

Ocena i analiza stanu szyny typu S49 po obciążeniu eksploatacyjnym wynoszącym 400 Tg

Dariusz Kowalczyk, Łukasz Antolik



dr inż. Dariusz Kowalczyk

Instytut Kolejnictwa

dkowalczyk@ikolej.pl

mgr inż. Łukasz Antolik

Instytut Kolejnictwa

Aspekt zużycia szyn jest zależny od wielu czynników, budowy drogi kolejowej jej przebiegu jak również wszystkich składowych, elementów tj. systemu przytwierdzeń, typu podkładów, przekładek podszytowych, podsypki, podtorza, ect. Również lokalne oddziaływanie tych

wszystkich elementów w danym miejscu toru, wpływać może na lokalne zużycie szyn czy powstawanie wad.

Obecnie wymagania dotyczące zużycia szyn w eksploatacji określa Instrukcja I1-d załącznik 14 - Kryteria Oceny stanu nawierzchni; 1. Kryteria oceny przydatności eksploatacyjnej szyn [2].

Wymagania dopuszczalne dla szyn w eksploatacji dotyczą geometrii szyny w tym: zużycia bocznego, zużycia pionowego, zużycia bocznego i pionowego łącznie, oraz określenia kąta nachylenia powierzchni bocznej, powierzchnia główki szyny, pęknięcia.

Innym kryterium zużycia szyny jest graniczne obciążenie łączne szyny w Tg [$1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g} = 10^9 \text{ kg}$].

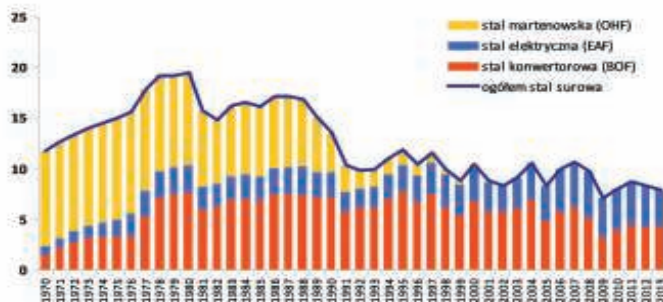
Autorzy niniejszej pracy dokonali oceny stanu szyny S49 zabudowanej w latach

70 po okresie eksploatacji ok. 40 lat. Dokonali oceny stanu zużycia szyny poddanej w eksploatacji obciążeniu łącznemu ok. 400 Tg.

Badania szyn S49 po okresie eksploatacji obejmowały, pomiar profilu szyny, obserwacje skaningowe powierzchni i przekrojów poprzecznych szyny, obserwacje mikrostruktury, sprawdzenie składu chemicznego stali, wykonanie statycznej próby rozciągania.

Wyniki zostały odniesione do pracy profesora H. Bałucha badania żywotności elementów nawierzchni kolejowej w funkcji czasu i obciążenia [1].

Autorzy wykonali obliczenia MES pokazując przykładowe obciążenia szyny S49 w warunkach eksploatacji.



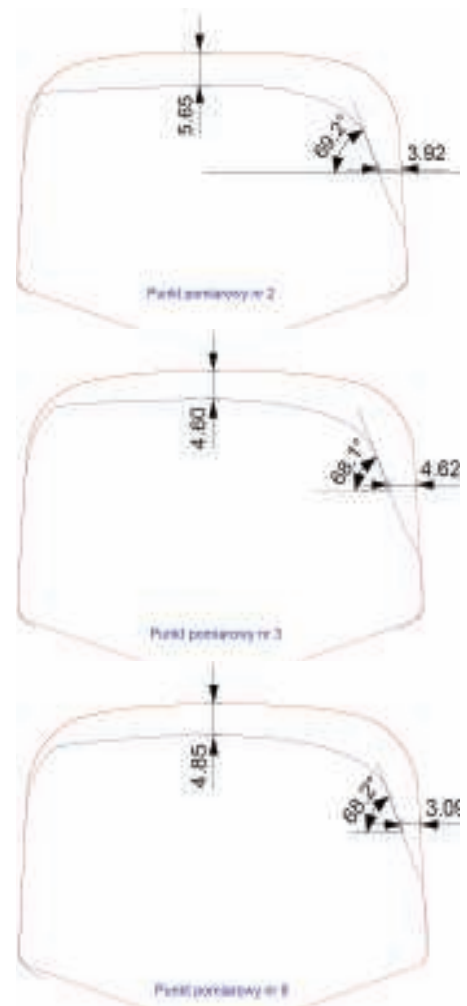
1. Produkcja stali i jej gatunków w Polsce od 1970 roku, biuletyn AGH 2014 - maj 2014 nr 77[3]



2. Ogólny widok lokalizacji miejsca z którego zostały pobrane były szyny S49



3. Widoczne miejsce wyboksovania (wady eng. „squat”) w szynie w pobliżu słabo umocowanego podkładu



4. Przykładowe pomiary zużycia szyny na odcinku kilkunastu metrów

Pomiary profilu szyny

Wykonano pomiary odcinka szyny za pomocą profilografu laserowego GRAW. Jest to przyrząd przeznaczony do pomiarów przekroju poprzecznego główki szyny, wyposażony w ruchomą głowicę, z której wysyłana jest wiązka laserowa skanująca powierzchnię główki szyny. Poniżej przedstawiono uzyskane przykładowe profile szyny S49.

Statyczna próba rozciągania

Próbki do badań wykonano z szyn S49 po zakończonym ich okresie eksploatacji. Badania wykonano zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 6892-1:2010 metoda B. Badania wykonano na maszynie wytrzymałościowej Sinus 250, warunkach badania: prędkość przyrostu siły 40kN/min.

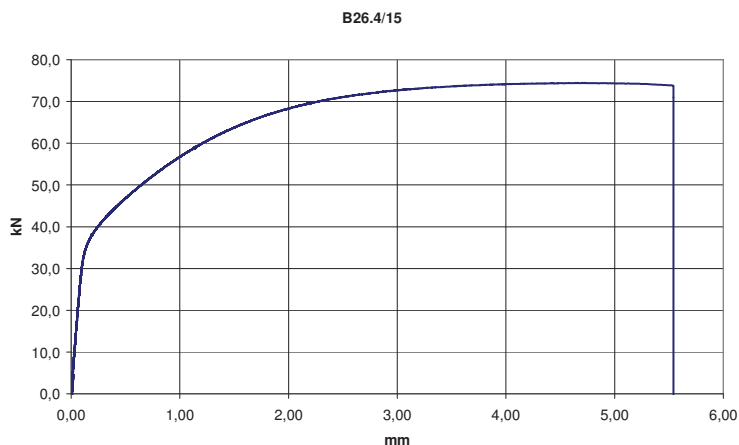
Obliczenia MES

Zakres prac wykonanych w zakresie obliczeń MES polegał na stworzeniu obiektu 3D w programie SolidWorks - kształt zgodny z wymaganiami normy EN 13674-1. Model sitaki i określenie warunków brzegowych zostały wykonane w programie Hyperworks 13.0 firmy Altair.

Wykonane obliczenia MES dla szyny S49 poddanej obciążeniom wyjątkowym, sporadycznie występującym w eksploatacji 130 kN.

Analiza składu chemicznego i analiza wtrąceń niemetalicznych

Do analizy porównawczej zastosowano wymagania dla materiału St90PA, powszechnie stosowanego do produkcji szyn o profilu S49 w czasie obowiązywania polskiej normy PN-64/H-84027.



5. Przykładowy wykres próby rozciągania dla próbki z szyny S49

Stwierdzono, że uzyskane wyniki cechują się pełną zgodnością z przywołaną normą w wymaganym zakresie - zawartości węgla, manganu, krzemu, fosforu i siarki. Wykonana analiza potwierdziła, że stosowany materiał na szyny S49 spełniał ówczesne wymagania.

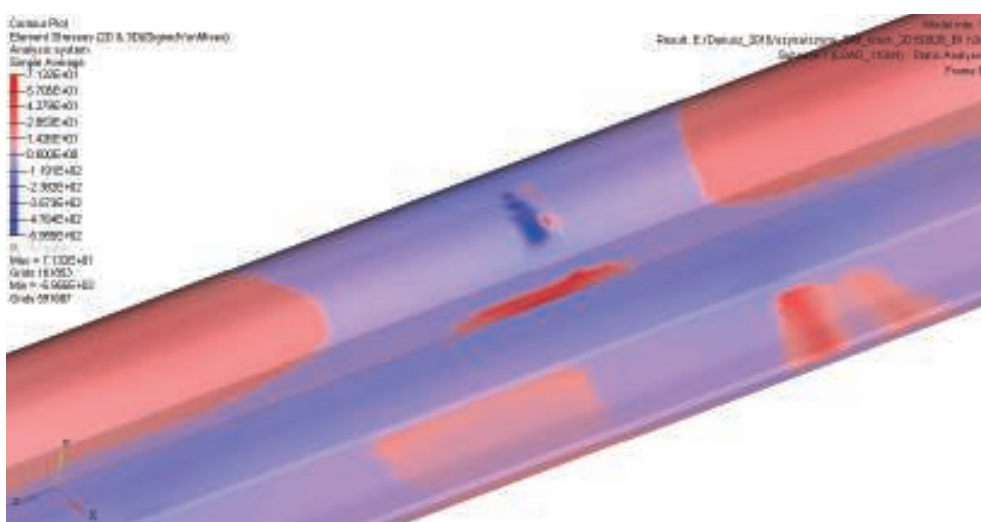
Graniczne obciążenie szyn nie powinno przekroczyć 250 Tg dla szyn typu S49 ze stali St90PA ułożonych na podkładach betonowych (Id-1, załącznik 14, tablica 2). Według szacunków szyna /tor został pod-

dany obciążeniu łącznemu przekraczającemu ok. 400 Tg.

Wykonano badania na zglądach metalograficznych pobranych z fragmentu szyny S49. Do badań użyto elektronowego mikroskopu skaningowego JSM-5800, badania wykonywano przy napięciu przyspieszającym wiązkę elektronów ACCV= 20kV z wykorzystaniem detektora elektronów wtórnych (SE). Na zglądach stwierdzono mikrostrukturę perlityczną bez pozostałości innych faz. dokonano

Tab. 1. Wyniki badań statycznej próby rozciągania dla próbek wykonanych z szyny S49

Nr próbki	Wytrzymałość na rozciąganie Rm, MPa	Umowna granica plastyczności Rp0,2, MPa	Wydłużenie A5, %
1	950	499	12,8
2	964	514	13,6
3	951	502	13,0
4	965	516	12,1
5	963	516	12,8
6	949	497	13,8
7	950	502	14,2
8	964	512	12,8



6. Propagacja pęknięcia w szynie S49 i symulacja MES

obserwacji strefy przypowierzchniowej stwierdzono występowanie mikropęknięć (obszary zaznaczone fioletowym odcieniem).

Podczas obserwacji powierzchni na skaningowym mikroskopie elektronowym stwierdzono występowanie dużej ilości wtrąceń niemetaliczne o dużych rozmiarach. Są to wtrącenia z procesu technologicznego, wtrącenia siarczkowe i wtrącenia tlenkowe. W latach 70 nie było wymagań dotyczących dopuszczalnej ilości wtrąceń niemetalicznych w materiale w 1985 wprowadzona została norma DIN-50602 metoda K [5] norma 1985 roku.

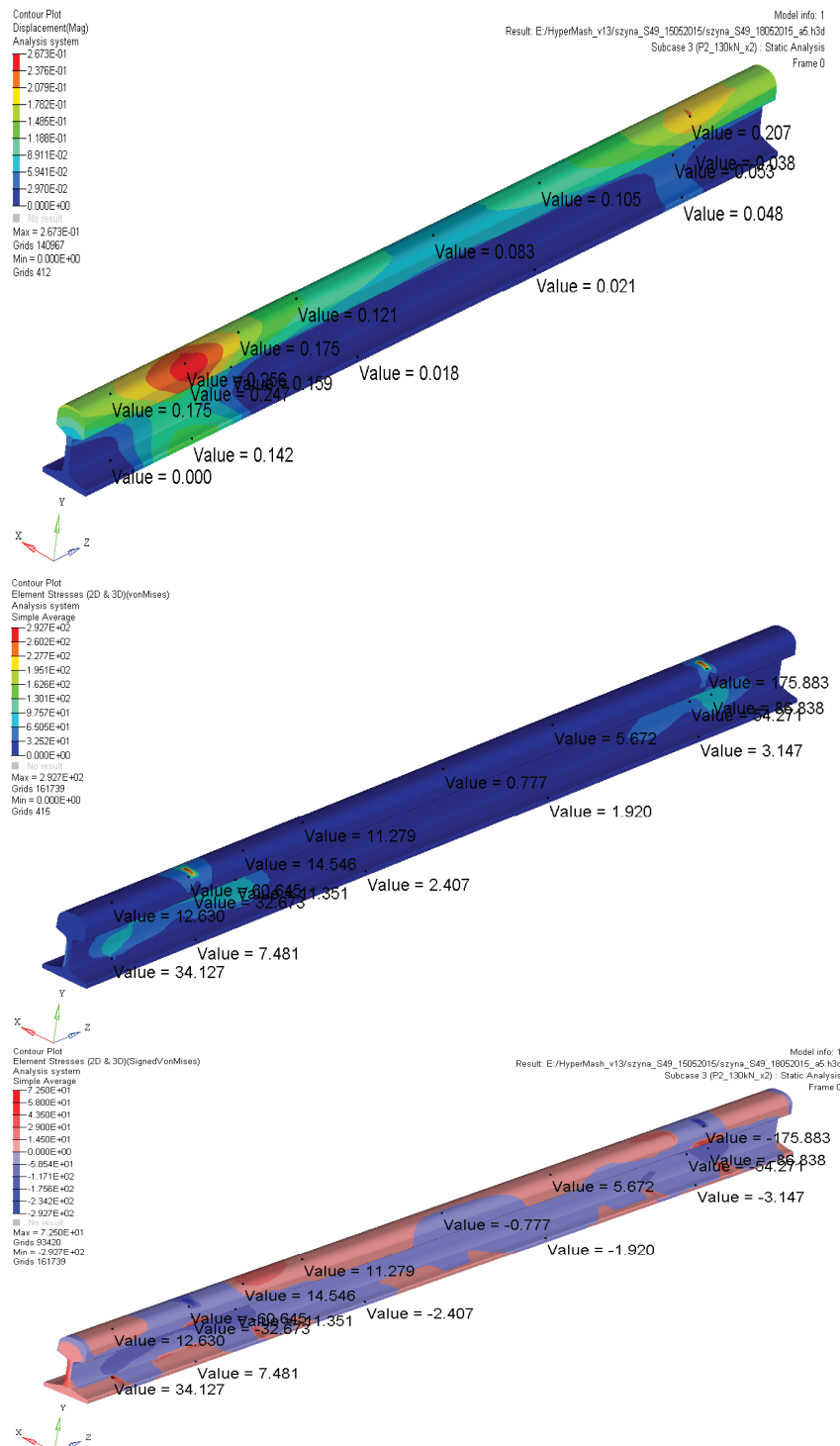
Wnioski

Jak wykazano w niniejszych badaniach profil szyny spełnia wymagania Instrukcji Id-1 załącznik 14. Wykonane badania i analiza składu chemicznego potwierdza, że materiał stosowany na szyny spełniał wymagania ówczesnej normy[4]. Wymagania dotyczące granicznego łącznego obciążenia przenoszonego przez szyny został znacząco przekroczony.

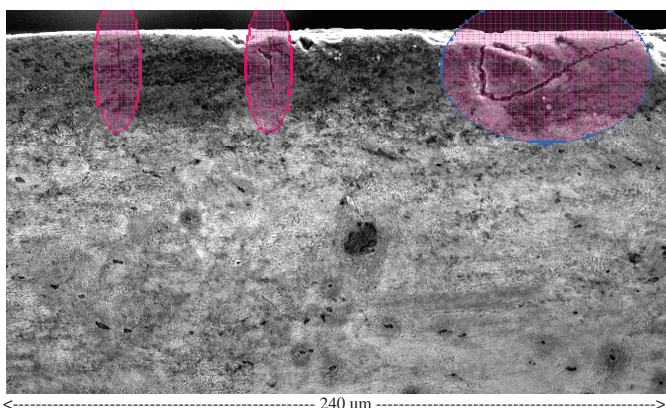
Ważnymi badaniami okazały się obserwacje mikrostruktury, wykonane na skaningowym mikroskopie elektronowym ujawniające występowanie licznych wad zarówno w strefie przy powierzchniowej jak i wewnątrz materiału, będących przyczyną licznych pęknięć, które w wyniku dalszej eksploatacji prowadziły do ich propagacji.

Obserwacje mikrostruktury ujawniły również występowanie w stali dużej ilości wtrąceń niemetalicznych o dużych rozmiarach. Według wymagań normy DIN-50602 metoda K z 1985 roku, stal St90PA stosowana na szyny S49 (w latach 1970-1980) nie spełniała stawianych w niej wymagań.

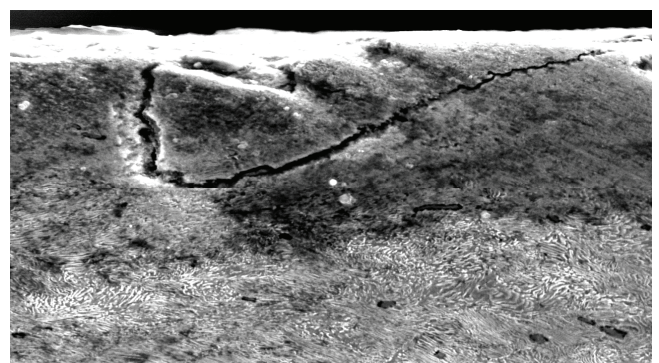
Z badań porównawczych względem wzorców wtrącenia wielokrotnie przekraczały dopuszczalne kryteria (Wskaźnik dla wtrąceń siarczkowych dla materiału szyny



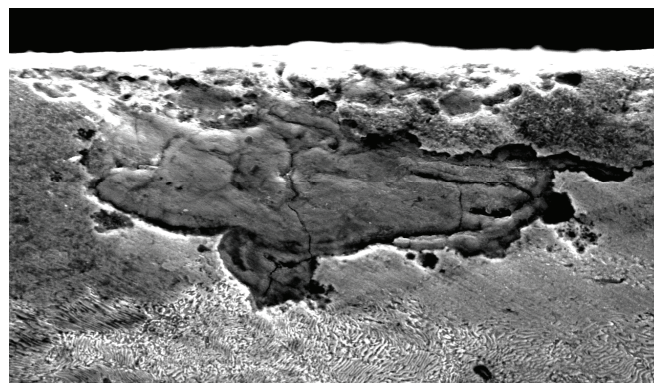
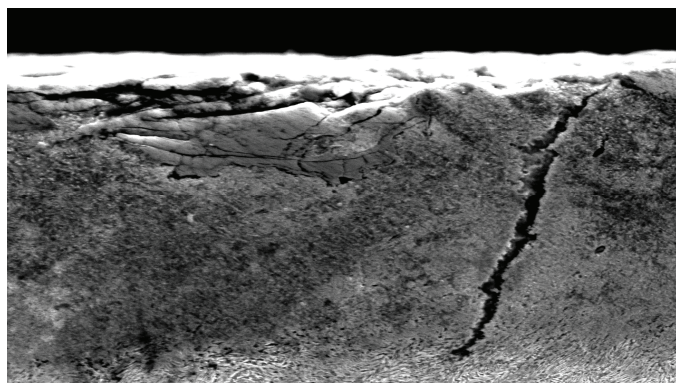
7. Na powyższych zdjęciach przedstawiono rozkład pól naprężeń w szynie S49 w warunkach



8. Mikrostruktura strefy przypowierzchniowej szyny S49 szerokość 240 um powiększenie x 550



9. Mikrostruktura strefy przypowierzchniowej i wady dla wycinka szyny S49, szerokość 77.6 um powiększenie x 1700

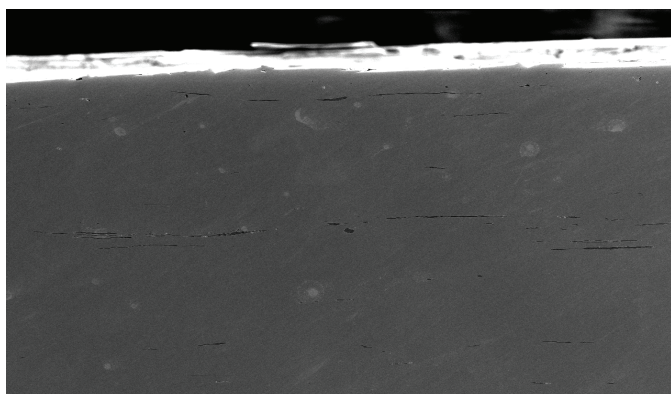


88 um

10. Mikrostruktura strefy przypowierzchniowej i wady dla wycinka szyny S49, szerokość 88.0 um powiększenie x 1500

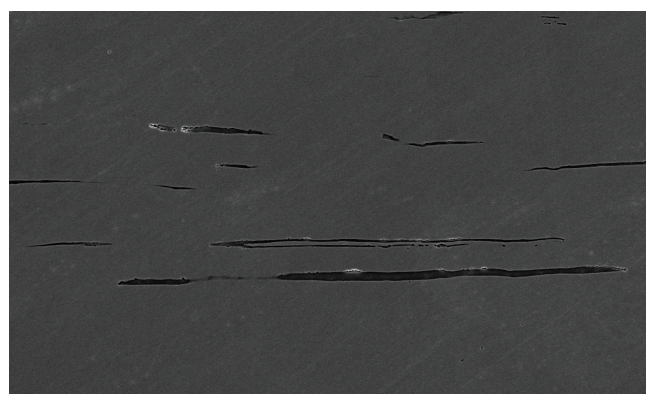
94.3 um

11. Mikrostruktura strefy przypowierzchniowej i wady dla wycinka szyny S49, szerokość 94.3 um powiększenie x 1400



1.32 mm

12. Mikrostruktura strefy przypowierzchniowej i wady dla wycinka szyny S49, szerokość 1.32 mm powiększenie x 100



0.546 mm

13. Mikrostruktura strefy przypowierzchniowej i wady dla wycinka szyny S49, szerokość 0.546 mm powiększenie x 500

(stal St90Pa) wyniósł S: 42,22; Wskaźnik dla wtrąceń tlenkowych dla materiału szyny (stal St90Pa) wyniósł O: 15,56 ; Wskaźnik czystości K3 dla stali S49 wyniósł łącznie = 57,78), (dla stali St90Pa stosowanej w szynach z lat 70 na szyny, według wymagań normy DIN-50602 wskaźnik czystości K3

powinien być poniżej x <10 (poniżej 10)) [5].

Porównując uzyskane wyniki dla szyny S49 dobrze korelują z wynikami przedstawionymi w pracy prof. Henryka Bałucha, „Badania żywotności elementów nawierzchni kolejowej w funkcji czasu i

obciążenia”, praca COBiRTK [1].

Uzyskane wyniki wskazują, że granica bezpieczeństwa dla eksploatowanych szyn tego typu (skład chemiczny, obecność wtrąceń i wad wewnętrznych) wynosi 250 Tg łącznej wartości obciążeń szyny (przy założeniu dobrego utrzymania stanu toru - systemy przytwierdzeń, podkłady, przekładki podszynowe, podsypka, podtorze).

Występujące w materiale szyny wtrącenia znacząco podwyższają ryzyko pojawienia się pęknięć. Rozwijanie się wad, pęknięć jest w bardzo mocnej korelacji ze stanem utrzymania drogi kolejowej co potwierdzają obliczenia MES. ◀

Wartości graniczne dla kryteriów użytkowania szyn						
Klasa torów	Dopuszczalna liczba pęknięć szyn na 1 km		Dopuszczalne zużycie pionowe szyny [mm]		Dopuszczalne zużycie boczne szyny [mm]	
	wszystkie	przewidywane	UIC60 (60E1)	pozostałe	UIC60 (60E1)	pozostałe
0	6	2	12	8	14	12
1	7	4	14	10	18	14
2	8	5	16	12	20	16
3	9	6	18	14	22	18
4 i 5	10	7	20	16	24	20
torów bocznych	nie określa się		28	25	do dolnej krawędzi głowki	55°

14. Wymagania dla szyn według Instrukcji Id-1 załącznik 14 [2]

Graniczne obciążenie (łączne) szyn nowych w [Tg]							
UIC60(60E1)				S49(49E1)			
stal St 90 PA		stal St 90 PA obrabiane cieplnie		stal St 90 PA		stal St 90 PA obrabiane cieplnie	
podkłady drewniane	podkłady betonowe	podkłady drewniane	podkłady betonowe	podkłady drewniane	podkłady betonowe	podkłady drewniane	podkłady betonowe
600	500	900	700	350	250	500	400

15. Wymagania dla szyn według Instrukcji Id-1 załącznik 14 [2]

Materiały źródłowe

- [1] Badania żywotności elementów nawierzchni kolejowej w funkcji czasu i obciążenia, praca COBiRTK, Henryk Bałuch, Marian Fijałek, 1972r,
- [2] Instrukcja Id-1,
- [3] Produkcja stali i jej gatunków Polsce od 1970 roku, biuletyn AGH 2014 -MAJ 2014 nr 77,
- [4] Norma PN-64/H-84027 dla stali St90PA.
- [5] Norma DIN-50602 metoda K.