

Wybrane zagadnienia z doświadczeń PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki ze zgrzewania szyn

Ireneusz Jasiński

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki - potencjał w spawalnictwie nawierzchni szynowych

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki w Warszawie jest kontynuatorem ponad 40-letniej tradycji spajania szyn na PKP. W jednorodnej strukturze PKP jak i w obecnej rzeczywistości, w obszarze bezpieczeństwa ruchu pojazdów kolejowych związanego z szeroko rozumianym spawalnictwem nawierzchni kolejowej prowadzone są przez Centrum Diagnostyki działania prewencyjne, szkoleniowe oraz nadzoru bezpośredniego i pośredniego. Zgodnie z trendami europejskimi, w Polsce również podstawowym sposobem łączenia końców szyn są metody spawalnicze (zgrzewanie elektryczne iskrowe doczołowe mobilne i stacjonarne, spawanie termitowe, spawanie łukiem elektrycznym) prowadzące do powstania torów bezстыkowych o dowolnej długości. Samych linii kolejowych (tory główne) z zarządzie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. jest ponad 18 tys. km, a w nich prawie 19 tys. rozjazdów. Obecnie w nadzorze spawalniczym Centrum Diagnostyki pracuje 9 Inspektorów nadzoru (w tym 7 osób jest z tytułem IWE/EWE lub po kierunkowych studiach, w tym podyplomowych) oraz w interdyscyplinarnej komórce laboratoryjno-terenowej ponad 14 osób. Kadra tej komórki posiada uprawnienia m. in. VT, PT, UT, MT, IWT. Działalność w zakresie spawalnictwa została wprowadzona w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. do Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem SMS-PW-17 *Dopuszczanie elementów podsystemów i technologii przeznaczonych do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.* oraz należy do regulaminowych zadań Centrum Diagnostyki. Spełniana jest rola zbiorowego eksperta oraz innowatora również po za Spółką i to nie tylko w omawianej dziedzinie, tj.: nadzoru, kontroli i odbiorów technicznych wyrobów spawalniczych w nawierzchni kolejowej oraz kształtowania polityki szkoleniowej i weryfikacyjnej uprawnień. Pod pojęciem nadzoru spawalniczego realizowane są też szkolenia i weryfikacje pracowników PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. m.in. z 23 Zakładów Linii Kolejowych oraz Centrum Realizacji Inwestycji oraz czuwanie nad ich merytoryczną działalnością w różnym aspekcie.

Wyposażenie w techniczne środki pracy umożliwia realizację praktycznie całego zakresu badań wymaganych normami technicznymi (oprócz badania zmęczeniowego połączeń) np. serii PN-EN 14730-1 i -2 oraz Warunkami Technicznymi Wykonania i Odbioru itd.

Podstawy prawne stosowane przy zgrzewaniu szyn w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Potocznie można powiedzieć, że celem albo podstawą prowadzenia badań i pomiarów jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy poznawane cechy fizyczne lub/i użytkowe spełniają oczekiwania w danej dziedzinie? czy spełniają określone normy techniczne lub projektowe? PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki w Warszawie wykorzystuje do tego celu szereg aktów prawnych, jak m. in.:

1. PN-EN 14587-1 Kolejnictwo - Tor - Zgrzewanie iskrowe szyn - Część 1: Zgrzewanie nowych szyn ze stali gatunku R220, R260, R260Mn i R350HT w zgrzewalni (w zakresie zalecanym przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki);
2. PN-EN 14587-2 - Kolejnictwo - Tor - Zgrzewanie iskrowe szyn - Część 2: Zgrzewanie nowych szyn ze stali gatunku R220, R260, R260Mn i R350HT zgrzewarkami torowymi poza zgrzewalnią (w zakresie zalecanym przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki);
3. PN-EN 13674-1 Kolejnictwo - Tor - Szyna - Część 1: Szyny Vignole'a o masie 46 kg/m i większej;
4. PN-EN ISO 3452-1 Badania nieniszczące - Badania penetracyjne - Część 1: Zasady ogólne;
5. PN-EN ISO 23277 Badania nieniszczące - Badania penetracyjne spoin - Poziomy akceptacji;
6. PN-EN ISO 17638 Badania nieniszczące spoin - Badania magnetyczno - proszkowe;
7. PN-EN ISO 23278 Badania nieniszczące spoin - Badania magnetyczno-proszkowe - Poziomy akceptacji;
8. h. PN-EN ISO 17635 Badania nieniszczące spoin - Zasady ogólne dotyczące metali;
9. PN-EN ISO 14731 Nadzorowanie spawania - Zadania i odpowiedzialność;
10. Wytyczne zgrzewania szyn w torze (CION2-513-9/99) wraz z zarządzeniami uzupełniającymi;
11. Warunki techniczne wykonania i odbioru zgrzein w szynach kolejowych nowych łączonych zgrzewarkami stacjonarnymi. Wymagania i Badania Id-112;
12. Katalog wad w szynach, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.;
13. Dopuszczanie elementów podsystemów i technologii przeznaczonych do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (SMS-PW-17), w tym:

inż. Ireneusz Jasiński - zastępca Dyrektora ds. Technicznych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki w Warszawie

- a. Część 2: Złącza szynowe - zgrzewanie oporowe doczołowe z wyskrzaniem ciągłym zgrzewarkami torowymi Nr P/IGSN-513-2/2016,
 - b. Część 3: Złącza szynowe - zgrzewanie iskrowe szyn w zgrzewalni nr P/IGSN-513-5/2018.
14. Instrukcję badań defektoskopowych szyn, spoin i zgrze-
in w torach kolejowych Id-10 (D-16);
 15. Wytyczne ultradźwiękowych badań złączy szynowych
zgrzewanych i spawanych Id-17;
 16. dokumentacja techniczno-ruchowa zgrzewarki itd.

Do listy można dopisać, oprócz instrukcji technologicznych, przede wszystkim potencjał drzemiący w wiedzy i zaangażowaniu ludzi, ludzi z pasją. Odpowiedzialność i zadania Centrum Diagnostyki w dziedzinie spawalnictwa zostały rozszerzone po zmianie Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 26 września 2003 r. w sprawie wykazu typów budowli i urządzeń przeznaczonych do prowadzenia ruchu kolejowego oraz typów pojazdów kolejowych, na które wydawane są świadectwa dopuszczenia do eksploatacji, w którym m. in. było:

„W § 1. Świadectwo dopuszczenia do eksploatacji wydawane jest:

1. dla następujących budowli przeznaczonych do prowadzenia ruchu kolejowego na każdy typ:
 - a) toru kolejowego,
 - b) skrzyżowania torów kolejowych,
 - ...
 - f) związany z torem kolejowym lub skrzyżowaniem torów kolejowych lub rozjazdem kolejowym:
 - **złącza szynowego**, itd.”

W Dzienniku Ustaw RP w poz. 911 Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 7 sierpnia 2012 r. zdjęty został obowiązek uzyskiwania Świadectwa dopuszczenia do eksploatacji ... **dla złącza szynowego** a jak wiadomo procesy spawania definiowane są jako procesy specjalne i dlatego Spółka, w oparciu o możliwości stwarzane dla zarządców infrastruktury przez normy w zakresie spawania w kolejnictwie, przejęła w swój System Bezpieczeństwa procedury związane m.in. ze zgrzewaniem szyn.

Szyna jako materiał podstawowy

Zdaniem autora, koniecznym popularyzowanie wiedzy w środowisku spawalniczym na temat szyn, a właściwie gatunków i właściwości stali z jakiej są walcowane. Dla drogi kolejowej i technologii spajania materiałem podstawowym jest szyna, którą możemy zdefiniować jako metalowy profil o przekroju dwuteownika lub zbliżonym, który w czasie pracy poddany jest głównie obciążeniom zginającym, a szczególnie część zwana stopką poddawana jest naprężeniom rozciągającym. Zadaniem bezpośrednim szyn jest podtrzymanie i umożliwienie toczenia się kół pojazdów oraz nadawaniu im kierunku biegu. Pośrednio przekazuje naciski kół przez podkładki szynowe na podkłady i dalej przez podsypkę na podtorze.

Obecnie w transporcie kolejowym stosowane są szyny Vignole'a, które współpracując z odpowiednio ukształtowanym kołem zapewniają m.in. ograniczenie wężykowania pojazdów oraz kompensację różnej prędkości kół jednej osi na łukach. W miejskim transporcie szynowym stosuje się również, tzw. szyny rowkowe.

Materiał na szyny w ujęciu normatywny stanowi stal składająca się ze stopu żelaza z węglem plastycznie obrobione-go, o zawartości węgla nieprzekraczającej 2,11%, co odpowiada granicznej rozpuszczalności węgla w żelazie (dla stali stopowych zawartość węgla może być dużo wyższa). Węgiel w stali najczęściej występuje w postaci perlitu płytkowego. Niekiedy jednak, szczególnie przy większych zawartościach węgla cementyt występuje w postaci kulkowej w otoczeniu ziaren ferrytu. Stal obok żelaza i węgla zawiera zwykle również inne składniki. Do pożądanych - składników stopowych - zalicza się głównie metale (chrom, nikiel, mangan, wolfram, miedź, molibden, tytan). Pierwiastki takie jak tlen, azot, siarka oraz wtrącenia niemetaliczne, głównie tlenki siarki, fosforu są niepożądane i zwane są zanieczyszczeniami.

Wśród wielu możliwych klasyfikacji szyn, w bardzo dużym uproszczeniu, można przyjąć jako jeden z wariantów podział na:

- typu kolejowego (np. UIC60 a obecnie 49E1, 60E1),
- typu tramwajowego (np. Ri60, Ri60N a obecnie np. 60R2),
- blokowe (np. LK-1).

Szyny powinny odznaczać się bardzo dobrymi właściwościami fizycznymi a zwłaszcza dużą wytrzymałością na zginanie, twardością ale i odpornością na ścieranie przy jednoczesnej pewnej ciągliwości, ponadto pożądana jest duża sprężystość i trwałość. Od szeregu lat szyny są walcowane ze stali zlewnej wytworzonej w procesie ciągłego odlewania. Dla przypomnienia, stal jest to plastycznie (i ewentualnie cieplnie) obrobiony stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, otrzymywany w procesach stalowniczych ze stanu ciekłego. Jak wspomniano, stal może zawierać do ok. 2% węgla i powyżej tej wartości występuje jako żeliwo (są też wyjątki). Na własności stali niestopowych (węglowych) najistotniejszy wpływ wywiera węgiel, który decyduje o własnościach mechanicznych. Pozostałe pierwiastki znajdujące się w tych stalach pochodzą z procesu hutniczego (m. in. krzem, mangan, aluminium) lub są zanieczyszczeniami (jak np. fosfor, siarka, tlen, wodór, azot, cyna, antymon, arsen). Ogólnie można ustalić role domieszek w stali.

W przypadku manganu jest to powodowanie gruboziarnistości, krzemu - przeciwdziałanie segregacji fosforu i siarki a wspomniany fosfor i siarka na dodatek powoduje kruchość stali. Niepożądany wodór pogarsza własności stali powodując powstawanie pęcherzy i płatków śnieżnych. Natomiast azot powoduje spadek plastyczności, z kolei tlen - spadek własności mechanicznych. Dlatego w skład stali szynowej oprócz żelaza wchodzi takie pierwiastki, jak np.: węgiel ~0,4- ~1,0% (obecnie spotyka się już stal szynową z nieznacznie przekroczonym 1% C), mangan 0,6 - 2,1%, krzem do 0,5%, fosfor do 0,05%, siarka do 0,05% i szereg innych w mikroskopijnych ilościach. Od zawartości tych składników zależą właściwości stali szynowej. Efektywnym sposobem podwyższenia trwałości szyny jest stosowanie stali o zwiększonej wytrzymałości na rozciąganie, dzięki czemu szyny są bardziej odporne na zużycie, zmęczenie, a także zwiększa się ich odporność na obciążenia udarowe. Podstawowe normy: PN-EN 13674-1+A1 *Kolejnictwo - Tor - Szyna - Część 1: Szyny kolejowe Vignole'a o masie 46 kg/m i większej* oraz PN-EN 14811 *Kolejnictwo - Tor - Szyny specjalne - Szyny rowkowe i związane z nimi profile konstrukcyjne ściśle okre-*

śląją gatunki stali w skład których włączono stale stopowe i niestopowe niepodlegające obróbce cieplnej, stale stopowe i niestopowe obrabiane cieplnie oraz ich własności fizyczne i chemiczne, twardość, geometrię a w niej: tolerancje profilu, różnice w wymaganiach prostości, płaskość powierzchni i profilu główki szyny. W normach ustalono zakres badań kwalifikacyjnych oraz wymagane właściwości materiału powiązane z odpowiednimi badaniami odbiorczymi celem umożliwienia kontroli własności stali szynowej i produkcji szyn o wysokiej jakości, zgodnych z wymaganiami kolei. Obecnie, po zmianie filozofii podejścia, podstawą klasyfikacji szyny jest jej twardość a nie wytrzymałość na rozciąganie. Z tych dwóch parametrów, twardość jest szybkim i łatwym badaniem do wykonania oraz dostarcza więcej istotnych wskazówek dla użytkownika, szczególnie w miejscach występowania zmian własności w różnych częściach profilu szyny. W normach obowiązujących wcześniej, stal przedstawiano przez symbole np. St72P lub 900A w sposób bezpośrednio powiązany z wytrzymałością na rozciąganie - Rm. Własności te można zbadać tylko laboratoryjnymi metodami niszczącymi. Podwyższanie zawartości węgla i manganu w stali szynowej powoduje zwiększenie jej twardości a jednocześnie wytrzymałości na rozciąganie np. do 900 MPa, to z kolei zwiększa trwałość szyn, wyrażoną w przewiezionej masie brutto. Ujemną stroną jest zwiększenie kruchości. W ostatnich latach opanowana została na skalę przemysłową produkcja szyn ze stali dodatkowo termicznie ulepszonej lub metodą mieszaną z wykorzystaniem procesu odpowiedniej obróbki cieplnej i składu chemicznego osiągając wytrzymałość na rozciąganie rzędu 1100 MPa i twardości w zakresie 350 - 390 jednostek Brinella (HBW) a nawet więcej. Szyny z perlityzowaną główką charakteryzują się pełną twardością na powierzchni główki szyny i bezpośrednio pod nią. W metodzie tej twardość w szynie jest nierównomierna. Sięgając w głąb główki twardość maleje uzyskując w szyjce i stopce wartości w przedziale 260 - 300 HBW, czyli jak w „standardowej” obecnie szynie z gatunku stali R260. W połowie lat 70 produkowano w Polsce (w Hucie Katowice) szyny hartowane w całej objętości. Produkcja szyn o stałej twardości w przekroju poprzecznym jest do dnia dzisiejszego wykonywana ale już innymi metodami. Jednak Polskie doświadczenia z ich użytkowaniem w poprzednim okresie są negatywne ze względu na powstające wielokrotne pęknięcia i złamania. Obecnie prowadzone są prace nad produkcją szyn z gatunków stali, które w czasie stygnięcia po walcowaniu lub z wykorzystaniem dodatków stopowych uzyskują strukturę bainityczną.

Proces wytworzenia stali opiera się w dużym uproszczeniu na praktycznym zastosowaniu zależności opisanych wykresem popularnie nazywanym jako układ Fe - C (żelazo - węgiel) i odbywa się na poziomie ziaren. Nie wdając się w szczegóły, perlit jest to mieszanina eutekoidalna (powstaje z fazy stałej) ferrytu i cementytu. Powstaje z austenitu o zawartości 0,77% C w stałej temperaturze 727°C. Równoczesna przemiana martenzytyczna w obszarach o małym stężeniu węgla i wysokiej temperaturze Ms oraz wydzielenie drobnych cząstek cementytu jest zjawiskiem niepożądanym a wręcz szkodliwym w szynie.

Analizując ww. normy i procesy dochodzimy do wniosku, że są obszary gdzie stan technologiczny ujęty w nor-

mie jest przedstawiony w ograniczonym zakresie, takie jak:

- zależność tlenki/tlen,
- badanie zawartości wodoru,
- wpływ prostowania na pozostałość naprężeń własnych,
- wpływ prostowania na powierzchnię styku,
- pomiar i wpływ naprężeń własnych w szynie.

Zgodnie z przyjętymi definicjami charakterystyczną cechą jest spawalność stali, tzn. zdolność materiałów metalowych do tworzenia złączy spawanych (o wymaganych, z góry określonych własnościach w wyniku zaistnienia procesów fizykochemicznych) i decydujących czynnikach czy własnościach:

- metalurgicznych (skład chemiczny, zawartość C i składników stopowych, sposób wykonywania i wykańczania wytopu, stopień zanieczyszczenia wtrąceniami niemetalicznymi),
- konstrukcyjnych (rodzaj i sztywność konstrukcji złącza spawanego, pole powierzchni przekroju łączonych elementów, położenie spoin),
- technologicznych (metoda spawania, rodzaj i średnica zastosowanego spoiwa, moc źródła ciepła użytego do spawania),
- jako łatwo spawalne (do 40 mm grubości), wszystkie stale niskowęglowe, do 0,25 % C,
- jako średnio spawalne: wymagają dodatkowych zabiegów, większe średnice elektrod, podgrzewanie przed spawaniem, większe natężenie prądu, wolniejsze spawanie, niektóre stale niskostopowe,
- jako trudno spawalne: wymagające obróbki cieplnej po spawaniu, jak żeliwo, stale wysokostopowe,
- jako niespawalne, mimo stosowania wszystkich metod nie dają się łączyć, w tym niektóre stopy aluminium.

Reasumując, celem trwałego łączenia pojedynczych szyn w tor, najczęściej tor bezстыkowy, jest m. in. podniesienie bezpieczeństwa, komfortu i prędkości jazdy pojazdów kolejowych przy jednoczesnym obniżeniu kosztów utrzymania. Z charakterystyki spawalności wynika, że stale szynowe należą do trudno spawalnych i zdaniem autora tak powinny być rozpatrywane.

Metody łączenia szyn

W infrastrukturze drogi szynowej końce pojedynczych szyn łączy się ze sobą dwoma technologiami:

1. Montując tzw. tor klasyczny, z wykorzystaniem połączeń śrubowych i łubków, obecnie coraz rzadziej stosowany;
2. Stosując trwałe połączenia z wykorzystaniem technologii spajania:
 - a. Spawaniem termitowym, przy zastosowaniu materiału dodatkowego. Powszechnie stosowane w połączeniach w rozjazdach i miejscach niedostępnych dla głowic zgrzewających, połączeń zamykających itd. W Polsce w mniejszym zakresie w torach;
 - b. Zgrzewanie elektryczne doczołowe w warunkach stacjonarnych lub wykonywane na placu budowy z wykorzystaniem instalacji mobilnych (na podwoziu kolejowym lub drogowo-kolejowym). Stosowane powszechnie przy robotach o charakterze ciągłym i na długich frontach robót;
 - c. Spawanie elektryczne łukiem krytym, praktycznie nie występujące na PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., stosowane np. w tramwajach.

W artykule poruszane są tylko niektóre aspekty technologii spajania z wykorzystaniem metod zgrzewania doczołowego. Spajanie za pomocą zgrzewania iskrowego, z wyiskrzaniem ciągłym czy obecnie impulsowym, z zasilaniem prądem stałym a obecnie coraz częściej zmiennym, jak i pozostałe odmiany zgrzewania oporowego zaliczamy do wysokowydajnych metod łączenia, zautomatyzowanych, bez używania dodatkowych materiałów spawalniczych. Ten rodzaj zgrzewania stał się nieodłącznym procesem wysoko zmechanizowanej produkcji, o bardzo dużej powtarzalności. Warunkiem uzyskania złącza zgrzewanego doczołowego oporowego iskrowego odpowiedniej jakości jest przestrzeganie technologii procesu zgrzewania WPS (Welding Procedure Specification - Instrukcja Technologiczna Zgrzewania).

Pojęcie zgrzewania elektrycznego oporowego i tarcioowego stanowi, że ciepło niezbędne do nadtopienia lub doprowadzenia do stanu bardzo dużej plastyczności łączonych elementów na skutek przepływu prądu elektrycznego o dużym natężeniu rzędu 105 A i małym napięciu (od kilku do kilkunastu V). Największa ilość ciepła wydziela się w miejscu styku łączonych elementów, gdyż w tym miejscu oporność elektryczna jest największa.

Do zalet zaliczamy, brak potrzeby stosowania atmosfer ochronnych - bo nie ma utleniania, występujące oszczędności np. brak materiału dodatkowego, krótki czas i mniejsze zmiany w strukturze materiału, duża wydajność, możliwość łączenia ze sobą różnych materiałów, łatwość mechanizacji, szybkość procesu, koncentracja ciepła i możliwość łączenia trudnospawalnych metali, duża wytrzymałość. Do wad można zaliczyć konieczność stosowania drogich urządzeń o dużej mocy, a na kolei duży zakres i czasochłonność robót przygotowawczych, np. luzowanie i ponowne założenie przytwierdzeń szyny do podkładów na długości nawet do 500 m szyny.

Zarówno rozwój urządzeń, technologii jak i wymagań doprowadziło do większej mobilności i uniwersalności nośników głowic zgrzewających, skrócenie czasu zgrzewania, dostosowania programów sterujących w formie adaptacyjnej do różnych gatunków stali szynowej i profili (typów) szyn oraz zautomatyzowania procesów ustawiania, zgrzewania, obciążenia wypływką wraz z komputerową rejestracją parametrów i wyników w tym długością drogi (skrót szyny). W wyniku wykonanej zgrzeiny uzyskuje się skrócenia szyn z ok. 45 mm przy głowicy K355 do ok. 15 mm przy obecnie produkowanych głowicach rosyjskich, ukraińskich czy szwajcarskich. Przekłada się to m. in. na własności mechaniczne, szerokość SWC i głębokość zmiękczenia.

W Polsce występuje duża różnorodność instalacji zgrzewających mobilnych i stacjonarnych z typami głowic, często różnych nawet u tych samych wykonawców. Są wśród nich m. in. PRSM3 z głowicą K922-1, PRSM4 z głowicą K355A1, ZS z głowicą K355A1, VAIA CAR z głowicą K355A1, KCM005 z głowicą K922-1, SCHLATTER z głowicą AMS100, SCHLATTER z głowicą AMS60/120 i np. urządzenia stacjonarne np. z głowicą K1000.

Stosowane procedury w zakresie zgrzewania szyn

W PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. opracowano szereg procedur uwzględniających już na wstępie organ odpowie-

dzialny za przygotowanie wydania dopuszczenia dla wykonawców świadczących połączenia szyn kolejowych za pomocą zgrzein elektrycznych - oporowych sieci kolejowej zarządzanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Wskazany jest PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki, prowadzące:

1. sprawy administracyjne związane z procesem wydania dopuszczenia,
2. rejestr wykonawców posiadających dopuszczenie,
3. rejestr personelu spawalniczego oraz personelu nadzoru,
4. szkolenia oraz egzaminy personelu.

W procedurach zawarty jest obowiązek wykonawcy robót w zakresie połączeń spajanych szyn Vignole'a metodą zgrzewania oporowego doczołowego na rzecz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. posiadania, przestrzegania i spełnienia warunków oraz uregulowania następujących zagadnień:

1. Posiadania uprawnionych pracowników nadzoru, kontroli wykonania i odbiorów robót spawalniczych;
2. Posiadania etatowych, uprawnionych pracowników w zakresie stosowanej metody, operatorów zgrzewarek posiadających umiejętność obsługi zgrzewarek (urządzeń w tym głowic) do wykonywania zgrzein elektrycznych oporowych;
3. Prowadzenia systemu badań jakości robót spawalniczych, pod nadzorem PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki, polegającym na przeprowadzeniu okresowych:
 - a. badań laboratoryjnych próbek połączeń szyn kolejowych za pomocą zgrzein elektrycznych - oporowych;
 - b. badań eksploatacyjnych w torach połączeń szyn kolejowych za pomocą zgrzein elektrycznych - oporowych.
4. Dla wykonawców ubiegających się po raz pierwszy o wydanie dopuszczenia do stosowania na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. połączeń szyn kolejowych za pomocą zgrzein elektrycznych - oporowych, zastosowanie ma następująca procedura (w skrócie):
 - a. dostarczenie do PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki, próbek szyn kolejowych typu 60 profilu E1 lub E2, z gatunku stali R260 i opcjonalnie R350HT w celu przeprowadzenia cyklu badań laboratoryjnych. Próbki te powinny (muszą) być wykonane w obecności upoważnionego pracownika Centrum Diagnostyki, a minimalna ilość próbek powinna wynosić 10 szt. dla stali z gatunku R260 i dodatkowo 6 sztuk w przypadku opcji z gatunku stali szynowej R350HT;
 - b. przeprowadzenie badań terenowych (poligonu eksploatacyjnego) wykonanych pod nadzorem upoważnionego pracownika PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki zgrzein. Może to nastąpić tylko na podstawie porozumienia, zawartego pomiędzy:
 - przedstawicielem wykonawcy,
 - uznaną przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. jednostką badawczą lub PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki,
 - właściwym terenowo Zakładem Linii Kolejowych.

Integralną częścią porozumienia jest *Program badań eksploatacyjnych złączy szynowych zgrzewanych elektrooporowo wykonanych w infrastrukturze kolejowej zarządzanej*

przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Zakład Linii Kolejowych w ... w którym określone są szczegółowe zasady i zakres badań.

5. Dla wykonawców ubiegających się o przedłużenie terminu ważności dotychczasowego dopuszczenia (w tym również wykonawców posiadających świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu budowli kolejowej wydane przez Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego lub aprobatę techniczną wystawioną przez Instytut Kolejnictwa w Warszawie) zastosowanie ma podobna procedura z możliwością modyfikacji w zakresie zmniejszenia ilości wymaganych próbek;
6. Dopuszczenia wydawane są bezterminowo, pod warunkiem przeprowadzania w cyklu maksymalnie pięcioletnim badań laboratoryjnych min. 10 próbek szyn kolejowych oraz terenowych 10 istniejących zgrzein elektrycznych - oporowych zabudowanych w torach z wynikiem pozytywnym;
7. Pierwsze dopuszczenie wydaje się na okres nie dłuższy niż 3 lata, przy czym wymagane jest spełnienie łącznie następujących warunków:
 - a. samodzielnego wykonania minimum 50 zgrzein wykonywanych pod nadzorem operatora z doświadczeniem min. 250 zgrzein na danym typie głowicy lub uprawnionego pracownika Centrum Diagnostyki,
 - b. uzyskania przez operatora podczas odbioru ostatecznego oceny dobry dla wszystkich zgrzein wskazanych w pkt. a), (min. kolejnych 50);
8. Zakres wydane go dopuszczenia dla wykonawcy prac spawalniczych uzależniony jest od kwalifikacji oraz doświadczenia posiadanego przez niego personelu;
9. Dopuszczenie wydaje się w oparciu o badania laboratoryjne i terenowe przeprowadzone przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki. Nie jest wymagane posiadanie opinii lub wyników badań opracowanych przez jednostki zewnętrzne, za wyjątkiem badań dla próby zmęczeniowej;
10. Prowadzenie poligonu eksploatacyjnego połączeń szyn kolejowych za pomocą zgrzein elektrycznych - oporowych na infrastrukturze zarządcy infrastruktury powinno być zgodne z aktualnymi przepisami obowiązującymi w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.;
11. Przed podjęciem decyzji o rozpoczęciu procedury dopuszczenia wykonawca zobligowany jest do przedstawienia szczegółowych danych o lokalizacji poligonu, a w szczególności przedstawienia uwierzytelnionych dokumentów z informacjami o rocznym obciążeniu linii, charakterze ruchu kolejowego, obowiązującej prędkości oraz geometrii toru. Wymagane jest przy udokumentowaniu parametrów toru o $V_{\min} \geq 180$ km/h i rocznym obciążeniu $Q_{\min} \geq 10$ Tg z możliwością zmniejszenia wymaganego Q_{\min} ;
12. W przypadku instalacji stacjonarnej (zgrzewalni) wymagany jest audyt

z uzyskaniem pozytywnego wyniku przeprowadzonego na koszt wnioskodawcy przez specjalistów PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki przed rozpoczęciem poligonu eksploatacyjnego.

Charakterystyka prowadzonych badań laboratoryjnych

Wymagania cyklicznego powtarzania badań wytrzymałości zmęczeniowej w uznanym laboratorium na min. 3 próbkach i dołączenie wyników w przypadku uznanych technologii i urządzeń spotyka się z różną interpretacją ich celowości. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki wykonuje, w przypadku zlecenia, badania w zakresie:

1. oględzin zewnętrznych;
2. badań penetracyjnych lub magnetyczno-proszkowych;
3. badań ultradźwiękowych;
4. badań wytrzymałości statycznej złącza szynowego;
5. badań rozkładu twardości na przekroju głowki szyny metodą Vickers'a;
6. badań makroskopowych przekrojów zgrzein;
7. badań mikrostruktury przekrojów zgrzein.

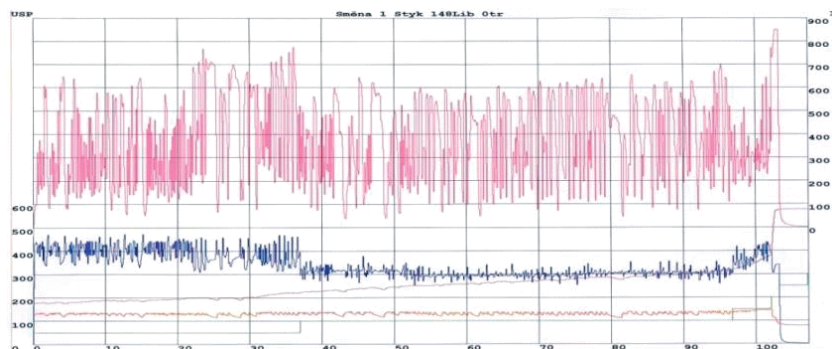
Z przeprowadzanych badań przygotowywane jest sprawozdanie zawierające nie tylko wyniki ale i opis metodologii oraz konkluzje. Wynik badań laboratoryjnych może być negatywny i wtedy procedura zostaje przerwana, a wnioskodawca otrzymuje odmowę wydania dopuszczenia lub wykonawca dostarcza podwójną liczbę próbek w celu powtórzenia badań.

Centrum Diagnostyki ściśle współpracuje z Instytutem Kolejnictwa przy wykonywaniu badań i/lub pomiarów, a na ich podstawie przeprowadza analizę wyników, opiniowanie oraz formułowanie wniosków. Wśród gamy obiektów do badań poczesne miejsce zajmują złącza szynowe zgrzewane. Zakres wykonywanych badań obejmuje m. in.:

1. Badania wizualne - laboratoryjne i terenowe. Polegają one na wzrokowej obserwacji złącza w celu wykrycia wad wynikających ze zgrzewania, obcinania wypłytki, prostowania, mocowania zacisków i wykańczania profilu oraz miejsc styku elektrod;



Rys 1. Złącza z szyn 60E1 zgrzanych metodą elektryczną, oporowo-iskrową, zgrzewarką torową



Rys. 2. Wykres parametrów zgrzewania głowicą K922

- Analizę parametrów zgrzewania złącza na podstawie komputerowego zapisu w formie graficznej oraz tabelarycznej;
- Badania defektoskopowe - laboratoryjne i terenowe, których celem jest wykrycie i opis (jeżeli występują) wad wewnętrznych;

WYKAZ PRZEBADANYCH ZŁĄCZY SZYNOWYCH

PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.
Centrum Diagnostyki i
03-784 Warszawa, ul. Targowa 76

Składowa Przemysłowa i Usług Informatycznych
Kilcowej 10-92 Wrocław ul. Ślaska 6

KGED-2
Data badania
Typ urządzenia: Epoch LT

Linia nr Skłak:
Km od do Typ szyn 60 E1 Tor nr
Badania przeprowadził: Defektoskop typu: Epoch LT
Przedstawiciel IZ: Głowice $S_{10} - W_0 - 61,0$ dB $Z_0 - 250$ mm
 $S_{10} - W_0 - 48,0$ dB $Z_0 - 250$ mm
 $S_{100} - W_0 - 62,0$ dB $Z_0 - 250$ mm
N - $W_0 - 45,0$ dB $Z_0 - 200$ mm

Lp.	Lokalizacja wady (km nr przel.)	Typ szyn	Tak / Nie	Opis oscylogramu	Zaloczenia	Spójność Zgrzewania	Defekty w obszarze zgrzewania	Uwagi (nr karty badań)
01	Próbka nr 1			$S_{10} - W_0 - 61,0$ dB	Dobry	X	S 277	KGED-5-S210002/2011
02	Próbka nr 2			brak wskazań	Dobry	X	S 277	KGED-5-S210002/2011
03	Próbka nr 3			brak wskazań	Dobry	X	S 277	KGED-5-S210002/2011
04	Próbka nr 4			brak wskazań	Dobry	X	S 277	KGED-5-S210002/2011
05	Próbka nr 5			brak wskazań	Dobry	X	S 277	KGED-5-S210002/2011
06	Próbka nr 1			brak wskazań	Dobry	X	Z 820	KGED-5-S210002/2011
07	Próbka nr 2			brak wskazań	Dobry	X	Z 820	KGED-5-S210002/2011
08	Próbka nr 3			brak wskazań	Dobry	X	Z 820	KGED-5-S210002/2011
09	Próbka nr 4			brak wskazań	Dobry	X	Z 820	KGED-5-S210002/2011
10	Próbka nr 5			brak wskazań	Dobry	X	Z 820	KGED-5-S210002/2011

Uwagi

Potwierdzenie odbioru: Pieczęć nagłwkowa odbierającego:
podpis: data:

KARTA BADAŃ ZGRZEINY

PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.
Centrum Diagnostyki i
03-784 Warszawa, ul. Targowa 76

Linia nr karta nr
Próbka nr 1
cecha spawacza Z 020

Obciążenie:
L: szer. kilometracji P
Obciążenie:
sił sefl. szyny
główna
Obciążenie:
całk. zgrzewania

WYNIKI KOLEJNYCH BADAŃ ZŁĄCZA

Nr Wady	Badanie I					Badanie II				
	Obszar	Wys. wsta	Wz	Symbol	Kl. złącza	Obszar	Wys. wsta	Wz	Symbol	Kl. złącza
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

Legenda: L - lewa strona złącza, P - prawa strona złącza, y - odł. wady od osi szyny, z - odł. wady od powierzchni bocznej szyny dla obszaru B lub od powierzchni stopki szyny dla obszaru A i C, * - jeżeli h>H (stała wada punktowa), ** - jeżeli h<H (mięka wada punktowa)

Uwagi dotyczące badań

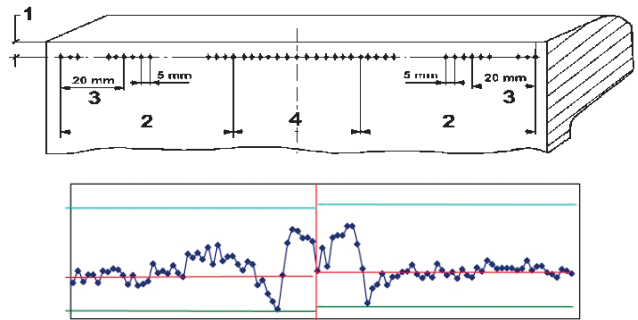
Obtynął:
data: podpis:

Rys. 3. Przykład dokumentów z badania defektoskopowego

- Badania twardości powierzchni toczonej złącza szyn kolejowych metodą Brinella - laboratoryjne i terenowe. Laboratoryjne przy następujących parametrach pomiarowych:
 - średnica kulki z węglików spiekanych wolframu: 10 mm,
 - wartość siły obciążającej: 29,42 kN,
 - czas obciążenia: 10 - 15 s;
- Badania rozkładu twardości metodą Vickersa wykonywane przy następujących parametrach pomiarowych (HV30):
 - nominalna wartość siły obciążającej: 294,2 N,
 - czas obciążenia: 10 sekund.

Minimalne i maksymalne wartości twardości uzyskane podczas próby powinny wynosić :

- twardość minimalna nie będzie mniejsza niż $P_{L;P} - 30$ HV30
- twardość maksymalna nie będzie większa niż $P_{L;P} + 60$ HV30

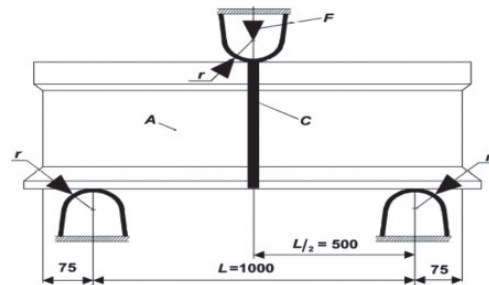


Rys 4. Wykres rozkładu twardości HV30 w obszarze złącza i w materiale podstawowym (szyny 60E1), zgrzewanych elektrycznie, oporowo

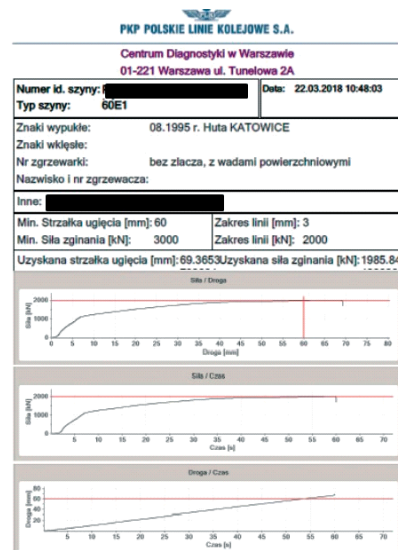
gdzie: $P_L; P_P$ są przeciętną twardością materiału rodzimego szyny zmierzonymi na odcinkach 20 mm po obu stronach zgrzeiny.

- Badania wytrzymałości na statyczne zginanie.

Próba trójpunktowego statycznego zginania, wykonana zgodnie z niżej zamieszczonym schematem, polega na podaniu złącza spawanego opartego na dwóch symetrycznie rozmieszczonych wobec niego podporach, kontrolowanemu gięciu za pomocą zaokrąglonego trzpienia. Siła zginająca



Rys 5. Schemat próby statycznego zginania; Legenda: 1. Obciążenie, 2. Szyna, 3. Zgrzeina, r = 30 mm



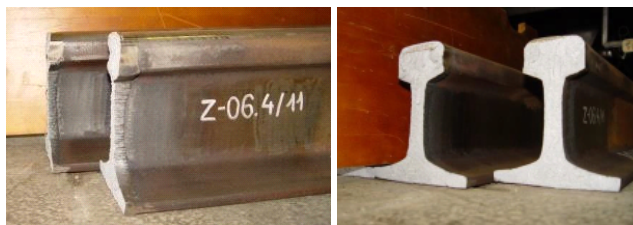
Rys 6. Przykładowy wynik próby statycznego zginania szyn

ca zostaje przyłożona w osi spoiny. Próba prowadzona jest do momentu całkowitego złamania złącza. Następnie powstały przelom oceniany jest wzrokowo.

Zgodnie z wymaganiami normy prawidłowo wykonana zgrzeina powinna osiągnąć wartość strzałki ugięcia i siły zginającej na poziomie:

- dla 60E1 $f \geq 20$ mm, $F \geq 1600$ kN dla kwalifikacji i $F \geq 1520$ kN dla badań produkcyjnych,
- dla 49E1 $f \geq 30$ mm, $F \geq 1050$ kN dla kwalifikacji i $F \geq 995$ kN dla badań produkcyjnych.

Obserwacja przełomu nie może uwidocznić niezgodności spawalniczych. O jakości i trwałości złączy szyn decyduje w największym stopniu jakość połączenia w stopce (z uwagi na rozciąganie). Stąd najbardziej ostre kryteria dyskwalifikacji spoiny i zgrzeiny dotyczą właśnie stref wchodzących w stopkę.

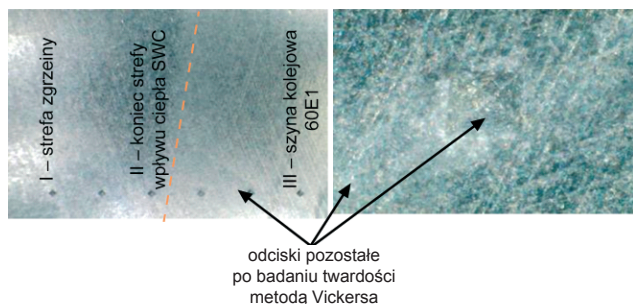


Rys. 7. Widok przełomu złącza szyny 60E1

7. Badania makro- i mikroskopowe zglądu przekroju złącza szynowego mają na celu określenie szerokości i symetrii spoiny oraz Stref Wpływu Ciepła (SWC), wykrycia wad wewnętrznych na obrazie makroskopowym przekroju wzdłużnego główki szyny w zgrzewanym złączu szyn. Przekrój wzdłużny główki szyny próbnego złącza jest trawiony 4% nitaliem.



Rys. 8. Obraz makroskopowy główki złącza szynowego z widokiem osi złącza



Rys. 9. Obraz mikroskopowy przy powiększeniu 100-400x oraz strefami SWC1 i SWC2

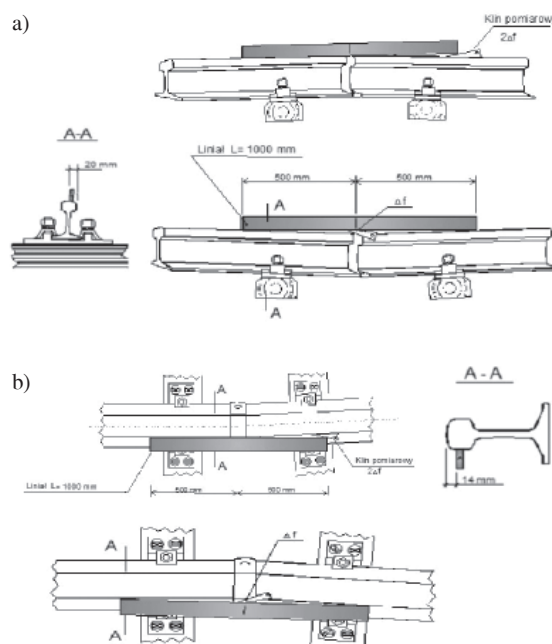
8. Pomiary prostoliniowości złącza zgrzewanego.

Pomiar prostoliniowości pionowej wykonuje się na powierzchni tocznej główki szyny, w odległości 20 mm od krawędzi tocznej (miejsce styku koła z szyną, a nie oś pionowa),

z punktami pomiarowymi usytuowanymi 500 mm w każdą stronę od połączenia zgrzewanego, przy użyciu liniału o długości 1000 mm oraz klinów pomiarowych lub szczelinomierza. Sposób pomiaru przedstawiono na rysunku 10.

Prostoliniowość pozioma powinna być zmierzona na powierzchni bocznej od strony jezdnej, w odległości 14 mm poniżej powierzchni tocznej, z punktami pomiarowymi usytuowanymi 500 mm w każdą stronę od połączenia zgrzewanego. Sposób pomiaru przedstawiono na rysunku. Przy małych promieniach łuków np. $R = 190$ m należy uwzględnić wartość strzałki łuku.

W zależności od prędkości pomiar dokonywany jest na bazie 1 m przy użyciu liniału stalowego lub elektronicznego. Zależne to jest od prędkości na linii kolejowej.



Rys. 10. Schemat sprawdzania prostoliniowości złącza: a) w płaszczyźnie pionowej; b) w płaszczyźnie poziomej

Badania terenowe (eksploatacyjne)

Pozytywny wynik badań laboratoryjnych stanowi podstawę do przeprowadzenia badań eksploatacyjnych. Badania te wykonuje się łącznie dla 10 szt. połączeń szyn z gatunku stali R260 lub/i R350HT typu 60 o profilu E1 lub E2 obejmujących przede wszystkim:

- a. oględziny zewnętrzne;
- b. badania ultradźwiękowe;
- c. pomiar prostoliniowości pionowej i poziomej.

Również z tych badań wykonywane jest sprawozdanie. Badania te mogą zakończyć się wynikiem negatywnym i wtedy procedura zostaje przerwana, a wnioskodawca otrzymuje odmowę wydania dopuszczenia lub wykonawca dostarcza ponownie próbki w celu powtórzenia badań laboratoryjnych oraz ponownie wykonywane są badania terenowe. Wynik pozytywny skutkuje otrzymaniem przez wykonawcę dopuszczenia lub przedłużenie jego ważności.

Charakter odbiorów technicznych połączeń zgrzewanych

Wszystkie połączenia, w tym zgrzeiny, podlegają odbiorowi technicznemu. Kryteria są dostępne w odpowiednich

Tablica 1. Zestawienie możliwych wad przy zgrzewaniu

Zgrzewanie	Obcinanie	Prostownie lub mocowanie	Wykańczanie profilu	Miejsce przylegania elektrody
pęcherze, kratery, przypalenia wada przyklejenia, utlenienie, pęknięcia	podcięcia, karby, uszkodzenia mechaniczne powierzchni	uszkodzenia mechaniczne powierzchni	brak profilu szyny, przegrzanie	ślady przypalenia elektrodą

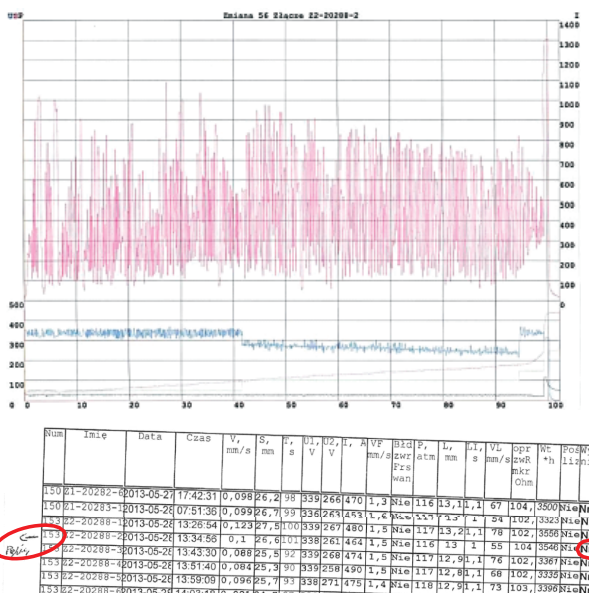


dokumentach wraz ze wzorami protokołów. Dopuszczenie szyn długich (zgrzewanych ze zgrzewalnych) odbywa się na podstawie zapisów ustalonych w dedykowanym WTWiO. Odbiór ostateczny połączeń powinien być dokonywany zgodnie, z udziałem Inwestora (w tym Zakładu Linii Kolejowych) oraz wykonawcy. Podczas odbioru ostatecznego wskazane jest wykonanie minimum 5% pomiarów weryfikacyjnych zgodnie z Id-1 *Warunkami technicznymi utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych*. Tablica 1 grupuje zasadnicze wady mogące wystąpić na poszczególnych etapach procesu zgrzewania.

Podsumowanie

Uzyskany pozytywny wynik wykonanego procesu zgrzewania, potwierdzony rejestracją graficzną w zautomatyzowanym procesie w rzeczywistości okazał się błędny.

Nasuwa się więc wniosek, iż pomimo stosowania najnowszych technik pomiarowych i diagnostycznych, to CZŁOWIEK - specjalista powinien mieć zdanie decydujące i ostateczne.



W artykule wykorzystano prezentacje autorstwa pp. Zenona Negowskiego, Tobiasza Kołodziejaka i Ireneusza Jasińskiego, pracowników PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrum Diagnostyki (www.spawalnictwoszyn.pl), definicje ogólnie dostępne w literaturze i internecie, źródła normatywne oraz wiedzę praktyczną autora.