez iskiernik (rys. 22).



Rys. 21. Sposób rozptylu prądów błędnych

## Wnioski

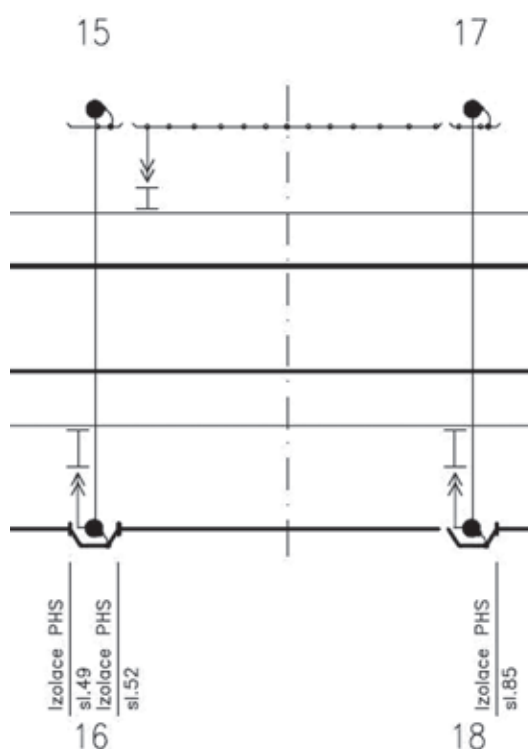
Ochrona przed porażeniem niebezpiecznym napięciem dotykowym ma swoje uzasadnienie również dzisiaj, kiedy stosuje się lepsze materiały i elementy konstrukcyjne, ponieważ ochrona osób, czyli zabezpieczenie przed przepływem prądu przez ciało człowieka, jest podstawowym zadaniem uszynienia, które długotrwale spełnia swoje funkcje ochronne. Dowodem na to jest również fakt, że przez cały okres działalności firmy SUDOP Brno nie doszło do ani jednego wypadku śmiertelnego na skutek niezadziałania ochrony uszynieniem.



Autor

Inż. Martin Molák

projektant SUDOP Brno spol. s r.o. 27.2.2009



Rys. 22. Przykład schematu uszynienia mostu ze względu na ograniczenie działania prądów błędnych

Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Rekuperacja '09

## Odzysk energii podczas hamowania elektrodynamicznego szynowych pojazdów trakcyjnych

Organizatorzy

Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu MPK Sp. z o.o. w Poznaniu Oddział Poznański SEP

Współorganizator

- Politechnika Poznańska
- Wydział Elektryczny
- Wydział Maszyn Roboczych i Transportu

Tematyka

Konferencja, zgodnie z zamierzeniami organizatorów, ma rozpocząć cykl spotkań naukowo-technicznych poświęconych odzyskowi energii podczas hamowania elektrodynamicznego szynowych pojazdów trakcyjnych. Tematyka będzie koncentrowała się na następujących problemach:

- konstrukcja urządzeń i projektowanie układów odzyskiwania energii na trakcyjnych pojazdach szynowych
- badania związane z odzyskiwaniem energii na pojazdach trakcyjnych
- stan obecny i tendencje rozwoju wysokowydajnych zasobników energii jako składników układów odzyskiwania energii
- przystosowanie infrastruktury do odbioru energii elektrycznej z pojazdów
- badania systemów zasilania w aspekcie odbioru energii z hamujących pojazdów trakcyjnych
- projektowanie i badanie współpracy pojazdów z podstacjami zasilającymi
- uwarunkowania techniczno-ekonomiczne związane z wykorzystaniem energii elektrycznej zwróconej do sieci.

Termin i miejsce

Rozpoczęcie 17.09.2009 r. – Poznań, Politechnika Poznańska

Kontynuacja i zakończenie 17–18.09.2009 r. – Rydzyna k. Leszna, Hotel Zamek

Szczegółowe informacje na stronie [www.tabor.com.pl](http://www.tabor.com.pl)