

## THE EXAMINATION OF THE THICKNESS OF VARNISH LAYERS USING LEPTOSKOP KD-2050

### Summary

*This work presents a problem of evaluation of the quality of varnish layers in cars as a result of examination of layer distribution thickness. This report contains some characteristics of layer properties, mainly focused on new brand and after renovation of varnish coatings. The quality criterion in applying coating process is also presented. The examination of distribution thickness of varnish layers was done at new and repaired cars. The statistical methods were used for determination of reliability of achieved results. Effects of this work were submitted to a substantive analysis and presented at charts.*

## BADANIE GRUBOŚCI POWŁOK LAKIERNICZYCH LEPTOSKOPEM KD-2050

### Streszczenie

*Niniejszy artykuł jest związany z problematyką jakości wykonania prac lakierniczych w zakresie oceny grubości nakładanych powłok. Scharakteryzowano własności, jakie posiadają powłoki zarówno lakieru nakładanego fabrycznie, jak i pokrycia renowacyjnego oraz przedstawiono kryteria ich jakości w procesach nakładania. Badania rozkładu grubości powłok lakierniczych przeprowadzono na pojazdach fabrycznie nowych oraz na pojazdach po naprawie renowacyjnej. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej i merytorycznej, w celu uwidocznienia różnic pomiędzy badanymi powłokami.*

### 1. Wprowadzenie

#### 1.1. Geneza i aktualność zagadnienia

Niniejszy artykuł jest związany z problematyką prac lakierniczych pojazdów samochodowych oraz z oceną jakości ich wykonania, poprzez badanie grubości uzyskanych powłok. Technologia nakładania powłok lakierniczych rozwija się w szybkim tempie. Wynika to głównie z dynamicznego rozwoju motoryzacji, która determinuje rozwój transportu drogowego na świecie i w Polsce.

Pokrycia lakiernicze w pojazdach fabrycznie nowych powinny zapewniać jak najlepsze właściwości ochronne oraz dekoracyjne. Proces wykonywania powłoki lakierniczej powinien być powtarzalny i zapewniać jednakowe właściwości wykonanego pokrycia, na wszystkich pojazdach produkowanych seryjnie. Renowacja karoserii polega na wytworzeniu pokrycia lakierowego na powierzchni karoserii podlegającej naprawie oraz zapewnieniu odpowiedniej ochrony antykorozyjnej i efektu dekoracyjnego. Czynniki renowacyjne mają na celu przywrócenie starej powłoki lakierniczej stanu najbardziej zbliżonego do fabrycznie nowych pokryć. Duży wpływ na proces lakierowania renowacyjnego ma odpowiedni dobór materiałów lakierniczych oraz sposób wykonania naprawy.

Obecnie istnieje potrzeba oceny jakości pokryć lakierniczych zarówno pojazdów nowych, jak i naprawianych. Dzięki zastosowaniu różnego rodzaju urządzeń pomiarowych, można dokładnie określić właściwości powłoki lakierniczej. Przykładem może być przyrząd do nieniszczącej oceny grubości powłok, przy użyciu którego można łatwo zmierzyć grubość pokrycia lakierniczego, a na podstawie uzyskanych wyników, określić także bezwypadkowość pojazdu lub zakres wykonywanej naprawy lakierniczej karoserii.

#### 1.2. Ocena powłok lakierniczych

Powłoki nakładane w celach ochronnych lub ozdobnych powinny spełniać zakładane parametry dotyczące ich wyglądu, jakości, grubości, szczelności, ścieralności, itd.

Istnieje szeroka gama urządzeń służących do sprawdzania tych parametrów. Niektóre z nich mogą być stosowane tylko w laboratorium, inne również podczas cyklu produkcyjnego (kontrola między- lub kooperacyjna) albo w eksploatacji.

Przy ocenie jakości powłok lakierniczych jednym z decydujących parametrów branych pod uwagę jest grubość powłoki. Pomiar grubości powłoki pozwala określić miejsca, w których lakier posiada inną grubość od tej wykonanej przez producenta. Lakier cieńszy od fabrycznego wskazuje najprawdopodobniej na to, że dany element został wymieniony. Pokrycia cienkie występują wtedy, gdy wymieniony element karoserii zostanie polakierowany bez odpowiedniego podkładu. Posiadają one niską odporność na czynniki zewnętrzne, zwłaszcza korozję oraz charakteryzują się słabą estetyką.

Częściej spotkać się można z pokryciami zbyt grubymi, które są najbardziej niekorzystne. Warstwy lakieru grubsze od fabrycznych świadczą o naprawach danego elementu. Pokrycia takie posiadają gorszą elastyczność, przyczepność, odporność na uderzenia oraz mają tendencję do pękania. Bardzo często po naprawie powypadkowej, pod powłoką lakierniczą znajduje się warstwa kitu szpachlówkowego, który posiada przy nadmiernej grubości, słabe własności mechaniczne i jest podatny na pęknięcie i odpadanie [4].

W lakiernictwie renowacyjnym badania metodami niszczącymi nie są stosowane, gdyż prowadziłyby to do ponownego uszkodzenia powłoki lakierniczej. Najczęściej spotykane mierniki grubości lakieru wykorzystują indukcyjną metodę pomiaru, ale zdarzają się mierniki wykorzystujące metodę prądów wirowych oraz metodę ultradźwiękową.

### 2. Problematyka badawcza

Proces produkcyjny nowoczesnych pojazdów samochodowych jest w dużym stopniu zautomatyzowany, a więc powtarzalny. Dotyczy to także powtarzalności procesu lakierowania, zapewniającego minimalny rozrzut grubości powłok lakierniczych. Istnieją jednak przesłanki z praktyki

eksploatacyjnej, świadczące o zróżnicowanej grubości powłok lakierniczych w zależności od lokalizacji obszaru lakierniczej na karoserii samochodu.

W procesie renowacyjnym powłok lakierniczych, zróżnicowanie grubości powłoki lakierniczej i jej rozrzut jest wpisany w istotę tego procesu. Zależny jest on bowiem od wielu czynników materiałowych, technologicznych i sprzętowych, których powtarzalność jest znacznie trudniej zapewnić niż w procesie wytwórczym.

W związku z tym pojawia się pytanie - jak producenci samochodów różnicują grubość lakieru fabrycznego, przewidując przyszłe warunki eksploatacji samochodu. Poza tym istnieje potrzeba kontroli grubości lakieru renowacyjnego i jego rozrzutu podczas naprawy powłok lakierniczych oraz w trakcie eksploatacji samochodu, w ocenie stanu powłoki lakierniczej.

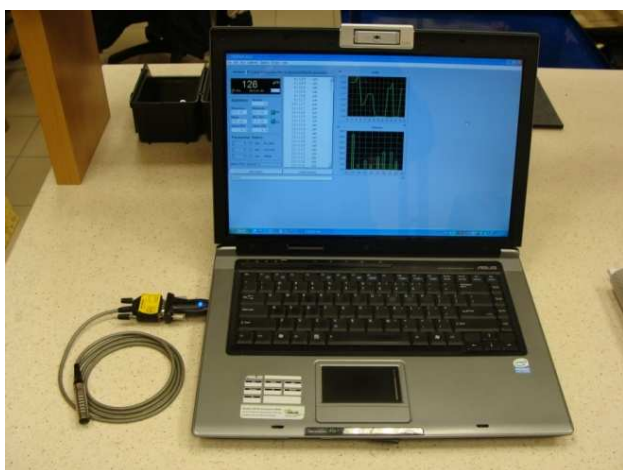
Powyższe determinuje cel niniejszej pracy, który sprowadza się do określenia rozkładu i rozrzutu grubości powłok lakierniczych w pojazdach samochodowych zarówno fabrycznie nowych, jak i po naprawie renowacyjnej, przy użyciu warstwomierza PC-Leptoskop 2050 firmy Karl-Deutsch.

### 3. Opis badań

#### 3.1. Charakterystyka metody badawczej

Warstwomierz PC-Leptoskop 2050 firmy Karl-Deutsch (rys. 1) pozwalają na wykonywanie pomiarów grubości powłok z materiałów nieferromagnetycznych, naniesionych na podłoże z materiałów ferromagnetycznych (metoda elektromagnetyczna) i nieprzewodzących prąd powłok nałożonych na podłoże z materiałów przewodzących nieferromagnetycznych (metoda prądów wirowych).

Warstwomierz typu Leptoskop, po rozpoznaniu podłoża, na którym jest umieszczona sonda pomiarowa, automatycznie wybierają metodę pracy. Sonda może być również dopasowana do przewidywanej grubości powłoki w celu zwiększenia dokładności pomiaru. Mikrosondy umożliwiają pomiary na bardzo małych obiektach. Sondy profilowane pozwalają na zbadanie trudnodostępnych powierzchni [2].



Rys. 1. PC-Leptoskop KD-2050

Fig. 1. PC-Leptoskop KD-2050

Aby możliwe było wykonanie pomiarów Leptoskopem, wymagane jest oprogramowanie komunikacyjne STATWIN 2002. Oprogramowanie to tworzy wirtualne urządzenie do pomiaru grubości powłok na ekranie kompu-

tera oraz umożliwia wykonanie różnorodnych procedur obliczeniowych na wynikach pomiarów [3].

Stosowane do pomiarów sondy charakteryzują się zespolonym, sprężynowym zawieszeniem, zapewniającym stały docisk przy każdym pomiarze i umożliwiającym umieszczenie sondy prostopadle do powierzchni, nawet na okrągłych i cylindrycznych kształtach podłoża [4].

Do wyznaczenia grubości powłok lakierniczych w przeprowadzonych badaniach zastosowano metodę elektromagnetyczną. Przed przystąpieniem do badań wymagane jest przeprowadzenie kalibracji przyrządu pomiarowego. Zastosowano kalibrację standardową, która powoduje, że przyrząd jest gotowy do pomiaru natychmiast po włączeniu bez dodatkowej kalibracji ręcznej.

W celu wyznaczenia niezbędnej liczby pomiarów w jednym punkcie pomiarowym, pozwalających na uzyskanie wiarygodnych informacji o grubości powłoki lakierniczej na badanym elemencie pojazdu, posłużono się zmodyfikowanym współczynnikiem zmienności mierzonego parametru grubości powłoki dla zwiększającej się liczby pomiarów. Przez zmodyfikowany współczynnik zmienności dla analizowanego parametru, rozumie się stosunek odchylenia standardowego wartości średniej do tej wartości, wyrażony w procentach [1].

Ponieważ odchylenie standardowe wartości średniej maleje wraz ze wzrostem liczby pomiarów, należało oczekiwać, że również ze wzrostem liczby pomiarów maleje wartość zmodyfikowanego współczynnika zmienności. Powyżej pewnej liczby pomiarów spadek wartości zmodyfikowanego współczynnika zmienności jest niewielki, co pozwala stwierdzić, że dalszy wzrost liczby pomiarów nie wpłynie statystycznie znacząco na rzetelność informacji o grubości badanej powłoki.

Przedstawiony powyżej sposób rozumowania i wyznaczania niezbędnej liczby pomiarów grubości powłoki w jednym punkcie pomiarowym był stosowany dla każdego badanego elementu, składającego się na karoserię samochodu. Z uzyskanych wyników niezbędnej liczby pomiarów dla poszczególnych elementów karoserii pojedynczego pojazdu wybierana była najwyższa liczba, która następnie była przyjmowana jako wymagana ilość pomiarów w jednym punkcie dla całego badanego obiektu.

#### 3.2. Przebieg badań

Pomiar grubości powłok lakierniczych przeprowadzono na pojazdach osobowych jednego ze znanych koncernów samochodowych. W przypadku badań powłok fabrycznie nowych, pomiary wykonano na pięciu modelach samochodów 5-drzwiowych, wyprodukowanych przez ten koncern w 2010 r. Pojazdy te były nowe, nie miały żadnych wad technologicznych i znajdowały się w ofercie sprzedaży salonu samochodowego koncernu. Badane pojazdy były pokryte lakierem metalizowanym. W przypadku powłok lakierniczych, poddanych naprawom renowacyjnym, badania przeprowadzono na ośmiu modelach tegoż koncernu. Były one pokryte lakierem metalicznym oraz lakierem akrylowym. Pokrycia renowacyjne wykonano w serwisie koncernu, a więc odpowiadały najwyższej klasie jakości naprawy, jaka oferowana jest przez producenta pojazdu.

W badaniach posłużono się warstwomierzem PC-Leptoskop KD-2050, wyposażonym w sondę pomiarową jednobiegową Fe 2050.111 do podłoża ferromagnetycznego o zakresie pomiarowym 0-3000  $\mu\text{m}$ , działającą na

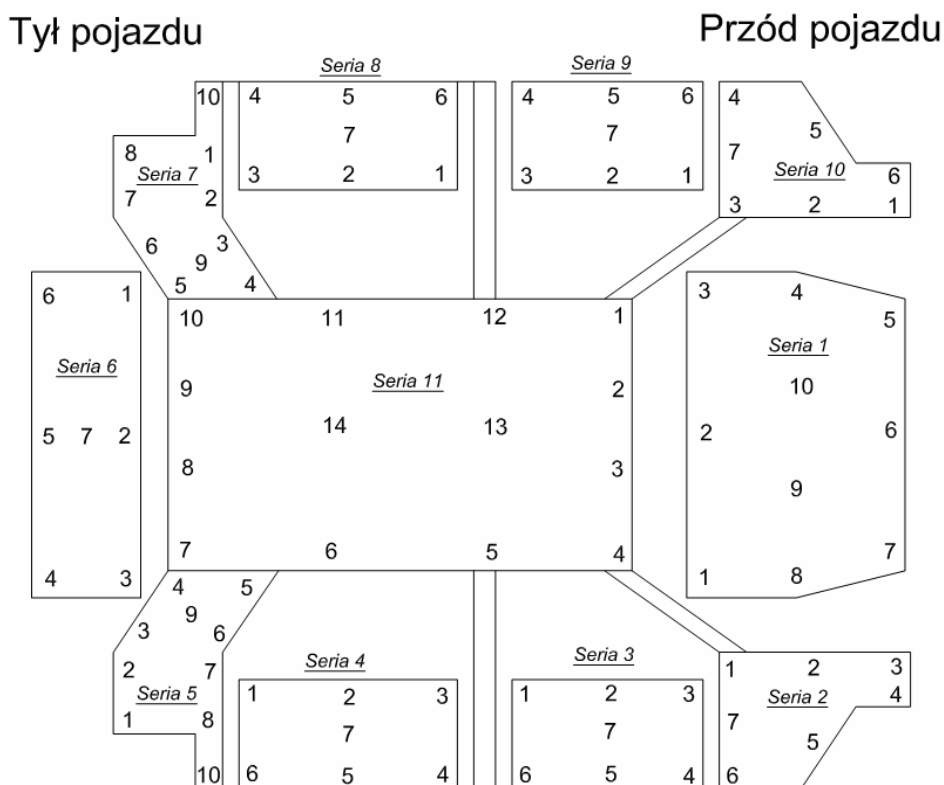
zasadzie wykorzystania metody elektromagnetycznej. Pojazdy przeznaczone do badań zostały oczyszczone w miejscach pomiarowych. Zmierzone wartości grubości badanej powłoki lakierniczej były zapisywane w programie STATWIN 2002, a następnie przetwarzane na format pozwalający na dalszą obróbkę statystyczną zmierzonych wartości.

Dla każdego badanego pojazdu sporządzono schematyczny podział karoserii na elementy składowe, identyfikowane z seriami pomiarowymi, a mianowicie:

- seria 1 – pokrywa komory silnika,
- seria 2 – błotnik przedni prawy,
- seria 3 – drzwi przednie lewe,
- seria 4 – drzwi tylne lewe,

- seria 5 – błotnik tylny lewy,
- seria 6 – pokrywa komory bagażnika,
- seria 7 – błotnik tylny prawy,
- seria 8 – drzwi tylne prawe,
- seria 9 – drzwi przednie prawe,
- seria 10 – błotnik przedni prawy,
- seria 11 – dach.

Każda seria pomiarów składała się z kilku punktów pomiarowych, rozmieszczonych w skrajnych miejscach i w centrum badanych elementów karoserii. Siatka punktów pomiarowych dla pojazdów z lakierem fabrycznym jest przedstawiona na rys. 2, natomiast widok przykładowego rozmieszczenia punktów pomiarowych na pojazdach z lakierem renowacyjnym przedstawiono na rys. 3.



Rys. 2. Uproszczona siatka punktów pomiarowych grubości  
Fig. 2. Simplified grid points of thickness measurement



Rys. 3. Siatka punktów pomiarowych badanych elementów pojazdów – seria 2, 3, 4, 5  
Fig. 3. Grid points tested vehicles components – series 2, 3, 4, 5

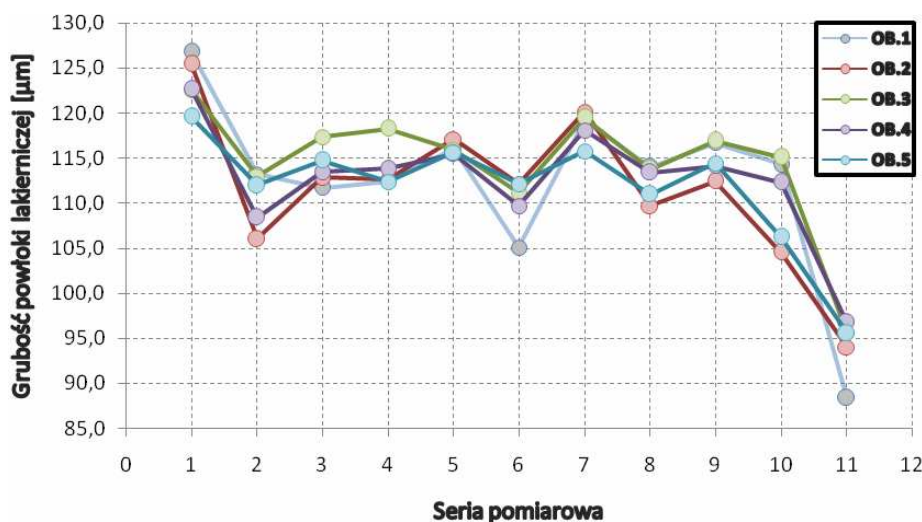
### 3.3. Wyniki badań i ich analiza

Dla każdego punktu pomiarowego, wchodzącego w skład badanej serii, wyznaczono wartość średnią  $X_{sr}$ , która była przyjmowana jako wynik pomiaru. Wyznaczono również odchylenie standardowe  $S$  oraz półprzedziały ufności dla wartości średniej  $0,5g_{0,95}$ . Wartości średnie grubości  $X_{sr}$ , uznane jako wynik grubości w danym miejscu pomiarowym, zostały w dalszej kolejności uśrednione i oznaczone jako  $X_{ob-sr}$ . Wynik ten określa średnią wartość grubości powłoki dla całego elementu, poddanego badaniu. Wyznaczono również odchylenie standardowe  $S_{ob}$  oraz półprzedziały ufności dla wartości średniej dla całego elementu.

Aby uzyskane wyniki można było porównać między sobą, przeprowadzono testy statystyczne. Dotyczyły one porównania wybranych wartości oczekiwanych oraz wariancji. Testy te były oparte na rozkładach Snedecora,  $\chi^2$  oraz t-Studenta [1]. Testom tym poddano wartości grubości powłok w poszczególnych punktach pomiaro-

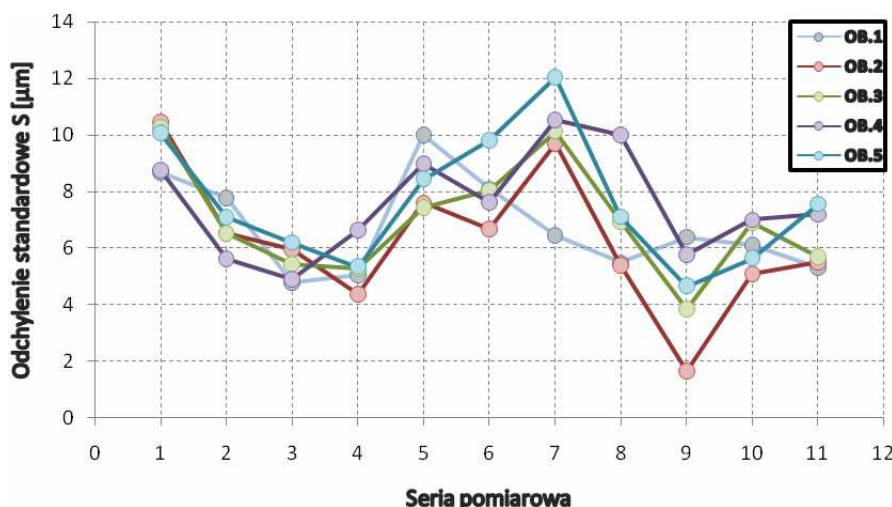
wych, jak i grubości określone dla całego badanego elementu (serii) oraz ich odchylenia standardowe.

Na rys. 4 i 5 przedstawiono wykresy zbiorowe, przedstawiające rozkład grubości powłok lakierniczych na poszczególnych elementach badanych pojazdów (rys. 4) oraz ukazujące zmianę rozrzutu zmierzonych wartości grubości powłok lakierniczych na badanych elementach karoserii wybranego nowego pojazdu (rys. 5). Na podstawie wykresu rozkładu grubości powłok lakierniczych można stwierdzić, że proces lakierowania fabrycznego jest procesem powtarzalnym i gwarantującym otrzymanie równych statystycznie grubości powłok na pojazdach. Wykres rozrzutu zmierzonych wartości grubości lakieru pozwala zaobserwować, że porównywane wartości odchyżeń standardowych od wartości średniej grubości są zbliżone do siebie. Wyniki te mogą świadczyć o tym, że proces fabrycznego lakierowania zapewnia porównywalny i powtarzalny stopień dokładności wykonania powłoki lakierniczej na całym elemencie karoserii pojazdu.



Rys. 4. Rozkład grubości powłok lakierniczych na badanych seriach pomiarowych wszystkich przebadanych pojazdów nowych

Fig. 4. Distribution of thickness of varnish coatings on the measurement series for all new vehicles



Rys. 5. Rozkład odchylenia standardowego dla średniej grubości powłok lakierniczych w badanych seriach pomiarowych wszystkich przebadanych pojazdów nowych

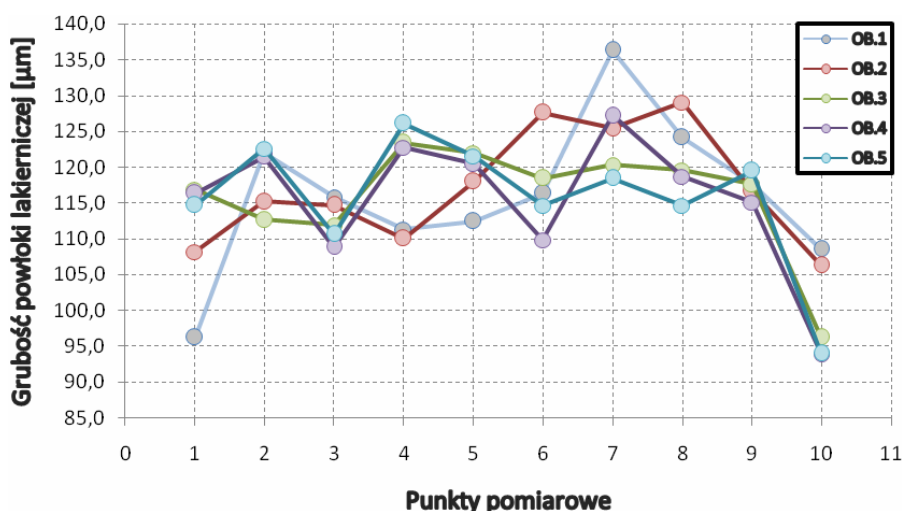
Fig. 5. Distribution of standard deviation for the average thickness of varnish coatings on the measurement series for all new vehicles



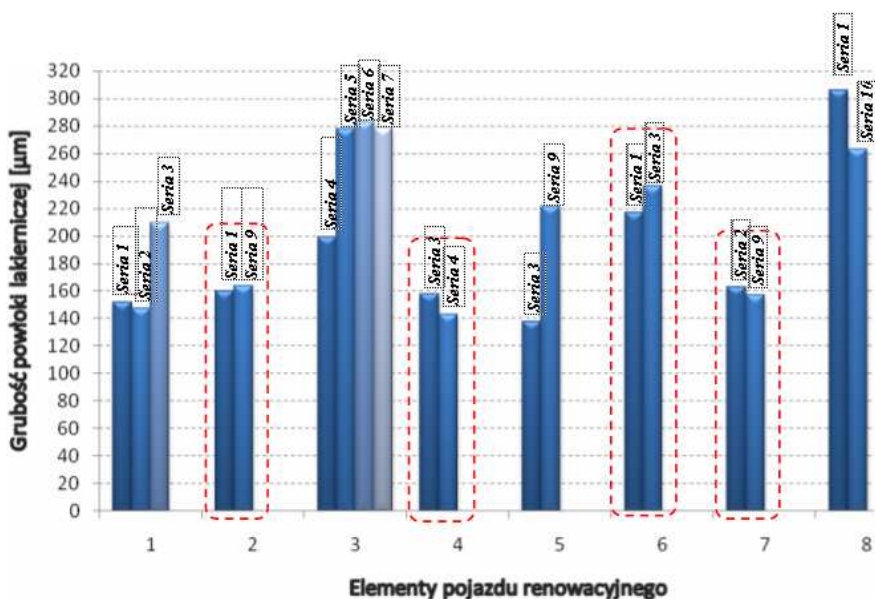
Takim samym testom statystycznym poddano wyniki pomiarów w poszczególnych punktach pomiarowych na badanych elementach karoserii pojazdów. Miało to na celu określenie obszaru, w jakim ten proces lakierniczy jest powtarzalny. Na rys. 6 przedstawiono przykładowy rozkład dla wybranej serii pomiarowej, uwidaczniający charakter zmian wartości grubości powłoki lakierniczej w zależności od miejsca pomiarowego.

Na podstawie wyników badań statystycznych można stwierdzić, że nie występuje równość wartości grubości w małym obszarze, zbliżonym do pojedynczego punktu pomiarowego na elemencie karoserii pojazdu. Wynika to głównie z charakteru produkcji seryjnej, gdzie większa uwaga jest zwrócona na krótki czas wykonania powłoki lakierniczej, a nie na jednakową grubość lakieru w każdym miejscu lakierowanego elementu.

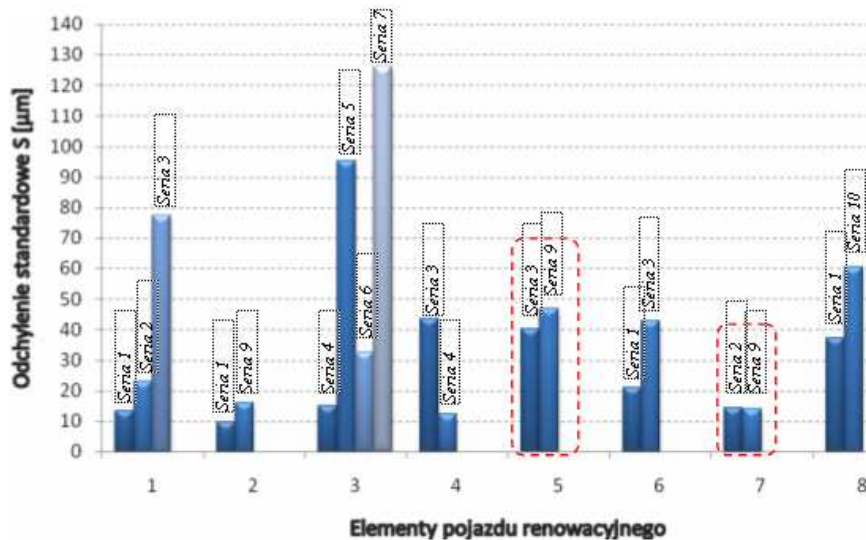
Na rys. 7 i 8 pokazano wykresy słupkowe, przedstawiające porównanie zmierzonych wartości grubości powłok renowacyjnych (rys. 7) oraz rozrzutów grubości (odchylenie standardowe) elementów karoserii – rys. 8. Ramką na wykresach oznaczono wartości grubości i rozrzuty grubości powłok uznane w testach statystycznych za równe sobie. Uzyskane wyniki wskazują, że porównywane grubości lakieru renowacyjnego nie można uznać za równe. Może to wynikać zarówno z zastosowania różnej technologii naprawy na porównywanych elementach, jak i z użycia w naprawie szpachlówki, która jest aplikowana w miejscach o znacznym uszkodzeniu i zniekształceniu powierzchni karoserii samochodu. Wyniki pomiarów i testy statystyczne wskazują na małą staranność i niską jakość wykonania renowacyjnego pokrycia lakierniczego, biorąc pod uwagę równomierność jego grubości na badanym elemencie.



Rys. 6. Rozkład grubości powłok lakierniczych w punktach pomiarowych serii 5 dla wszystkich przebadanych pojazdów  
 Fig. 6. Distribution of thickness of varnish coatings on the measurement series 5 for all new vehicles



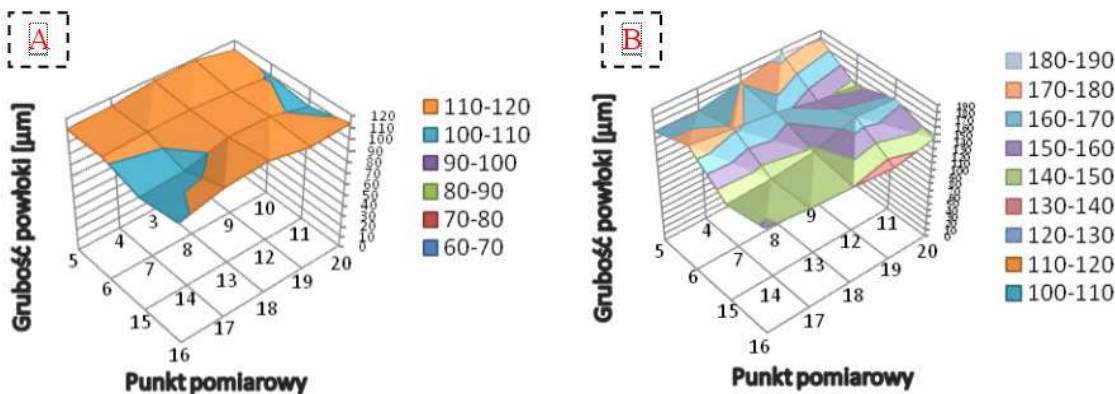
Rys. 7. Porównanie grubości powłoki lakierniczej na poszczególnych elementach pojazdów renowacyjnych  
 Fig. 7. Comparison of thickness of the varnish coating on the individual elements for the vehicle after the renovating



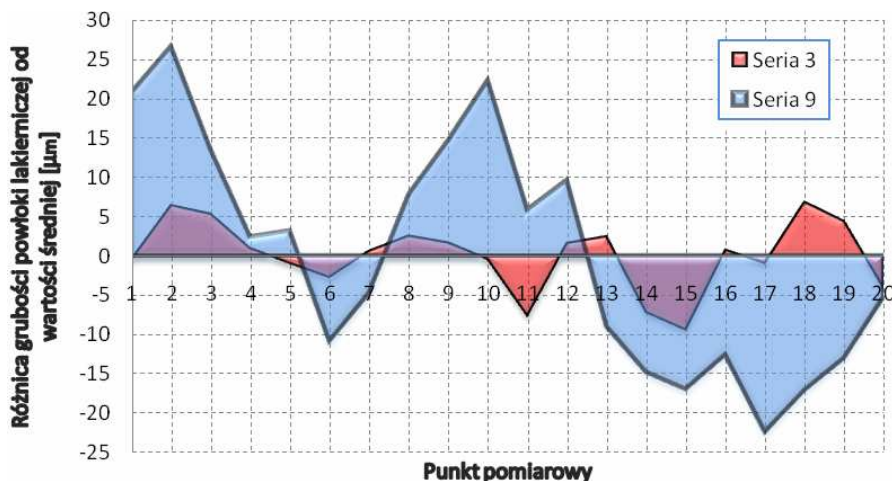
Rys. 8. Porównanie rozrzutów grubości lakieru poszczególnych elementów pojazdów renowacyjnych  
 Fig. 8. Comparison of distribution of thickness of varnish coating of on the individual elements for the vehicle after the renovating

Na rys. 9 i 10 przedstawiono różnice grubości powłok lakierniczych oraz rozrzuty ich wartości na wybranych elementach badanego pojazdu zarówno naprawianych, jak i fabrycznie nowych, w celu ukazania różnic pomiędzy elementami nowymi a naprawianymi.

Elementy te znajdują się po przeciwnych stronach pojazdów. Jak można zauważyć, rozrzut grubości powłok lakierniczych na elementach po naprawie renowacyjnej jest większy, niż to ma miejsce na elementach lakierowanych fabrycznie.



Rys. 9. Rozkład grubości na pojeździe OB-R.7: Seria 3 (A), Seria 9 (B)  
 Fig. 9. The distribution of thickness of varnish coatings of on the individual elements for the vehicle after the renovating



Rys. 10. Rozrzut grubości powłoki lakierniczej na porównywanych elementach OB-R.7  
 Fig. 10. The distribution of thickness of varnish coatings on the compared elements OB-R.7

#### 4. Wnioski z badań

Na podstawie wykonanych badań możliwe jest sformułowanie następujących wniosków:

1. Wyniki pomiarów grubości powłok lakierniczych pojazdów fabrycznie nowych (w szczególności niewielkie różnice grubości powłok i rozrzuty ich grubości) wskazują na powtarzalność procesu lakierowania i zapewnienie przez producenta wysokiej jakości wykonania pokrycia lakierniczego.

2. Proces fabrycznego lakierowania umożliwia programalne zróżnicowanie grubości powłoki lakierniczej na elementach składowych jednego pojazdu. Grubość lakieru na niektórych elementach jednego pojazdu jest celowo różnicowana, aby zapewnić lepsze własności ochronne i zabezpieczyć przed czynnikami niszczącymi.

3. Grubość powłok renowacyjnych jest większa, niż to ma miejsce w przypadku powłok fabrycznych. Wynika to z urządzeń stosowanych w procesach renowacyjnych. Rozrzuty grubości na lakierowanych elementach samocho-

du świadczą o braku równomierności pokrycia, a w konsekwencji, o gorszej jakości powierzchni uzyskanej w procesie renowacyjnym, w porównaniu z procesem fabrycznym.

4. Nieniszcząca metoda pomiaru grubości powłok lakierniczych Leptoskopem KD-2050 pozwala na łatwe wykonanie pomiarów z dużą dokładnością i może być z powodzeniem stosowana nie tylko w badaniach laboratoryjnych na próbkach, ale również w badaniach na obiekcie – pojeździe samochodowym.

#### 5. Literatura

- [1] Bobrowski D.: Wybrane metody wnioskowania statystycznego. Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2006.
- [2] Lewińska-Romicka A.: Pomiar grubości powłok. Warszawa: Wyd. Biuro Gamma, 2001.
- [3] Instrukcje obsługi Leptoskopu KD-2050. Wuppertal: Wyd. Karl Deutsch, 2001.
- [4] Jak mierzyć grubość powłok. Lakiernictwo Przemysłowe, 2000, s. 11.
- [5] Pomiary grubości lakieru. Nowoczesna Lakiernia, 2003, s. 44.