

Tytuł: Badania trwałości rozjazdów kolejowych z podkładkami pod podkładowymi (ppp) w podrozdnicach strunobetonowych

Wstęp

Nawierzchnia kolejowa ma na celu prowadzenie ruchu kolejowego z zapewnieniem bezpieczeństwa, ciągłego i regularnego ruchu pociągów. Ciągłość ruchu wymaga eksploatacji nawierzchni, obejmujące jej użytkowanie i odnawianie. Należy przyjąć, że linie kolejowe znajdują się w stanie użytkowania lub odnawiania, w szczególnych przypadkach linia może znajdować się jednocześnie w stanie użytkowania lub odnawiania. Nawierzchnia kolejowa może znajdować się w jednym z trzech stanów: pełnej, ograniczonej zdolności eksploatacyjnej i niezdatnej eksploatacyjnie. Użytkowanie może odbywać się przy pełnej zdolności eksploatacyjnej, czyli w stanie normalnego utrzymywania nawierzchni kolejowej lub w ograniczonym stanie, jeżeli ruch pociągów i odbywa się z prędkościami mniejszymi od maksymalnej przewidzianej dla danej linii. Stany odnawiania nawierzchni kolejowej występują podczas planowanych zamknięć technologicznych, nieplanowanych zamknięć i zamknięć technologicznych. O jakości eksploatowanej (J) nawierzchni kolejowej decyduje zespół cech takich jak: charakterystyka niezawodności (N) i trwałości (T) eksploatacyjnej, podatności utrzymaniowo-naprawczej (P) oraz charakterystyka ekonomiczna (E) eksploatacji nawierzchni, opisane wzorem (1) gdzie, a_{1-4} to współczynniki wag, w to charakterystyka nawierzchni wzorcowej.

$$J = a_1 \frac{N_w}{N} + a_2 \frac{T}{T_w} + a_3 \frac{P}{P_w} + a_4 \frac{E_w}{E} \quad (1)$$

$$N = \beta \frac{n}{lq} \quad (2)$$

,gdzie n to liczba nieplanowanych i awaryjnych zamknięć torowych w ciągu roku na długości linii l , q to natężenie przewozami, β to współczynnik prędkości $\beta = 1,4 - 0,004 V_{max}$.

Eksploatacyjna trwałość nawierzchni to obciążenie Q przy którym całkowita liczba pojedynczych wymian szyn na długości 1 km nie przekracza k metrów. Podatność utrzymaniowo-naprawcza to długość toru na którym wykonuje się naprawy bieżące w ciągu 1 godziny zamknięcia. [1]

Trwałość i niezawodność rozjazdów

Uszkodzenia nawierzchni kolejowej na rozjeździe są bardziej złożone niż uszkodzenia na odcinkach toru i przebiegają znacznie szybciej. Rozjazd kolejowy jest elementem linii kolejowej, którego trwałość i niezawodność zapewnia bezpieczeństwo prowadzenia ruchu kolejowego.

Szybszy proces degradacji rozjazdu spowodowany jest większymi oddziaływaniami dynamicznymi pojazdów szynowych w miejscach nieciągłości toków na krzyżownicy i zwrotnicy i twardością stali konstrukcyjnej zwrotnicy i krzyżownicy. W części zwrotnicowej najbardziej niebezpieczne uszkodzenia to nieprzyleganie iglicy do opornicy, wykruszenia na powierzchni tocznej iglicy i opornicy. W części krzyżownicy wady i uszkodzenia rozjazdu powodujące konieczność ograniczonej eksploatacji to: zgniecenie dzioba krzyżownicy, pęknięcie krzyżownicy, spływ w żłobkach szyn skrzydełkowych. Podrozzjazdnice w części krzyżownicowej poddawane są nierównomiernemu obciążeniu dynamicznemu, powodującemu pęknięcia poprzeczne podrozzjazdnic strunobetonowych.

Wymagania techniczne dla rozjazdów

Zgodnie z Listą Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawach właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienia zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei z dnia 19 stycznia 2017 r. w zakresie podsystemu infrastruktura wskazano zamkniętą listę składników wymagających rozwiązań technicznych dla których konieczne jest uzyskanie świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu budowli kolejowej przeznaczonej do prowadzenia ruchu kolejowego. Wśród składników wymagających świadectwa dopuszczenia do eksploatacji wymieniono dla nawierzchni klasycznej: podrozzjazdnice, rozjazd kolejowy i system przytwierdzenia szyn. [2]

Zgodnie z Technicznymi specyfikacjami interoperacyjności dla podsystemu infrastruktura [2] charakterystyki techniczne rozjazdów muszą być zgodne z wartościami eksploatacyjnymi: maksymalna wartość szerokości prowadzenia w zwrotnicznych wynosi 1380 mm, minimalna wartość szerokości prowadzenia w krzyżownicach zwyczajnych wynosi 1392 mm. [3]

Zgodnie z szczegółowymi warunkami technicznymi dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem) TOM I – rozjazdy, zalecane jest stosowanie podrozzjazdnic betonowych. Na liniach kolejowych poddanych modernizacjom lub budowie dopuszczalne jest zastosowanie odmiany konstrukcyjnej rozjazdu przewidzianej dla linii wyższego typu pod warunkiem, że ich zastosowanie nie prowadzi do znacznego wzrostu kosztów inwestycji. Jednak w przypadku kwalifikacji całej stacji do typu o szczebel niższy w ramach modernizacji lub budowy do danego typu należy w rozjazdach stosować standard wyższy. A w przypadku kwalifikacji całej stacji do typu niższego o dwa lub więcej szczebli, rozjazdy należy stosować w standardzie o szczebel wyższy, zapewniając wydłużoną zdolność eksploatacyjną. [4]

Zgodnie z Instrukcją o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 PKP PLK z 2015 badania techniczne rozjazdów dla maksymalnej prędkości powyżej 120 km/h wykonuje się co 3 miesiące, a dla prędkości powyżej 160 km/h co 2 miesiące. Badania mają na celu sprawdzenie trwałości rozjazdu i utrzymania pełnej zdolności eksploatacyjnej. Dopuszczalne zużycie pionowe iglicy, opornicy, szyn skrzydełkowych, dziobu krzyżownicy, szyn łączących wynosi 8 mm dla prędkości powyżej 120 km/h. Dopuszczalne zużycie boczne

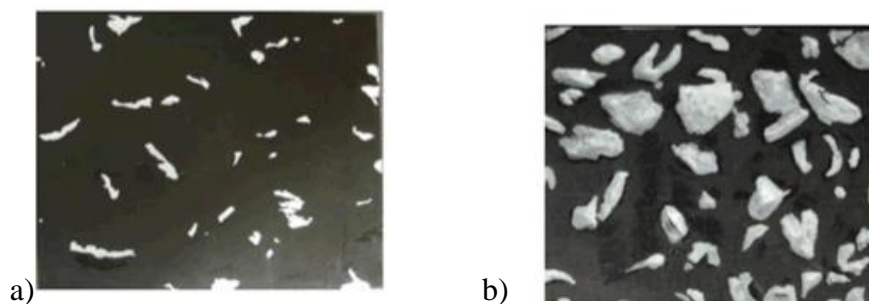
kwalifikujące iglice, opornice i krzyżownice do wymiany wynosi 10 mm, a odchylenie powierzchni zużycia od osi pionowej szyny wynosi 30 ° dla ruchu powyżej 120 km/h, przy dopuszczalnym bocznym zużyciu kierownicy wynoszącym 4 mm. W czasie codziennych oględzin i okresowych badań rozjazdów następuje ocena zdolności eksploatacyjnej i w wyniku podejmowanych prac utrzymaniowych i naprawczych utrzymywana jest pełna jakość eksploatacyjna rozjazd. [5]

Badania trwałości rozjazdów z podkładkami pod podkładowymi w podrozdnicach

W celu wydłużenia trwałości i niezawodności rozjazdów stosowane są podkładki pod podkładowe (PPP) w podrozdnicach strunobetonowych. Zastosowanie sprężystych materiałów wibroizolacyjnych w podrozdnicach redukuje efekt progowy wywołany zmianą sztywności nawierzchni toru przed rozjazdem i na rozjeździe.

W wyniku zastosowania PPP następuje zmniejszenie oddziaływań dynamicznych w strefie krzyżownicowej w podrozdnicach, ponieważ następuje zwiększenie powierzchni kontaktu podrozdnicy z tłucznem. Zwiększenie powierzchni kontaktu podrozdnicy z tłucznem następuje w wyniku zagłębienia się ziaren podsypki w sprężystą warstwę PPP. Powierzchnia kontaktu podrozdnicy z tłucznem wynosi 5%, przy zastosowaniu PPP powierzchnia kontaktu podrozdnicy z tłucznem wynosi 20%.

Na rys.1 przedstawiono powierzchnie kontaktu tłucznia z podrozdnicą z PPP produkcji Getzner i bez wibroizolacji. Badanie powierzchni kontaktu przeprowadzono na pomalowanej na czarno spodniej powierzchni podkładu bez PPP i z PPP oraz na biało pomalowanym tłuczniu, podrozdnicza została ułożona w korycie balastowym z tłuczniem i poddana obciążeniu 112 kN. [6]



1. Powierzchnia kontaktu podrozdnicy z tłuczniem, a- podrozdnicza bez podkładki pod podkładowej kontakt wynosi 5%, b- podrozdnicza z podkładką pod podkładową kontakt wynosi 20%



2. Stanowisko badawcze powierzchni kontaktu podrozdniczy z ziarnami tłucznia

W wyniku zastosowania podkładek pod podkładowych w podrozdnicach następuje zwiększenie oporu na przesuw poprzeczny. Zwiększenie oporu na przesuw poprzeczny w rozjeździe jest szczególnie ważne w części krzyżownicowej rozjazdu. Przy zmianie kierunku na tor zwrotny siły dynamiczne są największe. Na rys.3 przedstawiono stanowisko badawcze do pomiaru oporu na przesuw poprzeczny przeprowadzony przy zastosowaniu podkładek pod podkładowych w podrozdnicach i bez PPP [6].



3. Stanowisko badawcze oporu poprzecznego w podrozdnicach z PPP w korycie balastowym

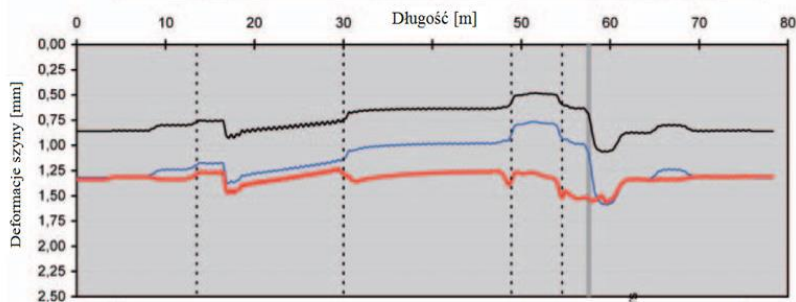
Badanie przeprowadzono na dwóch typach podkładów, pierwszy typ to podkłady strunobetonowe bez wibroizolacji (bez PPP), drugi typ to podkłady z izolacją antywibracyjną typu G04 V05 (z PPP). Badanie porównawcze miało na celu określenie wielkości średniej i siły wymuszającej przesuw, badanie przeprowadzono dla dwóch badanych podkładów przy przesuwie o 2 mm, siłą poziomą 97 kN z częstotliwości 4 Hz, siłą docisku podkładu 8 kN, wyniki pomiarów zestawiono w **tablicy 1** [6].

Typ podkładów	Wskaźnik przesuwu podkładu o 2 mm, wartość średnia [kN]
Strunobetonowe B70 bez PPP	6,4
Strunobetonowe B70 z PPP typu G04 V05	8,3

Tablica 1. Wyniki badań oporu na przesuw poprzeczy podkładu z PPP i bez PPP

Zwiększenie powierzchni kontaktu podrozdniczcy z tłuczniem w wyniku zagłębienia się ziaren z sprężystą warstw podkładki pod podkładowej powoduje wzrost oporu na przesuw porzeczny. Zastosowanie PPP w rozjeździe redukuje deformacje pionowe i poziome w rozjeździe wywołanych ruchem eksploatacyjnym, utrzymując pełną zdolność eksploatacyjną wynikającą ze wzrostu trwałości konstrukcji.

Podczas eksploatacji rozjazdu następuje nierównomierne zużywanie się części rozjazdu, powodujące konieczność prowadzenia prac utrzymaniowych ograniczających zdolność eksploatacyjną. Wielkość obciążeń dynamicznych w strefie krzyżownicowej jest największa, wynikająca z utraty kontaktu koła zestawu podczas przejazdu przez krzyż i niesymetrycznego obciążenia podrozdnic. Nierównomierne zużywanie się rozjazdu eliminuje stosowanie PPP w rozjazdach o różnej sztywności statycznej i dynamicznej. Na **rys.4** przedstawiano wyniki symulacji numerycznych obrazujących przyrost deformacji pionowych na długości rozjazdu bez PPP kolor czarny, z PPP o jednej sztywności kolor niebieski oraz rozjazd z PPP o różnej sztywności statycznej i dynamicznej materiału PPP na długości rozjazdu [6].



4. Wyniki badań deformacji pionowych na długości rozjazdu, linia czarna rozjazd bez PPP, linia niebieska rozjazd z jednym typem PPP, linia czerwona rozjazd z PPP o różnej sztywności PPP

Wyniki badań (rys. 4) wykazały, że zastosowanie PPP o różnej sztywności ogranicza wzrost deformacji pionowych w część krzyżownicowej rozjazdu. Redukcja wzrostu skokowego deformacji pionowych w krzyżownicy zmniejsza oddziaływania dynamiczne wywołane przez przejeżdżający pociąg poprawiając jakość eksploatacji poprzez wydłużenie trwałości.

Badanie rozjazdów z PPP na sieci PKP PLK

W celu oceny wpływu zastosowania PPP w rozjazdach na eksploatowanej sieci PKP PLK autorka rozpoczęła w 2016 roku program badań eksploatacyjnych rozjazdów z podkładkami pod podkładowymi na Politechnice Wrocławskiej w Katerze Mostów i Kolei.

Program badań ma na celu ocenę wpływu zastosowania PPP w rozjeździe na jakość eksploatowanej nawierzchni kolejowej, charakterystykę niezawodności i trwałości eksploatacyjnej, podatność utrzymaniowo-naprawczą oraz charakterystykę ekonomiczną.

Poligon badawczy zlokalizowano na zmodernizowanej w 2014 r. stacji Siedlce w woj. Mazowieckim na dwóch rozjazdach produkcji Track Tec KolTram. Pierwszy rozjazd typu Rzl 1:12-500-60E1 z PPP, drugi rozjazd typu Rzp 1:12-500-60E1 bez PPP z krzyżownicami z wkładką manganową typu insert.

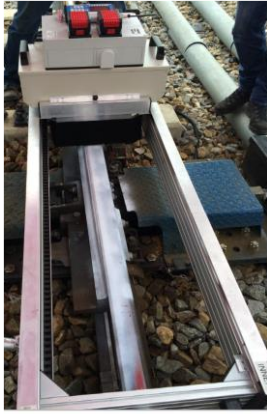
Badania rozjazdów podzielono na trzy części. Pierwszy etap obejmował badania skanerem laserowym produkcji Graw typu Skorpion profilu 3D krzyżownicy(rys. 5) i iglicy (rys.6), Badanie skanerem zostało przeprowadzone na stacji Siedlce na rozjeździe z PPP i bez PPP w lutym 2016r. oraz u producenta w wytwórni w Zawadzkiem na nowych iglicach i krzyżownicach (rys.7) w kwietniu 2016r. Badanie miało na celu ocenę zużycia profilu krzyżownicy i iglicy w czasie eksploatacji.

W drugiej część przeprowadzono badania propagacji drgań wywołanych przejazdem pociągu z prędkością 70 km/h w stacji Siedlce na rozjeździe z PPP i bez PPP. Badania miały na celu ocenę poziomu drgań wywołanych przejazdem pociągu na konstrukcję rozjazdu i podtorza w wyniku zastosowania podkładek pod podkładowych w podrozjazdnicach. Badanie przeprowadzono w sierpniu 2016 r.

Trzecia część badań obejmuje pomiary diagnostyczne wykonane w czterech seriach pomiarowych co 3 miesiące od stycznia 2016 na rozjeździe z PPP i bez PPP na stacji Siedlce, pomiary wykonane zgodnie z instrukcją Id4, nie zostały przedstawione w niniejszej publikacji.



5. Pomiar skanerem 3D Skorpion krzyżownicy w rozjeździe z PPP na stacji Siedlce, luty 2016

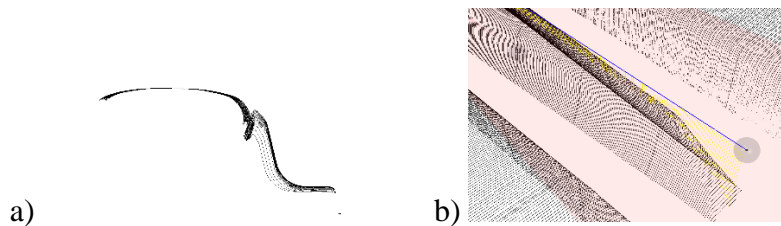


6. Pomiar skanerem 3D Skorpion iglicy w rozjeździe z PPP na stacji Siedlce, luty 2016



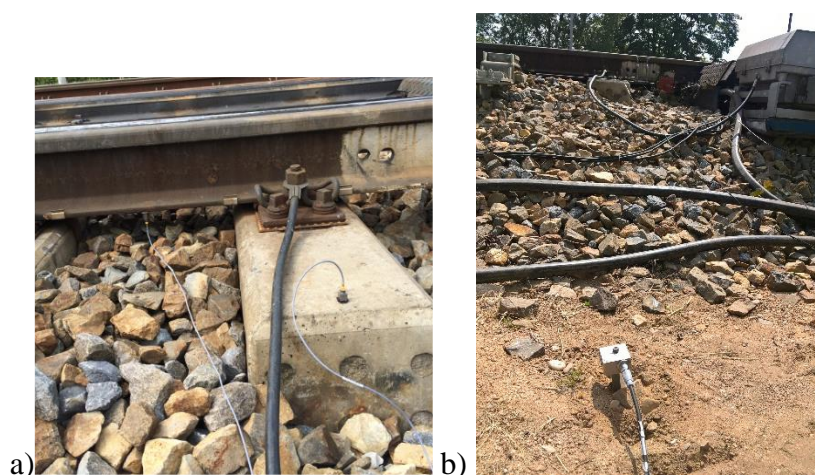
7. Pomiar skanerem Skorpion nowej iglicy w Track Tec Koltram Zawadzkie, kwiecień 2016

Wyniki pomiaru profilu iglicy i krzyżownicy przedstawiono na rys. 8. Porównanie wyników pomiarów dla rozjazdu z PPP i bez PPP oraz elementów nowych wykazały zużycie na dziobie krzyżownicy w rozjeździe bez PPP wynoszące 0,52 mm, a w rozjeździe z PPP 0,35 mm w porównaniu z nową krzyżownicą. Przy pomiarze iglicy w rozjeździe bez PPP wyniosło 0,32 mm, a w rozjeździe z PPP 0,28 mm w porównaniu z nową iglicą. Przykładowy obraz ze skanera przedstawiono na rys. 8.



8. Obraz z skanera 3D typu Skorpion, a – iglica, b- krzyżownica

Badanie oddziaływań dynamicznych przeprowadzono w wykorzystaniem aparatury pomiarowej typu Photon Brüel & Kjaer. Badanie przeprowadzono na stacji Siedlce przy przejeździe pociągu z prędkością 70 km/h w kierunku zasadniczym na rozjeździe z PPP i bez PPP. Czujniki pomiarowe ułożono na szynie, podrozdniczy w strefie zwrotnicowej i w podtorzu w odległości 5 m od osi toru (rys.9).



9. Aparatura pomiarowa i lokalizacja czujników pomiarowych w rozjeździe, a- czujniki na szynie i podrozdniczy, b- czujnik w podtorzu, c- aparatura pomiarowa, Siedlce sierpień 2016r.

Przeprowadzone pomiary poddano analizie częstotliwościowej w zakresie porównawczym dla rozjazdu z PPP i bez PPP. W wyniku zastosowania podkładek pod podkładowych w podrozdnicach nastąpiła w porównaniu z rozjazdem bez PPP redukcja wibracji w szynie o 20 %, w podrozdniczy o 30 %, a w podtorzu o 40 % w zakresie częstotliwości od 5 do 40 Hz. W zakresie częstotliwości od 40 do 240 Hz nastąpiła redukcja wibracji w szynie o 25 %, w podrozdniczy o 35 %, a w podtorzu o 60 % w rozjeździe z podkładkami pod podkładowymi w porównaniu do rozjazdu bez PPP.

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono zagadnienie jakości eksploatacyjnej nawierzchni kolejowej na którą wpływa zespół cech takich jak: charakterystyka niezawodność i trwałości eksploatacyjnej, podatności utrzymaniowo-naprawczej oraz charakterystyka ekonomiczna eksploatacji nawierzchni. Następnie przedstawiono wyniki prac badawczych podkładek pod podkładowych mających na celu poprawę jakości eksploatacyjnej nawierzchni kolejowej przez zwiększenie niezawodności i trwałości rozjazdów.

Przedstawione badanie wykazują zmniejszone zużycie się elementów rozjazdu z podkładkami pod podkładowymi w podrozjazdnicach, poprzez zwiększenie powierzchni kontaktu z podrozjazdnicy z tłuczniem, zwiększenie oporu na przesuw poprzeczny, zmniejszenie różnicy deformacji pionowych i profili szyn oraz redukcji wibracji.

Zagadnienie wpływu podkładek pod podkładowych w rozjazdach będzie rozwijane przez autorkę w dalszych pracach badawczych.

Literatura

[1] H. Bałuch Trwałość i niezawodności eksploatacyjna nawierzchni kolejowej WKiŁ, Warszawa 1980 r.

[2] Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawach właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienia zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei z dnia 19 stycznia 2017 r.

[3] Rozporządzenie Komisji Europejskiej (UE) nr 1299/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” systemu kolei w Unii Europejskiej

[4] Standardy techniczne PKP PLK szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem) TOM I – rozjazdy

[5] Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 PKP PLK z 2015

[6] E. Kwiatkowska: Wpływ wibroizolacji podkładów strunobetonowych na pracę podtorza kolejowego, Raport serii PRE nr 8 /2015, Politechnika Wrocławska

Słowa kluczowe:
Rozjazd kolejowy
Wibroizolacja
Jakość toru

Streszczenie

Niniejsza praca poświęcona jest zagadnieniu jakości nawierzchni rozjazdów kolejowych. W referacie przedstawiono zagadnienie jakości nawierzchni kolejowej w aspekcie rozjazdów kolejowych z podkładkami pod podkładowymi.

Przedstawiono wyniki badań z odcinka badawczego, zlokalizowanego na stacji Siedlce, z rozjazdami z materiałami wibroizolacyjnymi w podrozjazdnicach. W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, numerycznych i terenowych obrazujące wpływ podkładek pod podkładowych na jakość, a pośrednio trwałość rozjazdu.

Keywords:

Railway turnout

Vibration isolation

Track quality

Title:

Research quality railroad crossings with under sleepers pad.

Summary

Research quality railroad crossings with under sleeper pad.

The quality of the railway track is influenced by a number of factors, such as durability, reliability, swelling and cost.

The article made use of impact assessment under sleepers pad (USP) on the quality of rail track.

The author has presented laboratory research, computer research and dynamic study of turnouts with USP.

The impact of the USP on the quality of turnouts was assessed.

Research results have shown an increase in the quality of turnouts with USP.

(1)	$J = a_1 \frac{N_w}{N} + a_2 \frac{T}{T_w} + a_3 \frac{P}{P_w} + a_4 \frac{E_w}{E}$
(2)	$N = \beta \frac{n}{lq}$