

3.3. Badania niezawodność samochodów eksploatowanych z wyczekiwaniem

3.3.1. Wprowadzenie

Badaniem objęto eksploatowane samochody typu Star, Honker, Jelcz. Te typy samochodów stanowiły i stanowią ok. 80% wszystkich samochodów eksploatowanych w wojskowym systemie transportowym. Poszczególne samochody z tego zbioru użytkowane były z różniącą się intensywnością.

Zbierane dane o tych pojazdach zawierają informacje o każdym pojeździe (ciężarowym, specjalnym czy specjalizowanym), tj. rok produkcji, przebieg w poszczególnych latach od początku eksploatacji, przebieg do naprawy, przebieg w danym roku, ilość wyjazdów w roku, ilość uszkodzeń danego samochodu (które wymagały obsługi korekcyjnej, tj. naprawy na stanowisku obsługowo-naprawczym), zespoły podlegające naprawie, pracochłonność poszczególnych napraw, czas postoju samochodu w naprawie.

W zbiorze uzyskanych danych – o przebiegach między uszkodzeniami (S_u [km]) – można dostrzec podzbiór, gdzie przebieg między uszkodzeniami jest znacznie mniejszy od przeciętnego przebiegu Q , jaki występuje w dniu podjętej pracy. Analiza przyczyn potrzeby ponownej naprawy wykazała, że samochody te kierowane były do obsługi korekcyjnej z powodu niezdatności tego samego zespołu/mechanizmu, który naprawiano w ostatniej naprawie. Dane o czasie poprawnej pracy, dla którego $S_u < Q$, zostały wyeliminowane ze zbioru danych do badań wpływu czasu wyczekiwania samochodu na jego „uszkodzalność”. Dane te poddane zostały osobnej analizie skutków mających wpływ na gotowość, a więc i na strukturę modelu gotowości.

Uzyskane z badań eksploatacyjnych informacje o pojazdach oraz o warunkach ich pracy i obsługi pozwoliły na zbudowanie charakterystyki uzależniającej zużywanie potencjału eksploatacyjnego od bodźców starzeniowych w czasie wyczekiwania samochodu na pracę. Doświadczenie w tych warunkach, przy uzyskanym zbiorze informacji o procesach eksploatacyjnych, umożliwia opracowanie charakterystyki zużycia potencjału w zależności od czasu wyczekiwania, izolując wpływ na jej przebieg innych czynników.

Uzyskane ilości danych pozwoliły na analizę statystyczną badanych zjawisk. Ustalenie zużywania się potencjału eksploatacyjnego pod wpływem bodźców starzeniowych, jakie mają wpływ w czasie, gdy samochód wyczekuje na pracę, jest możliwe na podstawie uzyskanej z badań charakterystyki „uszkodzalności”, zbudowanej w funkcji czasu eksploatacji danego typu pojazdu użytkowanego w danych warunkach z określoną intensywnością. Wartości parametrów, charakterystyki „uszkodzalności” i „obsługiwalności”, bezpośrednio wpływają na poziom gotowości stacjonarnej pojazdów. Natomiast samochody wadliwie naprawione – znajdujące się w stanie „utajonej niezdatności” i wyczekujące na pracę – obniżają gotowość chwilową.

Dla dokumentowania badań rejestrowano uszkodzenia oraz inne parametry identyfikujące sytuację eksploatacyjną. Do identyfikacji uszkodzenia badanych samochodów przyjęto definicję, że uszkodzenie to zdarzenie, które wywołuje stan niezdadności samochodu, uniemożliwiający pracę transportową, którego zmiana wymaga działania korekcyjnego (NB), a którego nie można „odłożyć na później”, czyli do czasu najbliższej obsługi planowej.

Dla zapewnienia reprezentatywności próby w populacji generalnej wybrano podsystemy transportowe o podobnych cechach, jakie występują w całym systemie transportu wojskowego, tj. typy pojazdów i ich zadania transportowe, warunki obsługiowania oraz użytkowania i wyczekiwania na pracę.

3.3.2. Niezawodności pojazdów użytkowanych z wyczekiwaniem

Przy użytkowaniu samochodów z wyczekiwaniem ich elementy podlegają zużyciu w czasie pracy, ale też ich stan techniczny podlega degradacji w czasie, kiedy wyczekują na pracę.

Oddziaływanie czynników wymuszających, związanych zarówno z realizowanym procesem roboczym, jak i oddziaływaniem na pojazd czynników środowiskowych. W rezultacie tej degradacji w czasie dochodzi do uszkodzenia elementu istotnego w strukturze niezawodnościowej i wystąpienia stanu nieznanego pojazdu.

Postacie uniezdatnień wiążą z dającymi się wyróżnić rodzajami destrukcyjnych procesów, takich jak: procesy starzeniowe, a w szczególności korozja, procesy zmęczenia i procesy zużycia przez tarcie.

Autor⁶⁴ wyróżnia rezultaty zużycia będące wynikiem oddziaływania grupy czynników, tj;

- a) korozja naprężeniowa – to mieszany proces destrukcji polegający na łączeniu oddziaływania obciążeń stycznych i czynników środowiskowych;
- b) korozję zmęczeniową jako mieszany proces destrukcji polegający na łączeniu oddziaływania obciążeń zmiennych i czynników środowiskowych;
- c) korozja zużyciowa jest mieszanym procesem destrukcyjnym łączącym oddziaływania kawitacji falowej oraz agresywnego środowiska, występują one w sąsiedztwie drgających powierzchni, w których tworzą się zanikające pęcherzyki pary wodnej, ale ma to również miejsce podczas procesów tarciovych.

Wymienione grupy czynników są charakterystyczne dla eksploatacji z wyczekiwaniem, gdzie procesy korozyjne przebiegające w czasie wyczekiwania przyspieszają degradację stanu technicznego elementów pojazdu podczas pracy pod wpływem zmiennych obciążeń (zmęczenie materiału) oraz procesów tarcia (zmęczenie warstwy wierzchniej, ubytki materiału itp.). Przebieg zużycia elementów pojazdu w czasie

⁶⁴ Smalko Z., *Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.

eksploatacji, prowadzący do ich uszkodzeń, zależał będzie od tego, który z procesów zużycia jest dominujący.

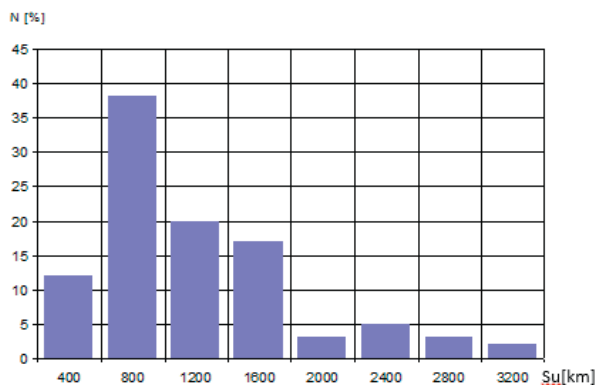
Prowadzone badania w praktyce eksploatacyjnej⁶⁵ wykazywały, że wzrastający czas wyczekiwania samochodów na użytkowanie czynne powoduje obniżenie czasu poprawnej pracy między uszkodzeniami. Dla warunków eksploatacji samochodów w systemie transportu wojskowego zjawisko to dotyczy znacznej większości eksploatowanych pojazdów. W wielu grupach pojazdów specjalnych i specjalizowanych dotyczy wszystkich eksploatowanych pojazdów.

Podczas badań niezawodności samochodów w tych warunkach eksploatacji: informacje o procesach, zdarzeniach, działaniach oraz warunkach użytkowania i obsługi, zaczerpnięte zostaną z dokumentacji ewidencyjnej zrealizowanej eksploatacji.

Zebrane dane o przebiegu samochodów między uszkodzeniami S_u , przyjętej do badań próby samochodów będących przedstawicielami generacji z lat 60., 70. i 80., poddane zostały analizie statystycznej. Obliczono podstawowe statystyki, tj wartość średnią, odchylenie standardowe, skośność rozkładu.

Na rys. 10 rozkład zmiennej losowej S_u przedstawia przykład danych dla samochodów generacji z lat 60.

Z rozkładu zmiennej losowej S_u wynikał bardzo duży rozrzut względem wartości przeciętnej. Świadczy o tym rozstęp ($S_{u\min} = 23$ [km] – $S_{u\max} = 3200$ [km]) oraz odchylenie standardowe 637. Uzyskana skośność rozkładu 5,7 wskazuje, że odbiega on od normalnego.



Rys. 10. Dane empiryczne rozkładu zmiennej losowej S_u

Z rozkładu zmiennej losowej S_u wynika bardzo duży rozrzut względem wartości przeciętnej. Świadczy o tym rozstęp ($S_{u\min} = 23$ [km] – $S_{u\max} = 3200$ [km]) oraz odchylenie standardowe 637. Uzyskana skośność rozkładu 5,7 wskazuje, że odbiega on od normalnego.

⁶⁵ Kruk Z., *Badania efektywności systemu eksploatacji pojazdów kołowych na podstawie oceny gotowości technicznej wytypowanych marek pojazdów użytkowanych w wojsku*, „Archiwum WITPiS”, 1990/91.

Z analizy danych wynikało, że w zbiorze samochodów zgłaszanych do odnowy zdadności znajdują się samochody, które uległy uszkodzeniu w wyniku zużycia podczas wykonania przebiegu i podczas wyczekiwania na pracę. W zbiorze tym znajdowały się też samochody, które będąc po naprawie bieżącej, nie wykonały zadania transportowego, ponieważ podczas próby użycia, po czasie T_w po ostatniej naprawie bieżącej, wykonały przebieg $s < Q$.

Analiza przyczynowo-skutkowa dla tych zdarzeń wykazała⁶⁶, że potrzeba ponownej odnowy zdadności była wynikiem wadliwie wykonanej ostatniej naprawy. Samochody te podlegały ponownej naprawie bieżącej i przez okres czasu T_w . Samochody te znajdowały się więc w stanie „utajonej niezdatności” i obniżały tym gotowość techniczną na daną chwilę.

Fakty te nie wyjaśniają jednak przyczyn tak dużego przedziału rozrzutu dla pozostałych zdarzeń, wartości przebiegu poprawnej pracy między uszkodzeniami S_u względem wartości średniej.

Po analizie danych i obserwacji praktyki eksploatacyjnej przyjęto zasadę, że uzyskane dane dotyczące przebiegu poprawnej pracy między uszkodzeniami S_{ui} (zarejestrowane w funkcji przebiegu samochodu od początku eksploatacji), przyporządkowano do przyjętych przedziałów intensywności użytkowania pojazdu (T_{w1} , T_{w2} , T_{w3} , ... T_{wi}), tablica 2.

Dane o uszkodzeniach samochodów (rys. 8), zostały przydzielone do wydzielonych przedziałów i tworzą podzbiory danych, dla których wyznaczono wartości średnie (oczekiwane).

Tablica 2

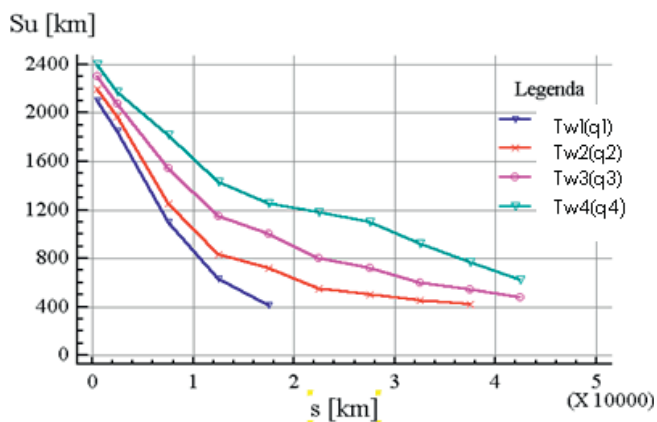
<i>Przedział intensywności użytkowania</i> <i>Przedział przebiegu od początku eksploatacji</i>	T_{w1}	T_{w2}	T_{w3}	T_{w4}	T_{wi}
0–1	–	–	–	–	–
1–2	–	$S_{1-2}^{T_{w2}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{ui}$	–	–	–
...	–	–	–	–	–

gdzie: $S_{1-2}^{T_{w2}}$ – wartość oczekiwana (średnia) przebiegu samochodu, między uszkodzeniami, użytkowanego z intensywnością T_{wi} , a uzyskana z danych o uszkodzeniach w przedziale (1–2).

Charakterystykę $S_u = f(q, s)$ opartą na wartościach średnich w funkcji przebiegu od początku eksploatacji dla wybranej marki i generacji samochodów, przedstawia rys. 11.

⁶⁶ Kruk Z., *Badania efektywności procesu odnowy zdadności z obsługą diagnostyczną w systemie eksploatacji samochodów*, Praca doktorska, WAT, Warszawa 1978.

Uzyskane charakterystyki $S_u = f(T_w, s)$ wskazują na monotoniczną zmianę S_u w funkcji przebiegu samochodu od początku eksploatacji, ale tendencja zmiany zależy od intensywności jego pracy.



Rys. 11. Charakterystyka empiryczna $S_u = f(s, T_w)$, samochód generacji lat 60., planowany przebieg do NG $s = 50\,000$ km

Uzyskany przebieg charakterystyk jest typowy dla obiektów technicznych, które podlegają procesom starzenia, dla których czas poprawnej pracy między uszkodzeniami w funkcji realizowanego przebiegu zmienia się według funkcji Weibulla.

Poszczególne charakterystyki różnią się kształtem, ponieważ w praktyce eksploatacyjnej występuje różny czas wyczekiwania samochodów na użytkowanie, co powoduje zróżnicowany wpływ bodźców starzeniowych. Stąd czas poprawnej pracy między uszkodzeniami jest zróżnicowany i funkcje niezawodności posiadają różny kształt, o którym decydują współczynniki kształtu.

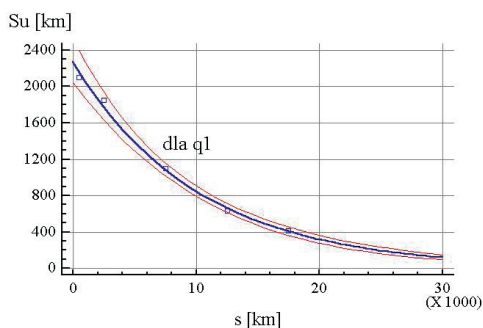
Charakterystyki wyraźnie potwierdzają charakter starzeniowy zużycia samochodów, w szczególności eksploatowanych mało intensywnie.

Charakterystykę $S_u = f(s, q_1)$ przedstawioną na rys. 12 bardzo dobrze przybliża równanie wykładnicze. Potwierdza to współczynnik korelacji ($-0,998$) przy odchyleniu standardowym ($0,045$).

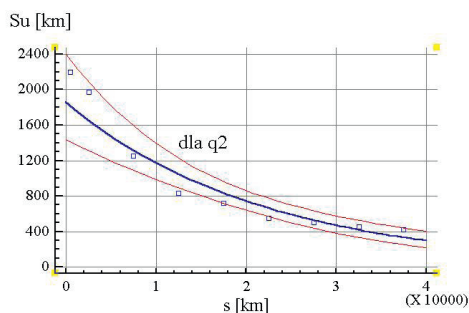
Charakterystykę $S_u = f(s, q_2)$ widoczną na rys. 13 bardzo dobrze przybliża równanie wykładnicze. Potwierdza to współczynnik korelacji ($-0,96$) przy odchyleniu standardowym ($0,185$).

Charakterystykę $S_u = f(s, q_3)$ prezentowaną na rys. 14 bardzo dobrze przybliża równanie wykładnicze. Potwierdza to współczynnik korelacji ($-0,98$) przy odchyleniu standardowym ($0,098$).

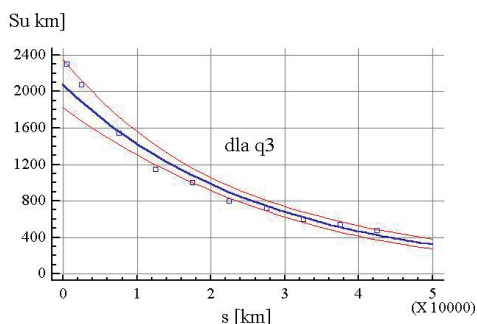
Charakterystykę $S_u = f(s, q_4)$ na rys. 15 bardzo dobrze przybliża równanie wykładnicze. Potwierdza to współczynnik korelacji ($-0,99$) przy odchyleniu standardowym ($0,065$).



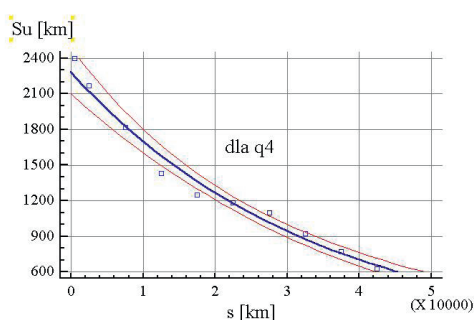
Rys. 12. Zależność $S_u = f(s, q)$, dla $q_1 < 900$ [km/rok]



Rys. 13. Zależność $S_u = f(s, q)$, dla $q_2 = 900-2600$ [km/rok]

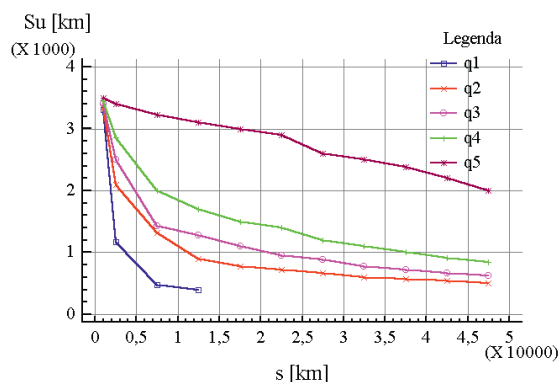


Rys. 14. Zależność $S_u = f(s, q)$, dla $q_3 = 2600-4500$ [km/rok]



Rys. 15. Zależność $S_u = f(s, q)$, dla $q_4 > 4500$ [km/rok]

Charakterystykę $S_u = f(q, s)$, opartą na wartościach średnich w funkcji przebiegu od początku eksploatacji dla samochodów nowszej generacji⁶⁷, przedstawia rys. 16.



Rys. 16. Przykład charakterystyk $S_u = f(s)$ [km] dla różnych intensywności użytkowania (planowany przebieg do NG $s = 90\,000$ km)

⁶⁷ Kruk Z., *Badania efektywności systemu eksploatacji pojazdów kołowych na podstawie oceny gotowości technicznej wytypowanych marek pojazdów użytkowanych w wojsku*, „Archiwum WITPiS”, 1990/91.

Do grupy q_1 – należą pojazdy, które pracowały przeciętnie 16 dni w ciągu roku (co daje przeciętny czas wyczekiwania na pracę 23 [doby]), w grupie q_2 – 45 dni/rok, w grupie q_3 – 60 dni/rok, w grupie q_4 – ponad 70 dni/rok i w grupie q_5 ponad 85 dni w ciągu roku.

Dane te potwierdzają podobny przebieg charakterystyk jak dla poprzedniej generacji, ale wartości początkowe przebiegu poprawnej pracy między uszkodzeniami (S_{uo}) są znacznie wyższe.

Dlatego też, dla tego samego poziomu niezawodności, osiąmane przebiegi do NG dla pojazdów nowszej generacji są też większe od przebiegów dla pojazdów starszej generacji.

3.3.3. Trwałość samochodów użytkowanych z wyczekiwaniem

Dla pojazdów starszej generacji wyznaczenie granicy zdolności do zachowania stanu ich zdadności do dalszej eksploatacji jest kryterium liczby: NG, NŚ i NKons.

Natomiast dla pojazdów nowej generacji trwałość określona jest wymaganym przebiegiem i czasem eksploatacji bez wskazania dotychczasowych form, jakimi są przeprowadzane naprawy.

Trwałość⁶⁸ definiowana jest jako „właściwość wyrobu charakteryzująca jego zdolność do zachowania stanu zdadności w określonych warunkach do zakończenia eksploatacji”.

Zasób pracy⁶⁹ definiowany jest jako „ilość (czas) pracy obiektu od początku eksploatacji albo od jej wznowienia po naprawie średniej lub kapitalnej do osiągnięcia stanu granicznego”. Kryterium osiągnięcia stanu granicznego i kwalifikacji do NG i NŚ oraz NKons., jest przebieg pojazdu od początku eksploatacji lub ostatniej naprawy bądź czas eksploatacji.

W kryteriach tych brak jest odniesienia do niezawodności eksploatowanych pojazdów w chwili kwalifikacji do odnowy zasobu pracy lub granicy trwałości⁷⁰. Wynika to z faktu, że obecne zasady wyznaczania uszkodzeń eksploatowanych pojazdów nie dają możliwości wyznaczania niezawodności⁷¹ na daną chwilę poszczególnych pojazdów, w tym na chwilę kierowania ich do odnowy „zasobu pracy”.

Obecnie w odniesieniu do pojazdów nowej generacji nastąpił wzrost trwałości elementów będących składowymi nowych generacji pojazdów budowanych wg nowych technologii. Z tego powodu nastąpił wzrost niezawodności pojazdów nowej generacji w stosunku do generacji poprzedniej, co ilustruje przykład (rys. 7). Spowodowało to

⁶⁸ PDNO-23-A503:2017, *Pojazdy wojskowe. Badania niezawodnościowe*.

⁶⁹ NO-06-A105:2005, *Uzbrojenie i sprzęt wojskowy. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań. Ogólne zasady badań oraz odbioru prototypów i urządzeń produkowanych seryjnie*.

⁷⁰ Kruk Z., *Analiza modernizacji i remontów odtwarzających niezawodność zestarzałych grup samochodów w armiach NATO. Potrzeby WP prowadzenia prac w tym zakresie*, Praca wykonana w działalności statutowej dofinansowanej z KBN, „Archiwum WITPiS” 146/ZPK/98.

⁷¹ Gill A., Kadziński A., *Procedura wyznaczania początku starzenia się obiektów na podstawie monitorowania empirycznej funkcji intensywności uszkodzeń*, e-mail: adam.kadziński@put.poznan.pl

znaczne wydłużenie przebiegu pojazdów do potrzeby odnowy „zasobu pracy”, najnowszej generacji w odniesieniu do pojazdów poprzednich generacji.

Przy danej intensywności użytkowania pojazdów z wyczekiwaniem, wydłużony przebieg ich eksploatacji do potrzeby odnowy niezawodności może znacznie przekraczać czasy wdrażania nowych technologii i materiałów tworzących nowe konstrukcje pojazdów o własnościach wyższej jakości.

Dlatego też bardzo ważnym działaniem w praktyce eksploatacyjnej nowoczesnych pojazdów jest monitorowanie nowych technologii i materiałów służących do wskazania potrzeb, ale też i możliwości oraz ekonomicznej opłacalności ich innowacji w celu odnowy funkcjonalnej danej generacji pojazdów pomimo zadawalającego ich poziomu niezawodności.

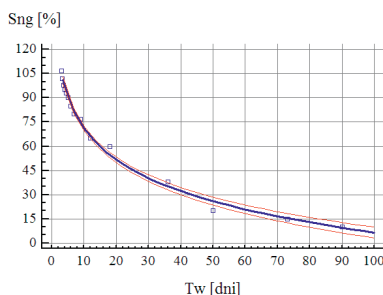
3.3.3.1. Przykład stopnia wykorzystania resursu do odnowy „zasobu pracy” pojazdów użytkowanych z wyczekiwaniem

W systemie transportowym (wojska) dla samochodów starszej generacji użytkowanych z wyczekiwaniem stosowane są odnowy „zasobu pracy” poprzez naprawy główne i konserwacyjne. Naprawy konserwacyjne obejmowały odnowę niezawodności znacznej ilości samochodów użytkowanych mało intensywnie, które nie mogły osiągnąć w czasie od początku eksploatacji wymaganego przebiegu do naprawy głównej. Zakres napraw konserwacyjnych i ich koszt były podobne do NG (ok. 94% kosztu NG realizowanych w latach 70. i 80.).

Naprawy konserwacyjne stosowane podobnie jak naprawy główne odnawiały niezawodność. Kryterium skierowania samochodu do NKons. był czas jego eksploatacji oraz wykonany w tym czasie przebieg.

Na podstawie analizy danych, dla tak zorganizowanej odnowy niezawodności eksploatowanych samochodów, została zbudowana charakterystyka stopnia wykorzystania przez samochód planowanego przebiegu do NG $S_{ng} = f(T_w)$.

Przykład empiryczny charakterystyki wykorzystania „resursu” wyrażonej stopniem wykorzystania planowanego przebiegu w chwili kierowania pojazdu do odnowy zasobu pracy przedstawia rys. 17.



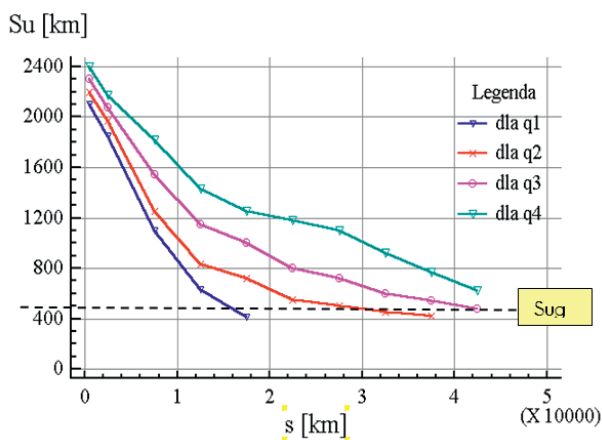
Rys. 17. Stopień wykorzystania planowanego przebiegu do NG eksploatowanych samochodów wysokiej mobilności generacji lat 60. pojazdów w zależności od czasu wyczekiwania na pracę

Zależności $S_{ng} = f(T_w)$ dobrze przybliża funkcja logarytmiczna, dla której współczynnik korelacji wynosi 0,987, przy niewielkim odchyleniu standardowym, które wynosi 4,88.

W charakterystyce tej stopień wykorzystania przez samochód przebiegu do naprawy głównej S_{ng} maleje wraz ze wzrostem czasu wyczekiwania samochodu na pracę, czyli wraz ze zmniejszaniem się intensywności użytkowania. W chwili kierowania go do odnowy „zasobu pracy” samochód ten posiadał niezawodność, której parametry nie były identyfikowane w systemie informacyjnym na poziomie oddziału gospodarczego zarządzania eksploatacją.

Przedstawiony na rys. 18 (na podstawie charakterystyki rys. 11) poziom przebiegu samochodów między uszkodzeniami S_{ug} , użytkowanych z różną intensywnością użytkowania, wskazuje, że jest on osiągany dla różnych przebiegów od początku eksploatacji.

Po uwzględnieniu przebiegów od początku eksploatacji dla poszczególnych charakterystyk intensywności użytkowania wnioskuje się, że dla tego poziomu S_{ug} czasy ich dotychczasowej eksploatacji były podobne i wynosił ok. 14 [lat]. Samochody użytkowane intensywnie ($q \geq q_1$), osiągały poziom (S_{ug}) przy przebiegu $s \geq 50000$ km od początku eksploatacji.



Rys. 18. Charakterystyka empiryczna $S_u = f(s, q)$ dla samochodów wysokiej mobilności generacji lat 60. (planowany przebieg do NG, $s = 50\ 000$ km)

W tej sytuacji osiągnięty poziom wartości między uszkodzeniami S_{ug} stanowił wartość graniczną niezawodności samochodów danej generacji. Samochody te kierowane były do odnowy „zasobu pracy” przed osiągnięciem normatywnego przebiegu, a realizacji odnowy. Mało intensywnie użytkowane kierowane były do NKons., natomiast pozostałe do NG.

Pojazdy te należały do grup różniących się intensywnością użytkowania, co uzasadnia, że czas eksploatacji samochodów (użytkowanych z różną intensywnością) może