

UNIWERSYTET EKONOMICZNY w KRAKOWIE

Dziedzina nauki: Nauki Społeczne
Dyscyplina naukowa: Nauki o Zarządzaniu i Jakości

Przemysław Mirek

**BADANIE JAKOŚCI POWŁOK LAKIEROWYCH
Z ZASTOSOWANIEM
PROTOTYPOWEGO URZĄDZENIA POMIAROWEGO**

Rozprawa Doktorska

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Chochół prof. UEK

Promotor pomocniczy: dr inż. Jacek Czerniak

Kraków, 2025

Panu prof. Andrzejowi Chochołowi bardzo dziękuję za opiekę nad wartością merytoryczną mojej pracy. Panu dr inż. Jackowi Czerniakowi dziękuję za poświęcony mi czas, za wsparcie techniczne, za motywację oraz wszelką okazaną pomoc techniczną i naukową.

Panu Leszkowi Mosórowi dziękuję za pomoc techniczną podczas konstruowania prototypowego urządzenia badawczego oraz za dzielenie się wiedzą.

Pani Darii Dudziak serdecznie dziękuję za ogrom wartościowej i szczerzej krytyki, za podtrzymywanie mojej motywacji i aprobatę dla mojego dzieła naukowego.

Pani Annie Mirek dziękuję bardzo serdecznie, że natchnęła mnie zdobywaniem wiedzy.

Spis treści

WSTĘP	5
1. Część teoretyczna	8
1.1. Uzasadnienie podjętej tematyki badawczej.....	8
1.2. Cele oraz hipotezy badawcze	15
1.3. Charakterystyka użytkowanych powłok lakierowych.....	16
1.4. Przegląd metod stosowanych do badań twardości	18
1.5. Opis szczegółowy normy ISO 1522 oraz norm powiązanych.....	25
1.6. Charakterystyka materiału badawczego oraz prototypowego urządzenia badawczego	35
1.7. Koncepcja rozwiązania problemu badawczego.....	46
2. Część empiryczna	51
2.1. Badania ankietowe.....	51
2.2. Analiza badań ankietowych.....	52
2.3. Badania wprowadzające	57
2.3.1. Kalibracja urządzenia oraz wstępne badania.....	57
2.4. Badania wykonane zgodnie z normą ISO 1522:2006	65
2.4.1. Przygotowanie materiału badawczego i metodyka badań.....	66
2.4.2. Wyniki badań.....	67
2.5. Badania uwzględniające zmianę temperatury otoczenia	78
2.5.1. Badania przy podwyższonej temperaturze	79
2.5.2. Badania przy obniżonej temperaturze	89
2.6. Badanie twardości powłok lakierowych po 336 godzinach oddziaływaniu 10% NaCl.....	101
2.7. Badania twardości powłok po narażeniu na 3,5% roztwór NaCl w różnych czasach.....	113
2.7.1. Wpływ oddziaływania 3,5% NaCl w czasie 24 godzin.....	113
2.7.2. Wpływ oddziaływania 3,5% NaCl w czasie 168 godzin.....	125
2.7.3. Wpływ oddziaływania 3,5% NaCl w czasie 336 godzin.....	136
2.8. Badanie twardości powłok lakierowych w różnych temperaturach otoczenia.....	148
2.8.1. Wyniki badań twardości powłok w temperaturze – 2°C.....	149
2.8.2. Wyniki badań twardości powłok w temperaturze 60°C.....	160

2.8.3. Wyniki badań twardości powłok narażonych na oddziaływanie 10% NaCl.....	172
2.8.4. Wyniki badań twardości powłok narażonych na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24 godzin.....	183
2.8.5. Wyniki badań twardości powłok narażonych na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168 godzin.....	195
2.8.6. Wyniki badań twardości powłok narażonych na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 336 godzin.....	207
3. Podsumowanie badań.....	219
3.1. Szczegółowe omówienie wyników badań.....	219
3.2. Porównanie właściwości wszystkich badanych próbek w zależności od warunków otoczenia.....	245
3.3. Weryfikacja hipotez badawczych.....	247
Wnioski	251
Bibliografia.....	253
Spis tabel	260
Spis rysunków	262

WSTĘP

Jakość powłok lakierowych mierzy się różnymi metodami laboratoryjnymi. Jednym z ważniejszych parametrów przy ocenie powłok jest twardość względna, od której zależy między innymi ich trwałość.

Roczna światowa produkcja i wykorzystanie powłok lakierowych przekraczają 44 miliony ton, i stale rośnie, co nie jest obojętne ze względów ekologicznych. Znaczącą część produktów, zarówno użytku domowego jak i wykorzystywanych w przemyśle, pokrywa się specjalnymi warstwami powłok lakierowych. Robi się to w celach ochronnych, użytkowych oraz poprawy walorów wizualnych. Poprawa jakości powłok lakierowych może zatem wpłynąć na zmniejszenie ich zużycia.^{1 2}

Jakość powłok ma nie tylko wpływ na trwałość, ale również bezpieczeństwo użytkowania wyrobów, które zostały nimi pokryte. Badania opisane w niniejszej rozprawie polegały na ocenie twardości powłok lakierowych metodą tłumienia wahadła. Badanie twardości powłok aktualnie stosowaną metodą nie pozwala na ocenę ich odporności, na czynniki, w których mogą znaleźć się lakierowane wyroby w czasie ich praktycznego użytkowania a jedynie pozwala na ocenę twardości względnej oznaczanej w warunkach laboratoryjnych. Metoda ta stosowana była już w poprzednim stuleciu, a najnowsze procedury dotyczące tego typu pomiarów zostały opisane w normie ISO 1522:2006/2008. W obecnych czasach można zaobserwować dynamiczny rozwój elektroniki i automatyki oraz ogromne zmniejszenie kosztów sprzedaży komponentów elektronicznych i czujników pozwalających na unowocześnienie oraz modernizację dotychczas stosowanych urządzeń pomiarowych. Wykorzystując ten trend podjęto próbę wyposażenia dotychczas stosowanych urządzeń wahadłowych stosowanych w pomiarach twardości w podzespoły pomiarowe, znacznie poprawiające ich dokładność oraz umożliwiając ocenę odporności na różne temperatury oraz stopnie zasolenia, a tym samym poprawiając jakość prowadzonych pomiarów twardości powłok.

Zakup standardowego urządzenia wahadłowego zgodnego z założeniami normy ISO 1522:2006/2008 stanowi bardzo duży koszt i nierozsądne wydawałoby się prowadzenie eksperymentów na tak kosztownej aparaturze, której modyfikacja wiązałaby się z natychmiastową utratą gwarancji.³ W związku z tym autor podjął próbę wykonania od podstaw własnego prototypu urządzenia wahadłowego, zmniejszając znacznie koszty całego przedsięwzięcia. Wykonanie własnego prototypu powinno pozwolić na znaczące poszerzenie możliwości zakresu pomiarów (temperatura, odporność na NaCl), unowocześnienie procesu badawczego, a badania porównawcze z urządzeniem fabrycznym dowiodły, że konstrukcja prototypowa jest doskonalsza pod względem jakości od urządzeń dostępnych na rynku.

¹ Sangeetha M. et al., Study on effect of rubber paint coating on epoxy composite laminates, Materials Today Proceedings, Indie, 2021, nr 44(2)

² Thompson B Shades of blue. Polymers Paint Colour Journal 199(4542), 31-32. 2009

³ Massonnet G, Stoecklein w Identification of organic pigments in coatings: applications to red automotive topcoats. Part I: Thin layer chromatography with direct visible microspectrophotometric detection. Science & Justice 39(2), 128-134 1999

Przed rozpoczęciem właściwych badań wyposażono prototypowe urządzenie w komponenty elektroniczne zwiększające precyzję i zakres pomiarów w porównaniu ze standardowymi urządzeniami wahadłowymi. Po wykonaniu badań porównawczych i testów twardości powłok lakierowych prototyp urządzenia został zgłoszony do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej pod numerem WIPO ST 10/C PL450516 celem uzyskania ochrony patentowej. Opracowany i wykonany prototyp urządzenia pomiarowego stanowił narzędzie, które pozwoliło na przeprowadzenie innowacyjnych badań twardości powłok lakierowych opisanych w niniejszej rozprawie. Pierwszym etapem badań było przeprowadzenie testów wybranych materiałów powłokotwórczych w otoczeniu, określonym ściśle przez normę ISO 1522:2006/2008. Badania te miały przede wszystkim na celu potwierdzenie skuteczności zaprojektowanego prototypu. Kolejnym krokiem było poszerzenie zakresu badań powłok lakierowych, pozwalające na przetestowanie skuteczności innowacyjnych rozwiązań zastosowanych w urządzeniu oraz wykonanie badań wytypowanych powłok lakierowych. Badania te pozwoliły na określenie ich przydatności w różnych warunkach otoczenia.^{4 5}

Analiza treści normy dowiodła, że w prezentowanej tam metodyce pomiarów nie uwzględniono zmian fizycznych powstających w powłokach lakierowych na skutek ich pracy w różnych warunkach środowiskowych zwłaszcza wpływu zmiennych temperatur na ich strukturę. Do zmiennych warunków otoczenia można również zaliczyć wpływ zasolenia na strukturę powłok lakierowych, które nie były uwzględnione w dotychczasowej normie. Badane powłoki poddano działaniu roztworu NaCl (soli kuchennej) w różnych czasach ekspozycji próbek na tego typu warunki. A zatem głównym celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie metodyki badań powłok lakierowych przy zastosowaniu metody tłumienia wahadła w warunkach zmiennej temperatury otoczenia i działanie roztworu NaCl oraz zwiększenie precyzji pomiarów w porównaniu z metodyką opisaną w normie.

Ogólnie można stwierdzić, że głównym nurtem prowadzonych analiz w ramach niniejszej pracy było zarządzanie jakością wybranych badań powłok lakierowych. W rozdziale pierwszym, czyli części teoretycznej, przedstawiono uzasadnienie tematyki badawczej. Przedstawiono cele badawcze oraz hipotezy postawione w rozprawie doktorskiej. Szczegółowo opisano wykorzystywane w przemyśle materiały powłokotwórcze. Przedstawiono różne metody stosowane do oceny twardości powłok lakierowych ze szczególnym uwzględnieniem założeń normy ISO 1522 wraz z normami powiązаныmi, które bezpośrednio wiążą się z przedmiotem badań w ramach niniejszej pracy. W tej części przedstawiono również charakterystykę farb i lakierów, które wykorzystano do badań oraz opisano podstawy fizyczne działania wahadeł.

W rozdziale drugim przedstawiono koncepcję badań. Zaprezentowano również wynik badania ankietowego, które przeprowadzono, aby uzupełnić badania empiryczne i ustalić poziom świadomości respondentów na temat twardości powłok lakierowych. W rozdziale tym opisano proces badawczy przeprowadzony z użyciem prototypowego urządzenia pomiarowego. Opisano również wszystkie etapy projektowania, konstrukcji

⁴ Silverman B Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London, UK. 1986

⁵ Pampuch R., Materiały ceramiczne. Zarys nauki o materiałach nieorganiczno-niemetalicznych, WN PWN, Warszawa 1988.

i uruchomienia prototypu. Poczynając od jego kalibracji, przez badania wykonane w oparciu o normę ISO 1522 oraz badania poszerzone, stanowiące główny walor prezentowanego prototypu – badania w zmiennej temperaturze otoczenia. Przeprowadzono je podwyższając i obniżając temperaturę próbek, ustalając twardość w zakresach temperatur wyższych, jak i niższych od przewidzianych w normie.

W ostatniej części rozprawy zaprezentowano wyniki badań oraz przeprowadzono ich dyskusję w odniesieniu do wpływu roztworu NaCl o różnym stężeniu na twardość powłok lakierowych. Oceniono wyniki i skonfrontowano je z celami oraz hipotezami dysertacji.

Wnioski, nasuwające się po przeprowadzeniu dyskusji wyników testów empirycznych, zamieszczono w podsumowaniu pracy.

1. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

W pierwszej części rozprawy doktorskiej omówiono głównie teorię związaną z zagadnieniem badań twardości powłok lakierowych. Przedstawiono cele oraz hipotezy badawcze, opisano wykorzystane materiały badawcze, dokonano przeglądu literatury jak i wprowadzono w zagadnienie podstaw fizycznych opisujących urządzenia wahadłowe do pomiaru twardości powłok lakierowych.

1.1. Uzasadnienie podjętej tematyki badawczej

Stosowanie nowoczesnych technologii i technik pomiarowych powinno być wręcz obowiązkowe w XXI wieku. Brak aktualizacji norm ISO i procesów badawczych objawia się zmniejszoną dokładnością pomiarową wynikającą z błędu ludzkiego i niedostosowania aparatury pomiarowej do obecnych wymagań rynkowych oraz naukowych. ⁶ W rozprawie poruszono tematykę związaną z badaniami powłok lakierowych - głównie ich twardości. Wszelkie przeprowadzone badania prowadzono zgodnie z normą ISO 1522:2006/2008. Zalecenia wymienionej normy stanowiące główne źródła błędów są następujące:

- poleganie na zmysłach operatora przy określaniu położenia wahadła pomiarowego;
- poleganie na zmysłach operatora podczas określania czasu tłumienia wahadła;
- stosowanie metodyki pomiarowej, niepozwalającej na jej powszechne zastosowanie (skomplikowana konstrukcja urządzenia pomiarowego jak i samych wahadeł z ściśle określonymi wymiarami, materiałami i ich masami). ⁷

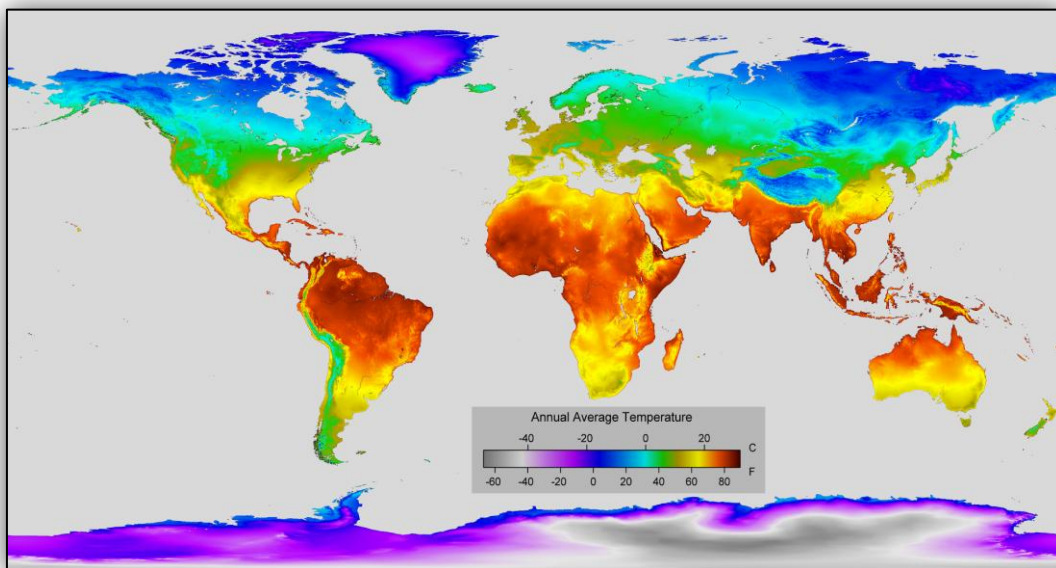
Kolejną trudnością podczas pomiarów jest uzyskanie wskazanego w normie ISO 1522:2006/2008 pomiaru twardości powłok lakierowych (farb i lakierów), który ma być przeprowadzany w określonych warunkach wilgotności względnej ($50\% \pm 5\%$) oraz temperatury otoczenia $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Ścisłe określenie tych warunków determinuje wykonanie pomiarów twardości powłok wyłącznie w tym otoczeniu. Zalecenia normy i budowa urządzenia nie dopuszczają możliwości wykonania pomiarów w innych warunkach otoczenia (temperatura czy roztwór NaCl). ⁸ Takie obostrzenia uniemożliwiają określenie właściwości powłok wykorzystywanych w środowiskach rozbieżnych z normatywnymi. Z tego powodu brakuje narzędzia do określenia przydatności powłok lakierowych stosowanych w skrajnie nieprzyjaznych warunkach otoczenia takich jak: oddziaływanie roztworu NaCl oraz zróżnicowana temperatura. Na takie warunki narażone są na przykład powłoki lakierowe stosowane w przemyśle związanym z żeglugą morską czy przemysłem motoryzacyjnym i lotniczym. Podczas oceny przydatności twardości powłok lakierowych zgodnych z normą ISO 1522:2006/2008 można uzyskać wyniki przydatne wyłącznie w ograniczonym zakresie zastosowania. Wartości twardości powłok określone przez normę nie mają odzwierciedlenia podczas ich stosowania w różnych warunkach.

⁶ Silverman B Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London, UK. 1986

⁷ Piekarczyk J., Hennicke H.W., Pampuch R., On Determining the Elastic Constants of Porous Zinc Ferrite Materials, Ceramic Forum International/Berichte der Deutschen Keramische Gesellschaft 1982, 59 (4), 227-232.

⁸ Tabor D. the Hardness of Metals

Bardzo rzadko podczas użytkowania wyrobów lakierowanych, występują warunki otoczenia (Rysunek 1.) określone przez normę.^{9 10}



Rysunek 1. Średnie roczne wartości temperatury na ziemi w różnych regionach.

Źródło: Detailed Map of Annual Average Temperature Around the World, Mapporn 2023.

W ramach realizacji przyjętych zadań pracy oraz weryfikacji hipotez badawczych zaprojektowano oraz zbudowano prototyp urządzenia pomiarowego, który stanowił główne narzędzie w badaniach twardości powłok lakierowych metodą tłumienia wahadła, na podstawie normy ISO 1522:2006 (2008) z dodatkowymi modyfikacjami zaproponowanymi przez autora. Projekt i wykonanie urządzenia wahadłowego miało za zadanie poszerzenie badań opisanych w normie, o możliwość symulacji zmiennych warunków atmosferycznych otaczających próbkę, ze szczególnym uwzględnieniem zmian temperatury oraz zasolenia.

¹¹ Pozwoliło to na poprawę precyzji pomiaru, a tym samym wpłynęło na jakość samych badań. W normie znajdują się informacje na temat techniki prowadzenia badań. Norma ta zakłada, że będą one przeprowadzane w temperaturze otoczenia 23°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) oraz wilgotności względnej 50% ($\pm 5\%$). ¹² Technika ta nie pozwala na sprawdzenie jakości produktów w zmiennych warunkach środowiskowych. Można więc stwierdzić, że farby i lakiery poddane badaniu z uwzględnieniem normy ISO 1522:2006/2008, są przebadane wyłącznie w stałych (laboratoryjnych) warunkach otoczenia. ¹³ Takie parametry nie oddają

⁹ Ibidem, s. 8.

¹⁰ Malekzadeh M., Taghikhani T., Adaptive behaviour of double concave friction pendulum bearing and its advantages over friction pendulum systems, Scientia Iranica, USA, 2010, nr 17,

¹¹ Zadora G, Martyna A, Ramos D, Aitken CGG Statistical Analysis in Forensic Science Evidential Values of Multivariate Physicochemical Data. Wiley and Sons, Chichester. 2014

¹² Lu X. et al. Self-learning interval type-2 fuzzy neural network controllers for trajectory control of a Delta parallel robot Neurocomputing. 2018

¹³ Raju K.V.S.N., Yaseen M., Scratch hardness of paint coatings: effect of ageing and film thickness, Progress in Organic Coatings, Indie, 1992, nr 21,

rzeczywistych, niekorzystnych oddziaływań środowiska na powłoki lakierowe, co przekłada się bezpośrednio na jakość produktów użytkowanych w innych niż laboratoryjnych warunkach. Aktualnie stosowana metoda, obowiązująca od stycznia 2008 roku (zatwierdzona 4 grudnia 2007), obciążona jest wieloma niedoskonałościami, wynikającymi z upływu czasu i zmian zachodzących w nowoczesnych technikach dokonywania pomiaru.¹⁴ Dotyczy to dziedzin takich, jak zarządzanie badaniami z zakresu: metrologia, elektronika i informatyka.

Nowoczesna elektronika pozwala na wyeliminowanie udziału człowieka z procesów pomiarowych, czyli pozbycie się błędów przypadkowych zależnych od ludzkich zmysłów, co istotnie wpływa na jakość wyników badań. Aktualnie stosowane urządzenie uzależnione jest od fizycznej obsługi przez obserwatora. Wahadło umieszczone na próbce jest ręcznie wychylane i ustawiane w odpowiedniej pozycji. Następnie, obserwator w sposób organoleptyczny zlicza ilość wykonanych wahań wahadła oraz obserwuje czas jego tłumienia.^{15 16}

Stosując cyfrowe urządzenia pomiarowe proponowane przez autora, można założyć, że zarówno wyniki i samo przygotowanie urządzenia do pomiaru, będą wykonane z większą dokładnością, a tym samym będą obciążone niższymi wartościami błędów pomiarowych. Algorytm implementowany do pamięci mikroprocesora umożliwi wykonanie pomiarów z większą powtarzalnością, co zagwarantuje rzetelność i wysoką jakość pozyskanych danych. Przy zaproponowanej przez autora pracy modyfikacji urządzenia, można będzie uzyskać znaczną poprawę powtarzalności samego pomiaru, gdyż mikroprocesorowy sterownik za każdym razem będzie sprawdzać i na bieżąco korygować początkowe wychylenie wahadła.¹⁷ Zastosowanie elektromagnetycznego mechanizmu zwalnającego wahadło z pozycji startowej pozwala na uniknięcie jego niekontrolowanych ruchów, jakie powstają przy zastosowaniu spustu mechanicznego. Błędy powstające podczas dotychczasowego sposobu uruchamiania wahadła były niemożliwe do wyeliminowania w związku z siłami tarcia trzpienia spustowego działającymi prostopadle na wahadło, co wpływało bezpośrednio na dokładność pozyskiwanych wyników.¹⁸

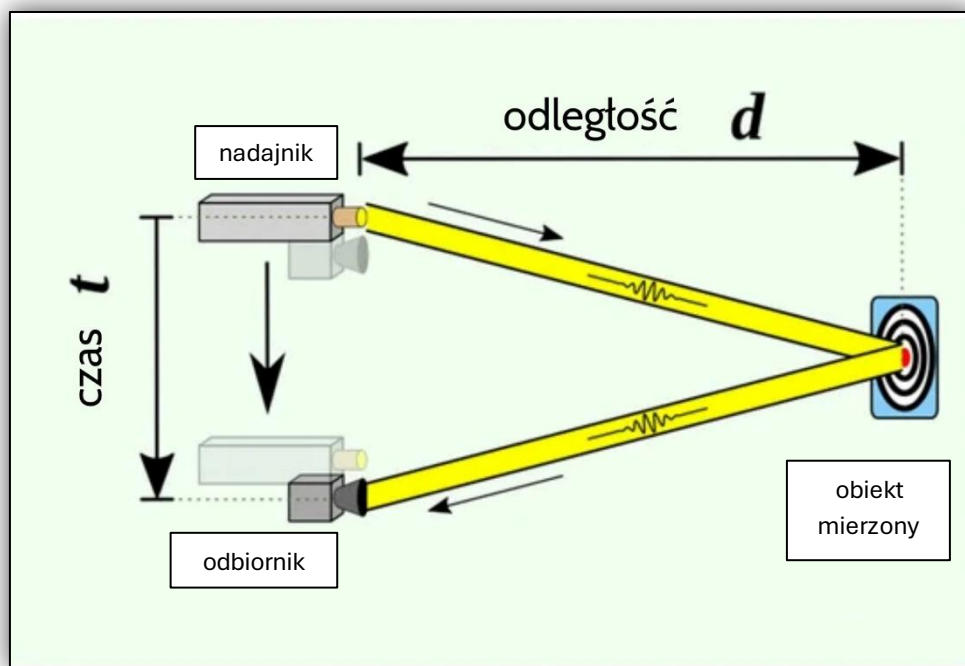
¹⁴ Michalska A, Martyna A, Zięba-Palus J, Zadora G Application of likelihood ratio approach in solving a comparison of Raman spectra recorded for blue automotive paints. *Journal of Raman Spectroscopy* 46, 772-783. 2015

¹⁵ PN-EN ISO 1522:2008, Warszawa, 2008 s. 8-9

¹⁶ Fenz D.M., Constantinou M.C., Behaviour of the double concave friction pendulum bearing, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, USA, 2006, nr 35,

¹⁷ Navas N, Romero-Pastor J, Manzano E, Cardell C Raman spectroscopic discrimination of pigments and tempera paint model samples by principal component analysis on first derivative spectra. *Journal of Raman Spectroscopy* 41, 1486-1493. 2010

¹⁸ Ceanne A.V. de, Fry A.L., Mauro J.C., Experimental analysis and modelling of the Knoop hardness of lithium disilicate glass-ceramics containing lithium tantalate as a secondary phase, *Journal of Non-Crystalline Solids*, USA, 2022, nr 585,



Rysunek 2. Schemat zasady działania czujnika time of flight (TOF).

Źródło: B. Song, J. Kim, H. Kwon, S. Kim, S-H. Oh, Y. Ha, S-H. Song. Smartphone-Based LiDAR Application for Easy and Accurate Wound Size Measurement, J. Clin. Med. 2023, nr 12(18), 6042, doi 10.3390/jcm12186042.

Nowoczesna elektronika użyta w prototypie urządzenia pozwala także na bezpośrednie zapisywanie wyników w formie cyfrowej i wykonanie serii pomiarów na tej samej próbce. Użycie czujnika typu TOF (Time-Of-Flight) pozwala na otrzymanie precyzyjnych danych o położeniu wahadła podczas jego ruchu. Schemat działania czujnika przedstawia Rysunek 2. Na rysunku po stronie lewej znajduje się nadajnik oraz odbiornik, dzięki którym można zmierzyć czas przesyłu sygnału od mierzonego punktu docelowego po prawej stronie. Dzięki zastosowaniu mechanizmu przesuwającego próbkę możliwe będzie także zbadanie całej powierzchni pokrytej farbą, a nie tylko punktowo, jak ma to miejsce przy aktualnie obowiązującej normie.¹⁹ Ten nowy sposób pozwoli jednocześnie na kompleksowe określenie jakości badanego materiału. Regulacja czynników środowiskowych, jak: zmiana temperatury, ciśnienia czy zasolenia, będzie również bardzo dokładna dzięki zastosowaniu nowoczesnych półprzewodnikowych elektronicznych czujników.²⁰ Regulacja zmian temperatury otoczenia będzie uwzględniać najnowsze dostępne technologie polegające na wykorzystaniu ogniw Peltiera, które umożliwią uzyskanie temperatury dodatniej i ujemnej.²¹ Autor koncentruje się na prowadzeniu badań

¹⁹ Ryland SG, Jergovich TA, Kirkbride KP Current trends in forensic paint examination. Forensic Science Review 18, 98-117 2006

²⁰ Aitken CGG, Zadora G, Lucy D a two-level model for evidence evaluation. Journal of Forensic Sciences 52(2), 412-419. 2007

²¹ Gregory P Industrial applications of phthalocyanines. Journal of Porphyrins and Phthalocyanines 4(4), 432-437. 2000

w temperaturze dodatniej, ponieważ symulacja będzie znacznie dokładniejsza niż w temperaturze ujemnej której utrzymanie będzie obarczone większym błędem wynikającym z konieczności kontrolowania punktu rosy, a zatem stabilizacji poziomu wilgotności w komorze pomiarowej.²²

Obecnie stosowana aparatura i stan jej zaawansowania pozwala przede wszystkim na zastosowanie znanych metod badawczych, bez wprowadzania większych ingerencji w ich przebieg, co wyklucza wprowadzenie innowacyjnych zmian w badaniach twardości. Stosowanie innowacyjnych rozwiązań technologiczno-technicznych i użycie nowoczesnego zaplecza elektronicznego, wpływa znacząco na jakość i szybkość wykonywania badań. Dodatkowo bezpośrednio uzyskuje się wzrost powtarzalności, odtwarzalności oraz ograniczenie wpływu błędu ludzkiego w przeprowadzonych badaniach.^{23 24}

Proponowane rozwiązania oraz rozwinięcie metody pomiarowej obecnie stosowanej przyczynią się do wzrostu zainteresowania tymi badaniami, dzięki zwiększeniu ich skuteczności. Będą one stanowiły ważny wkład do nauki oraz metodyki badań jakości farb i lakierów. Rozszerzenie badania o wpływ temperatury, może mieć zastosowanie przy farbach i lakierach stosowanych przez producentów pojazdów (lądowych, wodnych oraz powietrznych) i wszelkich produktów ulegających wpływom zmiennych warunków atmosferycznych.²⁵ Dotyczy to materiałów budowlanych, przemysłowych, akcesoriów motoryzacyjnych, gastronomii itp. Dzięki zastosowaniu komory pomiarowej możliwa będzie symulacja różnych warunków otoczenia, poczynając od warunków panujących na terenach pustynnych, po warunki o podwyższonym stopniu zasolenia, które występują w terenach nadmorskich. Rozwinięcie metody pomiarowej proponowanej przez autora, ulepszy również możliwość kontroli jakości powłok lakierowych chroniących konstrukcje stalowe przed korozją. Niniejsza praca przyczyni się zatem do poprawy bezpieczeństwa użytkowania urządzeń w warunkach lądowych, powietrznych i morskich wpływając również na wydłużenie życia produktu - aspekt ekologiczny.²⁶

Analiza literatury tematu dowodzi, że pomiary wykonywane zgodnie z normą ISO 1522:2006 (i odpowiednikami z innych lat) niewiele wnoszą do rozwoju branży powłok lakierowych. Przykładem mogą być publikacje opisujące różne metody powlekania materiałów czy przedmiotów i określające ich właściwości fizykochemicznych. Ze względu na profesjonalne zastosowanie normy ISO 1522:2006, ilość literatury obejmującej badania twardości metodą tłumienia wahadła jest znikoma. Powiązania z normą zawarte są głównie

²² Caddy B (Ed) *Forensic Examination of Glass and Paint – Analysis and Interpretation*, Taylor & Francis, CRC Press London New York. 2001

²³ Adamovic D., Zivic F., *Hardness and Non-Destructive Testing (NDT) of Ceramic Matrix Composites (CMCs)* [w:] *Encyclopedia of Materials: Composites*; Elsevier: Amsterdam 2021

²⁴ Zięba-Palus J, Zadora G, Milczarek JM, Kościelniak P Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry analysis as a useful tool in forensic examination of automotive paint traces. *Journal of Chromatography a* 1179, 41-46. 2008

²⁵ Barbosa K., Esterle J., Chen Z., Shore hardness measurements of sub-bituminous coal microlithotypes, *International Journal of Coal Geology Australia*, 2019, nr 217

²⁶ Chicot D., Mercier D., Lesage J., Comparison of instrumented Knoop and Vickers hardness measurements on various soft materials and hard ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, Francja, 2007, nr 27(4),

w załącznikach do literatury (w bibliografii), przy czym nie odnoszą się bezpośrednio do jej zagadnień, lecz tylko wskazują, że wspomniano o niej w opisywanych sytuacjach, materiałach, powłokach czy przedmiotach – nie wskazują na jej bezpośrednie zastosowanie w badaniach.²⁷ Kwerenda autora nie doprowadziła do znalezienia artykułów naukowych ani treści naukowych bezpośrednio odnoszących się do metody tłumienia wahadła opisywanej przez normę ISO 1522:2006, a szczególnie treści bezpośrednio odnoszących się do zmian przedmiotowych lub podmiotowych tej normy w celu poprawy jakości, dokładności, krzywej wykresu albo niwelowania przypadkowych błędów spowodowanych przez człowieka.^{28 29}

Omawiana norma w obecnej postaci jest przestarzała, bez jakichkolwiek innowacyjnych czy nowoczesnych rozwiązań technologiczno-technicznych pozwalających na ulepszenie badań. Zastosowanie elektronicznych czujników: odległości, magnetycznych, temperatury, wilgotności, wychylenia i poziomowania, pozwoli na dokładne określenie otoczenia próbki, położenia urządzenia pomiarowego, określenie stopnia błędu pomiarowego czy dokładne liniowe określenie, w równych odstępach czasu liczby wychyleń wahadła zarówno Koeniga, jak i Persoza, które będą opisane w dalszej części rozprawy. Oprócz czujników, o których mowa wyżej, w urządzeniu będą wykorzystane elektroniczne podzespoły ruchome (serwa), jak również elektroniczne teleskopy i wentylatory oraz ogniwa Peltiera, które będą podgrzewać i schładzać próbki. Zastosowanie miniaturowego komputera klasy PC z procesorem jednoukładowym (w postaci stacji rozwojowej Arduino - przykłady przedstawia Rysunek 3.), oraz zebranie danych pomiarowych na karcie pamięci umożliwi archiwizację danych pomiarowych oraz pełną kontrolę nad wszelkimi podzespołami elektronicznymi.^{30 31}

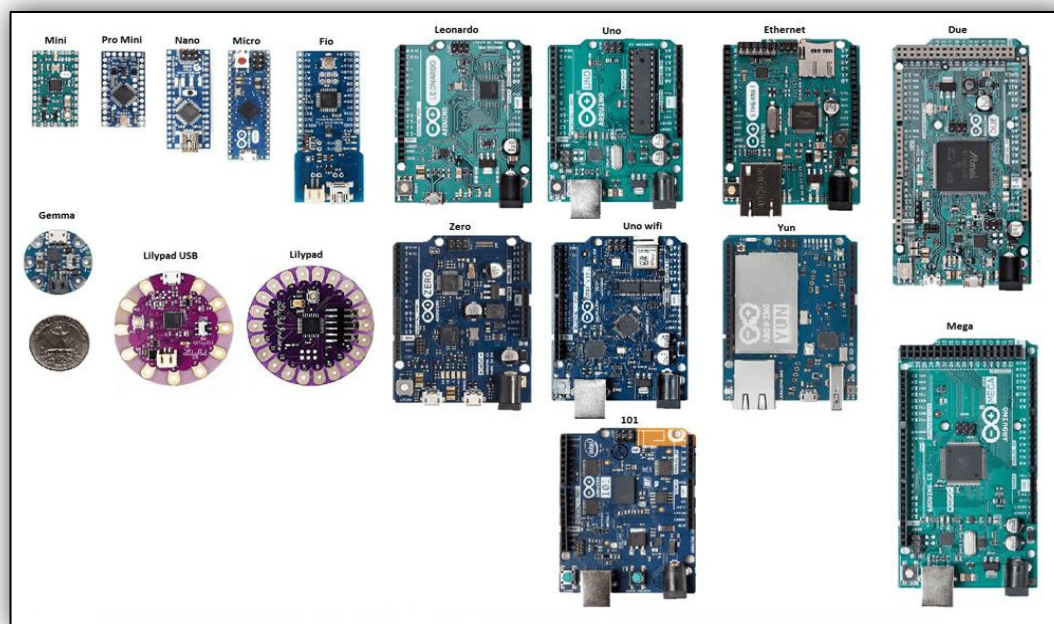
²⁷ de Gelder J, Vandenaabeele P, Govaert F, Moens L Forensic analysis of automotive paints by Raman spectroscopy. *Journal of Raman Spectroscopy* 36, 1059-67. 2005

²⁸ Ellis R., Knott A., Herrmann K., XVIII IMEKO World Congress 2006: Metrology for a Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 2006.

²⁹ Ghorbal B.G. et al., Comparison of conventional Knoop and Vickers hardness of ceramic materials, *Journal of The European Ceramic Society*, Francja, 2017, nr 37,

³⁰ Gu S., Wu Y. et al., *Non-destructive testing of strength of sleeve grouting material in prefabricated structure based on surface hardness method*, *Construction and Building Materials* 2020, nr 263, ID: 120675

³¹ Zięba-Palus J, Michalska A, Wesołucha-Birczyńska a characterisation of paint samples by infrared and Raman spectroscopy for criminalistic purposes. *Journal of Molecular Structure* 993, 134-141. 2011



Rysunek 3. Różne rodzaje płyt rozwojowych arduino z procesorami atmega.

Źródło: S. Gopianath, *Arduino Buying Guide: How to Choose the Right Arduino for Your Project*, Ottawa, Ontario 2020.

Kalibrację urządzenia wykonano na podstawie analizy parametrów widocznych na wyświetlaczu. Konstrukcja prototypowego urządzenia opiera się na obudowie z blachy nierdzewnej grubości 3 mm, co ma bezpośrednie przełożenie na jego stabilność i przyczynia się do poprawy jakości pomiarów.³² Zastosowanie materiałów odpornych na niekorzystne warunki otoczenia pozwoli na zachowanie powtarzalności wyników badań oraz ich jakości. Otwarty system programowania oraz łatwo dostępna elektronika (Arduino - Rysunek 3.) umożliwia konfigurację, ulepszanie, dostosowywanie i unowocześnianie systemu w zależności od potrzeb i od dostępności nowych technologii.³³ Urządzenie jest proste w rozkładaniu i składaniu, co sprzyja zachowaniu mobilności i łatwemu transportowi nawet do trudno dostępnych miejsc. Modułarna budowa ma jednak wady, dlatego przed rozpoczęciem każdego procesu pomiarowego należy upewnić się, czy urządzenie jest prawidłowo zmontowane, ustawione i skalibrowane. Jedną z najistotniejszych wartości, którą należy uwzględnić podczas kalibracji, jest prawidłowe ustawienie płaszczyzny urządzenia, gdyż ma ona największy wpływ na pracę wahadła.^{34 35}

Jak już wspomniano, zgodnie z normą ISO 1522:2006/2008 nie wprowadza się do metodyki badawczej wielu czynników oddziaływania środowiska takich jak: stopień

³² Baker G.L., Blackburn J.A., *The Pendulum: a Case study in Physics*, Wielka Brytania 2005,

³³ Defeyt C, van Pevenage J, Moens L, Strivay D, Vandenabeele P Micro-Raman spectroscopy and chemometrical analysis for the distinction of copper phthalocyanine polymorphs in paint layers. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 1 15, 636-640. 2013

³⁴ PN-EN ISO 1522:2008, Warszawa, 2008 s. 11

³⁵ Barrie S.S., a simple procedure for calculating rockwell hardness conversion relationships for metallic alloys, *Materials Science and Engineering*, USA 1987, nr 95

nasłonecznienia (promieniowanie UV), wpływ czynników atmosferycznych, wpływ składu chemicznego otoczenia, poziom zasolenia.³⁶ Zgodnie z danymi literaturowymi wszystko to może znacząco wpływać na poziom twardości powłoki (lakieru, farby, powłoki) oraz jej innych właściwości. Projekt urządzenia proponowanego przez autora umożliwia dokładniejsze określenie właściwości fizycznych powłoki, a przede wszystkim – określenie wpływu otoczenia na zmiany jej struktury. Pomaga to w ocenie istotności zmian i możliwości dostosowania składu mieszanki farby lub lakieru do jak najlepszego zaspokojenia potrzeb i założeń produkcyjnych czy wymagań rynkowych.³⁷

1.2. Cele oraz hipotezy badawcze

Głównym celem rozprawy doktorskiej jest zobiektywizowanie możliwości badań jakości powłok lakierowych dzięki zastosowaniu zautomatyzowanego autorskiego urządzenia pomiarowego uwzględniającego wytyczne normy PN-EN ISO 1522:2008 oraz ISO 1522:2006 zmodyfikowanej o możliwość wykonania pomiarów parametrów środowiskowych, czyli temperatury i zasolenia. Dzięki zastosowaniu nowatorskich rozwiązań technologiczno-technicznych w prototypowym urządzeniu pomiarowym można zarejestrować krzywą tłumienia wahadła podczas całego badania. Aktualny stopień zaawansowania badań nad powłokami lakierowymi nie zapewnia szczególnej powtarzalności ani odtwarzalności pomiarów za pomocą obecnie stosowanych urządzeń pomiarowych.^{38,39}

Cel główny

Zobiektywizowanie możliwości badań jakości powłok lakierowych dzięki zastosowaniu zautomatyzowanego autorskiego urządzenia pomiarowego uwzględniającego parametry środowiskowe (temperatura/wilgotność/zasolenie) z uwzględnieniem wytycznych norm: PN-EN ISO 1522:2008 oraz ISO 1522:2006.

Cele szczegółowe

1. Opracowanie i wykonanie komory zapewniającej stałe parametry pracy urządzenia pomiarowego i powtarzalności wyników badań.
2. Opracowanie metodyki pozyskiwania i archiwizacji danych pomiarowych zezwalających na minimalizację wpływu niepoprawności zgromadzonych danych na jakościowe efekty pomiarów.

³⁶ Kuptsov AH Application of Fourier transform Raman spectroscopy in forensic science. Journal of Forensic Science 39, 305-318. 1994

³⁷ Buzzini P, Massonnet G a market study of green spray paints by Fourier Transform infrared (FTIR) and Raman spectroscopy. Science & Justice 44(3), 123-131. 2004

³⁸ Staden J.C. van et al., Computerized pendulum experiment for the introductory physics laboratory, Computers and Education, Republika Południowej Afryki, 1987, nr 11,

³⁹ Suzuki EM, Carrabba M In situ identification and analysis of automotive paint pigments using line segment excitation Raman spectroscopy. Journal of Forensic Science 46, 1053-1069. 2001

3. Opracowanie i wykonanie mechanizmu automatycznego pozwalającego na przeprowadzanie testów z uwzględnieniem zmiany położenia próbki.
4. Opracowanie mechanizmu automatycznej detekcji typu wahadła Koeniga czy Persoza wpływając bezpośrednio na jakość pomiarów.
5. Opracowanie systemu monitoringu bieżącej pracy urządzenia, podglądu i archiwizacji danych przy użyciu komputera klasy PC.
6. Stabilizacja warunków otoczenia próbki (temperatura/wilgotność/zasolenie) w celu zachowania powtarzalności parametrów środowiskowych podczas wykonywania pomiarów.

Hipoteza główna

Zastosowanie elementów automatyki i elektronicznych sensorów wpłynie pozytywnie na precyzję i poszerzenie możliwości badań jakości oraz identyfikacji powłok lakierowych.

Hipotezy pomocnicze

1. Zasolenie otoczenia wpływa na trwałość powłok lakierowych.
2. Twardość powłok lakierowych zależy od temperatury otoczenia produktu, co wpływa bezpośrednio na jakość danej powłoki.
3. Analiza widma tłumienia wahadła umożliwia jednoznaczną identyfikację typu powłoki lakierniczej.

1.3. Charakterystyka użytkowanych powłok lakierowych

Używane obecnie powłoki lakiernicze można sklasyfikować ze względu na:

- rodzaj substancji błonotwórczej,
- zawartość rozpuszczalników organicznych,
- liczbę i różnorodność składników,
- liczbę warstw powłoki,
- walory estetyczne powłoki.^{40 41}

Najczęściej wymienia się lakiery jedno- lub wieloskładnikowe. Aktualnie stosuje się powłoki od jedno- do czterowarstwowych. Ze względu na estetykę możemy wymienić lakiery: metalizowane, perłowe, z efektem specjalnym, niemetalizowane (UNI), perłowe kolorowe i perłowe metaliczne. Natomiast wśród rodzajów substancji błonotwórczych wymieniamy lakiery: poliwinylowe, alkidowe (ftalowe), poliestrowe, epoksydowe, akrylowe, silikonowe, nitrocelulozowe oraz poliuretanowe (także wodne).⁴²

Zależnie od klasy lakiery zawierają:

⁴⁰ Fett T., Munz D., J. Amer. Ceram. Soc. 1992, 75 (4), 958-963

⁴² Awrejcewicz J., Particle Dynamics, Material System Dynamics and Rigid-Body Motion About a Point, Classical Mechanics, 2012

- ~10% rozpuszczalników lakierów wodorozcieńczalnych,
- ~20% rozpuszczalników lakierów klasy VHS,
- ~40% rozpuszczalników klasy HS,
- ~60% rozpuszczalników klasy MS,
- ~80% rozpuszczalników dla klasy LS.⁴³

Ze względu na właściwości wyrobów malarskich produkty lakiernicze charakteryzuje się według cech praktycznych:

- zdolność krycia,
- odporność mechaniczna,
- paro przepuszczalność,
- walor estetyczny wykończenia.⁴⁴

Podczas oceniania powłok należy zwrócić także uwagę na aspekty technologiczne powłok, do których zalicza się: tiksotropię (pamięć cieczy będącą zależnością sił działających na ciecz od lepkości), czas schnięcia i technikę nakładania. Określenie wymagań dla tych cech pozwala na precyzyjne dobranie odpowiedniej powłoki do jej przeznaczenia, aby osiągnąć zamierzony efekt.⁴⁵

Powłoki malarskie dzielą się na trzy podstawowe grupy: farby, lakiery i emalie. Farbami najczęściej są produkty malarskie tworzące powłoki o walorach głównie estetycznych. Lakierami natomiast są powłoki tworzące głównie warstwę ochronną, stosowaną w celu zabezpieczenia powłoki. Emalie zaś mają zapewnić wytrzymałą powłokę zewnętrzną, często stosowaną podczas pokrywania przedmiotów wykonanych ze stali, porcelany, ceramiki lub tworzyw sztucznych.⁴⁶ Właściwości powierzchni malarskich zależą bezpośrednio od ich składu i proporcji: rozcieńczalnika, pigmentu, barwnika, spoiwa i wypełniacza. Dzięki substancjom dodatkowym producenci uzyskują powłoki malarskie o różnym działaniu, na przykład: powłoki reagujące z rdzą albo powłoki przeciwgrzybicze.^{47 48}

⁴³ Au P. et al. Property measurements from instrumented hardness tests

⁴⁴ Gu S., Wu Y. et al., Non-destructive testing of strength of sleeve grouting material in prefabricated structure based on surface hardness method, *Construction and Building Materials*, Chiny, 2020, nr 263, ID: 120675.

⁴⁵ Heitzman S Indanthrone pigments for polymers and coatings. *Polymers Paint Colour Journal* 201(4562), 24-27 2011

⁴⁶ Francis H.A. Phenomenological analysis of plastic spherical indentation *Trans. ASME, J. Eng. Mater. Tech.* 1976

⁴⁷ Lai X.Z. et al. Unified control of n-link underactuated manipulator with single passive joint: a reduced order approach *Mech. Mach. Theory.* 2012

⁴⁸ Zięba-Palus J *Analiza śladów lakieru [w:] Zięba-Palus, Mikroślady i ich znaczenie w postępowaniu przygotowawczym i sądowym.* Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków. 2015



Rysunek 4. Niektóre oznaczenia dla powłok malarskich, lakierowych.

Źródło: *Powłoki malarskie na powierzchnie metalowe: kompletny przewodnik po zastosowaniach przemysłowych*, Tikkurila.pl; online: <https://tikkurila.pl/powloki-przemyslowe/powloki-malarskie-na-powierzchnie-metalowe> [dostęp 31.01.2024].

W zależności od gałęzi przemysłu, w której ma zastosowanie dana powłoka lakiernicza, możemy spodziewać się właściwości specjalnie dostosowanych do wymagań otoczenia. Część z specjalnie przygotowanych oznaczeń właściwości powłoki przedstawia Rysunek 4. Przykładem produktów mogą być powłoki o właściwościach takich jak: podwyższona odporności na promienie UV, paroprzepuszczalność, lustrzany połysku, olejoodporne lub o specjalnie określonej porowatości.⁴⁹

1.4. Przegląd metod stosowanych do badań twardości

Ze względu na sposób badania metody wyznaczania twardości powłok lakierowych dzieli się na dwie grupy: dynamiczne i statyczne. Do tych drugich zalicza się metody: Mohsa, Brinella, Knoop, Rockwella, Vickersa, Chruszczowa-Berkowicza oraz Grodzieńskiego; do pierwszych, czyli dynamicznych, natomiast: Poldiego, Shore'a oraz Leebea.⁵⁰ Głównymi i najczęściej stosowanymi metodami stosowanymi przy badaniu twardości powłok lakierowych są metody: tłumienia wahadła, metoda ołówkowa, metoda wciskania (Vickersa) oraz twardość skali Shore'a. Dwie ostatnie metody powodują trwałe

⁴⁹ Low S.R., *Rockwell Hardness Measurement of Metallic Materials*, NIST Recommended Practice Guide, USA, 2001.

⁵⁰ Barrie S.S., *a simple procedure for calculating rockwell hardness conversion relationships for metallic alloys*, *Materials Science and Engineering* 1987, nr 95, s. 209–216.

uszkodzenie badanej powłoki, pozwalając określić jej twardość w sposób pośredni bądź bezpośredni.^{51 52}

Metoda Mohsa polega na przyrównaniu twardości materiału badanego do twardości minerału. Skala twardości jest 10-stopniowa (1–10) i do każdej oceny przypisany jest minerał. Powstawanie zarysowania na badanym materiale określa jego twardość.⁵³

Metoda Brinella polega na wciskaniu kulki hartowanej metalowej lub kulki ze spiekanych węglków o określonej średnicy z określoną siłą. Twardość wyznaczana jest na podstawie wielkości średnicy odcisku kulki.⁵⁴ W badaniu Brinella jednostka oznaczana jest HB (dla kulki stalowej) lub HBWC (dla kulki z spieku węglków). Metodę tę stosuje się głównie do określania twardości metali, lecz przy zastosowaniu modyfikacji może być wykorzystana także do innych materiałów.^{55 56 57}

Metoda Knoop określa twardość na podstawie długości przekątnych odcisku węgelnika diamentowego o kształcie piramidy z romboidalną podstawą (kąt krawędzi 130° oraz wzdłużny kąt krawędzi 172,5°). Jednostką używaną w tych pomiarach jest HK. Metoda ma zastosowanie do badania cienkich i kruchych materiałów lub powierzchni.⁵⁸

W metodzie Rockwella wciska się prostopadły węgelnik w powierzchnię najpierw z siłą wstępną, po której następuje docisk do siły głównej oraz rozprężenie do siły wstępnej. Zasadę działania obrazuje Rysunek 5. Wynik badania zależy od głębokości odcisku penetratora – czyli diamentowego stożka o kącie wierzchołkowym 120 stopni lub stalowej kulki wykonanej z węgelnika spiekane. Stosowaną miarą twardości jest przyrost głębokości wgłębienia odcisku obciążonego siłą wstępną po odciążeniu.⁵⁹ W zależności od materiałów poddanych badaniu używa się odpowiedniej skali: A, B, C, D, E, F, G, H, K, N lub T. Do niektórych materiałów stosuje się inne skale obciążenia.⁶⁰

⁵¹ Barajas C., Vicente J. et al., *Considerations to the hardness Brinell measurement using optical equipment*, Procedia Manufacturing 2017, nr 13, s. 550–557.

⁵² Zięba-Palus J., Zadora G., Milczarek J.M., Differentiation and evaluation of evidence value of styrene acrylic urethane topcoat car paints analysed by pyrolysis-gas chromatography, *Journal of Chromatography*, Polska, 2008 A, nr 1179,

⁵³ Campbell S.A., Crawford S., Morris K., *Friction and the inverted pendulum stabilization problem*, *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control* 2008, nr 130

⁵⁴ Iost A., Najjar D., Hellouin R., Modelling of the Vickers hardness of paint coatings deposited on metallic substrates, *Surface and Coatings Technology* 2003, nr 165,

⁵⁵ Barajas C., Vicente J. et al., *Considerations to the hardness Brinell measurement using optical equipment*, *Procedia Manufacturing* 2017, nr 13, s. 550–557.

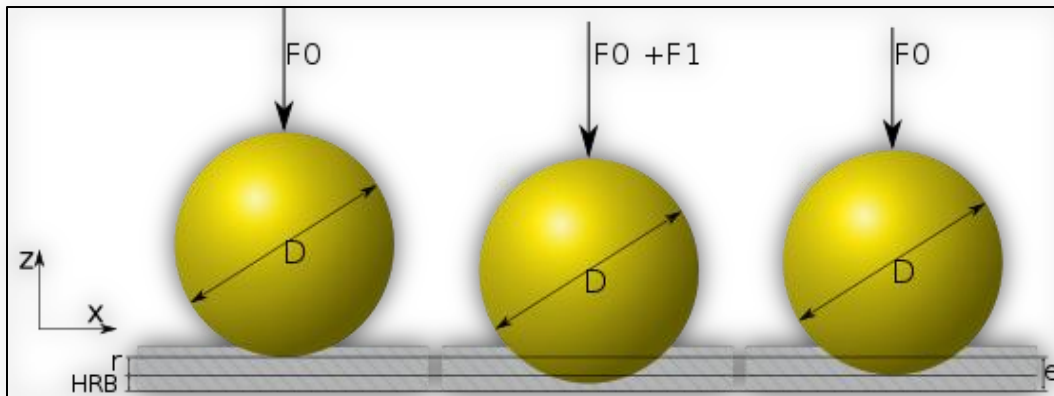
⁵⁶ ISO 6506-1:2014 Metallic materials. Brinell hardness test. Part 1: Test method.

⁵⁷ ISO 6506-2:2014 Metallic materials. Brinell hardness test. Part 2: Verification and calibration of testing machines.

⁵⁸ Chicot D., Mercier D., Lesage J., Comparison of instrumented Knoop and Vickers hardness measurements on various soft materials and hard ceramics, *Journal of the European Ceramic Society* 2007, nr 27(4), s. 1905–1911.

⁵⁹ Khattak M. A., Mukhtar A., S. M. Sufian, *a Review on Application of Non-Destructive Techniques on Composites*, Penerbit Akademia Baru 2016

⁶⁰ Low S.R., *Rockwell Hardness Measurement of Metallic Materials*, NIST Recommended Practice Guide, Waszyngton 2001.



Rysunek 5. Działanie metody Rockwella. D – średnica, F – siła oddziaływania, e – głębokość odcisku, Z/X – osie.

Źródło: Djhe, Principe de l'essai de dureté NOT Rockwell, Brinell bille.

Metodą Vickersa bada się stosunek obciążenia do poboczniczy odcisku węgelnika. Przy określaniu twardości mierzy się w tej metodzie wartość długości przekątnych odcisku. Używa się do tego węgelnika w postaci diamentowego ostrosłupa o kwadratowej podstawie, gdzie kąt między przeciwległymi ścianami wynosi 136 – jednostką w tej metodzie jest HV. Metodę stosuje się do szerokiego spektrum materiałów, między innymi do metali: bardzo twardych, miękkich, warstwy po węglazotowaniu lub azotowaniu.⁶¹

W metodzie Chruszczowa-Berkowicza najważniejsza jest siła obciążająca oraz wysokość trójkąta do odcisku. Tu także stosuje się diamentowy węgelnik w kształcie trójsięnnego ostrosłupa, o odchyleniu ścian względem osi o 65° – jednostką w tej metodzie jest HCH. Badanie tą metodą jest szczególnie zalecane do bardzo twardych materiałów, na przykład do węglików spiekanych.⁶²

W metodzie Grodzieńskiego oznacza się siłę obciążającą oraz długość odcisku. Węgelnik ma kształt podwójnego stożka. Jednostką twardości Grodzieńskiego jest HG. Ta metoda jest także stosowana do bardzo twardych materiałów.⁶³

Jedną z metod dynamicznych jest metoda młotkowa Poldiego. Polega ona na uderzeniu tą samą siłą młotkiem kulkowym w płytkę wzorcową i w powierzchnię badaną, a następnie na obliczeniu różnicy w średnicy powstałego wgłębienia. Materiałem kulki jest stal utwardzana. W tej metodzie stosuje się skalę Brinella (HBp).^{64,65}

⁶¹ Franco Jr A.R., Pintaúde G. et al. The use of a Vickers indenter in depth sensing indentation for measuring elastic modulus and Vickers hardness. Mater. Res. 2004, nr 7, s.483–491.

⁶² Mohamed M.I., Aggag G.A., Uncertainty evaluation of shore hardness testers, Measurement 2003, nr 33, s. 251–257.

⁶³ Mohamed M.I., Aggag G.A., Uncertainty evaluation of shore hardness testers, Measurement 2003, nr 33, s. 251–257.

⁶⁴ LAMATS testing institution, 2009, Newcastle.

⁶⁵ Hill R., Storakers B. Zdunek A.B., a theoretical study of the Brinell hardness test, Proceeding of The Royal Society of London, ser. a Mathematical and Physical Sciences, Wielka Brytania, 1989, nr 423(1865),

Metoda Shore'a polega na pomiarze twardości wysokości odbicia stalowego ciężarka z rubinową lub diamentową końcówką, który jest opuszczany z wysokości między 112 mm a 130 mm. Przykładowy twardościomierz wykorzystywany w tej metodzie przedstawia Rysunek 6. ⁶⁶ Twardość w tej metodzie jest określana przez liczbę podziałek odpowiadającej wysokości odbicia ciężarka. Metoda ta jest najczęściej używana przy badaniu różnych stopów żelaza lub materiałów niemetalicznych. ⁶⁷



Rysunek 6. Twardościomierz stosowany w metodzie Shore'a.

Źródło: *Shore a Hardness, what is a Shore a Hardness and why is it important?* E&OE. M Barnwell Services, Smethwick, Birmingham, barnwell.co.uk/shore-a-hardness/ [dostęp 31.01.2024].

Metoda Leeba polega na uderzeniu bijaka z końcówką zakończoną kulą z węgliku wolframu, jest on wystrzeliwany przy pomocy sprężyny w badany przedmiot. Mierzoną wartością jest prędkość przed uderzeniem w badany materiał lub powłokę i po uderzeniu. Metoda Leeba jest przedstawiana w jednostce skali Leeba HL. ⁶⁸

⁶⁶ Zavacky M., Stefanak J., Mica L., Statistical Estimate of Uniaxial Compressive Strength of Rock Based on Shore Hardness, *Procedia Engineering*, Republika Czeska, 2017, nr 191,

⁶⁷ Siddiqui A., Braden M., Patel MP., Parker S., An experimental and theoretical study of the effect of sample thickness on the Shore hardness of elastomers, *Dental Materials* 2010, nr 26, s. 560–564.

⁶⁸ R. T. Mennicke, "Equotip Metal Hardness", ICASI 2008 & CCATM 2008 congress proceedings (2008).

W niniejszej pracy wykorzystano w badaniach pomiar twardości powłok lakierowych metodą tłumienia wahadła. Zgodnie z założeniami mechaniki fizycznej, wyróżnia się dwa podstawowe modele wahadeł: wahadło fizyczne, czyli bryłę sztywną oraz wahadło matematyczne (proste) stanowiące punkt materialny zawieszony na nieważkiej nici.⁶⁹

Norma ISO 1522:2006 (EN ISO 1522:2008) definiuje metodę pomiaru twardości powłok lakierniczych poprzez analizę tłumienia oscylacji wahadła. Metodologia opiera się na zasadzie, że twardość materiału powłokowego wpływa na szybkość, z jaką wahadło traci swoją energię kinetyczną podczas oscylacji. Istotą testu jest precyzyjny pomiar czasu, w którym amplituda wahań wahadła zmniejsza się o zdefiniowaną wartość, co jest bezpośrednio skorelowane z właściwościami elastyczno-plastycznymi badanej powłoki.

W ramach normy, kluczowe parametry testu są ściśle zdefiniowane, obejmując:

Geometrię i masę wahadła: Specyfikacja wahadła, w tym jego kształt, masa oraz rozkład masy, co ma bezpośredni wpływ na okres i charakterystykę oscylacji.

Przygotowanie próbek: Procedury przygotowania próbek, w tym grubość powłoki, rodzaj podłoża oraz warunki aplikacji, aby zapewnić powtarzalność i porównywalność wyników.

Warunki środowiskowe: Kontrola temperatury i wilgotności podczas testu, aby minimalizować wpływ czynników zewnętrznych na wyniki pomiarów.

Protokół pomiarowy: Szczegółowy opis procedury pomiarowej, w tym sposób inicjowania oscylacji, metody pomiaru amplitudy oraz kryteria zakończenia testu.

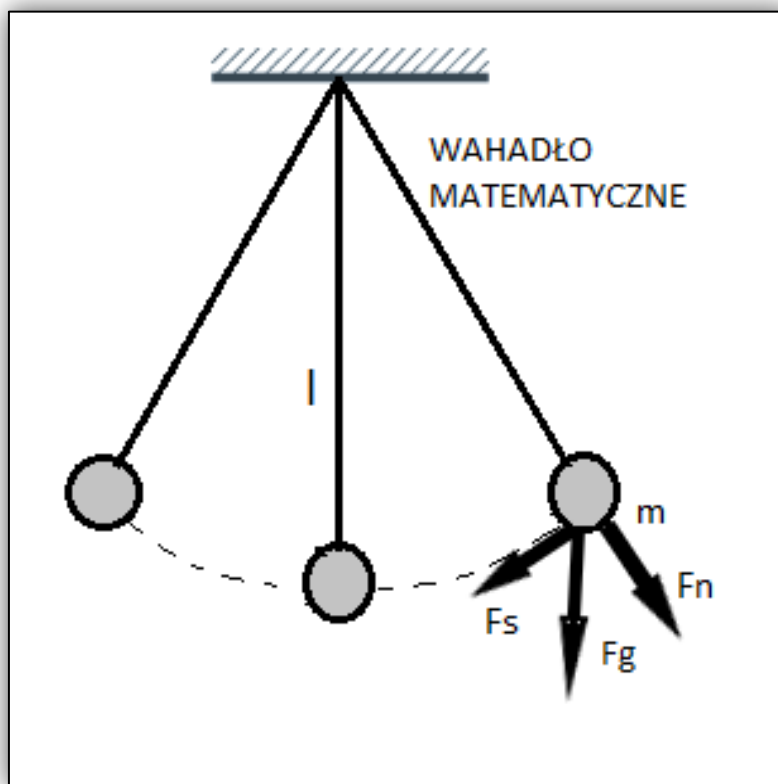
Analiza danych opiera się na pomiarze czasu tłumienia, który jest interpretowany jako miara twardości powłoki. Dłuższy czas tłumienia wskazuje na wyższą twardość, co jest związane z większą odpornością powłoki na deformacje plastyczne. Różnice między wersjami normy (ISO i EN) dotyczą głównie aspektów formalnych, takich jak prezentacja wyników i terminologia, przy zachowaniu spójności metody pomiarowej. Test ten jest szeroko stosowany w przemyśle lakierniczym do kontroli jakości powłok, oceny ich trwałości oraz porównywania właściwości różnych materiałów powłokowych.

Jedną z najważniejszych cech wahadeł fizycznych i matematycznych jest niemal pełna niezależność okresu ich drgań względem amplitudy przy założeniu, że amplituda drgań jest mała. Zależność ta została opisana przez Galileusza w 1602 roku oraz nazwana „izochronizmem drgań”.⁷⁰ Do swojego odkrycia Galileusz użył wahadła do pomiaru czasu. Zainspirowany zasadami działania Galileusza, Christiaan Huygens skonstruował pierwszy zegar wahadłowy w 1656 roku. Powstał wtedy zegar, który był jednym z najdokładniejszych urządzeń pomiaru czasu aż do powstania zegarów kwarcowych w latach 30. XX wieku. Wahadło można nazwać oscylatorem anharmonicznym, którego okres drgań i inne parametry są zależne od amplitudy. Ogólne równanie ruchu wahadła jest

⁶⁹ Jangid RS., Optimum friction pendulum system for near-fault motions, *Engineering Structures* 2005, nr 27, s. 349–359.

⁷⁰ Michalska A., Zastosowanie spektroskopii Ramana w badaniu niebieskich lakierów samochodowych. Ocena wartości dowodowej widm w podejściu klasycznym oraz z zastosowaniem metod chemometrycznych i statystycznych, pr. dr, Instytut Ekspertyz Sądowych, Katowice, 2017,

złożone, lecz w uproszczeniu, przy mniejszych amplitudach drgań przyjmowane są proste rozwiązania analityczne.^{71 72}



Rysunek 7. Zasada działania wahadła matematycznego.

Gdzie:

F_s – siła ruchu wahadła,

F_n – siła naciągu nici,

F_g – siła grawitacji,

m – masa,

l – długość ramiona.

Źródło: opracowanie własne na podstawie M. Matusiak *Wahadło definicja i przykłady*, Naukowiec.org, Netstel

Wahadło matematyczne (Rysunek 7.) można określić jako punkt materialny poruszający się po okręgu w płaszczyźnie pionowej o jednorodnym polu grawitacyjnym. Przy wahadle matematycznym okres drgań zależy od amplitudy i rośnie wraz z jej wzrostem. Warto tu przytoczyć problem konstruowania dokładnych zegarów wahadłowych,

⁷¹ Malekzadeh M., Taghikhani T., Adaptive behavior of double concave friction pendulum bearing and its advantages over friction pendulum systems, *Scientia Iranica* 2010, nr 17, s. 81–88.

⁷² Nieznańska J, Zięba-Palus J, Kościelniak P Badania fizykochemiczne samochodowych powłok lakierowych, *Problems of Forensic Sciences* 39, 77-94. 1999

dla których szybkość chodu nie zależy bezpośrednio od amplitudy drgań. ⁷³⁷⁴ Christiaan Huygens dowiódł, że szybkość chodu zapewnia skrócenie nici wahadła, skrócenie to bezpośrednio wpływa na wychylenie. ⁷⁵ Dodatkowo wykazał on, że taką zależność zapewnia wahadło cykloidalne, czyli takie, w którym nie lub element służący za zawieszenie, owija się w osi poziomej i promieniu $\frac{1}{4}$ długości na cykloidzie. Dzięki temu udało mu się skonstruować wahadło z okresem niezależnym od amplitudy. Aby wyznaczyć takie wahadło, należy określić krzywą, w której ciało poruszające się pod działaniem grawitacji w takim samym czasie przemieści się od punktu ruszenia do najniższego punktu. Ta krzywa jest zwana tautochroną i jest cykloidą. ⁷⁶

Ruch wahadłowy, definiowany jako oscylacyjny ruch obiektu wokół punktu równowagi, jest zjawiskiem powszechnie występującym w przyrodzie i technice. Jego analiza stanowi kluczowy element w zrozumieniu dynamiki wielu systemów, od mikroskopowych cząsteczek po makroskopowe struktury. W kontekście fizyki, ruch wahadłowy idealnego wahadła matematycznego, charakteryzującego się masą punktową zawieszoną na nieważkiej i nierozciągliwej nici, opisuje równanie różniczkowe drugiego rzędu, którego rozwiązanie prowadzi do sinusoidalnego przebiegu ruchu. W rzeczywistych systemach, takich jak wahadło fizyczne, uwzględnić należy dodatkowe czynniki, takie jak opór powietrza, czy tarcie w punkcie zawieszenia co prowadzi do tłumienia oscylacji i ich zaniku w czasie. Zjawisko to wykorzystano w badaniu twardości powłok lakierniczych za pomocą metody tłumienia wahadła. Analiza ruchu wahadłowego znajduje również zastosowanie w wielu dziedzinach, od zegarmistrzostwa, gdzie precyzyjne oscylacje wahadła regulują odmierzenie czasu, po inżynierię sejsmiczną, gdzie zrozumienie dynamiki budowli poddanych ruchom wahadłowym pozwala na projektowanie konstrukcji odpornych na trzęsienia ziemi.

Przy opisie ruchu wahadłowego zamiast kąta maksymalnego jako stałego parametru można użyć całkowitej energii mechanicznej wahadła. Określa ona dane punkty zwrotne ruchu, co przekłada się na kąty maksymalnego wychylenia. ⁷⁷ ⁷⁸

Krzywa fazowa reprezentuje zależność prędkości kątowej wahadła do odchylenia wahadła względem pionu jego ruchu. Dzięki wykresom fazowym ruchu wahadła można określić położenie równowagi pionu w danych kątach odchylenia. Jeżeli wahadło pozostaje

⁷³ Cao F. et al. An adaptive iterative learning algorithm for boundary control of a coupled ODE–PDE two-link rigid–flexible manipulator J. Franklin Inst. 2017

⁷⁴ Tsai C.S., Chiang T.C., Chen B.J., Experimental Study for Multiple Friction Pendulum System, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, USA, 2004,

⁷⁵ Muehlethaler C, Massonnet G, Deviterni M, Bradley M, Herrero A, de Lezana ID, Lauper S, Dubois D, Geyer-Lippmann J, Ketterer S, Milet S, Bertrand M, Langer W, Plage B, Gorzawski G, Lamothe V, Marsh L, Turunen R Survey on batch-to-batch variation in spray paints: a collaborative study. Forensic Science International 229, 80-91. 2013

⁷⁶ Staden J.C. van et al., Computerized pendulum experiment for the introductory physics laboratory, Computers and Education 1987, nr 11, s. 281–292.

⁷⁷ Chochół A, Czerniak J. Mikroprocesorowe urządzenie do badania twardości powłok lakierniczych = Microprocessor Device for Testing of Lacquer, Coast Role of Innovativity in Quality Creation = Rola innowacyjności w kształtowaniu jakości Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB; Politechnika Radomska. Wydział Ekonomiczny, 2012, s. 143-151 - Bibliogr.

⁷⁸ Rickerby D.G. Mater. Sci. Eng. 1982

w stanie nieważkości, siła grawitacji jest równoważona przez siłę bezwładności w danym układzie odniesienia, co prowadzi do osiągnięcia przez wahadło stanu, w którym nie oddziałuje na nie żadna siła.⁷⁹ Ciało wahadła może spoczywać lub poruszać się ruchem jednostajnym po okręgu w zależności od warunków początkowych. Jeżeli pod uwagę weźmie się definicję wahadła prostego, to jego ruch będzie ograniczony przez więzy zmuszające go do ruchu po okręgu. W tym przypadku suma składowych sił działających na ciało prostopadle do toru ruchu jest siłą dośrodkową.⁸⁰

Wahadło można nazwać rzeczywistym, jeżeli będą spełnione następujące warunki:

- nie jest nieważka,
- nie jest nierozciągliwa,
- na ciało działają jedynie: siła ciężkości i siła reakcji nici,
- rozmiary ciała są niewielkie w porównaniu z długością nici,
- wahadło ma prędkość początkową w płaszczyźnie pionowej.

Wahadło matematyczne jest szczególnym przypadkiem wahadła fizycznego.⁸¹ Teoretyczne podstawy zasady działania wahadła wykorzystano w pomiarze twardości powłok lakierowych zgodnie z normą ISO 1522:2006/2008.

1.5. Opis szczegółowy normy ISO 1522 oraz norm powiązanych

Już na wstępie należy zwrócić uwagę na powołanie normatywne normy ISO 1522:2006(2008). Odwołuje się ona bezpośrednio do kolejnych regulacji względem badań i przygotowywania próbki badawczej. Wskazuje też na kolejne normy ISO:⁸²

- Norma ISO 1513 – Farby i lakiery – Sprawdzanie i przygotowanie próbek do badań. Zakres: ustalenie sposobu przeprowadzenia wstępnego badania pojedynczej próbki dostarczonej do badania oraz sposób przygotowania próbki do badań przez zmieszanie i uśrednienie serii próbek reprezentatywnych dla jednej partii całkowitej ilości farby, lakieru lub podobnego produktu.⁸³
- Norma ISO 1514 – Farby i lakiery – Znormalizowane płytki do badań. Zakres: w międzynarodowej normie ustalono kilka rodzajów znormalizowanych płytek i opisano metody ich przygotowania przed malowaniem. Te znormalizowane płytki stosuje się w ogólnych metodach badania farb, lakierów i produktów podobnych.

⁷⁹ Awrejcewicz J., *Classical Mechanics: Dynamics*, Springer 2012, nr. 29,

⁸⁰ Tsai C.S., Chiang T.C., Chen B.J., *Experimental Study for Multiple Friction Pendulum System*, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver 1–6.08.2004, s. 669.

⁸¹ Bell SEJ, Fido LA, Speers SJ, Armstrong WJ *Rapid Forensic Analysis and Identification of “Lilac” Architectural Finishes Using Raman Spectroscopy*. *Applied Spectroscopy* 59(1), 100-08. 2005 Buzzini P, Massonnet G

⁸² Michalska A, Martyna A, Zadora G *Investigation of various factors influencing Raman spectra interpretation with the use of likelihood ratio approach*. *Forensic Science International* 10.1016/j.forsciint.2017.10.034 2017

⁸³ Palenik CS, Palenik S, Groves E, Herb J *Raman Spectroscopy of Automotive and Architectural Paints: In situ Pigment Identification and Evidentiary Significance* www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/243162.pdf (accessed 12.03.2014). 2014

- Norma ISO 15528 – Farby, lakiery oraz surowce do farb i lakierów – Pobieranie próbek. Zakres: opis metod ręcznego pobierania próbek farb, lakierów oraz surowców do farb i lakierów. Uwzględnia również ciecze i produkty przechodzące podczas ogrzewania w stan ciekły bez zmian chemicznych oraz produkty w postaci proszków, granulatów i past.⁸⁴
- Norma ISO 2808 – Farby i lakiery – Oznaczanie grubości powłoki. Zakres: opis metod stosowanych do pomiaru grubości powłok ówczasnie nałożonych na podłoże. Metody oznaczania grubości suchych i mokrych powłok oraz grubości nieusieciovanych warstw farb proszkowych. Zawiera: ogólny zakres stosowania, powiązane istniejące normy i precyzje względem każdej z wymienionych metod.

W normie ISO 1522:2006 (2008) szczegółowo opisane są dwa wahadła zastosowane do prowadzenia badań, to jest: wahadło Königa i wahadło Persoza. Budowa ich obu jest bardzo podobna: mają miejsca styku lub oparcia z powierzchnią lakieru lub farby w postaci dwóch kul z węgliku wolframu.⁸⁵

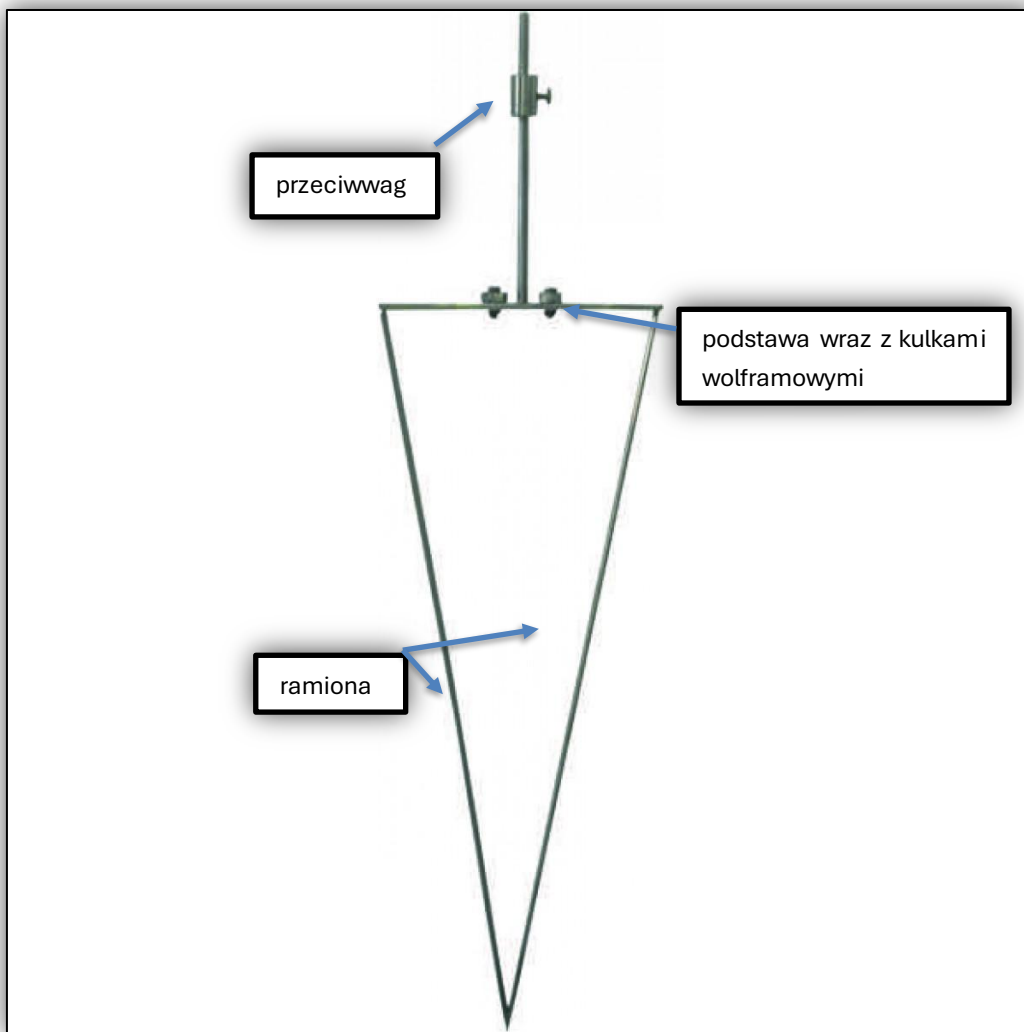
W wahadle Königa (Rysunek 8.) punktem styku są dwie kulki o średnicy $5 \pm 0,005$ mm o twardości 1600 ± 32 , HV30 w skali Vickersa. Zgodnie z normą ISO 6507-2, oddalone są one od siebie o $30 \pm 0,2$ mm. Mechanizm wyważania złożony jest z pionowo zawieszzonego ciężarka nastawnego przymocowanego na pionowym pręcie, którego podstawa jest złączona z poprzeczką łączącą oba ramiona wahadła.⁸⁶ Ciężarek służy do ustawienia kalibracji wahadła i ustalenia naturalnej częstotliwości wahań. Okres wahań na wypolerowanej tafli szkła powinien wynosić $1,40 \pm 0,02$ sekundy, natomiast czas tłumienia od 6^0 do 3^0 powinien wynosić 250 ± 10 sekund. Masa całkowita wahadła wynosi $200 \pm 0,2$ gramów.⁸⁷

⁸⁴ Schneider J.M., Bigerelle M., Iost A., Statistical analysis of the Vickers hardness, Materials Science and Engineering, ser. A, Francja, 1999, nr 262,

⁸⁵PN-EN ISO 1522:2008, Warszawa, 2008 s. 5-8

⁸⁶ Massonnet G, Stoecklein w Identification of organic pigments in coatings: applications to red automotive topcoats. Part III: Raman Spectroscopy. Science & Justice 39(3), 181-187. 1999

⁸⁷PN-EN ISO 1522:2008, Warszawa, 2008 s. 5

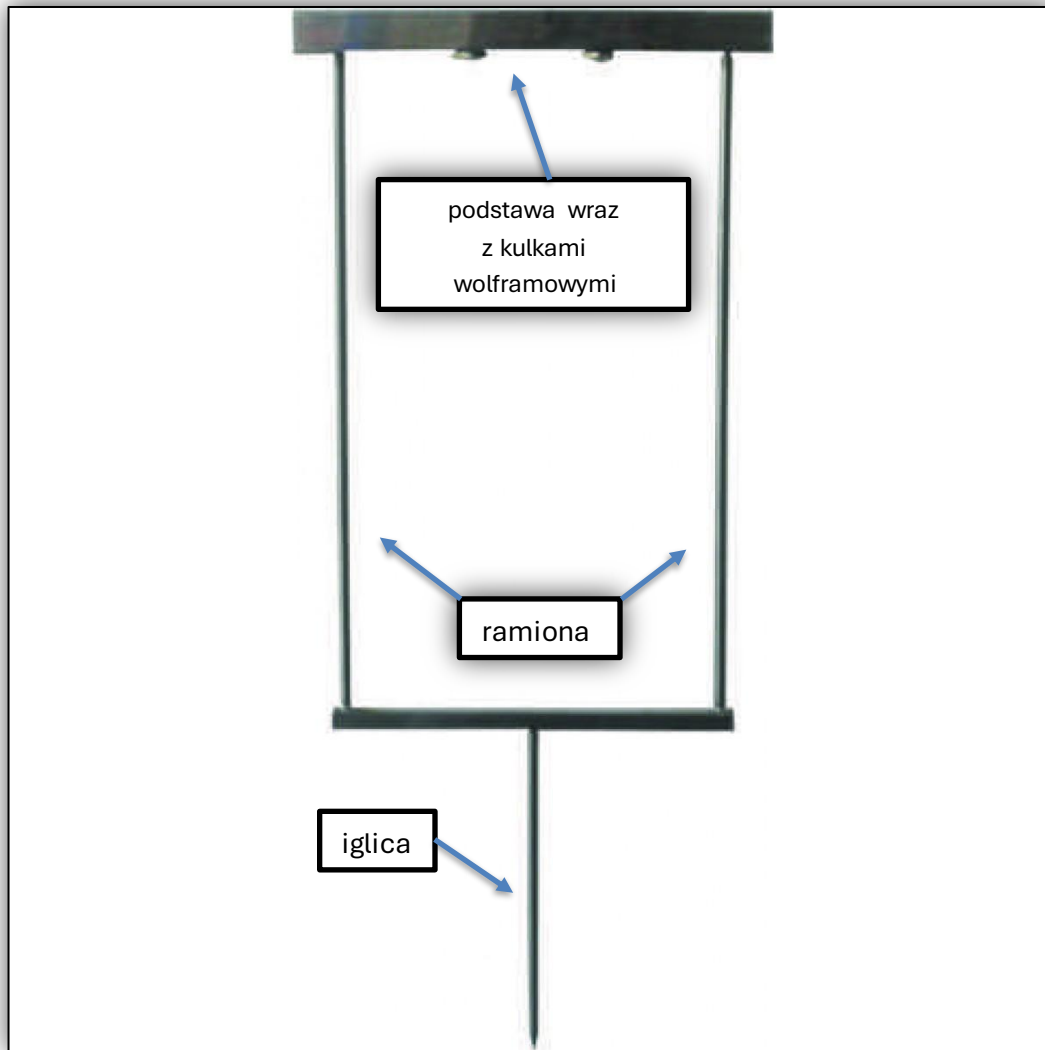


Rysunek 8. Wahadło Königa.

Źródło: opracowanie własne

W wahadle Persoza (Rysunek 9.) podobnie jak w wahadle Königa zastosowano wolframowe kulki o twardości 1600 ± 32 , HV 30 w skali Vickersa. Zgodnie z założeniami normy ISO 6507-2, ich średnica wynosi $8 \pm 0,005$ mm, są one oddalone od siebie o 50 ± 1 mm. Obie kulki są symetrycznie ułożone względem środka poprzeczki. Nie jest tu przewidziana żadna przeciwwaga. Nie można ustawiać środka ciężkości i dlatego przede wszystkim pomiar odnosi się do naturalnej częstotliwości wahań. Okres wahań na wypolerowanej płytce szklanej powinien wynosić $1 \pm 0,01$ sekundy, natomiast czas tłumienia wahadła od wychylenia 12° do wychylenia 4° także na szklanej wypolerowanej płytce – 430 ± 15 sekund. Masa całkowita wahadła ma wynosić 500 ± 1 gramów, a środek ciężkości wahadła powinien być w odległości $60 \pm 0,1$ mm poniżej płaszczyzny podparcia kulek wolframowych. Wskazówka wahadła oddalona jest o $400 \pm 0,2$ mm od płaszczyzny podparcia.⁸⁸

⁸⁸PN-EN ISO 1522:2008, Warszawa, 2008 s. 6



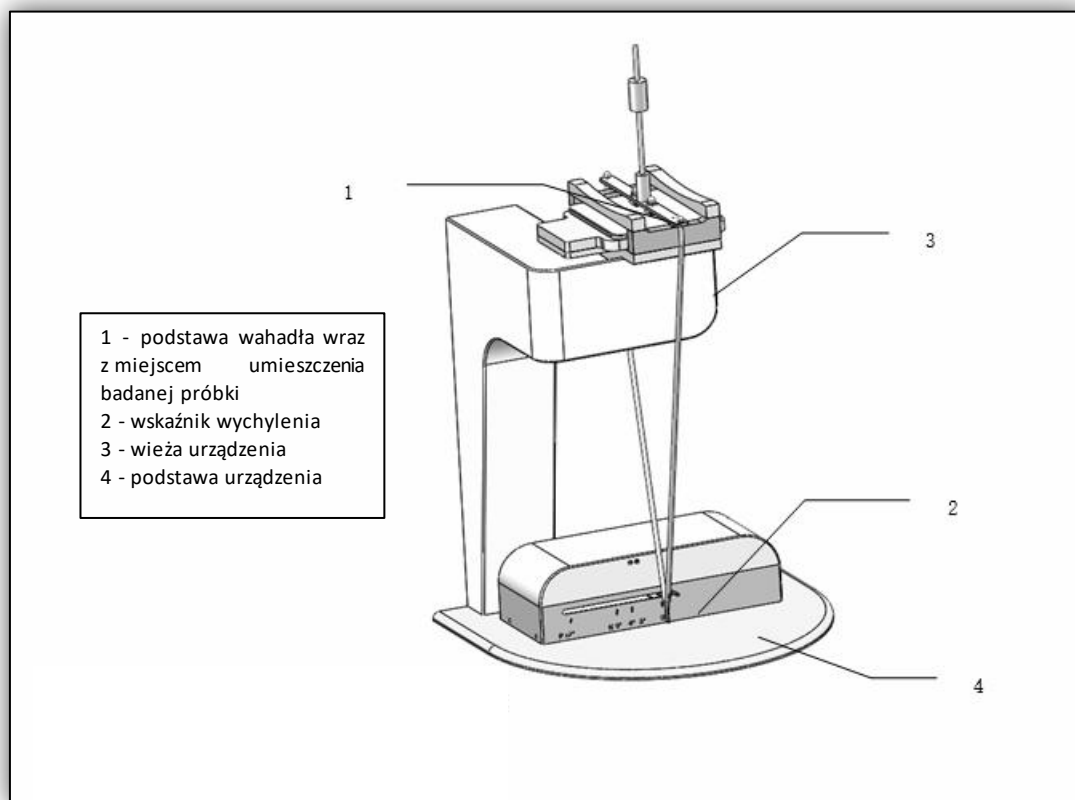
Rysunek 9. Wahadło Persoza.

Źródło: opracowanie własne

W normie opisano również w sposób szczegółowy konstrukcję statywu przyrządu pomiarowego – Rysunek 10. Składa się ona z masywnego pionowego masztu, który jest głównym punktem zaczepienia podstaw pod próbki (stolik służący do osadzenia wahadła oraz próbki). Norma dodatkowo wskazuje sugerowane wymiary stolika do badań: 95 na 110 mm. W konstrukcji zastosowano mechanizmy służące do bezuderzeniowego opuszczania wahadła (Königa bądź Persoza) na badaną próbkę oraz wieszak podtrzymujący wahadło. Przy konstrukcji urządzenia pomiarowego norma zakłada umieszczenie skali pomiarowej z zaznaczonymi pozycjami odchylenia z punktu centralnego pomiarów o wartości 3° , 4° , 6° oraz 12° . Wartości te są istotne dla późniejszych pomiarów odpowiednio: dla wahadła Königa – 6° oraz 3° i dla Persoza – 12° oraz 4° .⁸⁹ Skala ma mieć możliwość regulacji poziomej w celu kalibracji pozycji centralnej. Aby zminimalizować błąd paralaksy, można, zgodnie z normą, umieścić skalę na lustrze bądź samo lustro za skalą. Do prawidłowej

⁸⁹ Richmond O. et al. Sphere indentation with application to the Brinell hardness test Int. J. Mech. Sci. 1974

kalibracji urządzenia pomiarowego można użyć tej samej płytki dla obu wahadeł, Königa i Persoza. Metodyka badan zakłada użycie miernika czasu, tj. stopera podczas badania twardości powłok lakierowych. Dlatego też wykonanie pomiarów bazuje na odczytach wykonanych przez operatora wykonującego i nadzorującego badania.⁹⁰



Rysunek 10. Schemat urządzenia pomiarowego według normy ISO 1522:2006/2008.

Źródło: opracowano własne na podstawie BYK Gardner GmbH, byko-swing Konig/Persoza, sklep techniczny

W normie ISO 1522:2006/2008 sprecyzowano metodykę przygotowania próbki zgodną z normą ISO 15528 i sprawdzenie jej oraz przygotowanie według normy 1513. Dodatkowo ta ostatnia norma przewiduje ściśle sprecyzowane wymiary płytki o wymiarach 100×100 mm i grubości 5 mm przeznaczonej do badań przeprowadzanych zgodnie z normą ISO 1514.⁹¹ Płytki mogą być ze szkła lub metalu, o sztywnej płaskiej powierzchni bez zniekształceń. Płytki przygotowane do badania są pokryte próbkami powłoki o grubości nie mniejszej niż $30 \mu\text{m}$ (powierzchnia przygotowana zgodnie z ISO 2808) powinny być przed przystąpieniem do pomiarów wysuszone, jeżeli jest to wymagane. Płytki z próbkami do badań powinny być przechowywane w temperaturze $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza $50\% \pm 5\%$ przez co najmniej 16 godzin przed pomiarami. Należy

⁹⁰PN-EN ISO 1522:2008, Warszawa, 2008 s. 5-7

⁹¹ Leyi G., Wei Z., Songling H., Mechanics analysis and simulation of material Brinell hardness measurement, Measurement, Chiny, 2011, nr 44,

zwrócić uwagę na powierzchnię badaną, czy nie ma na niej jakichkolwiek zabrudzeń, jak kurz czy odciski palców.⁹²

Zgodnie z normą ISO 15528 urządzenia do pobierania próbek powłok lakierowych powinny być dostosowane do właściwości fizykochemicznych. Przed pobraniem należy określić: wrażliwość na światło, utlenianie, reakcje powierzchniowe, właściwości higroskopijne, fizjologiczne i toksykologiczne powłoki.^{93 94} Pobrane próbki należy przechowywać zgodnie z wytycznymi producenta i zatrzymywać wszelkie zmiany wynikające z działania czasu lub niewłaściwego postępowania z przygotowaną próbką. Środki bezpieczeństwa w czasie postępowania z próbkami są określone w normie ISO 3165. Aby prawidłowo pobrać próbki, należy mieć sprzęt odpowiedni do ilości oraz stanu skupienia pobieranej próby. Do takiego sprzętu wedle opisu normy należą: czerpak do cieczy, rura pojedyncza i szpachla.⁹⁵

Jeżeli pobiera się próbki z produktu jednorodnego, to wystarczy wykonać pojedyncze pobranie; jeśli natomiast próbki są substancjami niejednorodnymi (które można podzielić na niejednorodność przemijającą i trwałą), to należy zastosować dwie metody poboru próbek. Niejednorodność przemijająca często jest spowodowana niewystarczającym mieszanym produktem, co może prowadzić do tworzenia się w pobranej próbce: piany, sedymentacji lub krystalizacji, a w efekcie – do zmiany gęstości lub lepkości. Aby pozbyć się tych efektów, należy próbkę uprzednio wymieszać lub podgrzać. Niejednorodność trwała występuje często w powierzchniach lakierowych podzielonych na wiele faz złożonych substancji niemieszalnych czy wzajemnie nierozpuszczalnych. Jeśli trzeba pobrać taką substancję z małych pojemników, to należy użyć zgłębnika rurowego; jeżeli natomiast substancja jest w dużych pojemnikach, to należy pobrać co najmniej dwie próbki. Górną fazę należy pobrać czerpakiem, dolną – próbnikiem strefowym, a w razie trudności – butelką, bańką zanurzeniową lub przez zawór dolny, jeśli taki jest w pojemniku.^{96 97}

W przygotowywaniu próbek z dużego pojemnika należy uwzględnić stosunek objętości dwóch faz, tj. porównać objętość stosunku faz w pojemniku do gotowej próbki. Przed badaniem należy ją zmieszać w czystym suchym pojemniku, najlepiej wykonanym ze stali nierdzewnej. Potem należy natychmiast pobrać trzy równe próbki o objętości trzy- lub czterokrotnie większej od ilości potrzebnej do wykonania badań.⁹⁸ Wszystkie próbki

⁹² EN ISO 15528:2013, iso.org

⁹³ Skenderovska M, Minčeva-Šukarova B, Andreeva L Application of micro-Raman and FT-IR spectroscopy in forensic analysis of automotive topcoats in the Republic of Macedonia. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 27(1), 9-17. 2008

⁹⁴ Ma L., S. Low, J. Song, XX IMEKO World Congress 2012: Metrology for Green Growth, Busan, Republic of Korea, 2012.

⁹⁵ Wei D, Chen S, Liu Q Review of Fluorescence Suppression Techniques in Raman Spectroscopy. *Applied Spectroscopy Reviews* 50, 387-406. 2015

⁹⁶ Chochół A., Hornik S., Kaniewski J., Szakiel J., Teoretyczne podstawy próbobrania w kontroli jakości wyrobów przemysłowych. (Etap 1) Kraków, Akademia Ekonomiczna, 2000

⁹⁷ Zadora G Sposoby interpretacji danych pochodzących z badań fizykochemicznych [w:] Zięba-Palus J, Mikroślady i ich znaczenie w postępowaniu przygotowawczym i sądowym. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków. 2015

⁹⁸ Song J.F., Low S., Establishing a worldwide unified Rockwell hardness scale using standard diamond indenters, *Measurement*, Włochy, 1998, nr 24,

należy opisać zgodnie z samodzielnie określonymi regułami lub wymaganiami systemu. Etykiety na próbkach powinny zawierać co najmniej: nazwę handlową lub kod pobranej substancji, datę pobrania, numer próbki lub partii, miejsce pobrania, nazwisko pobierającego oraz oznakowanie znakami niebezpieczeństwa. Próbki powinny być przechowywane w hermetycznych pojemnikach, a gdy jest to niezbędne, powinny być chronione przed światłem, wilgocią lub innymi czynnikami zewnętrznymi, które mogą mieć wpływ na zmianę właściwości substancji. Próbki mogą być przechowywane przez czas ustalony w przepisach bezpieczeństwa.⁹⁹

Zgodnie z normą EN ISO 2808:2007 pomiary grubości powłoki obejmują następujące etapy: kalibrację przyrządu pomiarowego przez producenta bądź uprawnione laboratorium, sprawdzenie przyrządu pomiarowego, czyli określenie dokładności przez użytkownika w warunkach laboratoryjnych.¹⁰⁰ Przed każdą serią pomiaru następuje regulacja i kalibracja urządzenia pomiarowego. Aby uzyskać powtarzalność i odtwarzalność wyników, następane badanie, czyli też kalibrację, wykonuje się na specjalnie przystosowanych do tego płytkach o znanej grubości. We wszystkich metodach pomiaru mechanicznego grubości powłoki próbka badana znajduje się między urządzeniem pomiarowym a płytką.¹⁰¹ Do zbadania twardości powłok lakierowych niezbędna jest informacja o grubości danej powłoki poddanej badaniu.¹⁰²

Norma ISO 2808 wskazuje odpowiednio metodologię przygotowania próbki z określeniem grubości powłoki. Metody oznaczania grubości powłok mokrych i suchych można zaklasyfikować jako niszczące próbkę lub jej nieniszczące. Do oznaczania powłok mokrych służą: pomiar przyrządem grzebieniowym, pomiar przyrządem krążkowym, przyrządem tarczowym, metoda grawimetryczna lub metoda fototermiczna. Podczas pomiaru grubości powłok suchych oznacza się różnicę między całkowitą grubością (podłoże z powłoką) a grubością podłoża. Przy takim sposobie używa się mikrometru bądź przyrządu tarczowego. Aktualnie stosuje się dwa sposoby oznaczania grubości powłoki: metoda niszcząca przed usunięciem powłoki i po nim oraz nieniszcząca przed nałożeniem powłoki i po nim. Dzięki zastosowaniu głębokościomierza lub profilometru można bezpośrednio oznaczyć grubość powłoki: jest to różnica wysokości między powierzchnią odsłoniętego podłoża a powierzchnią powłoki. Do pomiaru powłok suchych mają zastosowanie takie urządzenia pomiarowe jak: mikrometr zewnętrzny, przyrząd do pomiaru grubości folii, przyrząd tarczowy zamocowany w statywie, głębokościomierz mikrometryczny czy skaner profilu powierzchni. W normie ISO 2808 opisano wszystkie możliwe metody stosowane do określania grubości powłok poddanych badaniu twardości.

⁹⁹EN ISO 3165:1995, iso.org

¹⁰⁰ Low S., Update: Working Group on Hardness, Tech. rep., BIPM 2015.

Li C. et al. Experimental study on rapid oscillation suppression of a pendulum using phase delay motion of pivot Mech. Syst. Signal Process. 2021

¹⁰¹ Martyna A, Michalska A, Zadora G Interpretation of FTIR spectra of polymers and Raman spectra of car paints by means of likelihood ratio approach supported by wavelet transform for reducing data dimensionality. Analytical and Bioanalytical Chemistry 407, 3357-3376. 2015

¹⁰² Zięba-Palus J, Trzcińska BM Study of pigments composition in paint traces by microspectrometric techniques. Problems of Forensic Sciences 89, 5-16. 2012

Tę normę wybrano do pełnego zastosowania podczas przygotowywania próbek do badania na potrzeby niniejszej rozprawy.¹⁰³

W normie ISO 1514 zawarto opis znormalizowanych płytek badawczych oraz szczegółowo – ich przygotowanie do badania. Norma ma zastosowanie do badania farb i lakierów. Aby poprawnie zastosować tę normę, niezbędne jest uzupełnienie jej o inne normy, a to:¹⁰⁴

- ISO 1268 Metody produkcji płytek do badań,
- ISO 2409 test cross-cut,
- ISO 2808 Określenie grubości powłoki,
- ISO 4287 Parametryzacja powierzchni,
- ISO 8336 podłoża z włókien cementowych – specyfikacja oraz metody badań,
- ISO 11949 ocynkowane elektrolitycznie na zimno płytki do badań,
- EN 520 płyty karton–gips: definicje, wymagania oraz metody badań,
- EN 622 płyty pilśniowe oraz ich specyfikacja,
- EN 1396 aluminium oraz stopy aluminium: blachy i taśmy ogólnego zastosowania – specyfikacja,
- EN 10205 blacha czarna, produkowana na zimno w zwojach, przeznaczona do produkcji blachy ocynowanej,
- EN 13523-1 metale powlekane – metody badań – grubość powłok,
- EN 13523-22 metale powlekane – metody badań – różnica kolorów, porównanie wizualne,
- EN 15283-2 płyty gipsowe wzmocnione włóknami: definicja, wymagania oraz metody badań,
- ISO 16245-1 kompozyty tworzyw sztucznych wzmocnione włóknami: deklaracja charakterystyki surowych materiałów, wymagania ogólne.^{105 106}

W normie ISO 16245-1 występują opisy różnych podłoży badawczych, jak: płytki stalowe, płytki z blachy ocynowanej, płytki z blachy pokrytej cynkiem lub stopem cynku, płytki aluminiowe, płytki ze stali lub aluminium powlekane metodą ciągłą, płytki z tworzyw sztucznych, płytki z kompozytu z tworzyw sztucznych wzmocnionego włóknem szklanym, płytki szklane, płyta pilśniowa twarda, płytki z płyty gipsowo-kartonowej i płytki z płyty gipsowej wzmocnionej włóknem, płytki z cementu wzmocnionego włóknem.¹⁰⁷

Norma ISO 1513:2010 zawiera metodologię sprawdzenia oraz przygotowania próbek pod względem badania 1522:2006/2008. Opisano w niej procedurę sprawdzenia

¹⁰³ EN ISO 2808:1997, iso.org

¹⁰⁴ Zhang Y. et al., Hybrids of CNTs and acrylic emulsion for the consolidation of wall paintings, Progress in Organic Coatings, USA, 2018, nr 124,

¹⁰⁵ Zhao Z.L. et al Vibration control of a pneumatic driven piezoelectric flexible manipulator using self-organizing map based multiple model Mech. Syst. Signal Process. 2016

¹⁰⁶ Martyna A, Zadora G, Neocleous T, Michalska A, Dean N. Hybrid approach combining chemometrics and likelihood ratio framework for reporting the evidential value of spectra. Analytica Chimica Acta 931, 34-46. 2016

¹⁰⁷ EN ISO 1514:2004, iso.org

pojedynczej i wielokrotnej próby. Dodatkowo zawiera metody uśredniania określające: poprawność przygotowania próbek dla serii reprezentatywnych, ilość dostaw czy całkowitą ilość dostępnych lakierów lub farb. Norma ta ma odwołania i uzupełnienia przez normy: ISO 4618 farby oraz lakiery – terminy i definicje oraz ISO 15528 farby, lakiery oraz surowce farb i lakierów – próbkowanie. Są one niezbędne jako uzupełnienie.¹⁰⁸

Wszelkie pojemniki na próbki muszą mieć własne oznaczenia. Nie mogą być uszkodzone czy nieszczelne. Jeżeli osoba sprawdzająca próbki ma wątpliwości co do poprawności przechowywania ich lub transportowania, to powinna taką próbkę odrzucić.¹⁰⁹ Jeżeli po otwarciu opakowania z próbką występuje na jej powierzchni kożuch, to należy to odnotować i opisać jego właściwości fizyczne: grubość, twardość, konsystencję. Taką próbkę najbezpieczniej jest odrzucić. Jeżeli jest to niemożliwe, to należy z pełną ostrożnością pozbyć się kożucha metodami fizycznymi. Jeżeli to niezbędne, to także ze ścian pojemnika. Jeśli nie ma możliwości fizycznego usunięcia kożucha, to należy próbkę przefiltrować.^{110 111}

Podczas pobierania próbki należy określić jej konsystencję, zanotować rozdzielanie na warstwy (o ile występuje), opisać występujące zanieczyszczenia oraz usunąć je, opisać klarowność oraz barwę (szczególnie w produktach zawierających rozcieńczalniki czy rozpuszczalniki), a także zanotować i opisać pojawiające się osady wraz z określeniem ich właściwości: zbrylenia, suche pyły, kruszenie podczas nacięcia itp.¹¹² W trakcie badań należy powstrzymać się od użycia próbek o niejednolitej konsystencji (żelowych) lub próbek z twardym suchym osadem. Podczas pobierania, przygotowywania i sprawdzania próbek należy szczególną uwagę zwrócić na opary i gazy często wydobywające się z opakowań farb lub lakierów i wszelkich zanieczyszczeń pojawiających się przy zamknięciu opakowania. Dodatkowo należy uważać na zawartość rozpuszczalników i zapewnić jak najmniejszy ich ubytek – wszystkie czynności wykonywać jak najszybciej, aby zmniejszyć parowanie. Nie należy doprowadzić do wystąpienia pęcherzy powietrza w mieszaninie. Przy próbkach z osadem należy całą ciecz przelać do innego czystego pojemnika odpornego na rozcieńczalniki i rozpuszczalniki (zależnie od składu badanej substancji) oraz przenieść w całości osadzony pigment szpatułką bądź szpachlą.¹¹³ Przelaną próbkę należy bardzo dokładnie wymieszać. Jeżeli występują problemy z wymieszaniem, należy użyć urządzenia wspomagającego. Po całkowitym wymieszaniu próbki i uzyskaniu jednolitej konsystencji uzyskaną ciecz należy przelać z powrotem do pierwotnego

¹⁰⁸ Zięba-Palus J *Badania lakierów samochodowych*, [w:] Kościelniak P, Piekoszewski W, *Chemia sądowa*, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych. 2002

¹⁰⁹ Niihara K.A., *vvv*, *J. Mater. Sci. Lett.* 1983, 2, 221-223

¹¹⁰ Paik B.G., Kim K.S. et al., *Test method of cavitation erosion for marine coatings with low hardness*, *Progress in Organic Coatings*, Republika Korei, 2018, nr 124,

¹¹¹ Mazerski J *Chemometria praktyczna - Interpretuj wyniki swoich pomiarów*. wyd. II. Wydawnictwo Malamut 2016

¹¹² Macdonald AM, Wyeth P *On the use of photobleaching to reduce fluorescence background in Raman spectroscopy to improve the reliability of pigment identification on painted textiles*. *Journal of Raman spectroscopy* 37, 830-835. 2006

¹¹³ Zięba-Palus J, Michalska A *Characterization of Blue Pigments Used in Automotive Paints by Raman Spectroscopy*. *Journal of Forensic Science* 59(4), 943-949. 2014

pojemnika. Bezpośrednio przed badaniem próbki należy upewnić się, czy występują pęcherzyki powietrza i czy uzyskano jednolitą konsystencję próbki.¹¹⁴

Podczas wielokrotnego pobierania próby można przeprowadzać badania zarówno na każdej z próbek oddzielnie, jak i na zmieszanej, ujednocionej próbce. Każda z dokładnie wymieszanych ciekłych próbek o jednolitej konsystencji i barwie, musi być pod obserwacją osoby pobierającej próbki do badań, aby zachować powtarzalność badań.¹¹⁵ Jeżeli bada się materiały sproszkowane, to próbkę należy umieścić w równych porcjach (np.: 0,5 kg, 1 kg) w nowym suchym czystym pojemniku. Można wtedy skorzystać z przegrodowego aparatu do pomniejszania próbek.^{116 117} Każdy pojemnik musi być oznaczony.¹¹⁸ Na etykietach próbek powinny się znaleźć następujące informacje: nazwa producenta, opis produktu, data produkcji, wielkość i szczegóły dostawy, miejsce poboru, data poboru, nazwisko osoby odpowiedzialnej za pobór, data mieszania, nazwisko osoby mieszającej próbkę, powołanie na normę ISO 1513.¹¹⁹ Jeżeli próbka będzie transportowana do innego laboratorium, to należy również przekazać wszelką dokumentację próbki lub partii próbek oraz protokół wstępnego sprawdzania.¹²⁰ Na protokole wstępnego sprawdzania zawarte są następujące dane: opis próbki, powołanie na normę ISO 1513, właściwości fizyczne (organoleptyczne) próbki, występowanie kożucha, sposób filtracji, występowanie osadu, sposób mieszania i ponownego wprowadzania do próbki oraz inne istotne obserwacje.¹²¹

Według normy ISO 1522:2006/2008 oznaczenia należy powtarzać trzykrotnie na danej próbce, w trzech różnych miejscach. Wahadło winno być opuszczane na próbkę do badania w sposób nieudarny. Przyrząd pomiarowy musi mieć ogranicznik pozwalający na zatrzymanie wahadła przy odpowiednim kącie wychylenia. Norma dopuszcza do przeprowadzania badania wyłącznie osobę wykonującą pomiar. Jest ona odpowiedzialna także za mierzenie czasu tłumienia wahadła stoperem ręcznym. Odchylenie wahadła ma się odbyć bez przesunięcia w bok. Należy również zapisać czas zmniejszenia amplitudy wahań odpowiednio dla wahadła Königa: 6–3°, a dla wahadła Persoza 12–4°. Należy również zapisywać wszystkie wyniki w zaokrągleniu do sekundy i średnio z każdej płytki – trzy powtórzenia. Stopień odtwarzalności oznaczany jako “R” dla wahadła Königa w normie 1522:2006/2008 wynosi 10 wahań. Jest to granica, w której przy zachowaniu takich samych warunków przez dwóch różnych operatorów odtwarzalność wyników wynosi 95%, a stopień powtarzalności oznaczany jako “r” wynosi 5 wahań. Jest to granica, w której przy zachowaniu takich samych warunków przez dwóch różnych operatorów powtarzalność

¹¹⁴ EN ISO 1513:1992, iso.org

¹¹⁵ Lee C.H. et al. Analysis of ball indentation Int. J. Mech. Sci. 1972

¹¹⁶ Urone P.P., Hinrichs R., College Physics 2e, OpenStax, USA, 2017, ISBN: 9781506698090

¹¹⁷ Massonnet G, Stoecklein w Identification of organic pigments in coatings: applications to red automotive topcoats. Part II: Infrared spectroscopy. Science & Justice 39(2), 135-140. 1999

¹¹⁸ Kim B.J., Yang H.S., Park Y.J., Shore hardness and tensile bond strength of long-term soft denture lining materials, The Journal of Prosthetic Dentistry, Korea, 2014, nr 112,

¹¹⁹ Van der Voort G.F. Metallography—Principles and Practice

¹²⁰ Yanikoglu N.et al., Effects of different solutions on the surface hardness of composite resin materials, Dental Materials, Japonia, 2009, nr 28,

¹²¹ EN ISO 1513:1992, iso.org

wyników wynosi także 95%. Dla wahadła Persoza granica powtarzalności r wynosi 3% wartości średniej pomiarów, a granica odtwarzalności R – 8% wartości średniej.¹²²

1.6. Charakterystyka materiału badawczego oraz prototypowego urządzenia badawczego

W celu przeprowadzenia badań prototypowym urządzeniem pomiarowym, wytypowano następujące środki powłokotwórcze. Przy wyborze powłok kierowano się tym, aby były wśród nich przedstawiciele różnych typów farb i lakierów. Wytypowano 12 produktów które ściśle wiązały się z założeniami możliwego oddziaływania środowiskowego - obniżona, podwyższona temperatura oraz oddziaływanie roztworu solnego. W celach porównawczych wytypowano także dwa lakiery do paznokci. W wytypowanych produktach znajdują się powłoki mające zastosowanie na zewnątrz jak i wewnątrz pomieszczeń, powłoki ochronne metali, powłoki żaroodporne czy delikatne farby kredowe. Wybrane produkty opisano poniżej.¹²³

1. **Produkt marki Dekoral, matowa farba lateksowa Voice of Color** o oznaczeniach: „5 lat trwałości koloru” oraz „odporna na zmywanie i szorowanie”. Jest to produkt przeznaczony do stosowania wewnątrz pomieszczeń, zarówno na ścianach, jak i na sufitach. Producent PPG Deco Polska Sp. Z o.o. (Rysunek 11).
2. **Produkt marki Beckers, matowa farba lateksowa Handsome** o oznaczeniach: „pierwsza klasa odporności na szorowanie na mokro” i „super krycie i wydajność”. Produkt przeznaczony do stosowania wewnątrz pomieszczeń na ścianach i sufitach, rekomendowana przez Polskie Towarzystwo Alergologiczne. Producent Tikkurila Polska SA. (Rysunek 12.).
3. **Produkt marki Beckers, matowa plamoodporna farba lateksowa Sea Breeze**, szczególnie polecana do stosowania w kuchniach i łazienkach. Zastosowano opisy: „skuteczna bariera dla wilgoci i tłuszczu”, „bardzo łatwe usuwanie zabrudzeń”. Produkt przeznaczony do stosowania wewnątrz pomieszczeń na ścianach i sufitach. Producent Tikkurila Polska SA. (Rysunek 13.).
4. **Produkt marki Dulux, matowa farba akrylowa szara** do ochronno-dekoracyjnego malowania elewacji i ścian zewnętrznych budynków. Technologia Weathershield tworzy powłoki wysoce odporne na trudne warunki pogodowe, zwłaszcza na negatywny wpływ środowiska oraz wnikanie wilgoci. Dystrybutor Akzo Nobel Decorative Paints Sp. Z o.o. (Rysunek 14.).
5. **Produkt marki LuxDecor Chalk it do stylizacji mebli, farba kredowa Seawaves**, do stylizacji i renowacji mebli, ma oznaczenia” hypoalergiczna, bezpieczeństwo

¹²²PN-EN ISO 1522:2008, Warszawa, 2008 s. 9-11

¹²³ Aitken CGG, Taroni F, Statistics and the evaluation of evidence for forensic scientists, Wiley and Sons, Chichester, 2004

zabawek, na bazie wody oraz minimum LZO. Polecana do stosowania na powłokach: PVC, MDF, metal, szkło, kamień i innych. Producent Unicell International Sp. Z o.o. (Rysunek 15.).

6. **Produkt marki Good Home „cuenca”**, farba wodna do metalu, aluminium, miedzi, żeliwa oraz stali, satynowa. W opisie: „prosto na rdzę”, „odporna na korozję, wodę i promieniowanie UV”, „szybkoschnąca”, „okres ochrony 8 lat”. Producent Kingfisher International Products B.V. (Rysunek 16.).
7. **Produkt marki Spectrum, High gloss Spray paint „High-gloss Gold”**. Szybkoschnący lakier akrylowy zewnętrzny oraz wewnętrzny do powierzchni: drewnianych, metalowych, aluminiowych, szklanych, kamiennych i tworzyw sztucznych. Oznaczenia: „In & outdoor”, „10 min quick dry”, „excellent protection”, „low odor”. Producent Fiets-o-fit (Rysunek 17).
8. **Produkt marki Vidaron, lakier nitrocelulozowy „bezbarwny połysk”**; przeznaczony do stosowania na zewnątrz i do wewnątrz. Oznaczenia: „po 25 min sucha w dotyku”, „meble”, „boazerie”, „balustrady”, „drzwi”, „tworzy trwałą powłokę”. Opis: „długotrwałe zabezpieczenie malowanej powierzchni”, „podwyższona odporność na ścieranie, zarysowania i uszkodzenia mechaniczne” oraz „doskonała rozlewność i przyczepność do podłoża”. Producent Śnieżka Trade of Colours sp. Z o.o. (Rysunek 18).
9. **Lakier do drewna marki Dragon, akrylowo-poliuretanowy**; zastosowanie wewnątrz pomieszczeń: drzwi wewnętrzne, meble i półki, boazerie i cokoły, listwy dekoracyjne, balustrady, podłogi; bezbarwny, delikatny połysk. Oznaczenie: „trwała powłoka”, „łatwa aplikacja”, „wysoka odporność na ścieranie”. Producent Dragon Poland (Rysunek 19)
10. **Produkt marki Śnieżka, srebrzanka żaroodporna silikonowa**. Opis: „odporna na wysoką temperaturę do 500°C”, „doskonale przyczepna do podłoża”, „szybko wysycha”, do dekoracyjno-ochronnego malowania elementów metalowych narażonych na ciągłe lub okresowe działanie podwyższonej temperatury. Głównie do układu wydechowego samochodów. Producent Śnieżka Trade of Colours (Rysunek 20).
11. **Lakier do paznokci marki Manhattan**; nitrocelulozowy, opisy: „szybkoschnący”, „chroni paznokcie przed pękaniem i łamliwością” oraz „trwałość do 10 dni”; producent Coty Germany GmbH Berliner Allee 65, 64295 Darmstadt (Rysunek 21).
12. **Lakier do paznokci marki Semilac**; opisy: „szybkoschnący”, „polski producent” „wysoka jakość”; producent Nesperta Europe Sp. Z o.o. (Rysunek 22).

Warto w tym miejscu określić substancje powłokotwórcze które mają bezpośredni wpływ na twardość otrzymanej powłoki lakierniczej. Skład powłokotwórczy poszczególnych produktów zgodnie z informacjami od producentów przedstawia się następująco:

1. dyspersja akrylowa (polimery akrylowe),
2. dyspersja lateksowa (akrylowa),
3. dyspersja lateksowa (akrylowa),
4. dyspersja akrylowa (polimery akrylowe),
5. dyspersja akrylowa (polimery akrylowe),
6. dyspersja akrylowa (polimery akrylowe),
7. żywica akrylowa,
8. nitroceluloza,
9. żywica akrylowa, żywica poliuretanowa,
10. spoiwo silikonowe,
11. nitroceluloza, żywica tosylamidowa/epoksydowa, kopolimer styrenu/akrylanów, poliwinyllobutyral, kopolimer kwasu adypinowego/ neopentyloglikolu/ bezwodnika trimelitowego, kopolimer sieciowany neodekanienu glicydyłu/ bezwodnika ftalowego/ TMP,
12. nitroceluloza, kopolimer akrylanów, poliester-23, kopolimer kwasu adypinowego/ fumarowego/ tricyklodekan dimetanolu, kopolimer kwasu adypinowego/ neopentyloglikolu/ bezwodnika trimelitowego.

Najszerszą listę substancji powłokotwórczych posiadają lakiery do paznokci. Jest to wymuszone wieloma czynnikami zewnętrznymi, którym muszą one sprostać. Takie kompozycje składu pozwalają na otrzymanie powłoki wytrzymałej, a jednocześnie stosunkowo odpornej na uszkodzenia mechaniczne. Większość z powłok posiadających akryl lub jego pochodne w głównej mierze różnią się ich ilością oraz substancjami dodatkowymi. Próbkki farb i lakierów oznaczono kolejno symbolami PB1, PB2, aż do PB12, co zaznaczono na rysunkach od 11 do 22.



Rysunek 11. Farba Dekoral „Voice of color” (PB1).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 12. Farba lateksowa Beckers „Handsome” (PB2).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 13. Farba lateksowa Beckers „Sea Breeze” (PB3).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 14. Farba Dulux, akrylowa szara (PB4).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 15. Farba LuxDecor „Chalk it” (PB5).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 16. Farba do metalu Good Home „cuenca” (PB6).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 17. Farba Spectrum High gloss „High-gloss gold” (PB7).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 18. Lakier Vidaron, lakier nitrocelulozowy „bezbarwny połysk” (PB8).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 19. Lakier do drewna marki Dragon, akrylowo-poliuretanowy (PB9).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 20. Srebrzanka żaroodporna silikonowa, marki Śnieżka (PB10).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 21. Lakier do paznokci Manhattan (PB11).

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 22. Lakier do paznokci Semilac (PB12).

Źródło: opracowanie własne

Wszystkie produkty powłokotwórcze wytypowano do badań po analizie ich właściwości deklarowanych przez producenta, przy czym nie brano pod uwagę nazwy producenta i pochodzenia produktu. Pod uwagę wzięto natomiast rodzaj i gatunek danej powłoki, a zwłaszcza rodzaj zastosowanego spoiwa.

Pierwszy produkt jest podstawową taną farbą do wykańczania wewnątrz; został wybrany ze względu na deklarowaną przez producenta trwałość nasycenia barwy i odporność w szerokim spektrum zastosowania.

Drugi z produktów wybrano dla jego porównania z powłokami innych producentów, którzy zadeklarowali podobne właściwości produktów. To porównanie umożliwi ocenę jakości produktu i jego zależność od producenta.

Trzeci produkt, zgodnie z deklaracją producenta, cechuje duża odporność na działanie wilgoci i tłuszczów. Po sprawdzeniu farby o podwyższonej odporności można ustalić, czy założenia producenta wpływają na końcową jakość produktu i jej twardość.

Czwarty produkt jest przeznaczony do zastosowania na zewnątrz budynków i uwzględniono w nim odporność na warunki atmosferyczne, w tym zmianę temperatury. Deklaracje z opakowania pozwalają sądzić, że uzyskana powłoka będzie miała wyższą odporność na warunki atmosferyczne, zwłaszcza na zmianę temperatury.

Piąty produkt powinien wykazywać szczególną odporność na ścieranie, można więc założyć, że charakteryzuje się dużą twardością. Produkty użytku codziennego pokryte farbą kredową są nieustannie narażone na tarcie i działanie czynników fizycznych podczas użytkowania. Określenie twardości tego produktu pozwoli na ocenę jakości powłok na przedmiotach użytku domowego pod działaniem zmiennej temperatury. Dodatkowo producent zapewnia o możliwości zastosowania na różnorodnych materiałach.

Szósty produkt ma, według producenta, właściwości wpływające korzystnie na jakość powłoki nałożonej na podłoże metalowe narażone na warunki atmosferyczne, fizyczne i chemiczne. Przedmioty pokryte tym produktem powinny odznaczać się bardzo wysoką odpornością na te czynniki. Sprawdzenie jej pozwoli określić, czy jakość lakierów tej kategorii można bezpośrednio łączyć z ich twardością.

Produkt siódmy ma zastosowanie w branży transportowej. Powłoki z tej kategorii mają zastosowanie do pokrycia elementów metalowych pojazdów transportu lądowego. Lakier tego typu stosuje się jako ochronę, ale i jako ozdobę. Ocena tej powłoki pozwoli określić jakość wykończenia, głównie zewnętrznego pojazdów lądowych.

Produkt ósmy ma zastosowanie do przedmiotów z drewna, użytkowanych wewnątrz i na zewnątrz, na podłożach użytkowych w obiektach służących do transportu wodnego; te lakier do drewna stosuje się do ochrony podłoża i poprawienia estetyki. Takie powłoki występują w branży morskiej, są w ciągłym kontakcie z wilgocią, solą i zróżnicowaną temperaturą otoczenia. Ocena lakieru pozwoli na określenie jakości powłok używanych głównie do ochrony powierzchni drewnianych.

Produkt dziewiąty ma właściwości zbliżone do produktu ósmego i zbliżone przeznaczenie. Podobnie jak przy produkcie pierwszym oraz drugim, produkt ten poddano badaniom w celu ustalenia zależności jakości powłok lakierów deklarowanej przez producenta.

Produkt dziesiąty, zgodnie z opisem podanym przez producenta, jest wysoce odporny na ekstremalną temperaturę (do 500°C). Odporność taka jest bardzo istotna przy

pokrywaniu elementów funkcjonujących w zmiennych temperaturach otoczenia. Określenie twardości tego typu powłok pozwoli na sprawdzenie powiązania twardości z odpornością temperaturową.

Produkt jedenasty, zgodnie z zapewnieniami, jest wyjątkowo odpornym lakierem do paznokci, zapewniającym długotrwałe utrzymanie koloru i połysku oraz odporność na uderzenia. Zgodnie z zapewnieniami producenta, lakier do paznokci Manhattan jest produktem wysoce odpornym na warunki zewnętrzne.

Produkt dwunasty jest również lakierem do paznokci o podobnych właściwościach deklarowanych przez producenta. W opisie możemy znaleźć następujące sformułowania: szybko schnący, intensywny kolor, wysoka twardość i odporność.

Lakiery do paznokci zostały wybrane z względu na bardzo szerokie spektrum narażenia na czynniki zewnętrzne. Są one wykorzystywane w niemalże wszystkich opisywanych w rozprawie środowiskach – zarówno w temperaturze obniżonej, podwyższonej jak i bywają narażone na roztwór solny podczas kąpieli w zbiornikach wodnych. W celu łatwiejszego przeglądu wykonanych badań oraz omówienia wyników utworzono tabelę zestawiającą wszystkie użyte produkty przyporządkowując im odpowiednie oznaczenia - Tabela 1.

Tabela 1. Zestawienie oznaczeń produktów poddanych badaniom.

Numer próbki	Nazwa próbki	Rodzaj powłoki	Substancja blonotwórcza
PB 1	Dekoral Voice of Color	Farba wodna wykończeniowa wewnątrz	dyspersja akrylowa (polimery akrylowe),
PB 2	Beckers Handsone	Farba akrylowa wewnętrzna do ścian i sufitów	dyspersja lateksowa (akrylowa)
PB 3	Beckers Sea Breeze	Farba akrylowa do kuchni i łazienek	dyspersja lateksowa (akrylowa)
PB 4	Dulux Weathershield	Farba akrylowa zewnętrzna do ścian i elewacji	dyspersja akrylowa (polimery akrylowe)
PB 5	LuxDecorChalk it Seawaves	Farba kredowa do stylizacji mebli	dyspersja akrylowa (polimery akrylowe)
PB 6	Good Home	Produkt marki Good Home „cuenca”, farba wodna do metalu, aluminium, miedzi, żeliwa oraz stali, satynowa.	dyspersja akrylowa (polimery akrylowe)
PB 7	Spectrum High gloss, “High-gloss gold”	Lakier akrylowy zewnętrzny oraz wewnętrzny do powierzchni: drewnianych, metalowych, aluminiowych, szklanych, kamiennych i tworzyw sztucznych.	żywica akrylowa
PB 8	Vidaron “bezbarwny połysk”	Lakier nitrocelulozowy przeznaczony do stosowania na zewnątrz i do wewnątrz.	nitroceluloza
PB 9	Dragon	Akrylowo-poliuretanowy, wewnętrzny, meble, listwy dekoracyjne, balustrady, podłogi, bezbarwny, delikatny połysk.	żywica akrylowa, żywica poliuretanowa,
PB 10	Śnieżka srebrzanka	Srebrzanka żaroodporna silikonowa, do 500°C”,	spoiwo silikonowe.

		dekoracyjno-ochronne malowanie elementów metalowych	
PB 11	Manhattan	Lakier do paznokci	nitroceluloza, żywica tosylamidowa/epoksydowa, kopolimer styrenu/akrylanów, poliwinyllobutyral, kopolimer kwasu adypinowego/ neopentyloglikolu/ bezwodnika trimelitowego, kopolimer sieciowany neodekalanu glicydylu/ bezwodnika ftalowego/ TMP
PB 12	Semilac	Lakier do paznokci	nitroceluloza, kopolimer akrylanów, poliester-23, kopolimer kwasu adypinowego/ fumarowego/ tricykloodekan dimetanolu, kopolimer kwasu adypinowego/ neopentyloglikolu/ bezwodnika trimelitowego

Źródło: opracowanie własne

1.7. Koncepcja rozwiązania problemu badawczego

Główne źródła informacji oraz metody badawcze dotyczące twardości powłok lakierowych są ściśle określone przez normę ISO 1522:2006. Norma ta w pełni określa metodologię badań wraz z zapleczem sprzętowym w celu zapewnienia poprawności testów. ISO 1522:2006 z założenia określa tylko stałe warunki otoczenia podczas testowania powłok lakierowych. Aby poszerzyć możliwości pomiarowe, symulowane będą warunki środowiskowe mające wpływ na twardość badanych powłok lakierowych (temperatura oraz wilgotność otoczenia). Działania te będą miały na celu weryfikację hipotez sformułowanych w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej. Dzięki zastosowaniu urządzeń cyfrowych, takich jak Arduino, będzie możliwe połączenie całego systemu i oprogramowania urządzenia pomiarowego wraz z odpowiednimi czujnikami i podzespołami elektroniki, po to, aby bezpośrednio przekazać dane w wersji elektronicznej do pamięci masowej kontrolera (karta SD) jak i urządzenia klasy PC. Takie działanie ułatwi pracę i zwiększy dokładność wykonywanych badań i pomiarów. Dla sprawniejszego i dokładniejszego przeprowadzenia zaplanowanego badania, urządzenie pomiarowe wyposażono w takie czujniki i urządzenia elektroniczne, jak: elektroniczny pomiar odległości; laserowy wskaźnik naprowadzania czujnika odległości; moduł Peltiera w celu regulacji temperatury próbki (schemat działania umieszczono na rysunku 2.1); czujniki wilgotności oraz temperatury otoczenia DHT; żyroskopy ułatwiające poprawne ustawienie urządzenia i określenie minimalnych przechyłów badanej próbki, a także serce całego urządzenia, czyli płytke rozwojową Arduino wraz z niezbędną klawiaturą i wyświetlaczem ułatwiającym odczytywanie oraz przeprowadzenie badań. Wszystkie podzespoły elektroniczne mają własne normy pomiaru, na podstawie których przeprowadzono wszelkie badania oraz obliczenia zawarte w rozprawie doktorskiej. Dzięki zastosowaniu elektroniki o wysokim stopniu dokładności zminimalizowano możliwość wystąpienia błędu przypadkowego, zwłaszcza błędu

ludzkiego.¹²⁴ Do skonstruowania urządzenia użyto stali nierdzewnej, kwasoodpornej i zastosowano elementy z twardych tworzyw sztucznych, nierdzewnych spoin na łączeniach, śrub oraz wkrętów nierdzewnych, elementu montażowego – silnego kleju polimerowego, uzupełnienia uszczelnienia masami silikonowymi lub pastami uszczelniającymi o podwyższonej elastyczności. Poziomowanie urządzenia pomiarowego odbywa się za pomocą ręcznie skręcanych nóg poziomujących z tworzywa sztucznego. Na nogach założono dodatkową blokadę kontruującą, która zapobiega nagłej zmianie położenia urządzenia pomiarowego. Wszelkie ustawienia urządzenia przed przystąpieniem do pomiarów muszą być sprawdzane elektronicznie (żyroskop poziomujący) i dodatkowo – organoleptycznie, po to, aby sprawdzić poprawność działania elektroniki za pomocą umieszczonej na urządzeniu libelki (przyrząd dwuwymiarowego poziomowania urządzenia).^{125 126}

Przed przystąpieniem do badań należy sterownikiem Arduino sprawdzić temperaturę i wilgotność otoczenia. Przy pierwszych badaniach próbki należy zawsze stosować wartości podane w normie ISO i przeprowadzić badania wahania obu wahań (Persoza oraz Königa) w celu określenia poprawności kalibracji statywu urządzenia oraz wahań. Jeżeli wszystkie wartości są zgodne, to można przystąpić do badań próbek. Przy wykonywaniu badań należy upewnić się, że: czujnik odległości jest prawidłowo skalibrowany (funkcją zaimplementowaną do mikroprocesora), prawidłowo jest ułożone wahadło przed badaniem (na elektronicznym mechanizmie opuszczania) i wyrównane względem wskaźnika kalibracyjnego zamontowanego przy słupie urządzenia. Te zabiegi eliminują do minimum możliwość popełnienia błęd pomiarowego. Wszelkie wyniki badań zostaną zapisane na komputerze klasy PC wyposażonym w program przeznaczony do archiwizacji danych pomiarowych lub na dołączonej karcie pamięci. Wszelkie dane zapisane są w postaci plików tekstowych i należy je przekształcić w dołączonym programie lub przez importowanie do pakietu Office, gdzie będą dalej obrabiane. Analiza danych pomiarowych powinna rozpocząć się od ich weryfikacji i sprawdzenia, czy nie pojawiły się błędy w postaci ponadnormatywnych odchyleń od średniej. Zastosowanie elektronicznego pomiaru odchylenia wahań pozwala na liniowe określenie jego położenia, co dodatkowo wpływa na zbadanie zmiany wartości twardości powłoki lakierowej względem zmian temperatury. Przy zastosowaniu przedstawionej metody można prześledzić bardzo dokładnie ruch wahań w różnych warunkach otoczenia (zmienna temperatura próbki czy wilgotność) oraz nakreślić jego charakterystyki tłumienia względem czasu. Zastosowanie takiej metody pozwoli na określenie twardości względnej powłok, które mogą być zależne od czynników atmosferycznych w zakresie ich wykorzystywania – wartości otoczenia

¹²⁴ Buzzini P, Massonnet G, Sermier FM The micro-Raman analysis of paint evidence in criminalistics: case studies. *Journal of Raman Spectroscopy* 37, 922-931 2006

¹²⁵ Chochół A., Czerniak J. Microprocessor Device for Testing of Lacquer Coat, Role of Science of Commodities in Quality Management in Knowledge Based Economy: VI international conference, Technical University of Radom, September 12-14, 2012, Radom, Poland: Commodity Science in XXI Century - Development and Barriers: Abstracts - Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB: Politechnika Radomska. Wydział Ekonomiczny, 2012, s. 14

¹²⁶ Su X. et al. Event-triggered fuzzy control of nonlinear systems with its application to inverted pendulum systems *Automatica*. 2018

niewynikające z użycia normy ISO, lecz mające wpływ na właściwości danej powłoki oraz jej zachowanie.

Reasumując dla przeprowadzenia badań mających zweryfikować postawione hipotezy badawcze skonstruowano specjalistyczne urządzenie pomiarowe będące modyfikacją urządzenia z normy ISO 1522:2006. W głównych założeniach konstrukcyjnych uzyskano znaczącą poprawę jakości oraz powtarzalności badań względem rozwiązań aktualnie stosowanych i zgodnych z normą ISO, wraz z bezpośrednim określeniem sinusoidalnego przebiegu wahania, a w następstwie – dokładniejszą ocenę twardości powłoki badanej próbki. Dodatkowo urządzenie charakteryzuje się prostą konstrukcją, mobilnością oraz dodatkowymi funkcjami takimi jak: możliwość regulacji temperatury podłoża próbki (przy temperaturze dodatniej wyższej od temperatury otoczenia).¹²⁷ Norma ISO 1522:2006 w obecnej postaci jest przestarzała, nie wprowadzono do niej żadnych innowacyjnych, a przede wszystkim nowoczesnych rozwiązań technologiczno-technicznych pozwalających na poprawę wielu aspektów jakości badań. Zastosowanie czujników elektronicznych (czujniki: odległości, magnetyczne, temperatury, wilgotności, wychylenia i poziomu) pozwoli na dokładne określenie wartości otoczenia próbki, położenia urządzenia pomiarowego, określenie stopnia błędu pomiarowego czy dokładne wyliczenie wahań wahadeł Kőeniga i Persoza. Oprócz samych czujników w urządzeniu zastosowano różne rodzaje elektronicznych podzespołów ruchomych (serwomechanizmy), teleskopów elektronicznych, wentylatorów oraz ogniw Peltiera podgrzewających próbki i schładzających je. Ponadto zastosowanie mikrokomputera jednokładowego Atmel i oprogramowania napisanego w środowisku Arduino pozwala na uzyskanie pełnej kontroli nad wszelkimi podzespołami elektronicznymi wraz z bezpośrednim (za pomocą komputera klasy PC) lub pośrednim (karta pamięci) dostępem do danych. Wykonane i wykorzystane w badaniach prototypowe urządzenie przedstawia Rysunek 23.^{128 129}

Kalibracja urządzenia i wykonywanie pomiarów prowadzono za pomocą interfejsu użytkownika: klawiatury numerycznej i wbudowanego ekranu lub bezpośrednio w komputerze klasy PC wyposażonym w odpowiedni program sterujący i archiwizujący dane pomiarowe – ArduinoIDE. Konstrukcję urządzenia wykonano z blachy nierdzewnej 3 mm (odpornej na warunki atmosferyczne i uszkodzenia mechaniczne) zapewniającej stabilność podczas pomiarów. Zastosowanie w większości podzespołów materiałów odpornych na nierzadko agresywne (sole) warunki otoczenia pozwolą na zachowanie powtarzalności wyników badań oraz trwałości urządzenia. Zastosowanie otwartego systemu programowania oraz modułowej budowy urządzenia i samej elektroniki pozwala na konfigurowanie, ulepszanie, dostosowywanie oraz unowocześnianie zarówno programu urządzenia, jak i poszczególnych podzespołów w zależności od potrzeb, tak aby nadać za

¹²⁷ Gandhi P.S. et al. Energy shaping control of an inverted flexible pendulum fixed to a cart Control Eng. Pract. 2016

¹²⁸ Chu W. et al. An active continuous control method and its experiment on the rapid suppression of inverted pendulum structure oscillation J. Sound Vib. 2022

¹²⁹ Stanimiriva I, Daszykowski M, Walczak B Metody uczenia z nadzorem – kalibracja, dyskryminacja i klasyfikacja. (In) Zuba D, Parczewski a (Eds.), Chemometria w analityce – wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie. 2008

rozwojem elektroniki. Łatwość rozkładania oraz składania pozwala na zachowanie mobilności i łatwy transport. Modułowa budowa to zarówno zalety, które wymieniono wcześniej, jak i wady. Przykładową wadą jest konieczność sprawdzania czy urządzenie jest prawidłowo skalibrowane przed każdym badaniem. Czynności te wykonywane są przy użyciu nowoczesnych podzespołów elektronicznych, które bardzo upraszczają proces kalibracji. Jedną z najistotniejszych wartości kalibracji jest stabilizacja urządzenia, gdyż ma to bezpośredni wpływ na pracę wahadła. Wspomniana modułowa budowa urządzenia pomiarowego zezwala na szybką i bezproblemową wymianę podzespołów elektronicznych w razie usterki. Podzespoły elektroniczne zastosowane w urządzeniu są stosunkowo tanie i łatwo dostępne, dlatego w każdym momencie można dokonać niezbędnych napraw i modyfikacji elektroniki. W zestawie z urządzeniem pomiarowym znajdują się szklane płytki do badań z wypolerowaną powierzchnią, dwa wahadła (Königa oraz Persoza), osłona chroniąca przed ruchem powietrza wykonana z tworzywa sztucznego, regulowane nogi urządzenia, kable zasilające, dodatkowe urządzenie (kątomierz techniczny) sprawdzające wartości wychYLENIA oraz przyrząd dodatkowo sprawdzający położenie urządzenia. W celu obrazowania wyników badań należy zapamiętać zależność ilości ruchów wahadła względem twardości powłoki. Wyższa wartość wychYLENIA wahadła oraz długi czas tłumienia oznacza wysoką twardość powłoki lakierowej, natomiast mała ilość wychYLENIA oraz krótki czas tłumienia oznacza niską twardość powłoki lakierowej. Wartości twardości powłok przeliczane są z ilości odchyLENIA wahadła. Wszystkie obliczenia względem twardości powłok i szczegółowe omówienie znajduje się w rozdziale 3. Badania wykonane w niniejszej pracy zostały przeprowadzone za pomocą wahadła Königa z względu na twardość wykorzystanych powłok.^{130 131}

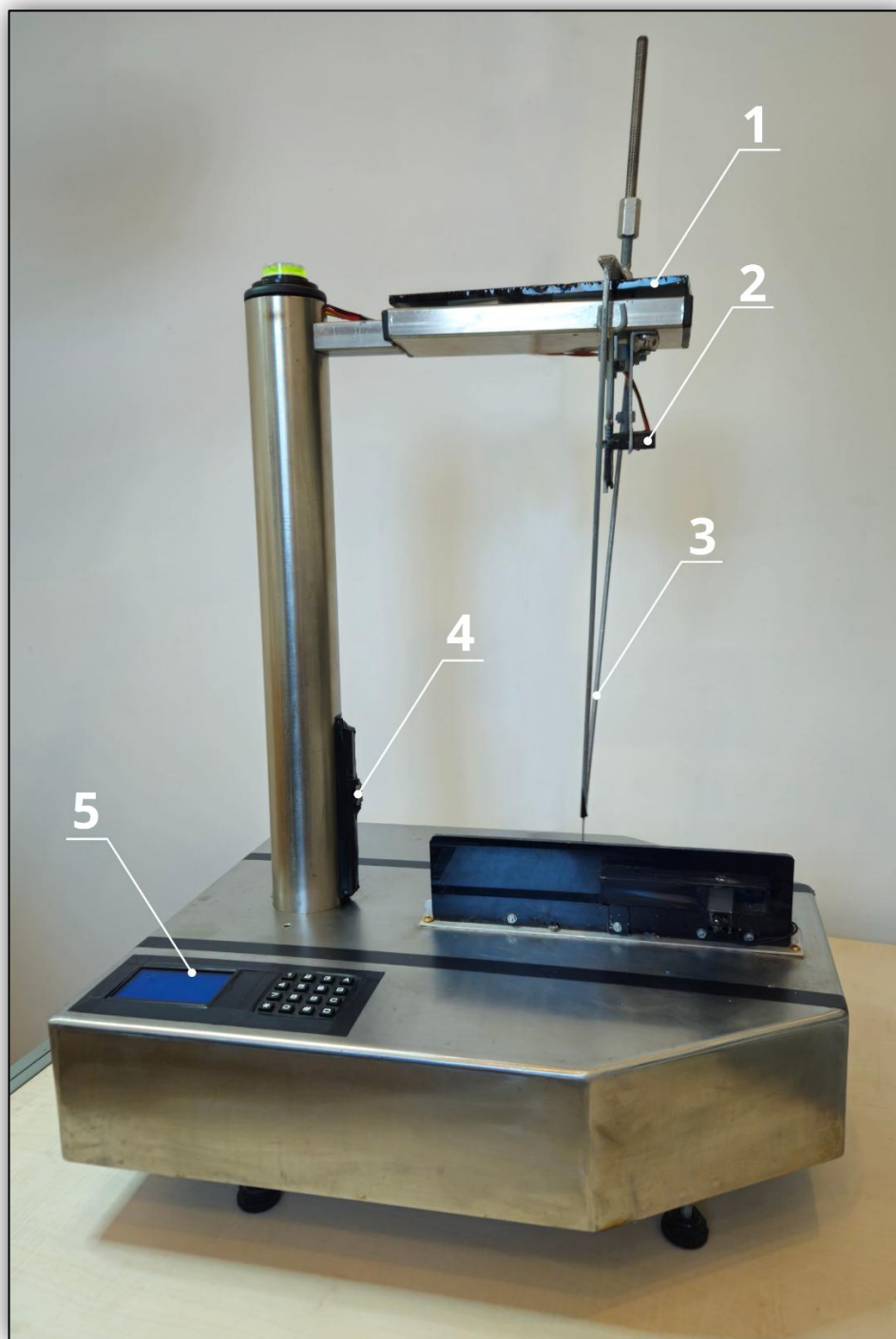
Po badaniu w otoczeniu normatywnym przygotowano prototypowe urządzenie pomiarowe do badań w temperaturze podwyższonej. Ustalono ją na 60°C, czyli o 39°C więcej niż temperatura normatywna. Wartość temperatury podwyższonej wybrano przez określenie możliwości technicznych ogniw Peltiera oraz specjalnie przygotowanego zasilacza laboratoryjnego z regulacją napięcia i natężenia prądu. Temperaturę próbek mierzono czujnikiem temperatury umieszczonym bezpośrednio na środku płytki szklanej z próbką. Wilgotność powietrza pozostawała w przedziale normatywnym 44–55% wilgotności względnej, gdyż początkowym założeniem jest zmiana wartości temperatury bez zmiany innych warunków otoczenia. Powyższe działania pozwalają na osiągnięcie warunków opisanych w normie ISO 1522:2006, odpowiednich do przeprowadzenia badania. W takich samych warunkach przeprowadzana jest kalibracja urządzenia pomiarowego i wahadeł: Persoza oraz Königa. Wykonuje się ją na czystych szklanych płytkach, co prowadzi także do uzyskania wartości stałej szklanej potrzebnej do określenia pośrednio twardości powłoki lakierniczej.^{132 133}

¹³⁰ Franco E. et al. Robust balancing control of flexible inverted-pendulum systems Mech. Mach. Theory. 2018

¹³¹ Shabel B.S. et al. a new procedure for the rapid determination of yield and tensile strength from hardness tests

¹³² Gritli H. et al. Robust feedback control of the underactuated Inertia Wheel Inverted Pendulum under parametric uncertainties and subject to external disturbances: LMI formulation J. Franklin Inst. 2018

¹³³ Zięba-Palus J, Wąs-Gubała J An investigation into the use of micro-Raman spectroscopy for the analysis of car paints and single textile fibre. Journal of Molecular Structure 993, 127- 133. 2011



Rysunek 23. Prototypowe urządzenie badawcze. 1 – podstawa wahadła wraz z miejscem na próbkę badawczą, 2 – mechanizm bez udernego opuszczania wahadła, 3 – wahadło Königa, 4 – czujnik odległości wychylenia wahadła, 5 – interfejs użytkownika.

Źródło: opracowanie własne

2. CZĘŚĆ EMPIRYCZNA

W części empirycznej przedstawiono szereg badań, które wykonane zostały dla osiągnięcia głównych celów oraz hipotez badawczych rozprawy. W pierwszej kolejności przeprowadzono wprowadzające badania ankietowe. Po ich wykonaniu rozpoczęto badania kalibracyjne względem wykorzystanego wahadła, jak i próbek szkła (stałej szklanej). W następnej kolejności przeprowadzono badania zgodne z wytycznymi normy ISO 1522:2006/2008, ale w obniżonej temperaturze do -2°C , w temperaturze podwyższonej do 60°C oraz badania po oddziaływaniu na próbki roztworów NaCl o stężeniu 3,5% oraz 10% w różnym czasie.¹³⁴

2.1. Badania ankietowe

Przed przystąpieniem do badań technicznych różnych powłok przeprowadzono badania ankietowe. Ich celem było określenie stopnia istotności problemu badawczego oraz poznanie opinii w zakresie potrzeby modyfikacji metody badawczej. Badania ankietowe trwały 14 miesięcy. Uzyskano odpowiedzi od 240 respondentów znających tematykę przemysłu lakierowego.

Podczas przygotowywania badań ankietowych respondentom zadano następujące pytania:

- Czy wie Pan/Pani, co oznacza twardość powłok lakierowych?
- Jak istotna jest dla Pani/Pana twardość powłoki lakierowej?
- Czy podczas wyboru produktów zwraca Pani/Pan uwagę na powłokę lakierową?
- Który z czynników jest dla Pani/Pana istotny podczas wyboru produktu pokrytego powłoką lakierową? (barwa, połysk, grubość, wytrzymałość fizyczna, wytrzymałość chemiczna, elastyczność, skład chemiczny, kraj pochodzenia, twardość, jakość krycia, pojemność opakowania).
- Czy często zwraca Pani/Pan uwagę na jakąkolwiek właściwość powłoki lakierowej?
- Czy zwraca Pani/Pan uwagę bezpośrednio na twardość powłoki lakierowej?
- Czy Pani/Pana zdaniem właściwości powłoki lakierowej są kluczowe względem jakości danego produktu?
- Czy Pani/Pana zdaniem twardość powłoki lakierowej może wpłynąć bezpośrednio na zakup danego produktu?
- Czy Pani/Pana zdaniem twardość powłoki lakierowej może wpłynąć bezpośrednio na użyteczność produktu?
- Czy Pani/Pana zdaniem twardość powłoki lakierowej wpływa na długość życia produktu?
- W których dziedzinach Pani/Pana zdaniem należy zwrócić szczególną uwagę na wartości twardości powłok lakierowych?

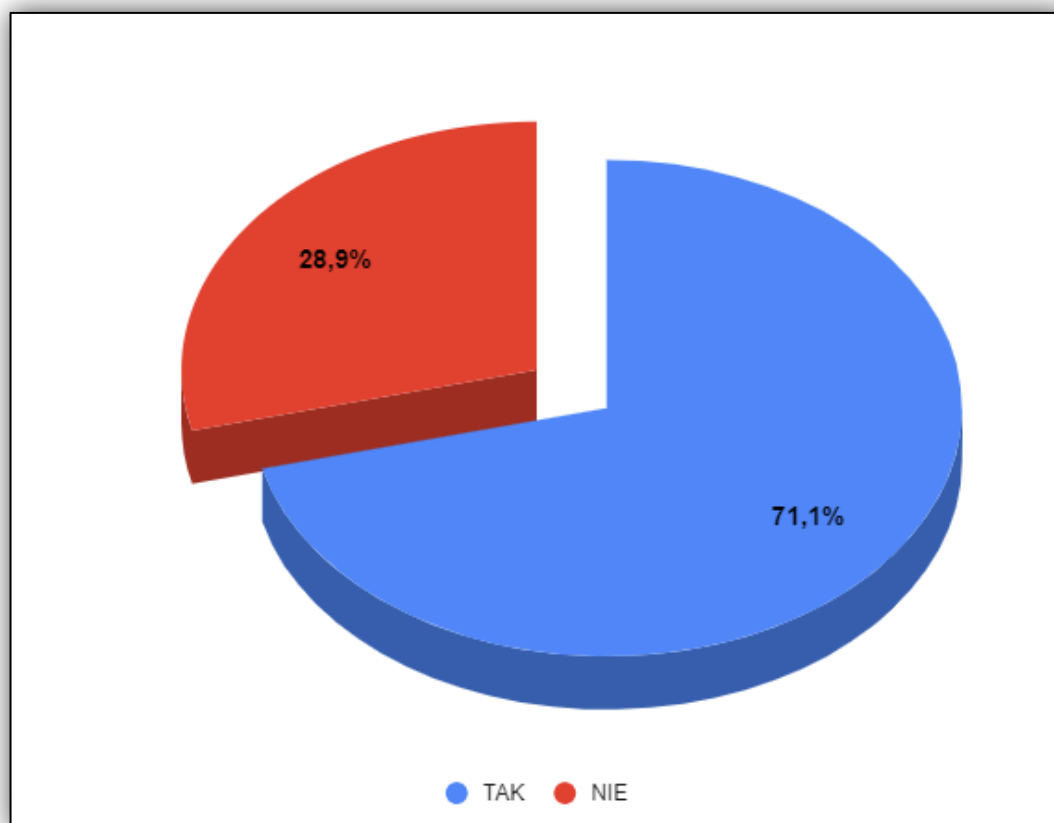
W badaniach na samym końcu została umieszczona klasyczna metryczka respondenta wraz z pytaniami o płeć, wiek, wielkość miejsca zamieszkania, wykształcenie,

¹³⁴ Zięba-Palus J, Michalska A Photobleaching as a useful technique in reducing fluorescence in Raman spectra of blue automobile paint samples. *Vibrational Spectroscopy* 74, 6-12 2014

stan cywilny, rodzaj gospodarstwa domowego. Po ukończeniu badania, każdy z respondentów miał możliwość umieszczenia uwag do ankiety. W badaniu zastosowano skale: nominalną, dychotomiczną, zbalansowaną, Likerta oraz semantyczne.¹³⁵

2.2. Analiza badań ankietowych

Na pytanie o znajomość pojęcia twardości powłok lakierowych zdecydowana większość respondentów (71%) udzieliła odpowiedzi twierdzącej, natomiast 29% – przeczącej. Na podstawie tych odpowiedzi można założyć, że odpowiedzi badanych w dalszej części ankiety (Rysunek 24.) powinny być rzetelne w związku z deklarowaną znajomością tematyki.



Rysunek 24. Czy wie Pan / Pani, co to jest twardość powłoki?

Źródło: opracowanie własne

W ankiecie zapytano o najważniejsze dla respondentów kryteria powłok lakierowych; było to pytanie wielokrotnego wyboru (maksymalnie 3 odpowiedzi na 11 kryteriów). Za najważniejsze respondenci uznali: połysk – 165 odpowiedzi, jakość krycia – 159, barwę – 155 oraz odporność fizyczną – 143. Następnie malejąco uporządkowano: twardość – 110 odpowiedzi, odporność chemiczną – 91, grubość – 90, elastyczność – 63

¹³⁵ Chochół A., Hornik S., Kaniewski J. Analiza wyróżników kryterialnych dla wybranych artykułów przemysłowych w oparciu o badania preferencji konsumenckich Kraków, Akademia Ekonomiczna, 1999

oraz: skład chemiczny, kraj pochodzenia i pojemność opakowania – wszystkie po 48 odpowiedzi (Rysunek 25.).



Rysunek 25. Ważność kryteriów powłok lakierowych.

Źródło: opracowanie własne

Analiza histogramu przedstawionego na rysunku 24 dowodzi, że najważniejsze dla respondentów były: połysk, który wskazało 68,3% respondentów, oraz jakość krycia – 65%, w środku znalazły się twardość i wytrzymałość chemiczna, a najmniejszą wagę przykładano do składu chemicznego, pojemności opakowania produktu oraz kraju produkcji. Następnie podjęto badania, które miały na celu sprawdzenie najważniejszych kryteriów wskazanych przez respondentów.

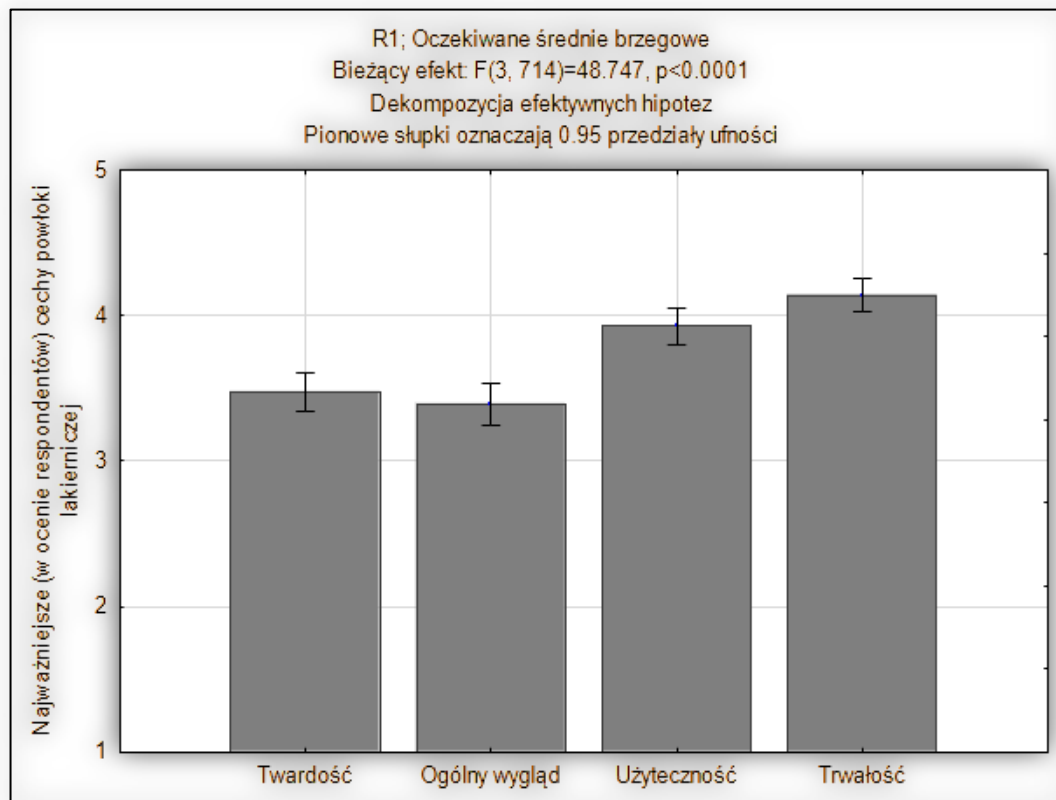
Niemal 50% ankietowanych zwraca uwagę na właściwości powłok lakierowych, natomiast 32% nie przywiązuje do nich uwagi. Prawie 37% respondentów stwierdza, że raczej zwraca uwagę bezpośrednio na twardość powłoki lakierniczej przy wyborze produktu, a 28% wybrało odpowiedź „trudno określić”.

Dla większości osób uczestniczących w badaniu ankietowym (prawie 65%) twardość powłoki lakierowej bezpośrednio wiąże się z jakością produktu. Taką ocenę potwierdzono w odpowiedzi na pytanie o kryteria powłoki lakierowej wpływające na decyzję o zakupie – 67% uczestników badania stwierdziło, że istnieje bezpośredni związek twardości powłoki lakierowej z decyzją o jej zakupie.

W kolejnym pytaniu respondenci wypowiedzieli się na temat użyteczności produktu i 65% z nich wskazało bezpośredni związek twardości z użytecznością. Podobny wynik odnotowano przy pytaniu o zależność długości życia produktu i twardości powłoki

lakierowej – blisko 78% zgadza się z pozytywnym wpływem twardości na długość życia produktu.

W ankiecie zapytano o najważniejsze cechy powłoki lakierowej, takie jak: twardość, ogólny wygląd, użyteczność i trwałość (Rysunek 26.).



Rysunek 26. Istotność wybranych cech powłok lakierowych w ocenie ankietowanych.

Źródło: opracowanie własne

Dla większości respondentów najważniejszym kryterium charakteryzującym powłoki lakierowe była trwałość, a najmniejszą wagę przywiązywali do jej ogólnego wyglądu. Efekty główne analizy wariancji przedstawione na rysunku 28 są istotne statystycznie $F(3, 714)=48,747 p<0,0001$. W celu sprawdzenia istotności różnic pomiędzy poszczególnymi średnimi w obrębie danej serii przeprowadzono test post-hoc (NIR-Fishera, Tabela 2. Test NIR-Fishera sprawdzający istotność różnic między średnimi dla pytań o istotne cechy powłok lakierowych.), co potwierdziło istotne statycznie zróżnicowanie pomiędzy niemal wszystkimi kryteriami. Niezróznicowane w stosunku do siebie są oceny twardości i ogólnego wyglądu powłok lakierowych.

Tabela 2. Test NIR-Fishera sprawdzający istotność różnic między średnimi dla pytań o istotne cechy powłok lakierowych.

Nr	Test NIR*				
	R1	{1} 3,4770	{2} 3,3933	{3} 3,9289	{4} 4,1423
1	twardość	–	0,250279	0,000000	0,000000
2	ogólny wygląd	0,250279	–	0,000000	0,000000
3	użyteczność	0,000000	0,000000	–	0,003453
4	trwałość	0,000000	0,000000	0,003453	–

*zmienna DV_1 (powłoki lakiernicze do *statisticy* ustawione pod *statistikę.sta*); prawdopodobieństwa dla testów *post-hoc*; błąd: MS powt. pomiarów = 0,63209, df = 714,00

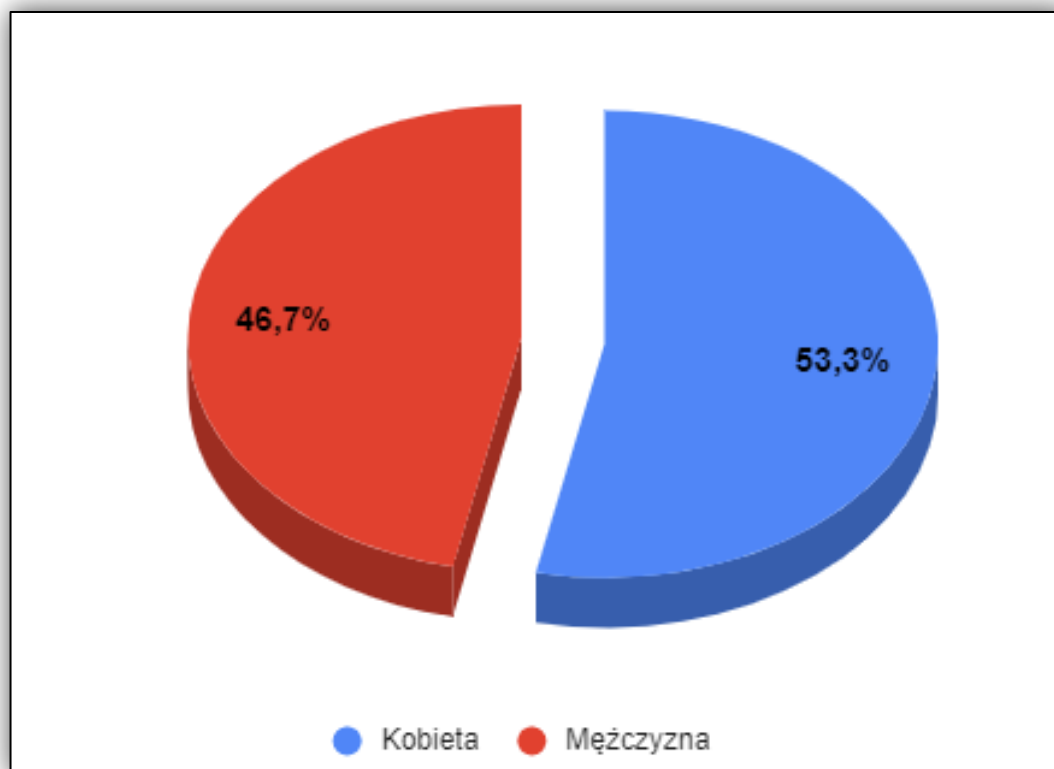
Źródło: opracowanie własne

W ankiecie wzięło udział 240 respondentów obu płci, w różnym wieku (Rysunek 27. Rysunek 27. Struktura wieku respondentów.), o różnym wykształceniu i pochodzeniu: 112 mężczyzn i 128 kobiet (Rysunek 28.). Wśród badanych przeważały osoby w wieku od 18 do 35 lat (Rysunek 27.). Ankietowani prezentowali pełne spektrum wykształcenia (Rysunek 29.).



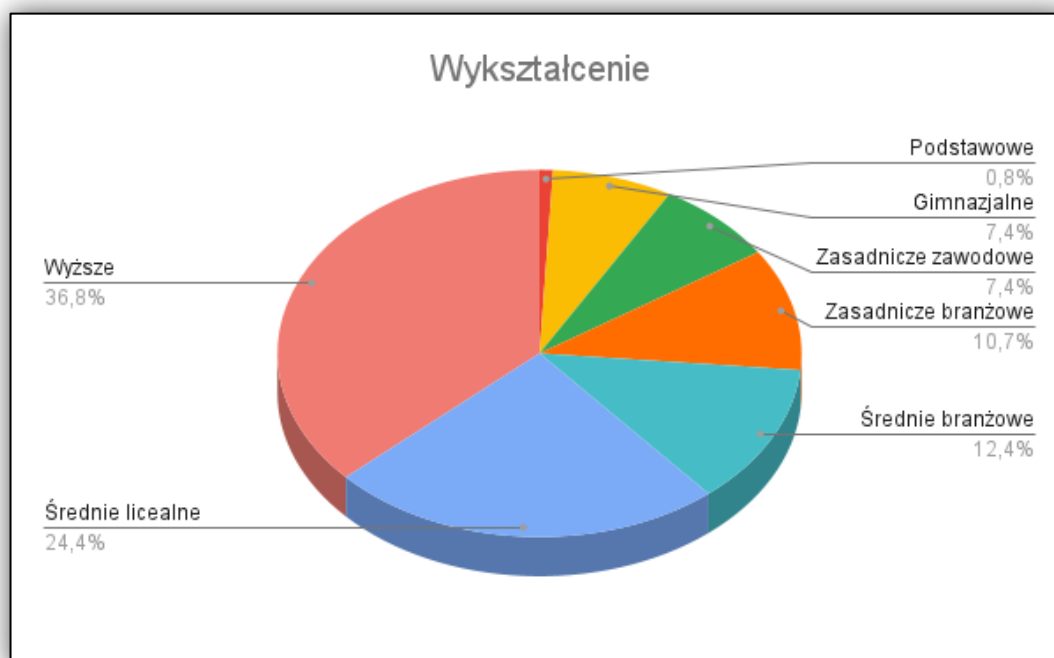
Rysunek 27. Struktura wieku respondentów.

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 28. Struktura płci ankietowanych.

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 29. Wykształcenie respondentów – przedstawienie ilościowe.

Źródło: opracowanie własne

Przeprowadzone badania ankietowe pozwoliły na określenie ważności poruszanego problemu badawczego. Można wnioskować, że większość konsumentów zwraca uwagę na twardość powłoki lakierowej i może być ona czynnikiem determinującym wartość użytkową danego produktu, a co za tym idzie – jego wybór. Część z respondentów nie spotkała się z pojęciem twardości powłok lakierowych.

2.3. Badania wprowadzające

W rozdziale tym przedstawiono badania wprowadzające dotyczące przetestowaniu twardości powłok wybranych próbek względem wytycznych norm oraz określenia ich twardości (na podstawie ilości wahnąć wahadła oraz czasu tłumienia) w warunkach normatywnych, to znaczy w warunkach ściśle określonych przez normę ISO 1522 (temperatura oraz wilgotność).

2.3.1. Kalibracja urządzenia oraz wstępne badania

Aby określić jakość przeprowadzanych badań za pomocą prototypowego urządzenia pomiarowego zdecydowano, aby w pierwszej kolejności upewnić się, że kalibracja jest prawidłowa. Do kalibracji prototypowego urządzenia pomiarowego wykorzystywane także są proste przyrządy pomiarowe, jak: libella, termometr czy higrometr. Po wstępnej kalibracji klasycznymi metodami następuje kalibracja przez układy elektroniczne wbudowane w urządzenie.

Drugą czynnością jest prawidłowe poziomowanie urządzenia przez wyregulowanie jego wysokości w czterech punktach nastawnymi stopami. Prawidłowe ustawienie sprawdzano libellką umieszczoną przy wysięgniku na badane próbki. Każde odchylenie od pionu wpływa na jakość i poprawność parametrów. Wartości równowagi zapisuje się w oprogramowaniu urządzenia przez wbudowany żyroskop. W ten sposób uzyskuje się późniejszą automatyczną kalibrację położenia.¹³⁶

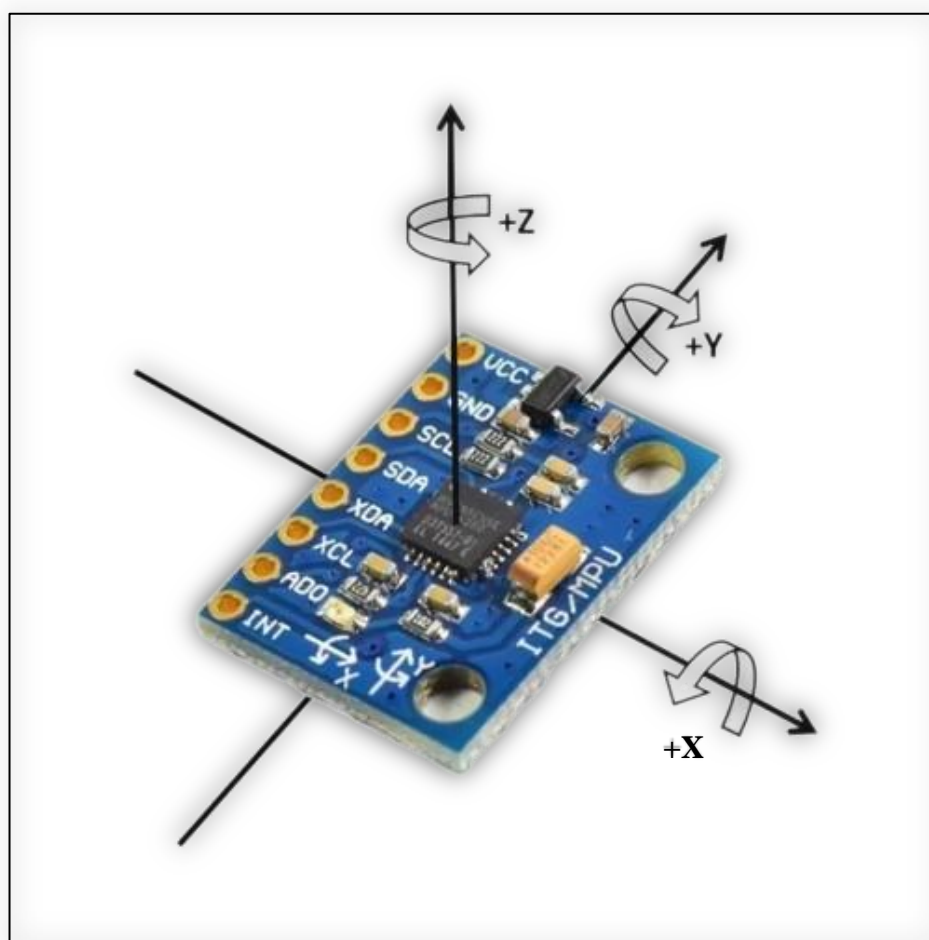
Przed rozpoczęciem badania z zastosowaniem układu elektronicznego urządzenia pomiarowego należy zaznajomić się z wartościami prawdopodobnego błędu pomiarowego modułów (ocena dokładności czujników). W urządzeniu zastosowano następujące czujniki:

- laserowy czujnik odległości z układem VL53L0X, częstotliwość próbkowania 33 ms obarczone błędem pomiarowym nie wyższym niż 3% wartości odległości;
- elektromagnetyczny czujnik pozycyjny 2SS52M o czasie reakcji nie wyższym niż 0,2 μ s, wzbudzeniu od 4 stopni w skali Gaussa z maksymalną odpornością do 25 stopni Gaussa;
- czujnik temperatury oraz wilgotności DHT22 z częstotliwością próbkowania nie wyższą niż 2 s. Wartości pomiaru temperatury w zakresie -40–80°C o dokładności 0,1°C oraz maksymalnym błędem pomiaru wynoszącym $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Wartości pomiaru wilgotności znajdują się w zakresie 0–100% wilgotności rzeczywistej o dokładności 0,1% oraz maksymalnym błędem pomiaru wynoszącym $\pm 1\%$.

¹³⁶ Endo T. et al. Bending moment-based force control of flexible arm under gravity Mech. Mach. Theory. 2014

- Żyroskop o układzie MPU6050 (Rysunek 30.) i częstotliwości próbkowania ponad 30 Hz w każdej z trzech płaszczyzn. Czujnik umożliwia śledzenie zmiany kąta w każdej z płaszczyzn dla przedziału zmiany od 250 do blisko 2000°/sec. Maksymalna wartość błędu pomiarowego wynosi 2%.
- Ogniwo Peltiera TEC1-12715 z możliwością zmiany temperatury o, co najwyżej 70°C różnicy względem temperatury otoczenia. Reguluje się je za pomocą przyłożonego do niego napięcia oraz natężenia prądu. (Rysunek 31.).

Pozostałe podzespoły ruchome nie wpływają na wyniki badania. Zaliczamy do nich: serwomechanizmy MG90S, silniki krokowe 28BYJ-48, wentylatory 12 V o średnicy 8 cm, tłoczki elektromagnetyczne JF-0530B oraz ultrasoniczny moduł odległościowy HC-SR04.

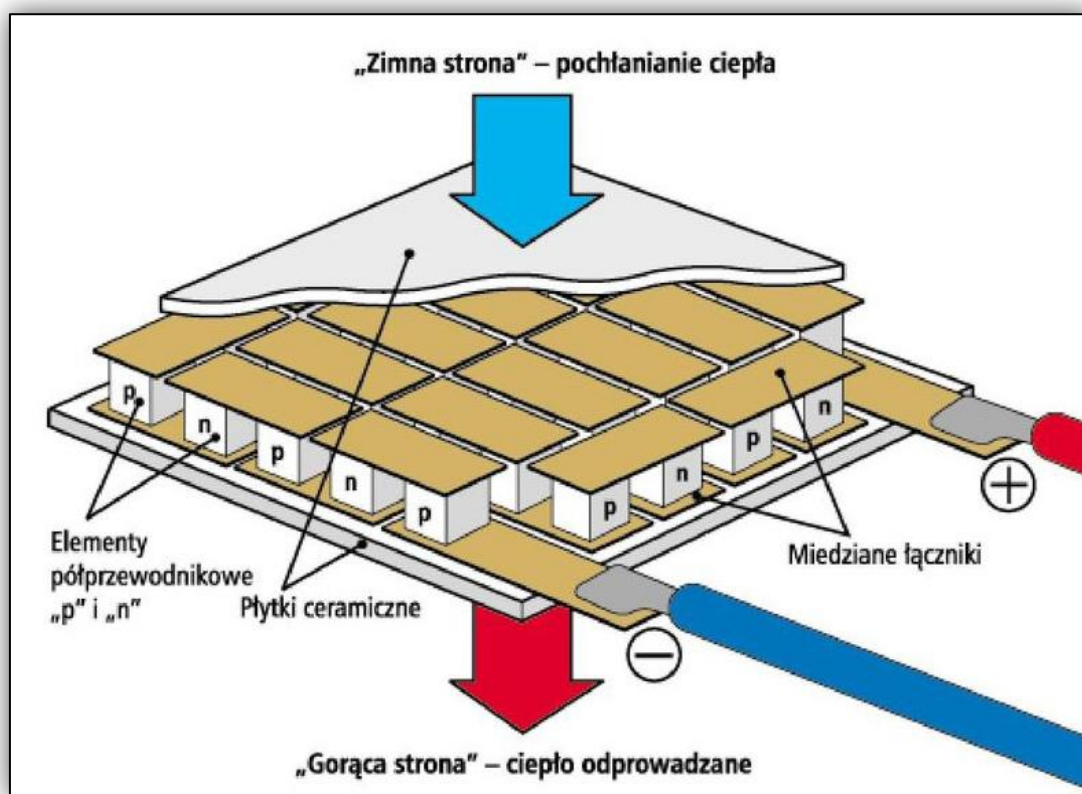


Rysunek 30. Schemat układu do kalibracji położenia opartego na układzie MPU6050.
Gdzie: X, Y, Z - osie przestrzeni

Źródło: własne na podstawie rysunku technicznego: sklep m.n11.com [dostęp 31.01.2024]

Następnie przystępuje się do określenia wartości temperatury otoczenia oraz wilgotności względnej. W badaniach zgodnych z normą ISO 1522:2006 temperatura otoczenia winna zawierać się w przedziale 21–25°C, a wartość wilgotności względnej 45–55%. Każde odchylenie od tych wskazań wpływa bezpośrednio na wyniki. Aby uzyskać

stabilne otoczenie, należy wykorzystać specjalną osłonę dołączoną do urządzenia, tworzącą barierę między otoczeniem zewnętrznym a miejscem przeprowadzania badania. Osłona wykonana jest z wytrzymałych transparentnych materiałów pozwalających na bardzo dobrą widoczność i utrzymywanie parametrów na właściwym poziomie. Wartości temperatury i wilgotności monitorowane są na bieżąco przez moduł elektroniczny zawierający termometr i higrometr DHT22. Przy pierwszej kalibracji wartości wskazywane przez urządzenie należy porównać ze wskazaniami klasycznego termometru i higrometru.¹³⁷



Rysunek 31. Schemat działania ogniwa Peltiera.

Źródło: Ogniwo Peltiera quick-cool realizacja chłodzenia, produkcja prądu, Radioelektryka.prv.pl [dostęp 31.10.2024].

Wstępna kalibracja urządzenia jest przeprowadzana zgodnie z wytycznymi normy ISO 1522:2006 oraz z zachowaniem wytycznych wskazanych w normach powiązanych, tj. ISO 1513, ISO 1514, ISO 2808 oraz ISO 15528. Wszystkie próbki użyte do badania są przygotowane, według wytycznych, na płytkach szklanych o wymiarach nominalnych 100 mm × 100 mm × 5 mm, płytką wzorcową jest czysta płytka szklana tego samego rozmiaru, z tego samego materiału co płytki wykorzystane do badań. Kalibrację wykonuje się wyłącznie na płytce wzorcowej. Do kalibracji należy ustabilizować warunki otoczenia do wartości temperatury $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności względnej 45–55%. Po osiągnięciu

¹³⁷ Daubechies i the wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis. IEEE T. Transactions and Information Theory 36, 961-1005 1990

wartości oczekiwanych należy wstrzymać się na 5 minut, aby warunki otoczenia ustabilizowały się.¹³⁸

Wykonanie poprawnej konfiguracji polega na trzykrotnym powtórzeniu badania każdym z wahadeł, za każdym razem w innym miejscu płytki wzorcowej. Wartość pomiarów dla wahadła Königa (tłumienie wahań dla wychylenia 6° do wychylenia 3°) powinny zawierać się w przedziale 172–185 wahnięć, co odpowiada 240–260 sekundom. Dla wahadła Persoza wartości tłumienia wahadła (od pozycji odchylenia 12° do 4°) powinny wynosić 415–445 sekund. Jeżeli średnie wartości z wielu powtórzeń (co najmniej trzech) nie zawierają się w wartościach normatywnych, to należy sprawdzić ustawienie urządzenia i środków ciężkości wahadeł.¹³⁹

Badania kalibracyjne wykonano na prototypowym urządzeniu badawczym, wahadłami pochodzącymi z fabrycznego, urządzenia pomiarowego. Kalibrację przeprowadzono na trzech różnych próbkach szkła – norma nie precyzuje gatunku szkła do badań. Ze względu na brak sprecyzowania gatunku szkła przez normę ISO 1522:2006/2008 nie jest możliwe określenie użytego gatunku szkła przez twórców - w tym idealnego odwzorowania stałej szklanej użytej przez normę. Wybór gatunków szkła jest całkowicie przypadkowy i głównie wynikał z dostępności. W badaniach użyto: szkła antisol barwionego w masie na czarno oraz dwóch płytek ze szkła kwarcowego.¹⁴⁰

Badania kalibracyjne zostały przeprowadzone w 15 powtórzeniach dla obu wahadeł - Königa oraz Persoza. Wszystkie przeprowadzone badania były wykonane na 3 różnych próbkach. Dane zawarte w rozprawie są wybraną średnią dla wielokrotnych powtórzeń, na 3 różnych płytkach badawczych. Wszelkie badania zostały przeprowadzone zgodnie z wytycznymi normy. Tłumienie wahadła Königa w przedziale od 6° do 3° wedle normy winno wynosić (250 ± 10) sekund co odpowiada między 172 a 185 wahnięć wahadła. W przypadku tłumienia wahadła Persoza, w tym samym przedziale od 6° do 3° czas winien wynosić tą samą wartość, czyli (250 ± 10) sekund, z zastrzeżeniem okresu wahanca $(1,40 \pm 0,02)$ sekund. Wszelkie przeprowadzone badania są dodane do rozprawy w wersji elektronicznej.^{141 142}

Kalibracja dla wahadła Königa przebiegła pomyślnie. Wyniki dla wahadła pochodzącego z urządzenia fabrycznego i skonstruowanego samodzielnie na potrzeby prototypowego urządzenia pomiarowego są bardzo zbliżone, a wartości różnic między nimi można uznać za nie istotne statystycznie. Wyniki badania przy użyciu wahadła fabrycznego

¹³⁸ Chochół A., Żydzik M. Wykorzystanie zintegrowanych systemów informatycznych w procesach zarządzania jakością, Zintegrowane systemy zarządzania jakością: materiały II konferencji naukowej z cyklu Jakość wyrobów w gospodarce rynkowej zorganizowanej przez Katedrę Towaroznawstwa Ogólnego i Zarządzania Jakością Akademii Ekonomicznej w Krakowie przy współpracy Oddziału Krakowskiego Polskiego Towarzystwa Towaroznawczego (Kraków, 25 i 26 IX 2000 r.) - Kraków: [s.n.], 2000, s. 231-236 - Bibliogr.

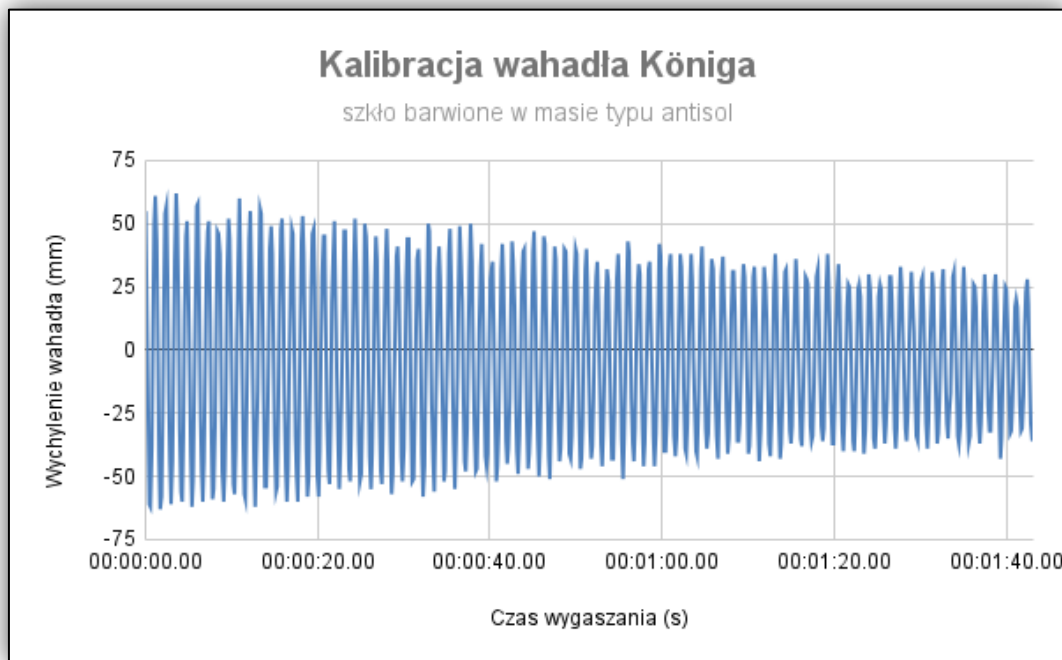
¹³⁹ Gao S. et al. Event-triggered vibration control for a class of flexible mechanical systems with bending deformation and torsion deformation based on PDE model Mech. Syst. Signal Process. 2022

¹⁴⁰ Guediche A., Compoin F., Boscher C. et al., Indentation hardness and scratch tests for thin layers manufactured by sol-gel process, Thin Solid Films, Francja, 2021, nr 724 DOI: 10.1016/j.tsf.2021.138618

¹⁴¹ Jangid RS., Optimum friction pendulum system for near-fault motions, Engineering Structures, Indie, 2005, nr 27,

¹⁴² Kragten G.A. et al. The ability of underactuated hands to grasp and hold objects Mech. Mach. Theory. 2010

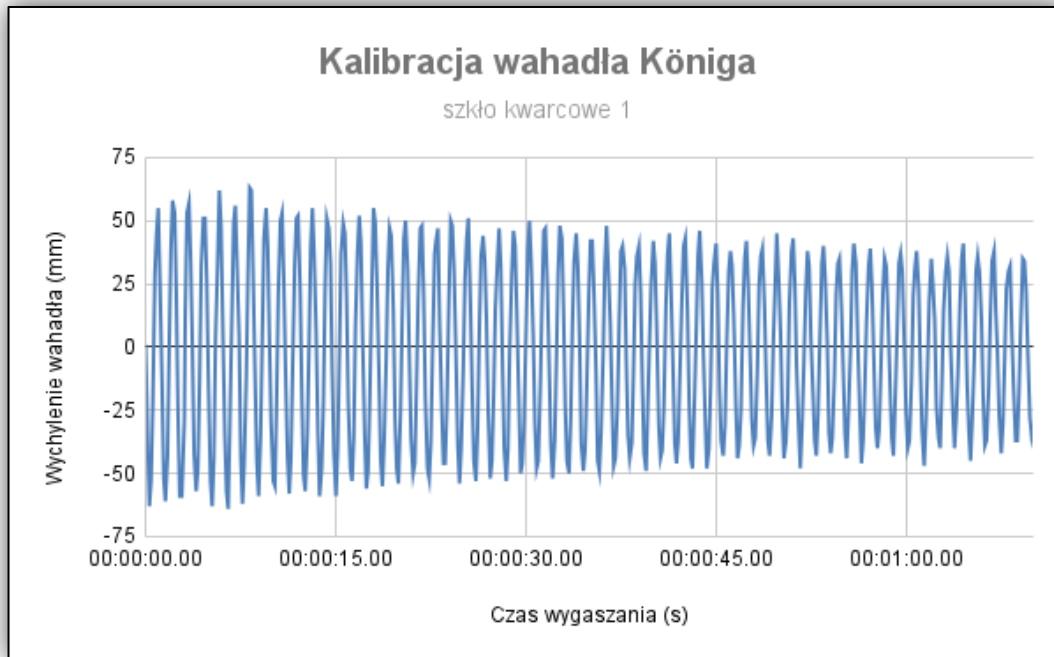
na trzech różnych próbkach szkła przedstawiono na - Rysunek 32., Rysunek 33., Rysunek 34.



Rysunek 32. Tłumienie wahadła Königa z zastosowaniem szkła barwionego w masie typu antisol, wychylenie kalibracyjne $6-3^\circ$.

Źródło: opracowanie własne

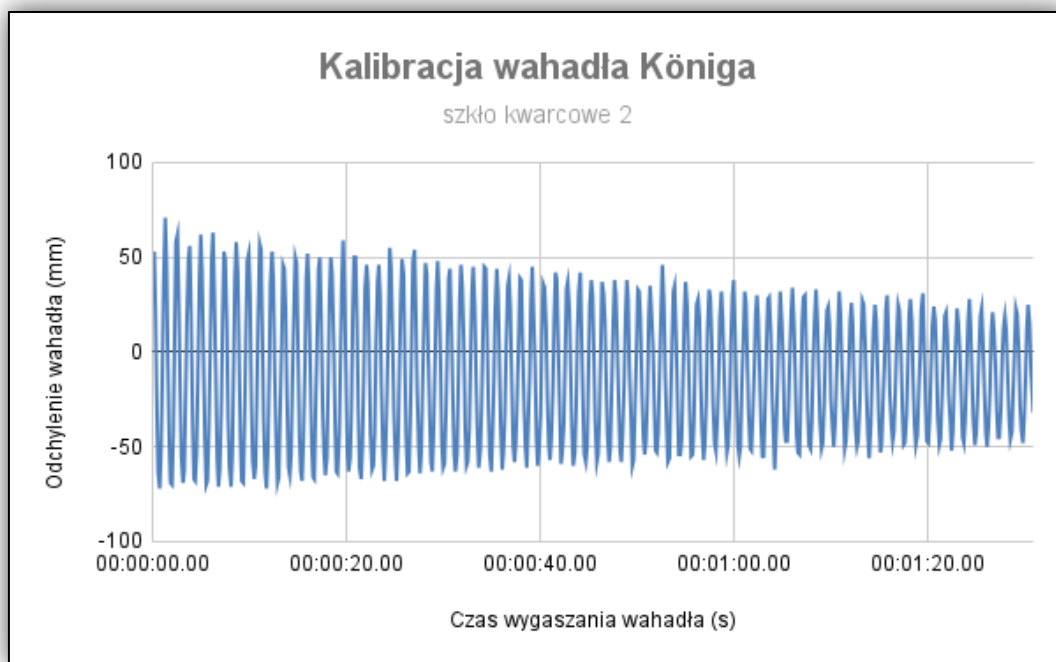
Analiza charakterystyki (Rysunek 32.) dowodzi, że przy kalibracji wahadła Königa (pochodzącego z urządzenia fabrycznego) z zastosowaniem szkła barwionego w masie (antisol) czas tłumienia wyniósł 1 minutę i 43 sekundy, wahadło wykonało w tym czasie 206 pełnych wahaniec. Wartości są bliskie wartości wskazywanych przez normę. Odstępstwa od normy zostaną wyjaśnione w dyskusji wyników przeprowadzonej po wykonaniu kalibracji.



Rysunek 33. Tłumienie wahadła Königa z zastosowaniem szkła kwarcowego, wychylenie kalibracyjne $6-3^\circ$.

Źródło: opracowanie własne

Przy użyciu pierwszego podłoża ze szkła kwarcowego (Rysunek 33.) czas tłumienia wahadła Königa pochodzącego z urządzenia fabrycznego zarejestrowanego podczas kalibracji wyniósł 1 minutę i 10 sekund. Wahadło w tym czasie wykonało 140 pełnych wahanć.

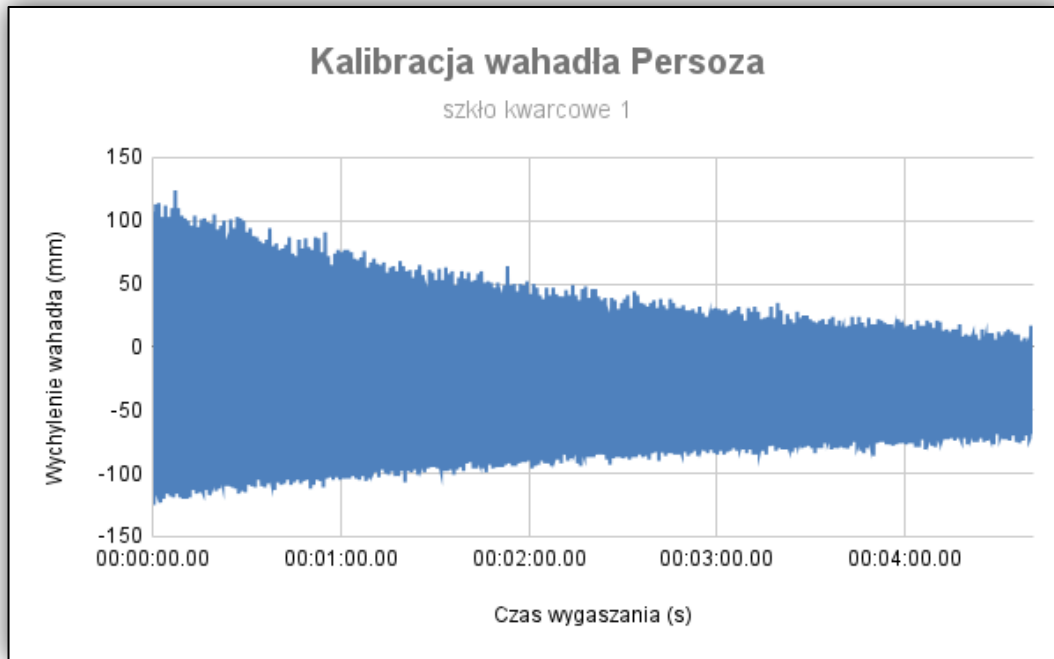


Rysunek 34. Tłumienie wahadła Königa z zastosowaniem szkła kwarcowego wychylenie kalibracyjne $6-3^{\circ}$.

Źródło: opracowanie własne

Tłumienie kalibracyjne fabrycznego wahadła Königa przy zastosowaniu drugiego szkła kwarcowego zajęło 1 minutę i 31 sekund. Podczas ruchu w przedziale od $6-3^{\circ}$ wahadło wykonało 182 pełne wahnięcia, co jest wartościami niższymi niż precyzuje norma (Rysunek 34.).

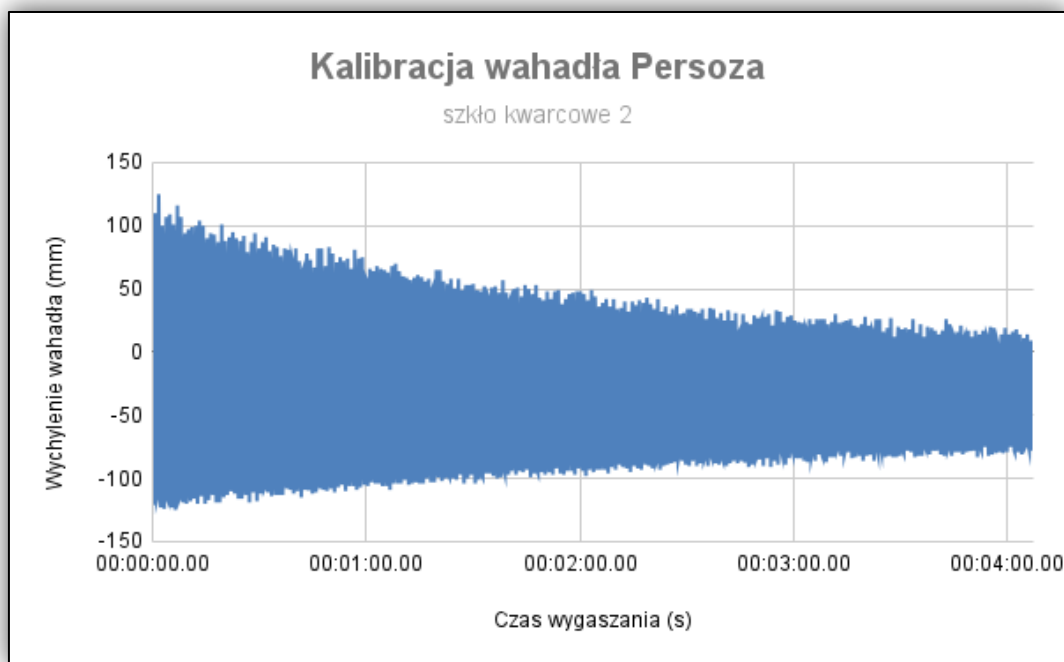
Na końcu przeprowadzono jednokrotną kalibrację wahadła Persoza w 2 przypadkach – obu próbek szkła kwarcowego. Wahadło Persoza z względu na swoje przeznaczenie nie było wykorzystane w dalszej części prowadzonych badań.



Rysunek 35. Tłumienie wahadła Persoza z zastosowaniem szkła kwarcowego, wychylenie kalibracyjne $6-3^\circ$.

Źródło: opracowanie własne

Badanie kalibracyjne wykonane dla wahadła Persoza przy wykorzystaniu szkła kwarcowego nr. 1 trwało 4 minuty i 41 sekund, wahadło wykonało 562 pełne wahnięcia. Wartości te uzyskano z wahadła prototypowego (Rysunek 35.).



Rysunek 36. Tłumienie wahadła Persoza z zastosowaniem, szkła drugiego szkła kwarcowego, wychylenie kalibracyjne $6-3^{\circ}$.

Źródło: opracowanie własne

Następne badanie kalibracyjne wykonane dla wahadła Persoza przy wykorzystaniu drugiego szkła kwarcowego trwało 4 minuty i 7 sekund, wahadło wykonało 533 pełne wahnięcia. Wartości te uzyskano z wahadła prototypowego (Rysunek 36.).

Wszystkie badania kalibracyjne wykonano zgodnie z założeniami normy, każde pomiary przeprowadzono wielokrotnie, po to, aby dostosować środek ciężkości wahadła. Wyniki przedstawione w niniejszej pracy są zgodne z wartościami zawartymi w normie, których wartości zawierały się w granicy błędu pomiarowego. Badania kalibracyjne zostały sprawdzone względem dwóch fabrycznych urządzeń wahadłowych przeznaczonych do pomiaru twardości powłok lakierowych metodą tłumienia wahadła. Na urządzeniach laboratoryjnych otrzymano identyczne wyniki. Można zatem stwierdzić, że otrzymane wartości są prawidłowe. Należy nadmienić, że prowadzono wielokrotne próby pomiarów dla różnych wahadeł, jak i przy użyciu różnych urządzeń pomiarowych. Wyniki z wszystkich pomiarów były zbieżne. Podczas kalibracji zastosowano wszystkie możliwości oraz środki podwyższające jakość wyników i wpływ na końcową kalibrację. Wahadła skonstruowane na potrzeby prototypowego urządzenia badawczego wiernie odwzorowano zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie oraz sprawdzono z wahadłami uczelnianymi pochodzącymi od producenta urządzeń badawczo-pomiarowych.

2.4. Badania wykonane zgodnie z normą ISO 1522:2006

Przed przystąpieniem do badań w zmiennym otoczeniu, wykonano badania zgodnie z normami ISO. Wykorzystano wszelką metodologię zawartą w normie ISO

1522:2006/2008 oraz w normach powiązanych. Wszystkie z 12 badanych próbek przebadano 15 krotnie łącznie przeprowadzając 180 pomiarów normatywnych, na podstawie których wyliczono średnie z pomiarów. Po wykonaniu badań normatywnych przystąpiono do badań w zmienionym otoczeniu - obniżonej, podwyższonej temperaturze oraz po poddaniu próbek na oddziaływanie roztworu NaCl o różnym stężeniu, w różnych czasach narażenia, wykonując łącznie ponad 1200 powtórzeń. We wszystkich badaniach z względu na wysoką twardości powłok wykorzystano wahadło Königa służące do badania powłok twardych, natomiast do badań powłok miękkich służy wahadło Persoza.

2.4.1. Przygotowanie materiału badawczego i metodyka badań

Po kalibracji wahań wykonano badania zgodne z wytycznymi normy ISO 1522:2006. Norma ta wskazuje na wykorzystanie norm powiązanych, tj.:

- ISO 1513 w celu poprawnego przygotowania próbek poddawanych badaniu,
- ISO 1514 opisująca standardowe podłoża pod próbki do badań,
- ISO 2808 wskazująca wartości grubości powłok próbek do badania,
- ISO 15528 opisująca sposoby pobierania próbek.

Najważniejszymi wytycznymi normy ISO 1513 jest organoleptyczne sprawdzenie zarówno pojemnika z badanym materiałem, jak i samego materiału. W opakowaniu z materiałem badawczym sprawdza się: czy na powierzchni po otwarciu pojemnika występuje kozuch i jaka jest konsystencja lakieru (tikotropowość / żelowanie), czy dzieli się na warstwy, czy są zanieczyszczenia, jaka jest klarowność, barwa, czy występuje sedyment. Materiał badawczy należy poddać ujednorodnieniu (wymieszaniu) oraz usunąć ewentualnie występujące kozuchy, osady i zanieczyszczenia. Wszystkie przygotowane próbki należy odpowiednio etykietować oraz opisywać i ponownie sprawdzić, aby stwierdzić czy przygotowano je zgodnie z normą ISO 1513.¹⁴³

Norma opisująca podłoża pod próbki do badań ISO 1514 pomocniczo odwołuje się do norm: ISO 1268, ISO 2409, ISO 2808, ISO 4287, ISO 8336, ISO 11949, EN 520, EN 622, EN 1396, EN 10205, EN 13523-1, EN 13523-22, EN 15283-2 oraz EN 16245-1. Najistotniejsze aspekty badania twardości powłok lakierowych metodą tłumienia wahań opisano w normie ISO 1514 w rozdziale 11. Płytki szklane. Według tego opisu, płytki powinny być ze szkła typu float. Ich wymiary zależą od wielkości postumentu pod wahań. Wszelkie płytki do badań muszą być oczyszczone (umyte roztworem wody z detergentem na ciepło) i odtłuszczone (rozpuszczalnikiem lub silnym alkoholem) przed ich użyciem. Wytyczne normy zostały wykorzystane w badaniach zgodnie z normami powiązanymi.¹⁴⁴

Norma ISO 2808 precyzyjnie określa grubość powłoki lakierowej próbki, aby prawidłowo przeprowadzić badanie. Do oceny grubości powłoki lakierowej można użyć różnych urządzeń i sposobów. Do metod mechanicznych przy powłokach mokrych zalicza się: użycie specjalnego grzebienia, użycie krążka pomiarowego lub tarczy pomiarowej.

¹⁴³ Lambert D, Muehlethaler C, Gueissaz L, Massonnet G Raman analysis of multilayer automotive paints in forensic science: measurement variability and depth profile, *Journal of Raman Spectroscopy* 45, 1285-1292. 2014

¹⁴⁴ Muehlethaler C, Massonnet G, Esseiva P The application of chemometrics on Infrared and Raman spectra as a tool for the forensic analysis of paints. *Forensic Science International* 209, 173 -182. 2011

Istnieje jeszcze metoda grawimetryczna.¹⁴⁵ Przy suchych powłokach grubość powłoki lakierowej można określić mechanicznie: mikrometrem (na podstawie różnicy grubości samej płytki i płytki pokrytej warstwą lakierniczą), głębokościomierzem, skanowaniem powierzchni, metodą różnicy mas, metodą optyczną, magnetycznym przyrządem, strumieniem magnetycznym, metodą indukcji magnetycznej czy prądami wirowymi. Zastosowanie ma tu też metoda radiologiczna polegająca na wykorzystaniu rozpraszania promieniowania beta. Metodami fototermicznymi określa się grubość powłoki dzięki właściwościom termicznym lub przez zastosowanie grubościomierza ultradźwiękowego. Jeżeli powłoki lakiernicze użyte do badań mają nieusieciowane warstwy lub są farbami proszkowymi, to należy zastosować metody grawimetryczne, magnetyczne (indukcja oraz prądy wirowe) lub fototermiczne (użycie właściwości termicznych). Podczas oceny grubości powłok lakierowych o chropowatej strukturze stosuje się głównie indukcję magnetyczną. Poprawne ustalenie grubości powłoki lakierowej jest niezbędne w celu prawidłowej oceny twardości tej powłoki. W przypadku przeprowadzanych badań zastosowano pomiar bezpośredni za pomocą mikrometru.¹⁴⁶

Norma ISO 15528 zawiera metodologię poboru próbek farb i lakierów. Pierwszym etapem pobierania próbki jest dobranie właściwego narzędzia do pobierania części farby czy lakieru. Jednym z takich narzędzi jest czerpak, który dzielimy na: łyżkę, czerpak do cieczy i czerpak do proszku. Innym narzędziem jest tuba do poboru cieczy, np.: rura koncentryczna, rura pojedyncza, zgłębnik rurowy z zaworem. Innymi wymienianymi przez normę ISO 15528 są: butelka lub bańka do pobierania próbek, próbnik denny lub strefowy, szpachla, szufla czy rura rozgałęziona. Każde narzędzie jest opisane, również jego zastosowanie według rodzaju badanej farby czy lakieru. Norma dodatkowo określa schemat pobierania prób w różnych sytuacjach. W przypadku przeprowadzanych badań zastosowano nakładanie próbek za pomocą pędzla, szpachli oraz bezpośredniego natrysku płytki szklanej.¹⁴⁷

2.4.2. Wyniki badań

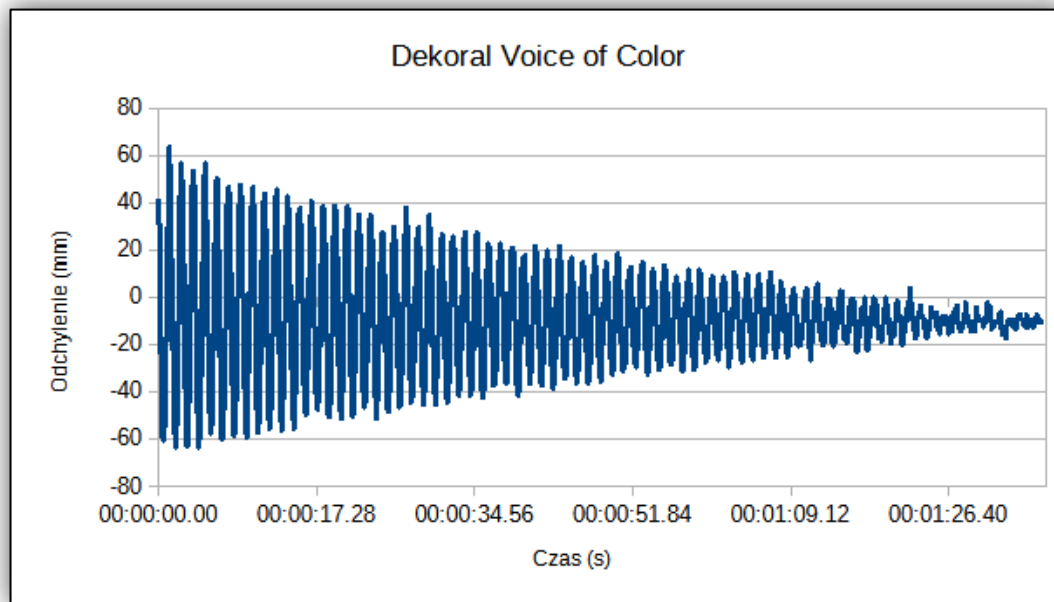
Przedstawione niżej wyniki obrazują tłumienie wahadeł w określonej temperaturze i wilgotności otoczenia wyznaczonej przez normę, tj.: temperatura otoczenia 21°C–25°C, wilgotność względna 45%–55%. Każda z 12 próbek została poddana badaniu w 15 powtórzeniach. Przedstawiono wykresy z wynikami najbliższymi średnim arytmetycznym wszystkich 15 powtórzeń. Przed każdym powtórzeniem stabilizowano otoczenie, tj. temperaturę i wilgotność. Wszystkie próbki przygotowano tak samo na tym samym gatunku szkła, tych samych wymiarach co płytki do kalibracji wahadła. Dodatkowo po każdym powtórzeniu sprawdzano położenie urządzenia oraz poprawność działania czujników. Wszystkie badania wykonano z najwyższą starannością o każdy szczegół normy ISO 1522.

¹⁴⁵ Panchal V.R., Jangid R.S., Variable friction pendulum system for near-fault ground motions, Engineering Structures, USA, 2008, nr 27,

¹⁴⁶ Oliveto N.D., geometrically nonlinear analysis of friction pendulum systems under tri-directional excitation, Engineering Structures, USA, 2022, nr 269, DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.114770.

¹⁴⁷ Pędzich Z., Piekarczyk J., Stobierski L., Twardość Vickersa i odporność na pękanie wybranych kompozytów ceramicznych, Kompozyty (Composites), Polska, 2003, nr 3,

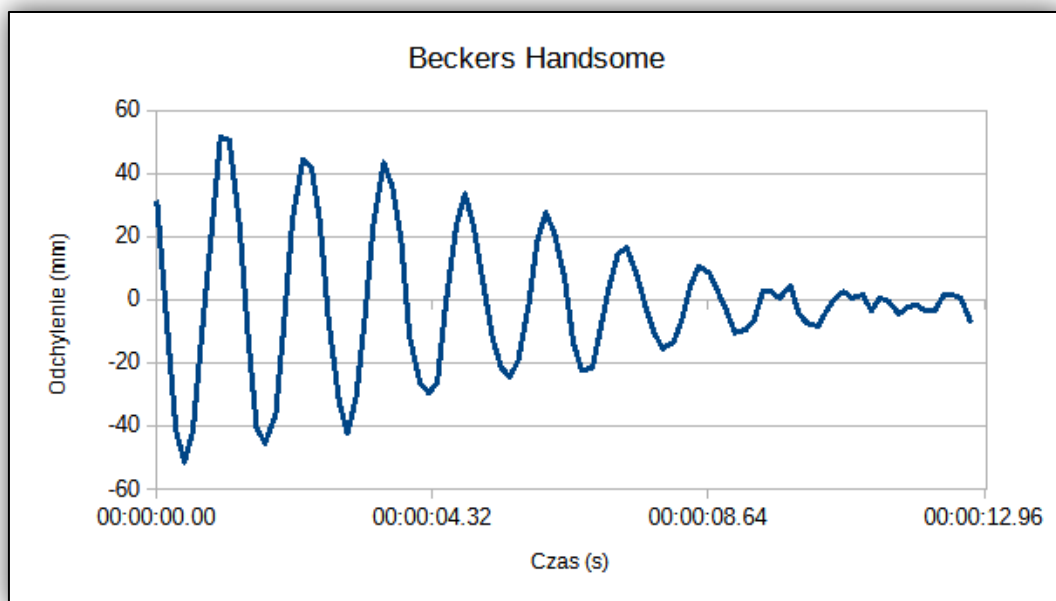
Pierwszym produktem poddanym badaniu zgodnie z normą ISO 1522 była matowa farba lateksowa PB1. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 1 minutę i 31.52 sekund (00:01:31.52). W zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 56 pełnych wahanć, natomiast w zakresie 6° – 0° – średnio 152 wahanć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 37.



Rysunek 37. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Dekoral Voice of Color (PB1).

Źródło: opracowanie własne

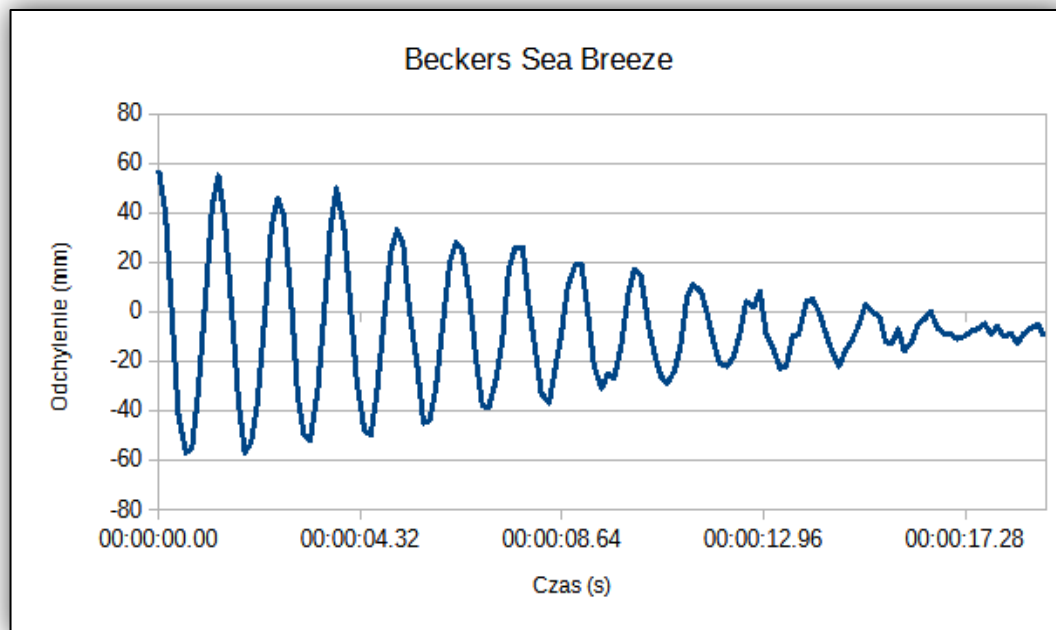
Następnym produktem poddanym badaniu twardości powłoki metodą tłumienia wahadła Königa była matowa farba lateksowa PB2. Tłumienie wahadła średnio wynosiło 00:12.66 minuty, w zakresie 6° – 3° wykonało średnio 12 pełnych wahanć, natomiast w zakresie 6° – 0° – średnio 24 wahanć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 38.



Rysunek 38. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby Handsome marki Beckers (PB2).

Źródło: opracowanie własne

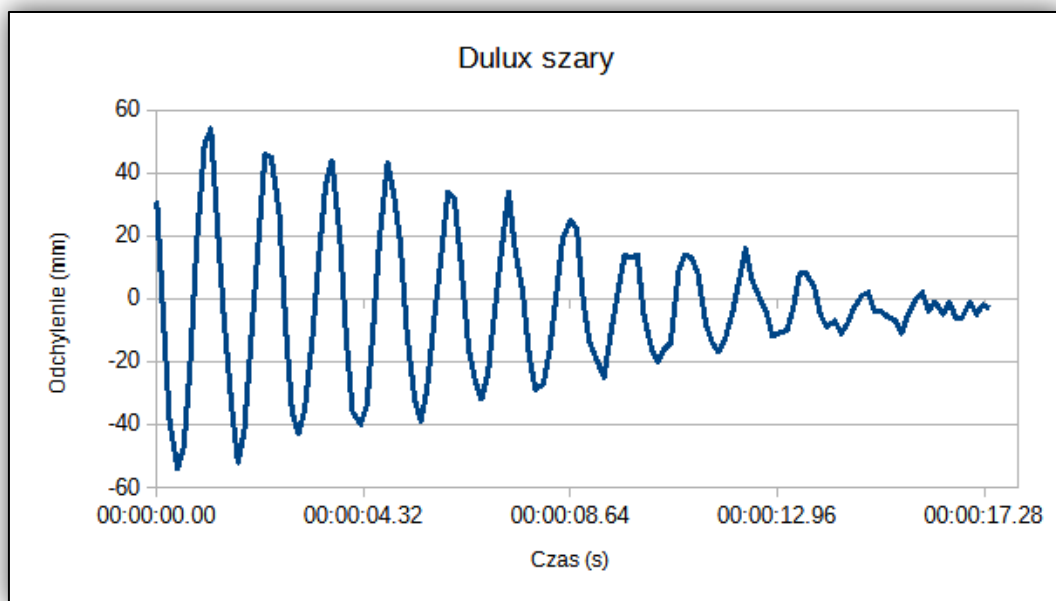
Kolejnym produktem badanym był również produkt marki Beckers, plamoodporna farba lateksowa PB3. Tłumienie wahadła średnio w tym przypadku wynosiło 00:17.64 minuty. W zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 12 pełnych wahan, natomiast w zakresie 6° – 0° średnio 26 wahan. Wykres z tłumienia wahan przedstawia Rysunek 39.



Rysunek 39. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby Sea Breeze marki Beckers (PB3).

Źródło: opracowanie własne

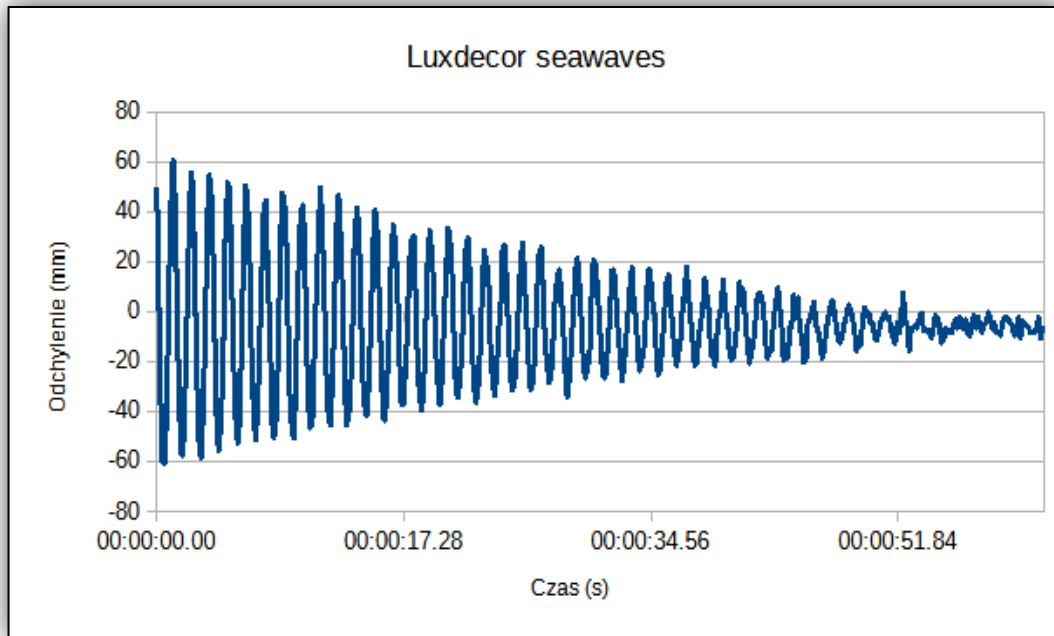
Następnie badaniu twardości powłoki metodą tłumienia wahadła poddano produkt PB4 - matową farbę akrylową „szary”. Tłumienie wahadła średnio wynosiło 00:17.37 minuty, w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 14 pełnych wahań, natomiast w zakresie 6° – 0° – średnio 28 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 40.



Rysunek 40. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „szary” marki Dulux (PB4).

Źródło: opracowanie własne

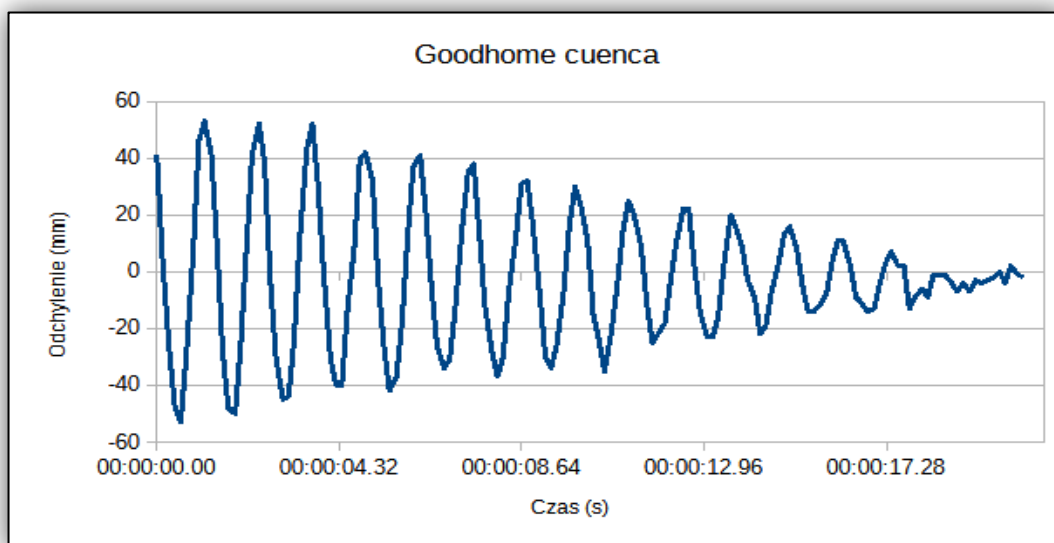
Kolejne badanie twardości powłoki metodą tłumienia wahadła Königa wykonano na produkcie PB5, na farbie kredowej „seawaves”. Tłumienie wahadła średnio w tym przypadku wynosiło 01:01.01 minuty. W zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 30 pełnych wahanć, natomiast w zakresie 6° – 0° – średnio 80 wahanć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 41.



Rysunek 41. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby seawaves marki Luxdecor (PB5).

Źródło: opracowanie własne

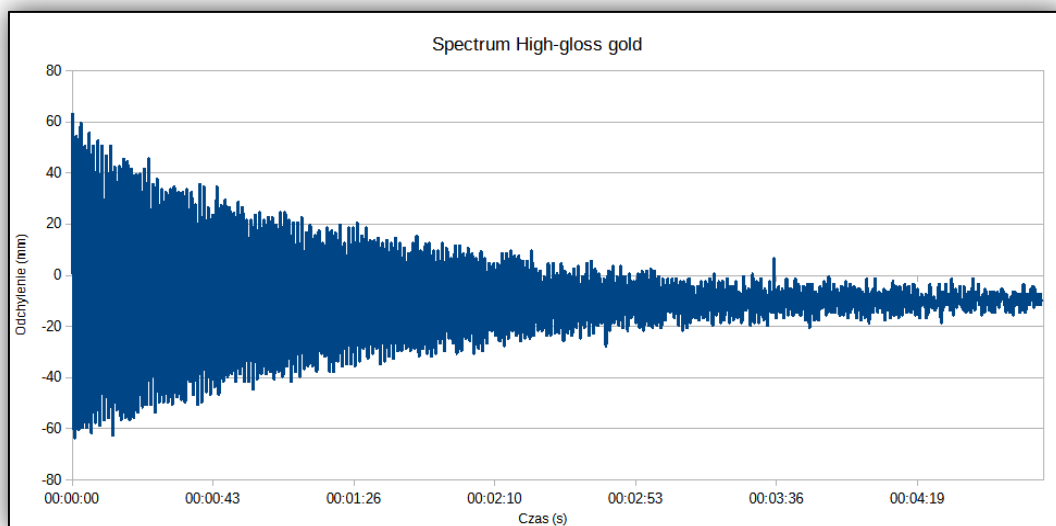
Następnym produktem poddanym badaniu twardości powłoki metodą tłumienia wahadła Königa była farba do metalu, aluminium, miedzi, żeliwa oraz stali PB6. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 00:20.88 minuty, w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 18 pełnych wahań, natomiast w zakresie 6° – 0° średnio – 32 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 42.



Rysunek 42. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „cuenca” marki Goodhome (PB6).

Źródło: opracowanie własne

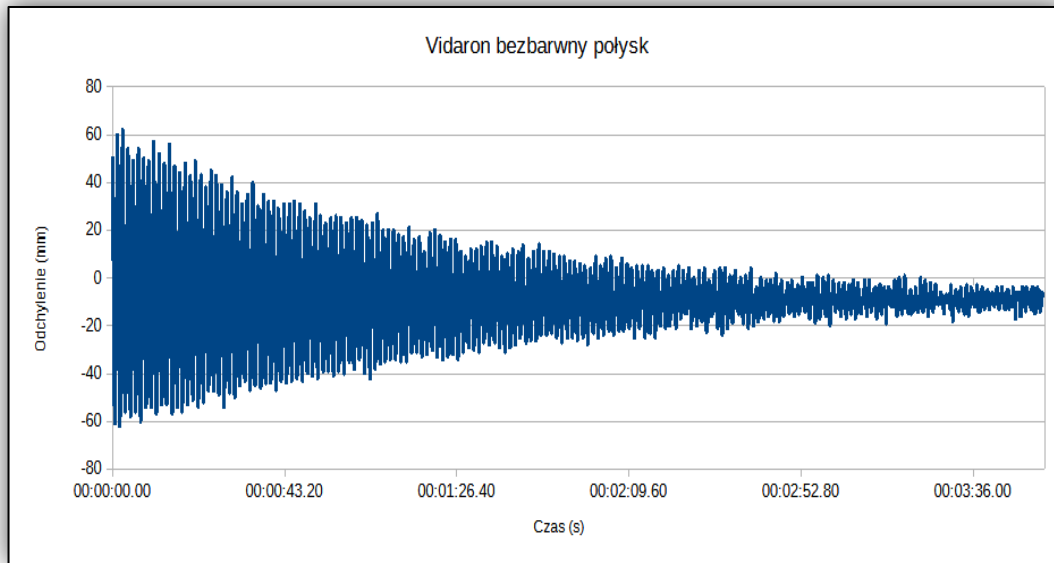
Kolejnym produktem poddanym badaniu twardości powłoki omawianą metodą był szybkooschnący lakier akrylowy zewnętrzny oraz wewnętrzny do powierzchni drewnianych, metalowych, aluminiowych, szklanych, kamiennych i różnego rodzaju tworzyw sztucznych PB7. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 4 minuty 54 sekundy (03:54.01), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 114 pełnych wahanć, a w zakresie 6° – 0° średnio – 524 wahanć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 43.



Rysunek 43. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „High-gloss gold” marki Spectrum (PB7).

Źródło: opracowanie własne

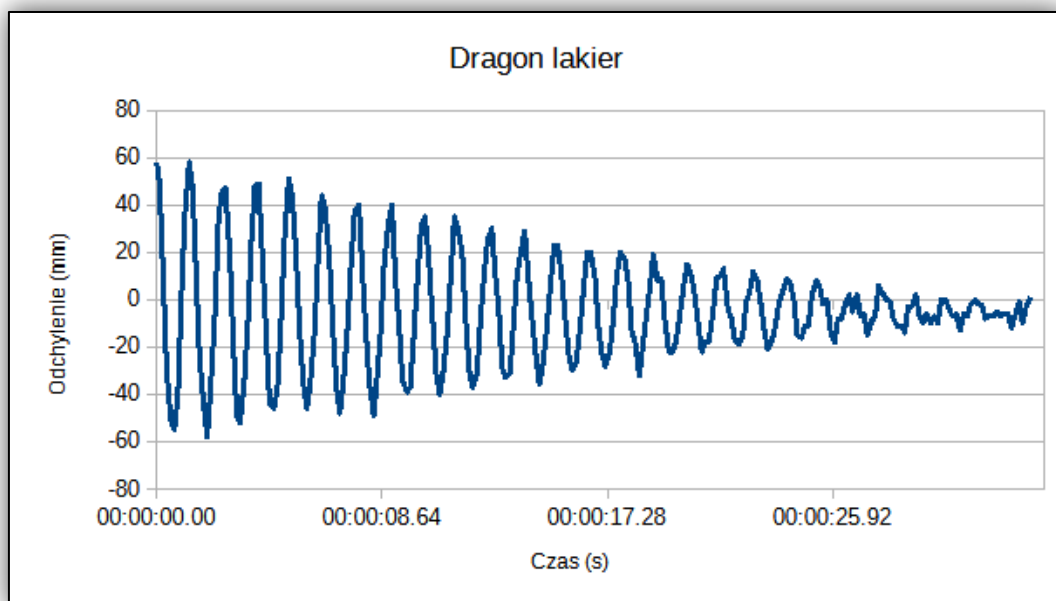
W następnej kolejności poddano badaniu twardości powłoki metodą tłumienia wahadła lakier nitrocelulozowy PB8. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 3 minuty i 53 sekundy (03:53.49). W zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 100 pełnych wahanć, natomiast w zakresie 6° – 0° średnio – 284 wahanć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 44.



Rysunek 44. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „bezbarwny połysk” marki Vidaron (PB8).

Źródło: opracowanie własne

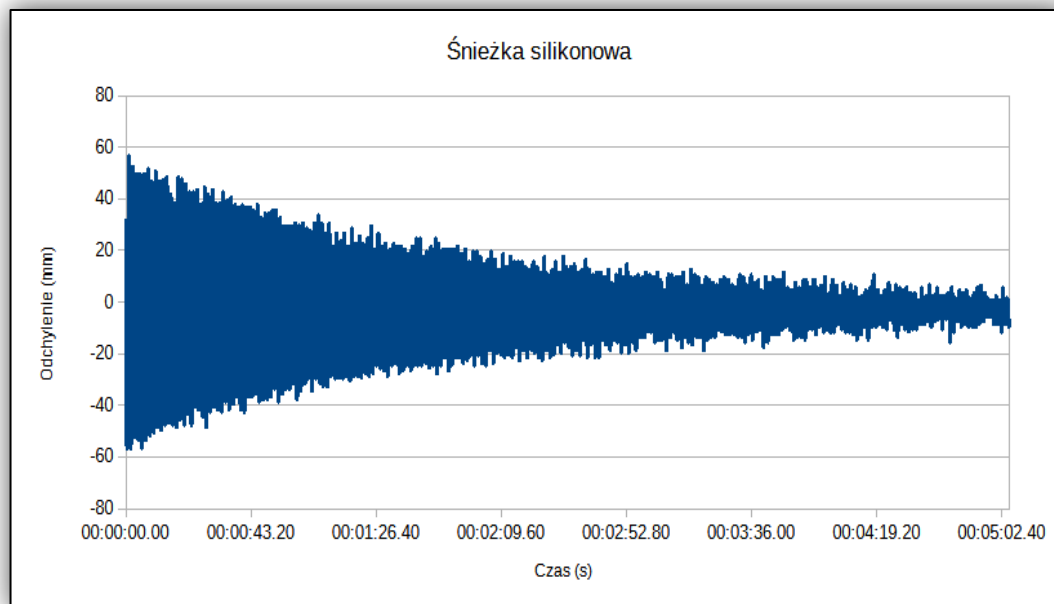
Kolejne badanie twardości powłoki opisywaną tu metodą wykonano na lakierze do drewna akrylowo-poliuretanowym PB9. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 00:33.85 minuty, w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 18 pełnych wahań, natomiast w zakresie 6° – 0° średnio – 56 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 45.



Rysunek 45. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do drewna marki Dragon (PB9).

Źródło: opracowanie własne

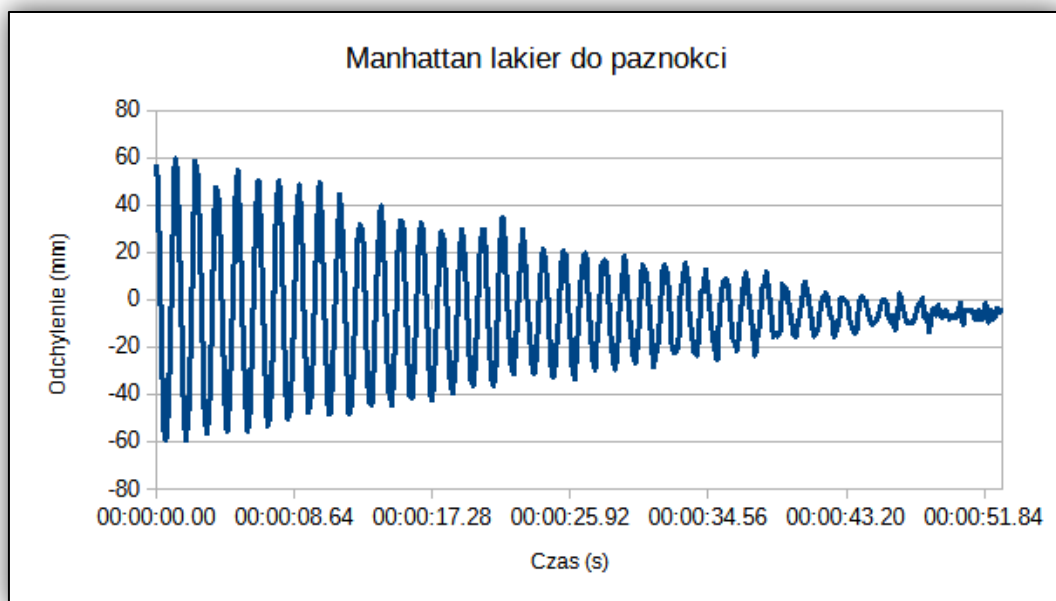
Następnym badanym produktem była srebrzanka żaroodporna silikonowa PB10. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 5 minut i 12 sekund (05:12.11), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 106 pełnych wahań, a w zakresie 6° – 0° średnio – 438 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 46.



Rysunek 46. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby silikonowej marki Śnieżka (PB10).

Źródło: opracowanie własne

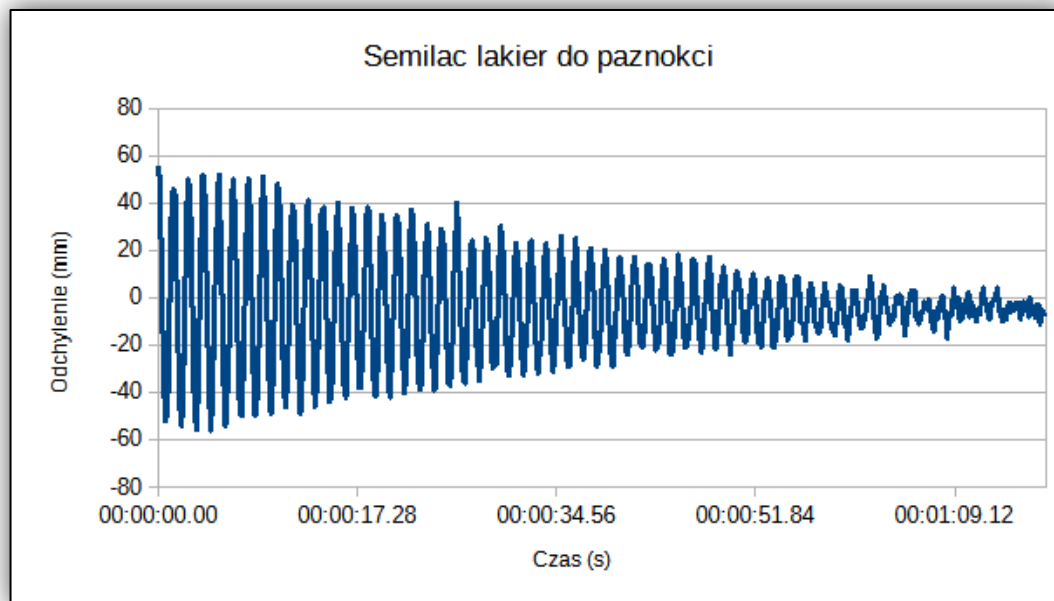
Kolejne badanie twardości powłoki wykonano na lakierze do paznokci PB11. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 00:53.09 minuty, w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 34 pełne wahnięcia, a w zakresie 6° – 0° średnio – 86 wahnięć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 47.



Rysunek 47. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11).

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim produktem badanym metodą tłumienia wahadła Königa był lakier do paznokci PB12, tłumienie wahadła wynosiło 1 minutę i 17 sekund (01:17.04), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 52 pełnych wahań, a w zakresie 6° – 0° średnio – 96 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 48.



Rysunek 48. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Semilac (PB12).

Źródło: opracowanie własne

Wszelkie otrzymane wyniki zestawiono w tabeli zbiorczej (Tabela 3.). Na podstawie danych z tabeli można uszeregować powłoki od najtwardszej do najmłodszej po numerach produktów: 7, 10, 8, 1, 12, 11, 5, 9 i 6, 4, oraz 2 i 3. Uszeregowanie powłok jest bezpośrednim nawiązaniem do zależności ilości ruchów wahadła oraz czasu tłumienia do wartości twardości powłok. Otrzymane wyniki ilustrują różnice w twardościach, które łatwo odczytać posługując się wykresami słupkowymi zawartymi w dalszej części pracy. Przeprowadzone badania zgodne z wytycznymi normy ISO 1522:2006/2008.

Tabela 3. Zestawienie wahań i czasu tłumienia wahadła w otoczeniu normatywnym.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	56	12	12	14	30	18	114	100	18	106	34	52
6-0°	152	24	26	28	80	32	524	384	56	438	86	96
Czas	01:31.52	12.66	17.64	17.37	01:01.01	20.88	04:54.01	03:53.49	33.85	05:12.11	53.09	01:17.04

Źródło: opracowanie własne

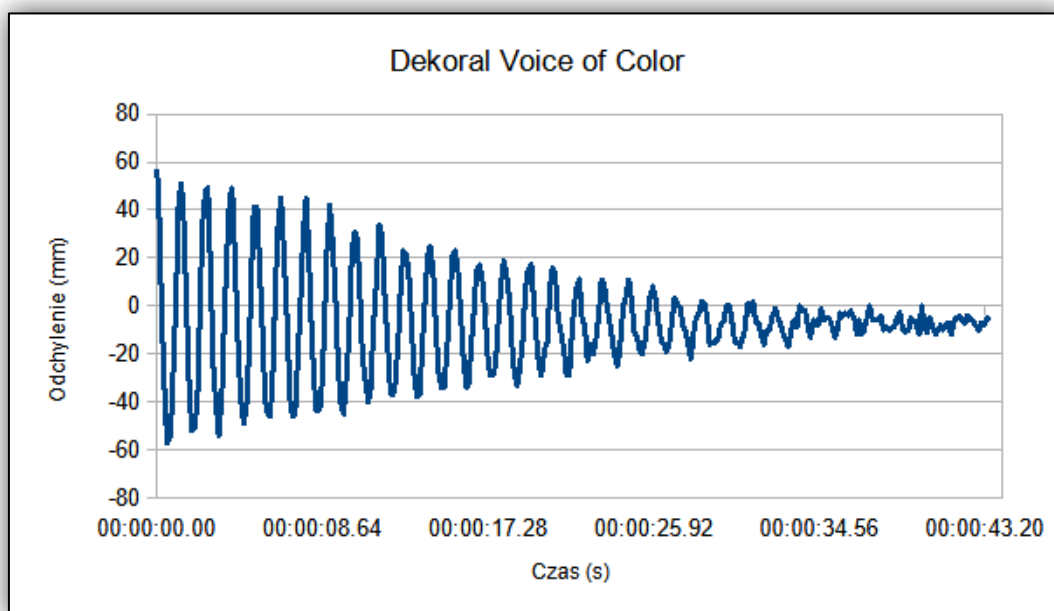
2.5. Badania uwzględniające zmianę temperatury otoczenia

Po przeprowadzeniu badań w otoczeniu normatywnym przystąpiono do badań w zmiennej temperaturze otoczenia symulującej skrajne warunki. Badane próbki zostały poddane temperaturze obniżonej wynoszącej -2°C , oraz podwyższonej wynoszącej 60°C .

2.5.1. Badania przy podwyższonej temperaturze

Po badaniach wedle wytycznych norm przeprowadzono badania odwołujące się do celów rozprawy doktorskiej. Wszystkie próbki poddane pierwotnie badaniu normatywnemu poddano działaniu temperatury obniżonej oraz podwyższonej. Najpierw na próbki działano wyższą temperaturą niż ta która została zapisana w normie. Podłoża szklane na których naniesiono próbki lakieru zostały podgrzane do temperatury 60°C. Temperatura o takiej wartości pozwala na stabilne przeprowadzenie eksperymentu z użyciem wybranego, ogniwa Peltiera. Wyższe wartości nie zezwalają na długotrwałą pracę i jednocześnie stabilizację ogniwa powodując jego trwałe uszkodzenie.

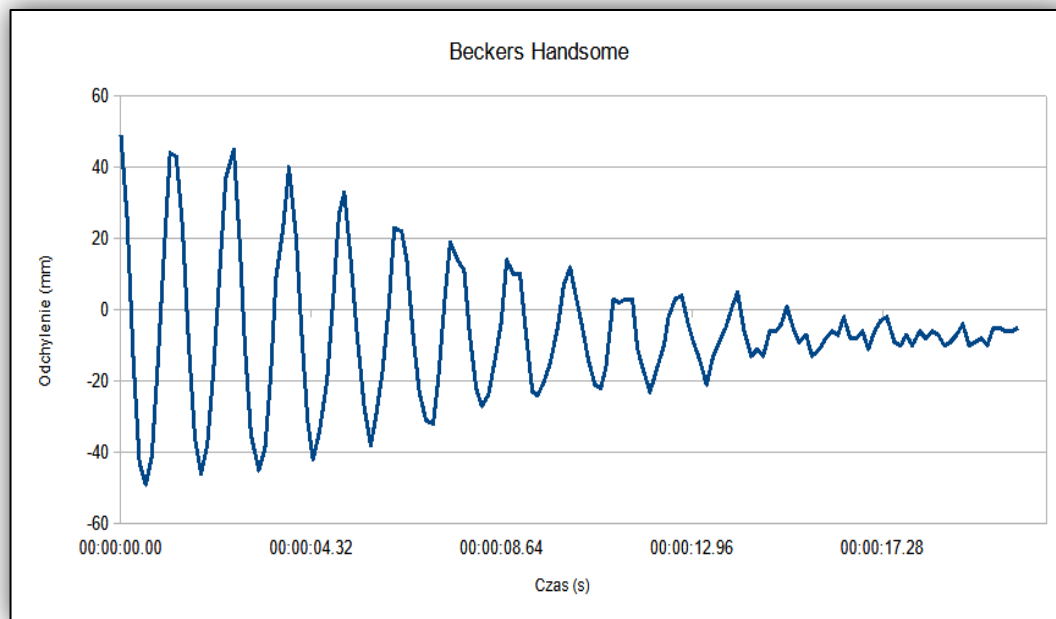
Pierwszym produktem poddanym badaniu twardości powłoki z wykorzystaniem metody tłumienia wahadła Königa w podwyższonej temperaturze była matowa farba lateksowa PB1. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 00:54.24 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio – 36 pełnych wahań, a w zakresie 6°–0° – średnio 96 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 49.



Rysunek 49. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Voice of Color” marki Dekoral (PB1) w temperaturze 60°C.

Źródło: pracowanie własne

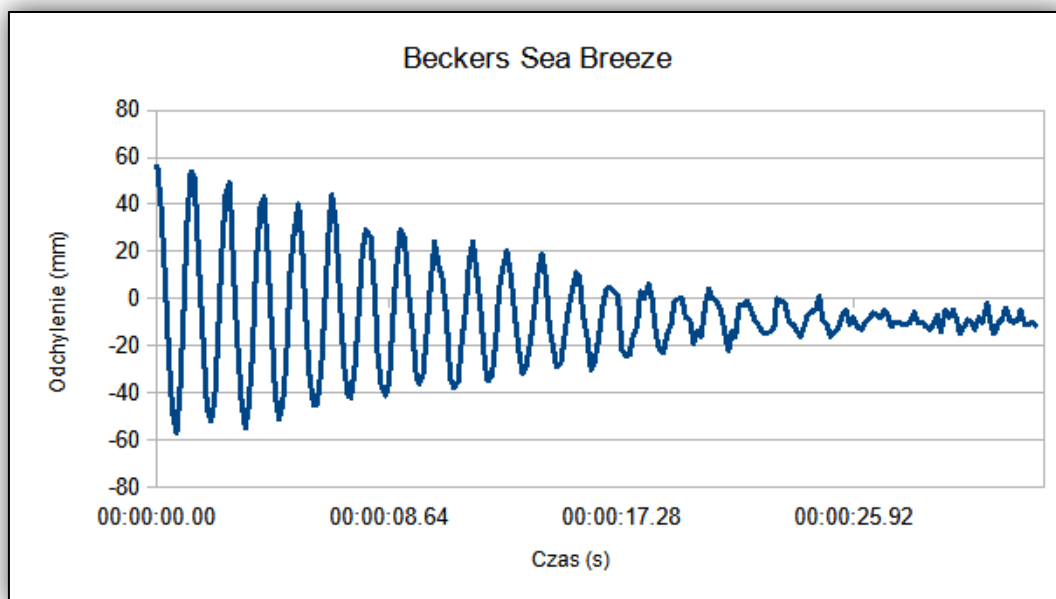
Drugim badanym produktem w podwyższonej temperaturze do 60°C, była matowa farba lateksowa PB2. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 00:21.58 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 16 pełnych wahań, a w zakresie 6°–0° średnio – 34 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 50.



Rysunek 50. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Handsome” marki Beckers (PB2) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

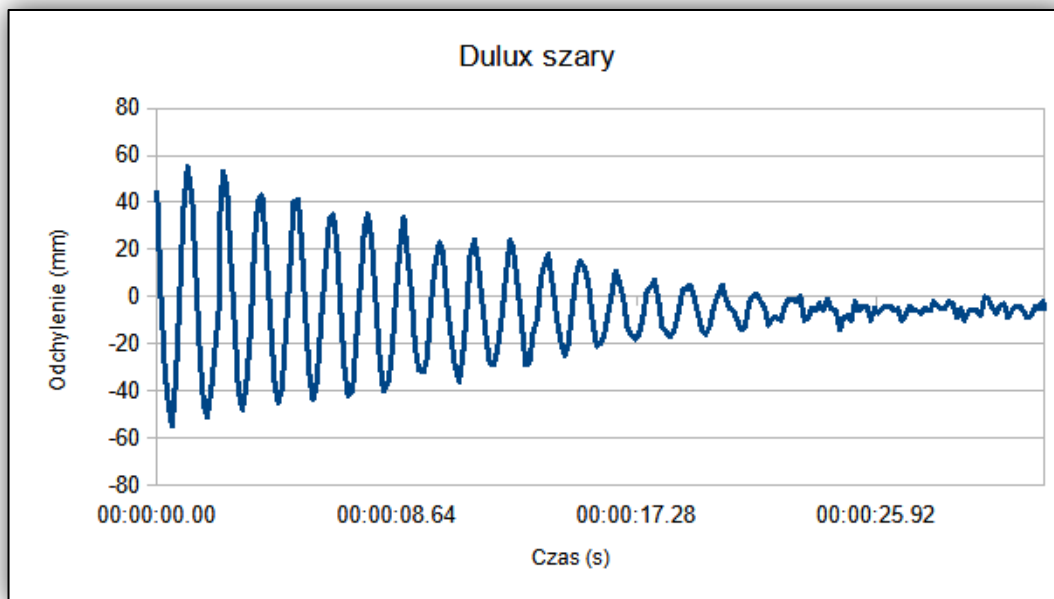
Następnie zbadano twardość płamoodpornej farby lateksowej PB3. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 00:32.90 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 22 pełne wahnięcia, a w zakresie 6°–0° średnio – 52 wahnięcia. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 51.



Rysunek 51. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Sea Breeze” marki Beckers (PB3) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

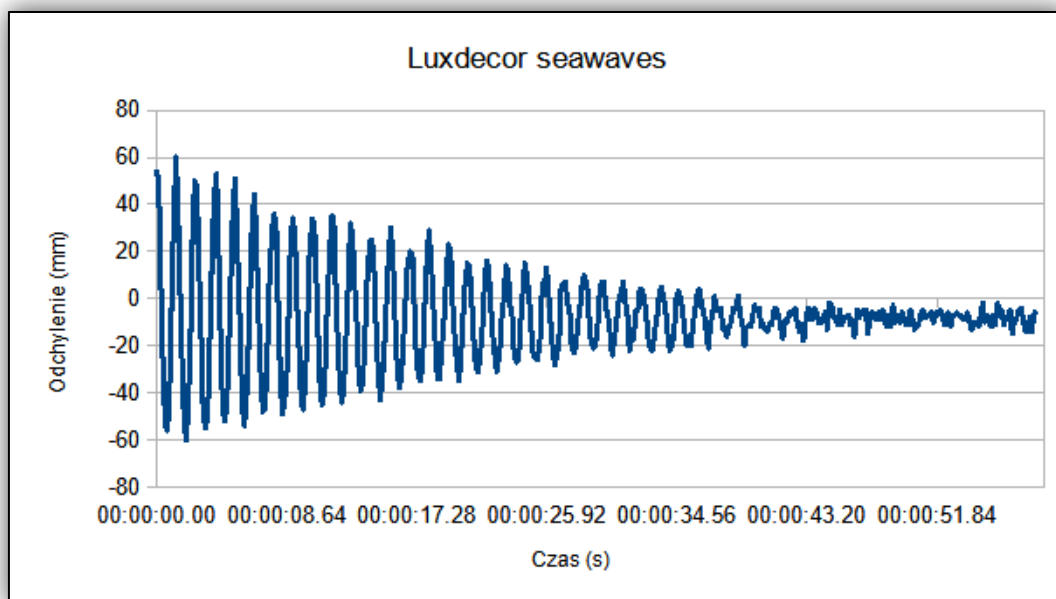
Kolejnym badanym produktem była matowa farba akrylowa PB4. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 00:32.53 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 26 pełnych wahaniec, a w zakresie 6°–0° średnio – 56 wahaniec. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 52.



Rysunek 52. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „szary” marki Dulux (PB4) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

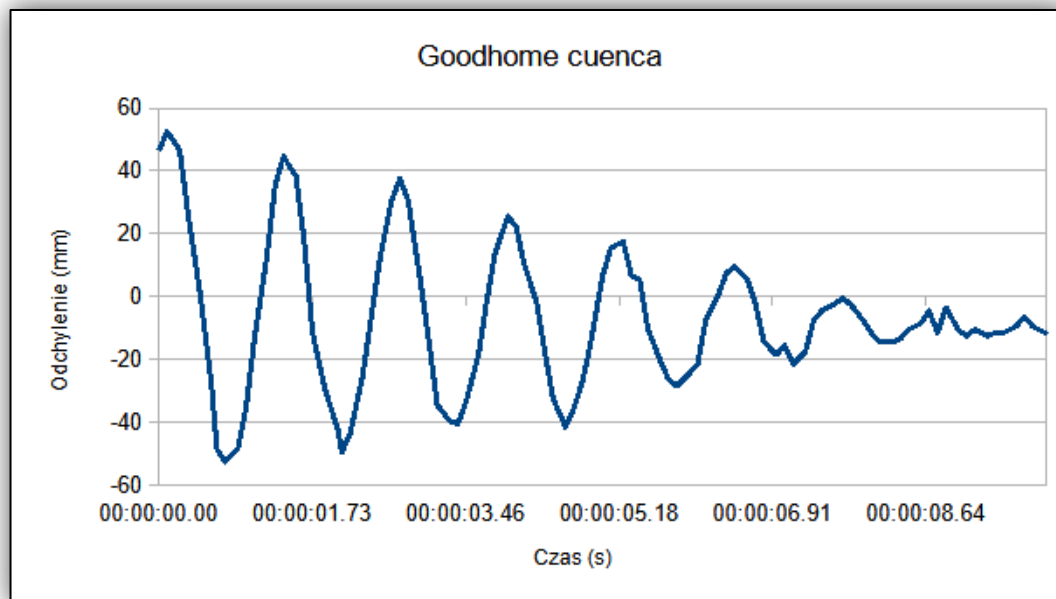
Do następnego badania twardości powłoki w podwyższonej temperaturze do 60°C wybrano farbę kredową PB5. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 1 minutę i 3 sekundy (01:03.93), w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 32 pełne wahnięcia, a w zakresie 6°–0° średnio – 56 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 53.



Rysunek 53. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „seawaves” marki Luxdecor (PB5) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

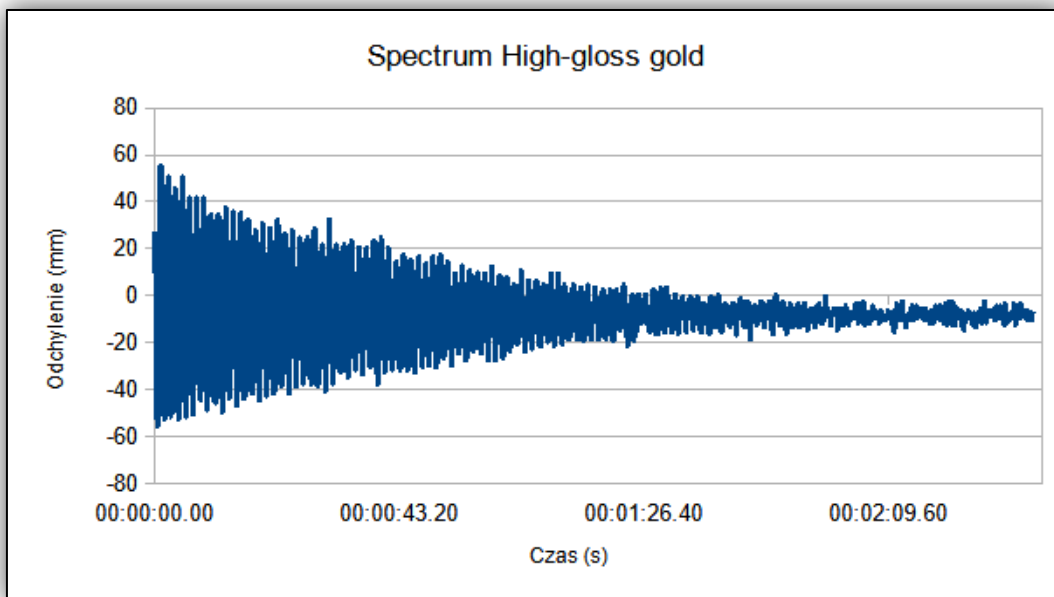
Kolejnym produktem poddanym badaniu twardości powłoki w podwyższonej temperaturze do 60°C była farba do metalu, aluminium, miedzi, żeliwa oraz stali PB6. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 00:10.74 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 10 pełnych wahan, a w zakresie 6°–0° średnio – 18 wahan. Wykres z tłumienia wahan przedstawia Rysunek 54.



Rysunek 54. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „cuenca” marki Goodhome (PB6) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

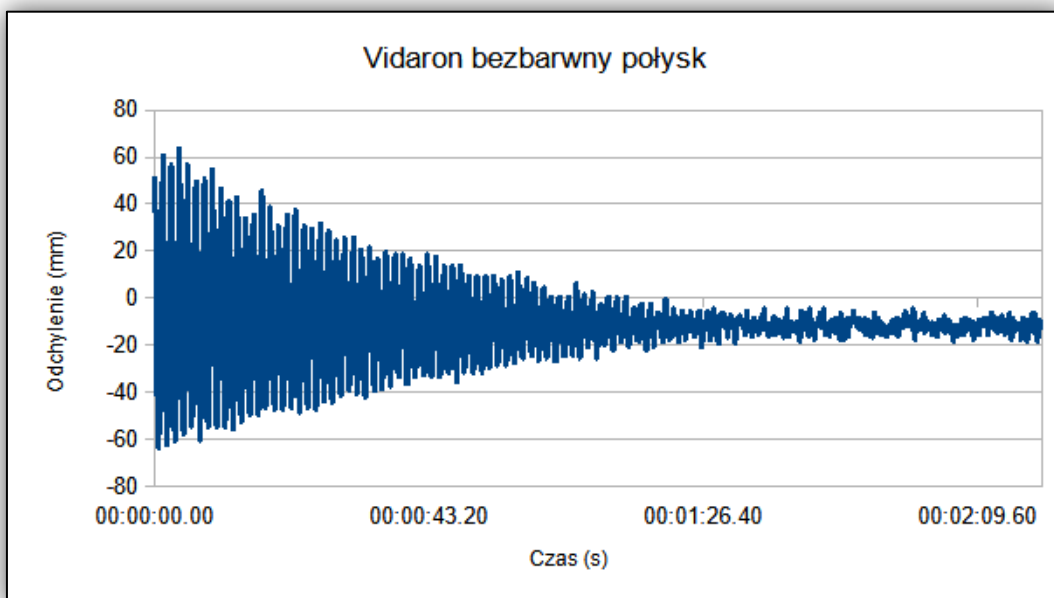
Następnie zbadano twardość powłoki przy tych samych warunkach i tą samą metodą dla szybko schnącego lakieru akrylowego zewnętrznego oraz wewnętrznego do powierzchni drewnianych, metalowych, aluminiowych, szklanych, kamiennych i różnego rodzaju tworzyw sztucznych PB7. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 02:25.97 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 50 pełnych wahań, a w zakresie 6°–0° średnio – 220 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 55.



Rysunek 55. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „High-gloss gold” marki Spectrum (PB7) w temperaturze 60°C.

Źródło: pracowanie własne

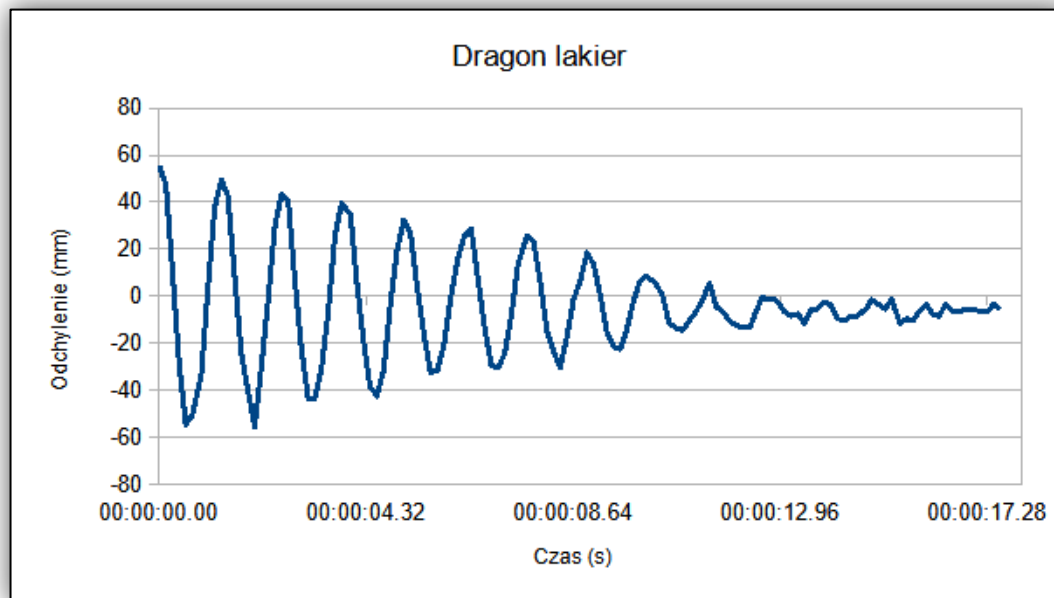
Następny lakier nitrocelulozowy PB8. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio dwie minuty i 20 sekund (02:20.15), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 54 pełne wahnięcia, a w zakresie 6° – 0° średnio – 222 wahnięcia. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 56.



Rysunek 56. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru „bezbarwny połysk” marki Vidaron (PB8) w temperaturze 60°C.

Źródło: pracowanie własne

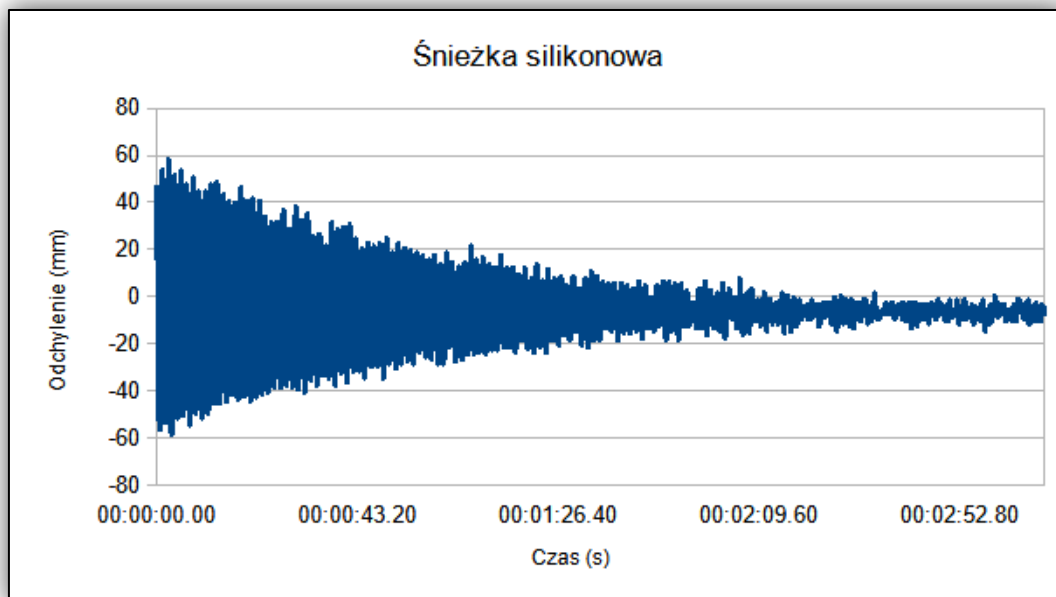
Następnie metodą tłumienia wahadła przy podwyższonej temperaturze do 60°C badano twardość powłoki lakieru do drewna akrylowo-poliuretanowego PB9. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 00:17.65 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 14 pełnych wahań, a w zakresie 6°–0° średnio – 30 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 57.



Rysunek 57. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru akrylowo-poliuretanowego marki Dragon (PB9) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

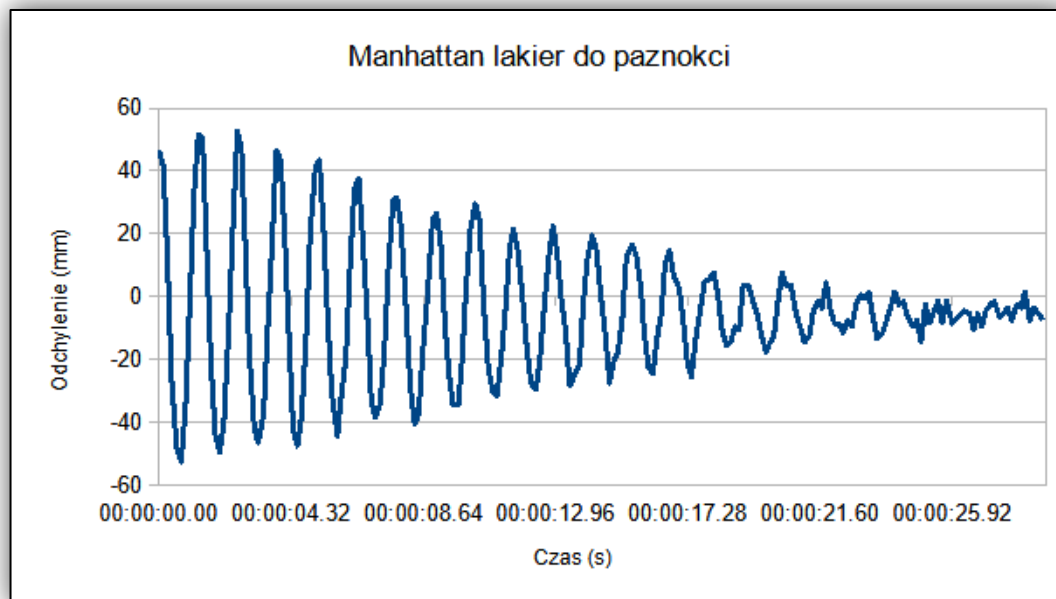
Kolejnym badanym produktem była srebrzanka żaroodporna silikonowa PB10. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio trzy minuty i dziewięć sekund (03:09.61), w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 76 pełnych wahań, a w zakresie 6°–0° średnio – 260 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 58.



Rysunek 58. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby silikonowej marki Śnieżka (PB10) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

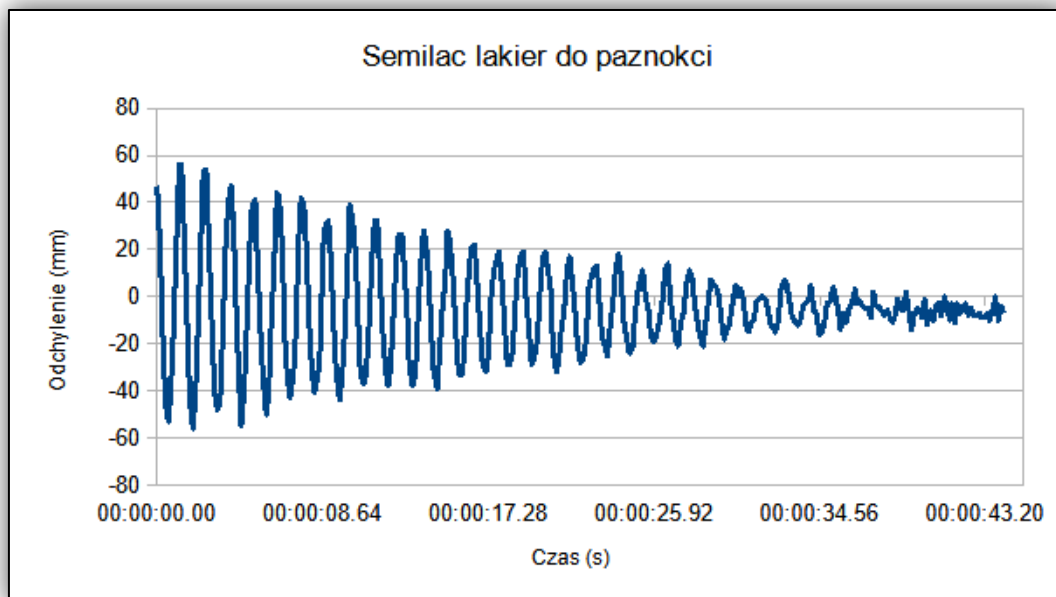
Przedostatnim produktem, badanym w tych samych warunkach był lakier do paznokci PB11. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 00:28.47 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 22 pełne wahnięcia, a w zakresie 6°–0° średnio – 48 wahnięć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 59.



Rysunek 59. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim produktem badanym pod względem twardości powłoki metodą tłumienia wahadła Königa przy podwyższonej temperaturze do 60°C był lakier do paznokci PB12. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 00:44.93 minuty, w zakresie 6°–3° wahadło wykonało średnio 26 pełnych wahaniec, a w zakresie 6°–0° średnio – 58 wahaniec. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 60.



Rysunek 60. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Semilac (PB12) w temperaturze 60°C.

Źródło: opracowanie własne

Zebraane wyniki przedstawiające ilość wychyleń wahadeł oraz czasy tłumienia wahadeł przedstawiono w Tabeli 4. Wstępnie na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, iż zmiana temperatury wpływa na zmiany w twardości powłok lakierowych. Zmiany te są uzależnione od wysokości temperatury, gatunku/rodzaju powłoki. Trudno jednoznacznie stwierdzić zależność zachodzących zmian twardości od składu chemicznego powłoki. Szczegółowe omówienie otrzymanych wyników znajduje się w rozdziale 3.

Tabela 4. Liczba wahaniec i czas tłumienia wahadła Königa przy podwyższonej temperaturze do 60°C.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	36	16	22	26	32	10	50	54	14	76	22	26
6-0°	76	34	52	56	96	18	220	222	30	260	48	58
Czas	00:54.24	00:21.58	00:32.90	00:32.53	01:03.93	00:10.74	02:25.97	02:20.15	00:17.65	03:09.61	00:28.47	00:44.93

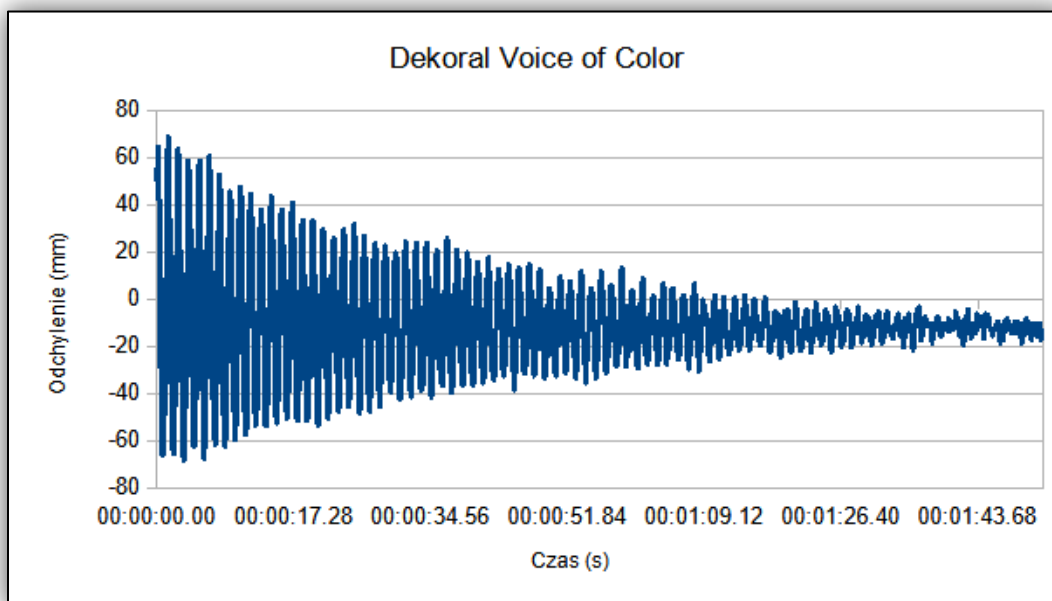
Źródło: opracowanie własne

2.5.2. Badania przy obniżonej temperaturze

Po wykonaniu badania wszystkich próbek w podwyższonej temperaturze zmieniono warunki i przystąpiono do badań w obniżonej temperaturze. Badania te przeprowadzono po ustabilizowaniu się temperatury zmierzonej na badanej powierzchni na poziomie -2°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$). Wszystkie pomiary wykonano na próbkach przygotowanych z tej samej partii produktów, pobieranych w tym samym czasie. Próbkę poddane badaniu schłodzono za pomocą ogniwa Peltiera. Temperatura -2°C została wybrana wielokrotnymi próbami

związanymi z temperaturą punktu rosy, oraz jak to miało miejsce w przypadku temperatury podwyższonej - z stabilizacją temperatury oraz utrzymaniem stałej pracy przez ogniwo Peltiera.

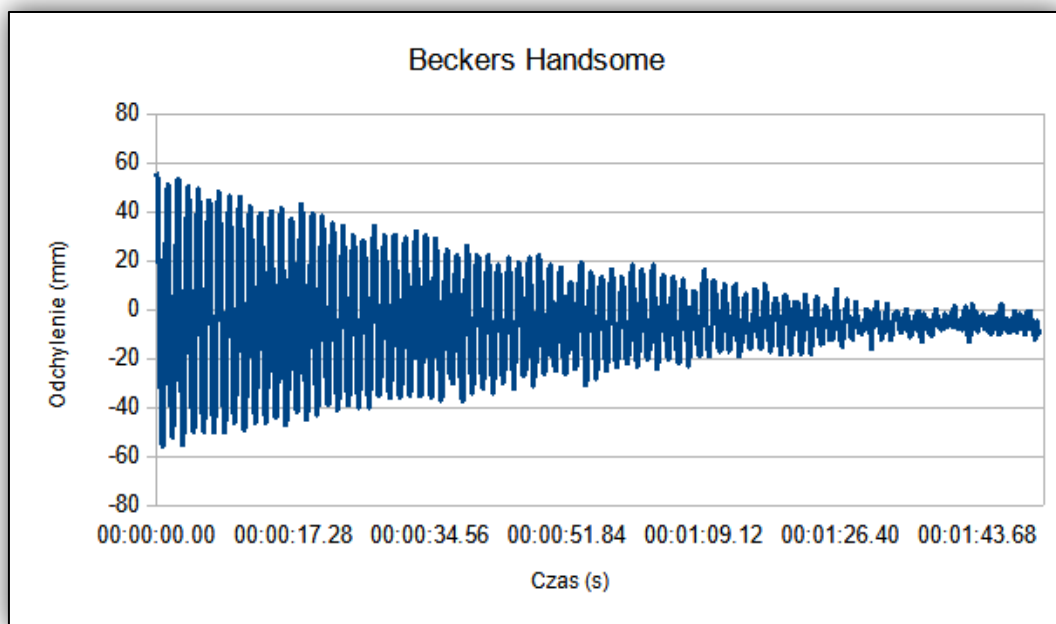
Pierwszą próbką poddaną badaniu twardości powłoki metodą tłumienia wahadła Königa przy obniżonej temperaturze do -2°C była farba lateksowa PB 1. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 1 minutę i 51 sekund (01:51.34), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 80 pełnych wahań, a w zakresie 6° – 0° średnio – 188 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 61.



Rysunek 61. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Voice of Color” marki Dekoral (PB1) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

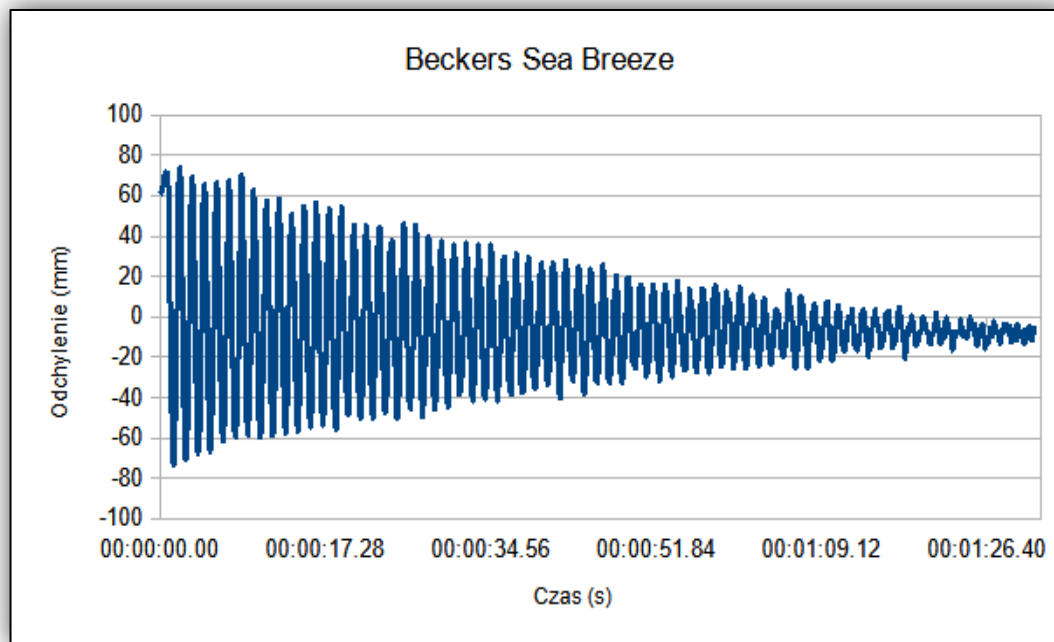
Jako druga była badana matowa farba lateksowa PB2. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 1 minutę i 51 sekund (01:51.13), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 54 pełne wahań, a w zakresie 6° – 0° średnio – 192 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 62.



Rysunek 62. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Handsome” marki Beckers (PB2) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

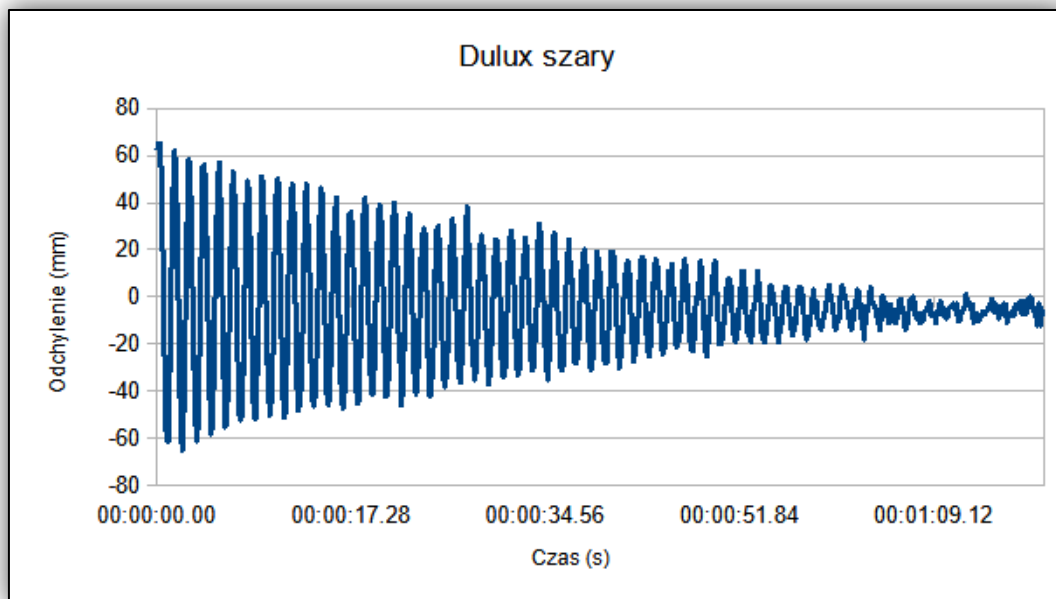
Następnie poddano badaniu twardości powłoki przy obniżonej temperaturze do -2°C płamoodporną farbę lateksową PB3. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 1 minutę i 33 sekundy (01:33.94), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 52 pełne wahnięcia, a w zakresie 6° – 0° średnio – 152 wahnięcia. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 63.



Rysunek 63. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Sea Breeze” marki Beckers (PB3) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

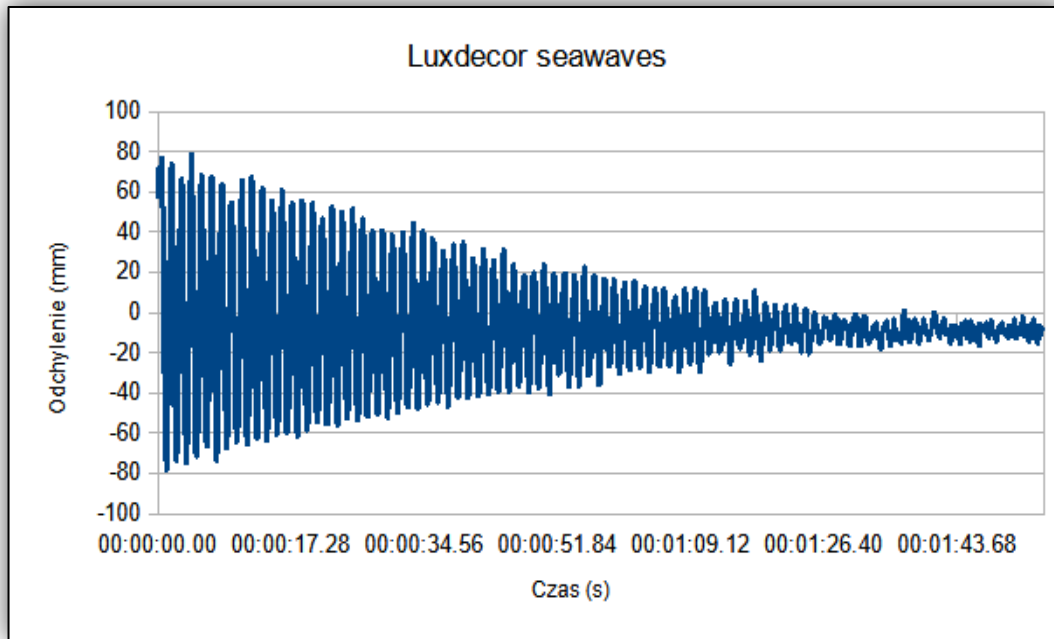
Kolejny produkt poddany badaniu twardości powłoki metodą tłumienia wahadła Königa przy obniżonej temperaturze do -2°C to matowa farba akrylowa PB4. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 1 minutę i 18 sekund (01:18.93), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 34 pełne wahnięcia, a w zakresie 6° – 0° średnio – 112 wahnięć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 64



Rysunek 64. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „szary” marki Dulux (PB4) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

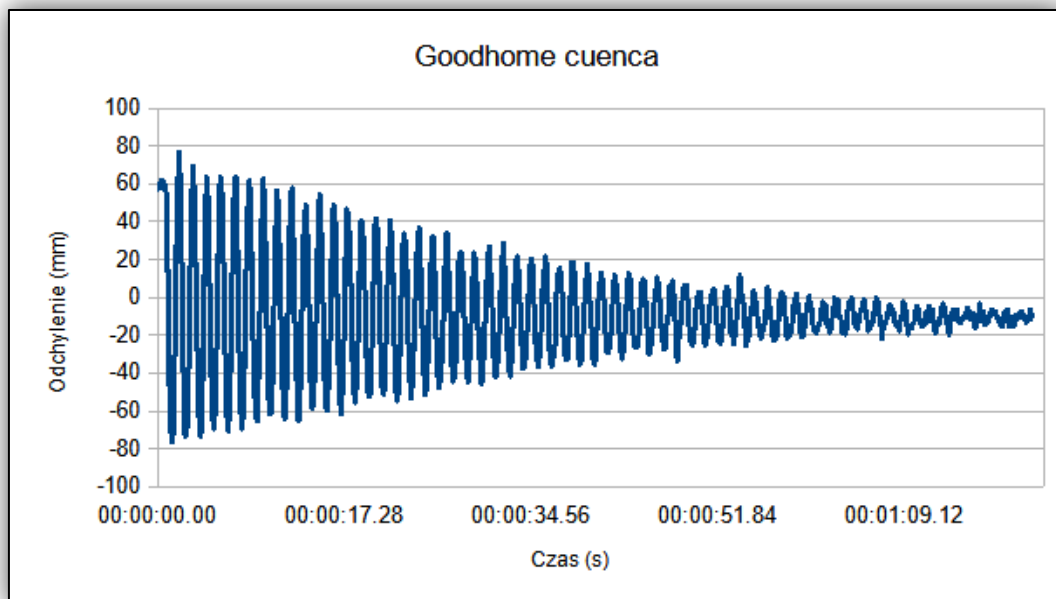
W dalszej części badań poddano farbę kredową PB5. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 1 minutę i 53 sekundy (01:53.32), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 74 pełne wahnięcia, a w zakresie 6° – 0° średnio – 178 wahnięcia. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 65.



Rysunek 65. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „seawaves” marki Luxdecor (PB5) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

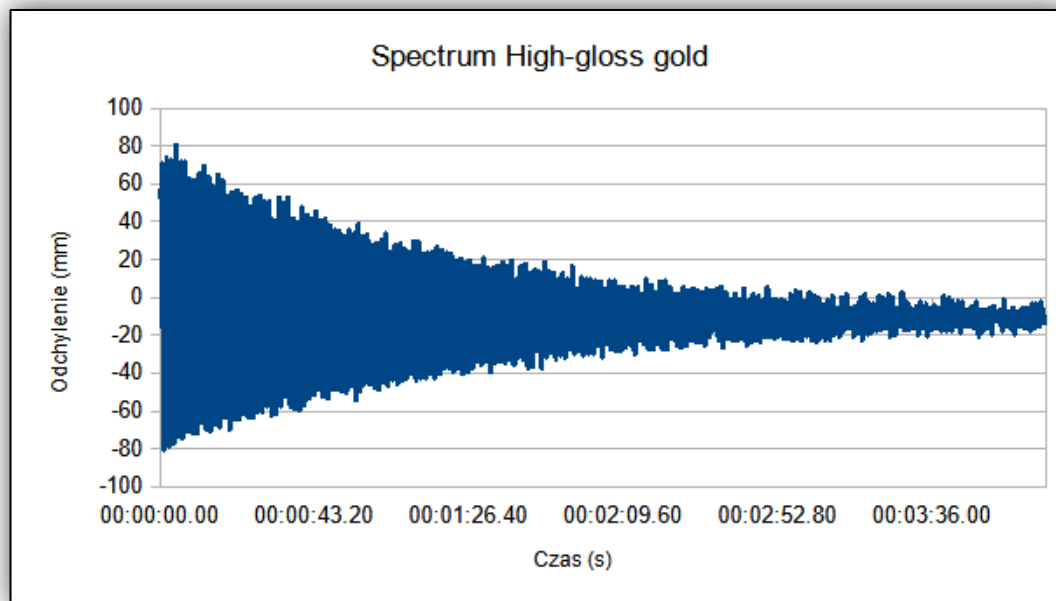
Następną badaną próbką była farba do metalu, aluminium, miedzi, żeliwa oraz stali PB6. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 1 minutę i 20 sekund (01:20.45), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 42 pełne wahnięcia, a w zakresie 6° – 0° średnio – 122 wahnięcia. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 66.



Rysunek 66. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „cuenca” marki Goodhome (PB6) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

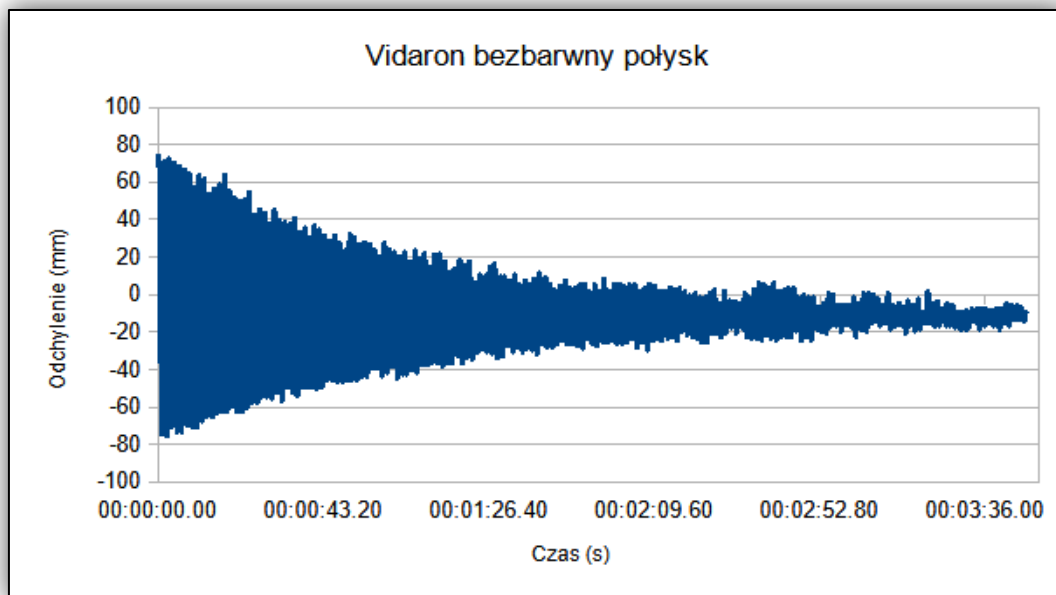
Kolejna próbka poddana badaniom przy obniżonej temperaturze do -2°C to szybko schnący lakier akrylowy przeznaczony do malowania na zewnętrznych oraz wewnętrznych powierzchniach drewnianych, metalowych, aluminiowych, szklanych, kamiennych i różnego rodzaju tworzywach sztucznych PB7. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 4 minuty i 7 sekund (04:07.38). W zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 72 pełne wahnięcia, a w zakresie 6° – 0° średnio – 372 wahnięcia. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 67.



Rysunek 67. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „High-gloss gold” (PB7) marki Spectrum w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

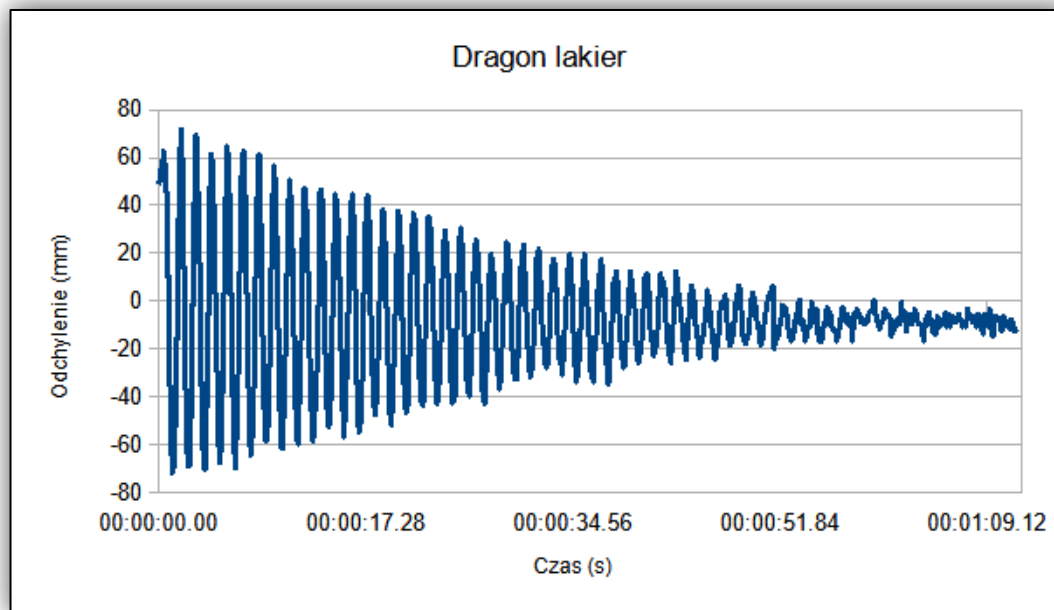
Następna próbka to lakier nitrocelulozowy PB8. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 3 minuty i 46 sekund (03:46.91), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 94 pełne wahnięcia, a w zakresie 6° – 0° średnio – 374 wahnięcia. Charakterystyka tłumienia wahań przedstawia Rysunek 68.



Rysunek 68. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru nitrocelulozowy „bezbarwny połysk” marki Vidaron (PB8) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

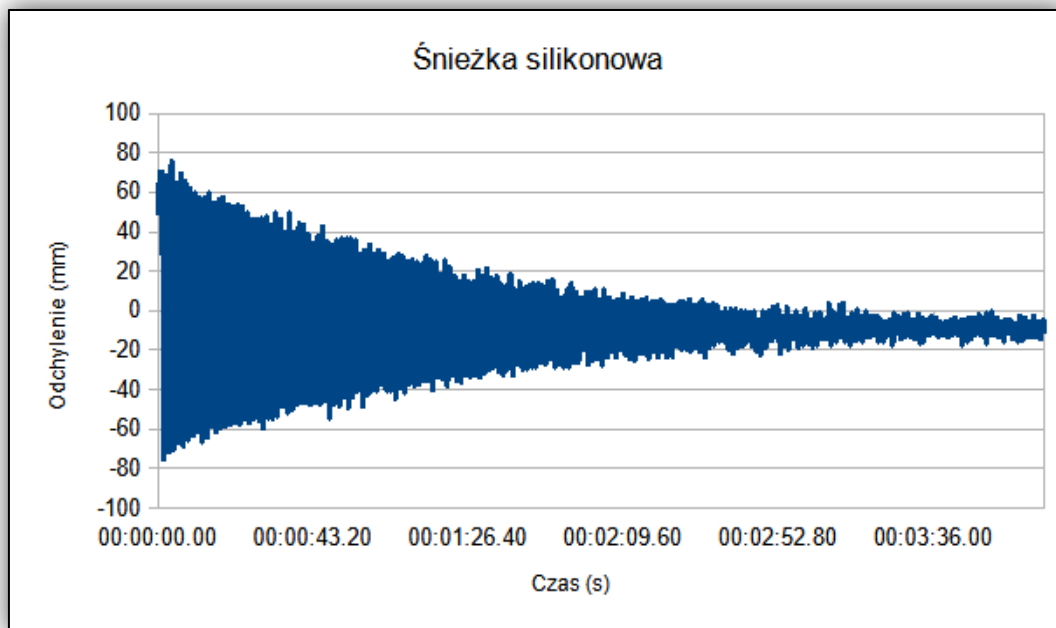
Następną próbką badaną pod względem twardości powłoki metodą tłumienia wahadła Königa przy obniżonej temperaturze do -2°C był lakier do drewna akrylowo-poliuretanowy PB9. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 1 minutę i 12.99 sekund (01:12.99). W zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 56 pełnych wahan, a w zakresie 6° – 0° średnio – 122 wahan. Wykres z tłumienia wahan przedstawia Rysunek 69.



Rysunek 69. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru akrylowo-poliuretanowego marki Dragon (PB9) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

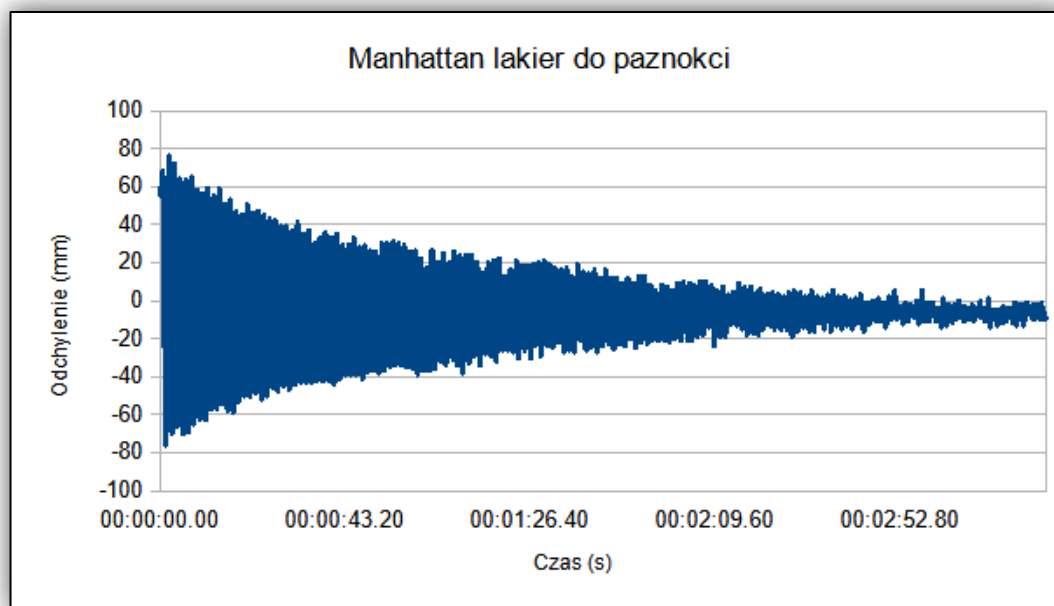
Następne badanie polegało na pomiarze tłumienia wahadła Königa dla srebrzanki silikonowej, żaroodpornej PB10. Tłumienie wahadła wynosiło średnio 4 minuty 5 sekund i 82 setnych sekundy (04:05.82), w zakresie 6° – 3° . Wahadło wykonało średnio 108 pełnych wahań, a w zakresie 6° – 0° średnio – 376 wahań. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 70.



Rysunek 70. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla srebrozłotej silikonowej marki Śnieżka (PB10) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

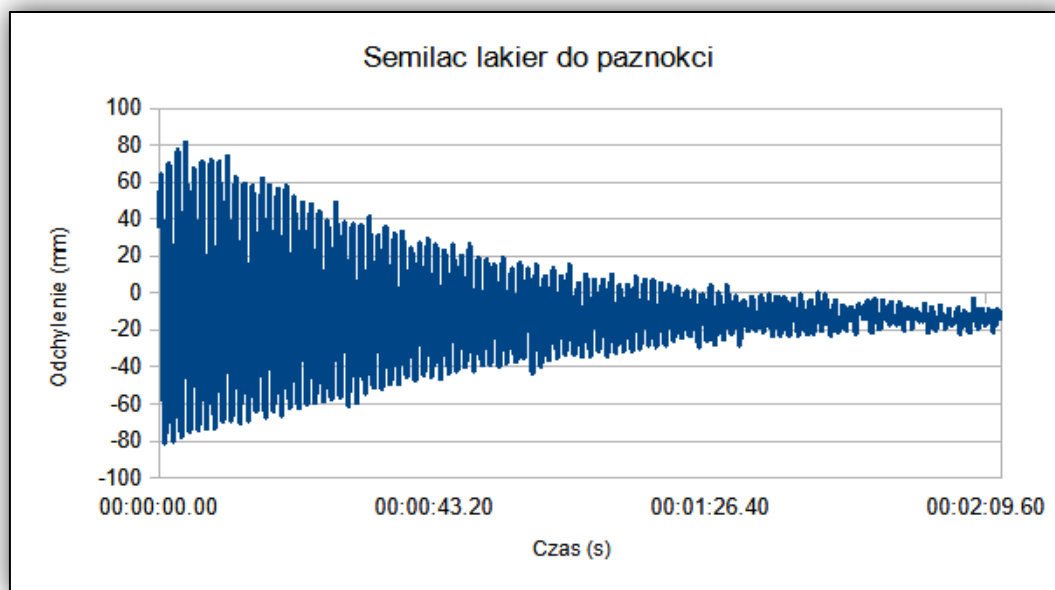
Przedostatnią badaną próbką był lakier do paznokci PB11. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 3 minuty 24 sekundy (03:24.30), w zakresie 6° – 3° wahadło wykonało średnio 76 pełnych wahanć, a w zakresie 6° – 0° średnio – 314 wahanć. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 71.



Rysunek 71. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

Ostatnia badana próbka to próbka PB12– lakier do paznokci. Tłumienie wahadła Königa wynosiło średnio 2 minuty i 18 sekund (02:18.75). W zakresie 6° – 3° wahadło wykonuje średnio 86 pełnych wahanć, a w zakresie 6° – 0° średnio – 230. Wykres z tłumienia wahań przedstawia Rysunek 72.



Rysunek 72. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Semilac (PB12) w temperaturze -2°C .

Źródło: opracowanie własne

Badania twardości powłok lakierowych przy temperaturze obniżonej przebiegły bez większych problemów lub niedogodności. Otrzymane wyniki ukazały w wielu przypadkach odwrotność wyników z temperatury podwyższonej do 60°C . Wiele z powłok uległo wzrostowi twardości powłoki lakierowej. Na tej podstawie można stwierdzić, iż podwyższanie temperatury w wielu przypadkach powoduje zmiękczenie powłoki lakierowej, natomiast narażenie jej na oddziaływanie temperatury obniżonej powoduje jej utwardzenie. Uzyskane wyniki badania przedstawia Tabela 5. Szczegółowe omówienie wyników jest zawarte w rozdziale 3.

Tabela 5. Liczba wahań oraz czas tłumienia wahadła w otoczeniu o obniżonej temperaturze do -2°C

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	80	54	52	34	74	42	72	94	56	108	76	86
6-0°	188	196	152	112	178	122	372	374	132	376	314	230
Czas	01:51.34	01:51.13	01:33.94	01:18.93	01:53.32	01:20.45	04:07.38	03:46.91	01:12.99	04:05.82	03:24.30	02:18.75

Źródło: opracowanie własne

2.6. Badanie twardości powłok lakierowych po 336 godzinach oddziaływaniu 10% NaCl

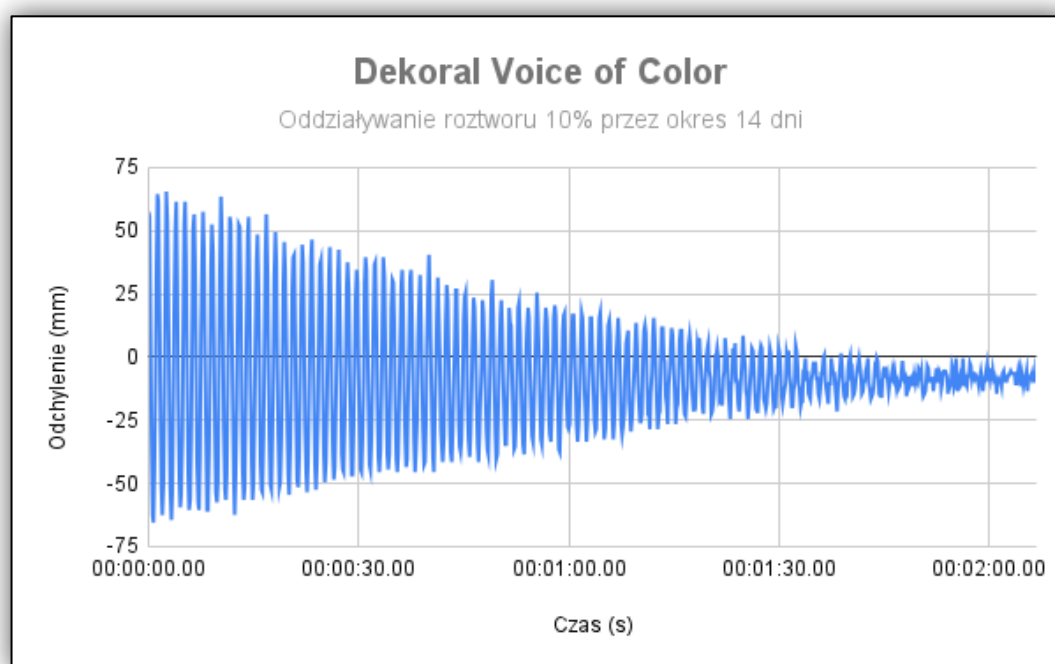
W ramach badań podjęto próby określenia zmian twardości powłok lakierowych narażonych na oddziaływanie roztworu solnego. Wszystkie próbki lakierów zostały poddane działaniu 10% roztworu NaCl rozpuszczonej w wodzie. Zgodnie z danymi

literaturowymi średnia wartość zasolenia wód morskich wynosi około 3.5%, natomiast wartości maksymalne, w których odbywa się ruch morski lub śródlądowy to blisko 34% (Morze Martwe). Wśród zbiorników wodnych o wysokim poziomie zasolenia na których odbywa się ruch wodny można między innymi wymienić: Jezioro Little Manitou (18% zasolenia wody), jezioro Urmia (8,5-28% zasolenia), Wielkie Jezioro Słone (5-27% zasolenia) czy Jezioro Mono (5-9,9% zasolenia).

Aby przyspieszyć oddziaływanie niekorzystnych warunków środowiskowych na próbki poddano je działaniu roztworu o trzykrotnie większym stężeniu soli niż średnie zasolenie wód morskich, jednocześnie utrzymując wartość możliwą na oddziaływanie w ruchu wodnym.

Wszystkie powłoki poddawano działaniu roztworu soli kuchennej przez 336 godzin w stałej temperaturze $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Po tym czasie zostały one wysuszone, a następnie poddane badaniom twardości z użyciem wahadła Königa. Wyniki przeprowadzonych prób tłumienia wahadła zamieszczono w dalszej części tego rozdziału.

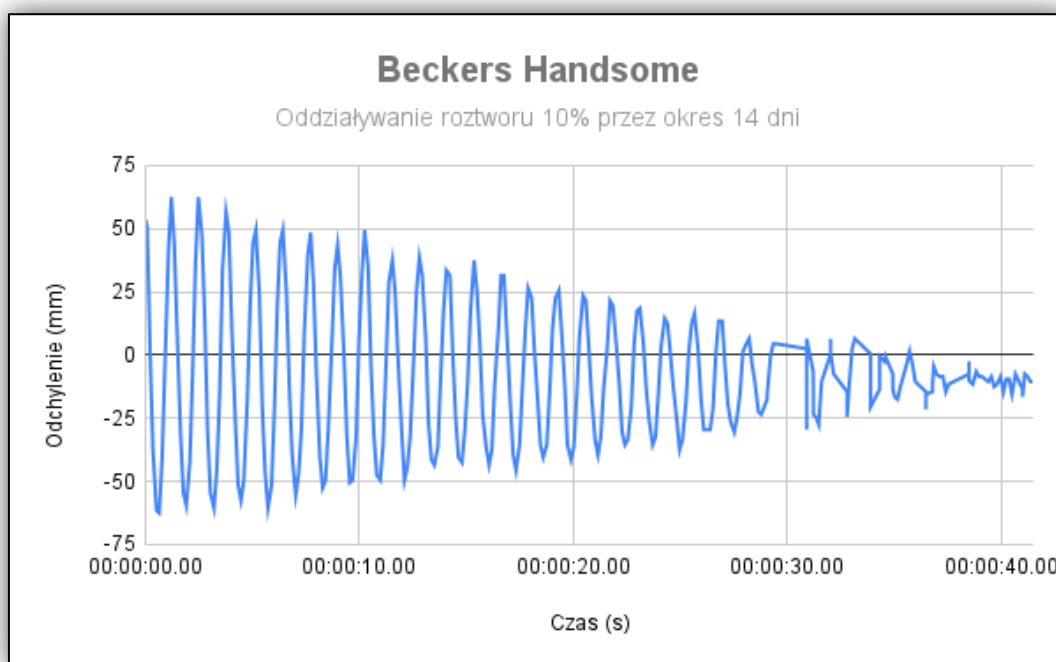
Twardość powłoki farby lateksowej PB1 została oceniona metodą tłumienia wahadła po narażeniu na środowisko roztworu NaCl. Średni czas tłumienia wahadła Königa po narażeniu na działanie roztworu soli o stężeniu 10% NaCl wyniósł średnio 1 minutę i 2 sekundy (01:02.67). W zakresie od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 60 pełnych wychyleń, a w zakresie od 6° do 0° - średnio 160 wychyleń. Szczegółowe wyniki badania przedstawia Rysunek 73.



Rysunek 73. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Dekoral (PB1) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

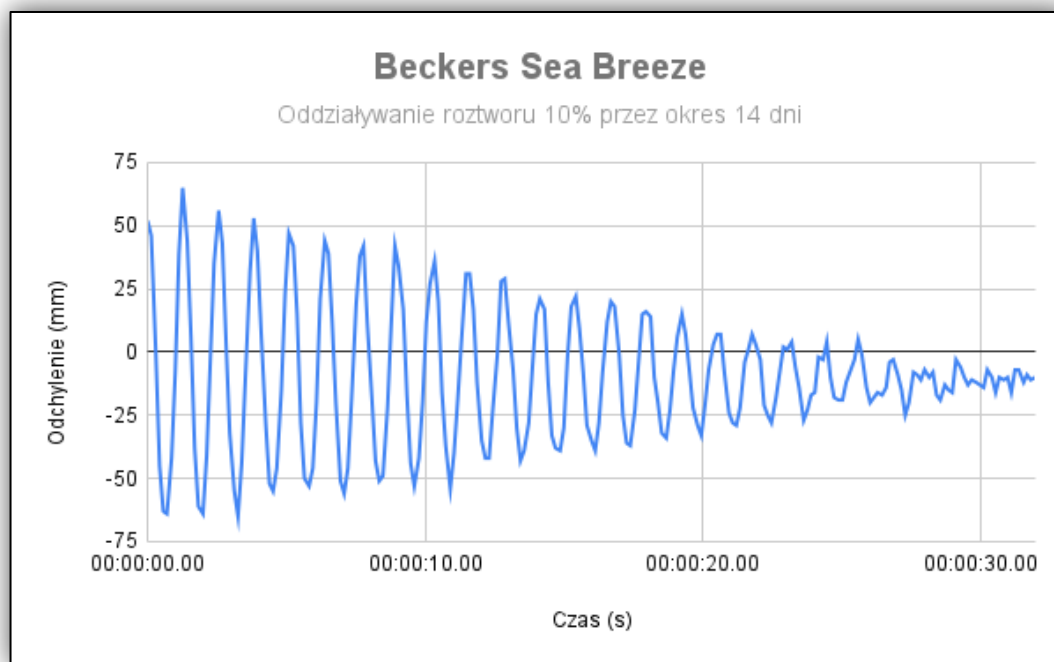
Matowa farba lateksowa PB2 została poddana badaniu twardości powłoki tą samą metodą i w tych samych warunkach, co farba „Voice of Color”. Średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 42 sekundy (00:42.54). W zakresie od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 30 pełnych wychyleń, a w zakresie od 6° do 0° - średnio 64 wychylenia. W przypadku tej próbki zanotowano niesystematyczny ruch wahadła spowodowany prawdopodobnie występującymi kryształkami soli. Szczegółowe wyniki badania przedstawia Rysunek 74.



Rysunek 74. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Beckers (PB2) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

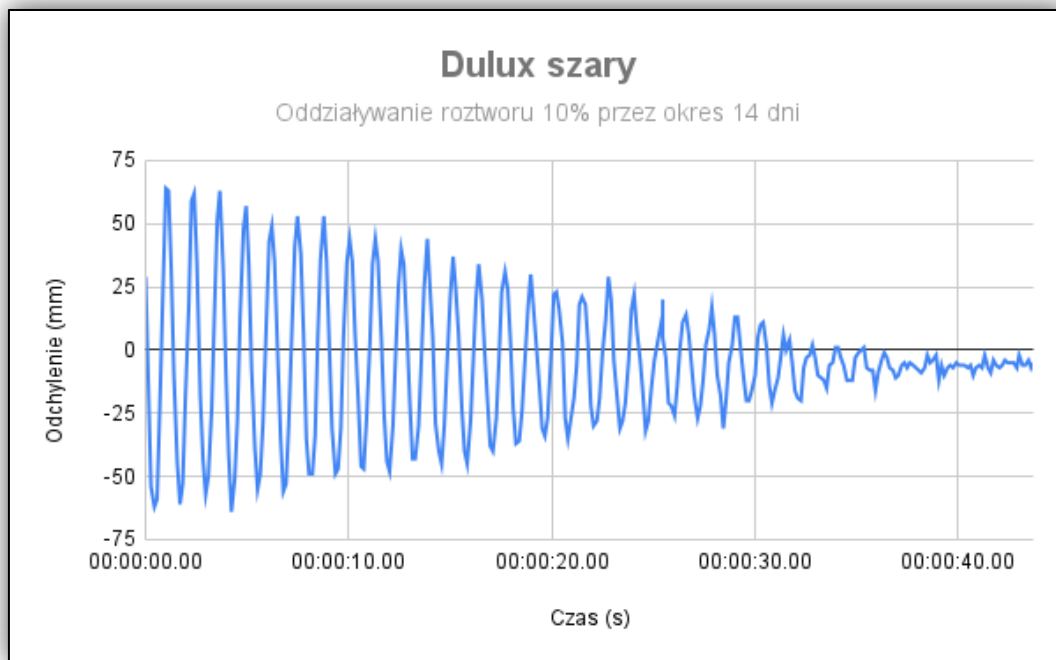
Plamoodporna farba lateksowa PB3 została poddana badaniu twardości powłoki po narażeniu na działanie roztworu soli kuchennej. Średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 32 sekundy (00:32.05). W zakresie od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 26 pełnych wychyleń, a w zakresie od 6° do 0° - średnio 46 wychyleń. Przykładowy wynik badania przedstawia Rysunek 75.



Rysunek 75. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Beckers (PB3) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

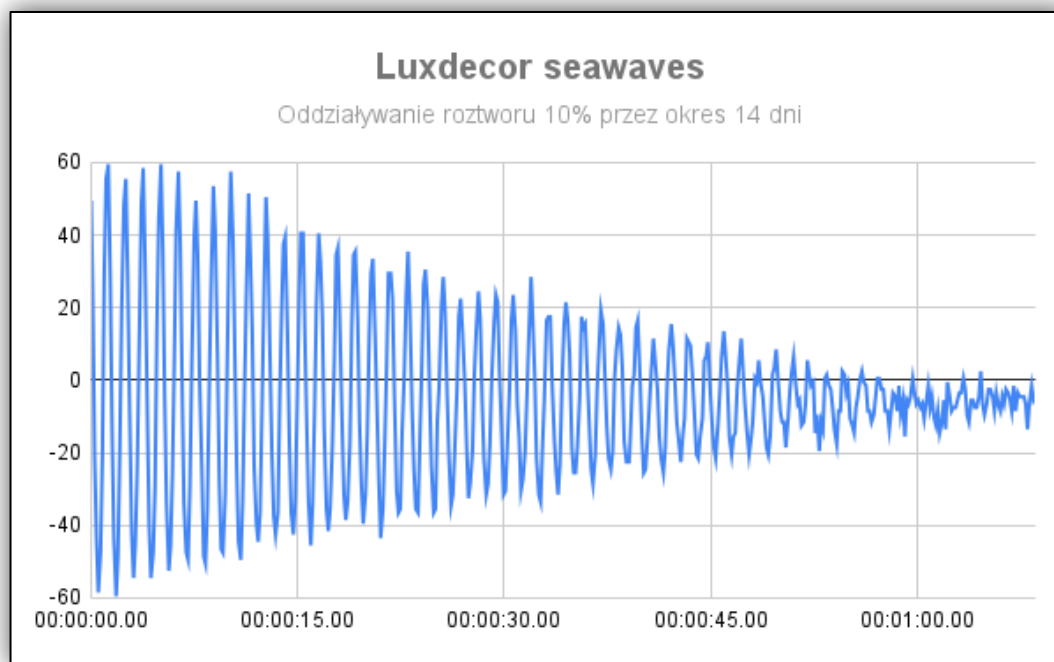
Matowa farba akrylowa PB4 została poddana badaniu twardości powłoki metodą tłumienia wahadła Königa po narażeniu na oddziaływanie wody oraz soli kuchennej. Średni czas tłumienia wahadła wyniósł 43 sekundy (0:43.49). W zakresie od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 26 pełnych wychyleń, a w zakresie od 6° do 0° - średnio 64 wychylenia. Przykładowy wynik badania przedstawia Rysunek 76.



Rysunek 76. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Dulux (PB4) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

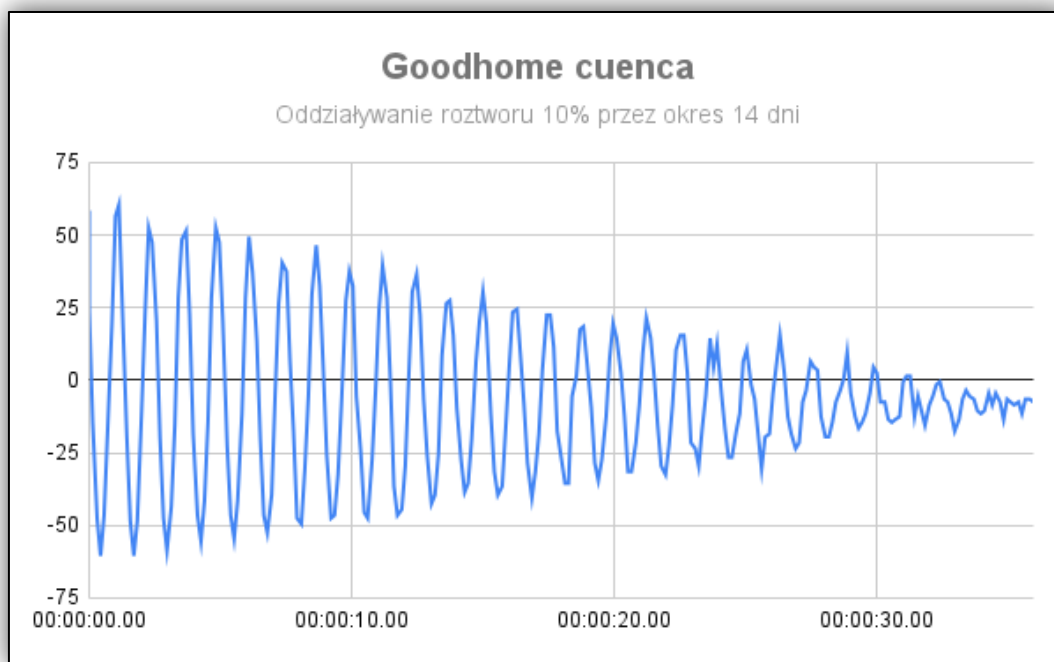
Następnie badaniu twardości powłoki poddano farbę kredową PB5. Średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 1 minutę i 13 sekund (01:13.31). W zakresie od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 44 pełne wychylenia, a w zakresie od 6° do 0° - średnio 110 wychyleń. Przykładowy wynik badania przedstawia Rysunek 77.



Rysunek 77. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Luxdecor (PB5) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

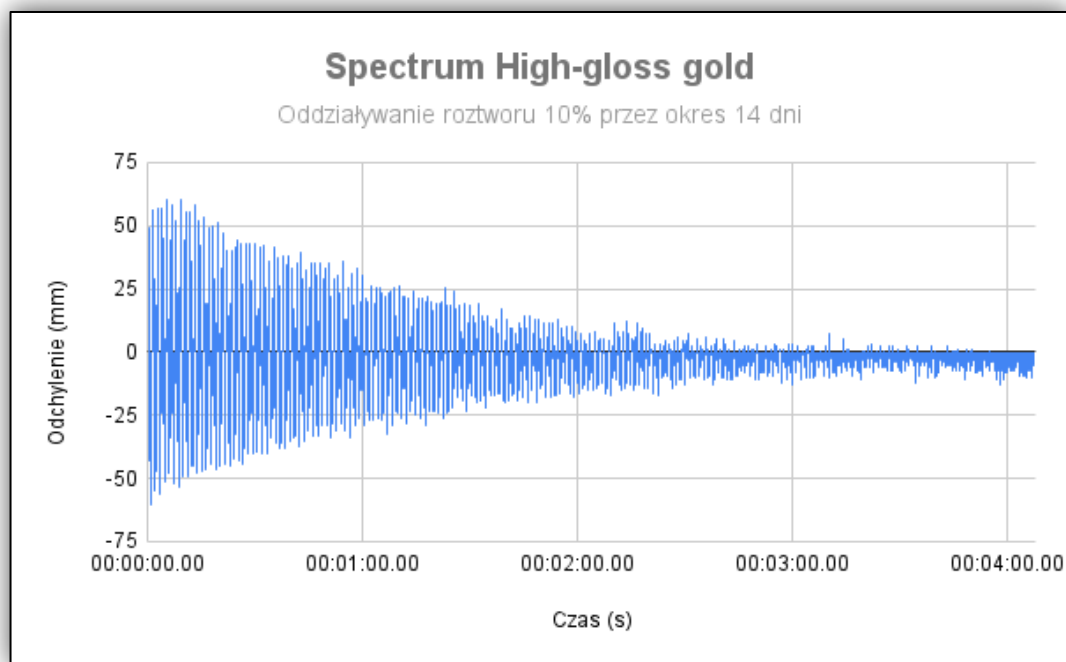
Kolejnym produktem poddanym badaniu twardości powłoki w środowisku o podwyższonym stężeniu soli była PB6, przeznaczona do pokrywania powierzchni z metalu, aluminium, miedzi, żeliwa i stali. Wykorzystując metodę tłumienia wahadła Königa ustalono, że średni czas tłumienia wynosi 36 sekundy (0:36.15). W zakresie wychylenia wahadła od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 28 pełnych wahań, natomiast w zakresie od 6° do 0° średnia liczba wahań wyniosła 52. Przykładowy wynik tego badania przedstawia Rysunek 78.



Rysunek 78. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Goodhome (PB6) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

W ramach dalszych badań twardości powłok po narażeniu na środowisko o podwyższonym stopniu zasolenia, analizie został poddany szybkoschnący lakier akrylowy PB7. Produkt ten przeznaczony jest do malowania powierzchni znajdujących się zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz pomieszczeń. Lakier ten może być stosowany na powierzchniach takich jak: drewno, metal, aluminium, szkło, kamień oraz tworzywa sztuczne. Wykorzystując metodę tłumienia wahadła, ustalono, że średni czas tłumienia wahadła Königa wynosi 4 minuty i 10 sekund (04:10.38). Warto podkreślić już w tym miejscu, że jest to wartość, świadcząca o wyjątkowej twardości powłoki, która powstała w wyniku zastosowania tego lakieru. W zakresie wychyleń wahadła od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 70 pełnych wahań, a w zakresie od 6° do 0° średnia liczba wahań wyniosła 402. Przykładowy wynik tego badania prezentuje Rysunek 79.



Rysunek 79. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Spectrum (PB7) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

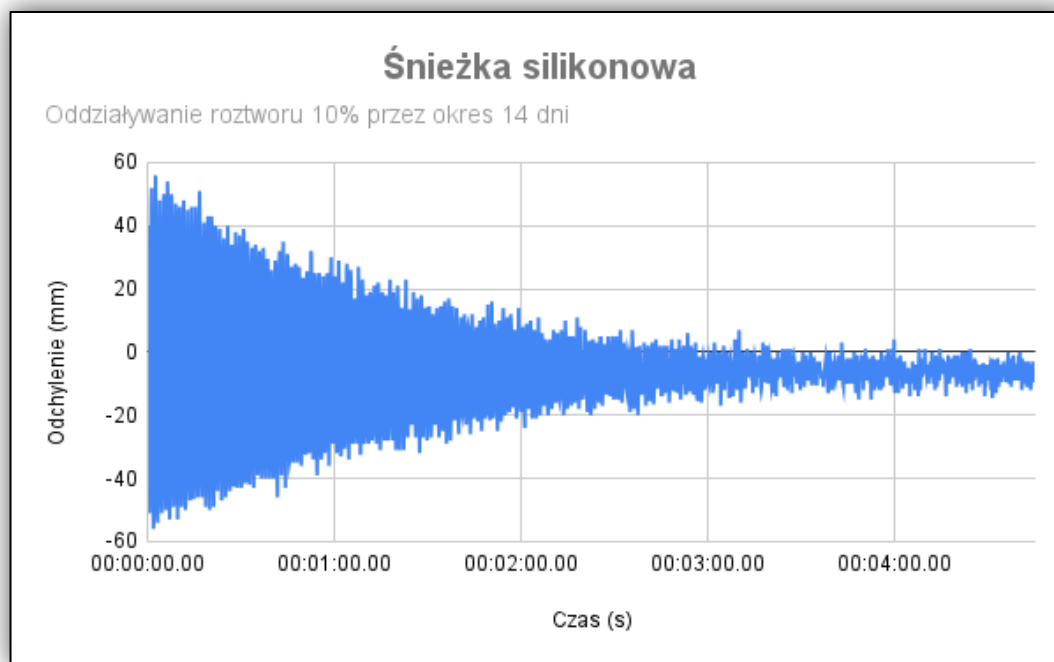
W dalszym ciągu badań twardości powłok farb po narażeniu na roztwór soli, zbadano lakier nitrocelulozowy PB8. Wykorzystując metodę tłumienia wahadła Königa, ustalono, że średni czas tłumienia wahadła wynosi 4 minuty i 51 sekund (04:51.08). W zakresie wartości wychyleń od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 92 pełne wahnięcia, a w zakresie od 6° do 0° średnia liczba wahań wyniosła 450. Przykładowy wynik tego badania prezentuje Rysunek 80.



Rysunek 80. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Vidaron (PB8) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

W ramach dalszych badań twardości powłok po narażeniu na działanie soli poddano analizie srebrzankę silikonową żaroodporną PB10. Wykorzystując metodę tłumienia wahadła Königa, ustalono, że średni czas tłumienia wahadła 4 minuty i 44 sekundy (04:44.12). To wynik świadczący o wysokiej twardości powłoki tej srebrzanki. W zakresie wychylenia od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 88 pełnych wahań, a w zakresie od 6° do 0° średnia liczba wahań wyniosła 416. Przykładowy wynik tego badania prezentuje Rysunek 81.



Rysunek 81. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby marki Śnieżka (PB10) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

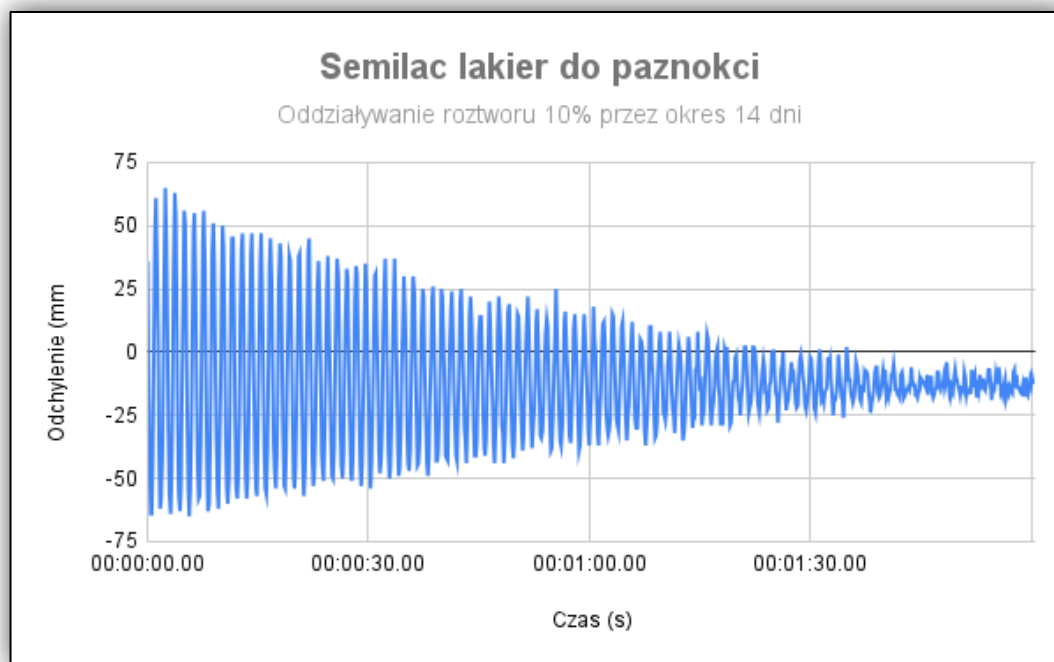
Następnym badanym produktem był lakier do paznokci PB11, który wybrano ze względu na deklarowaną przez producenta trwałość. W testach twardości powłoki przeprowadzonych po ekspozycji na zasolone środowisko, średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 1 minutę i 16 sekund (01:16.56). W zakresie wychylenia od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 50 pełnych wahań, natomiast w zakresie od 6° do 0° średnia liczba wahań wyniosła 120. Przykładowy wynik tego badania prezentuje Rysunek 82.



Rysunek 82. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

Kolejną powłoką poddaną analizie był lakier do paznokci PB12. Stosując metodę tłumienia wahadła, ustalono, że średni czas tłumienia wahadła Königa wynosi 2 minuty (02:00.31). To wynik świadczący o wyższej odporności powłoki pod względem twardości w porównaniu z poprzednio badanym lakierem. W zakresie wychyleń od 6° do 3° wahadło wykonało średnio 56 pełnych wahań, a w zakresie od 6° do 0° średnia liczba wahań wyniosła 198. Przykładowy wynik tego badania prezentuje Rysunek 83.



Rysunek 83. Przebieg procesu tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Semilac (PB12) po narażeniu na oddziaływanie 10% NaCl w czasie 336 godzin.

Źródło: opracowanie własne

Próbki poddane oddziaływaniu 10% roztworu NaCl w czasie 336 godzin wykazały różne zachowania powierzchni pod względem twardości powłoki. Część z produktów wykazała wzrost twardości powłoki, natomiast znalazły się też produkty, które nie wykazały istotnych różnic względem badań zgodnych z normą. Niektóre z produktów wykazały bardzo istotne zmiany twardości inne uległy degradacji uniemożliwiającej przeprowadzenie pomiarów. Dotyczy to na przykład próbki numer 9. Próbka ta uległa całkowitej degradacji w roztworze solnym, co uniemożliwiło przeprowadzenie badania. Całkowite zestawienie wyników przeprowadzonych badań przedstawia Tabela 6.

Tabela 6. Zestawienie wahań i czasu tłumienia wahadła po poddaniu próbek otoczeniu 10% roztworu NaCl.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	30	15	13	13	22	14	35	46	X	44	25	28
6-0°	80	32	23	32	55	26	201	225	X	208	60	99
Czas	02:02.67	00:42.54	00:32.05	00:43.49	01:13.31	00:36.15	04:10.16	04:51.08	X	04:44.12	01:16.56	02:00.31

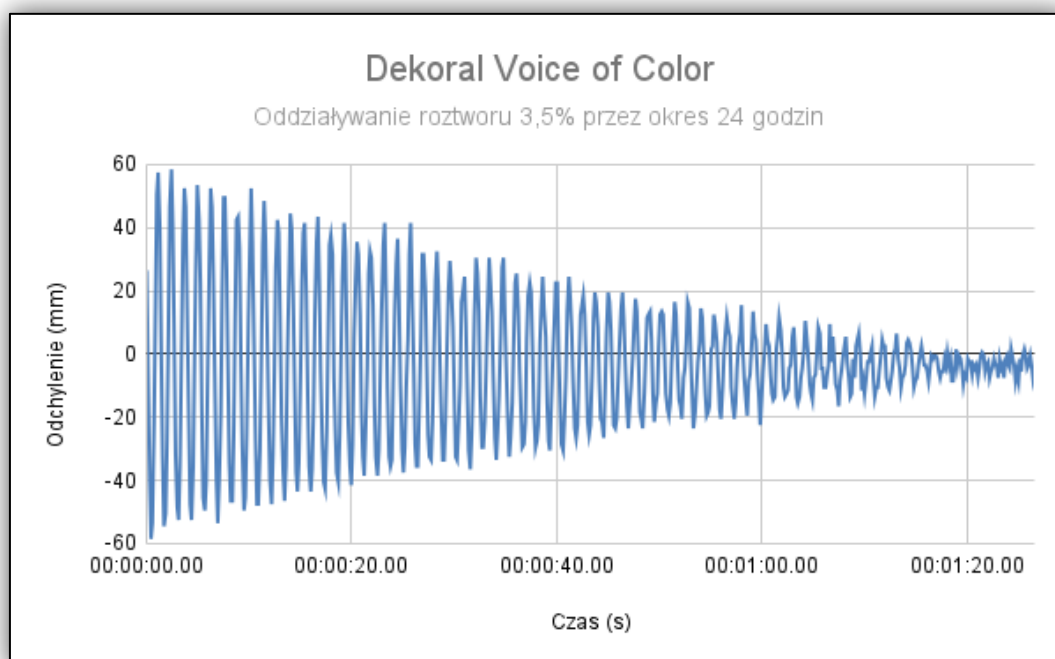
Źródło: opracowanie własne

2.7. Badania twardości powłok po narażeniu na 3,5% roztwór NaCl w różnych czasach.

W ramach badań dotyczących narażenia powłok lakierowych w związku z wpływem środowiska, w którym występuje zasolenie przeprowadzono testy lakierów narażonych na oddziaływanie chlorku sodu o stężeniu odpowiadającym średniemu stężeniu wód morskich na świecie (3,5 % NaCl).¹⁴⁸ w pierwszej kolejności badania przeprowadzono na próbkach, które poddawano oddziaływaniu chlorku sodu przez 24 godziny. Następnie próbki te zostały poddane oddziaływaniu chlorku sodu w czasie 136 godzin i 336 godzin. Wszystkie badania przeprowadzono w temperaturze $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

2.7.1. Wpływ oddziaływania 3,5% NaCl w czasie 24 godzin

Zgodnie z porządkiem badań przedstawionym w poprzednim rozdziale pierwszą próbką poddaną badaniu był PB1. Przykładowe tłumienie wahadła w tym przypadku przedstawiono na poniższym rysunku (Rysunek 84.). Średni czas tłumienia wynoszący: 01:39.32 minuty. Ilość wahań w przedziale od 6° - 3° wyniosła 56 a w przedziale 6° - 0° 156 wahań.

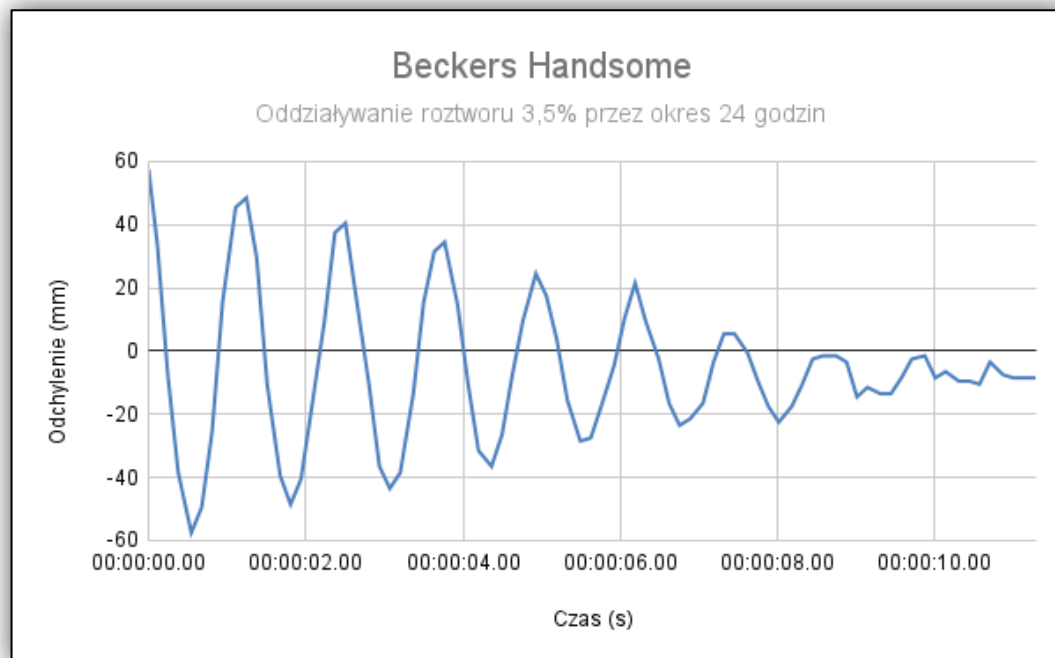


Rysunek 84. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Voice of Color” marki Dekoral (PB1) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

¹⁴⁸ Pawłowicz, R. (2013). "Key Physical Variables in the Ocean: Temperature, Salinity, and Density". Nature Education Knowledge. 4 (4): 13.

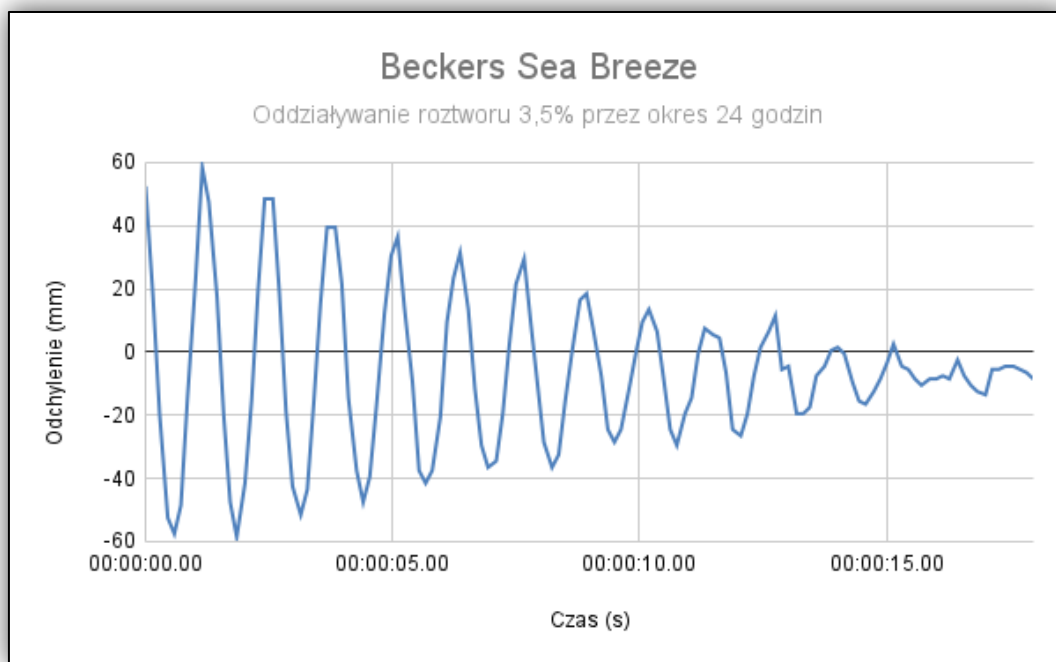
W następnej kolejności do badania w otoczeniu zasolonym użyto farby PB2. W tym przypadku czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 00:13.21 minuty. Okres tłumienia w przedziale od 6° do 3° wyniósł 14 wahań, natomiast dla przedziału od 6° do 0° 24 wahań (Rysunek 85.).



Rysunek 85. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Handsome” marki Beckers (PB2) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

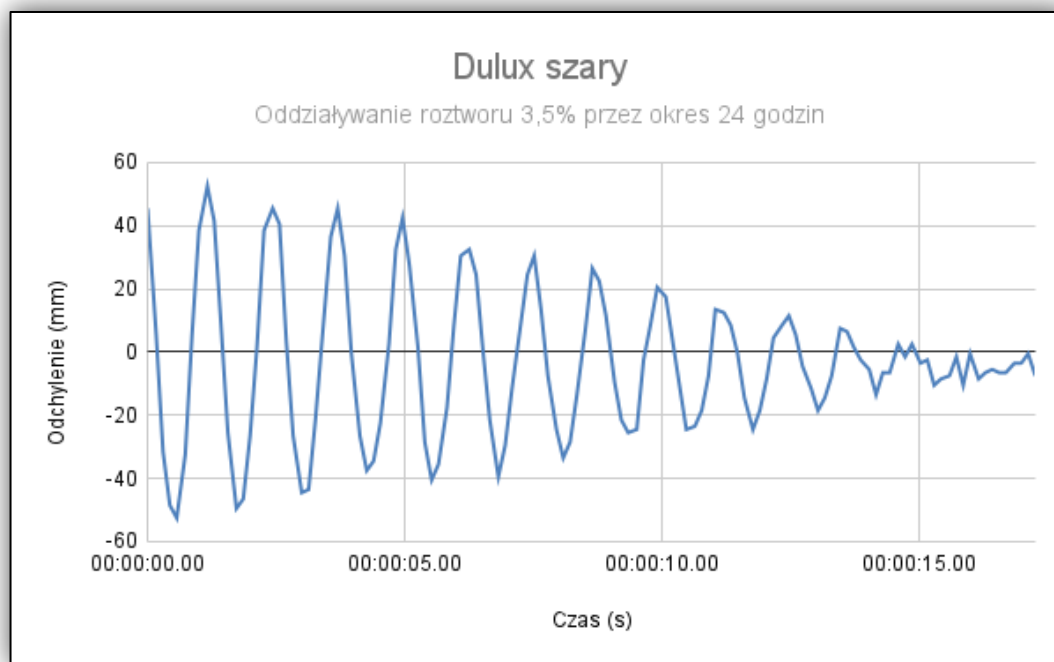
Podczas przeprowadzania badania tłumienia wahadła Königa dla próbki PB3 określono średni czas tłumienia: 00:19.33 minuty. Ilość wahań wahadła w przedziale od 6° do 3° wyniósł 14 wahań a w przedziale od 6° do 0° - 30 wahań wahadła (Rysunek 86.).



Rysunek 86. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Sea Breeze” marki Beckers (PB3) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

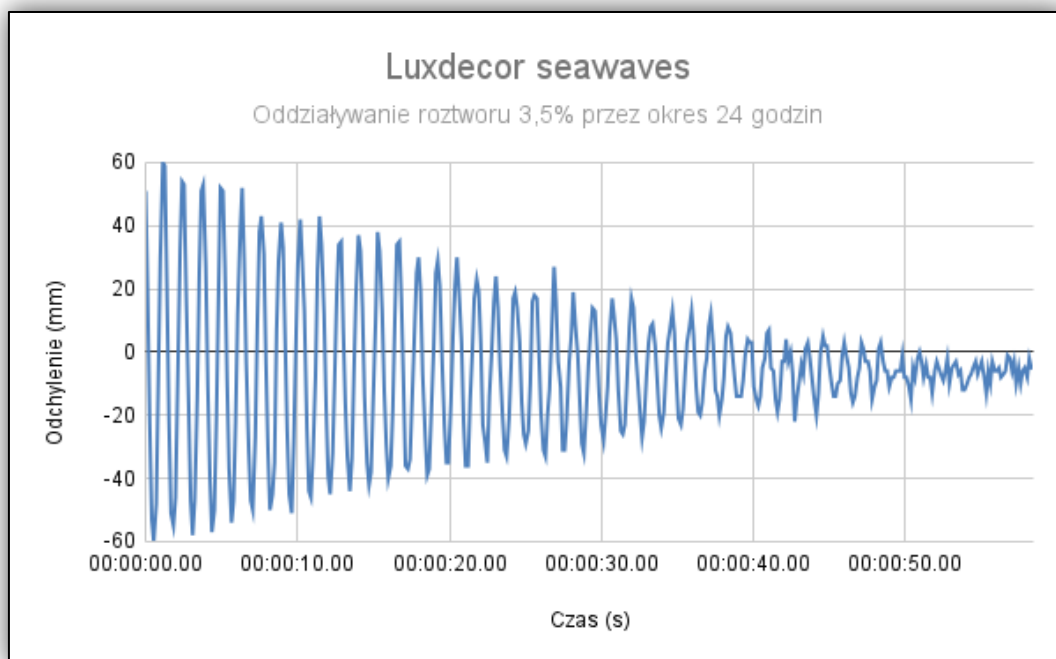
Następnie badaniu została poddana próbka farby PB4. Badanie analogicznie jak uprzednio zostało przeprowadzone w podwyższonym zasoleniu do wartości 3,5% w czasie 24h. Średni czas tłumienia wahadła Königa w tym przypadku wyniósł 00:19.65 minuty. Wahadło podczas tłumienia od wartości 6° do 3° wykonało 16 pełnych wahań. W przypadku tłumienia dla odchylenia od 6° do 0° ilość wahań wynosi 30 (Rysunek 87.).



Rysunek 87. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „szary” marki Dulux (PB4) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

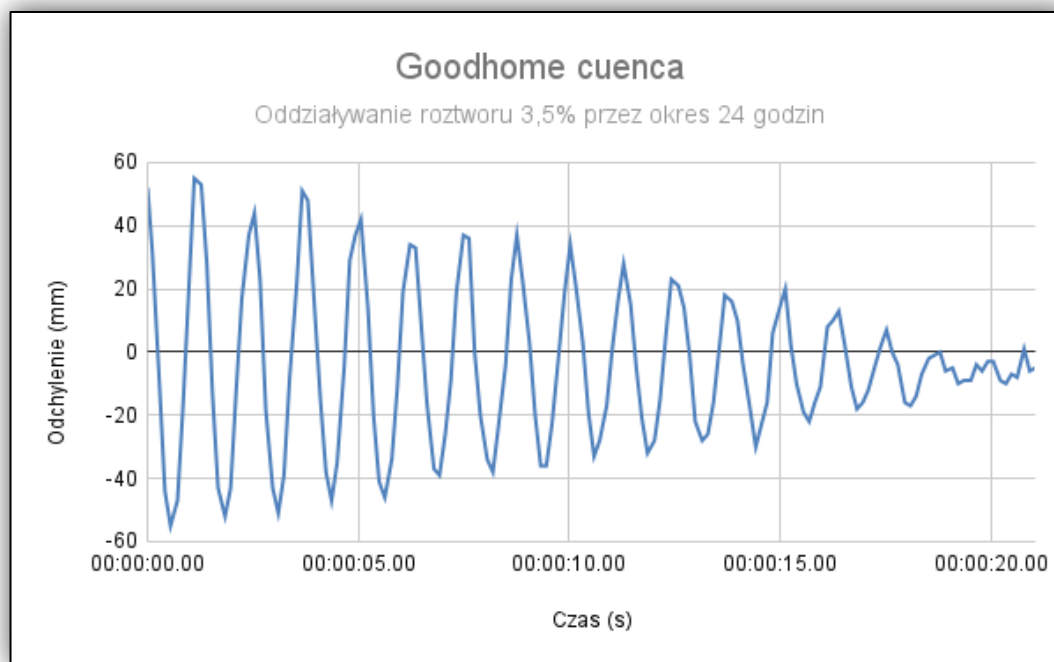
Kolejną powłoką biorącą udział w badaniu jest próbka farby PB5. Średni czas tłumienia w tym przypadku wyniósł 01:05.45 minuty. Wahadło Königa wykonało 34 pełne wahnięcia dla okresu od 6° do 3° oraz 88 wahnięcia w przedziale od 6° do 0° . Badania były analogicznie przeprowadzane w środowisku o podwyższonym zasoleniu do wartości 3,5% w przedziale narażenia próbki na oddziaływanie przez 24 godziny (Rysunek 88.).



Rysunek 88. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „seawaves” marki Luxdecor (PB5) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

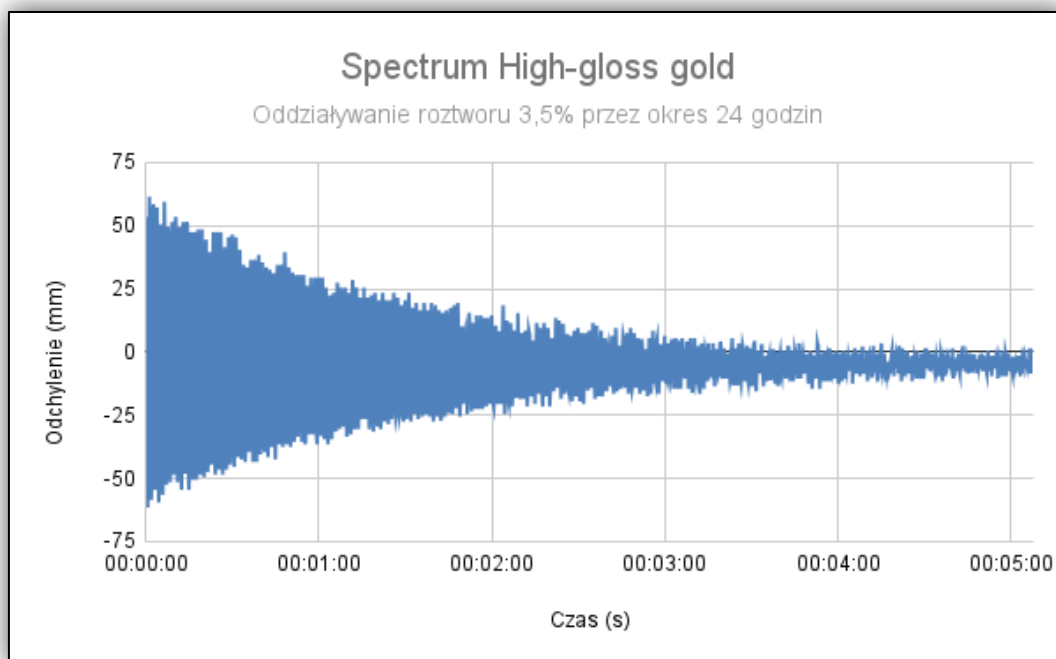
W następnej kolejności badanie w środowisku o podwyższonym zasoleniu 3,5% w czasie 24 godzin, została poddana próbka farby PB6. Średni czas jej tłumienia wyniósł 00:23.48 minuty. W okresie od 6° o 3°a wykonała 20 pełnych wahanć, natomiast dla przedziału od 6° do 0° było to 36 pełnych wahanć (Rysunek 89.).



Rysunek 89. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „cuenca” marki Goodhome (PB6) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

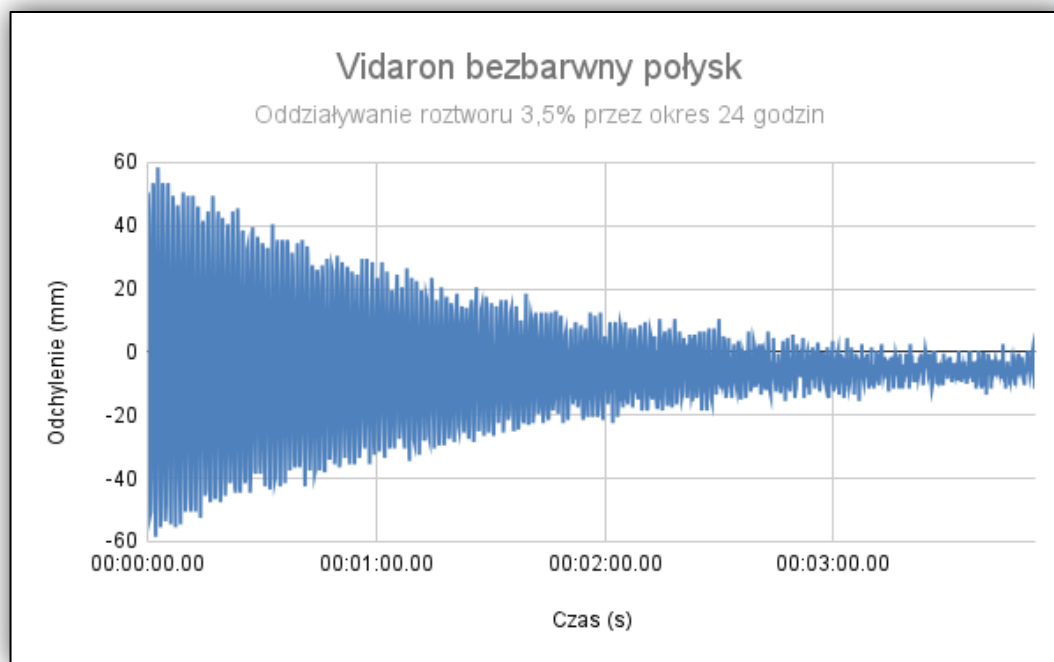
Próbka farby PB7 także została poddana badaniu po ekspozycji na działanie chlorku sodu 3,5% w czasie 24 godzin. Całkowity, średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 04:26.53 minuty. Wahadło wykonało 96 pełnych wahań w przedziale od 6° do 3° . W przypadku przedziału od 6° do 0° było to 490 pełnych wahań (Rysunek 90.).



Rysunek 90. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „High-gloss gold” marki Spectrum (PB7) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

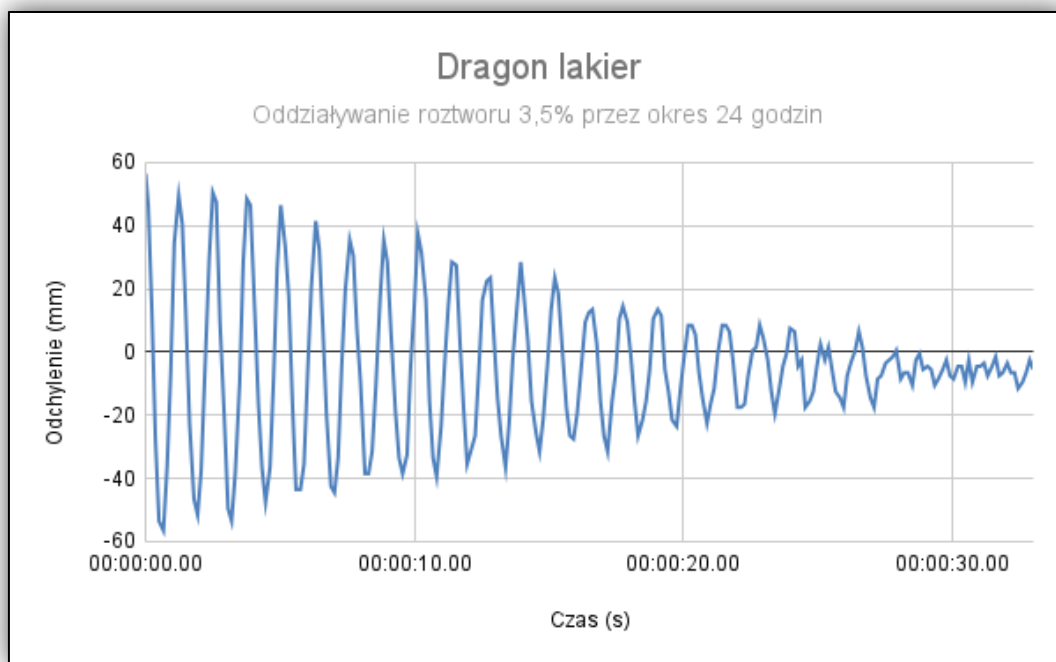
W przypadku lakieru nitrocelulozowego PB8 średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 03:48.22 minuty. Ilość pełnych wahań w przedziale od 6° do 3° wyniosła 98, a w przedziale od 6° do 0° jest to 378 (Rysunek 91.).



Rysunek 91. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru nitrocelulozowego „bezbardny połysk” marki Vidaron (PB8) po ekspozycji na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

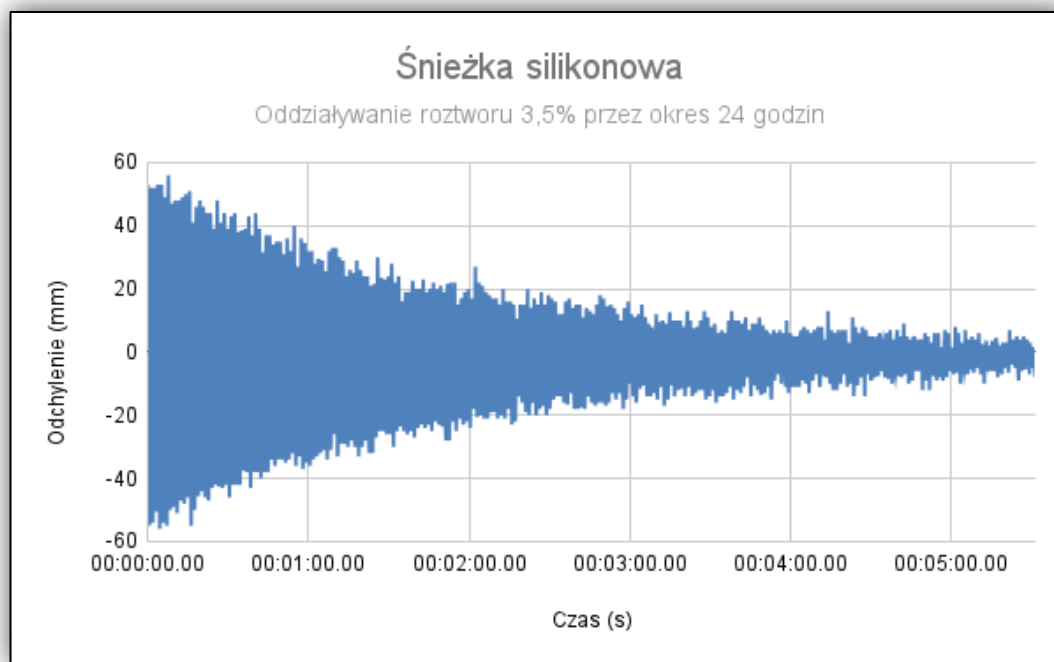
Badaniu poddana została także próbka lakieru akrylowo-poliuretanowego PB9. Średni czas jego tłumienia wyniósł 00:35.12 minuty. Wahadło Königa wykonało 20 pełnych wahnięć dla przedziału od 6° do 3°. W przypadku przedziału od 6° do 0° było to 58 pełnych wahnięć (Rysunek 92.).



Rysunek 92. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru akrylowo-poliuretanowego marki „Dragon” (PB9) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

Na wykresie (Rysunek 93.) przedstawiono charakterystykę tłumienia wahadła Königa dla próbki narażonej na oddziaływanie 3,5% stężenia chlorku sodu przez 24h. Próbka srebrzanki silikonowej PB10 średnio potrzebowała 05:03.38 minuty na pełne wygaszenie wahadła. W przedziale od 6° do 3° wykonała 100 pełnych wahanć, natomiast w przedziale od 6° do 0° było to już 432 wahanć.



Rysunek 93. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla srebrzanki silikonowej marki Śnieżka (PB10) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

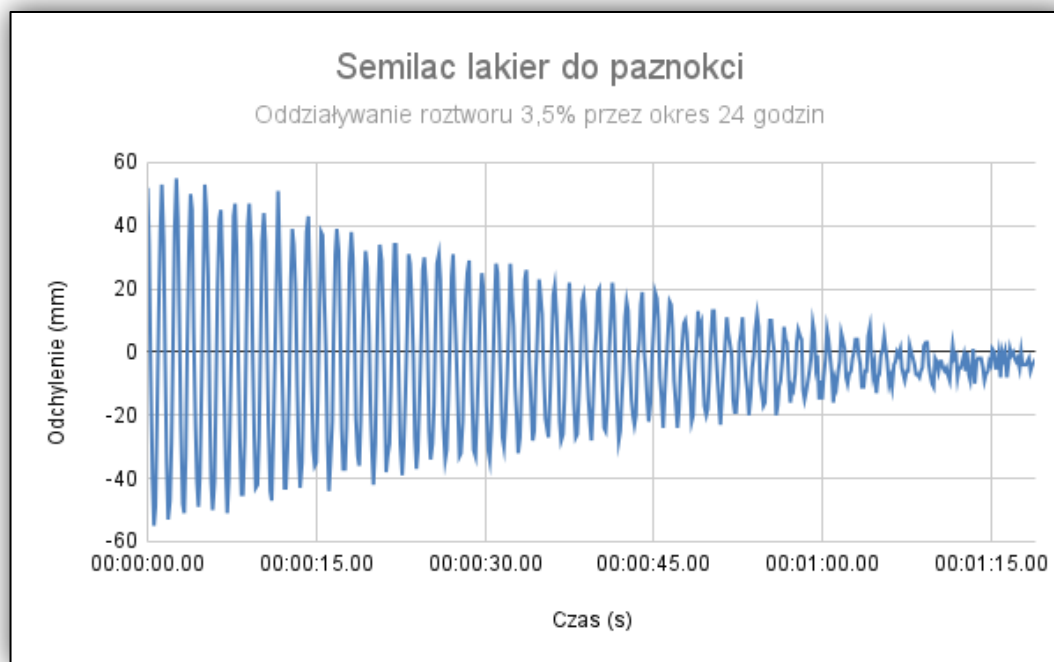
Na wykresie (Rysunek 94.) przedstawiono przykładowy proces tłumienia wahadła dla lakieru do paznokci PB11. Średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł w przypadku tej próbki 01:02.27 minuty. W przedziale odchylenia od 6° do 3° wahadło wykonało 38 pełnych wahanć. Dla przedziału od 6° do 0° wartość ta wynosiła już 96 wahanć.



Rysunek 94. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

Ostatnią próbką poddaną badaniu po ekspozycji na oddziaływanie chlorku sodu była próbka lakieru do paznokci PB12 (Rysunek 95.). Średni czas tłumienia wahadła Königa w tym przypadku wyniósł 01:34.62 minuty. Ilość wahań wyniosła 52 pełne odchylenia dla zakresu od 6° do 3° oraz 110 w przedziale od 6° do 0° .



Rysunek 95. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Semilac (PB12) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24h.

Źródło: opracowanie własne

Badania twardości wykonane w po oddziaływaniu na 3,5% roztwór NaCl w czasie 24 godzin, wykazały mniejszy wpływ (czas tłumienia oraz ilość wahań) na badane próbki niż w przypadku dłuższego czasu oddziaływania oraz wyższego stopnia zasolenia. W wielu przypadkach twardość powłok (ilość i czas tłumienia wahadła) uległa nieznacznym zmianą wobec twardości występującym w badaniach zgodnym z wytycznymi normy ISO 1522:2006/2008. Niektóre z powłok wykazały identyczne wartości ilości ruchów wygaszania oraz czasu tłumienia jak w warunkach normatywnych. Rozszerzoną analizę wyników przedstawiono w rozdziale 3. Otrzymane wyniki ilości wahań oraz czasów tłumienia przedstawia Tabela 7.

Tabela 7. Liczba wahań oraz czas tłumienia wahadła po poddaniu badaniu próbek oddziaływaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24h.

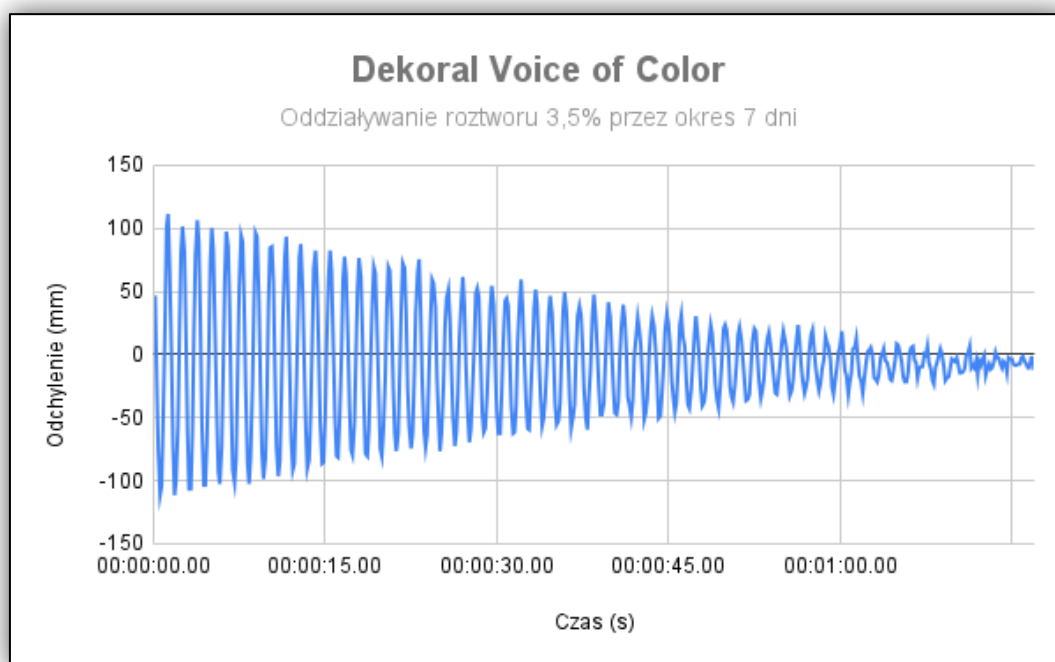
	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	56	14	14	16	34	20	96	98	20	100	38	52
6-0°	156	24	30	30	88	36	490	378	58	342	96	110
Czas	1:39.32	13.21	19.33	19.65	1:05.45	23.48	4:26.53	3:48.22	35.12	5:03.58	01:02.27	1:34.62

Źródło: opracowanie własne.

2.7.2. Wpływ oddziaływania 3,5% NaCl w czasie 168 godzin

W celu weryfikacji przeprowadzanych badań, próbki poddano kolejnym testom w czasie 168 godzin oddziaływania roztworu NaCl o stężeniu 3,5%. Wszelkie warunki otoczenia zostały zachowane - jedyną zmianą w tym przypadku jest czas oddziaływania roztworu na próbkę. Otrzymane wyniki przedstawiono poniżej.

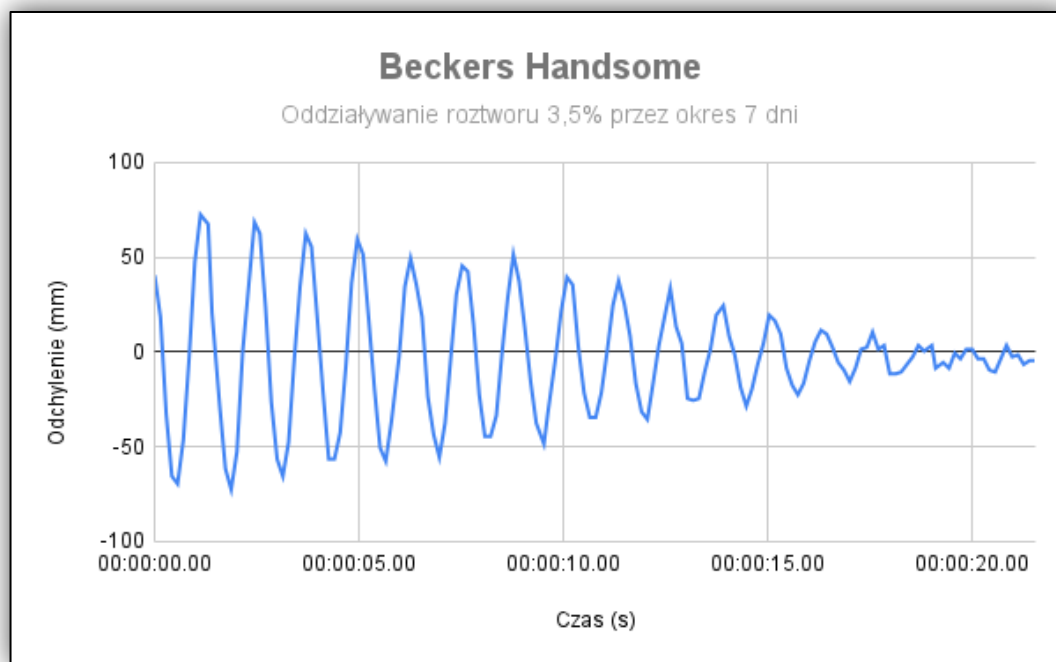
Pierwszą próbką poddaną badaniu jest próbka farby PB1. Jej średni czas tłumienia w przypadku poddania na oddziaływanie roztworu solnego 3,5% w okresie 168 godzin wyniósł 01:04.30 minuty. W przedziale odchylenia od 6° do 3° wahadło wykonało 40 pełnych wahanć. Dla przedziału od 6° do 0° wartość ta wyniosła 102 wahanć (Rysunek 96.).



Rysunek 96. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Voice of Color” marki Dekoral (PB1) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

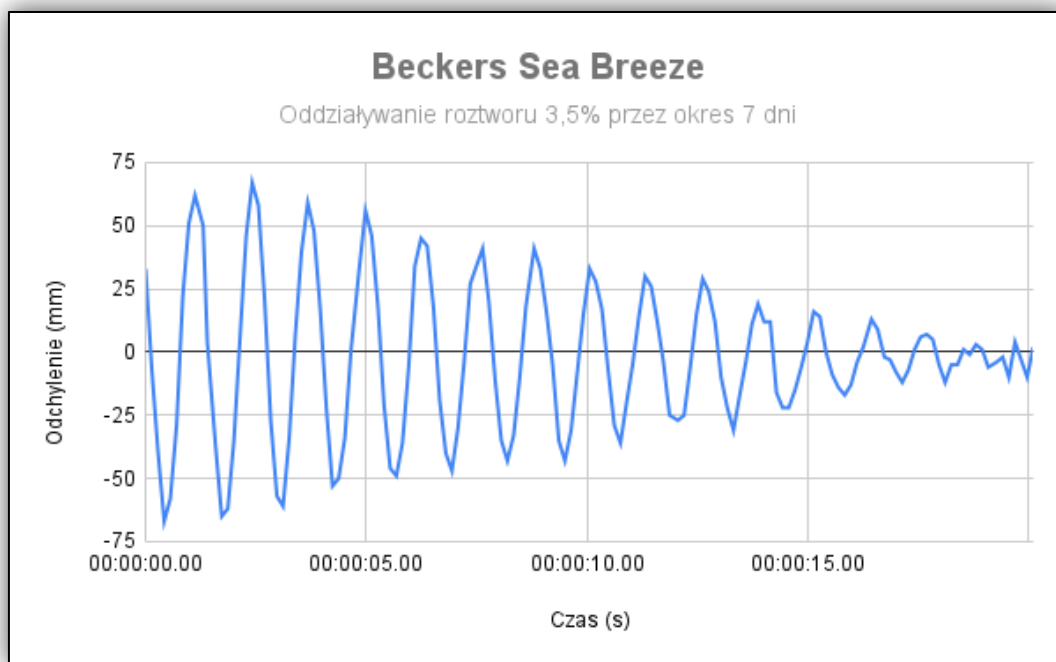
W następnej kolejności temu samemu badaniu została poddana próbka farby PB2. W tym przypadku średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 00:22.69 minuty. Wahadło wykonało 20 pełnych wahanć w przedziale od 6° do 3° odchylenia, natomiast dla przedziału od 6° do 0° było to już 36 pełnych wychyleń (Rysunek 97.).



Rysunek 97. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Handsome” marki Beckers (PB2) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

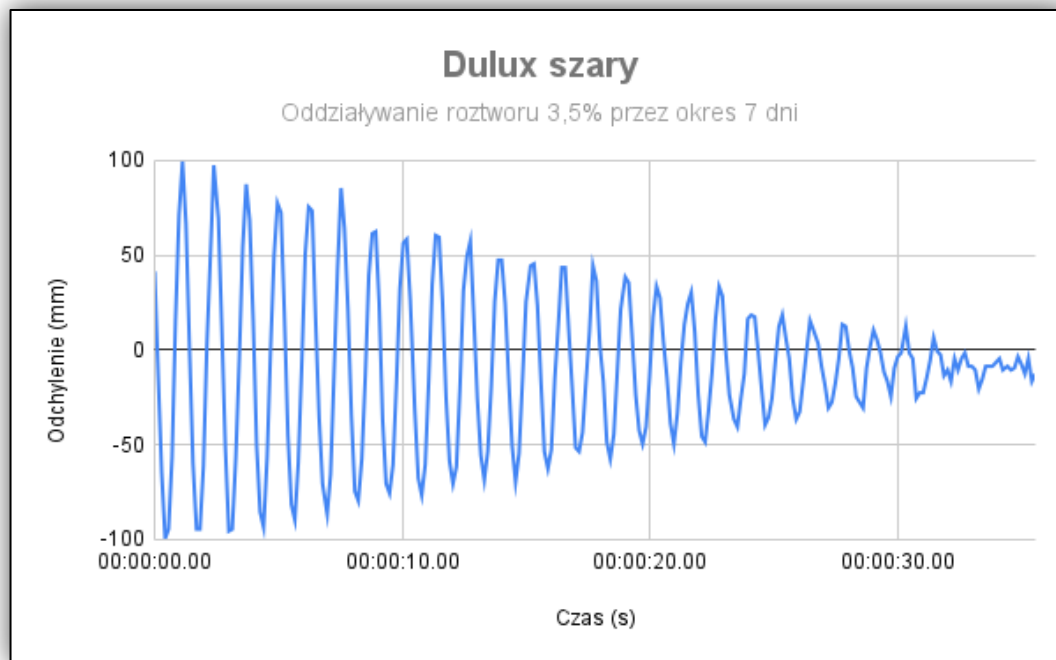
Kolejną próbką poddaną badaniu była farba PB3. Jej średni czas całkowitego tłumienia wyniósł 00:22.12 minuty. Dla wychylenia od 6° do 3° wahadło Königa wykonało 14 pełnych odchyień a w przypadku odchylenia od 6° do 0° były to 32 wahnięcia (Rysunek 98.).



Rysunek 98. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Sea Breeze” marki Beckers (PB3) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

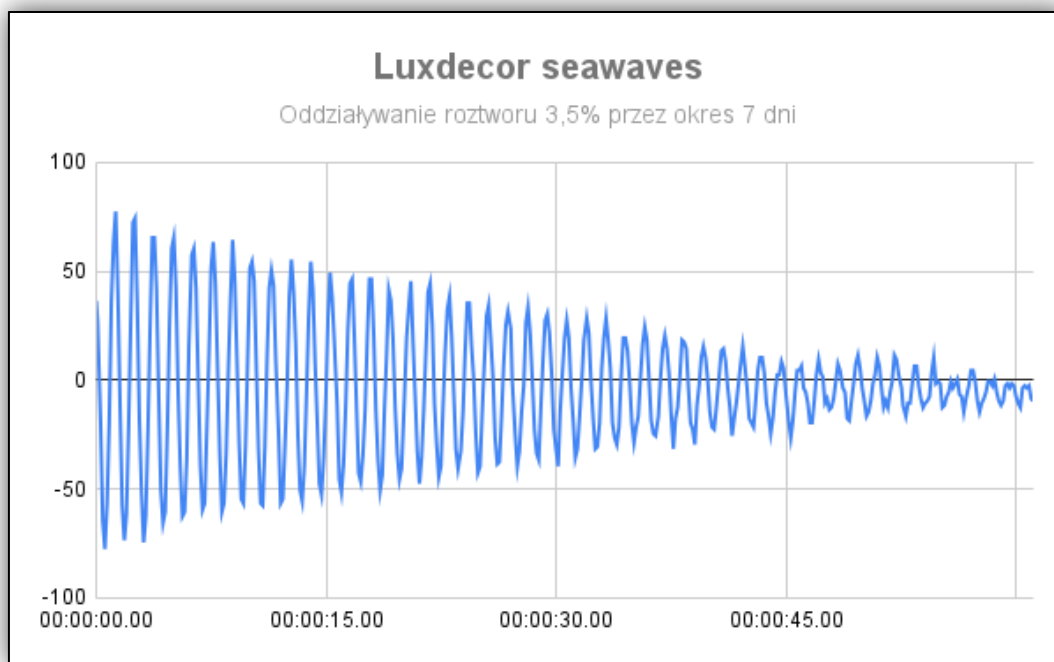
Badaniu tłumienia wahadła w zmienionym otoczeniu poddana została także próbka farby PB4. Jej średni czas całkowitego tłumienia wyniósł 00:35.68 minuty. Wahadło Königa wykonało 26 pełnych wahanć w przedziale od 6° do 3° oraz 60 w przedziale od 6° do całkowitego zatrzymania (Rysunek 99.).



Rysunek 99. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „szary” marki Dulux (PB4) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

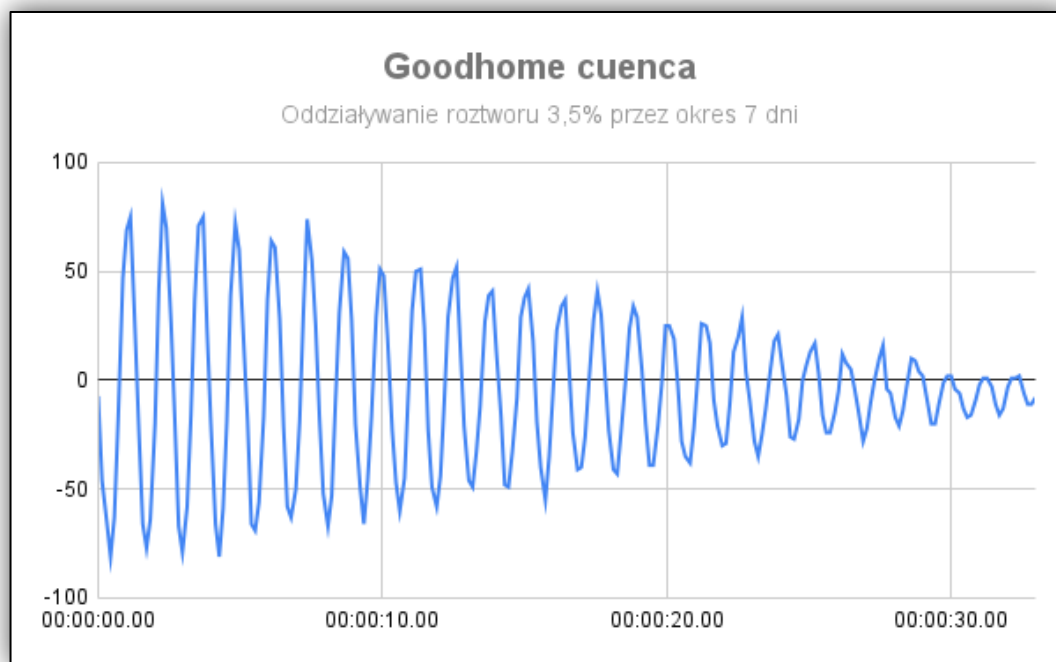
Kolejną próbką była farba PB5. Jej średni czas tłumienia wyniósł 01:03.74 minuty. Wahadło Königa wykonało 34 pełne wahnięcia w przedziale od 6° do 3° . Ilość wahnięć w przedziale od 6° do 0° wyniosła 92 (Rysunek 100.).



Rysunek 100. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „seawaves” marki Luxdecor (PB5) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

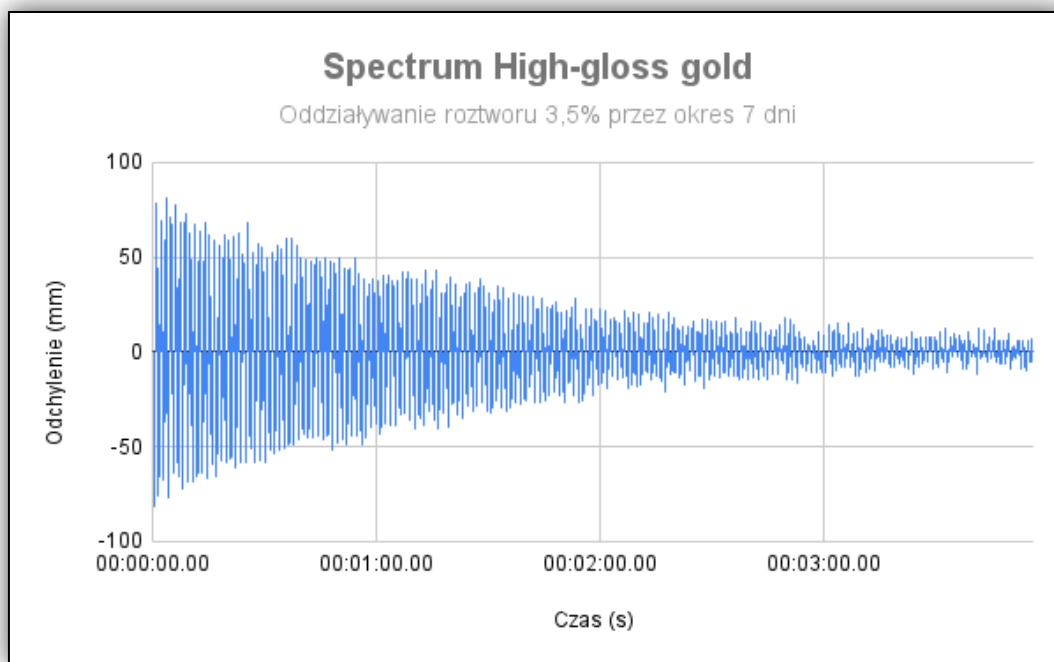
W przypadku przeprowadzania badania na próbce farby PB6, określono całkowity średni czas tłumienia na poziomie 00:34.04 minuty. Wahadło Königa wykonało 26 pełnych wahnięć w przedziale od 6° do 3° oraz 52 wahnięcia w przedziale od 6° do 0° (Rysunek 101.).



Rysunek 101. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „cuenca” marki Goodhome (PB6) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

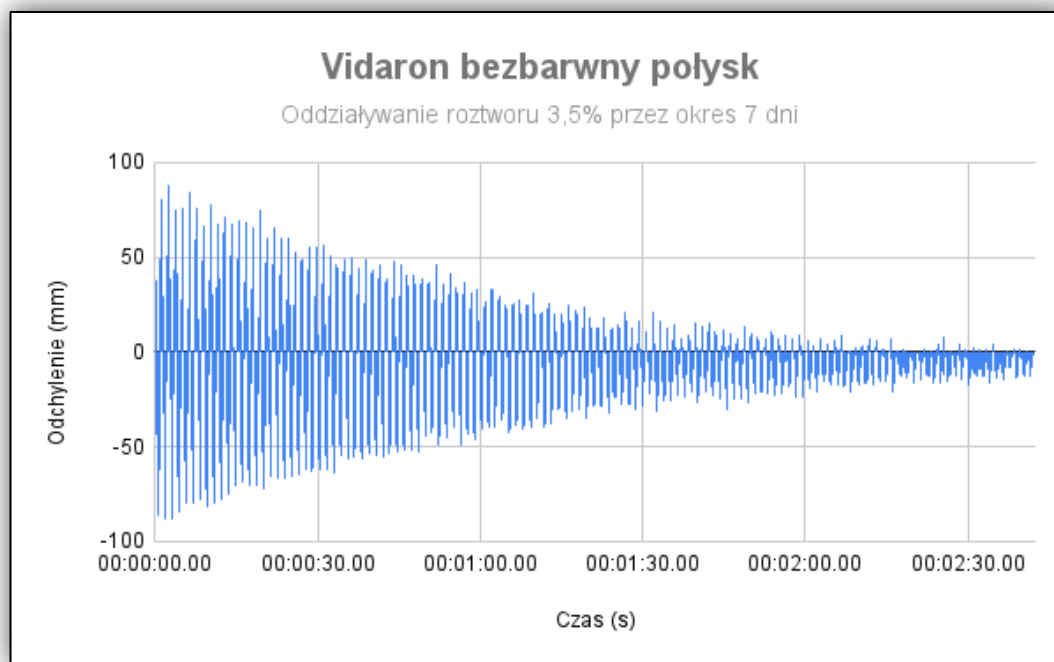
W kolejnym pomiarze przebadano próbkę farby PB7. Wahadło Königa w tym przypadku zatrzymało się średnio po upływie 03:56.49 minuty. Podczas tłumienia w przedziale od 6° do 3° wahadło wykonało 66 pełnych wahaniec. Dla przedziału od 6° do 0° wahadło zatrzymało się po wykonaniu 388 wahaniec (Rysunek 102.).



Rysunek 102. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „High-gloss gold” marki Spectrum (PB7) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

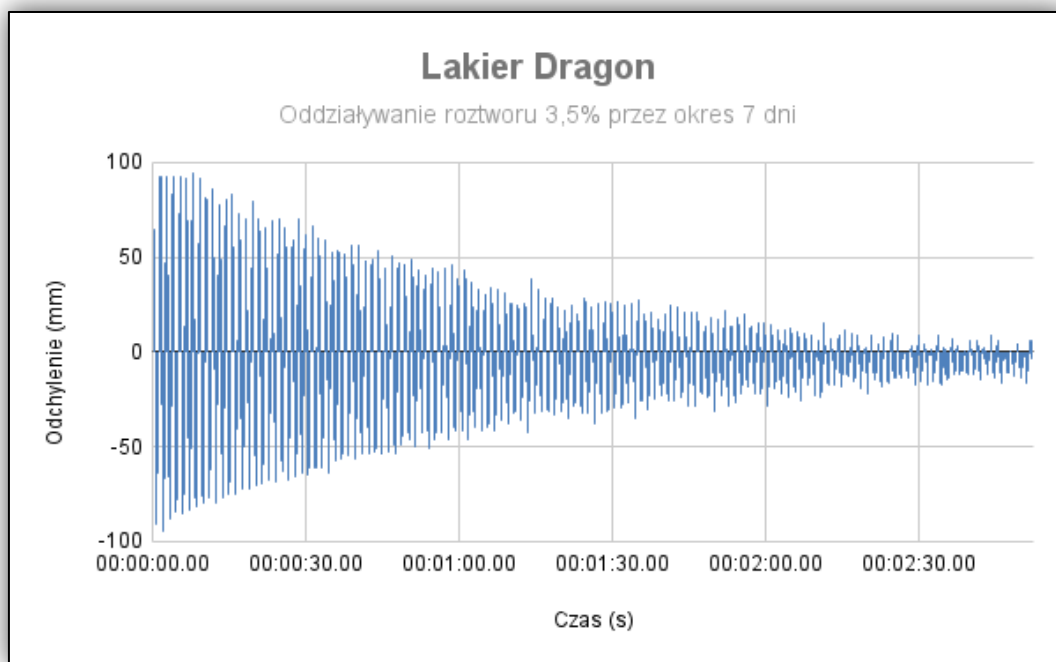
Pomiary twardości lakieru nitrocelulozowego PB8 po poddaniu próbki oddziaływaniu roztworu chlorku sodu przez 168 godzin. Średni czas jej całkowitego tłumienia wahadła Königa w tym przypadku wyniósł 02:40.72 minuty. Wahadło wykonało 60 pełnych wahań w przedziale od 6° do 3° . W przypadku odchylenia od 6° do 0° wahadło wykonało 400 pełnych wahań (Rysunek 103.).



Rysunek 103. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru nitrocelulozowy „bezbarwny połysk” marki Vidaron (PB8) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

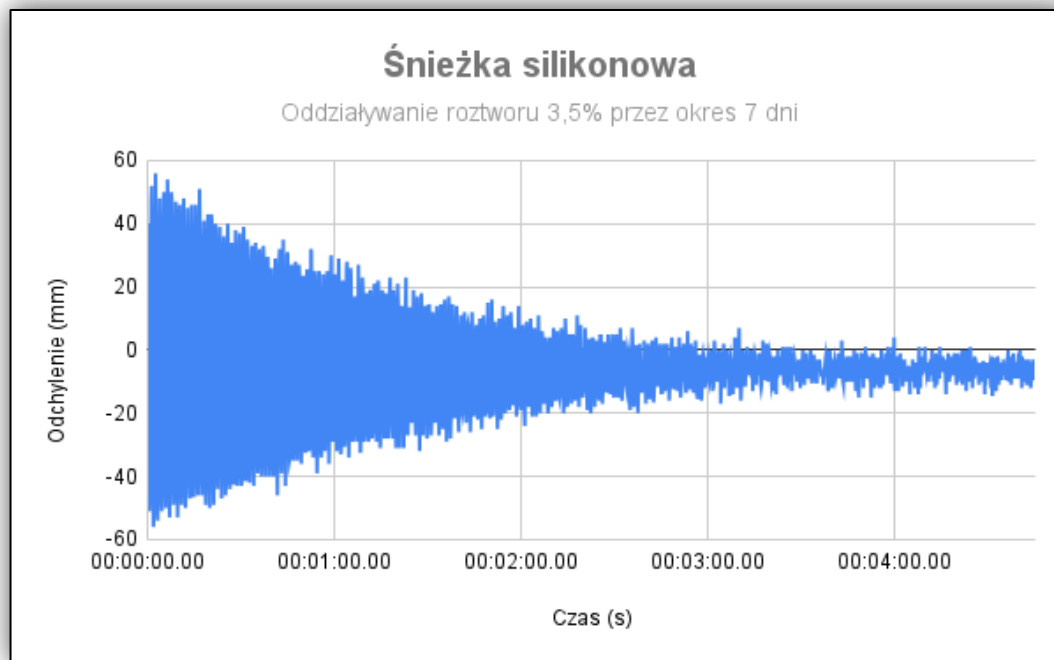
W następnej kolejności badaniu została poddana próbka lakieru akrylowo-poliuretanowego PB9. W tym przypadku średni czas tłumienia wyniósł 01:28.08 minuty. Wahadło Königa wykonało 22 pełne wahnięcia w przedziale od 6° do 3° , natomiast dla przedziału od 6° do 0° były to już 64 wahnięcia (Rysunek 104.).



Rysunek 104. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru akrylowo-poliuretanowego marki Dragon (PB9) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

Podczas przeprowadzania badania określono średni czas tłumienia wynoszący 04:35.07 minuty dla próbki srebrzanki silikonowej PB10. Badania tak jak poprzednie było przeprowadzana po poddaniu próbki na oddziaływanie 3,5% roztworu solnego przez okres 168 godzin. Wahadło Königa podczas przeprowadzania tłumienia w przedziale od 6° do 3° wykonało 88 pełnych wahań, natomiast podczas przeprowadzania tłumienia w przedziale od 6° do 0° było to aż 416 pełnych odchyżeń (Rysunek 105.).



Rysunek 105. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla srebrzanki silikonowej marki Śnieżka (PB10) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

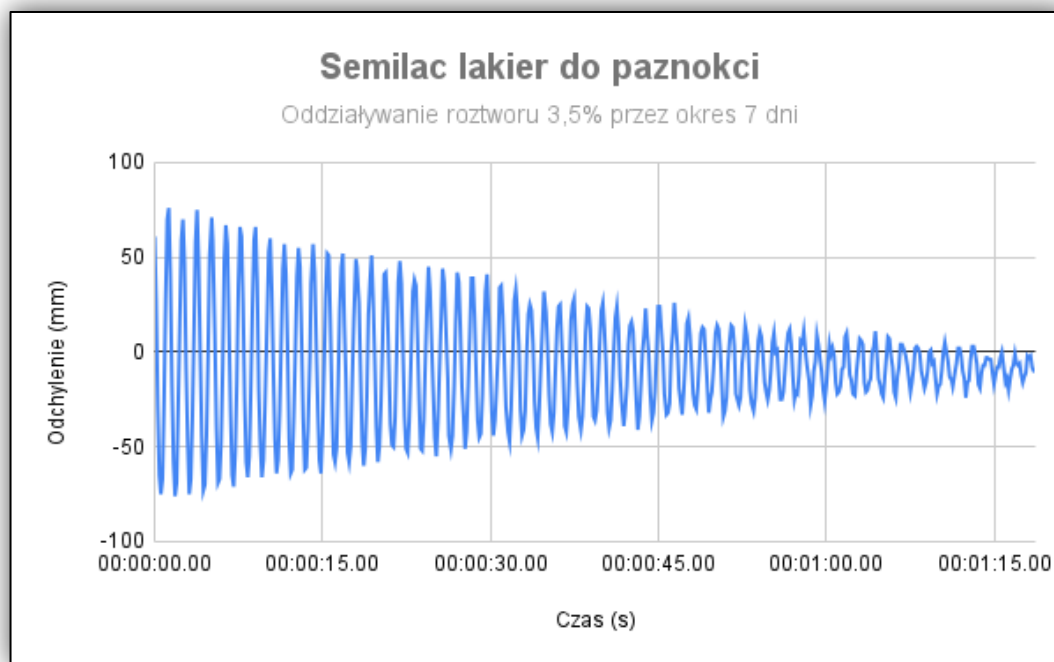
Tłumienie wahadła w przypadku próbki lakieru do paznokci PB11 wyniosło średnio 01:14.09 minuty. Całkowita ilość wychyleń wahadła Königa w przedziale od 6° do 3° wyniosła 50, a dla przedziału od 6° do 0° było to 118 wahaniec (Rysunek 106.).



Rysunek 106. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

Ostatnią próbką poddaną badaniu jest lakier do paznokci PB12. Średni czas całkowitego tłumienia w tym przypadku wyniósł 01:22.62 minuty. Wahadło Königa wykonało 46 pełnych odchyień w przedziale od 6° do 3° oraz 174 w przedziale od 6° do 0° . Po wykonaniu tego badania zakończono próby w otoczeniu 3,5% (Rysunek 107.).



Rysunek 107. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Semilac (PB12) po narażeniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168h.

Źródło: opracowanie własne

Analiza próbek poddanych działaniu 3,5% roztworu NaCl przez okres 168 godzin wykazała istotne różnice w stosunku do ekspozycji trwającej 24 godziny. Obserwowano znaczące wahania amplitudy wahadła oraz wydłużenie czasu jego tłumienia. Stwierdzono, że powłoki lakierowe uległy bardziej wyraźnym zmianom w porównaniu z próbkami eksponowanymi przez krótszy czas. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że czas ekspozycji ma znaczący wpływ na właściwości twardości badanych powłok lakierowych. Szeroki opis otrzymanych wyników znajduje się w rozdziale 3. Wyniki badań przedstawia Tabela 8.

Tabela 8. Liczba wahań oraz średni czas tłumienia wahadła Königa po poddaniu próbek na oddziaływanie roztworu 3,5% NaCl w czasie 168 godzin.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	42	20	14	26	34	26	66	60	22	88	50	46
6-0°	120	36	32	60	92	52	388	400	64	416	118	174
Czas	1:12.87	22.69	22.69	21.11	35.68	01:03.74	34.04	03:56.49	1:28.80	04:35.70	01:14.09	01:22.62

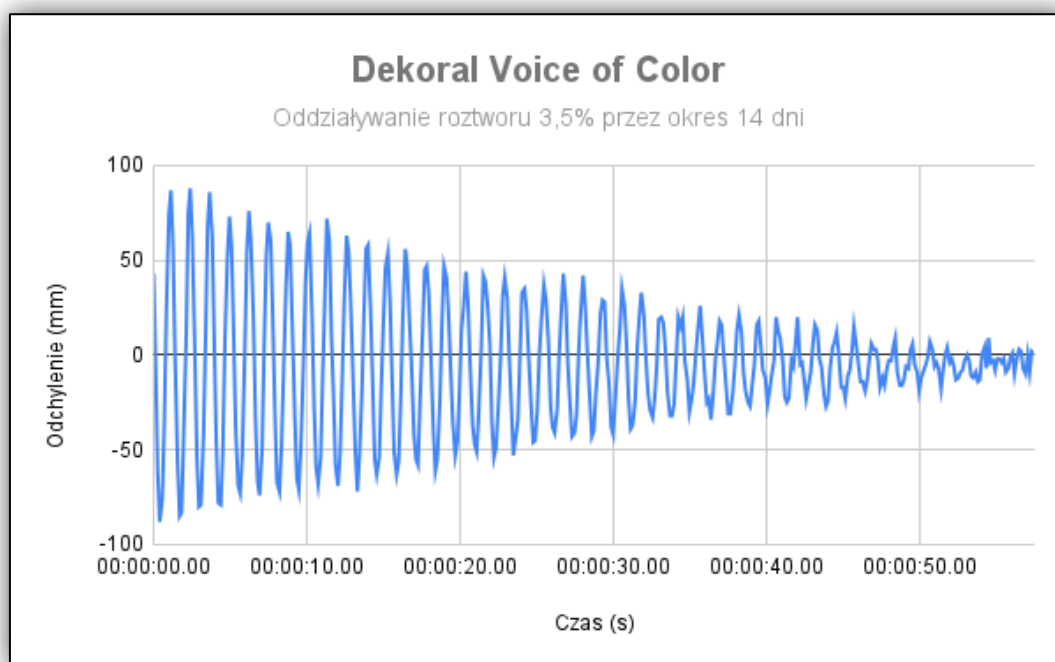
Źródło: opracowanie własne.

2.7.3. Wpływ oddziaływania 3,5% NaCl w czasie 336 godzin

Trzeci etap badań poświęconych oddziaływaniu chlorku sodu na powierzchnię lakierów umieszczonych w środowisku zasolonym, przeprowadzono po ekspozycji

wszystkich próbek na oddziaływanie roztworu wodnego chlorku sodu o stężeniu 3,5% w czasie 336 godzin. Każdą z próbek poddano badaniu twardości metodą tłumienia wahadła Königa.

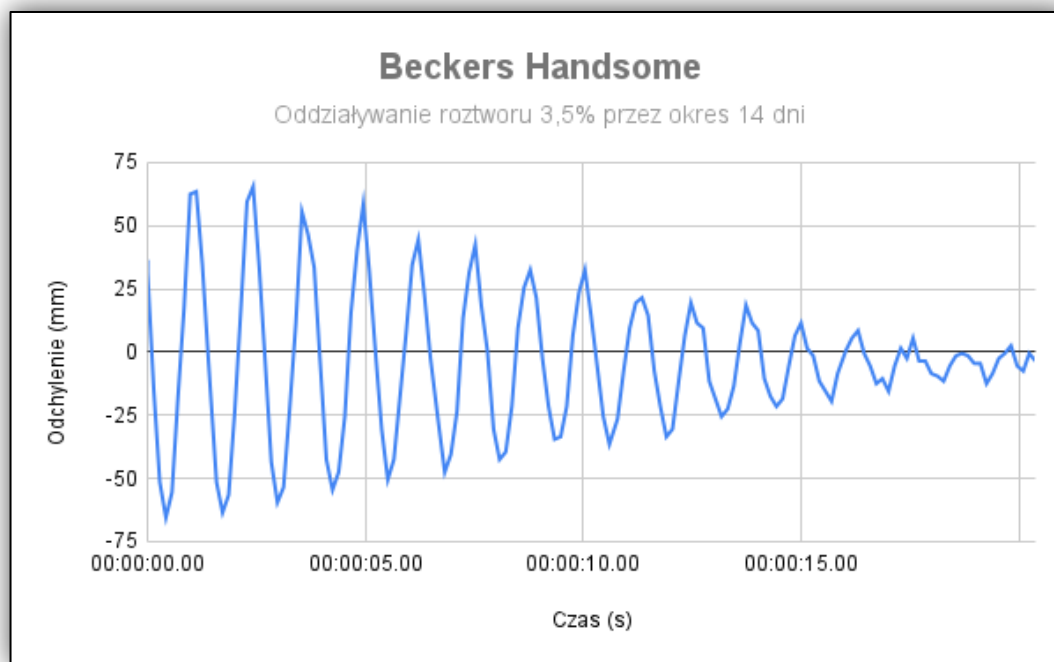
Pierwszą próbką, która została poddana badaniu była próbka farby PB1. Średni czas tłumienia wahadła Königa wyniósł 01:04.30 minuty. Wahadło w przedziale od 6° do 3° wykonało 40 pełnych wahań, natomiast w przedziale od 6° do 0° było to już 102 wahań (Rysunek 108.).



Rysunek 108. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Voice of Color” marki Dekoral (PB1) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

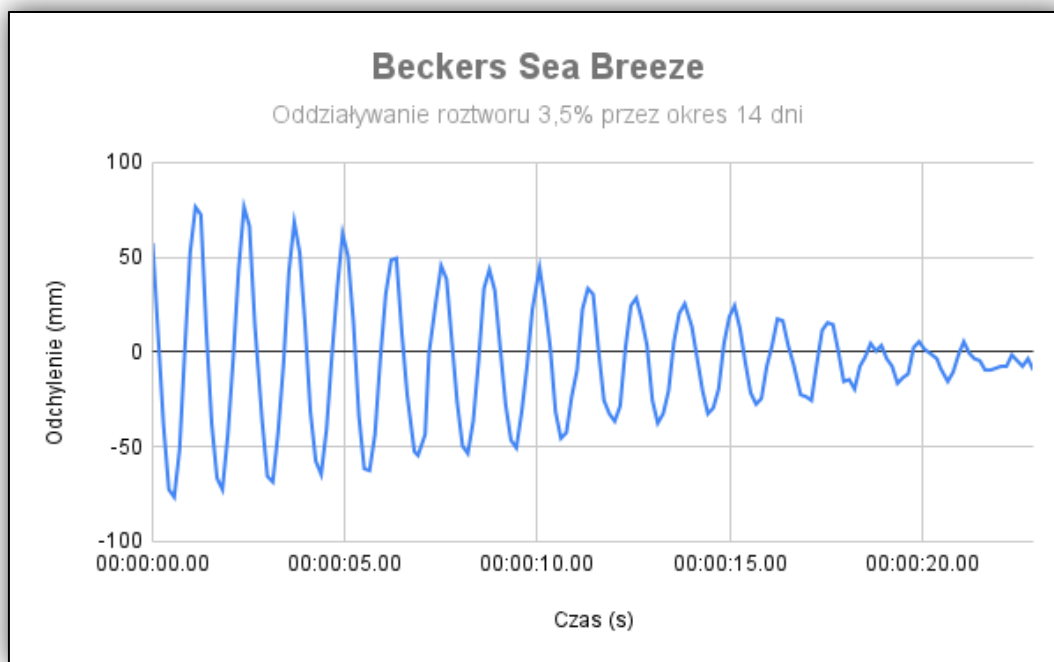
Kolejną z próbek, które zostały poddane badaniu po wpływie otoczenia 3,5% roztworu soli przez 336 godzin była próbka farby PB2. Średni czas, w którym wahadło Königa zakończyło swój ruch wyniósł 00:23.32 minuty. Wahadło wykonało 18 pełnych wahań w przedziale od 6° do 3°. W przypadku odchylenia od 6° do 0° wahadło zatrzymało się po 36 wahań (Rysunek 109.).



Rysunek 109. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Handsome” marki Beckers (PB2) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

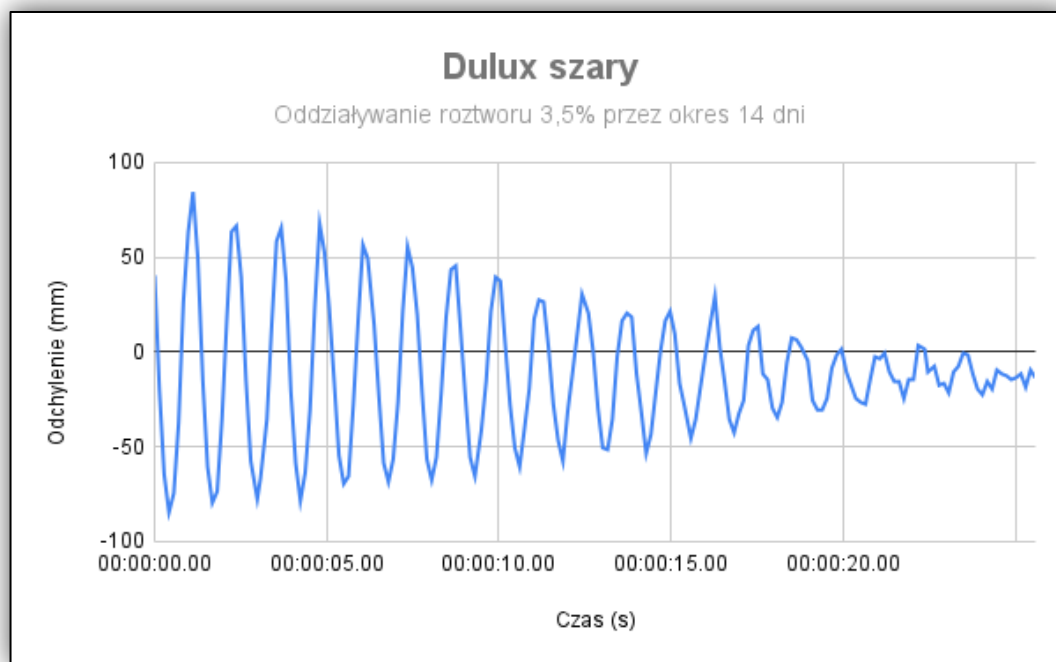
Kolejną z próbek poddanych badaniu była próbka farby PB3. Próbka ta wygasiała wahadło Königa w średnim czasie 00:22.12 minuty. Całkowita ilość wahaniec wahadła dla przedziału od 6° do 3° wyniosła 14. W przypadku odchylenia od 6° do 0° były to 32 pełne ruchy (Rysunek 110.).



Rysunek 110. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „Sea Breeze” marki Beckers (PB3) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

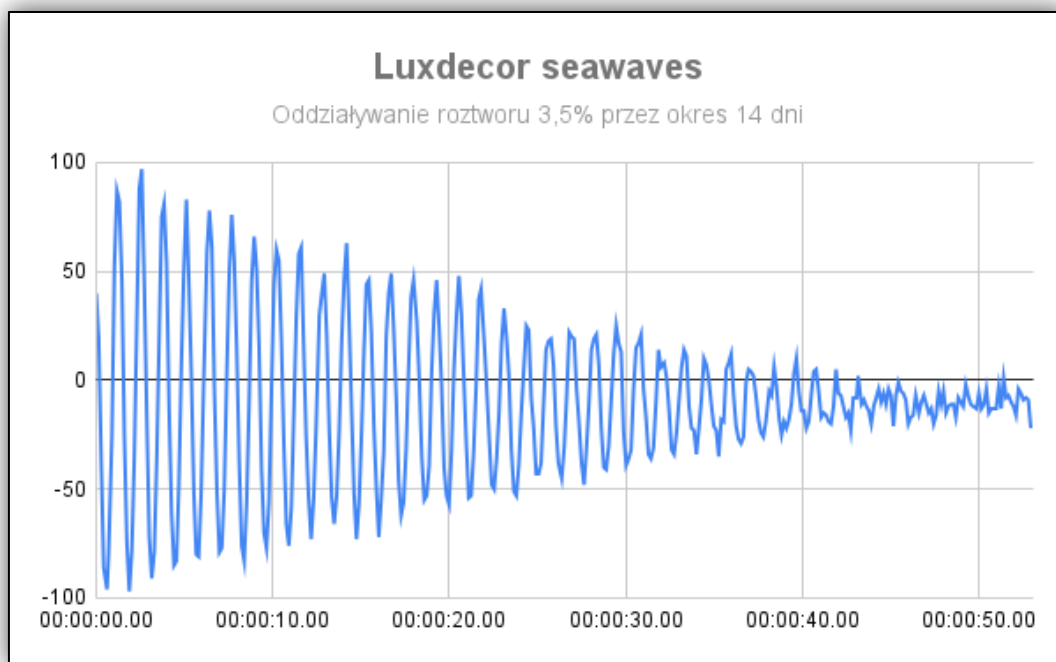
W następnej kolejności badanie przeprowadzono na próbce farby PB4. W tym przypadku wahadło Königa średnio zatrzymywało się po przekroczeniu 00:26.67 minuty. Wahadło wykonało 20 pełnych ruchów w przedziale od 6° do 3° . W przypadku przedziału od 6° do 0° było to 40 wahaniec (Rysunek 111.).



Rysunek 111. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „szary” marki Dulux (PB4) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

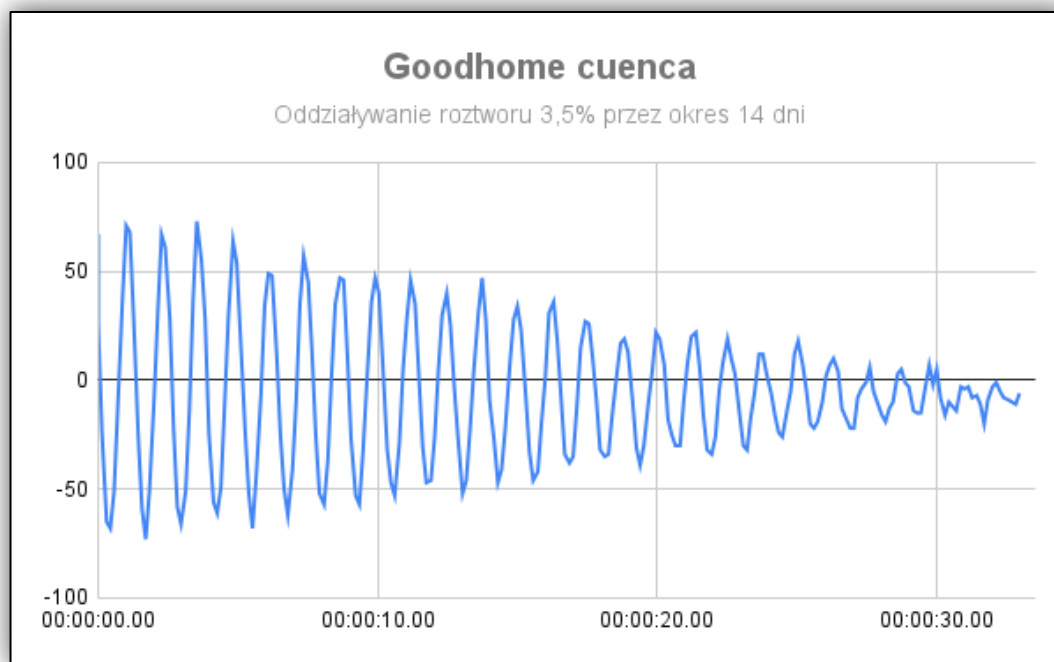
Podobnie badaniu została poddana próbka farby PB5. Po narażeniu na oddziaływanie 3,5% roztworu solnego przez okres 336 godzin wahadło Königa średnio zatrzymywało się po przekroczeniu 00:54.10 minuty. W przedziale od 6° do 3° wahadło wykonało 30 pełnych wahaniec. Dla przedziału od 6° do 0° były to 82 ruchy (Rysunek 112.).



Rysunek 112. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „seawaves” marki Luxdecor (PB5) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

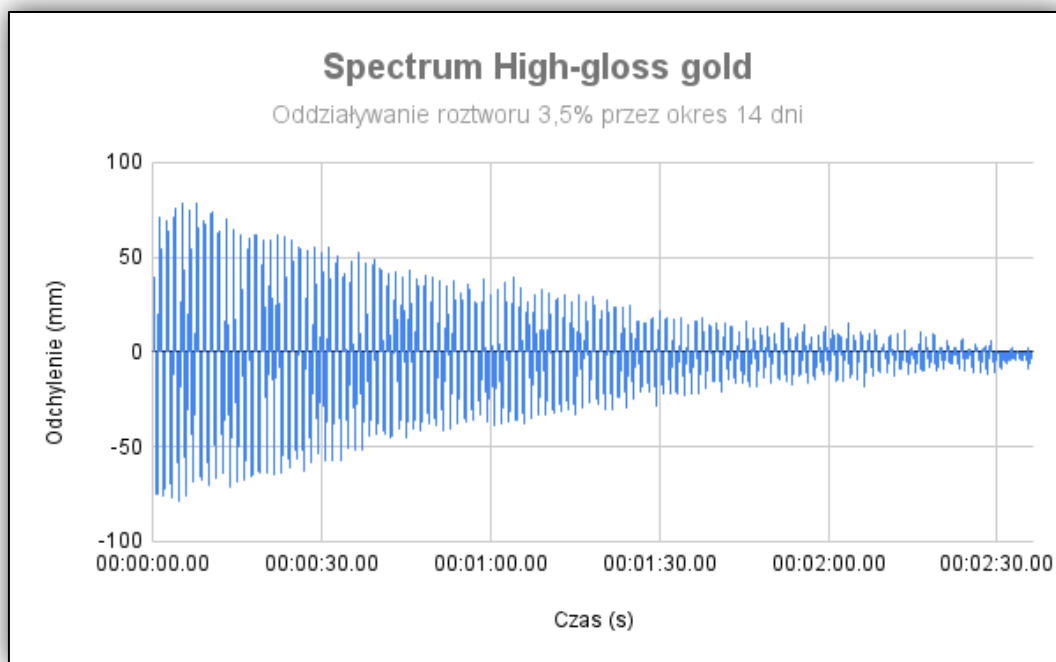
W następnej kolejności badaniu została poddana próbka farby PB6. Wahadło Königa w tym przypadku średnio zatrzymało się po upływie 00:33.25 minuty. Dla przedziału normatywnego od 6° do 3° wahadło wykonało 22 pełne wahnięcia, natomiast dla przedziału od 6° do 0° było to 48 wychyleń (Rysunek 113.).



Rysunek 113. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „cuenca” marki Goodhome (PB6) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

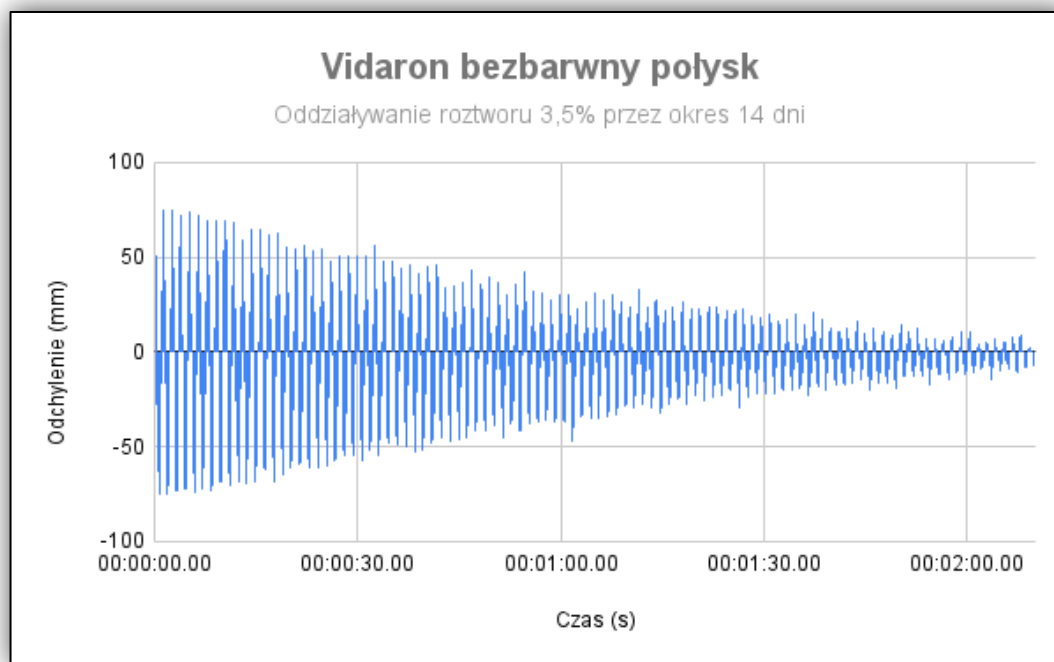
Kolejną próbką poddaną badaniu twardości powłoki po narażeniu na otoczenie 3,5% roztworu solnego w okresie 336 godzin była próbka farby PB7. Praca wahadła Königa średnio ustawała po upływie 2:35.90 minut. Wahadło wykonało 48 ruchów w przedziale od 6° do 3°, natomiast dla przedziału od 6° do kompletnego zatrzymania było to 248 pełnych ruchów (Rysunek 114.).



Rysunek 114. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla farby „High-gloss gold” (PB7) marki Spectrum po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

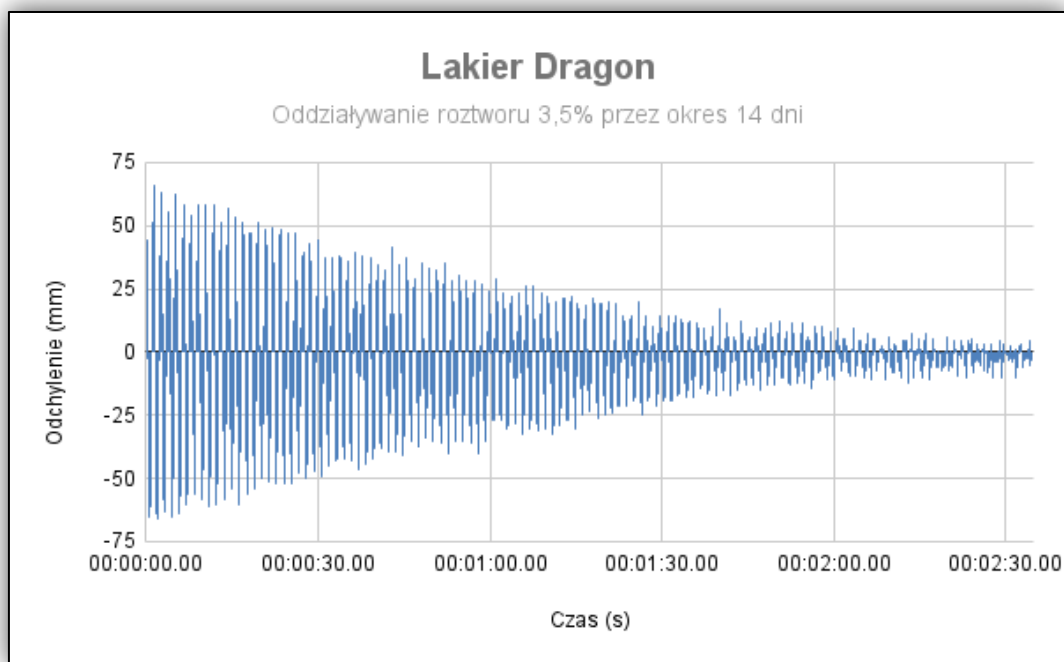
Następnie badanie przeprowadzono dla lakieru nitrocelulozowego PB8. Przy tej próbce wahadło Königa średnio zatrzymywało się po upływie 2:10.90 minuty. Dla przedziału od 6° do 3° wahadło wykonało 46 pełnych ruchów. W przypadku przedziału od 6° do 0° było to 312 pełnych wahanć (Rysunek 115.).



Rysunek 115. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru nitrocelulozowy „bezbarwny połysk” marki Vidaron (PB8) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

Lakier akrylowo-poliuretanowy PB9 wygasił wahadło Königa w średnim czasie 2:35.74 minuty. W przypadku tej próbki wahadło wykonało 48 wahań w przedziale od 6° do 3° . Dla przedziału od 6° do 3° wartość ta wyniosła 228 ruchy (Rysunek 116.).



Rysunek 116. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru akrylowo-poliuretanowego marki Dragon (PB9) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

Kolejną próbką poddaną badaniu po narażeniu na zmienione otoczenie o wartości 3,5% zasolenia poddanej oddziaływaniu przez 336 godzin jest srebrzanka silikonowa PB10. Średni czas tłumienia wahadła Königa w tym przypadku wyniósł 04:25.43 minuty. Wahadło wykonało 86 pełnych wahaniec w przedziale od 6° do 3° , natomiast dla przedziału od 6° do 0° były to 402 pełnych ruchów (Rysunek 117.).



Rysunek 117. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla srebrzanki silikonowej marki Śnieżka (PB10) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

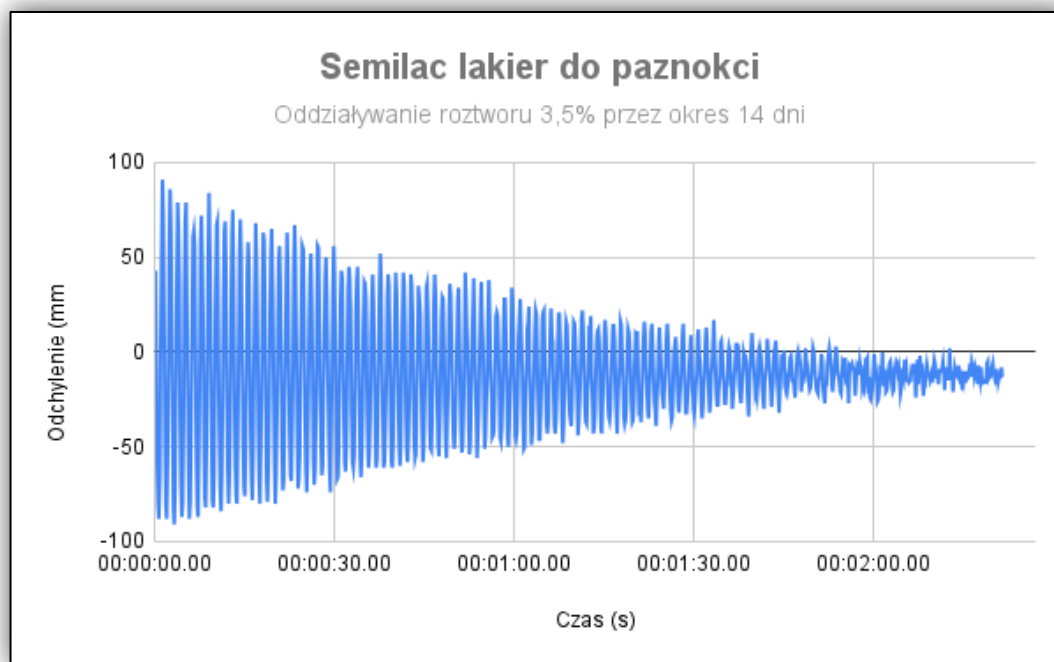
W następnej kolejności oceniono wartość twardości powłoki lakierniczej dla lakieru do paznokci PB11. Wahadło Königa w tym przypadku średnio zatrzymało się w okresie 1:15.09 minuty i wykonało 104 wahnięcia dla przedziału od 6° do 0° . W przypadku przedziału od 6° do 3° były to 32 wahnięcia wahadła (Rysunek 118.).



Rysunek 118. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

Ostatnią z próbek poddanych badaniu twardości powłoki po narażeniu na warunki o zasoleniu 3,5% przez okres 336 godzin była próbka lakieru do paznokci PB12. W tym przypadku średni czas wygaszenia ruchu wahadła Königa wyniosło 02:24.00 minuty. W przedziale od 6° do 3° wahadło wykonało 50 wahanć, a w przedziale od 6° do 0° były to 224 pełne wahanćia (Rysunek 119.).



Rysunek 119. Przebieg tłumienia wahadła Königa dla lakieru do paznokci marki Semilac (PB12) po narażeniu na oddziaływanie wody oraz 3,5% NaCl w czasie 336h.

Źródło: opracowanie własne

Badania powłok lakierowych po poddaniu na oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin wykazały zmiany podobne do zmian jakie odnotowano przy tym samym roztworze, lecz w czasie oddziaływania 168 godzin. Większość z przebadanych próbek zmieniła twardość w stopniu zbliżonym lub wyższym niż miało to miejsce w przypadku 168 godzinnego oddziaływania. Otrzymane wyniki średnie ilości wahań wahadła oraz czasy tłumienia przedstawia Tabela 9. Poszerzony opis wyników badań znajduje się w rozdziale 3.

Tabela 9. Liczba wahań oraz czas tłumienia wahadła Königa po poddaniu próbek działaniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	40	18	14	20	30	22	48	46	48	86	32	50
6-0°	102	36	32	40	82	48	248	312	228	402	104	224
Czas	01:04.30	22.32	22.12	26.67	54.10	33.25	02:35.90	02:10.90	02:35.74	04:25.43	01:15.9	02:24.0

Źródło: opracowanie własne.

2.8. Badanie twardości powłok lakierowych w różnych temperaturach otoczenia

Podczas tej serii badań wszystkie powłoki lakierowe poddano badaniom w obniżonych i podwyższonych temperaturach otoczenia. Badania te mają na celu

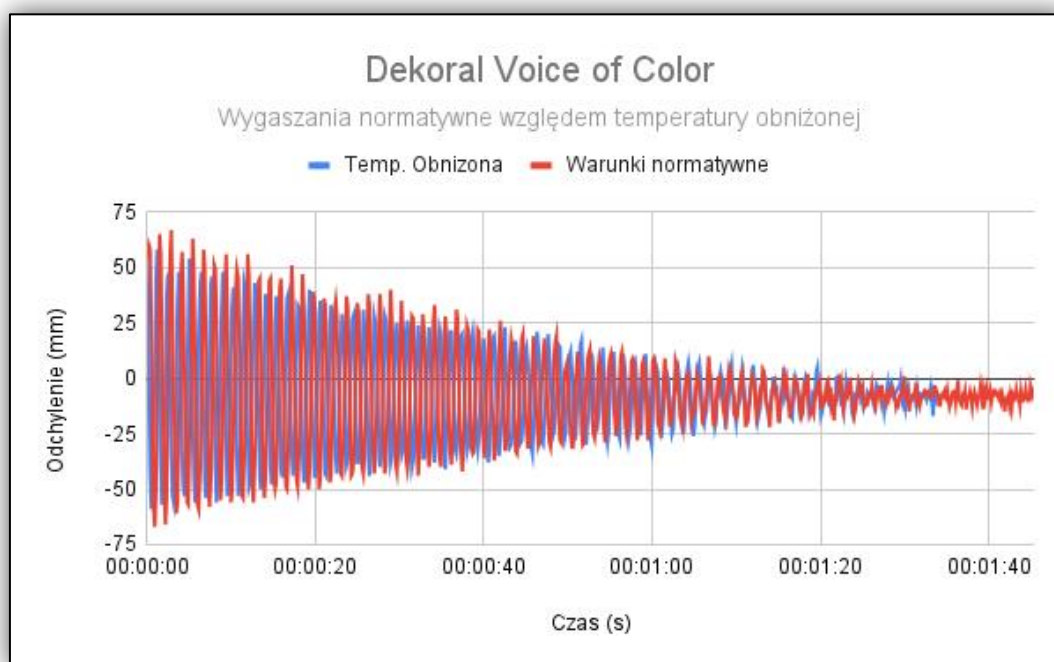
sprawdzić zachowania twardości powłok lakierowych w różnych otoczeniach, w których mogą mieć zastosowanie. Były to temperatury, znacznie różniące się od temperatur, które przewidywała norma i wynosiły odpowiednio -2°C oraz 60°C . Temperatura obniżona została wybrana z względu na ograniczenia związane z punktem rosy oraz stabilną pracą ogniwa Peltiera użytego w urządzeniu pomiarowym. Podobnie, temperatura podwyższona została wybrana ze względu na możliwości techniczne zastosowanego ogniwa Peltiera.

Wyniki pomiarów dla kolejnych próbek przedstawione zostały na charakterystykach zawartych w dalszej części rozprawy, na których znajdują się pomiary w temperaturze określonej przez normę i temperaturze zadanej przez operatora. Dzięki temu takiemu zobrazowaniu możliwe było zaobserwowanie stopnia zmian twardości powłok lakierniczych.

2.8.1. Wyniki badań twardości powłok w temperaturze -2°C

W pierwszej kolejności porównano wykresy obrazujące zmianę tłumienia wahadła po poddaniu na oddziaływanie temperatury obniżonej w stosunku do otoczenia normatywnego. W tym rozdziale przedstawione i opisane są wykresy porównawcze dla wszystkich próbek.

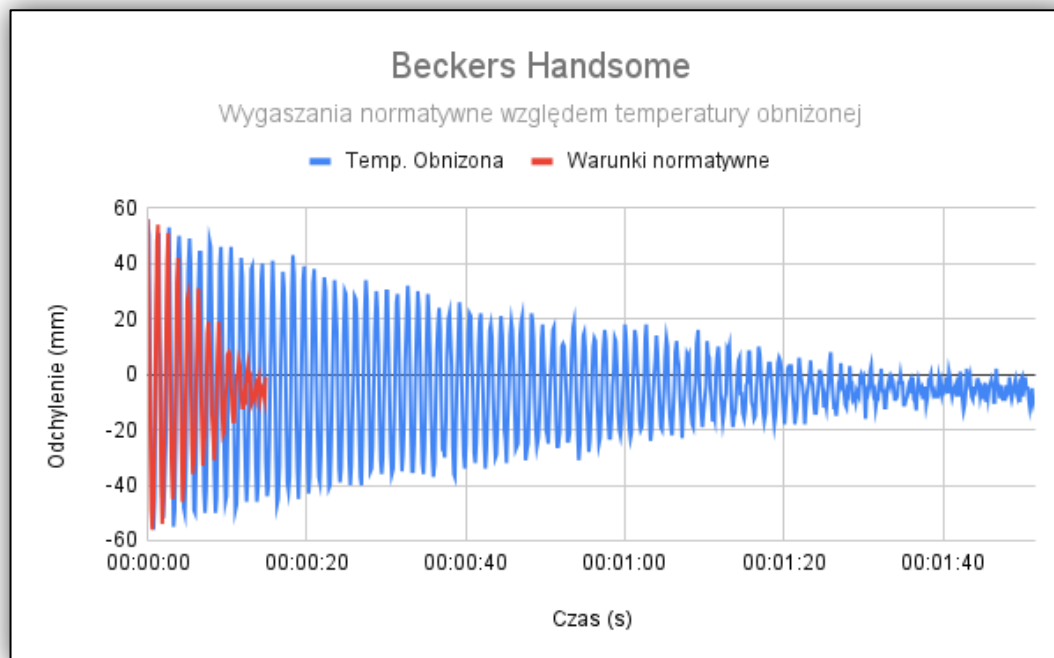
Pierwszą próbką, dla której wykonano pomiary w obniżonej temperaturze była farba Voice of Color marki Dekoral (PB1). Analizując charakterystykę przedstawioną na (Rysunek 120.) można zauważyć niewielkie różnice w czasie tłumienia wahadła, w związku z czym można wnioskować, że zmiana twardości próbki w stosunku do otoczenia normatywnego jest niewielka.



Rysunek 120. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Dekoral Voice of Color (PB1).

Źródło: opracowanie własne

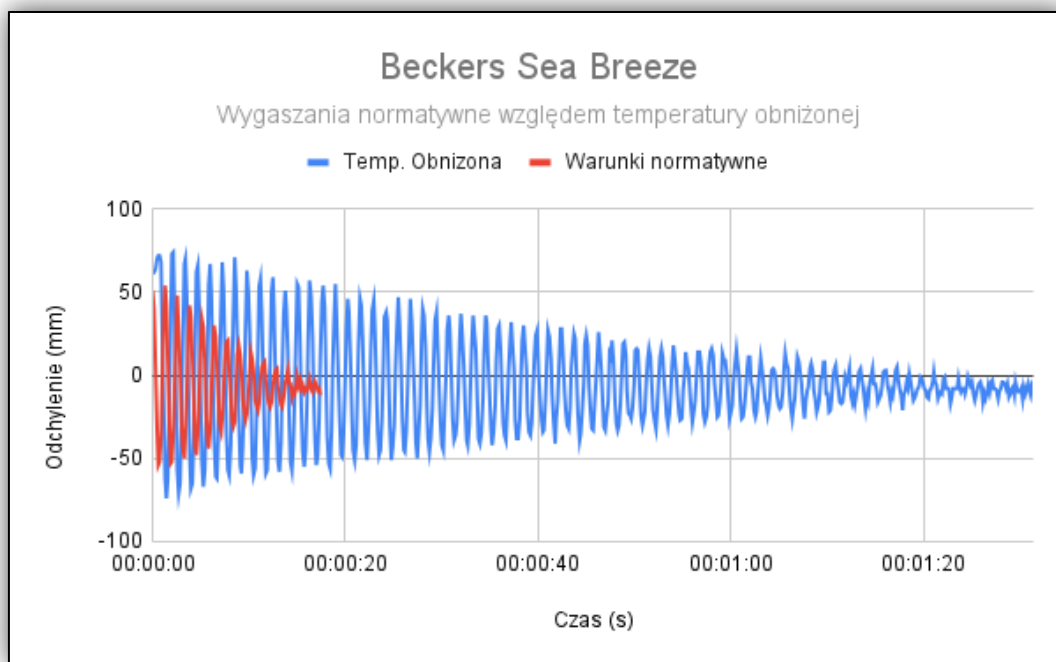
Kolejną próbką poddaną porównaniu była farba Handsome marki Beckers (PB2). W tym przypadku możemy stwierdzić znaczącą zmianę twardości powłoki poprzez zmianę ilości wahań wahadła oraz czasu tłumienia. Powłoka posiada wielokrotnie zwiększoną twardość po obniżeniu temperatury próbki (Rysunek 121.).



Rysunek 121. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalnej dla próbki Beckers Handsome (PB2).

Źródło: opracowanie własne

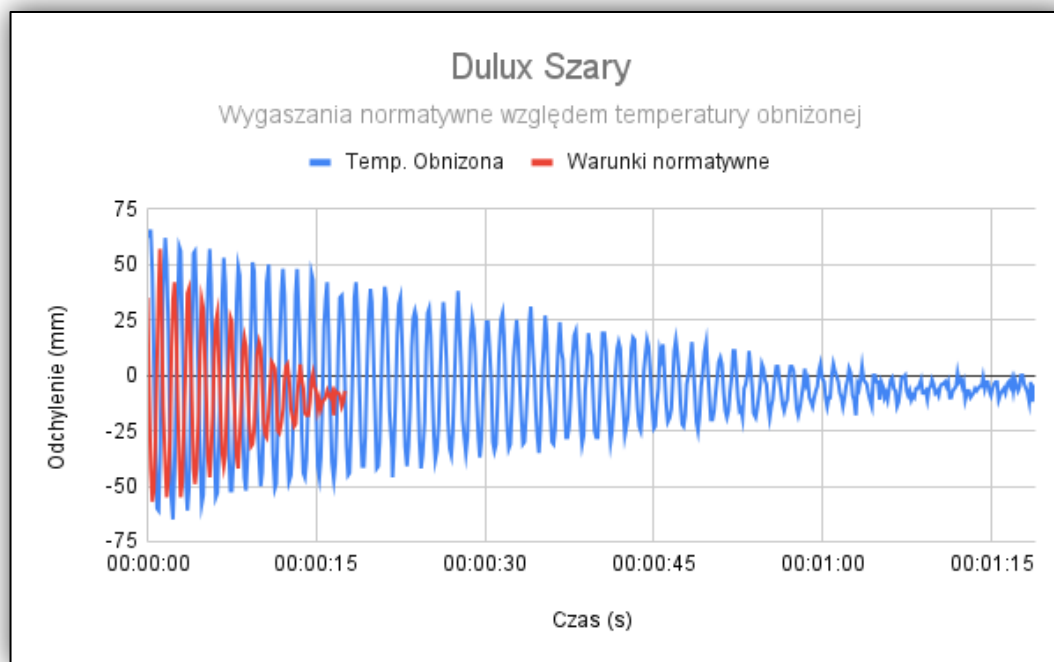
Następną z porównanych próbek była farba Sea Breeze marki Beckers (PB3). Podobnie jak w poprzednim przykładzie, można tutaj zaobserwować utwardzenie powłoki przy otoczeniu obniżonej temperatury (Rysunek 122.).



Rysunek 122. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Beckers Sea Breeze (PB3).

Źródło: opracowanie własne

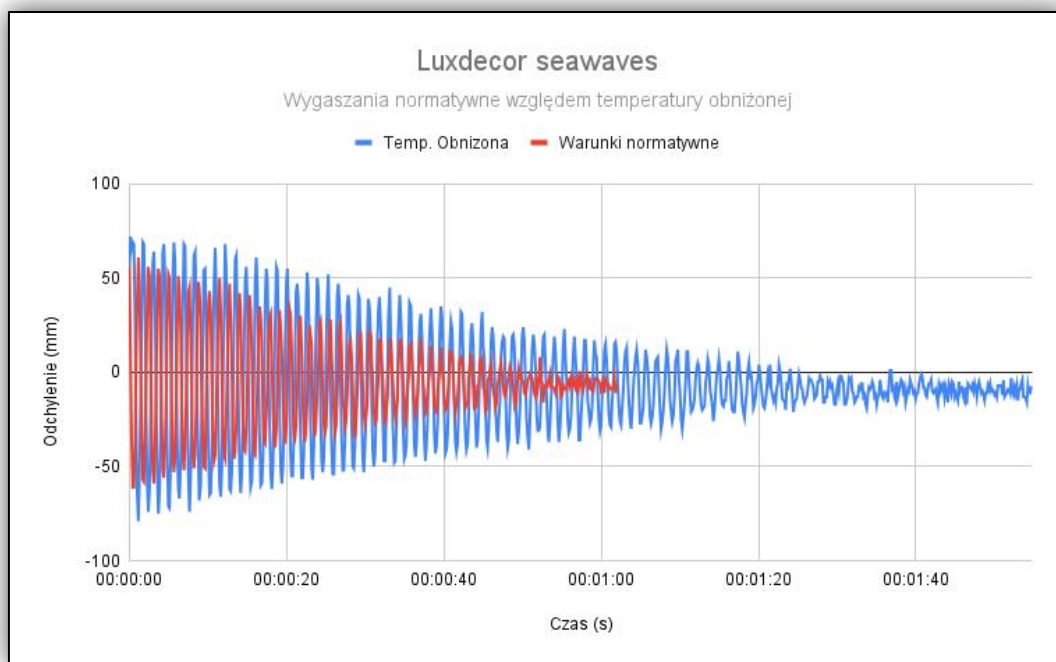
Porównaniu została poddana próbka farby Szary marki Dulux (PB4). W tym przypadku także zauważono bardzo dużą zmianę twardości powłoki. Podobnie jak w poprzednich przykładach, twardość powłoki uległa też zwiększeniu (Rysunek 123.).



Rysunek 123. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Dulux Szary (PB4).

Źródło: opracowanie własne

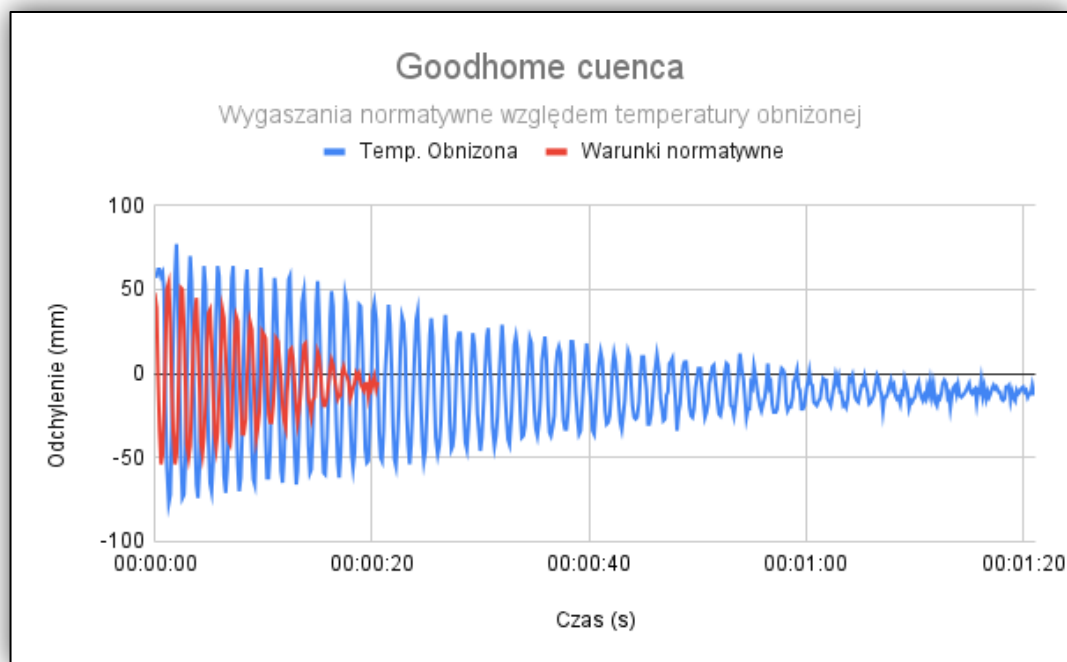
W następnej kolejności porównano wykresy dla farby Seawaves marki Luxdecor (PB5). Zmiana w tym przypadku nie była tak duża jak w poprzednich przykładach, lecz podobnie jak uprzednio próbka zwiększyła swoją twardość (Rysunek 124.).



Rysunek 124. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Luxdecor seawaves (PB5).

Źródło: opracowanie własne

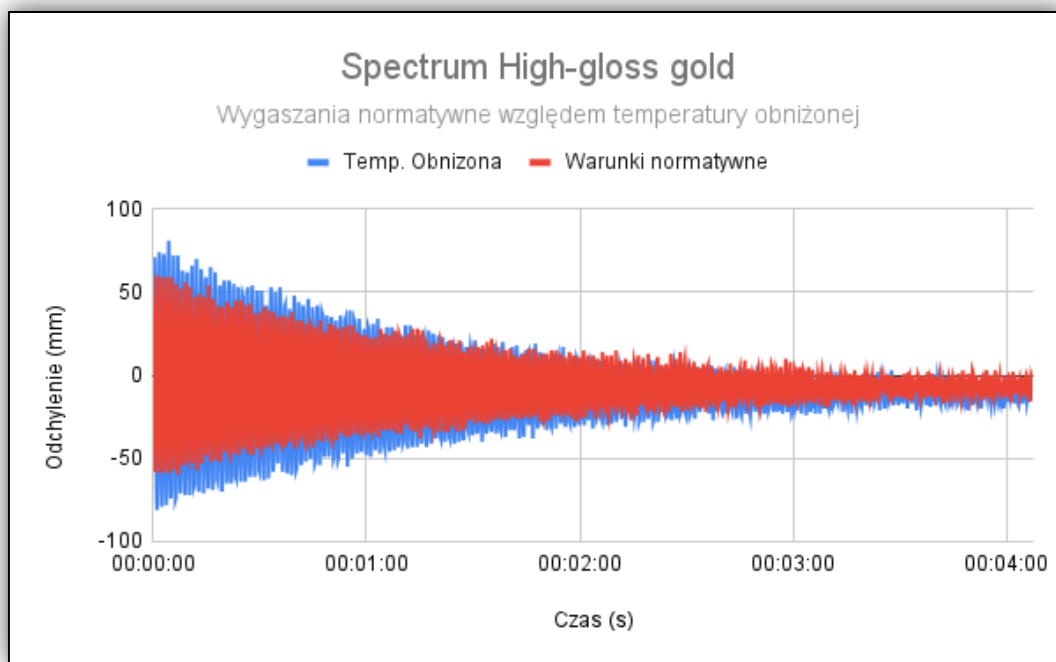
Porównaniu została poddana także próbka farby Cuenca marki Goodhome (PB6). W tym przypadku twardość powłoki znacząco uległa podwyższeniu (Rysunek 125.).



Rysunek 125. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Goodhome cuenca PB6).

Źródło: opracowanie własne

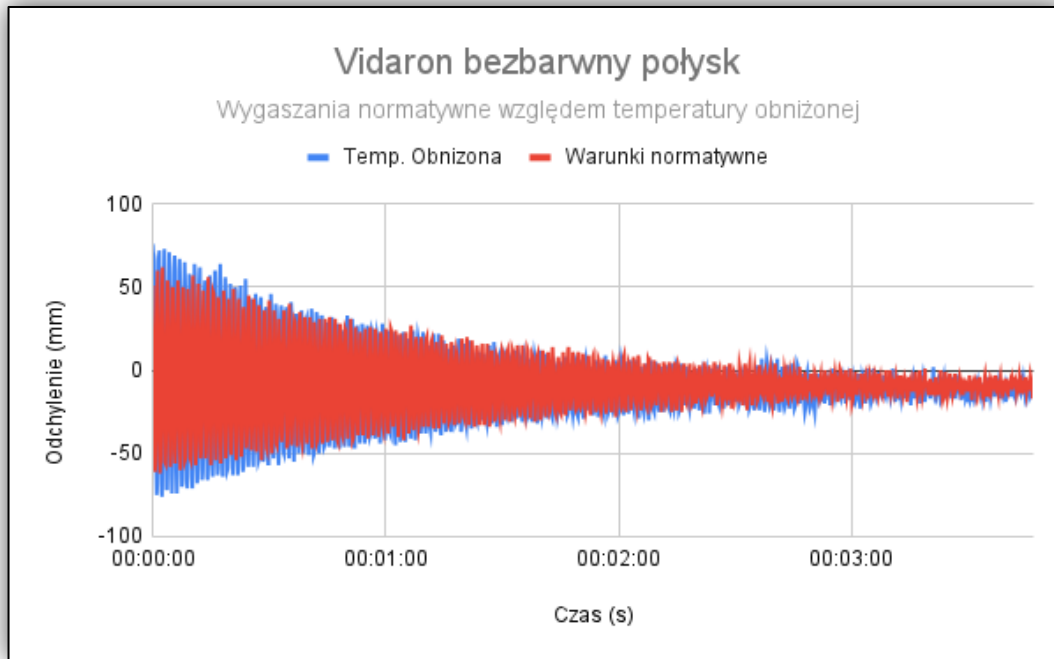
Dla farby High-gloss gold marki Spectrum (PB7) można zauważyć niewielkie zmiany w wygaszaniu po narażeniu na obniżoną temperaturę, niż w przypadku otoczenia normalywne. Zmiany te są niewielkie (Rysunek 126.).



Rysunek 126. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Spectrum High-gloss gold (PB7).

Źródło: opracowanie własne

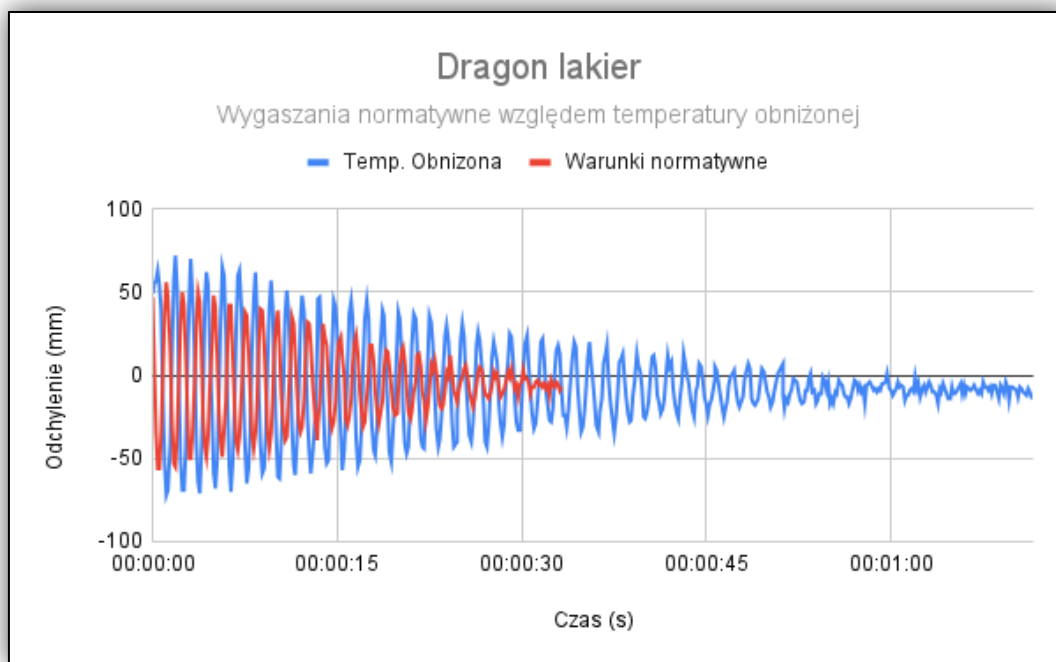
Następnie porównano wykresy dla farby bezbarwny połysk marki Vidaron (PB8). W tym przypadku wykres porównawczy jest bardzo podobny do wykresu próbki High-gloss gold. Zmiana twardości próbki w tym przypadku jest także znikoma (Rysunek 127.).



Rysunek 127. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Vidaron bezbarwny połysk (PB8).

Źródło: opracowanie własne

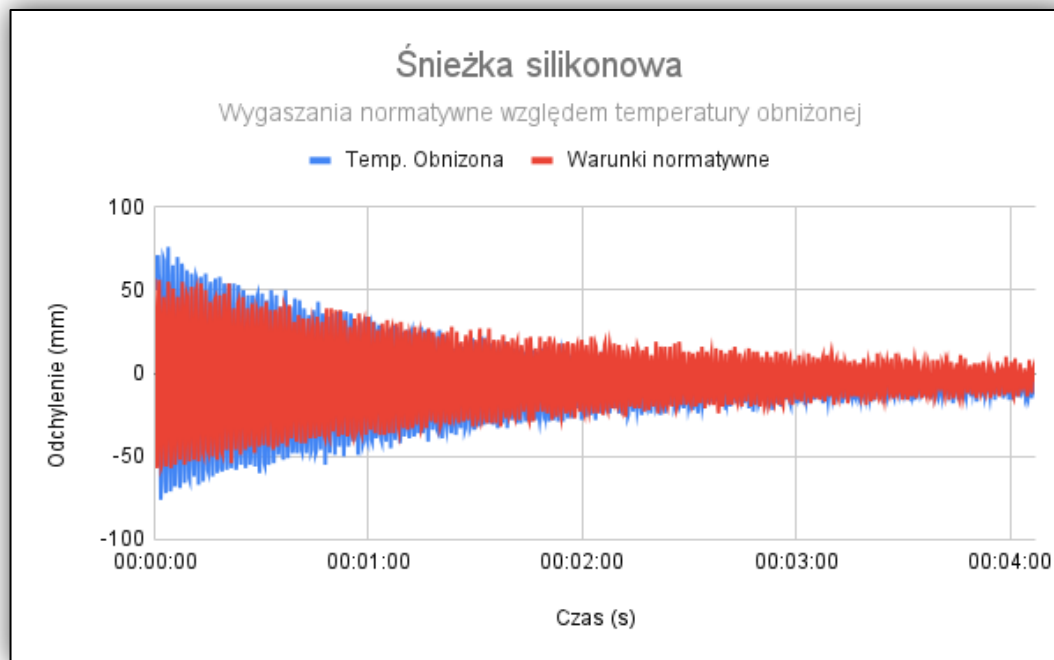
W następnej kolejności porównaniu tłumienia wahadła Königa została poddana próbka lakier marki Dragon (PB9). Wykres obrazuje podwyższenie twardości powłoki względem otoczenia normalywne (Rysunek 128.).



Rysunek 128. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Dragon lakier (PB9).

Źródło: opracowanie własne

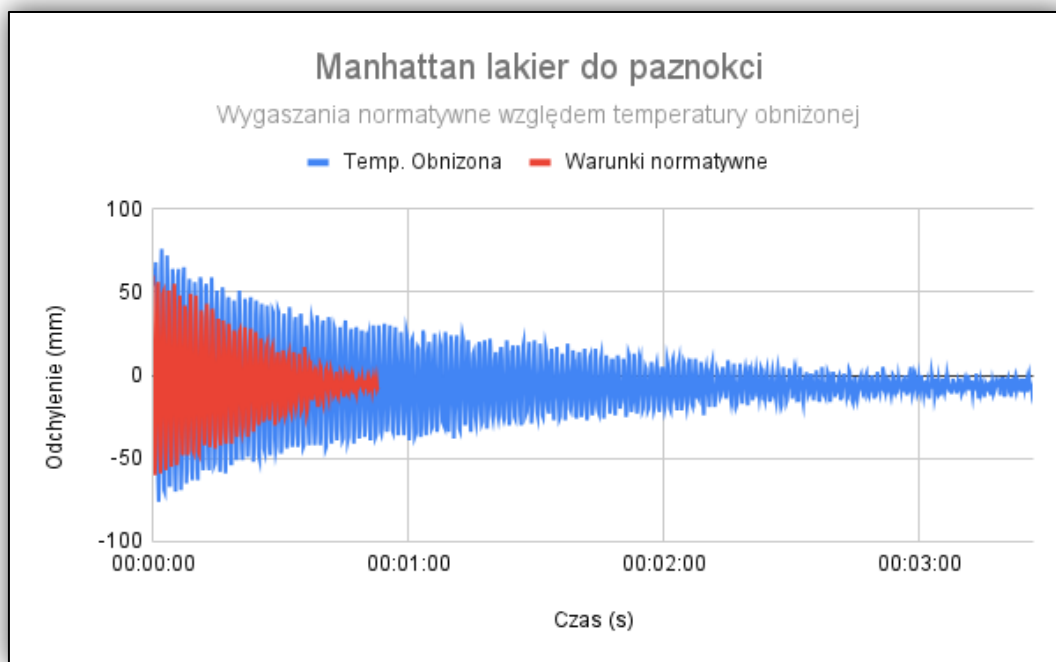
Wykres porównawczy dla powłoki silikonowej marki Śnieżka (PB10) ukazuje jedynie niewielkie zmiany. Podobnie jak już w opisywanych przypadkach, zmiany te mogą występować ze względu na obecności niepewności pomiarowych (Rysunek 129.).



Rysunek 129. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Śnieżka silikonowa (PB10).

Źródło: opracowanie własne

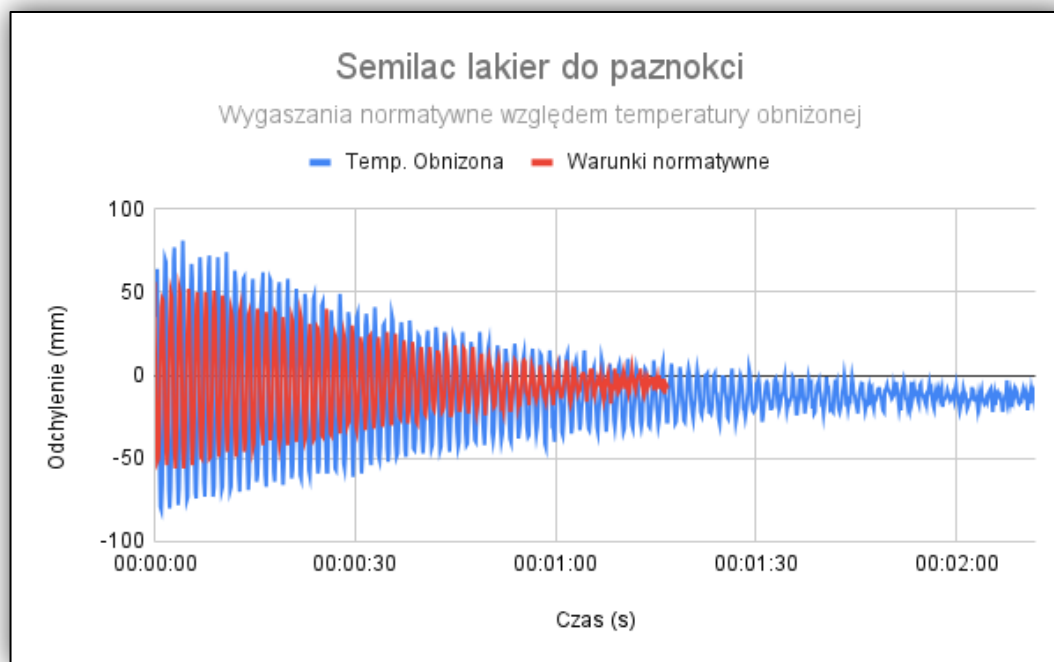
W przypadku lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11) można zauważyć utwardzenie się powłoki pod wpływem obniżonej temperatury. Zmiana zachodząca w tym przypadku jest duża i istotna (Rysunek 130.).



Rysunek 130. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Manhattan lakier do paznokci (PB11).

Źródło: opracowanie własne

Podobnie jak w przypadku lakieru do paznokci marki Manhattan, tak i w lakierze do paznokci marki Semilac (PB12) obserwujemy utwardzenie powłoki lakierowej. Zmiana w tym przypadku jest mniej istotna niż przy lakierze marki Manhattan (Rysunek 131.).



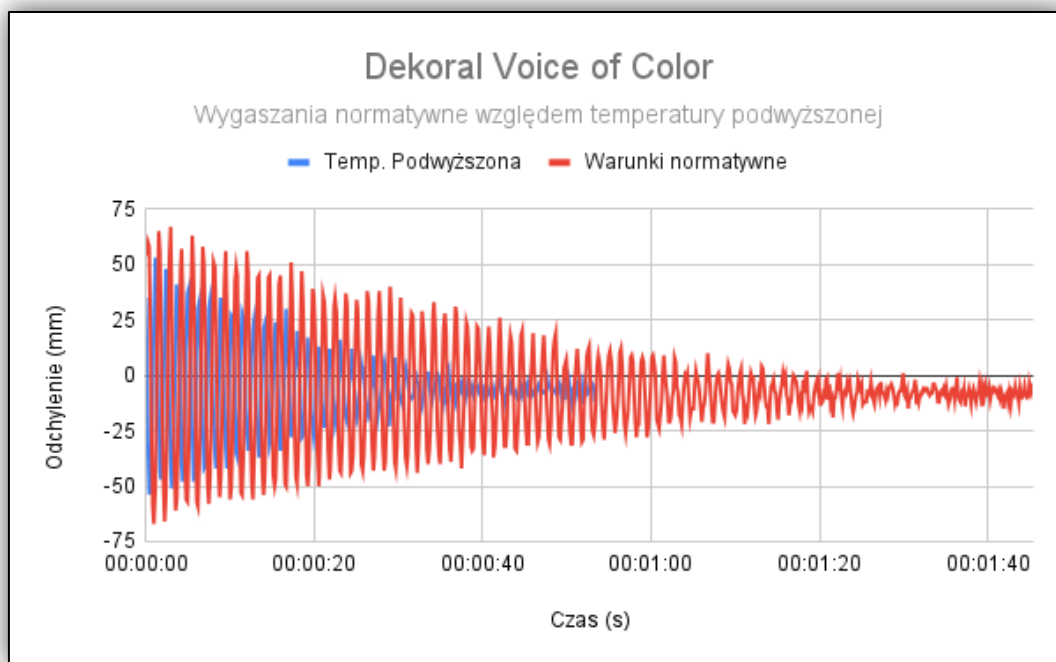
Rysunek 131. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze obniżonej (-2°C) oraz normalywnej dla próbki Semilac lakier do paznokci (PB12).

Źródło: opracowanie własne

2.8.2. Wyniki badań twardości powłok w temperaturze 60°C

W ramach tego badania temperatura każdej próbki została zwiększona do 60°C . Po ustabilizowaniu się temperatury powierzchni badanej próbki rozpoczęto badania. Wszystkie wyniki otrzymane z pomiarów próbek przebadanych po narażeniu na oddziaływanie podwyższonej temperatury porównano z wynikami występującymi w otoczeniu normalywnym. W przypadku temperatury podwyższonej w wielu porównaniach zauważono, że twardość powłoki uległa obniżeniu. Wyniki porównawcze przedstawiono na poniższych rysunkach.

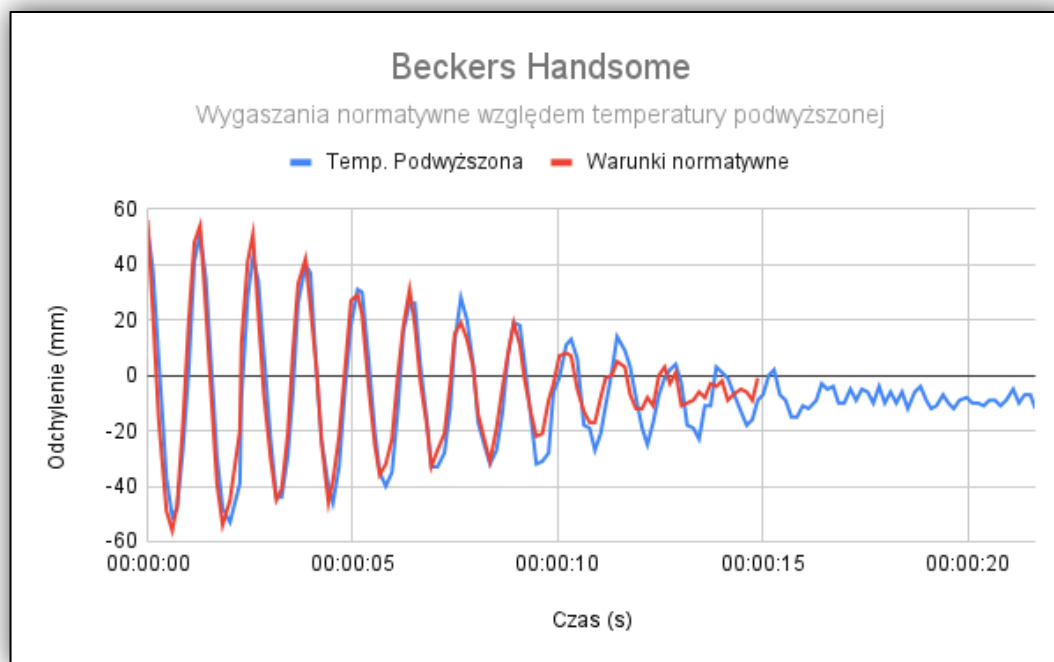
Analogicznie do wcześniej przeprowadzanych badań, pierwszą próbką była farba Voice of Color marki Dekoral (PB1). Na wykresie porównawczym tłumienia widma wahadła można zauważyć znaczące obniżenie twardości powłoki pod wpływem podwyższonej temperatury - szybsze tłumienie wahadła oraz mniejsza ilość wahań (Rysunek 132.).



Rysunek 132. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Dekoral Voice of Color (PB1).

Źródło: opracowanie własne

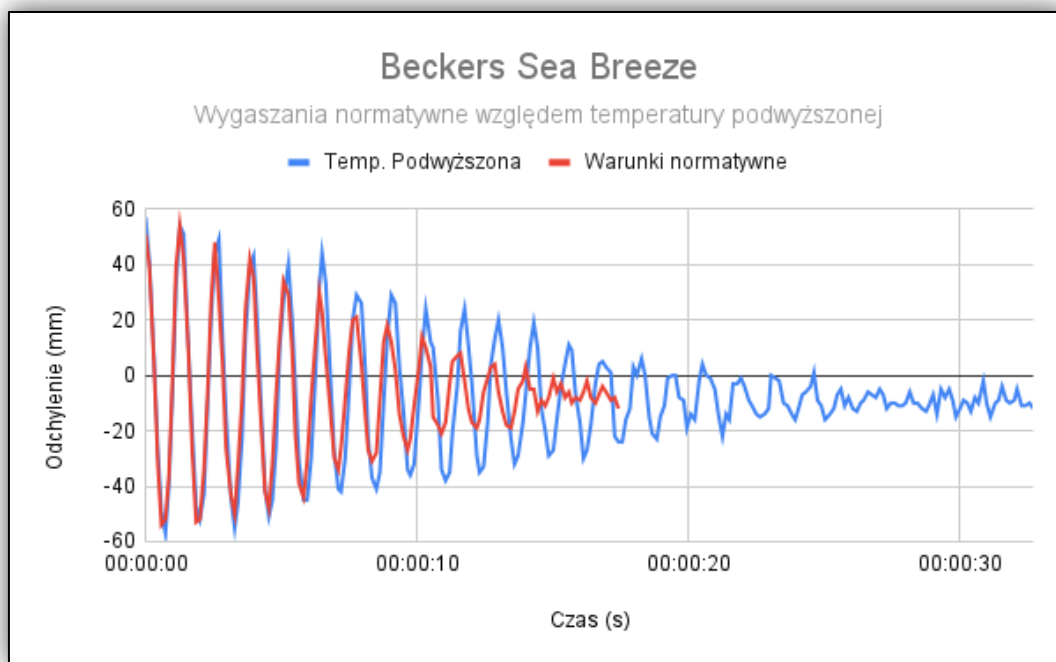
Następną próbką poddaną ocenie porównawczej za pomocą zestawienia wykresów obrazujących tłumienie wahadeł jest farba Handsome marki Beckers (PB2). W tym przypadku można zauważyć wolniejsze tłumienie wahadła Königa w temperaturze podwyższonej występujące tylko pod koniec ruchu. Na początku wahadło zachowywało się niemal identycznie jak w przypadku oddziaływania otoczenia normalywne. Oznacza to niewielkie podwyższenie twardości powłoki - utwardzenie (Rysunek 133.).



Rysunek 133. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Beckers Handsome (PB2).

Źródło: opracowanie własne

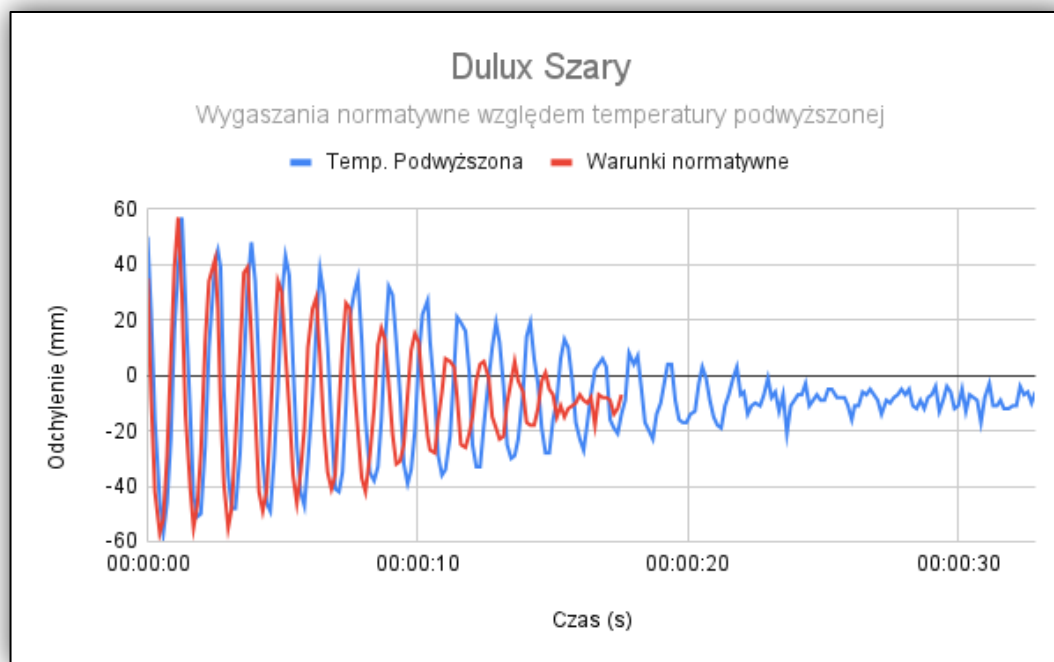
Przy porównaniu próbki farby Sea Breeze marki Beckers (PB3) stwierdzono, że sytuacja jest analogiczna jak w poprzednim przykładzie. Próbka w początkowych fazach tłumienia wahadła Königa zachowuje się niemalże identycznie zarówno w temperaturze podwyższonej jak i normalywnej. Zmiana ruchu wahadła występuje w końcowych fazach ruchu co przekłada się na wydłużenie czasu tłumienia jak i zwiększenie ilości wykonanych wahnięć - twardość powłoki wzrosła (Rysunek 134.).



Rysunek 134. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normatywnej dla próbki Beckers Sea Breeze (PB3).

Źródło: opracowanie własne

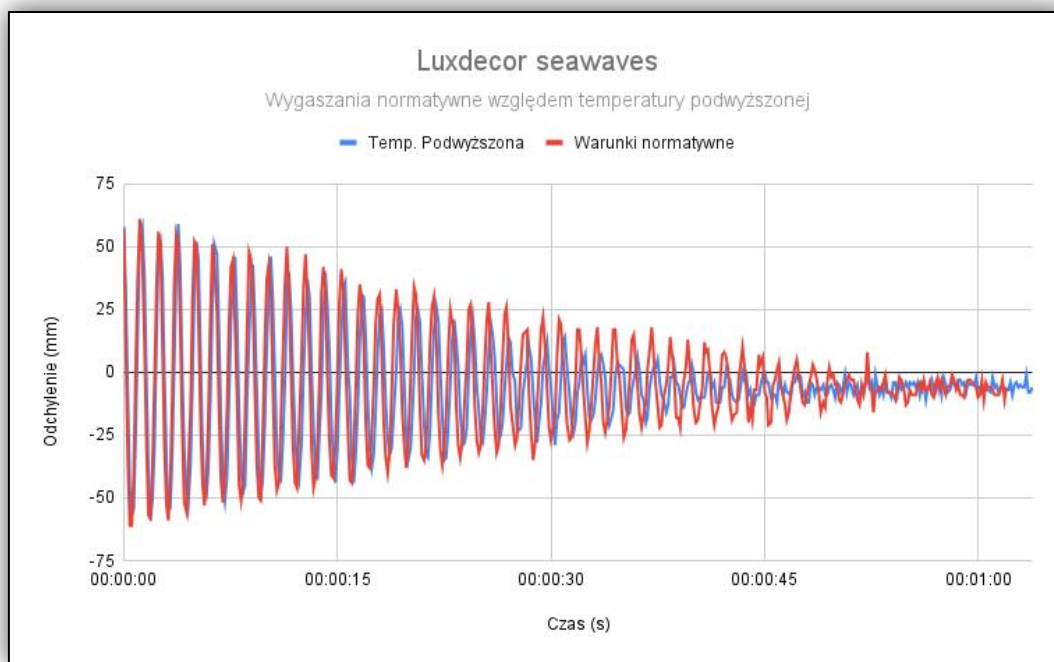
Analogicznie do poprzednich przykładów zachowała się powłoka farby Szary marki Dulux (PB4). W tym przypadku można także zauważyć zmianę tłumienia występującą od ponad połowy ruchu tłumienia wahadła Königa. Tak samo w tym przypadku ruch wydłuża się ku końcowi - twardość powłoki wzrasta (Rysunek 135.).



Rysunek 135. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Dulux Szary (PB4).

Źródło: opracowanie własne

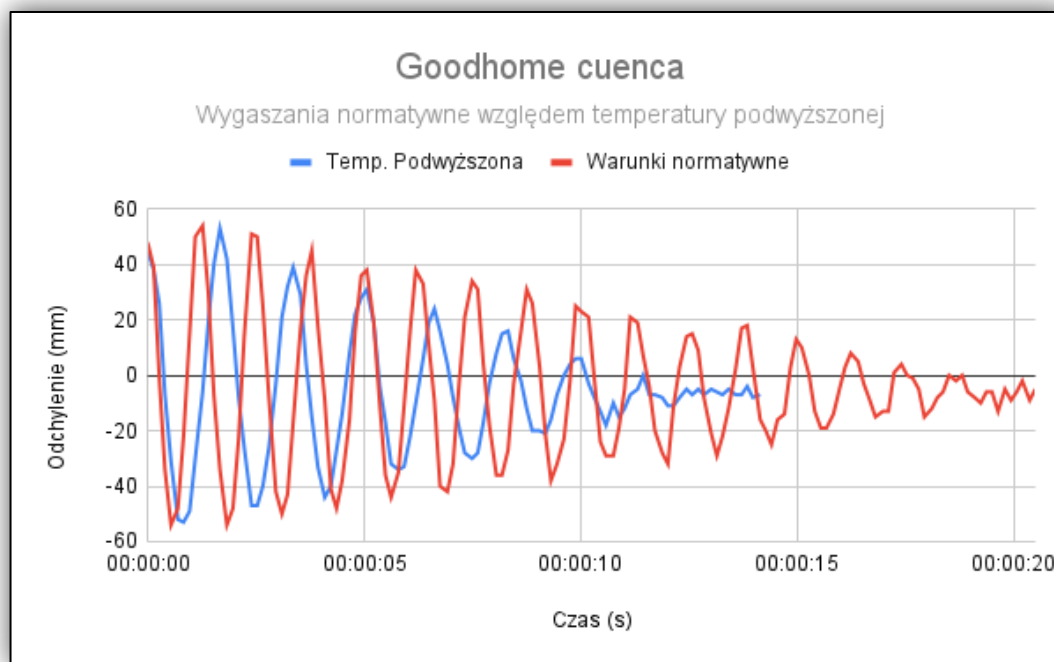
Farba Seawaves marki Luxdecor (PB5) wykazała brak zmian twardości po zmianie temperatury na wyższą względem otoczenia normalywnego. Wykres przedstawiony na rysunku (Rysunek 136.) w całym przedziale pokrywa się z charakterystyką wykonaną w temperaturze normalywnej. Taka sytuacja ma miejsce, gdy twardość powłoki nie uległa zmianie.



Rysunek 136. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Luxdecor seawaves (PB5).

Źródło: opracowanie własne

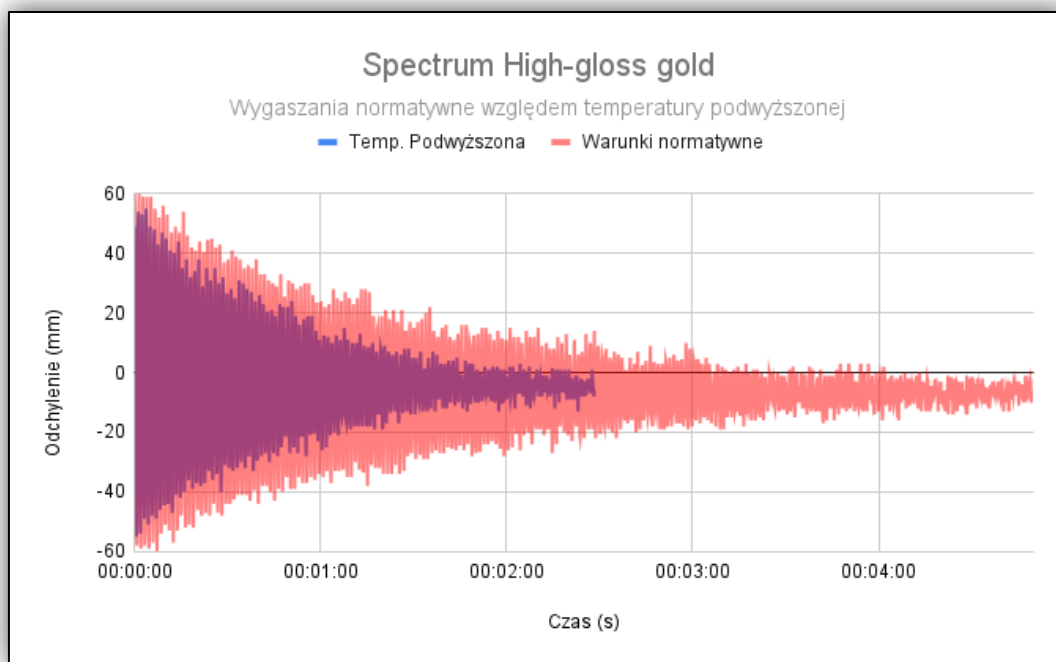
W następnej kolejności porównano zachowanie farby Cuenca marki Goodhome (PB6) w otoczeniu normalywnym do otoczenia o podwyższonej temperaturze. Twardość powłoki obniżyła się. Wahadło Königa wykonało mniejszą ilość wahań oraz potrzebowało krótszy czas na zatrzymanie (Rysunek 137.).



Rysunek 137. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Goodhome cuenca (PB6).

Źródło: opracowanie własne

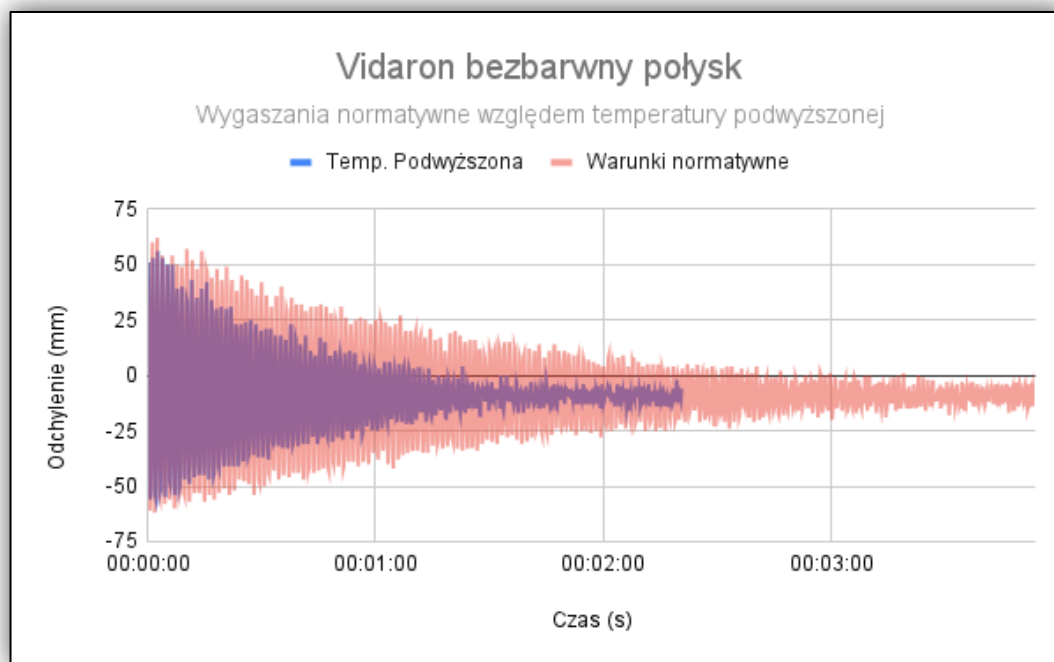
Farba High-gloss gold marki Spectrum (PB7) także została poddana porównaniu twardości oddziaływania różnych środowisk za pomocą wykresu zmiany. W tym przypadku zmiana jest widoczna już od samego początku ruchu wahadła Königa. Tłumienie w temperaturze podwyższonej postępowało szybciej oraz wahadło wykonało mniejszą ilość wahań - powłoka stała się mniej twarda (Rysunek 138.).



Rysunek 138. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Spectrum High-gloss gold (PB7).

Źródło: opracowanie własne

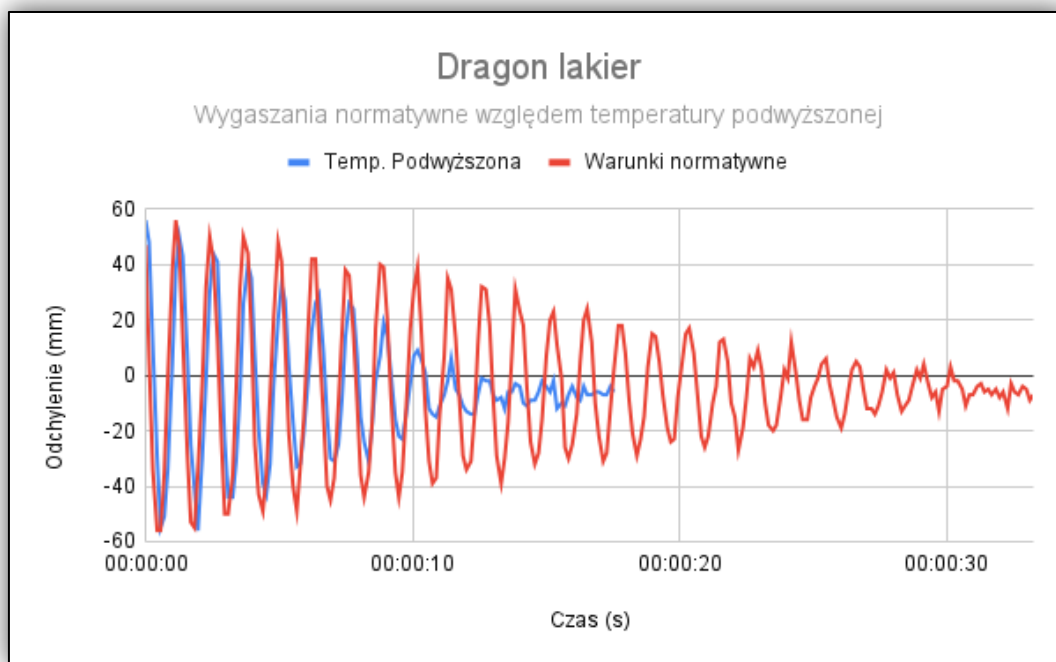
Wykres porównawczy wykonano także dla farby bezbarwny połysk marki Vidaron (PB8). W tym przypadku, podobnie jak w produkcie poprzednim mamy do czynienia z spadkiem twardości powłoki w otoczeniu podwyższonej temperatury. Zarówno czas tłumienia jak i ilość wahań wahadła Königa uległy redukcji w przypadku temperatury podwyższonej (Rysunek 139.).



Rysunek 139. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalatywnej dla próbki Vidaron bezbarwny połysk (PB8).

Źródło: opracowanie własne

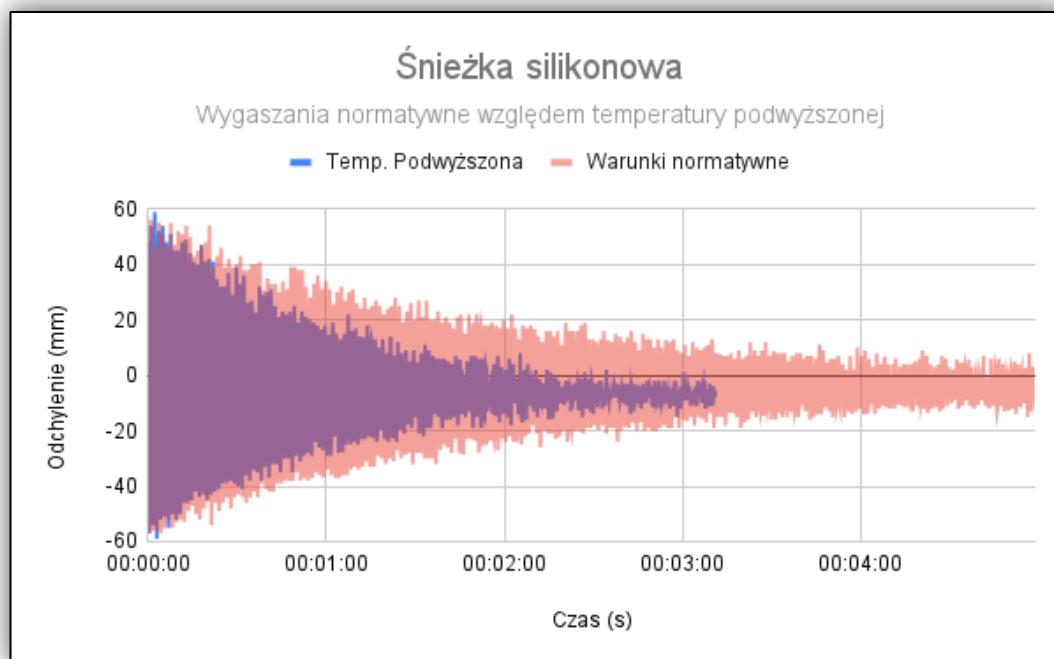
Następnym przykładem zmniejszenia twardości powłoki w temperaturze podwyższonej był lakier marki Dragon (PB9). Czas tłumienia w tym przypadku dla temperatury podwyższonej był o połowę szybszy niż miało to miejsce w temperaturze normalatywnej. Ilość wykonanych przez wahadło Königa wahaniec także uległ zmniejszeniu (Rysunek 140.).



Rysunek 140. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Dragon lakier (PB9).

Źródło: opracowanie własne

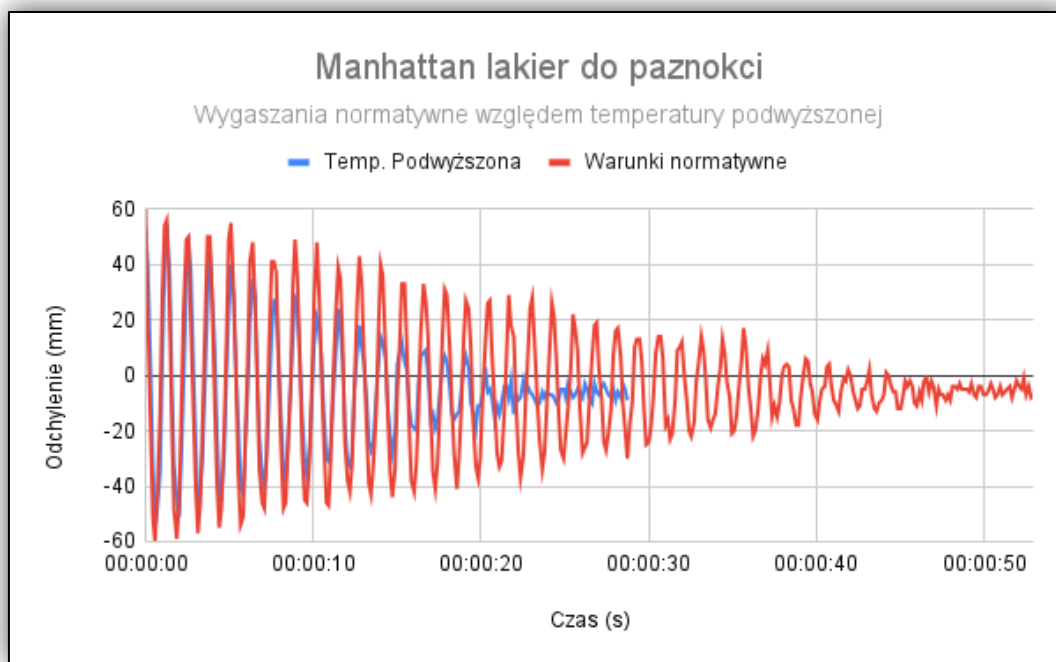
W następnym przykładzie przedstawiono wykres porównawczy tłumienia wahadła w temperaturze normalywnej oraz podwyższonej dla produktu: „Śnieżka silikonowa” (PB10). Produkt ten także uległ zmiękczeniu powłoki po narażeniu na temperaturę podwyższoną. Ilość wahań wahadła Königa zmniejszyła się oraz czas tłumienia uległ skróceniu (Rysunek 141.).



Rysunek 141. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Śnieżka silikonowa.

Źródło: opracowanie własne

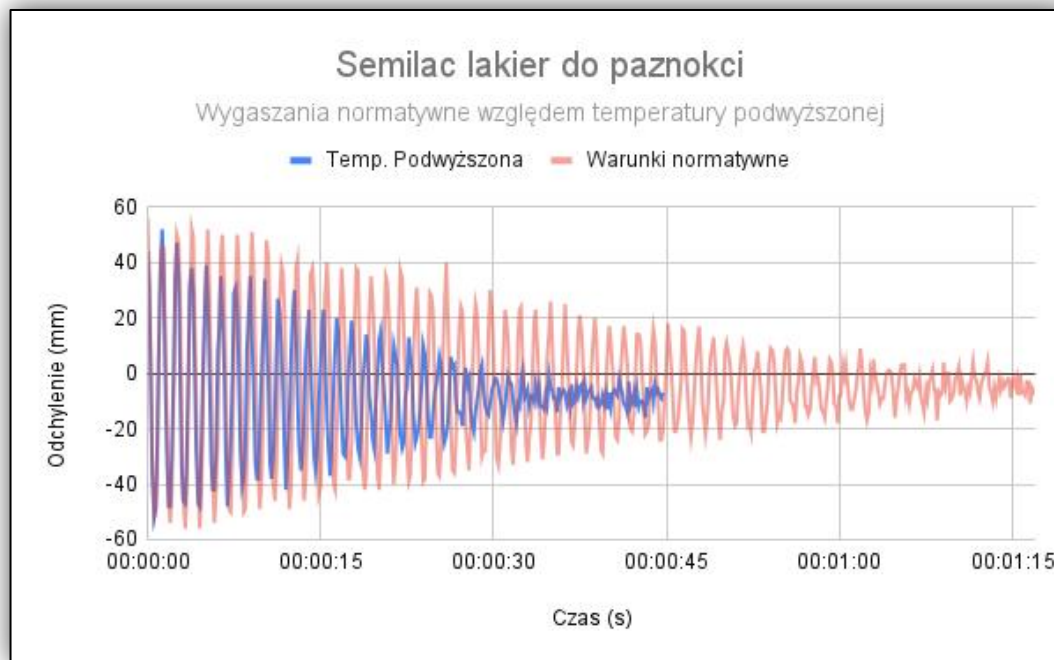
W przypadku lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11), powłoka uległa zmiękczeniu. Obrazuje to wykres porównawczy otoczenia normalywne oraz temperatury podwyższonej. Zauważona zmiana to zmniejszenie twardości o ponad połowę wartości normalywnej (Rysunek 142.).



Rysunek 142. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalywnej dla próbki Manhattan lakier do paznokci (PB11).

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim produktem poddanym porównaniu otoczenia normalywnego do otoczenia o podwyższonej temperaturze jest lakier do paznokci marki Semilac (PB12). Podobnie jak w przypadku produktu marki Manhattan, można zauważyć zmniejszenie się twardości powłoki. Wahadło Königa w tym przypadku także wykonało mniejszą ilość wahań w krótszym okresie niż miało to miejsce w otoczeniu normalywnym (Rysunek 143.).



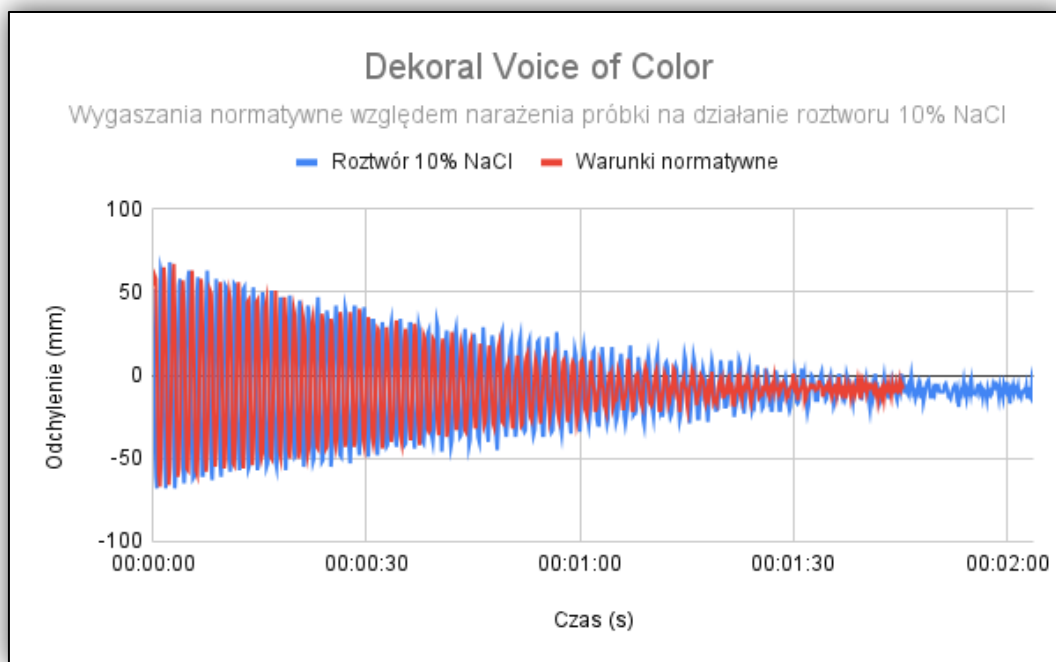
Rysunek 143. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa w temperaturze podwyższonej (60°C) oraz normalatywnej dla próbki Semilac lakier do paznokci (PB12).

Źródło: opracowanie własne

2.8.3. Wyniki badań twardości powłok narażonych na oddziaływanie 10% NaCl

Po przeprowadzeniu porównania otoczenia normalatywnego do otoczenia o podwyższonej temperaturze przystąpiono do opisu wykresów porównawczych otoczenia normalatywnego do otoczenia o podwyższonym zasoleniu – 10% roztwór NaCl. Opisy porównawcze wykonano analogicznie do poprzednich przykładów, zachowując także jak poprzednio, określoną kolejność próbek.

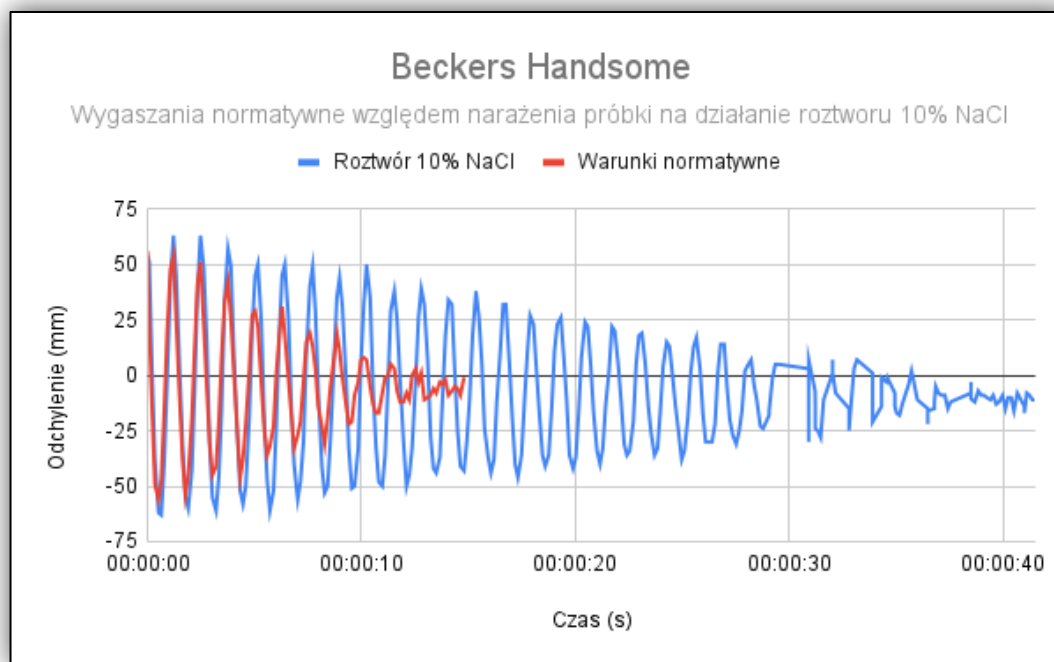
Pierwszą z próbek która została poddana porównaniu tłumienia wahadła Königa w otoczeniu normalatywnym względem otoczenia o podwyższonym zasoleniu był produkt Voice of Color marki Dekoral (PB1). W tym przypadku twardość powłoki w nieznanym stopniu uległa zwiększeniu. Zmiany są bardzo niewielkie i mogą wynikać z bardzo małego wpływu roztworu solnego na próbkę (Rysunek 144.).



Rysunek 144. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normalywnego próbki Dekoral Voice of Color (PB1).

Źródło: opracowanie własne

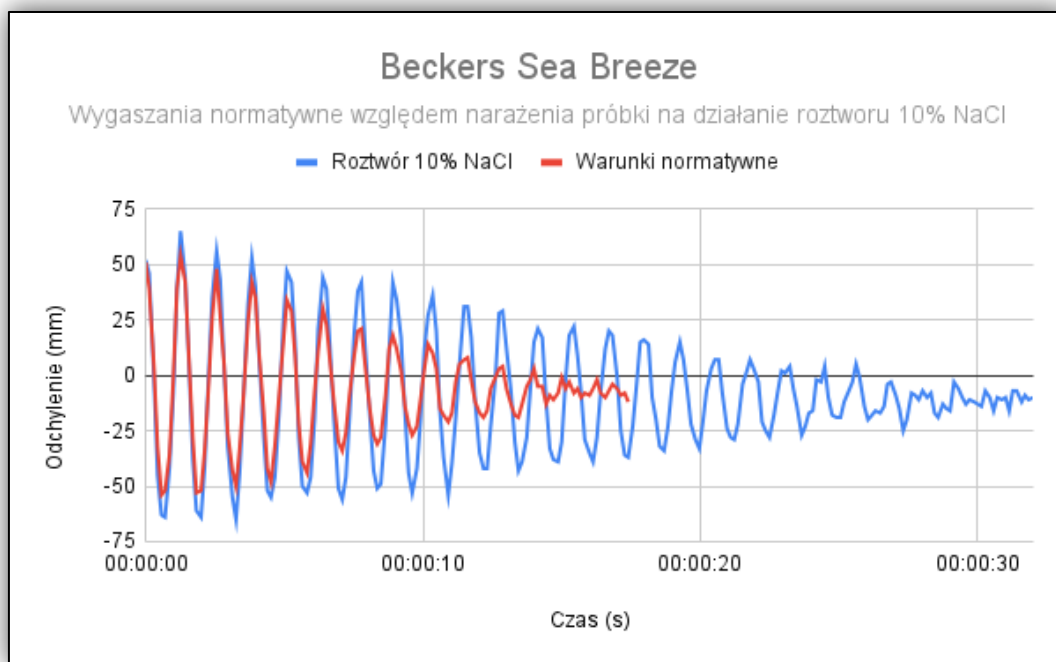
Następną próbką poddaną porównaniu był produkt Handsome marki Beckers (PB2). W tym przypadku twardość powłoki znacząco wzrosła. Na wykresie można zauważyć ponad dwukrotne zwiększenie czasu tłumienia jak i ilości wahań wahadła Königa względem charakterystyki wykonanej dla otoczenia normalywnego (Rysunek 145.).



Rysunek 145. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normalywnego próbki Beckers Handsome (PB2).

Źródło: opracowanie własne

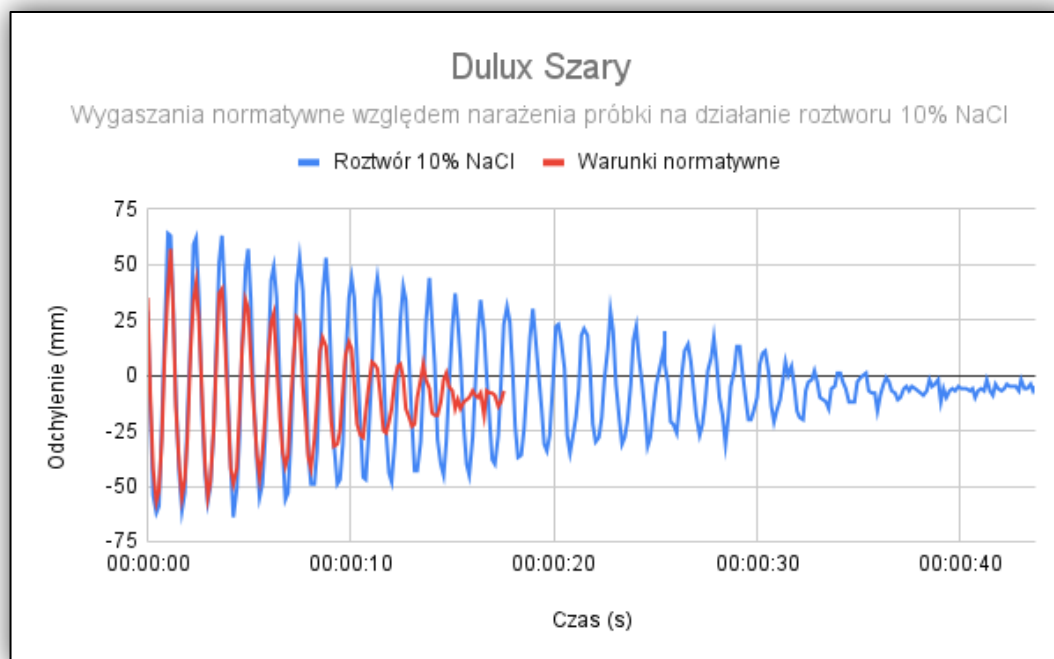
Kolejną powłoką, dla której wykonano wykres porównawczy po narażeniu na warunki zasolenia 10% NaCl był produkt Sea Breeze marki Beckers (PB3). Podobnie jak w poprzednim przykładzie, można zauważyć tutaj wzrost wartości twardości powłoki. Czas tłumienia wahadła Königa uległ wydłużeniu oraz ilość wykonanych wahań wahadła zwiększyła się (Rysunek 146.).



Rysunek 146. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normatywnego próbki Beckers Sea Breeze (PB3).

Źródło: opracowanie własne

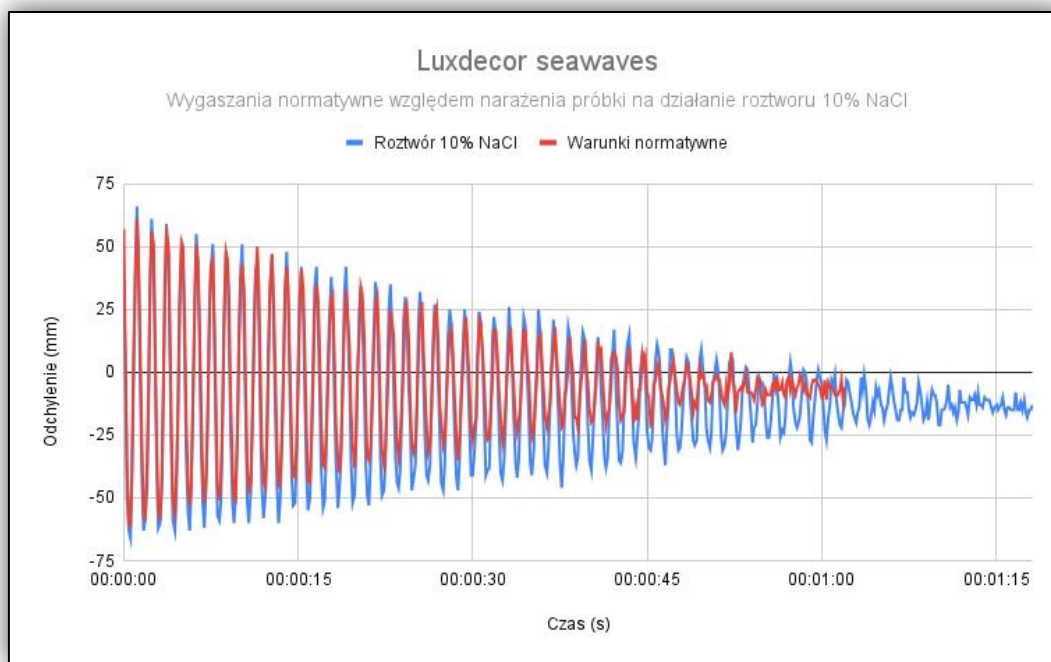
W następnej kolejności określono zmiany twardości występujące po narażeniu na oddziaływanie różnych środowisk dla produktu Szary marki Dulux (PB4). W tym przypadku także zauważono wzrost ilości wahań wahadła Königa oraz wydłużenie się czasu tłumienia ponad dwukrotnie. Oznacza to wzrost twardości powłoki lakierniczej (Rysunek 147.).



Rysunek 147. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normalywnego próbki Dulux Szary (PB4).

Źródło: opracowanie własne

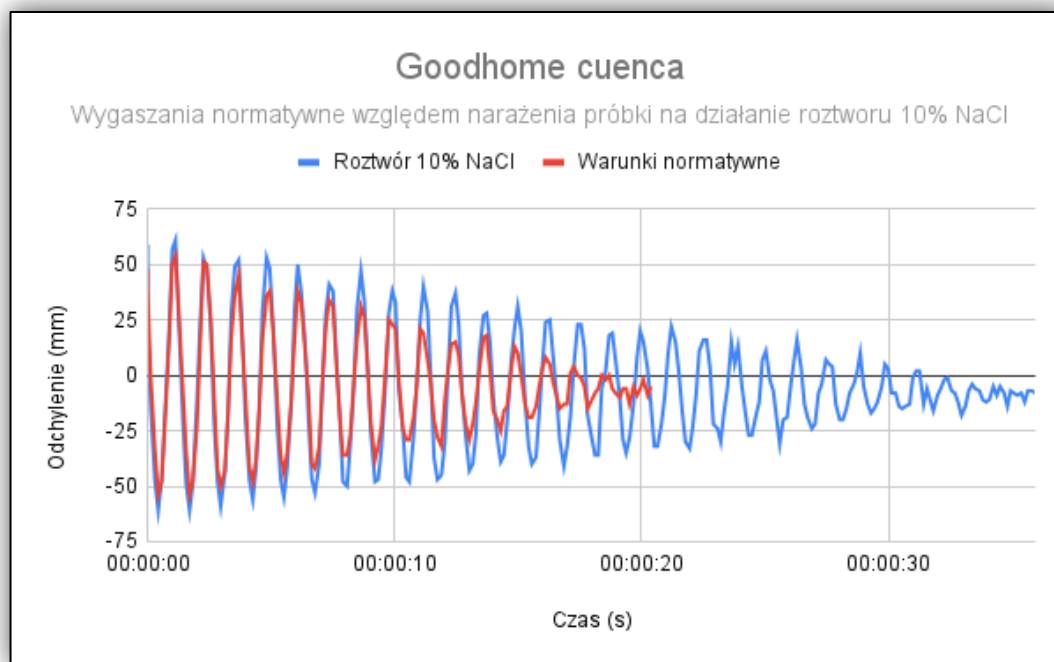
W przypadku produktu seawaves marki Luxdecor (PB5) porównanie wykazało niewielki wzrost twardości powłoki po narażeniu na warunki zwiększonego zasolenia. Określona zmiana nie jest tak istotna jak miało to miejsce w przypadkach poprzednich. Zarówno czas jak i ilość wahanć wahadła Königa uległa nieznacznemu zwiększeniu (Rysunek 148.).



Rysunek 148. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normatywnego próbki Luxdecor seawaves (PB5).

Źródło: opracowanie własne

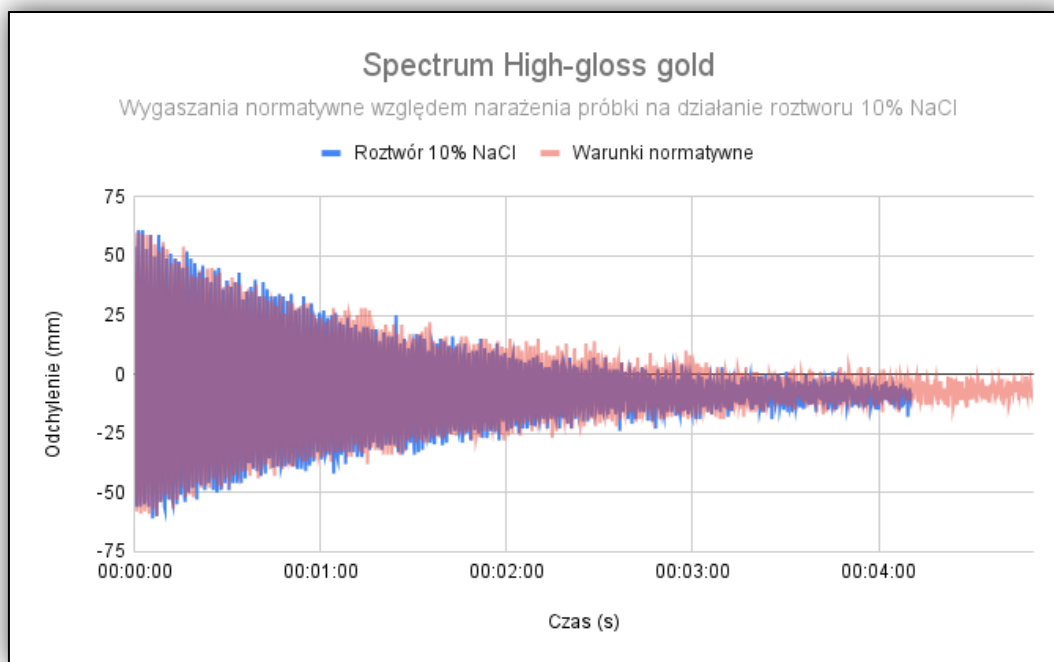
Kolejnym z produktów poddanych ocenie zmiany twardości powłoki po poddaniu na oddziaływanie otoczenia o zwiększonym zasoleniu jest powłoka cuenca marki Goodhome (PB6). Produkt ten wykazał zarówno zmianę w czasie wygaszania jak i ilości wahnięć. Wartość twardości powłoki po narażeniu na roztwór 10% NaCl wzrosła (Rysunek 149.).



Rysunek 149. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normalywnego próbki Goodhome cuenca (PB6).

Źródło: opracowanie własne

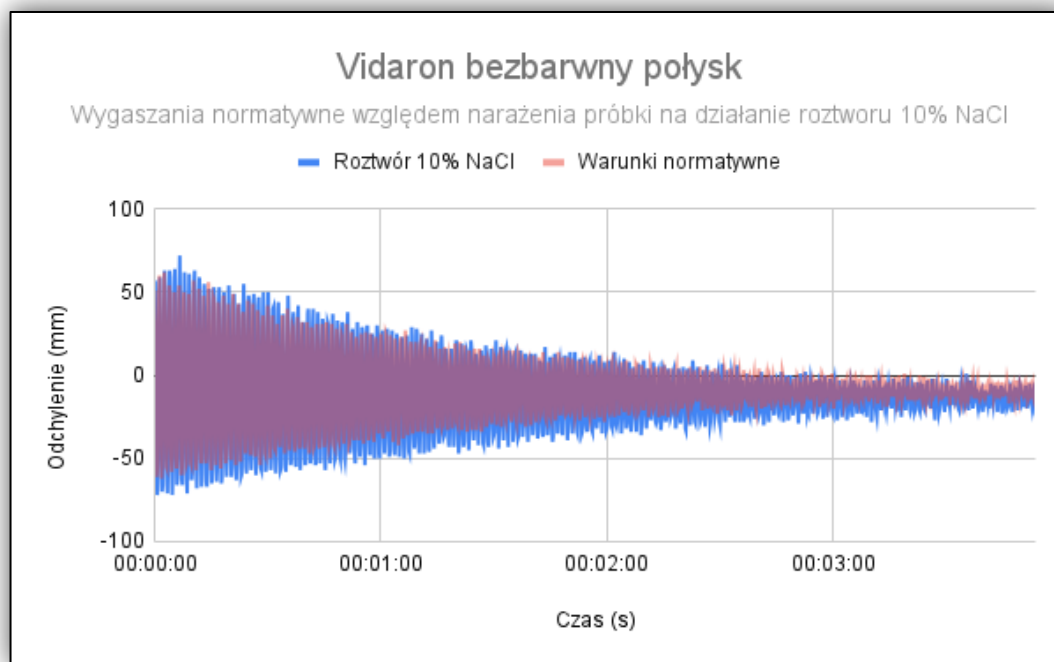
Następnym produktem, dla którego określono zachodzące zmiany w twardości powłoki lakierniczej po narażeniu na odmienne otoczenie względem normalywnego jest produkt High-gloss gold marki Spectrum (PB7). W tym przypadku można zauważyć niemalże brak występowania zmian, zarówno w czasie tłumienia jak i w ilości wykonanych ruchów przez wahadło Königa. Wartość twardości powłoki nie uległa zmianie (Rysunek 150.).



Rysunek 150. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normatywnego próbki Spectrum High-gloss gold (PB7).

Źródło: opracowanie własne

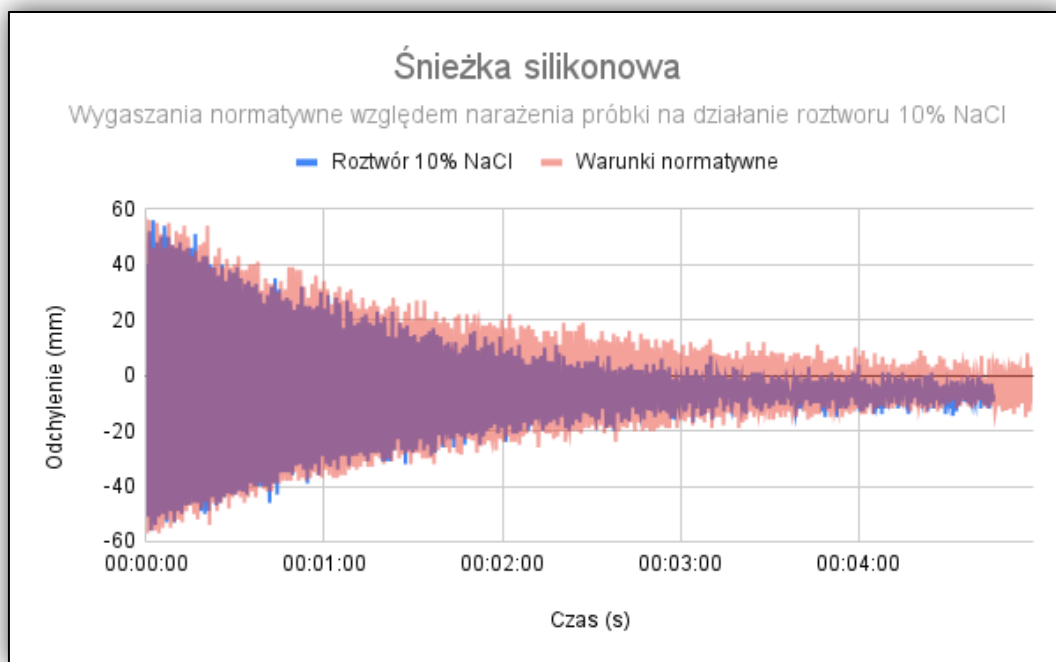
W następnej kolejności określono stopień zmian w czasie oraz ilości ruchów wahadła Königa podczas jego tłumienia dla podwyższonego otoczenia zasolenia (10% NaCl) w produkcie bezbarwny połysk marki Vidaron (PB8). Wykres przedstawiający zanik ruchu wahadłowego nie przedstawia żadnych istotnych zmian względem otoczenia normatywnego. W tym przypadku można stwierdzić, iż powłoka nie zmieniła wartości swojej twardości (Rysunek 151.).



Rysunek 151. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normalywnego próbki Vidaron bezbarwny połysk (PB8).

Źródło: opracowanie własne

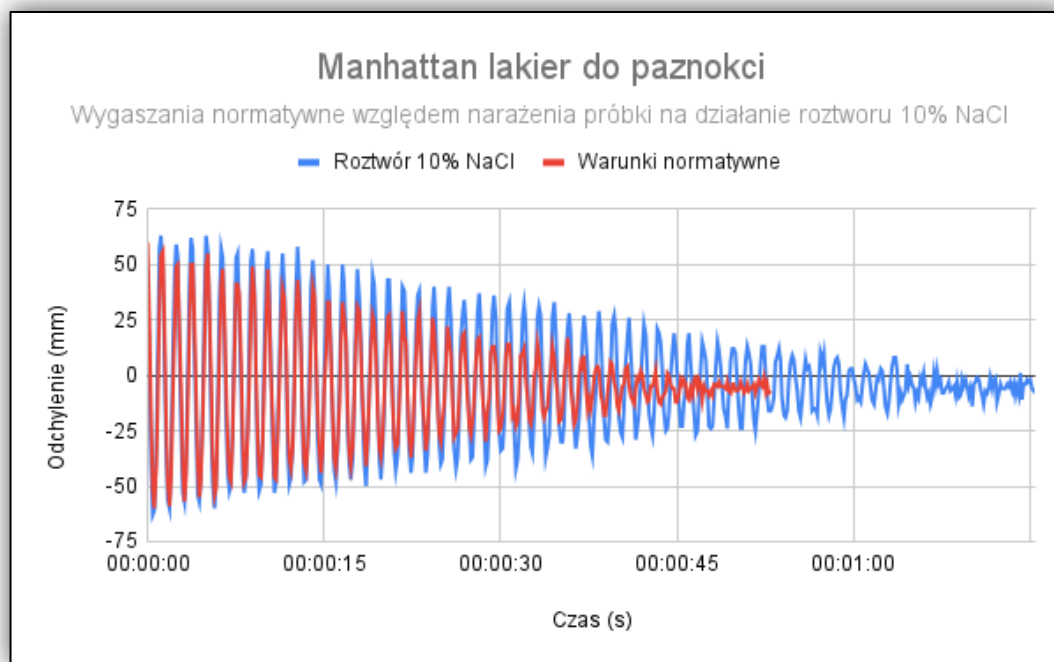
Przebieg tłumienia wahadła w otoczeniu o podwyższonym zasoleniu posiada podobne odzwierciedlenie jak w poprzednim przykładzie oraz niemal identyczne jak w otoczeniu normalywnym. Produkt marki Śnieżka silikonowa (PB10) posiada niewielkie różnice w ilości i czasie tłumienia wahadła Königa w różnych środowiskach (10% NaCl, temperatura podwyższona, temperatura obniżona oraz różne czasy oddziaływania roztworu 3,5% NaCl). Można stwierdzić, iż w tym przypadku powłoka nieznacznie obniżyła twardość (Rysunek 152.).



Rysunek 152. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normatywnego próbki Śnieżka silikonowa (PB10).

Źródło: opracowanie własne

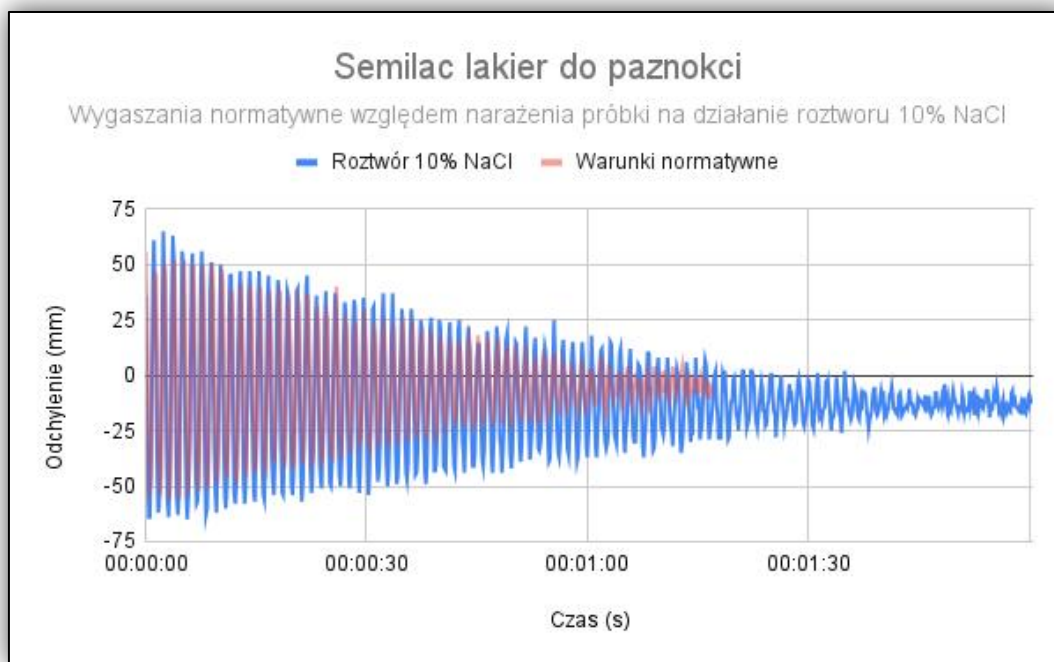
W przypadku lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11), odnotowano zwiększenie twardości powłoki lakierniczej (utwardzenie). Zmiana ta jest widoczna głównie w końcowym etapie ruchu wahadła Königa. W tym przypadku zarówno czas jak i ilość wahaní wahadła uległa zwiększeniu co oznacza wzrost twardości powłoki w przypadku oddziaływania 10% NaCl w stosunku do otoczenia normatywnego (Rysunek 153.).



Rysunek 153. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normalywnego próbki Manhattan lakier do paznokci (PB11).

Źródło: opracowanie własne

Dla lakieru do paznokci marki Semilac (PB12) zaobserwowano podobne zachowanie powłoki jak w przypadku lakieru do paznokci marki Manhattan. Wahadło Königa w tym przypadku zwiększyło ilość wykonanych ruchów oraz wydłużyło swój czas tłumienia. Twardość powłoki przy 10% roztworze NaCl wzrosła (Rysunek 154.).



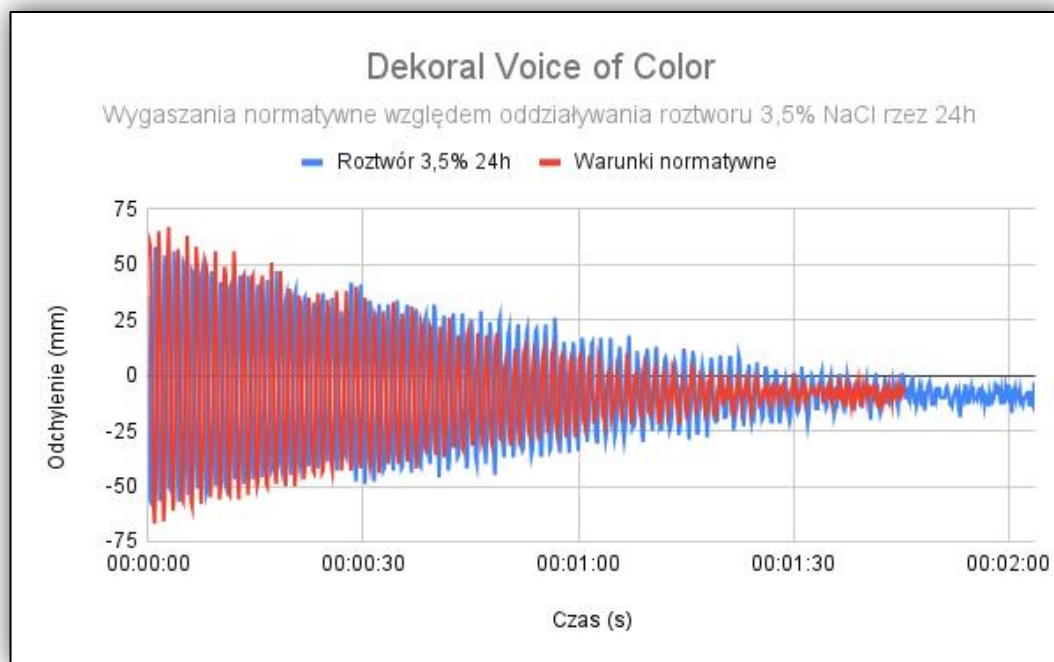
Rysunek 154. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 10% roztworu NaCl oraz otoczenia normatywnego próbki Semilac lakier do paznokci (PB12).

Źródło: opracowanie własne

2.8.4. Wyniki badań twardości powłok narażonych na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 24 godzin

Po wykonaniu badań porównawczych dla otoczenia o podwyższonym zasoleniu do poziomu 10%, wykonano badania porównawcze dla otoczenia o podwyższonym zasoleniu do poziomu 3,5%. W pierwszej kolejności porównania dotyczą oddziaływania na próbkę roztworu soli w czasie 24 godzin. Wszystkie porównania są wykonane w analogicznej kolejności jak uprzednio. Wszelkie opisy wykresów porównawczych są zawarte poniżej.

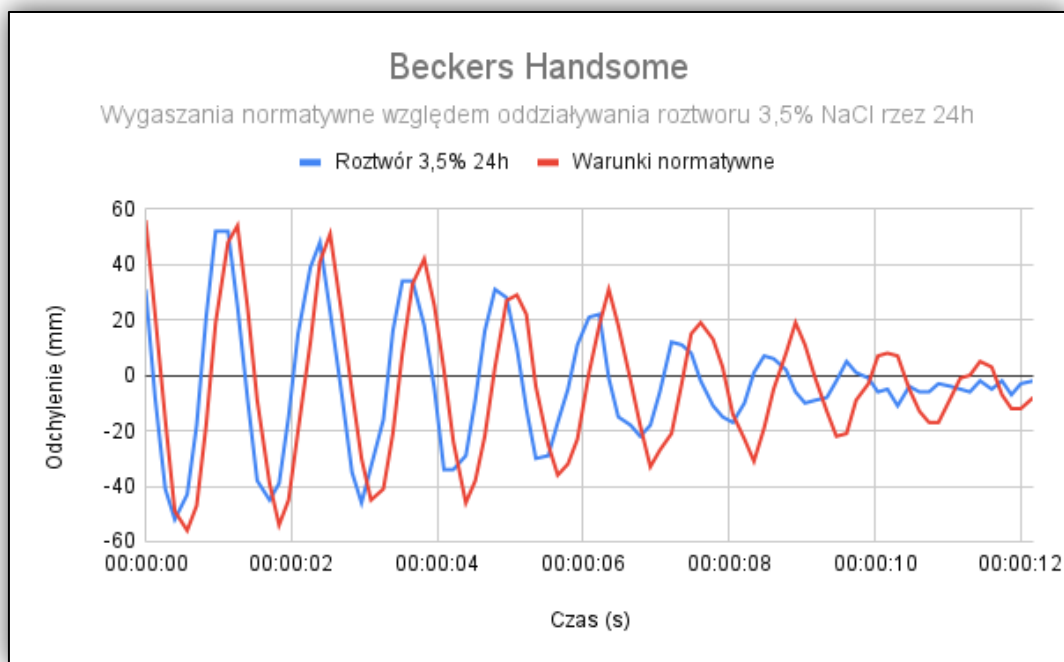
Pierwszą z próbek poddanej badaniu porównawczemu zmienionego otoczenia (po narażeniu próbki na oddziaływanie 3,5 % roztworu NaCl w czasie 24 godzin) w stosunku do otoczenia normatywnego był produkt Voice of Color marki Dekoral (PB1). Na podstawie wykresu można stwierdzić niewielką zmianę twardości powłoki głównie zauważalna w drugiej połowie czasu tłumienia wahadła Königa. Czas tłumienia wahadła uległ nieznacznemu wydłużeniu oraz ilość wahań przy 3,5% roztworze NaCl zwiększyła się (Rysunek 155.).



Rysunek 155. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Dekoral Voice of Color (PB1).

Źródło: opracowanie własne

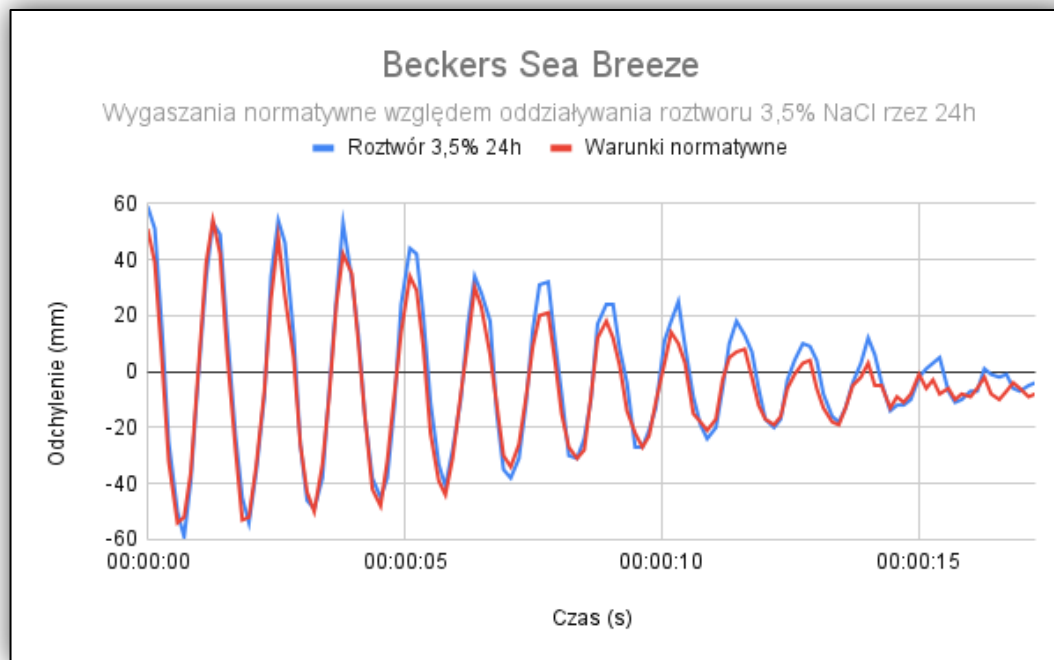
W następnej kolejności wykonano porównanie dla produktu Handsome marki Beckers (PB2). Próbką podczas badania metodą tłumienia wahadła Königa zachowała się niemal identycznie w obu przypadkach - zarówno w otoczeniu normalywnym jak i po poddaniu próbki na oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin. Na podstawie danych z wykresu można stwierdzić, iż twardość powłoki nie uległa znaczącej zmianie (Rysunek 156.).



Rysunek 156. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normatywnego próbki Beckers Handsome (PB2).

Źródło: opracowanie własne

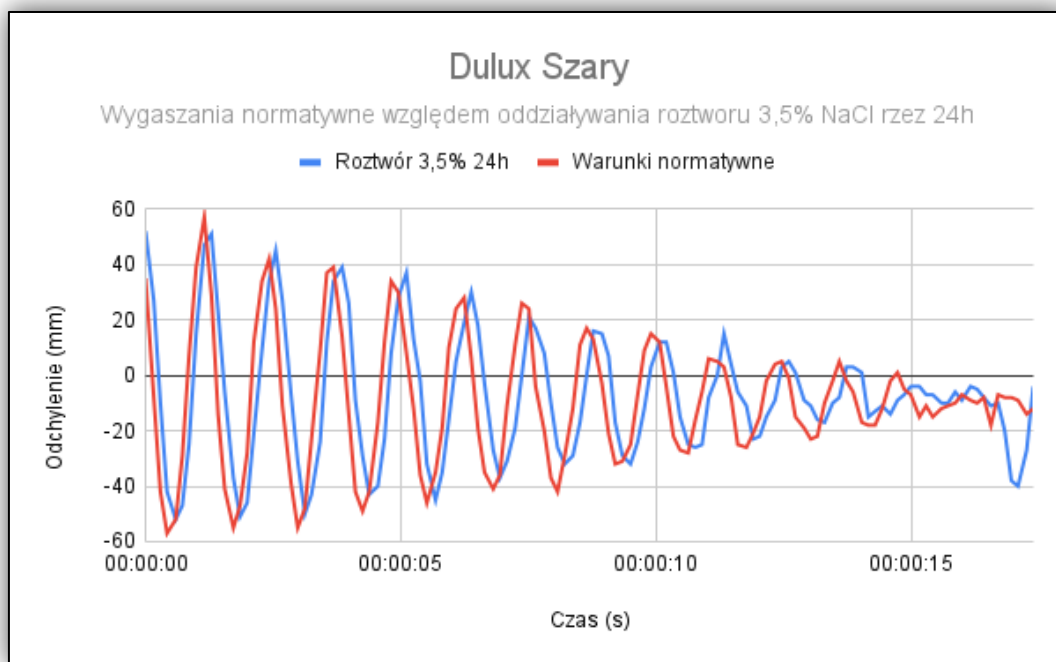
Produkt Sea Breeze marki Beckers (PB3) zachował się podobnie jak próbka poprzednia. Wykres obrazuje niemalże identyczny ruch w obu przypadkach – otoczenia normatywnego jak i otoczenia 3,5% NaCl w czasie 24 godzin. Tak samo w tym przypadku twardość powłoki nie uległa zmianie (Rysunek 157.).



Rysunek 157. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Beckers Sea Breeze (PB3).

Źródło: opracowanie własne

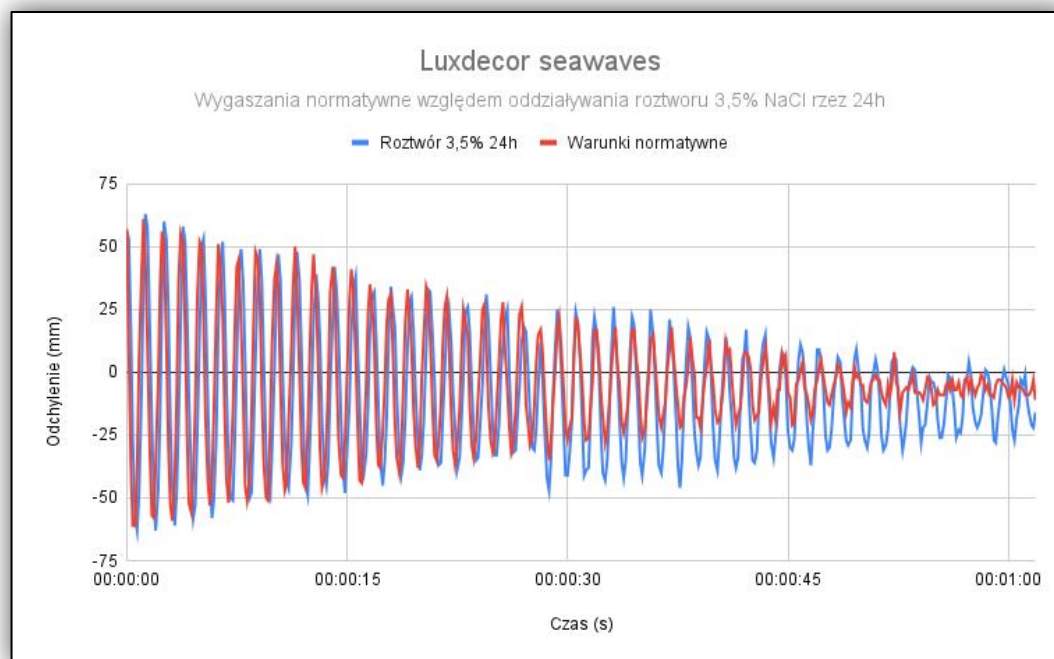
W następnej kolejności zobrazowano ruch wahadła Königa dla produktu Szary marki Dulux (PB4). Jest to kolejna próbka, dla której na wykresie nie zauważa się zmian. Wykres w obu przypadkach niemalże się pokrywa. Próbką pod wpływem tych warunków nie zmieniała twardości swojej powierzchni (Rysunek 158.).



Rysunek 158. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Dulux Szary (PB4).

Źródło: opracowanie własne

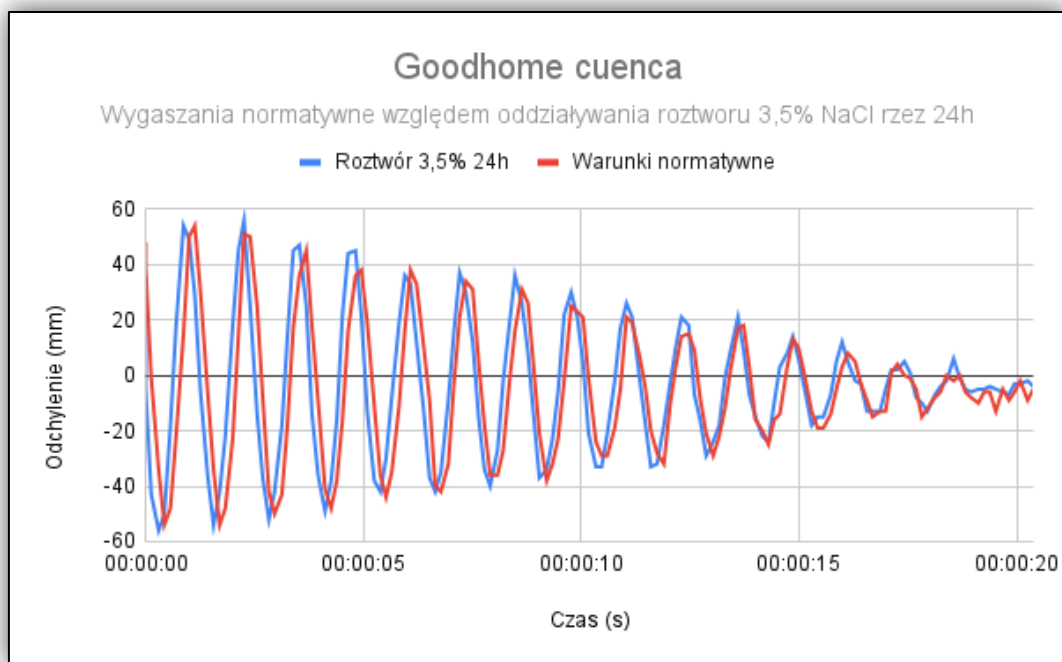
Jedną z próbek dla których widoczna jest zmiana twardości powłoki po poddaniu na oddziaływanie roztworu 3,5% soli w czasie 24 godzin jest produkt seawaves marki Luxdecor (PB5). Analizując wykres można stwierdzić, iż w drugiej połowie ruchu tłumienia wahadła Königa, zwiększeniu uległ czas jak i ilość wykonanych wychyleń. W tym przypadku twardość powłoki wzrosła (Rysunek 159.).



Rysunek 159. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Luxdecor seawaves (PB5).

Źródło: opracowanie własne

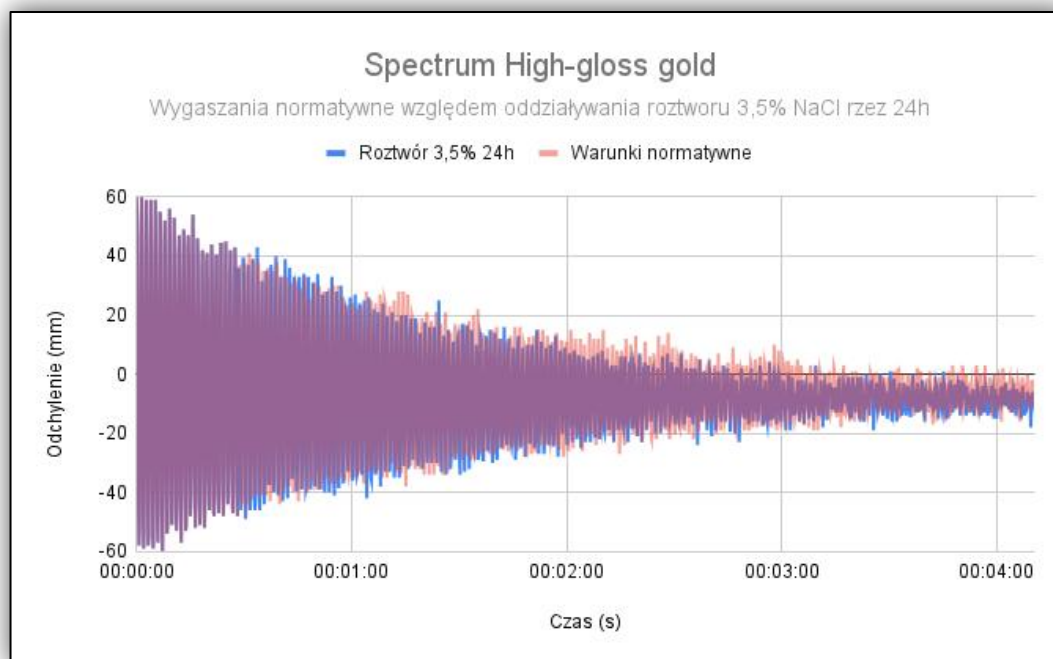
Kolejną próbką poddaną porównaniu jest produkt cuenca marki Goodhome (PB6). Wykresy przedstawiające tłumienie wahadła Königa w otoczeniu normalywnym jak i po poddaniu próbki na 24 godzinne oddziaływanie roztworu 3,5% NaCl nakładają się na siebie. Także w tym przypadku nie zauważono zmiany twardości powłoki (Rysunek 160.).



Rysunek 160. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Goodhome cuenca (PB6).

Źródło: opracowanie własne

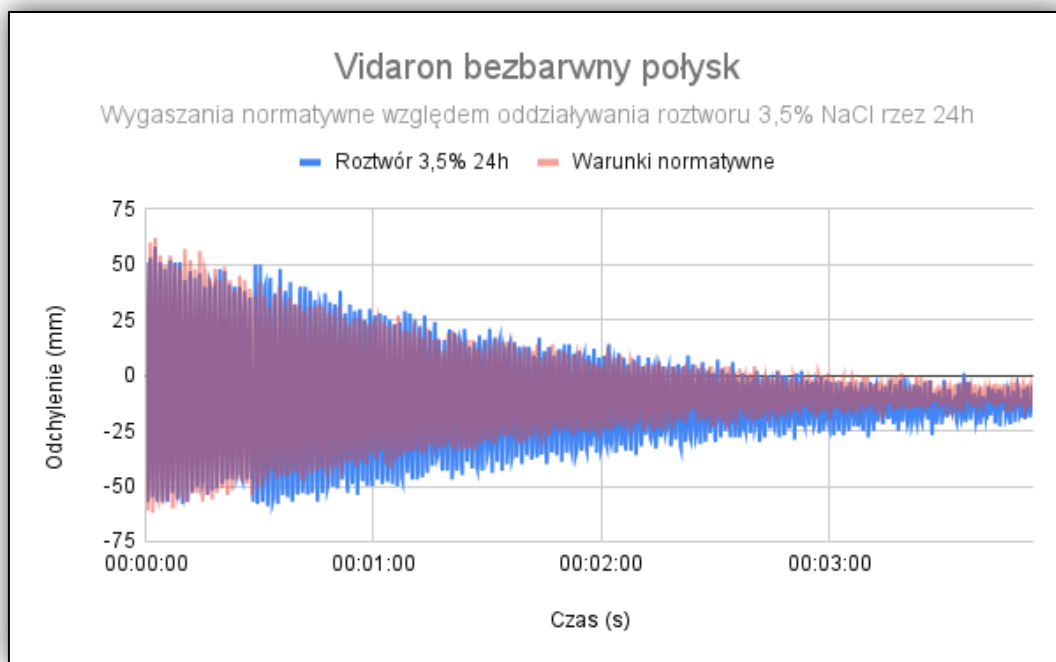
Podobna sytuacja występuje w produkcie High-gloss gold marki Spectrum (PB7). Stwierdzono nałożenie na siebie wykresów wygaszań wahadła Königa w otoczeniu normalywnym jak i po poddaniu próbki na oddziaływanie 3,5% roztworu solnego przez okres 24 godzin. W tym przypadku nie zauważono znaczącej zmiany twardości powłoki lakierniczej (Rysunek 161.).



Rysunek 161. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Spectrum High-gloss gold (PB7).

Źródło: opracowanie własne

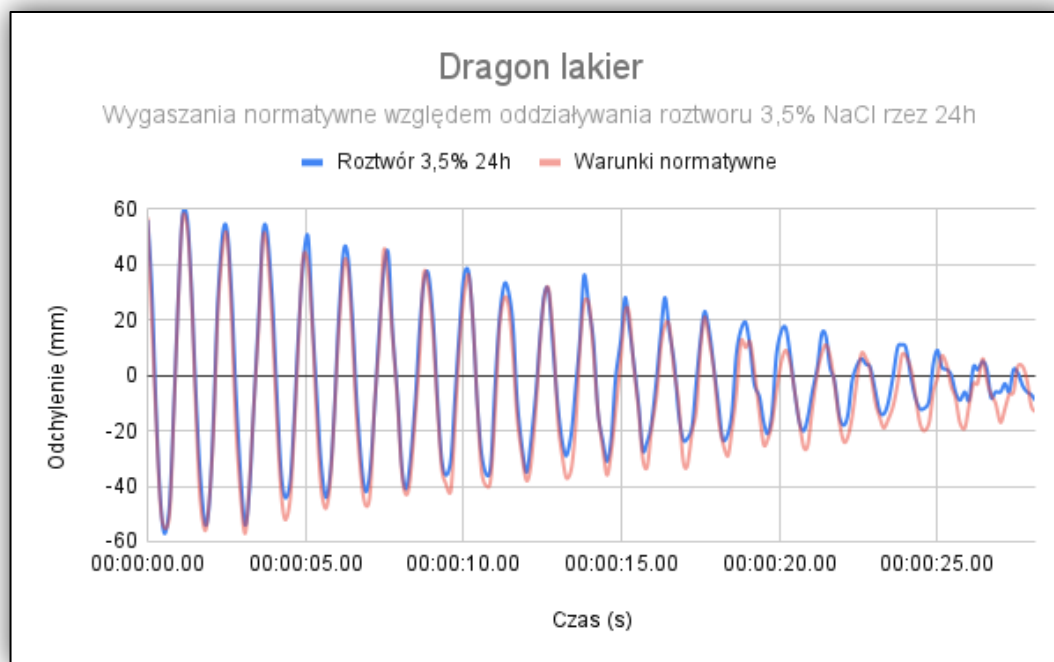
Produkt bezbarwny połysk marki Vidaron (PB8) jest jednym z niewielu dla których zauważono zmianę twardości powłoki lakierniczej po narażeniu na oddziaływanie roztworu 3,5% NaCl w okresie 24 godzin. Na wykresie można zauważyć wydłużenie się czasu tłumienia wahadła Königa jak i zwiększenie się ilości wykonanych ruchów. Twardość powłoki uległa zwiększeniu (Rysunek 162.).



Rysunek 162. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Vidaron bezbarwny połysk (PB8).

Źródło: opracowanie własne

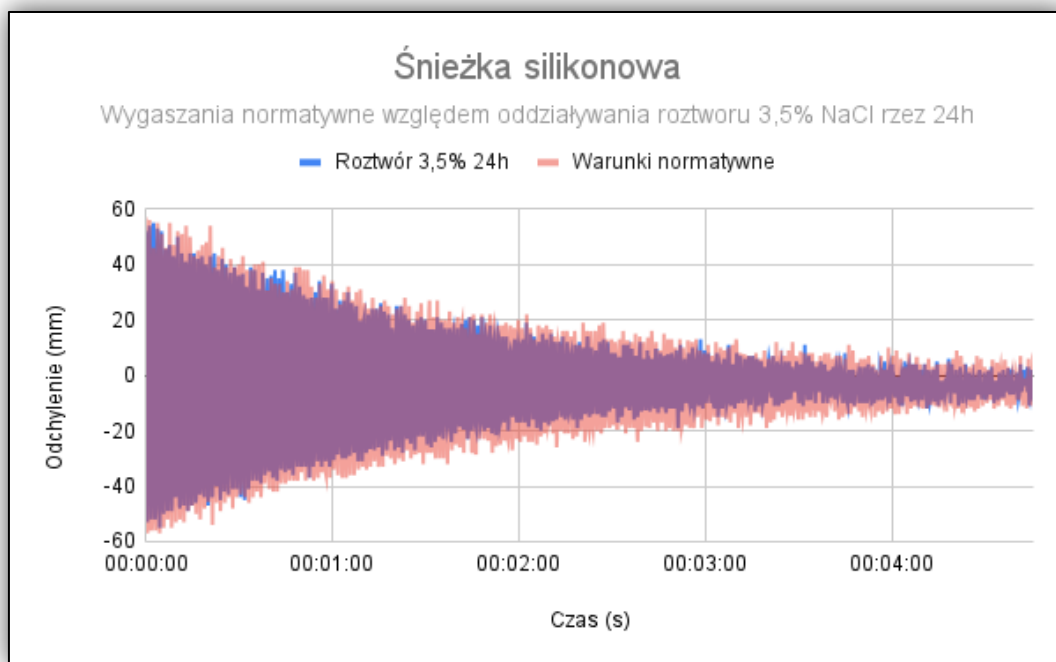
Kolejnym produktem, w którym nie stwierdzono istotnej zmiany twardości po poddanie próbki na oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl w okresie 24 godzin jest produkt lakier marki Dragon (PB9). Wykres w zmiennym otoczeniu niemalże idealnie pokrywa się z wykresem obrazującym ruch wahadła w otoczeniu normalywnym (Rysunek 163.).



Rysunek 163. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Dragon lakier (PB9).

Źródło: opracowanie własne

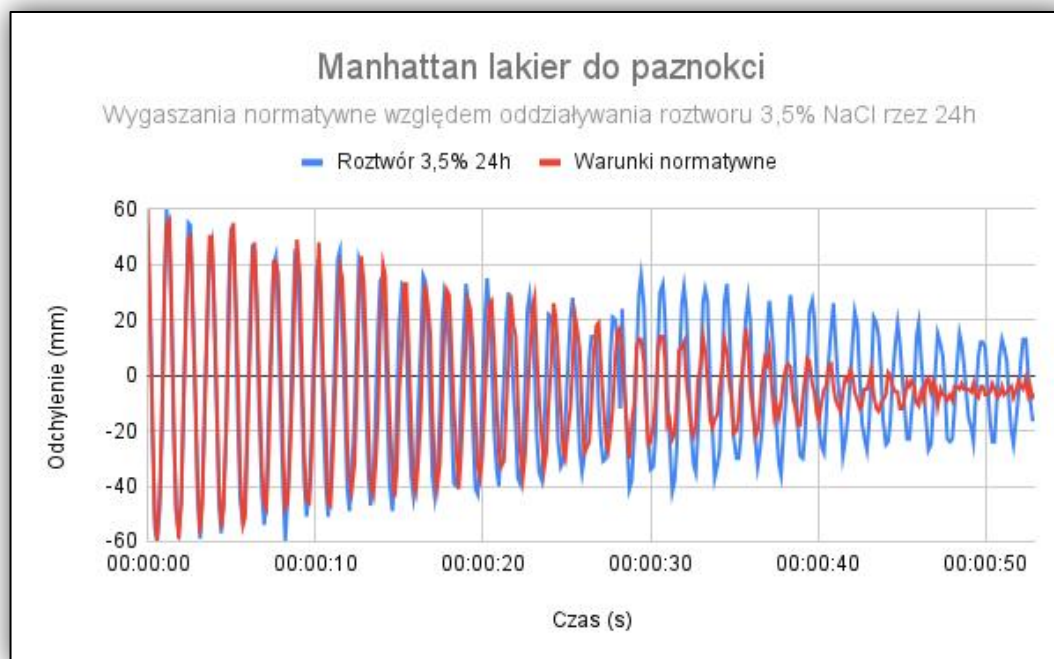
Analogiczne sytuacja ma miejsce przy wygaszaniu wahadła dla produktu silikonowa marki Śnieżka (PB10). Zarówno wykres ruchu wahadła Königa w otoczeniu normalywnym jak i po poddaniu na oddziaływanie roztworu 3,5% soli w okresie 24 godzin nie wykazują większych, istotnych zmian. Twardość powłoki nie uległa zmianie (Rysunek 164.).



Rysunek 164. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normatywnego próbki Śnieżka silikonowa (PB10).

Źródło: opracowanie własne

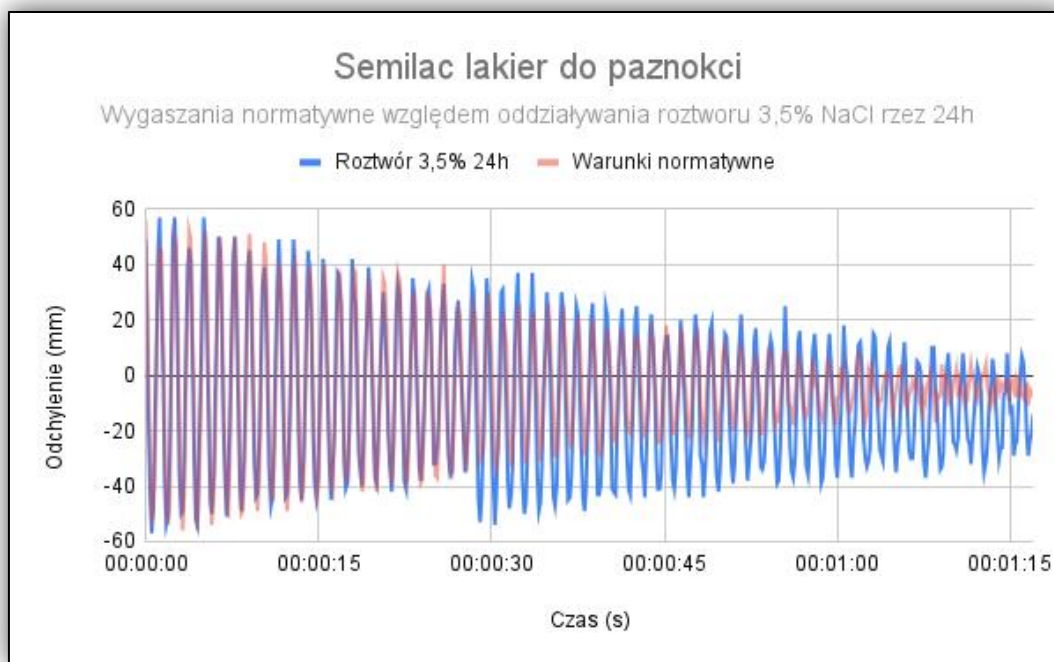
Podczas porównania wykresów tłumienia wahadła Königa dla produktu lakier do paznokci marki Manhattan (PB11), w otoczeniu normatywnym jak i po poddaniu próbki na oddziaływanie roztworu 3,5% NaCl w okresie 24 godzin stwierdzono wzrost twardości głównie na podstawie wydłużenia się czasu tłumienia jak i zwiększeniu ilości wahań wahadła (Rysunek 165.).



Rysunek 165. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po narażeniu na otoczenie roztworu 3,5% NaCl w okresie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego dla próbki Manhattan lakier do paznokci (PB11).

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim produktem poddanym porównaniu jest lakier do paznokci marki Semilac (PB12). W tym przypadku podobnie jak przy produkcie marki Manhattan, można zauważyć zmianę ilości wahań wahadła Königa jak i czasu jego tłumienia głównie w drugiej połowie ruchu. Twardość powłoki w tym przypadku wzrosła (Rysunek 166.).



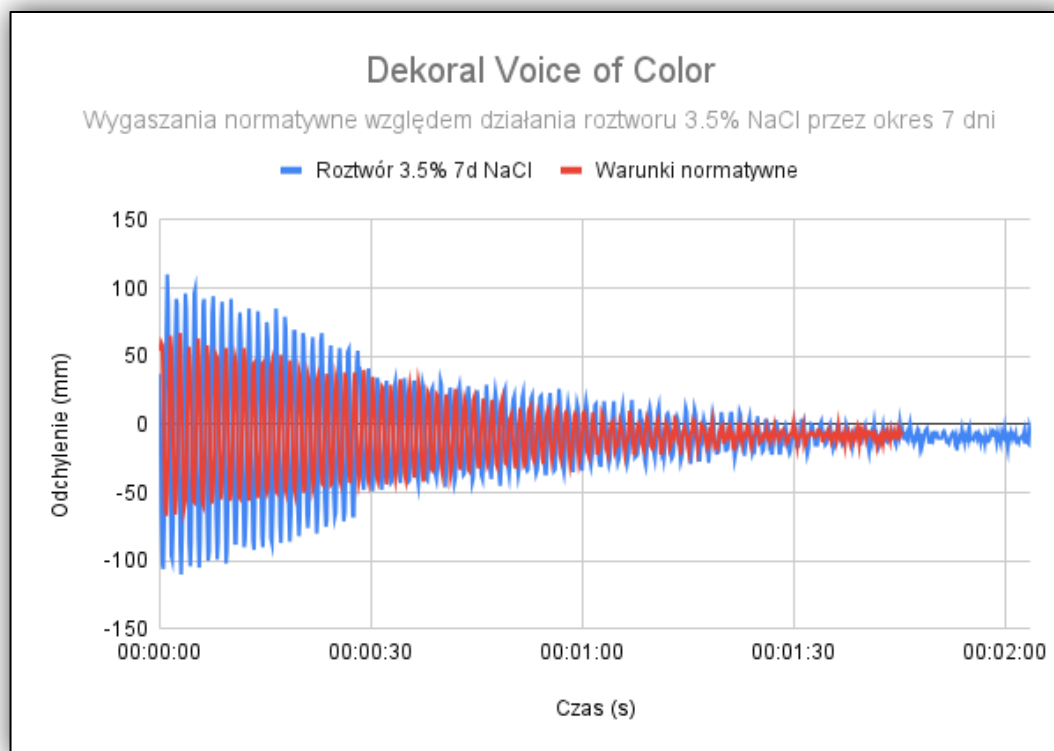
Rysunek 166. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Semilac lakier do paznokci (PB12).

Źródło: opracowanie własne

2.8.5. Wyniki badań twardości powłok narażonych na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168 godzin

Następnie przeprowadzono analizę wykresów porównawczych ilości wychyleń wahadła Königa oraz czasu tłumienia w otoczeniu normalywnym jak i przy poddaniu próbki na oddziaływanie otoczenia 3,5% roztworu NaCl przez okres 168 godzin. Zestawienia wszystkich wykresów porównawczych wraz z opisami przedstawiono na poniższych rysunkach.

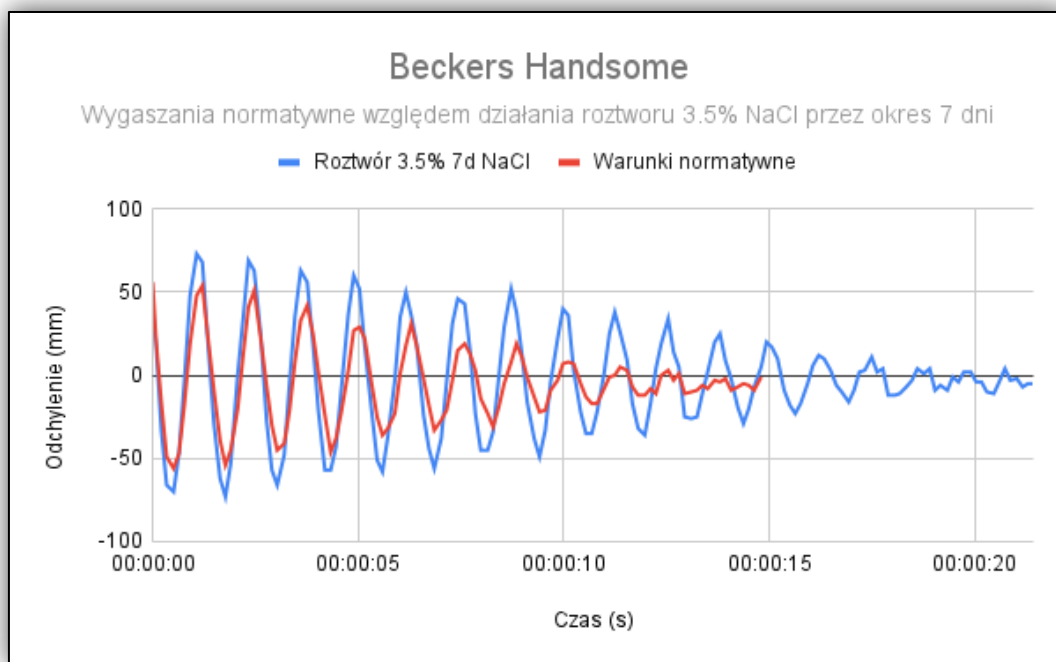
Pierwszą próbką poddaną analizie porównawczej wykresów tłumienia wahadła Königa w otoczeniu normalywnym względem otoczenia o podwyższonym zasoleniu 3,5% NaCl w czasie 168 godzin był produkt Voice of color marki Dekoral (PB1). Podobnie jak w przypadku oddziaływania roztworu soli przez okres 24 godzin wykresy pokrywają się - oddziaływanie roztworu 3,5% NaCl przez okres 168 godzin nie wpłynęło na twardości próbki (Rysunek 167.).



Rysunek 167. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Dekoral Voice of color (PB1).

Źródło: opracowanie własne

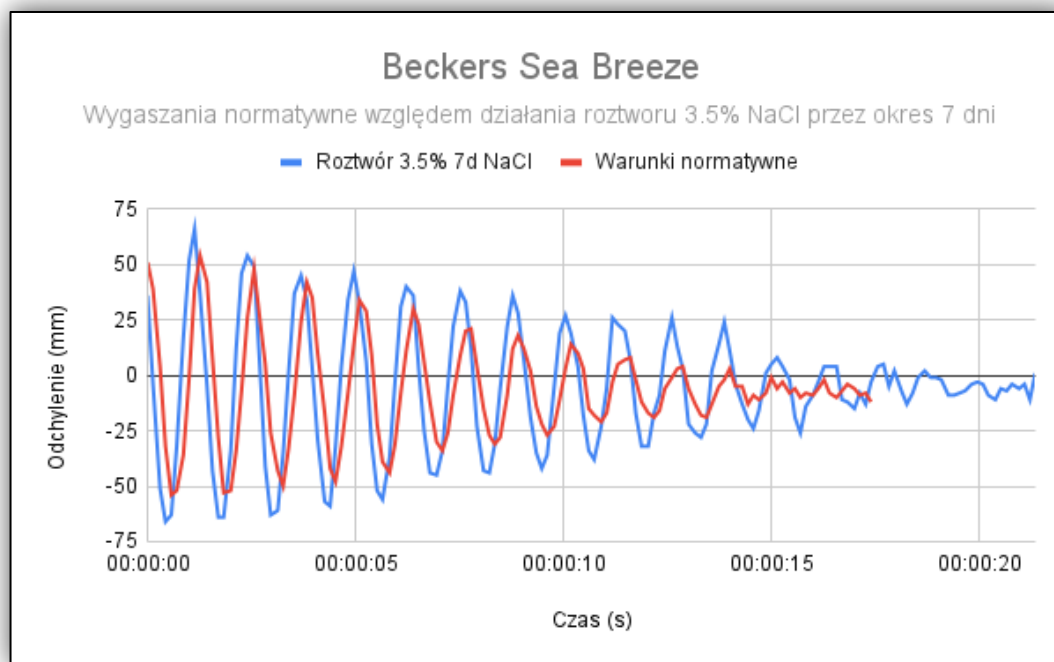
Kolejnym z produktów który został poddany analizie porównawczej uwidocznionej na wykresie jest produkt Handsome marki Beckers (PB2). W tym przypadku można zauważyć zwiększenie twardości powłoki po poddaniu produktu na oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl przez okres 168 godzin a zatem ilość wahań oraz czas tłumienia wahadła Königa uległy zwiększeniu (Rysunek 168.).



Rysunek 168. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normatywnego próbki Beckers Handsome (PB2).

Źródło: opracowanie własne

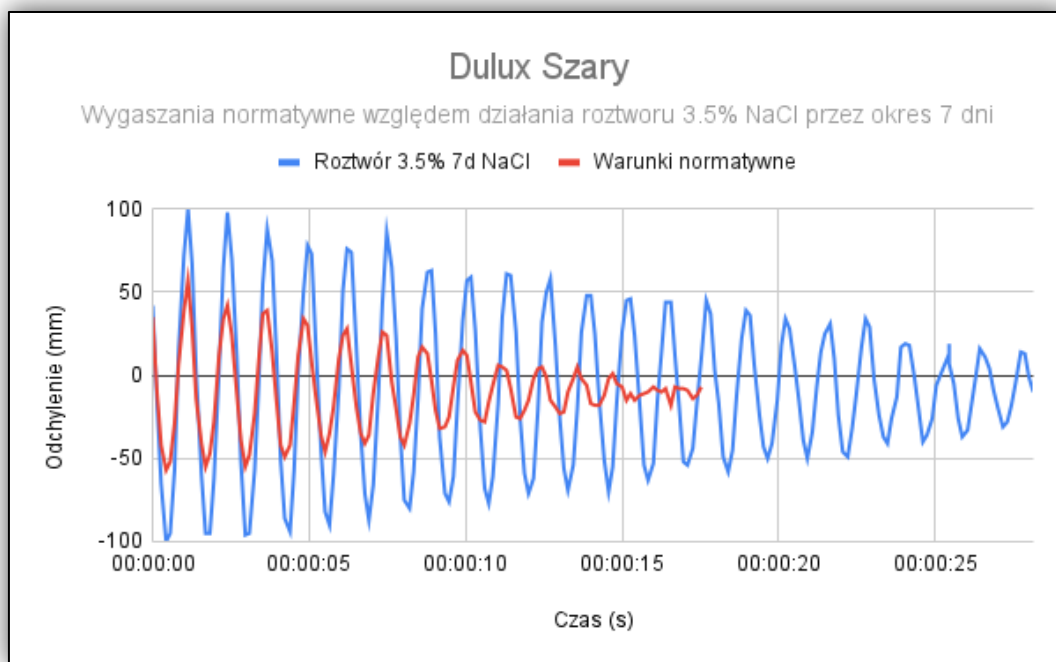
Produkt Sea Breeze marki Beckers (PB3) zwiększył swoją twardość po poddaniu na oddziaływanie otoczenia o podwyższonym zasoleniu do poziomu 3,5% zawartości NaCl w okresie 168 godzin. Występująca w tym przypadku zmiana twardości nie jest wysoka względem otoczenia normatywnego (Rysunek 169.).



Rysunek 169. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Beckers Sea Breeze (PB3).

Źródło: opracowanie własne

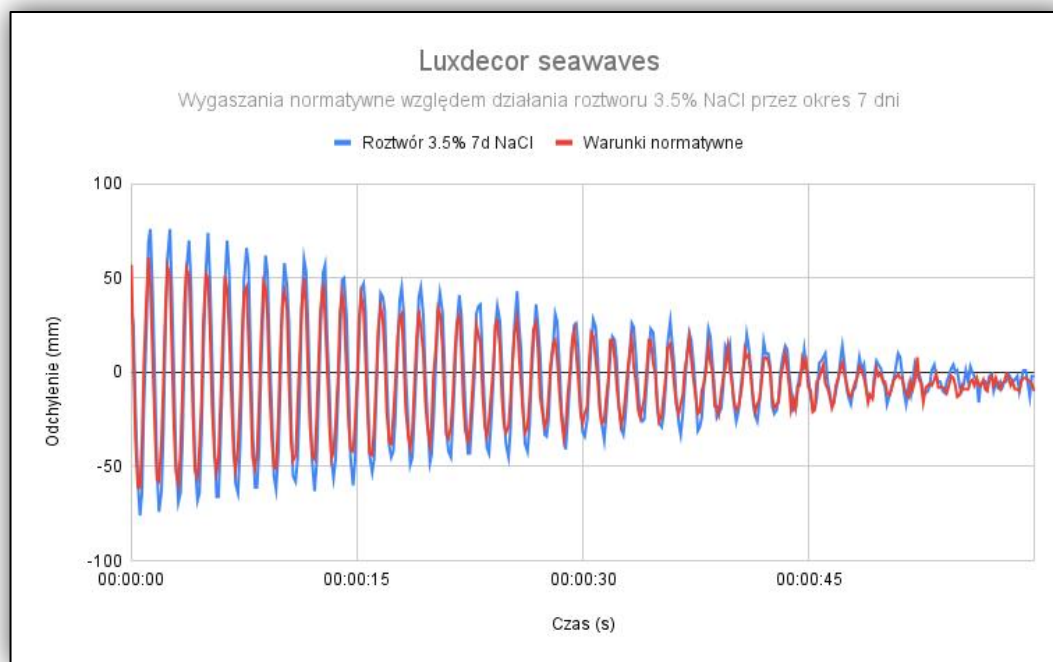
W następnej kolejności oceniono stopień zmian dla produktu Szary marki Dulux (PB4) występujący po poddaniu próbki na oddziaływanie roztworu o stężeniu 3,5% NaCl przez okres 168 godzin. W tym przypadku można zauważyć znaczącą zmianę (wzrost) twardości poprzez zwiększenie ilości wahnięć tłumienia wahadła Königa oraz wydłużenie czasu jego ruchu (Rysunek 170.).



Rysunek 170. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Dulux Szary (PB4).

Źródło: opracowanie własne

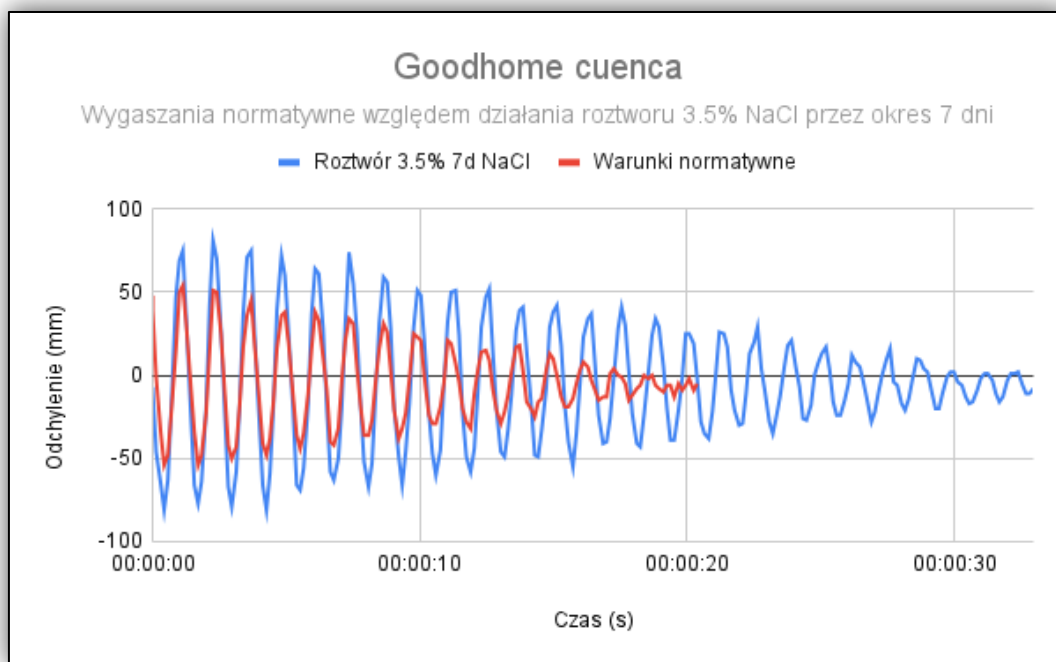
Produkt seawaves marki Luxdecor (PB5) nie wykazał zmian twardości względem otoczenia normalywnego po poddaniu na oddziaływanie roztworu solnego o stężeniu 3,5%. W tym przypadku można zauważyć niemalże całkowite pokrycie się wykresów z obu otoczeń próbki (Rysunek 171.).



Rysunek 171. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Luxdecor seawaves (PB5).

Źródło: opracowanie własne

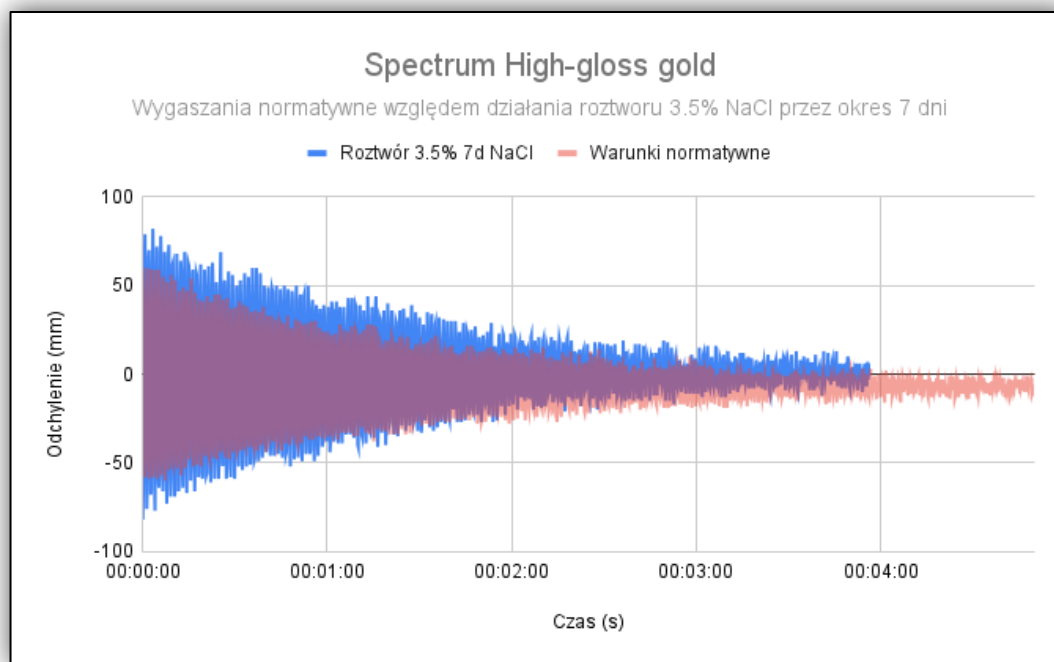
W następnej kolejności metodzie porównawczej został poddany produkt cuenca marki Goodhome (PB6). W tym przypadku zauważono wzrost twardości powłoki w otoczeniu podwyższonego zasolenia względem otoczenia normalatywnego. Ilość wykonanych ruchów wahadła Königa podczas tłumienia wzrosła i czas tłumienia wydłużył się (Rysunek 172.).



Rysunek 172. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Goodhome cuenca (PB6).

Źródło: opracowanie własne

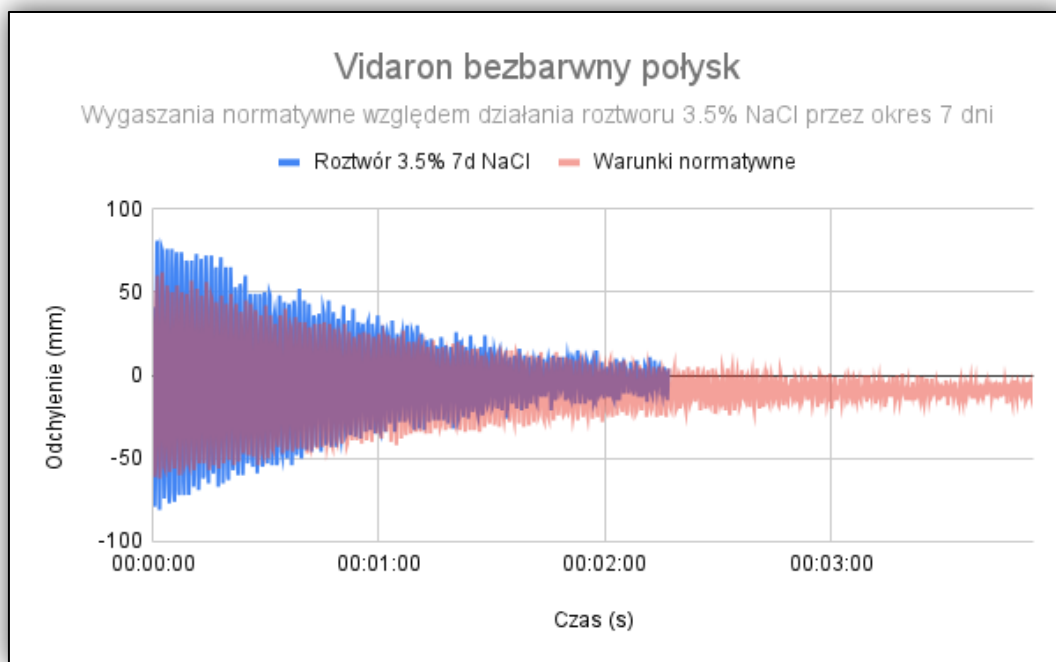
W przypadku produktu High-gloss gold marki Spectrum (PB7) zauważono niewielkie przesunięcie wykresu. Ogólny czas oraz ilość wahań wahadła Königa nie uległa zmianie – wartości te były bardzo zbliżone zarówno w otoczeniu normalatywnym jak i o podwyższonym zasoleniu do wartości 3,5% w okresie 168 godzin. Twardość powłoki nie uległa znaczącej zmianie (Rysunek 173.).



Rysunek 173. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Spectrum High-gloss gold (PB7).

Źródło: opracowanie własne

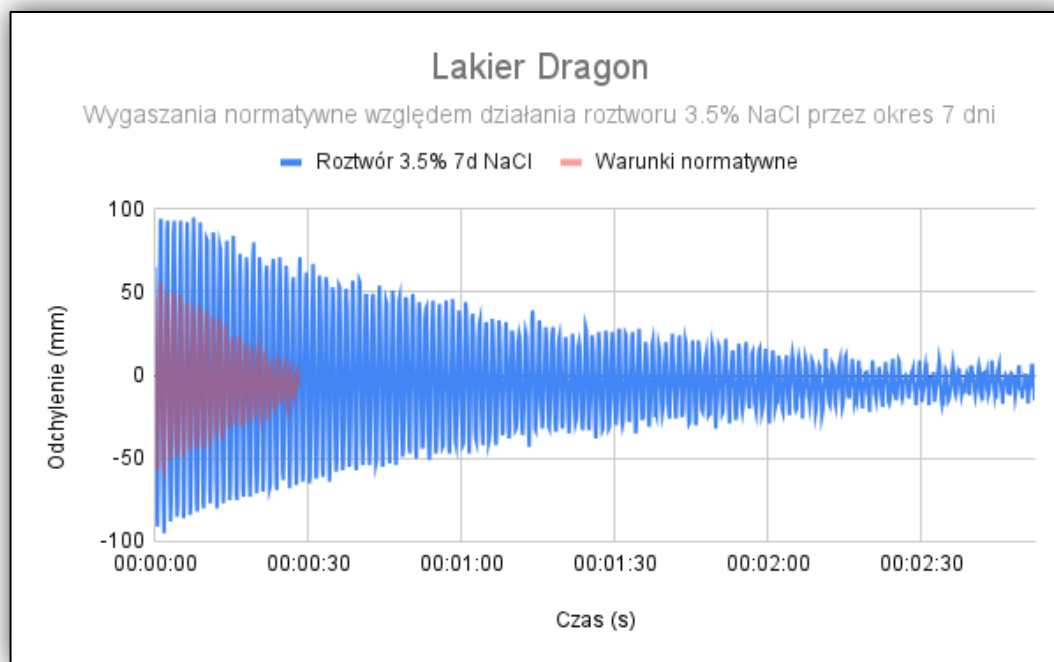
Następnym produktem poddanym ocenie porównawczej tłumienia wahadła w otoczeniu normalywnym względem otoczenia roztworu solnego o stężeniu 3,5% przez okres 168 godzin jest także bezbarwny połysk marki Vidaron (PB8). W tym przypadku wyniki posiadają podobne przesunięcie wykresu jak miało to miejsce w poprzedniej próbie, lecz znaczący jest w tym przypadku o wiele krótszy czas tłumienia wahadła Königa. Twardość powłoki w opisywanym przypadku wzrosła (Rysunek 174.).



Rysunek 174. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normatywnego próbki Vidaron bezbarwny połysk (PB8).

Źródło: opracowanie własne

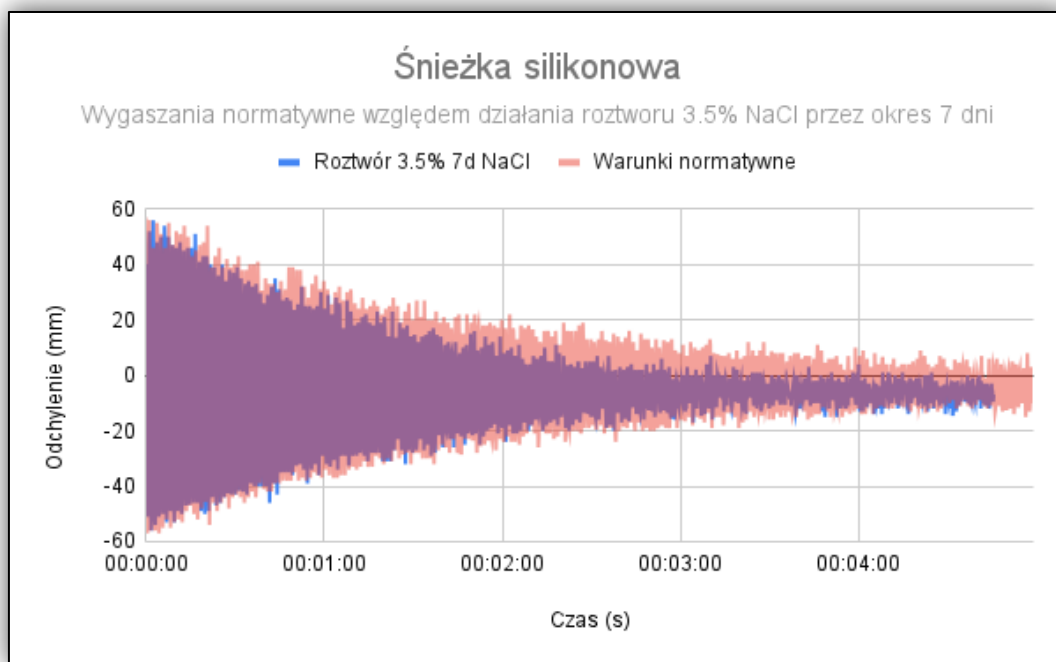
Drastyczny wzrost twardości powłoki po narażeniu na otoczenia 3,5% roztworu NaCl w okresie 168 godzin zaobserwowano dla próbki Lakier Dragon (PB9). W tym przypadku zarówno czas tłumienia wahadła Königa jak i ilość wykonanych ruchów zwiększyła się ponad pięciokrotnie (Rysunek 175.).



Rysunek 175. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Lakier Dragon (PB9).

Źródło: opracowanie własne

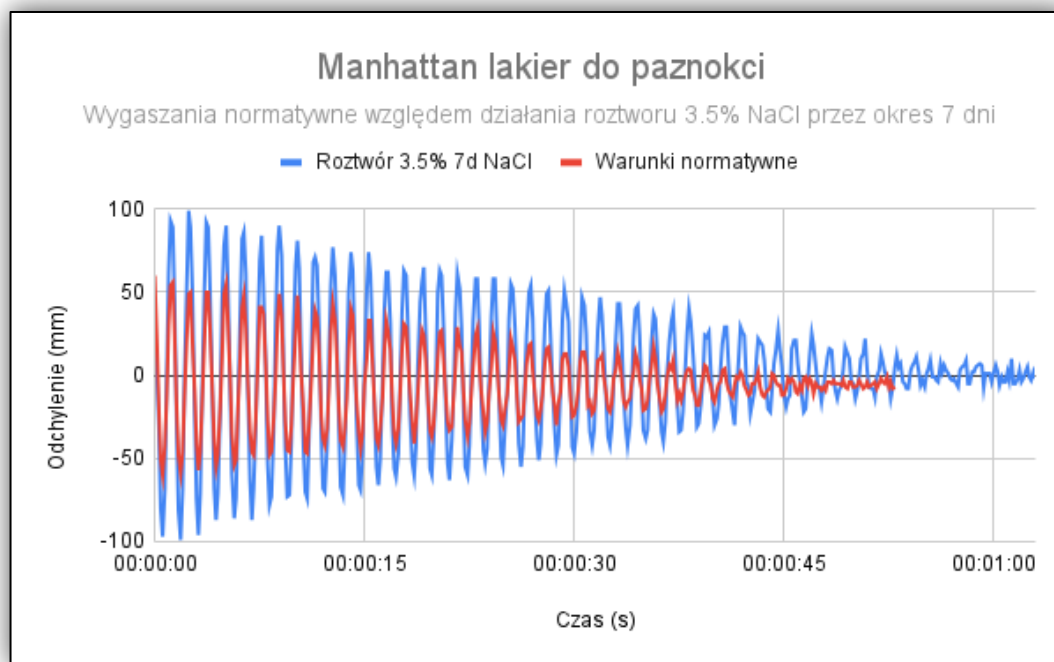
Produkt silikonowa marki Śnieżka (PB10) wykazał brak zmian twardości powłoki przy otoczeniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin względem otoczenia normalatywnego. Wykresy obu przypadków nachodzą na siebie ukazując podobieństwo zachowania powłoki (Rysunek 176.).



Rysunek 176. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normatywnego próbki Śnieżka silikonowa (PB10).

Źródło: opracowanie własne

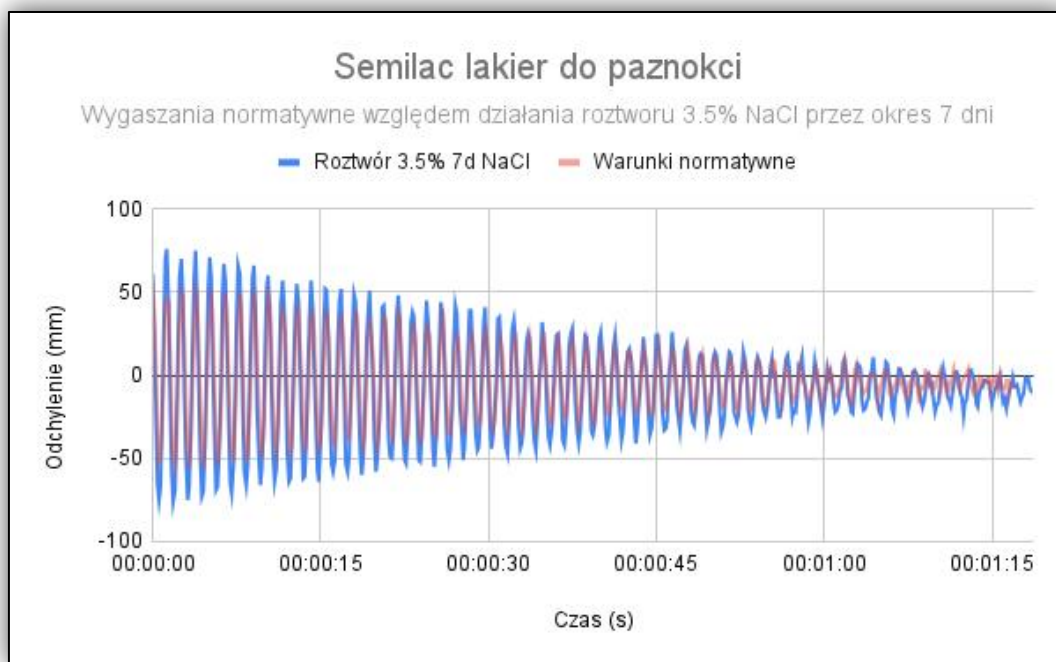
W przypadku lakieru do paznokci marki Manhattan (PB11) można zauważyć nieznaczny wzrost twardości powłoki po narażeniu na otoczenia 3,5% roztworu soli przez okres 168 godzin. Zmiana ta widoczna jest zarówno w czasie tłumienia wahadła jak i w ilości wykonanych ruchów przez wahadło Königa (Rysunek 177.).



Rysunek 177. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Manhattan lakier do paznokci (PB11).

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim produktem poddanym porównaniu tłumienia wahadła w otoczeniu normalywnym oraz otoczeniu o podwyższonym zasoleniu do stężenia 3,5% w czasie 168 godzin był lakier do paznokci marki Semilac (PB12). W tym przypadku zarówno czas tłumienia jak i ilość wykonanych ruchów przez wahadło Königa nie zmieniła się – twardość powłoki w obu przypadkach jest niemalże identyczna (Rysunek 178.).



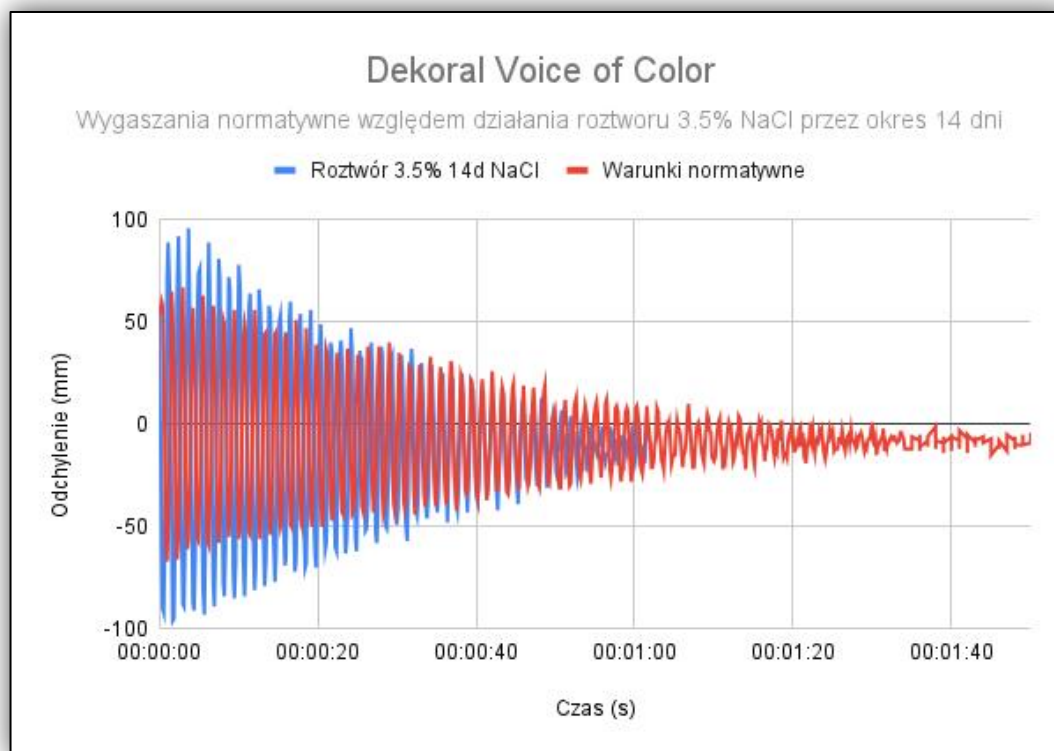
Rysunek 178. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Semilac lakier do paznokci (PB12.).

Źródło: opracowanie własne

2.8.6. Wyniki badań twardości powłok narażonych na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 336 godzin

Zwiększenie czasu oddziaływania 3,5% roztworu NaCl może okazać się pomocne przy określaniu zależności intensywności zmian powłok względem zmiany czasu oddziaływania. Następujące badania zostały opracowane w celu sprawdzenia tej tezy. Poniższe wyniki obrazują wykresy porównawcze wygaszeń wahadła po oddziaływaniu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin w stosunku do otoczenia normalatywnego.

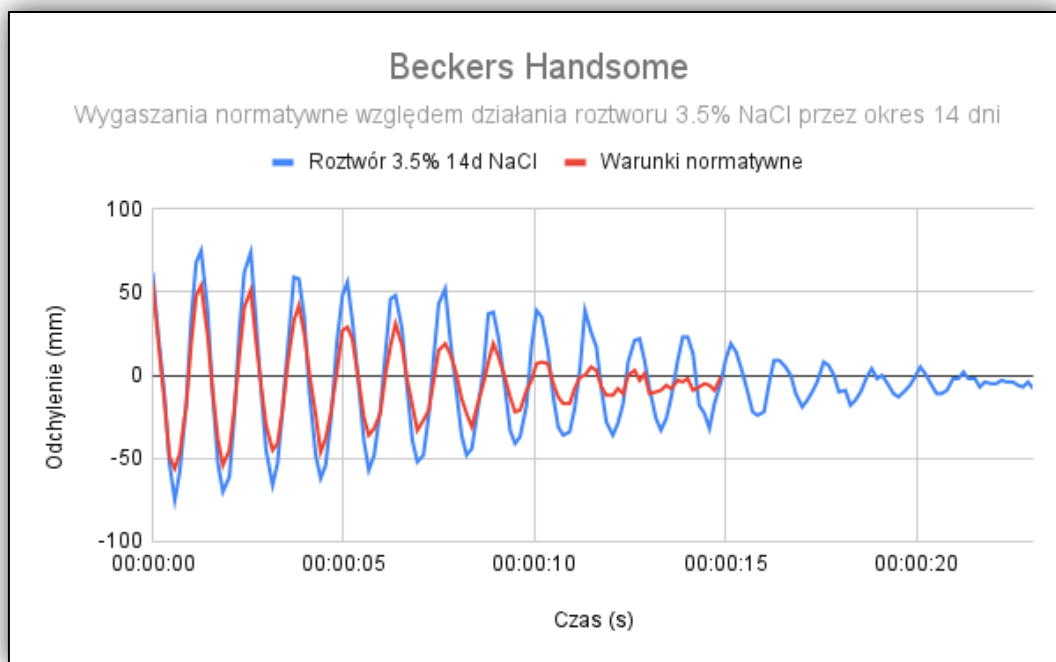
Pierwsza powłoka poddana porównaniu w przypadku narażenia na oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl przez okres 336 godzin jest produkt Voice of Color marki Dekoral (PB1). Przy tej próbce można zauważyć istotną zmianę twardości powłoki. Twardość powłoki uległa osłabieniu - produkt stał się miększy (Rysunek 179.).



Rysunek 179. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Dekoral Voice of Color (PB1).

Źródło: opracowanie własne

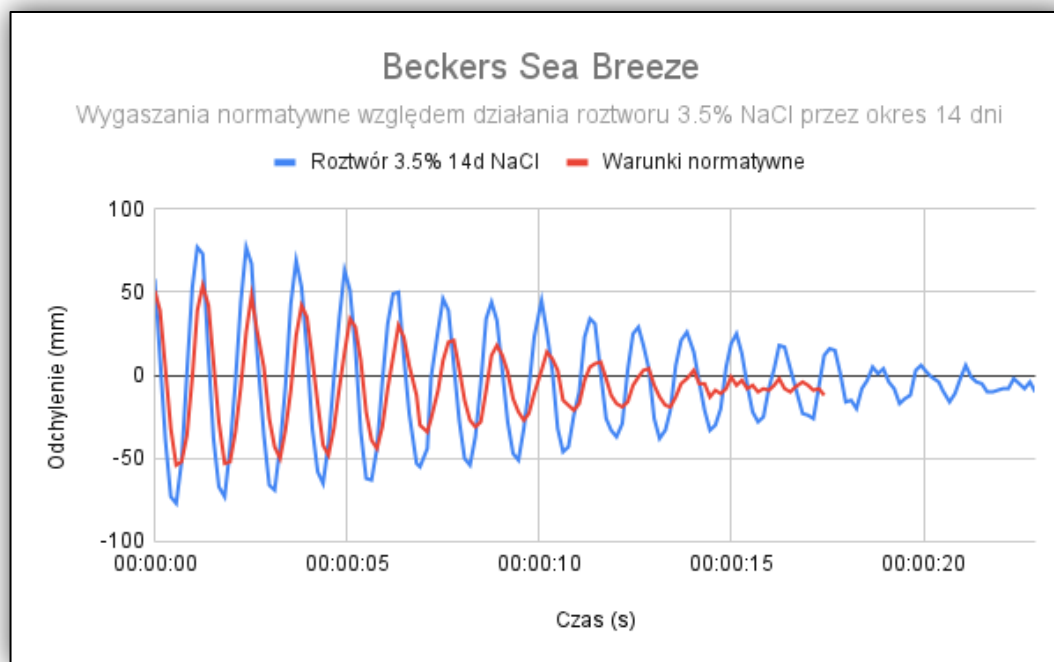
Następnym produktem w porównaniu zachowania twardości próbki w otoczeniu normalywnym względem otoczenia o podwyższonym zasoleniu do poziomu 3,5% w czasie 336 godzin był produkt Handsome marki Beckers (PB2). W tym przypadku wykresy tłumienia obrazują wzrost twardości powłoki poprzez wydłużenie czasu tłumienia oraz ilości wahań wahadła Königa (Rysunek 180.).



Rysunek 180. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Beckers Handsome (PB2).

Źródło: opracowanie własne

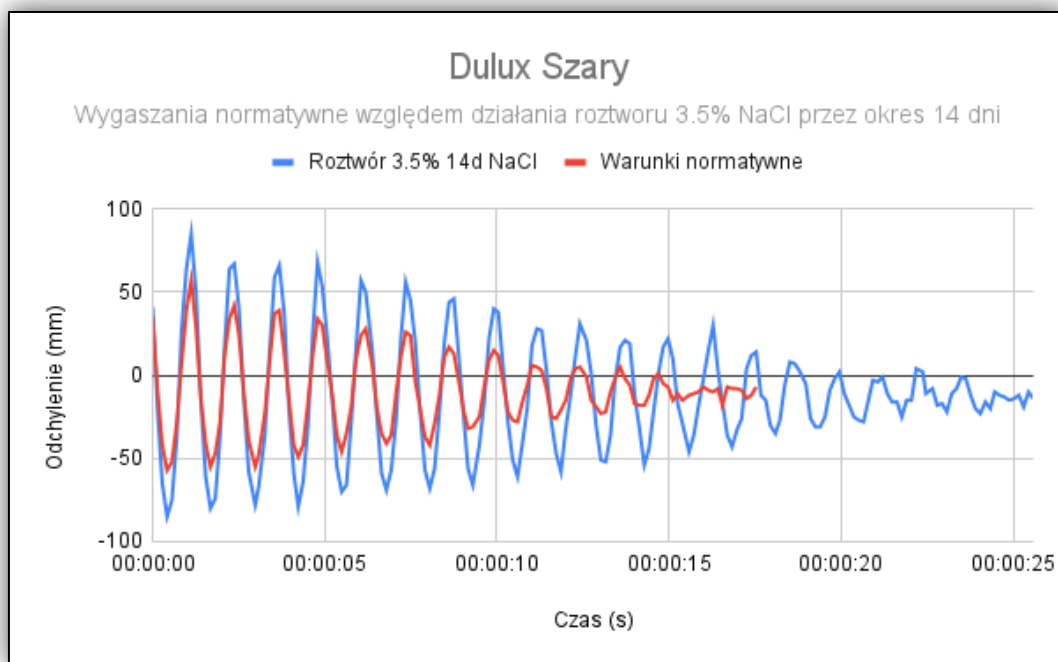
Trzecim z kolei produktem poddanym porównaniu była farba Sea Breeze marki Beckers (PB3). Próbka ta wykazała niewielki wzrost twardości po narażeniu na otoczenie 3,5% roztworu NaCl przez okres 336 godzin w porównaniu do otoczenia normalatywnego. Tak samo w tym przypadku zwiększył się czas tłumienia jak i ilość wykonanych ruchów wahadła Königa co oznacza utwardzenie powłoki (Rysunek 181.).



Rysunek 181. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Beckers Sea Breeze (PB3).

Źródło: opracowanie własne

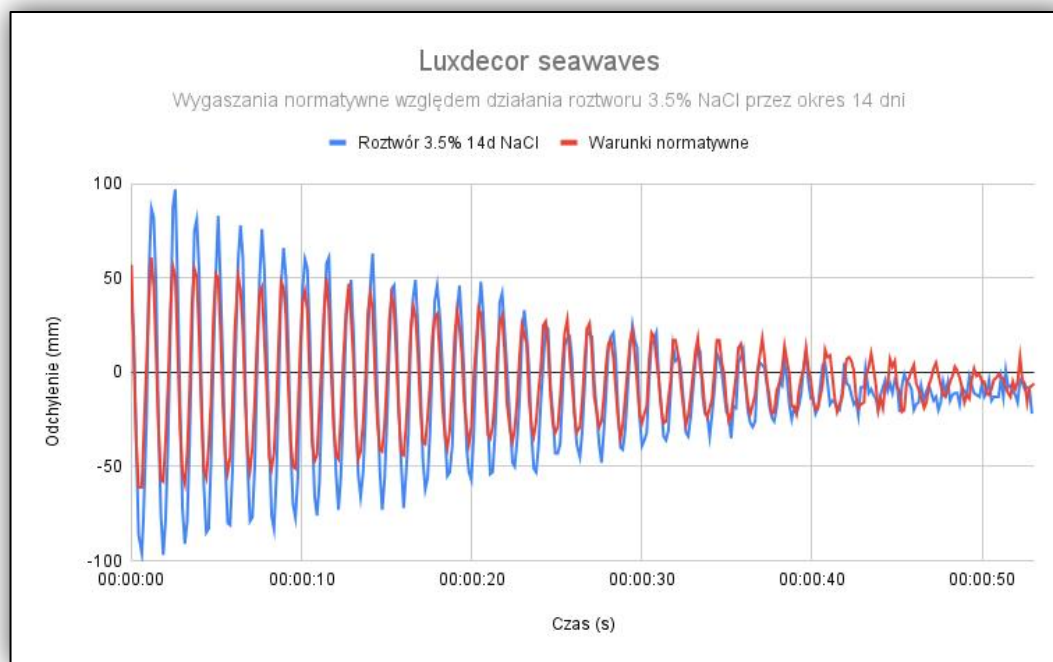
Następnym produktem poddanym porównaniu twardości powłoki w roztworze solnym 3,5% przez okres 336 godzin w stosunku do otoczenia normalatywnego jest powłoka Szary marki Dulux (PB4). W tym przypadku także zauważono wzrost twardości poprzez zwiększenie się ilości wahań wahadła Königa oraz wydłużenia się czasu tłumienia (Rysunek 182.).



Rysunek 182. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normatywnego próbki Dulux Szary (PB4).

Źródło: opracowanie własne

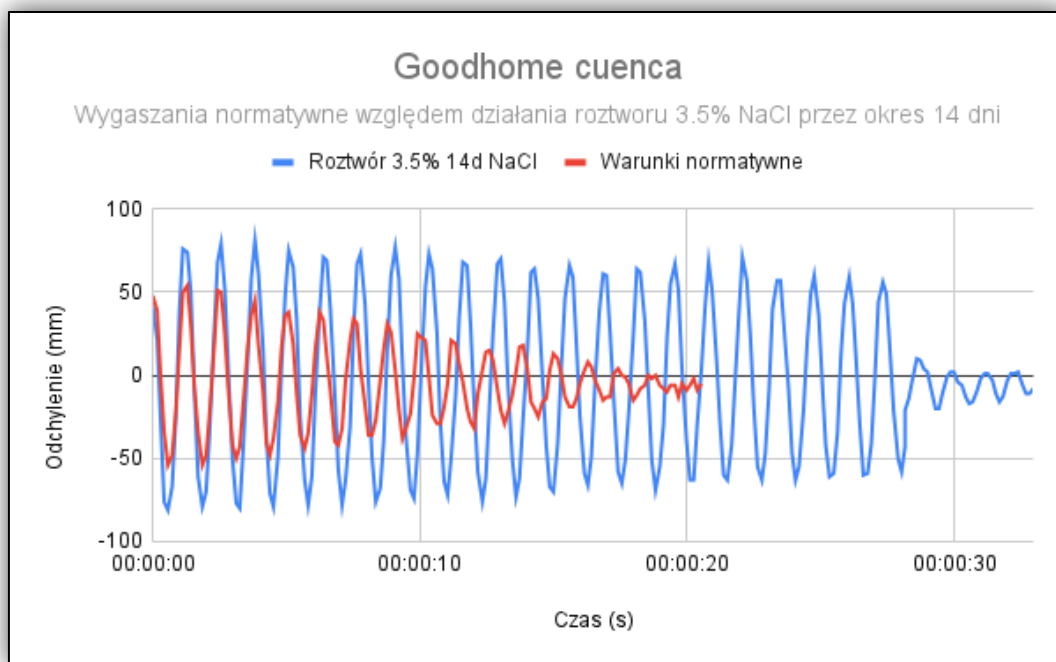
W następnej kolejności przeprowadzono porównanie zachowania powłoki produkt Seawaves marki Luxdecor (PB5) po poddaniu na oddziaływanie roztworu solnego o stężeniu 3,5% w czasie 336 godzin. W tym przypadku zaobserwowano brak zmiany twardości powłoki niezależnie od otoczenia (Rysunek 183.).



Rysunek 183. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Luxdecor Seawaves (PB5).

Źródło: opracowanie własne

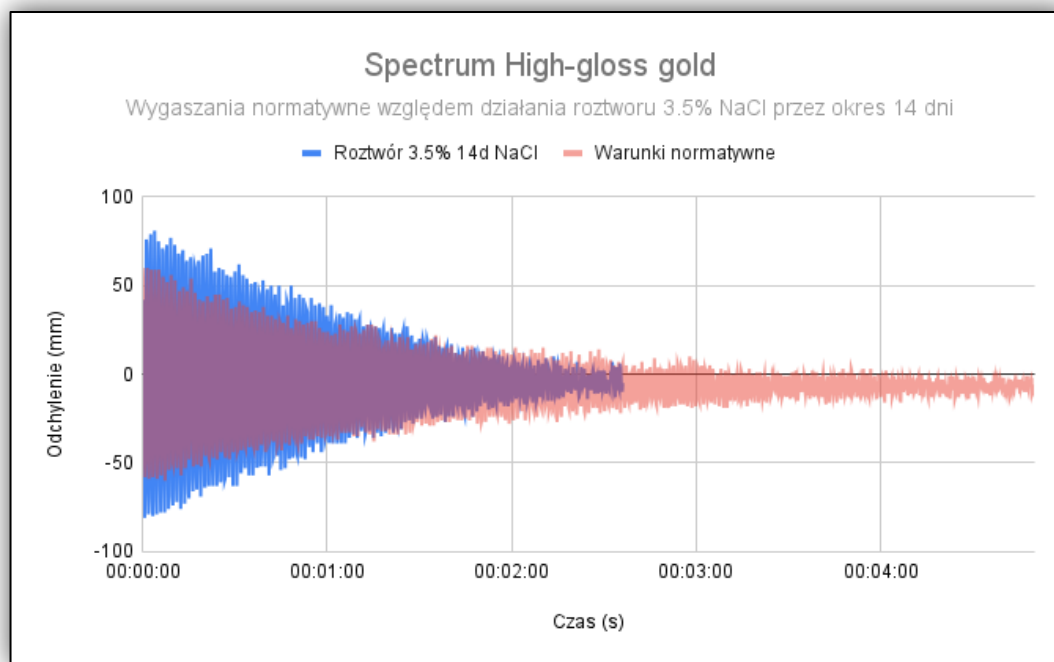
Produkt cuenca marki Goodhome (PB6) także został poddaniu porównaniu. Przy narażeniu na otoczenie podwyższonego zasolenia do poziomu 3,5% w czasie 336 godzin. Powłoka uległa utwardzeniu - twardość powierzchni zwiększyła się w porównaniu do otoczenia normalywnego (Rysunek 184.).



Rysunek 184. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Goodhome cuenca (PB6).

Źródło: opracowanie własne

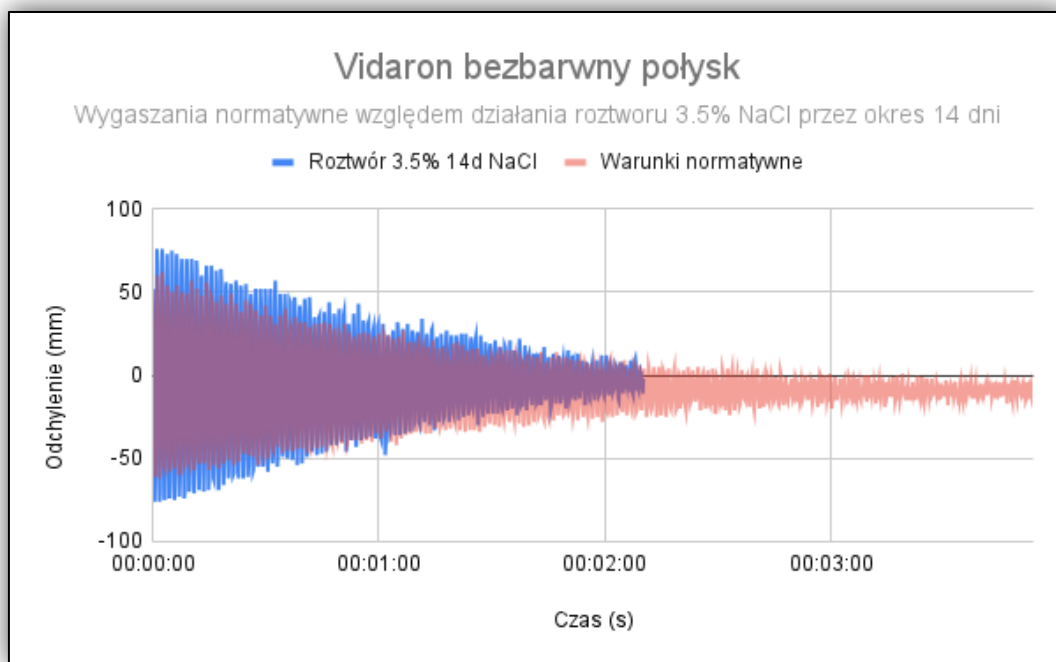
W następnej kolejności przyrównano wykres tłumienia wahadła dla produktu High-gloss gold (PB7). Wykres w otoczeniu o podwyższonym zasoleniu do poziomu 3,5% w okresie 336 godzin obrazuje obniżenie twardości powłoki - powłoka uległa zmiękczeniu w stosunku do otoczenia normalatywnego. Wahadło Königa wykonało o wiele mniej wahań wahadła w stosunkowo krótszym czasie (Rysunek 185.).



Rysunek 185. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Spectrum High-gloss gold (PB7).

Źródło: opracowanie własne

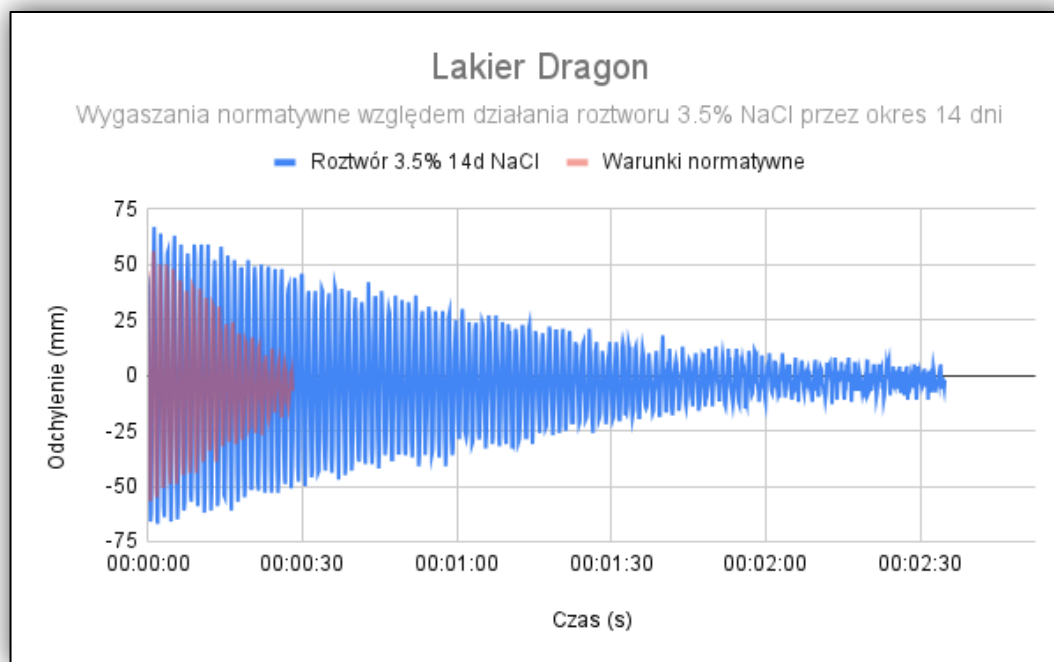
W przypadku produktu bezbarwny połysk marki Vidaron (PB8) zauważono znaczący spadek twardości powłoki. Otoczenie zasolenia 3,5% NaCl w czasie 336 godzin spowolniło ruch wahadła Königa na powłoce oraz skróciło czas tłumienia względem otoczenia normalywnego. Powłoka uległa zmiękczeniu (Rysunek 186.).



Rysunek 186. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Vidaron bezbarwny połysk (PB8).

Źródło: opracowanie własne

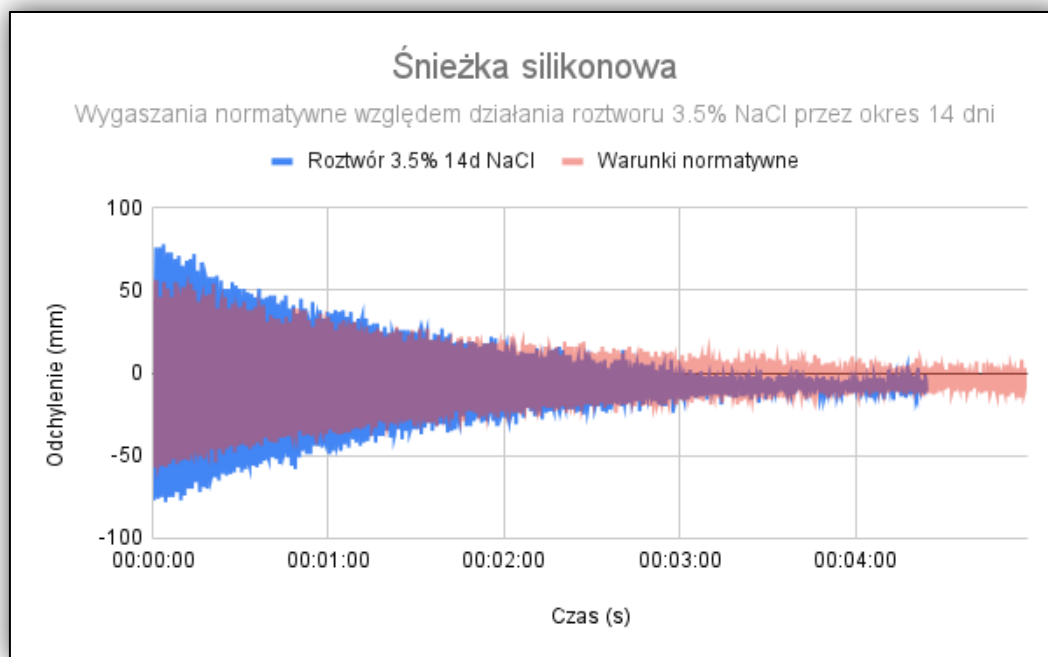
Następnym produktem poddanym porównaniu jest Lakier Dragon (PB9). W tym przypadku w otoczeniu 3,5% roztworu NaCl przez 336 godzin zauważono istotny wzrost twardości powłoki lakierniczej. Wahadło Königa w tym przypadku wykonało o wiele więcej wahań jak i zwiększyło czas tłumienia w stosunku do otoczenia normalywnego (Rysunek 187.).



Rysunek 187. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Lakier Dragon (PB9).

Źródło: opracowanie własne

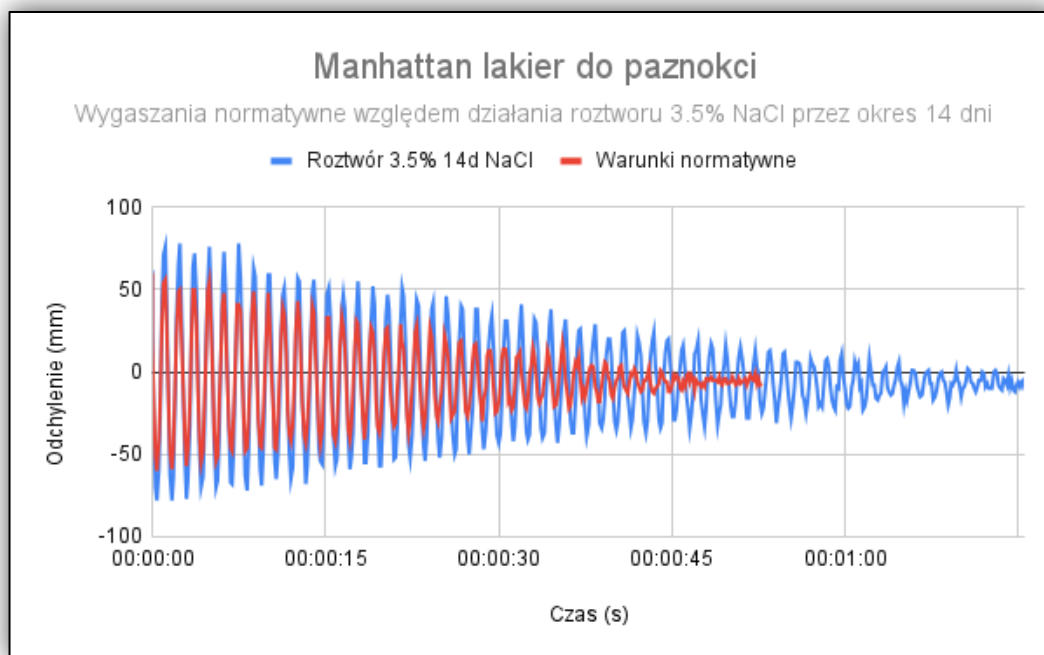
Próbka silikonowa marki Śnieżka (PB10) wykazała praktycznie brak zmian w otoczeniu podwyższonego zasolenia 3,5% NaCl przez 336 godzin w stosunku do otoczenia normalywnego. Wahadło Königa wykonało nieznacznie mniej wahniceń jak i wykonało je szybciej, nie wskazując na bezpośrednią, istotną zmianę twardości powłoki (Rysunek 188.).



Rysunek 188. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normatywnego próbki Śnieżka silikonowa (PB10).

Źródło: opracowanie własne

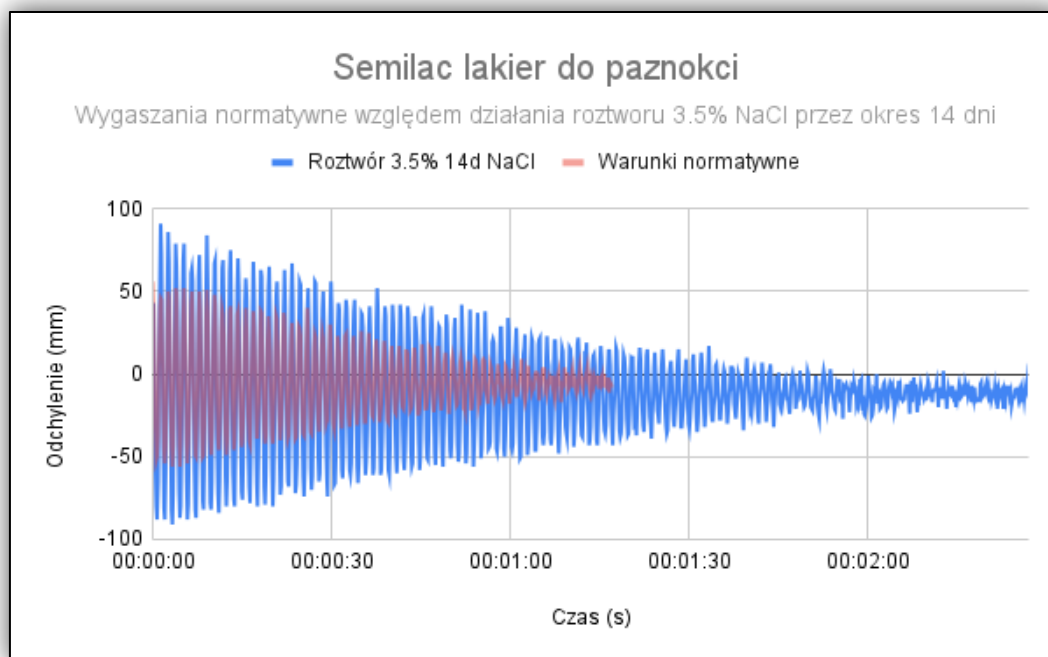
Przedostatnim produktem poddanym porównaniu jest lakier do paznokci marki Manhattan (PB11). Produkt ten wykazał wzrost twardości powłoki po narażeniu na otoczenie 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin w stosunku do otoczenia normatywnego. tłumienie wahadła Königa w tym przypadku uległo wydłużeniu - czas tłumienia oraz ilość wahań wahadła wzrosła (Rysunek 189.).



Rysunek 189. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalywnego próbki Manhattan lakier do paznokci (PB11).

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim produktem poddanym porównaniu twardości powłoki po poddaniu otoczenia podwyższonego zasolenia do wartości 3,5% w okresie 336 godzin był lakier do paznokci marki Semilac (PB12). W tym przypadku także zauważono wzrost twardości powłoki. Ilość wahań wahadła Königa jak i czas jego tłumienia wzrósł w stosunku do otoczenia normalywnego (Rysunek 190.).



Rysunek 190. Wykres przedstawiający zależność tłumienia wahadła Königa po działaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin oraz otoczenia normalatywnego próbki Semilac lakier do paznokci (PB12).

Źródło: opracowanie własne

3. PODSUMOWANIE BADAŃ

W rozdziale tym przedstawiono poszerzony opis uzyskanych wyników wraz z ich dyskusją. Dodatkowo dane zostały przedstawione w formach tabel. Na samym końcu rozdziału znajduje się rozwinięcie tej pracy wraz z ich weryfikacją.

3.1. Szczegółowe omówienie wyników badań

W podsumowaniu badań warto podkreślić, iż bardzo istotnym elementem wpływającym na jakość pomiarów twardości powłok lakierowych jest część elektroniczna urządzenia ze szczególnym uwzględnieniem elektronicznych czujników pomiarowych wchodzących w skład jego konstrukcji. Zastosowanie tych czujników umożliwiło bardzo dokładne odwzorowanie ruchu wahadła i precyzyjną rejestrację wyników. Układ scalony zastosowany w urządzeniu pozwalał na szybką jego kalibrację i na natychmiastowe przetwarzanie danych. Dodatkowym atutem związanym z zastosowaniem programowalnego mikrokomputera jednoukładowego jest możliwość zaprogramowania urządzenia i kalibracji odległości wahadła względem osi wychyłu w celu automatyzacji i powtarzalności przebiegu procesu pomiarowego.

Dzięki zastosowaniu wspomnianych elementów badania zostały usprawnione i pozbawione błędów przypadkowych – czynnika ludzkiego. Pozwoliło to na otrzymanie wyników obarczonych błędami wynikającymi jedynie z dokładności zadeklarowanych

przez producenta podzespołów elektronicznych. Zastosowanie programów komputerowych do wykreślenia charakterystyk tłumienia wahadła ułatwiło bezpośrednio porównanie próbek badanych w różnych warunkach otoczenia.

W celu ustalenia twardości badanych powłok lakierowych zastosowany został wzór na twardość zgodny z normą PN-P-81530:1979. Twardość według tego wzoru jest wyliczana jako iloraz stałej szklanej (czasu tłumienia wahadła na szkło - a) w stosunku do czasu tłumienia wahadła na badanej próbce lakieru - b. Wyliczenia dla otoczenia normatywnego przedstawiono w Tabeli 10. Wszelkie otrzymane dane przeliczono na wartości twardości T . (Tabela 11.).¹⁴⁹

$$T = \frac{a}{b}$$

Wyniki twardości zestawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Zestawienie wahnięć i czasu tłumienia wahadła w otoczeniu normatywnym.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	56	12	12	14	30	18	114	100	18	106	34	52
6-0°	152	24	26	28	80	32	524	384	56	438	86	96
Czas	01:31.52	12.66	17.64	17.37	01:01.01	20.88	04:54.01	03:53.49	33.85	05:12.11	53.09	01:17.04

Źródło: opracowanie własne

Tabela 11. Zestawienie wartości twardości powłok w otoczeniu normatywnym.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Twardość powłoki	0,4242	0,0909	0,0909	0,1061	0,2273	0,1364	0,8636	0,7576	0,1364	0,8030	0,2576	0,3939

Źródło: opracowanie własne

Numeracja próbek w powyższej tabeli odpowiada numerom przypisanym próbkom podczas ich opisywania. Wszystkie dane tabeli pochodzą z badań pilotażowych przeprowadzonych na prototypowym urządzeniu pomiarowym z wahadłem odpowiadającym wytycznym normy ISO 1522:2006. Są to wartości średnie pochodzące z serii 15 powtórzeń. Analizując tabelę, można wyodrębnić trzy grupy powłok lakierowych: twarde, średniej twardości oraz miękkie. Do grupy twardej należą produkty oznaczone liczbami: PB7, PB8 oraz PB10. Do grupy średniej twardości zaliczyć należy powłoki o numerach PB 1, PB5, PB11 i PB12. Do ostatniej grupy, powłok miękkich, należą produkty PB2, PB3, PB4, PB6 oraz PB9. Twarde powłoki często posiadają swą główną funkcję ochronną, dającą możliwość stosowania ich do wnętrza i na zewnątrz pomieszczeń. Produkty średniej twardości mają zastosowanie wewnątrz pomieszczeń, w wielu przypadkach są to farby i lakiery ścienna czy meblowe. Do produktów miękkich zalicza się powłoki nadające połysk, gdzie ich funkcja ochronna i zabezpieczająca nie są zbyt ważne. Spośród wszystkich 12 próbek wyróżniają się te z bardzo miękką powłoką: PB2, PB3 i PB4,

¹⁴⁹ Golcuk K, Mandair GS, Callender AF, Sahar N, Kohn DH, Morris MD Is photobleaching necessary for Raman imaging of bone tissue using a green laser? *Biochimica et Biophysica Acta* 1758, 868-873. 2006

których tłumienie wahadła zachodzi w krótkim czasie przy bardzo małej liczbie wahań, a także produkty bardzo twarde: PB7, PB8 i PB10, których tłumienie jest bardzo powolne z bardzo dużą liczbą wahań. Analizując te wyniki, można uznać je za zgodne z deklaracjami producentów danych produktów.

W ramach badań oszacowano również niepewność pomiarową złożoną $u_c(T)$, za pomocą którego oszacowano wartość niepewności pomiarowych przedstawiono poniżej:

$$u_c(T) = \sqrt{\left(\frac{\delta T}{\delta a} \times u_A^{(a)}\right)^2 + \left(\frac{\delta T}{\delta b} \times u_A^{(b)}\right)^2}$$

Po wyliczeniu pochodnych cząstkowych wzór przybiera postać:

$$u_c(T) = \sqrt{\left(\frac{1}{b} \times u_A^{(a)}\right)^2 + \left(-\frac{a}{\sqrt{b}} \times u_A^{(b)}\right)^2}$$

Gdzie:

- u_c - niepewność całkowita,
- T - oznaczenie sumy dwóch składowych,
- b - pierwsza składowych niepewności,
- a - druga składowa niepewności,
- $u_A^{(a)}$ - niepewność typu a od składowej a,
- $u_A^{(b)}$ - niepewność typu a od składowej b.

Na podstawie powyższych wzorów zostały obliczone wartości niepewności po przeprowadzaniu badań w środowisku określonym przez normę. Otrzymane wyniki przedstawia Tabela 12. Im wartości niepewności pomiarowych są niższe tym badanie jest dokładniejsze.¹⁵⁰

Tabela 12. Zestawienie wartości niepewności pomiarowych dla pomiarów warunkach otoczenia określonych w normie.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Odchylenie standardowe	1.4864	0.5164	0.5071	0.4880	0.7432	0.5164	2.8082	3.5214	0.7988	3.1396	1.0556	1.0823
Niepewność standardowa A	0.3838	0.1826	0.1309	0.1260	0.1919	0.1333	0.7251	0.9092	0.2063	0.8106	0.2726	0.2795
Niepewność złożona	0.0109	0.0052	0.0037	0.0036	0.0054	0.0038	0.0206	0.0258	0.0058	0.0230	0.0077	0.0079

Źródło: opracowanie własne

Wyniki badań przedstawione w Tabela 12 dowodzą, że niepewność pomiarowa złożona jest na niskim poziomie.

Przed rozpoczęciem każdego powtórzenia sprawdzano urządzenie pod względem stabilności parametrów środowiskowych takich, jak: temperatura, wilgotność, szczelność, położenie oraz stabilność. Po każdorazowym badaniu urządzenie poddawano ponownej pełnej kalibracji w celu sprawdzenia poprawności parametrów pracy. Podobnie po każdej próbie kulki wahadła były oczyszczane, aby uniknąć migracji produktów. Wszystkie 12

¹⁵⁰ Jędrzychowska S. Możliwości wykorzystania spektroskopii ramanowskiej w branży naftowej. Część 1. Podstawa teoretyczna spektroskopii ramanowskiej. Nafta -Gaz, 11, 842-849. 2012

próbek (tak samo jak w warunkach określanych w normie) poddano kolejnym badaniom przy podwyższonej temperaturze, po 15 powtórzeń dla każdej próbki. Wyniki badań przedstawione w tabelach stanowią średnią z wszystkich prób. Zgromadzone dane o czasie oraz liczbie wahnięć zawiera Tabela 13.

Tabela 13. Liczba wahnięć i czas tłumienia wahadła w otoczeniu z podwyższoną temperaturą do 60°C.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	36	16	22	26	32	10	50	54	14	76	22	26
6-0°	76	34	52	56	96	18	220	222	30	260	48	58
Czas	00:54.24	00:21.58	00:32.90	00:32.53	01:03.93	00:10.74	02:25.97	02:20.15	00:17.65	03:09.61	00:28.47	00:44.93

Źródło: opracowanie własne

Analogicznie jak w przypadku pomiarów w otoczeniu normatywnym, wszelkie dane przeliczono na wartości twardości T . Otrzymane wyniki przedstawia Tabela 14.

Tabela 14. Zestawienie wartości twardości powłok w otoczeniu z podwyższoną temperaturą do 60°C.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Twardość powłoki	0.2727	0.1212	0.1667	0.1970	0.2424	0.0758	0.3788	0.4091	0.1061	0.5758	0.1667	0.1970

Źródło: opracowanie własne

Łatwo zauważyć drastyczne różnice w twardości powłok niedostosowanych do użycia w trudnych warunkach, w tym w warunkach zewnętrznych czy przy zmianach atmosferycznych. Głównym zadaniem przeprowadzonych badań w tej części pracy jest sprawdzenie wpływu temperatury na zmiany twardości powłok. Badania te były możliwe dzięki zastosowaniu autorskiego, prototypowego urządzenia.

Następnie określono niepewności pomiarowe występujące w badaniach przy podwyższonej temperaturze. Otrzymane wyniki przedstawione są w Tabeli 15.

Tabela 15. Zestawienie wartości niepewności pomiarowych występujących przy badaniach próbek z podwyższoną temperaturą do 60°C.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Odchylenie standardowe	0.5071	0.5071	0.5164	0.5071	0.5071	0.5164	1.1629	1.7593	0.4577	0.9612	0.4577	0.5071
Niepewność standardowa A	0.1309	0.1309	0.1333	0.1309	0.1309	0.3358	0.3003	0.4543	0.1182	0.2482	0.1182	0.1309
Niepewność złożona	0.0037	0.0037	0.0038	0.0037	0.0037	0.0095	0.0085	0.0129	0.0034	0.0070	0.0034	0.0037

Źródło: opracowanie własne

Już od pierwszej próbki (PB 1) można zauważyć zmianę zarówno w liczbie wahnięć, jak i w czasie tłumienia: w odchyleniu wahadła 6–3° wyniosła 36 wahnięć, podczas gdy w warunkach normatywnych było aż 56 pełnych wahnięć. Jeszcze większą zmianę widać

przy wygaszaniu całkowitym 6–0°: w warunkach normatywnych wahadło wykonało 152 wahnięcia, a w podwyższonej temperaturze – zaledwie 76. Zmiany w wygaszaniu wahadła widać też w czasie tłumienia: w warunkach normatywnych była to minuta i blisko 32 sekundy, a w podwyższonej temperaturze – zaledwie 54 sekundy. Dla zwiększenia przejrzystości i zobrazowania tej zmiany można ją wyrazić przez wyznaczenie stosunku procentowego względem warunków normatywnych. Można zatem określić zmianę ilości wahnięć w przedziale 6–3° o -35,7%, w przedziale 6–0° o -50% oraz w czasie tłumienia wahadła o -41,3%; można zatem zauważyć w tej próbce (PB1) zmniejszenie twardości powłoki po narażeniu na podwyższoną temperaturę.

Zmianę liczby wahnięć wahadła Königa widać także w produkcie PB2. Tłumienie w przedziale 6–3° to zmiana z 12 do 16 wahnięć, w przedziale 6–0°: z 24 do 34 i w czasie tłumienia: z 12.66 sekundy do 21 sekund. Zmiany procentowe wynoszą: w przedziale 6–3° zmiana +33,3%; w przedziale 6–0° zmiana +41,6%, a w czasie tłumienia: +65.9%. Z parametrów tej próbki wynika, że podwyższenie temperatury wpływa na zwiększenie twardości powłoki.

Podobna sytuacja występuje w PB3: tłumienie wahadła zmieniło się: z 12 na 22 wahnięcia w przedziale 6–3°, z 26 na 52 w przedziale 6–0°, w czasie – z 17.84 sekundy do 32 sekund. Zmiany te wynoszą: +83,3% – w wygaszaniu 6–3°, +100% – dla stopni od 6 do pionu, w czasie – +79,4%; zauważa się wzrost twardości powłoki.

Dla próbki PB4 zmiana wahnięć w przedziale 6–3° wynosi z 14 do 26, a w przedziale 6–0° – z 28 do 56, a zmiana w czasie: z 17.37 sekundy do 32 sekund. Analogicznie zmiany te wyrażone w procentach wynoszą: dla przedziału 6–3° zmianę o +85,7%, dla przedziału 6–0° – zmianę o +100%, a w czasie – o +84,2%. Jak widać jest to kolejna próbka, której wartość twardości powłoki zwiększa się wraz z wzrostem temperatury.

Badanie produktu PB5 wykazało następujące wyniki: zmiany wahnięć z 30 do 32 w zakresie 6–3°, z 80 do 96 – dla zakresu 6–0°; w czasie – z 1 minuty i sekundy do 1 minuty i 3 sekund. Zmiany są tu znikome i procentowa zmiana wynosi: o +6,7% dla przedziału 6–3° i o +20% w przedziale 6–0° oraz +3,3% w czasie. Powłoka jest więc nieznacznie twardsza.

W badaniach PB6 zmiana wahnięć w przedziale 6–3° wyniosła z 18 do 10, w przedziale 6–0° – z 32 do 18, a w czasie: z 20.88 sekundy do 10 sekund. Zmiany te możemy wyrażone procentowo wynoszą: -44,4% dla zakresu 6–3° i -43,7% dla zakresu 6–0° oraz -52,1% zmiany w czasie tłumienia wahadła. Jak widać, w tej próbce dochodzi do zmniejszenia twardości powłoki lakierniczej.

Przy produkcie PB7 zmiany tłumienia wynoszą: dla przedziału 6–3° z 114 na 50 wahnięć, a w przedziale 6–0° – z 524 na 220 wahnięć, w czasie – z czterech minut i 54 sekund na dwie minuty i 25 sekund. Procentowa zmiana w przedziale 6–3° wynosi -56,2%, w przedziale 6–0° – -58%, a w czasie – -42,9% i w tej próbce zauważamy zmniejszenie się twardości powłoki.

Również w badaniu ósmego produktu uzyskano zmiany w liczbie wahań: dla przedziału 6–3° – z 100 do 54, dla przedziału 6–0° – z 384 do 222, a także w czasie – z trzech minut i 53 sekund do dwóch minut i 20 sekund. Procentowo zmiany zachodziły o -46% w przedziale 6–3°, -42,2% – w przedziale 6–0° oraz o -40,2% – w czasie. Jak widać,

w tej próbkę wielkość zmian wszystkich parametrów jest na podobnym poziomie, a powłoka lakiernicza zmniejszyła twardość.

W badaniu PB9 zmiana liczby wahań zmniejszyła się i wynosiła: w zakresie 6–3° – z 18 na 14, w zakresie 6–0° – z 56 na 30, a w czasie – z 33 sekund do 17 sekund. Procentowo można to wyrazić jako zmianę o -22,2% w przedziale 6–3° i o -46,4% w przedziale 6–0°, a także o blisko -50% – w czasie. Podobnie jak w poprzedniej próbce twardość powłoki uległa zmniejszeniu.

Badanie PB10 wykazało, że liczba wahań wahadła dla przedziału 6–3° zmniejszyła się z 106 do 76, a w przedziale 6–0° nastąpiła zmiana z 438 do 260 wahań, w czasie natomiast z pięciu minut i 12 sekund do 3 minut. Procentowo wyrażamy zmianę o -28,3% w przedziale 6–3°, a w przedziale 6–0° – o -40,6% oraz w czasie o -39,4%. Zmiany te wykazują obniżenie twardości powłoki lakierniczej.

Dla produktu jedenastego zmiana liczby wahań z 34 na 22 wystąpiła w zakresie 6–3°. Natomiast dla przedziału 6–0° zmiana ta wyniosła: z 86 do 48 wahań, a zmiana czasu – z 53 sekund do 28 sekund. Procentowo zmiany wynoszą więc: -35,3% dla zakresu 6–3° i -44,2% w przedziale 6–0°, a w czasie o -47,3%. Próbkę ta wykazała więc zmianę twardości powłoki: na bardziej miękką – twardość powłoki uległa zmniejszeniu.

Przy produkcie PB12 w przedziale 6–3° zmiana wyniosła z 52 do 26 wahań, a w zakresie 6–0° – z 96 do 58 wahań, czas – z minuty i 17 sekund do 44 sekund. Procentowo zmiana w przedziale 6–3° wyniosła -50%, a w przedziale 6–0° – -39,6%, w czasie – -42,9%. W tym produkcie nastąpiło zmniejszenie twardości powłoki lakierniczej.

Zbiór wszystkich wyników przedstawia Tabela 16.

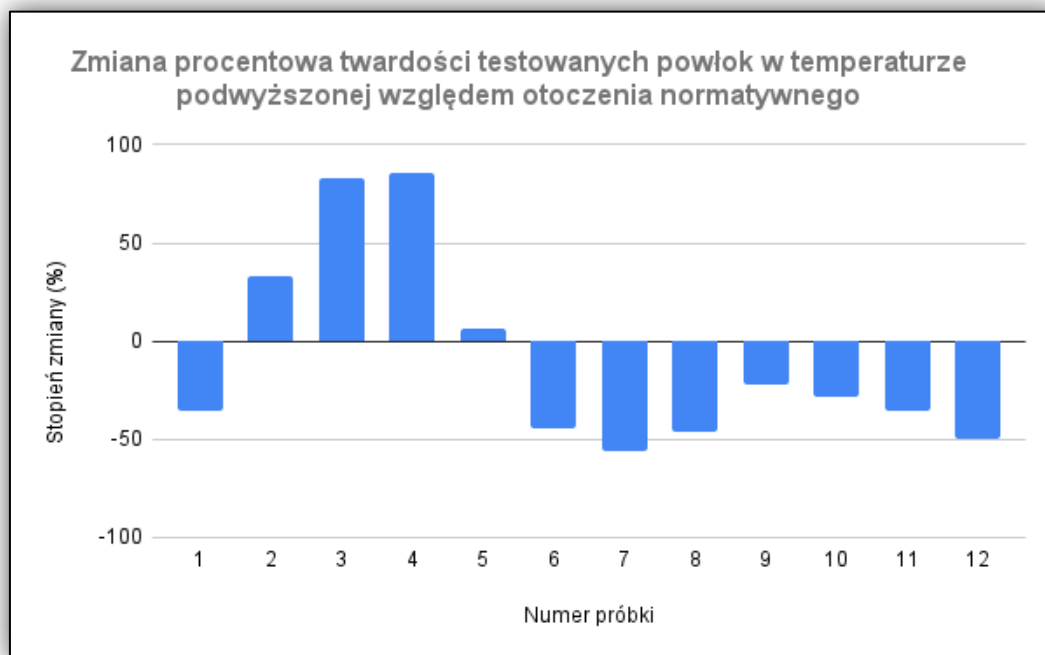
Tabela 16. Zmiana wartości wyników badań dla tłumienia wahadła poszczególnych próbek przy badaniu z podwyższoną temperaturą do 60°C (wyniki procentowe).

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	-35,7%	33,3%	83,3%	85,7%	6,7%	-44,4%	-56,2%	-46%	-22,2%	-28,3%	-35,3%	-50%
6-0°	-50%	41,6%	100%	100%	20%	-43,7%	-58%	-42,2%	-46,4%	-40,6%	-44,2%	-39,6%
Czas	-41,3%	65,9%	79,4%	84,2%	3,3%	-52,1%	-42,9%	-40,2%	-50%	-39,4%	-47,3%	-42,9%

Źródło: opracowanie własne

W celu przedstawienia występujących zmian zobrazowano wyniki procentowe w formie wykresu słupkowego - Rysunek 191. Punktem odniesienia „0” na wykresie słupkowym jest twardość danej powłoki w otoczeniu normatywnym. Przy oddziaływaniu temperatury podwyższonej zauważa się obniżenie twardości powłoki lakierowej w przypadkach próbek 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11 oraz 12. Tylko dla próbek 2, 3, 4 oraz 5

odnotowano wzrost twardości. Można stwierdzić, iż w większości przypadków temperatura podwyższona obniża twardość powłoki lakierowej.



Rysunek 191. Wykres obrazujący zmiany procentowe po narażeniu na temperaturę podwyższoną do 60°C względem otoczenia normalnego.

Źródło: opracowanie własne

Po przeprowadzeniu badań w podwyższonej temperaturze, możemy zauważyć, iż w większości przeprowadzonych badań powłoka lakiernicza uległa zmiękczeniu – twardość powłoki lakierowej obniżyła się względem wartości z badań normalnych. Próbkami dla których odnotowano wzrost twardości są próbki PB2, PB3, PB4 oraz PB5, co może być spowodowane substancjami zawartymi w ich składzie.

Kolejne badania obejmowały testy, w obniżonej temperaturze. Różnica temperatur możliwa do osiągnięcia dla urządzenia badawczego wyniosła około 24°. Wszystkie próbki podano testom w temperaturze -2°C. Taka temperatura otoczenia pozwala na określenie właściwości produktów, w których mogą występować cząstki wody lub cieczy zmieniających stan skupienia zależnie od temperatury. Badania przeprowadzono analogicznie jak badania w temperaturze podwyższonej. Po każdej próbie sprawdzano ustawienia urządzenia oraz kalibrację, w tym temperaturę i położenie. Wyniki przedstawia Tabela 17.

Tabela 17. Liczba wahnięć oraz czas tłumienia wahadła w otoczeniu o obniżonej temperaturze do -2°C.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	80	54	52	34	74	42	72	94	56	108	76	86
6-0°	188	196	152	112	178	122	372	374	132	376	314	230

Czas	01:51.34	01:51.13	01:33.94	01:18.93	01:53.32	01:20.45	04:07.38	03:46.91	01:12.99	04:05.82	03:24.30	02:18.75
-------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Źródło: opracowanie własne

Wyniki odchylenia wahadła otrzymane wedle normy ISO 1522 zostały przekształcone w wartości twardości - wyłącznie dla odchyleni 6-3°, co precyzuje norma. Otrzymane wyniki przedstawia Tabela 18.

Tabela 18. Zestawienie wartości twardości powłok w otoczeniu o obniżonej temperaturze do -2 °C.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Twardość	0.6061	0.4091	0.3939	0.2576	0.5606	0.3182	0.5455	0.7121	0.4242	0.8182	0.5758	0.6515

Źródło: opracowanie własne

W następnej kolejności określono występujące wartości niepewności pomiarowych podczas badań wykonywanych w obniżonej temperaturze. Otrzymane wyniki przedstawia Tabela 19. Niskie wartości niepewności pomiarowych świadczą o wysokiej dokładności wykonanych badań.

Tabela 19. Zestawienie wartości niepewności pomiarowych występujących w badaniach przy temperaturze obniżonej do -2 °C.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Odchylenie standardowe	2.0517	2.1668	2.3604	0.9411	2.6957	1.1212	1.2228	2.6851	1.1629	3.6253	2.9326	2.0166
Niepewność standardowa A	0.5345	0.1826	0.6094	0.2488	0.6969	0.3086	0.3237	0.6935	0.3008	0.9361	0.7591	0.5255
Niepewność złożona	0.0152	0.0052	0.0173	0.0071	0.0198	0.0088	0.0092	0.0197	0.0085	0.0265	0.0215	0.0149

Źródło: opracowanie własne

W pierwszej próbce (PB1) można zauważyć drastyczną zmianę, zarówno w liczbie wahań w czasie tłumienia przy otoczeniu obniżonej temperatury. Liczba wahań dla odchylenia 6-3° wyniosła 80 pełnych wahań, a podczas tłumienia w warunkach normatywnych było ich 56, natomiast w podwyższonej temperaturze – 36 pełnych wahań. Jeszcze większą zmianę widać w wygaszaniu całkowitym, 6-0°: w obniżonej temperaturze wahadło wykonało 188 pełnych wahań, w warunkach normatywnych – 152, a w podwyższonej temperaturze – 76. Zmiany tłumienia wahadła mają także odzwierciedlenie w czasie tłumienia: przy obniżonej temperaturze – 1 minutę i 51 sekund, w warunkach normatywnych – 1 minutę i blisko 32 sekundy, a przy podwyższonej temperaturze – 54 sekundy. Dla zwiększenia przejrzystości oraz zobrazowania zmian wyrażono je przez wyznaczenie stosunku procentowego tłumienia wahadła w warunkach normatywnych. Można zatem określić zmianę względem otoczenia normatywnego w przedziale 6-3° na +42,9%, w przedziale 6-0° – na +23,7% oraz w czasie na +20,7%.

W tym przypadku odnotowano wzrost twardości po narażeniu na otoczenie o obniżonej temperaturze.

Liczba wahnięć wahadła uległa także zmianie w produkcie PB2. Tłumienie w przedziale 6–3° zmieniło się z 12 do 54 wahnięć, w przedziale 6–0° – z 24 do 196, a czas tłumienia – z 12.66 sekundy do 1 minuty i 51 sekund. Zmiany w ilości i czasie tłumienia wyrażane w procentach wynoszą: w przedziale 6–3° – +350%, w przedziale 6–0° – +716,7%, a w czasie – +776,8%. Jest to jedna z próbek z bardzo znaczącą zmianą twardości powłoki po narażeniu na otoczenie o obniżonej temperaturze.

Podobną sytuacja miała miejsce w próbce trzeciej. tłumienie wahadła zmieniło się z 12 na 52 wahnięć w przedziale 6–3°, a z 26 na 152 – w przedziale 6–0°, natomiast w czasie – z 17.84 sekundy do 1 minuty i 33 sekund. Można to wyrazić jako zmianę wynoszącą +333,3% w wygaszaniu od 6–3°, +484,6% dla stopni od 6 do 0, a także w czasie +421,3%. Zauważalny jest tu znaczący wzrost twardości powłoki w otoczeniu o obniżonej temperaturze.

W próbce PB4 zmiana wahnięć przy otoczeniu temperatury obniżonej w przedziale 6–3° wynosi z 14 do 34, w przedziale 6–0° – z 28 do 112, a w czasie – z 17.37 sekundy do 1 minuty i 18 sekund. Zmiany te wyrażone w procentach wynoszą: dla przedziału 6–3° zmianę o +142,9%, dla przedziału 6–0° zmianę o +300%, a także w czasie – o +349%. Jak widać, to kolejna próbka, w której wartość twardości powłoki zwiększyła się w otoczeniu temperatury obniżonej.

W badaniu próbki PB5 zanotowano zmiany wahnięć z 30 do 74 w zakresie 6–3°, z 80 do 178 – dla zakresu 6–0°, a także w czasie – z 1 minuty i sekundy do minuty i 53 sekund. Zmiany są tu niewielkie, a procentowo jest to zmiana o +146,7% dla przedziału 6–3°, zmiana o +122,5% w przedziale 6–0° oraz +85,2% w czasie. Twardość powłoki uległa także zwiększeniu w otoczeniu o obniżonej temperaturze.

W próbce PB6 zmiana wahnięć w przedziale 6–3° wyniosła z 18 do 42, w przedziale 6–0° – z 32 do 122, a w czasie z 20.88 sekundy do 1 minuty i 20 sekund. Zmiany te wyrażamy procentowo jako zmianę o +133,3% dla zakresu 6–3°, +281,3% dla zakresu 6–0° oraz +283,1% zmiany w czasie tłumienia wahadła. Twardość powłoki przy narażeniu na otoczenie obniżonej temperatury wzrosła.

Badania próbki siódmej (PB7) wykazały, że zmiany tłumienia wynoszą: dla przedziału 6–3° – z 114 na 72 wahnięć, w przedziale 6–0° – z 524 na 372 wahnięć, a w czasie – z 4 minut i 54 sekund na 4 minuty i 7 sekund. Procentowa zmiana w przedziale 6–3° wynosi -36,8%, w przedziale 6–0° – -29% oraz w czasie o -16%. Jest to pierwszy przypadek zmniejszenia twardości powłoki – stała się ona miększa.

Dla próbki ósmej uzyskano zmiany w liczbie wychyleń wahadła: dla przedziału 6–3° – ze 100 do 94, dla zakresu 6–0° – z 384 do 374, a także w czasie – z 3 minut i 53 sekund do 3 minut i 46 sekund. Procentowo zmiany te wyrażamy jako zmianę o: -6% w przedziale 6–3°, -2,6% w przedziale 6–0° i -3% w czasie. Powłoka lakiernicza zmniejszyła twardość, lecz w bardzo nieznacznym stopniu.

Przeprowadzając badania na próbce PB9, zauważono zmianę liczby wahnięć w zakresie 6–3°, która wynosi z 18 na 56, w zakresie 6–0° wynosi z 56 na 132, a w czasie – z 33.9 sekundy do 1 minuty i 12 sekund. Procentowo można wyrazić to jako zmianę o +211,1% w przedziale 6–3°, o +135,7% w przedziale 6–0° oraz o blisko +60,4% –

w czasie. Podobnie jak w poprzednim przypadku twardość powłoki badanej próbki uległa zmniejszeniu.

Dla produktu PB10 liczba wychyleń wahadła dla przedziału 6–3° zmniejszyła się ze 106 do 108, w przedziale 6–0° nastąpiła zmiana z 438 do 376 wahnięć, a w czasie z 5 minut i 12 sekund do 4 minut i pięciu sekund. Procentowo można to wyrazić jako zmiany o: +1,9% w przedziale 6–3°, -14,2% w przedziale 6–0°, a w czasie -32,3%. Zmiany te wykazują obniżenie twardości powłoki lakierniczej.

W próbce PB11 zmiana liczby wahnięć nastąpiła: z 34 na 76 w zakresie 6–3°, dla przedziału 6–0° – z 86 do 314 wahnięć, a dla czasu – z 53 sekund do trzech minut i 24 sekund. Procentowo zmiany wynoszą: +123,5% dla zakresu 6–3°, +265,1% dla zakresu 6–0° oraz +284,9% dla czas. Wynika z tego, że powłoka lakiernicza stała się twardsza – twardość powłoki wzrosła

Badanie próbki dwunastej wykazało zmianę: w przedziale 6–3° – z 52 do 86 wahnięć, w zakresie 6–0° – z 96 do 230 wahnięć, a w czasie z 1 minuty i 17 sekund do 2 minut i 18 sekund. Procentowo zmiana w przedziale 6–3° wyniosła +65,4%, w przedziale 6–0° – +139,6%, a w czasie – +157,1%. W tej próbce można zauważyć wzrost twardości powłoki.

Wszelkie zmiany wyrażone procentowo zawiera Tabela 20.

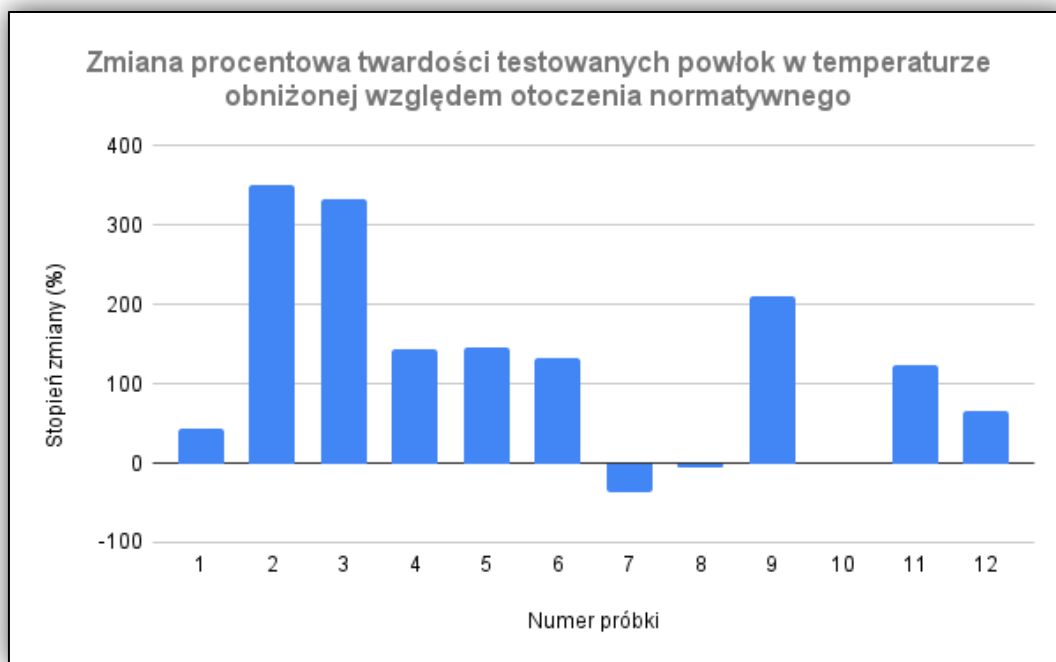
Tabela 20. Zmiana wartości wyników badań dla tłumienia wahadła poszczególnych próbek przy obniżonej temperaturze do -2 °C (wyniki procentowe)

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	42,9%	350%	333,3%	142,9%	146,7%	133,3%	-36,8%	-5%	211,1%	-1,9%	123,5%	65,4%
6-0°	23,7%	716,7%	484,6%	400%	122,5%	281,3%	-29%	-2,6%	135,7%	-14,2%	265,1%	139,6%
Czas	20,7%	776,8%	421,3%	449%	185,2%	283,1%	-16%	-3%	60,4%	-32,3%	284,9%	157,1%

Źródło: opracowanie własne

Po analizie otrzymanych danych można stwierdzić, iż obniżenie temperatury w większości przypadków wpływa na wzrost twardości powłoki. Obniżenie twardości powłoki nastąpiło tylko w 3 produktach – PB7, PB8 oraz PB10. Reszta z próbek wykazała utwardzenie powłoki lakierowej.

Podobnie jak w przypadku temperatury podwyższonej, wykonano wykres słupkowy obrazujący przedstawione powyżej zmiany procentowe (Rysunek 192.). Punktem odniesienia „0” na wykresie słupkowym jest twardość danej powłoki (próbki) w otoczeniu normatywnym. Przy oddziaływaniu temperatury obniżonej zauważa się wzrost twardości powłoki lakierowej w przypadkach próbek 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11 oraz 12. Tylko dla próbek 7 oraz 8 odnotowano spadek twardości. Jako jedyna, próbka numer 10 nie uległa znaczącej zmianie względem otoczenia normatywnego. Można stwierdzić, iż w większości przypadków temperatura obniżona powoduje wzrost twardości powłoki lakierowej.



Rysunek 192. Wykres obrazujący zmiany procentowe po narażeniu na temperaturę obniżoną względem otoczenia normatywnego.

Źródło: opracowanie własne

W dalszej kolejności przeprowadzono analogiczne badania, jednakże próbki poddano działaniu środowiska roztworu NaCl. Do badań wykorzystano 10% roztwór soli. Celem badań było sprawdzenie wpływu roztworu NaCl na twardość powłok lakierowych. Eksperymenty przeprowadzono analogicznie do badań z podwyższoną i obniżoną temperaturą. Po każdym badaniu zweryfikowano ustawienia i kalibrację urządzenia, w tym temperaturę i położenie próbek. Wyniki badań przedstawia Tabela 21. Niniejsze badania mają charakter także pilotażowy, co oznacza, że stanowią one wstępny etap szerszych, przyszłościowych badań nad wpływem czynników środowiskowych na właściwości materiału. Choć uzyskano obiecujące wyniki, należy je interpretować z ostrożnością ze względu na pojawiające się zakłócenia w postaci formujących się kryształków soli na powierzchni badanego materiału oraz niejednorodne zmiany struktury wywołane przez wilgoć – możliwy wpływ na konsystencje powłoki. Te zakłócenia uniemożliwiają jednoznaczne potwierdzenie wiarygodności wszystkich uzyskanych wyników. Pomimo tych ograniczeń, zebrane dane stanowią cenną informację wyjściową do dalszego rozwijania i udoskonalenia metodologii badawczej. W kolejnych etapach badań należy skupić się na eliminacji lub zminimalizowaniu wpływu czynników zakłócających, aby uzyskać bardziej precyzyjne i wiarygodne wyniki. Po przeliczeniu wartości odchyłek wahadła na wartość twardości T wyliczono niepewności pomiarowe. Są one przedstawione w Tabeli 23. Niskie wartości niepewności pomiarowych świadczą o wysokiej dokładności przeprowadzonych badań. Wszelkie otrzymane dane zostały przeliczone na wartości twardości T . Otrzymane wyniki są przedstawione w Tabeli 22.

Tabela 21. Zestawienie wahnięć i czasu tłumienia wahadła po poddaniu próbek otoczeniu 10% roztworu NaCl.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	30	15	13	13	22	14	35	46	X	44	25	28
6-0°	80	32	23	32	55	26	201	225	X	208	60	99
Czas	02:02.67	00:42.54	00:32.05	00:43.49	01:13.31	00:36.15	04:10.16	04:51.08	X	04:44.12	01:16.56	02:00.31

Źródło: opracowanie własne

Tabela 22. Twardości powłok w 10% roztworze NaCl.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Twardość powłoki	0.4545	0.2273	0.1970	0.1970	0.3333	0.2121	0.5303	0.6970	X	0.6667	0.3788	0.4242

Źródło: opracowanie własne

Tabela 23. Zestawienie wartości niepewności pomiarów po poddaniu próbek otoczeniu 10% roztworu NaCl.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Odchylenie standardowe	1.6987	1.0601	1.2071	0.5164	1.8310	0.5936	1.4041	1.3870	x	0.9612	1.1255	2.9391
Niepewność standardowa A	0.4419	0.3008	0.3162	0.1826	0.4781	0.1543	0.3780	0.3651	x	0.2582	0.2928	0.7591
Niepewność złożona	0.0125	0.0085	0.0090	0.0052	0.0136	0.0044	0.0107	0.0104	x	0.0073	0.0083	0.0215

Źródło: opracowanie własne

Przy próbce PB1 w otoczeniu 10% roztworu NaCl, można zauważyć zmianę zarówno w liczbie wahnięć, jak i w czasie tłumienia: w odchyleniu 6–3° wyniosła 60 wahnięć, gdzie w warunkach normatywnych było to 56 pełnych wahnięć. Podobną zmianę widać przy wygaszaniu całkowitym 6–0°: w warunkach normatywnych wahadło wykonało 152 wahnięcia, a po poddaniu na otoczenie 10% roztworu NaCl 160. Zmiany w wygaszaniu wahadła widać też w czasie tłumienia: w warunkach normatywnych była to 1 minuta i blisko 32 sekundy, a w otoczeniu 10% roztworu NaCl – 2 minuty i prawie 3 sekundy. Zmiany można wyrazić przez wyznaczenie stosunku procentowego względem warunków normatywnych. Można zatem określić zmianę w przedziale 6–3° o +7.2%, w przedziale 6–0° o +5.3% oraz w czasie o +32.6%. W tym przypadku próbka zwiększyła swoją twardość.

W drugim produkcie (PB2) także nastąpiła zmiana ilości jak i czasu wahnięć. Zmiana wygaszania w przedziale 6–3° wyniosła z 12 do 30, w przedziale 6–0°: z 24 do 64 i czas: z 12,66 sekundy do 42.54 sekund. Procentowo zmiany możemy wyrazić jako: w przedziale 6–3° zmiana +150%; w przedziale 6–0° zmiana +166%, a w czasie: +230%. Z parametrów tej próbki wynika, że poddanie powłoki na oddziaływanie 10% roztwór NaCl wpływa na zwiększenie jej twardości.

Zmiana występuje także w próbce PB3. Tłumienie wahadła zmieniło się: z 12 na 26 wahnięcia w przedziale 6–3°, z 26 na 46 w przedziale 6–0°, w czasie – z 17.84 sekundy do

32 sekund. Zmiany te wynoszą: +116.6% – w wygaszaniu 6–3°, +76.9% – dla stopni od 6 do 0, w czasie – +77.7%; zauważalny jest wzrost twardości powłoki.

Dla próbki PB4 zmiana wahnięć w przedziale 6–3° wynosi z 14 do 26, a w przedziale 6–0° – z 28 do 64, a zmiana w czasie: z 17.37 sekundy do 43.49 sekund. Procentowo zmiany te wynoszą: dla przedziału 6–3° zmianę o +85,7%, dla przedziału 6–0° – zmianę o +146.2%, a w czasie – o +151.4%. Poraz kolejny zauważa się zwiększenie się twardości powłoki.

Dla piątego produktu przeprowadzone badanie przyniosło następujące wyniki: zmiany wahnięć – z 30 do 44 w zakresie 6–3°, z 80 do 110 – dla zakresu 6–0°; w czasie – z minuty i sekundy do minuty i trzynastu sekund. Zmiany te procentowo wynoszą: o +46.6% dla przedziału 6–3° i o +37.5% w przedziale 6–0° oraz +19.7% w czasie. Zmiana twardości powłoki ponownie uległa podwyższeniu.

Dla próbki PB6 zmiana wahnięć w przedziale 6–3° wyniosła z 18 do 28, w przedziale 6–0° – z 32 do 52, a w czasie: z 20.88 sekundy do 36.15 sekund. Zmiany te możemy wyrazić procentowo jako: +55.5% dla zakresu 6–3° i +62.5% dla zakresu 6–0° oraz +73% zmiany w czasie tłumienia wahadła. Ponownie mamy do czynienia z zwiększeniem się twardości powłoki.

Przy produkcie PB7 zmiany tłumienia wynoszą: dla przedziału 6–3° z 114 na 70 wahnięć, a w przedziale 6–0° – z 524 na 402 wahnięć, w czasie – z czterech minut i 54 sekund na cztery minuty i 10 sekund. Procentowa zmiana w przedziale 6–3° wynosi – 38.6%, w przedziale 6–0° – -23.3%, a w czasie – -8.2%. Jest to pierwsza próbka, dla której odnotowane zostało zmniejszenie się twardości powłoki.

W badaniu PB8 produktu uzyskano zmiany w liczbie wahań: dla przedziału 6–3° – z 100 do 92, dla przedziału 6–0° – z 384 do 450, a także w czasie – z trzech minut i 53 sekund do czterech minut i 51 sekund. Procentowo zmiany zachodziły o -8% w przedziale 6–3°, +17.2% – w przedziale 6–0° oraz o +24.9% – w czasie. Jak widać, w tej próbce wielkość zmian jest niewielka- powłoka lakiernicza zwiększyła twardość.

Badanie próbki PB9 nie zostało przeprowadzone ze względu na rozpuszczenie próbki pod wpływem działania roztworu 10% NaCl.

Badanie produktu dziesiątego (PB10) wykazało zmniejszenie ilości wahnięć z 108 na 88 w przedziale 6–3°, wzrost z 376 na 416 w przedziale 6–0° oraz zmianę czasu z 4 minut i blisko 6 sekund do 4 minut i 44 sekund. Procentowo zmiany te możemy przedstawić jako zmianę w pierwszym przedziale o -18.5%, w drugim przedziale o +10.6% oraz w czasie o +15.4%. Przy tym produkcie odnotowano zmniejszenie się twardości w przedziale normatywnym, natomiast zwiększenie w całkowitym wygaszaniu wahadła. Może to oznaczać początkowe skruszenie się cząsteczek soli przez ruch wahadła.

Dla produktu jedenastego (PB11) zmiana liczby wahnięć z 34 na 50 wystąpiła w zakresie 6–3°. Dla przedziału 6–0° zmiana ta wyniosła: z 86 do 120 wahnięć, a zmiana czasu – z 53 sekund do 1 minuty i 16 sekund. Procentowo zmiany wynoszą więc: +47% dla zakresu 6–3° i +39.5% w przedziale 6–0°, a w czasie o +43.4%. Próbka ta wykazała więc zmianę twardości powłoki: na bardziej twardą – twardość powłoki uległa zwiększeniu.

Produkt PB12 w przedziale 6–3° zmienił tłumienie wahadła z 52 do 56 wahnięć, a w zakresie 6–0° – z 96 do 198 wahnięć, czas – z 1 minuty i 17 sekund do 2 minut. Procentowo zmiana w przedziale 6–3° wyniosła +7.7%, a w przedziale 6–0° – +106.2%,

w czasie – +55.8%. W tym produkcie nastąpiło ponownie zwiększenie się twardości powłoki.

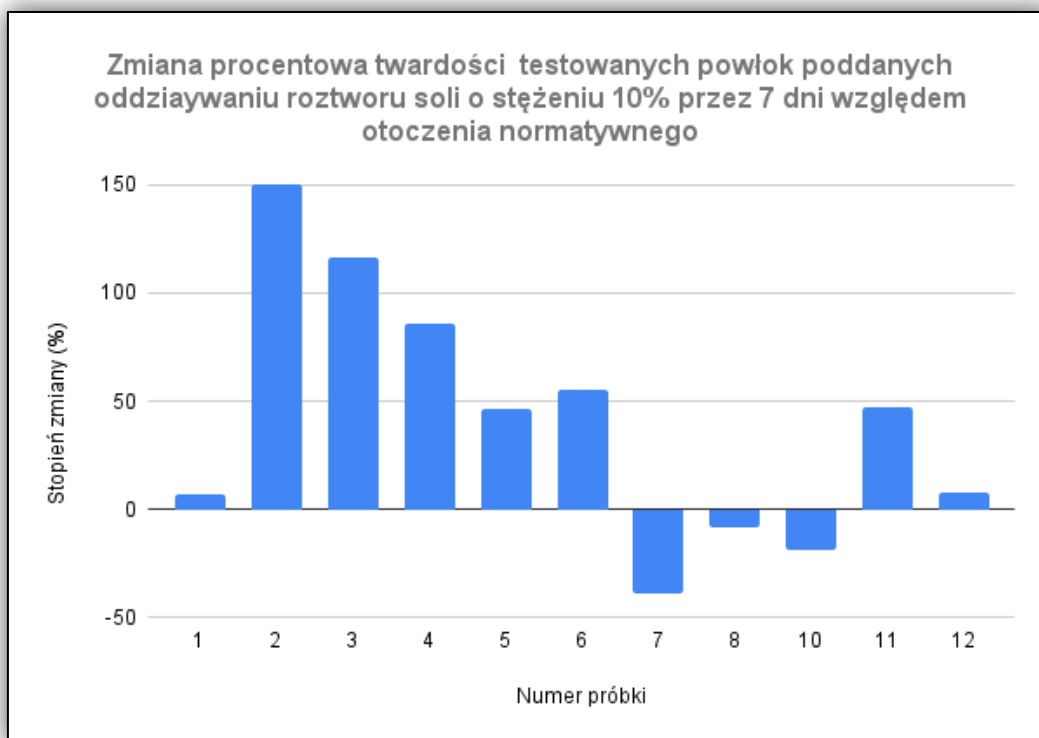
Wszelkie otrzymane wyniki w zestawieniu procentowym przedstawia Tabela 24.

Tabela 24. Zależność zmian tłumienia wahadła po poddaniu próbek otoczeniu zasolenia w roztworze 10%.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	7.2%	150%	116.6%	85.7%	46.6%	55.5%	-38.6%	-8%	x	-18.5%	47%	7.70%
6-0°	5.3%	166%	76.9%	146.2%	37.5%	62.5%	-23.3%	17.2%	x	10.6%	39.5%	106.2%
Czas	32.6%	230%	77.7%	151.4%	19.7%	73%	-8.2%	24.9%	x	15.4%	43.4%	55.8%

Źródło: opracowanie własne.

Wykres słupkowy (Rysunek 193.) obrazuje zmiany procentowe po poddaniu próbek na oddziaływanie 10% roztworu NaCl przez okres 168 godzin względem otoczenia normatywnego. Punktem odniesienia „0” na wykresie słupkowym jest twardość danej powłoki (próbki) w otoczeniu normatywnym. Przy oddziaływaniu 10% roztworu NaCl w czasie 168 godzin zauważa się wzrost twardości powłoki lakierowej w przypadkach próbek 1, 2, 3, 4, 5, 6 oraz 11. Tylko dla próbek 7, 8 oraz 10 odnotowano spadek twardości. Można stwierdzić, iż w większości przypadków oddziaływanie 10% roztworu NaCl w czasie 168 godzin powoduje wzrost twardości powłoki lakierowej w większości przypadków.



Rysunek 193. Wykres obrazujący zmiany procentowe po narażeniu próbek na oddziaływanie 10% roztworu NaCl w okresie 7 dni względem otoczenia normalywnego.

Źródło: opracowanie własne

Próbki w otoczeniu 10% roztworu NaCl wykazały w większej ilości przypadków wzrost twardości powłoki. Duże zmiany twardości zauważono w próbkach PB2, PB3 oraz PB4. Tylko w przypadku 3 produktów (PB7, PB8 oraz PB10) twardości powłok zmniejszyły się.

Badania zakończono po wykonaniu wszystkich czynności zarówno w otoczeniu normalywnym, o podwyższonej i obniżonej temperaturze względem temperatury narzucanej przez normę, jak i po poddaniu próbek oddziaływaniu roztworu 10% NaCl. Próbki na wstępie poddano ocenie organoleptycznej, aby wykluczyć uszczerbek bądź jakikolwiek ubytek powłok. Sprawdzone też prototypowe urządzenie pomiarowe pod względem wystąpienia błędów, rozkalibrowania, zmiany położenia, ustawienia czujników czy uszkodzenia fizycznego lub chemicznego. Nie zauważono żadnych nieprawidłowości zarówno w próbkach jak i urządzeniu pomiarowym.

W następnej kolejności przedstawiono wyniki badań w otoczeniu roztworu soli o stężeniu 3,5% któremu próbki zostały poddane przez 24 godziny. Wszelkie badania zostały przeprowadzone poprawnie, żadna z próbek nie została odrzucona. Podczas wykonywania badań zostały podjęte wszelkie próby ograniczenia błędów pomiarowych. Wyniki ilości wahań oraz czasu tłumienia przedstawia Tabela 25.

Tabela 25. Liczba wahnicy oraz czas tłumienia wahadła po poddaniu badaniu próbek oddziaływaniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 24h.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	56	14	14	16	34	20	96	98	20	100	38	52
6-0°	156	24	30	30	88	36	490	378	58	342	96	110
Czas	1:39.32	13.21	19.33	19.65	1:05.45	23.48	4:26.53	3:48.22	35.12	5:03.58	01:02.27	1:34.62

Źródło: opracowanie własne.

Otrzymane dane zostały w następnej kolejności przeliczone na wartości twardości T . Otrzymane wartości twardości przedstawia Tabela 26.

Tabela 26. Zestawienie wartości twardości powłok po poddaniu próbek otoczeniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 24h.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Twardość powłoki	0.4242	0.1061	0.1061	0.1212	0.2576	0.1515	0.7273	0.7424	0.1515	0.7576	0.2879	0.3939

Źródło: opracowanie własne.

Po uzyskaniu wartości odchyleni wahadła na wartość twardości T wyliczono niepewności pomiarowe przedstawia Tabela 27. Niskie wartości niepewności pomiarowych świadczą o wysokiej dokładności przeprowadzonych badań.

Tabela 27. Zestawienie wartości niepewności pomiarów po poddaniu próbek otoczeniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 24h.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Odchylenie standardowe	1.4864	0.5164	0.5071	0.4880	0.7432	0.5164	2.8082	3.5214	0.7988	3.1396	1.0556	1.0823
Niepewność standardowa A	0.3842	0.1826	0.1690	0.1543	0.1952	0.1826	0.7270	0.9155	0.2070	0.8106	0.2928	0.2845
Niepewność złożona	0.0109	0.0052	0.0048	0.0044	0.0055	0.0052	0.0206	0.0260	0.0059	0.0230	0.0083	0.0081

Źródło: opracowanie własne

Przy pierwszej próbce (PB1) można zauważyć zmianę zarówno w liczbie wahnicy, jak i w czasie tłumienia: w odchyleniu 6-3° liczba wahnicy wyniosła 56, gdzie w warunkach normatywnych była to taka sama ilość - 56 pełnych wahnicy. Podobną zmianę widać przy wygaszaniu całkowitym 6-0°: w warunkach normatywnych wahadło wykonało 152 wahnicy, a po oddziaływaniu otoczenia 3,5% NaCl w okresie 24h - 156 ruchów. Zmiany w wygaszaniu wahadła widać też w czasie tłumienia: w warunkach normatywnych była to 1 minuta i blisko 32 sekundy, a w zmienionym otoczeniu o zasoleniu 3,5% przez narażenie w czasie 24h - 1 minutę i 39 sekund. Zmiany można wyrazić przez wyznaczenie stosunku procentowego względem warunków normatywnych. Można zatem określić zmianę w przedziale 6-3° o 0%, w przedziale 6-0° o +2.6% oraz w czasie o +8.8%. W tym

przypadku próbki nieznacznie zwiększyła swoją twardość tylko przy uwzględnieniu pełnego ruchu wahadła.

W produkcji PB2 także nastąpiła zmiana ilości jak i czasu wahań. Zmiana tłumienia w przedziale 6–3° wzrosła z 12 do 14, w przedziale 6–0°: brak zmiany ilości wahań i czas: z 12.66 sekundy do 13.21 sekund. Procentowo zmiany możemy wyrazić jako: w przedziale 6–3° zmiana +16.7%; w przedziale 6–0° brak zmian, a w czasie: +8.3%. Z parametrów tej próbki wynika, że poddanie powłoki na wpływ czynników takich jak 3,5% roztwór NaCl może wpływać na zwiększenie twardości powłoki.

Zmiana występuje także w próbce PB3. Tłumienie wahadła zmieniło się: z 12 na 14 wahań w przedziale 6–3°, z 26 na 30 w przedziale 6–0°, w czasie – z 17.84 sekundy do 19.33 sekundy. Powyższe zmiany wyrażone procentowo wynoszą: +16,7% – w wygaszaniu 6–3°, +15,4% – dla stopni od 6 do pionu, w czasie – +9.6%. Zauważalny jest zatem również wzrost twardości powłoki.

Dla czwartej próbki (PB4) zmiana wahań w przedziale 6–3° wynosi z 14 do 16, a w przedziale 6–0° – z 28 do 30, a zmiana w czasie: z 17.37 sekundy do 19.65 sekund. Procentowo zmiany te wynoszą: dla przedziału 6–3° zmianę o +14.3%, dla przedziału 6–0° – zmianę o +7.1%, a w czasie – o +12.6%. Poraz kolejny zauważa się wzrost twardości powłoki.

Dla produktu PB5 przeprowadzone badanie wykazało następujące wyniki: zmiany wahań – z 30 do 34 w zakresie 6–3°, z 80 do 88 – dla zakresu 6–0°; w czasie – z 1 minuty i 1 sekundy do 1 minuty i 5.45 sekundy. Zmiany te wyrażone procentowo wynoszą: o +13.3% dla przedziału 6–3° i o +10% w przedziale 6–0° oraz +6.5% w czasie. Zmiana twardości powłoki ponownie uległa podwyższeniu.

Dla próbki PB6 zmiana wahań w przedziale 6–3° wyniosła z 18 do 20, w przedziale 6–0° – z 32 do 36, a w czasie: z 20.88 sekundy do 23.48 sekund. Zmiany te można wyrazić procentowo jako: +11.1% dla zakresu 6–3° i +12.5% dla zakresu 6–0° oraz +12.4% zmiany w czasie tłumienia wahadła. Występuje w tej próbce wzrost twardości powłoki.

Przy produkcji siódmym (PB7) zmiany tłumienia wynoszą: dla przedziału 6–3° z 114 na 96 wahań, a w przedziale 6–0° – z 524 na 490 wahań, w czasie – z czterech minut i 54 sekund na cztery minuty i blisko 27 sekund. Procentowa zmiana w przedziale 6–3° wynosi –15.8%, w przedziale 6–0° – -6.5%, a w czasie – -7.7%. Jest to pierwsza próbka, dla której odnotowane zostało zmniejszenie się twardości powłoki po narażeniu na otoczenie podwyższonego zasolenia do poziomu 3,5% NaCl w okresie 24 godzin.

W badaniu produktu PB8 uzyskano zmiany w liczbie wahań: dla przedziału 6–3° – z 100 do 98, dla przedziału 6–0° – z 384 do 378, a także w czasie – z trzech minut i 53 sekund do trzech minut i 48 sekund. Procentowo zmiany zachodziły o -2% w przedziale 6–3°, -1.6% – w przedziale 6–0° oraz o -0.9% – w czasie. Jak widać, w tej próbce wielkość zmian wszystkich parametrów jest na podobnym poziomie, a powłoka lakiernicza zwiększyła twardość.

Przy badaniu produktu PB9 odnotowano następujące zmiany wahań wynosiły odpowiednio: dla przedziału 6–3° – z 18 do 20, dla przedziału 6–0° – z 56 do 58, a także w czasie – z trzydziestu trzech sekund do trzydziestu pięciu sekund. Procentowo zmiany zachodziły o +11.1% w przedziale 6–3°, +3.6% – w przedziale 6–0° oraz o +3.8% –

w czasie. Zmiany w tym przypadku są dodatnie, a więc twardość powłoki lakierniczej wzrosła.

W badaniu produktu dziesiątego (PB10) nastąpiło zmniejszenie ilości wahnąć z 106 na 100 w przedziale 6–3°, spadek z 438 na 432 w przedziale 6–0° oraz zmianę czasu z 5 minut i 12 sekund do 5 minut i 4 sekund. Procentowo zmiany te możemy przedstawić jako zmianę w pierwszym przedziale o –5.7%, w drugim przedziale o –1.4% oraz w czasie o –2.9%. Przy tym produkcie odnotowano zmniejszenie się twardości produktu po narażeniu na oddziaływanie otoczenia 3,5% NaCl w okresie 24h

Dla produktu jedenastego (PB11) zmiana liczby wahnąć z 34 na 38 wystąpiła w zakresie 6–3°. Dla przedziału 6–0° zmiana ta wyniosła: z 86 do 96 wahnąć, a zmiana czasu – z 53 sekund do 1 minuty i 2 sekund. Procentowo zmiany wynoszą więc: +11,8% dla zakresu 6–3° i +11,6% w przedziale 6–0°, a w czasie o +17%. Próbką ta wykazała więc zmianę twardości powłoki: na bardziej twardą – twardość powłoki uległa zwiększeniu.

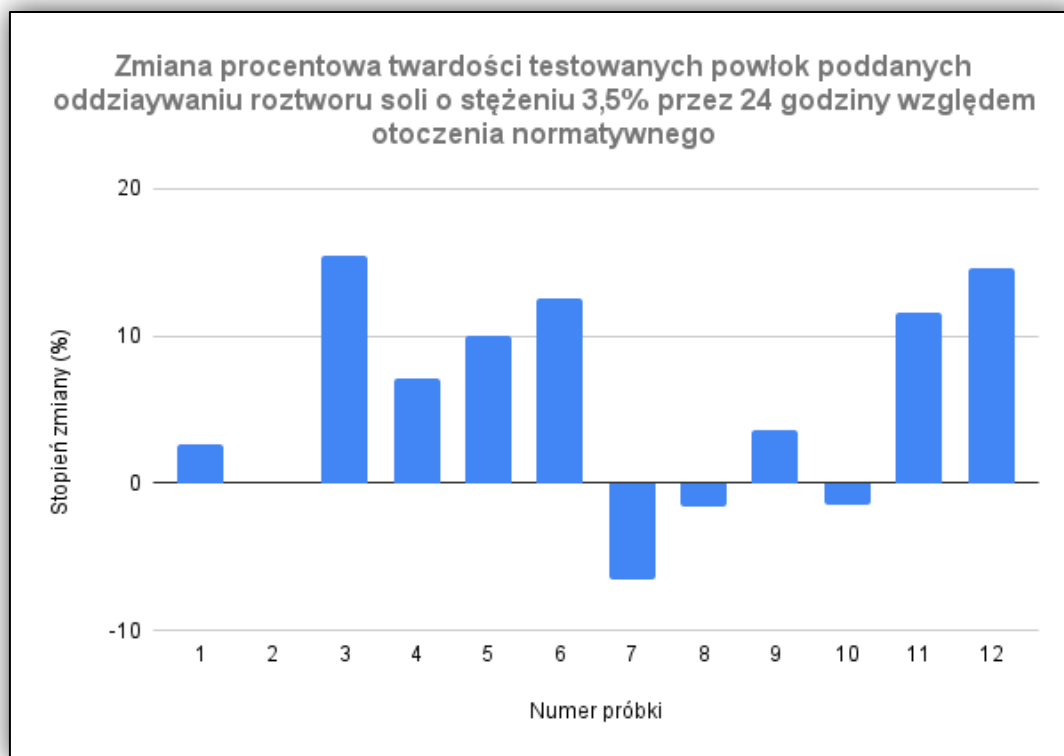
Produkt PB12 w przedziale 6–3° nie zmienił ilości wahnąć, a w zakresie 6–0° – z 96 do 110 wahnąć, czas – z 1 minuty i 17 sekund do 1 minuty i blisko 35 sekund. Procentowo zmiana w przedziale 6–3° wyniosła 0%, a w przedziale 6–0° – +14.6%, w czasie – +22.1%. W tym produkcie nastąpiło ponownie zwiększenie się twardości powłoki. Wszystkie opisane wyniki przedstawia Tabela 28.

Tabela 28. Zależność zmian tłumienia wahadła po poddaniu próbek otoczeniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 24h.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	0	16.7	16.7	14.3	13.3	11.1	-15.8	-2	11.1	-5.7	11.8	0
6-0°	2.6	0	15.4	7.1	10	12.5	-6.5	-1.6	3.6	-1.4	11.6	14.6
Czas	8.8	8.3	9.6	12.6	6.5	12.4	-7.7	-0.9	3.8	-2.9	17	22.1

Źródło: opracowanie własne

Wykres słupkowy (Rysunek 194.) przedstawia zależności zmian twardości próbek określone procentowo dla oddziaływania 3,5 roztworu NaCl w czasie 24 godzin, względem otoczenia normatywnego. Punktem odniesienia „0” na wykresie słupkowym jest twardość danej powłoki (próbki) w otoczeniu normatywnym. Przy oddziaływaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 24 godzin zauważa się wzrost twardości powłoki lakierowej w przypadkach próbek 1, 3, 4, 5, 6, 9, 11 oraz 12. Tylko dla próbek 7, 8 oraz 10 odnotowano spadek twardości. W przypadku próbki numer 2 nie odnotowano wpływu roztworu na jej twardość. Można stwierdzić, iż w większości przypadków oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin powoduje wzrost twardość powłoki lakierowej w większości przypadków.



Rysunek 194. Wykres obrazujący różnicę procentową w wygaszaniu dla otoczenia roztworu soli 3,5% w okresie 24 godzin względem tłumienia w otoczeniu normalywnym.

Źródło: Opracowanie własne

Badania powłok przeprowadzone po narażeniu na oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl przez 24 godziny wykazały wzrost twardości w powłokach PB3, PB4, PB5, PB6, PB9, PB11 oraz PB12. W przypadku próbek PB1, PB7, PB8 oraz PB10 odnotowano obniżenie twardości. Próbka PB2 nie zmieniła twardości powłoki.

W celu określenia wielkości zachodzących zmian twardości po narażeniu na czynniki otoczenia solnego, przeprowadzono badania poddając próbki narażeniu na to samo stężenie roztworu NaCl, lecz w dłuższym okresie tj. W czasie 168 godzin. Kolejność próbek oraz sposób przeprowadzania badań zostały zachowane jak w uprzednio opisywanych badaniach. Wyniki badań przedstawia Tabela 29.

Tabela 29. Liczba wahnięć oraz czas tłumienia wahadła Königa po poddaniu próbek oddziaływaniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 168 godzin.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	42	20	14	26	34	26	66	60	22	88	50	46
6-0°	120	36	32	60	92	52	388	400	64	416	118	174
Czas	1:12.87	22.69	22.69	21.11	35.68	01:03.74	34.04	03:56.49	1:28.80	04:35.70	01:14.09	01:22.62

Źródło: opracowanie własne.

Otrzymane wyniki przeliczono w wartości twardości T . (Tabela 30.).

Tabela 30. Twardość powłok po poddaniu na oddziaływanie 3,5% NaCl w czasie 168 godzin.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Twardość powłoki	0.3182	0,1515	0,1061	0,1970	0.2576	0.1970	0.5000	0.4545	0.1667	0.6667	0.3788	0.3485

Źródło: opracowanie własne

W następnej kolejności, analogicznie do poprzednich przykładów obliczono wartości niepewności pomiarowych, które prezentuje Tabela 31. Niskie wartości niepewności pomiarowych świadczą o wysokiej dokładności przeprowadzonych badań.

Tabela 31. Zestawienie wartości niepewności pomiarów po poddaniu próbek oddziaływaniu 3,5% NaCl w czasie 168 godzin.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Odchylenie standardowe	0,7746	0,5164	0,3780	0,6172	1,0823	0,6761	1,0998	1,4475	0,9411	0,9612	1,5523	1,2228
Niepewność standardowa A	0,2070	0,1826	0,0976	0,1826	0,2845	0,1826	0,2928	0,3842	0,5390	0,2582	0,4024	0,3162
Niepewność złożona	0,0059	0,0052	0,0028	0,0052	0,0081	0,0052	0,0083	0,0109	0,0153	0,0073	0,0114	0,0090

Źródło: opracowanie własne.

Dla pierwszego produktu (PB1) można zauważyć istotną zmianę, zarówno w liczbie wahnięć jak i czasie tłumienia. Liczba wahnięć dla odchylenia 6–3° wyniosła 42 pełnych wahnięć, gdzie podczas tłumienia w warunkach normatywnych było ich 56. Większą zmianę widać w wygaszaniu całkowitym, 6–0°: w zmienionym środowisku o podwyższonym zasoleniu do poziomu 3,5% NaCl przy narażeniu w okresie 7 dni wahadło wykonało 120 pełnych wahnięć, a w warunkach normatywnych – 152. Zmiany tłumienia wahadła mają także odzwierciedlenie w czasie tłumienia: w otoczeniu o zwiększonym zasoleniu – 1 minutę i blisko 13 sekund, w warunkach normatywnych – 1 minutę i niespełna 32 sekundy. Dla zwiększenia przejrzystości oraz zobrazowania zmian wyrażono je przez wyznaczenie stosunku procentowego tłumienia wahadła w warunkach normatywnych. Można zatem określić zmianę w przedziale 6–3° na -25%, w przedziale 6–0° – na -21% oraz w czasie na -20,9%. Co oznacza, że twardość powłoki PB1 uległa zmniejszeniu.

Liczba wahnięć wahadła uległa także zmianie w produkcie drugim (PB2). Tłumienie w przedziale 6–3° uległo zmianie w ilości z 12 do 36 wahnięć, w przedziale 6–0° – z 24 do 36, a czas – z 12,66 sekundy do 22 sekund i 69 setnych. Zmiany wyrażane w procentach wynoszą: w przedziale 6–3° – +66%, w przedziale 6–0° – +50%, a w czasie – +83.3%. Zmiany te oznaczają wzrost twardości powłoki produktu PB2.

Podobną sytuację zaobserwowano w próbce PB3. Tłumienie wahadła uległo zmianie względem otoczenia normatywnego z 12 na 14 wahnięć w przedziale 6–3°, a z 26 na 32 – w przedziale 6–0°, natomiast w czasie – z 17,84 sekundy do 21 sekund i 11 setnych. Można to wyrazić jako zmianę wynoszącą +16.6% w wygaszaniu od 6–3°, +23.1% dla stopni od 6 do pionu, a także w czasie +23.5%. Jak widać, to kolejna próbka, w której wartość twardości powłoki zwiększyła się.

W próbce PB4 zmiana wahnięć w przedziale 6–3° wynosi z 14 do 26, w przedziale 6–0° – z 28 do 60, a w czasie – z 17.37 sekundy do 35 sekund i 68 setnych. Zmiany te wyrażone w procentach wynoszą: dla przedziału 6–3° zmianę o +85.7%, dla przedziału 6–0° zmianę o +114.3%, a także w czasie – o +105%. Odnotowano zatem znaczący wzrost twardości powłoki.

W badaniu próbki piątej zanotowano zmiany wahnięć z 30 do 34 w zakresie 6–3°, z 80 do 92 – dla zakresu 6–0°, a także w czasie – z 1 minuty i 1 sekundy do 1 minuty i niespełna 4 sekund. Zmiany są tu niewielkie, a procentowo jest to zmiana o +13.3% dla przedziału 6–3°, zmiana o +15% w przedziale 6–0° oraz +3.3% w czasie. Twardość powłoki uległa także zwiększeniu, lecz niewielkiemu.

W próbce PB6 zmiana wahnięć w przedziale 6–3° wyniosła z 18 do 26, w przedziale 6–0° – z 32 do 52, a w czasie z 20.88 sekundy do 34 sekund. Zmiany te wyrażamy procentowo jako zmianę o +44.4% dla zakresu 6–3°, +62.5% dla zakresu 6–0° oraz +61.9% zmiany w czasie tłumienia wahadła. Wyniki te dowodzą, iż wartość twardości powłoki PB6 uległa zwiększeniu.

Badania próbki siódmej (PB7) wykazały, że zmiany tłumienia wynoszą: dla przedziału 6–3° – z 114 na 66 wahnięć, w przedziale 6–0° – z 524 na 388 wahnięć, a w czasie – z czterech minut i 54 sekund na 3 minuty, 56 sekund i 49 setnych. Procentowa zmiana w przedziale 6–3° wynosi –42.1%, w przedziale 6–0° – –25.9% oraz w czasie o –19.7%. Jest to już drugi przypadek ukazujący zmniejszenie twardości powłoki – stała się ona miększa.

Dla próbki PB8 wyniki zmian w liczbie wychyleń wahadła prezentują się następująco: dla przedziału 6–3° – ze 100 do 60, dla zakresu 6–0° – z 384 do 400, a także w czasie – z 3 minut i 53 sekund do 2 minut i blisko 41 sekund. Procentowo zmiany te można wyrazić jako zmianę o: –40% w przedziale 6–3°, 4% w przedziale 6–0° i –31% w czasie. Powłoka lakiernicza pod wpływem oddziaływania 3,5% roztworu NaCl w okresie 168 godzin zmniejszyła twardość.

Przeprowadzając badania na próbce dziewiątej, zauważono zmianę liczby wahnięć w zakresie 6–3°, która wynosi z 18 na 22, w zakresie 6–0° wynosi z 56 na 64, a w czasie – z 33,9 sekundy do 1 minuty, 28 sekund i 80 setnych. Procentowo można wyrazić to jako zmianę o +22.2% w przedziale 6–3°, o +14.3% w przedziale 6–0° oraz o +16.1% – w czasie. W tym przypadku twardość powłoki nieznacznie wzrosła.

Dla produktu dziesiątego liczba wychyleń wahadła dla przedziału 6–3° zmniejszyła się ze 106 do 88, w przedziale 6–0° nastąpiła zmiana z 438 do 416 wahnięć, a w czasie z pięciu minut i 12 sekund do czterech minut i blisko 36 sekund. Procentowo można to wyrazić jako zmiany o: –16.9% w przedziale 6–3°, –5% w przedziale 6–0°, a w czasie –11.8%. Zmiany te wykazują obniżenie twardości powłoki lakierniczej.

W próbce PB11 zmiana liczby wahnięć nastąpiła: z 34 na 50 w zakresie 6–3°, dla przedziału 6–0° – z 86 do 118 wahnięć, a dla czasu – z 53 sekund do 1 minuty i 14 sekund. Procentowo zmiany wynoszą: +47% dla zakresu 6–3°, +37% dla zakresu 6–0° oraz +39.6% dla czas. Powłoka lakiernicza stała się twardsza.

Badanie próbki PB12 wykazało zmianę: w przedziale 6–3° – z 52 do 46 wahnięć, w zakresie 6–0° – z 96 do 174 wahnięć, a w czasie z 1 minuty i 17 sekund do 1 minuty, 22

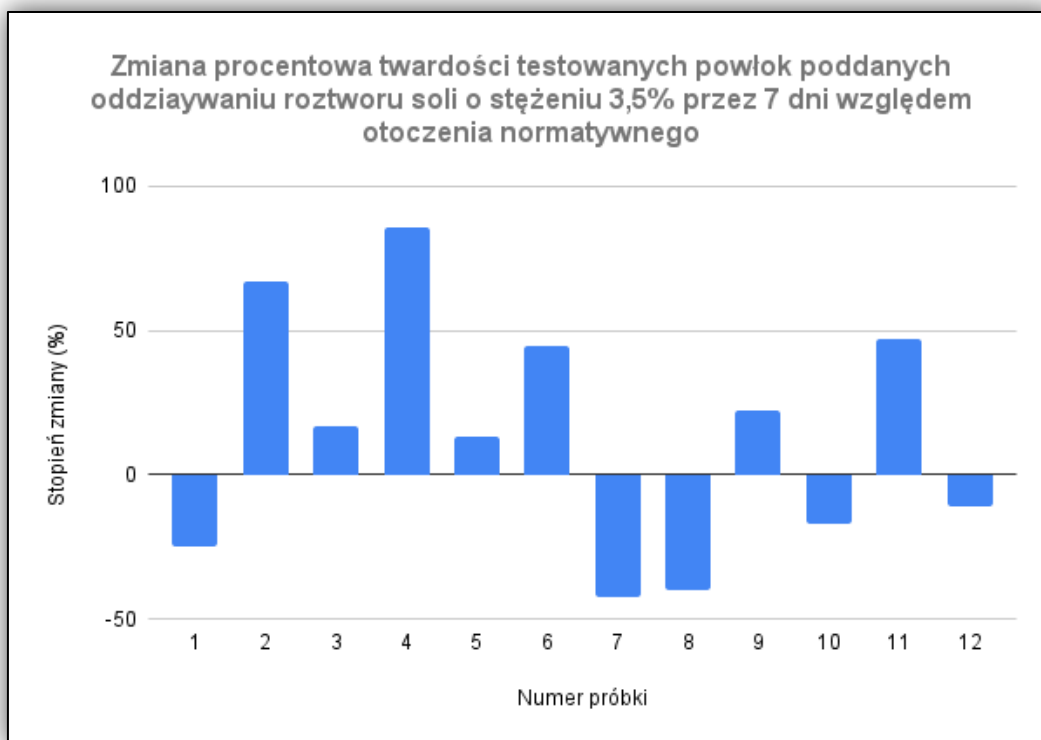
sekund i 62 setnych. Procentowo zmiana w przedziale 6–3° wyniosła -11%, w przedziale 6–0° – +81.2%, a w czasie – +6.5%. W tej próbce można zauważyć wzrost twardości powłoki.

Tabela 32. Zależność zmian tłumienia wahadła Königa po poddaniu próbek na oddziaływanie otoczenia 3,5% NaCl w czasie 168 godzin.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	-25	66,6	16,6	85,7	13,3	44,4	-42,1	-40	22,2	-16,9	47	-11
6-0°	-21	50	23,1	114,3	15	62,5	-25,9	4	14,3	-5	37	81,2
Czas	-20,9	83,3	23,5	105	3,3	61,9	-19,7	-31	161	-11,8	39,6	6,5

Źródło: opracowanie własne.

W Tabeli 32 przedstawiono zbiór wyników przeprowadzonych badań. Po wykonaniu wszystkich powtórzeń oraz porównań utworzono wykres obrazujący zmiany procentowe zachodzące w badaniach po oddziaływaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin w stosunku do otoczenia normatywnego (Rysunek 195.). Punktem odniesienia „0” na wykresie słupkowym jest twardość danej powłoki (próbki) w otoczeniu normatywnym. Przy oddziaływaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin zauważa się wzrost twardości powłoki lakierowej w przypadkach próbek 2, 3, 4, 5, 6, 9 oraz 11. Dla próbek 1, 7, 8 oraz 10 oraz 12 odnotowano spadek twardości. Można stwierdzić, iż w większości przypadków oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin powoduje wzrost twardości powłoki lakierowej w większości przypadków.



Rysunek 195. Wykres obrazujący zachodzące zmiany procentowe w otoczeniu o podwyższonym zasoleniu do stężenia 3,5% przez okres 168 godzin w stosunku do otoczenia normalnego.

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki badań przeprowadzonych po poddaniu na oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl w czasie 168 godzin ukazały wzrost twardości powłok w produktach PB2, PB3, PB4, PB5, PB6, PB9 oraz PB11. W przypadku produktów PB1, PB7, PB8, PB10 oraz PB12 otrzymano wyniki świadczące o spadku wartości twardości powłok lakierowych.

W celu ponownego sprawdzenia oraz potwierdzenia wiarygodności otrzymywanych badań jak i dla określenia siły oddziaływania roztworu 3,5% NaCl w dłuższym okresie, przeprowadzono badania przy narażeniu próbek na roztwór w czasie 336 godzin. Otrzymane wyniki przedstawia Tabela 33.

Tabela 33. Liczba wahnięć oraz czas tłumienia wahadła Königa po poddaniu próbek działaniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	40	18	14	20	30	22	48	46	48	86	32	50
6-0°	102	36	32	40	82	48	248	312	228	402	104	224
Czas	01:04.30	22.32	22.12	26.67	54.10	33.25	02:35.90	02:10.90	02:35.74	04:25.43	01:15.9	02:24.0

Źródło: opracowanie własne.

Powyższe wyniki zostały przeliczone na wartości twardości powłoki T. Otrzymane wartości twardości przedstawia Tabela 34.

Tabela 34. Zestawienie wartości twardości powłok po poddaniu próbek działaniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Twardość powłoki	0,3030	0,1364	0,1061	0,1515	0,2273	0,1667	0,3636	0,3485	0,3636	0,6515	0,2424	0,3788

Źródło: opracowanie własne.

Dla wszystkich otrzymanych wyników obliczono niepewności pomiarowe. Wszelkie otrzymane wartości niepewności przedstawia Tabela 35. Niskie wartości niepewności pomiarowych świadczą o wysokiej dokładności przeprowadzonych badań.

Tabela 35. Wartości niepewności pomiarów po poddaniu próbek działaniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin.

Numer próbki	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
Odchylenie standardowe	0,9612	0,5071	0,8338	0,5936	0,7432	1,3558	1,3202	1,6125	0,9155	1,2071	0,8281	1,3020
Niepewność standardowa A	0,2488	0,1690	0,2488	0,1690	0,2289	0,3716	0,3450	0,4198	0,2673	0,3162	0,2390	0,3586
Niepewność złożona	0,0071	0,0048	0,0071	0,0048	0,0065	0,0105	0,0098	0,0119	0,0076	0,0090	0,0068	0,0102

Źródło: opracowanie własne

Już od próbki PB1 można zauważyć zmiany zarówno w liczbie wahań, jak i w czasie tłumienia w stosunku do warunków normatywnych. W odchyleniu 6–3° liczba wahań wyniosła 40, podczas gdy w warunkach normatywnych było to aż 56 pełnych wahań. Jeszcze większą różnicę widać przy wygaszaniu całkowitym 6–0°: w warunkach normatywnych wahadło wykonało 152 wahań, a po narażeniu na otoczenie roztworu NaCl o stężeniu 3,5% w czasie 336 godzin 204 wahań. Czas tłumienia w tym przypadku wynosił 1 minutę i blisko 32 sekundy, a w zmienionym otoczeniu – 1 minutę, 4 sekund i 30 setnych. Aby lepiej zobrazować te zmiany, można je wyrazić procentowo względem warunków normatywnych: zmiana w przedziale 6–3° wynosi -28%, w przedziale 6–0° -32,9%, a w czasie -29,7%. Można zauważyć w tej próbce zmniejszenie twardości powłoki.

Zmiany liczby wahań są również widoczne w drugim produkcie (PB2). W przedziale 6–3° liczba wahań wzrosła z 12 do 18, w przedziale 6–0° z 24 do 36, a czas tłumienia wydłużył się z 12,66 sekundy do 23 sekund i 32 setnych. Procentowe zmiany wynoszą: w przedziale 6–3° +50%, w przedziale 6–0° +50%, a w czasie +84,9%. Można zatem stwierdzić, że poddanie powłoki lakierniczej na oddziaływanie środowiska o zwiększonym zasoleniu może wpłynąć na zwiększenie twardości powłoki.

Podobna sytuacja występuje w próbce PB3: liczba wahań w przedziale 6–3° wzrosła z 12 do 14, w przedziale 6–0° z 26 do 32, a czas tłumienia wydłużył się z 17,84 sekundy do 22 sekund i 12 setnych. Procentowe zmiany wynoszą: +16,7% w przedziale 6–3°, +50% w przedziale 6–0°, a w czasie +25,6%. Zauważa się wzrost twardości powłoki.

Dla próbki PB4 liczba wahań w przedziale 6–3° wzrosła z 14 do 20, a w przedziale 6–0° z 28 do 40, a czas tłumienia wydłużył się z 17,37 sekundy do 26 sekund i 67 setnych.

Procentowe zmiany wynoszą: +42,9% w przedziale 6–3°, +42,9% w przedziale 6–0°, a w czasie +53,4%. Jest to kolejna próbka, której twardość powłoki zwiększyła się.

Badanie produktu PB5 przyniosło następujące wyniki: liczba wahnąć w przedziale 6–3° nie zmieniła się i pozostała na poziomie 30, w przedziale 6–0° z 80 do 82, a czas tłumienia wydłużył się z 1 minuty i sekundy do pięćdziesięciu czterech sekund. Procentowe zmiany wynoszą: 0% w przedziale 6–3°, +2,5% w przedziale 6–0° oraz –11,3% w czasie. Powłoka jest więc nieznacznie twardsza.

W badaniach próbki szóstej (PB6) liczba wahnąć w przedziale 6–3° wzrosła z 18 do 22, w przedziale 6–0° z 32 do 48, a czas tłumienia uległ wydłużeniu z 20.88 sekundy do 33 sekund i 25 setnych. Procentowe zmiany wynoszą: +22,2% w przedziale 6–3°, 50% w przedziale 6–0° oraz 59,3% w czasie tłumienia. Dochodzi tu do zmniejszenia twardości powłoki lakierniczej.

Przy produkcie siódmym (PB7) liczba wahnąć w przedziale 6–3° zmniejszyła się z 114 do 48, a w przedziale 6–0° z 524 do 248, a czas tłumienia skrócił się z czterech minut i 54 sekund do dwóch minut i niespełna 36 sekund. Procentowe zmiany wynoszą: –57,9% w przedziale 6–3°, –52,7% w przedziale 6–0° oraz –46,9% w czasie. W tej próbce zauważamy zmniejszenie twardości powłoki.

Również w badaniu produktu PB8 uzyskano zmiany w liczbie wahnąć: w przedziale 6–3° z 100 do 46, w przedziale 6–0° z 384 do 312, a czas tłumienia skrócił się z trzech minut i 53 sekund do dwóch minut i blisko 11 sekund. Procentowe zmiany wynoszą: –54% w przedziale 6–3°, –18,8% w przedziale 6–0° oraz –44,2% w czasie. W tej próbce wielkość zmian wszystkich parametrów jest na podobnym poziomie, a powłoka lakiernicza zmniejszyła twardość.

W badaniu próbki PB9 liczba wahnąć zwiększyła się: w przedziale 6–3° z 18 do 48, w przedziale 6–0° z 56 do 228, a czas tłumienia uległ wydłużeniu z 33 sekund do aż 2 minut. 35 sekund i 74 setnych. Procentowe zmiany wynoszą: +166,7% w przedziale 6–3°, +307,1% w przedziale 6–0° oraz blisko +358,7% w czasie. W tym przypadku możemy zaobserwować bardzo dużą zmianę twardości powłoki - utwardzenie się powierzchni.

Badanie produktu dziesiątego (PB10) wykazało, że liczba wahnąć w przedziale 6–3° zmniejszyła się z 106 do 86, a w przedziale 6–0° z 438 do 402, a czas tłumienia skrócił się z pięciu minut i 12 sekund do czterech minut, 25 sekund i 43 setnych. Procentowe zmiany wynoszą: –18,9% w przedziale 6–3°, –8,2% w przedziale 6–0° oraz –15,1% w czasie. Zmiany te wykazują obniżenie twardości badanej powłoki lakierniczej.

Dla produktu PB11 liczba wahnąć w przedziale 6–3° zmniejszyła się z 34 do 32, w przedziale 6–0° z 86 wzrosła do 104, a czas tłumienia wydłużył się z 53 sekund do 1 minuty i blisko 16 sekund. Procentowe zmiany wynoszą: –5,9% w przedziale 6–3°, +20,9% w przedziale 6–0° oraz +87% w czasie. Próbka ta wykazała zwiększenie twardości powłoki.

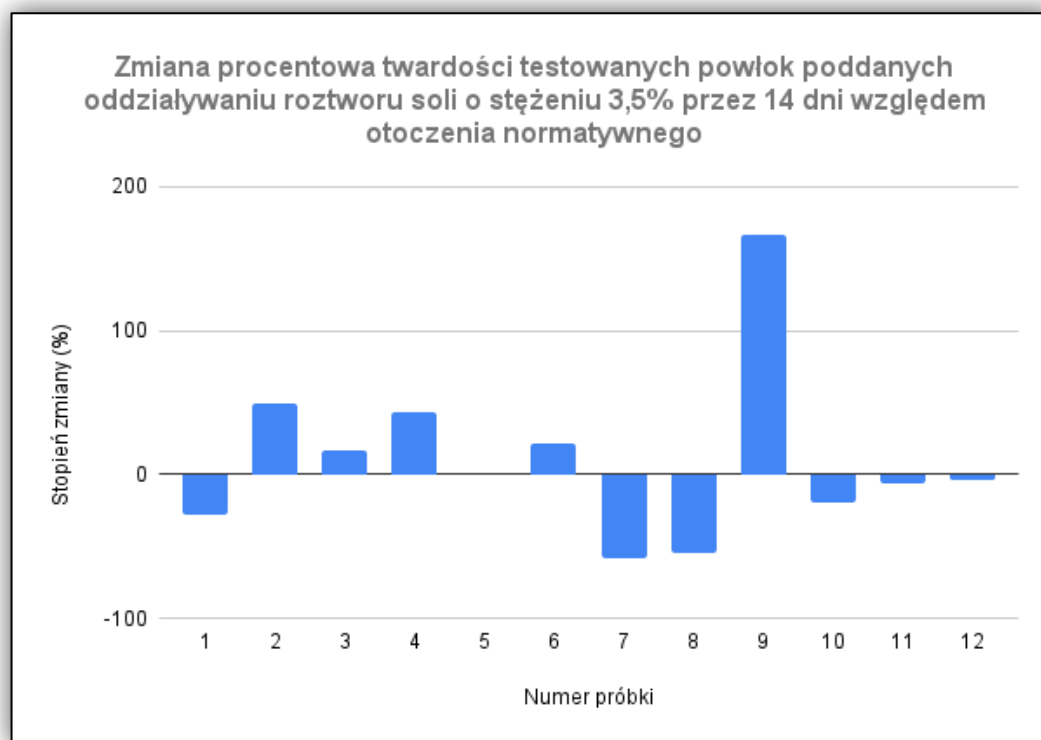
Przy produkcie PB12 liczba wahnąć w przedziale 6–3° zmniejszyła się z 52 do 50, w przedziale 6–0° wzrost z 96 do 224, a czas tłumienia wzrósł z 1 minuty i 17 sekund do 2 minut i 24 sekund. Procentowe zmiany wynoszą: –3,9% w przedziale 6–3°, +1,3% w przedziale 6–0° oraz 87% w czasie. W tej próbce nastąpiło zmniejszenie twardości powłoki lakierniczej. Opisane wyniki przedstawia Tabela 36.

Tabela 36. Zależność zmian tężenia wahadła po poddaniu próbek działaniu roztworu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6	PB 7	PB 8	PB 9	PB 10	PB 11	PB 12
6-3°	-28	50	16,7	42,9	0	22,2	-57,9	-54	166,7	-18,9	-5,9	-3,9
6-0°	-32,9	50	50	42,9	2,5	50	-52,7	-18,8	307,1	-8,2	20,9	1,3
Czas	-29,7	84,9	25,6	53,4	-11,3	59,3	-46,9	-44,2	358,7	-15,1	41,5	87

Źródło: opracowanie własne

Podobnie jak w poprzednich przypadkach, wykonano wykres (Rysunek 196.) porównawczy w celu zobrazowania zmian procentowych zachodzących w środowisku o stężeniu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin w stosunku do otoczenia normatywnego. Punktem odniesienia „0” na wykresie słupkowym jest twardość danej powłoki (próbki) w otoczeniu normatywnym. Przy oddziaływaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin zauważa się wzrost twardości powłoki lakierowej w przypadkach próbek 2, 3, 4 oraz 9. Dla próbek 1, 7, 8, 10, 11 oraz 12 odnotowano spadek twardości. W przypadku próbki numer 5 nie odnotowano zmiany twardości powłoki. Można stwierdzić, iż w większości przypadków oddziaływanie 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin powoduje spadek twardości powłoki lakierowej w większości przypadków.



Rysunek 196. Wykres obrazujący zmianę procentową twardości powłok lakierniczych po poddaniu próbek na oddziaływanie roztworu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin względem otoczenia normatywnego.

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki otrzymane w badaniach przeprowadzonych po oddziaływaniu 3,5% roztworu NaCl w czasie 336 godzin wykazały wzrost twardości w próbkach PB2, PB3, PB4, PB6 oraz PB9. Produkty PB1, PB7, PB8, PB10, PB11 oraz PB12 wykazały obniżenie twardości powłoki. Dla produktu PB5 nie odnotowano zmiany w twardości powłoki.

3.2. Porównanie właściwości wszystkich badanych próbek w zależności od warunków otoczenia

Niniejsza analiza ma na celu wyjaśnienie potencjalnych korelacji pomiędzy składem substancji powłokotwórczych badanych próbek a zmianami ich twardości w różnych warunkach środowiskowych. Badanie opiera się na danych dotyczących zmian procentowych twardości próbek poddanych działaniu obniżonej i podwyższonej temperatury oraz roztworów soli o różnym stężeniu i czasie ekspozycji. Informacje o składzie substancji powłokotwórczych pochodzą z załączonych przez producenta informacji opisujących poszczególne próbki (karty produktu).

Analiza opiera się na wynikach procentowych zmianach twardości próbek (PB1-PB12) w odchyleniu wahadła precyzowanym przez normę ISO 1522 (jako otoczenie normatywne), które zostały poddane różnym czynnikom środowiskowym. Zidentyfikowano główne typy substancji powłokotwórczych dla każdej próbki na podstawie danych producentów. Następnie porównano te informacje ze zmianami twardości w poszczególnych warunkach (Rysunek 191, Rysunek 192, Rysunek 193, Rysunek 194, Rysunek 195, Rysunek 196). Należy zaznaczyć, że analiza ma charakter ogólny ze względu na ograniczoną ilość przeprowadzanych badań, jak i ograniczoną ilość substancji poddanych badaniom.

Poniżej przedstawiono zaobserwowane tendencje w zmianach twardości w zależności od typu substancji powłokotwórczej i warunków środowiskowych:

W obniżonej temperaturze powłoki na bazie dyspersji akrylowej (polimery akrylowe) (PB1, PB4, PB5, PB6) oraz dyspersji lateksowej (akrylowej) (Próbki PB2, PB3) generalnie wykazywały znaczący wzrost twardości. Próbka zawierająca żywicę akrylową (PB7) odnotowała spadek twardości. Powłoki zawierające nitrocelulozę (PB8, PB11, PB12) wykazały zróżnicowane wyniki, przy czym dwie próbki wykazały wzrost, a jedna spadek twardości. Próbka z żywicą akrylowo-poliuretanową (PB9) charakteryzowała się znacznym wzrostem twardości. Próbka ze spoiwem silikonowym (PB10) wykazała niewielkie obniżenie twardości.

Przy badaniach powłok w podwyższonej temperaturze powłoki na bazie nitrocelulozy (PB8, PB11, PB12) konsekwentnie wykazywały spadek twardości. Próbka z żywicą akrylową (PB 7) również odnotowała znaczący spadek twardości. Powłoki na bazie dyspersji akrylowej i lateksowej wykazały bardziej zróżnicowane reakcje, z obserwacją zarówno wzrostu, jak i spadku twardości w zależności od próbki. Próbka z żywicą akrylowo-poliuretanową (PB 9) oraz ze spoiwem silikonowym (PB10) wykazały spadek twardości.

Badania przeprowadzone pod wpływem roztworu soli (NaCl) podzielono na części w zależności od poziomu stężenia roztworu oraz czasu oddziaływania. Na podstawie przeprowadzonych badań w roztworach soli można zaobserwować różnorodne reakcje

poszczególnych substancji powłokotwórczych na te warunki. W przypadku roztworu soli o stężeniu 10% przez okres 168 godzin, większość próbek wykazała wzrost twardości, przy czym niektóre z nich, takie jak dyspersje lateksowe (PB2 i PB3) oraz akrylowe (PB4, PB5 i PB6), a także PB12 (zawierająca między innymi kopolimer akrylanów i poliestry), charakteryzowały się znacznym wzrostem twardości. Z kolei próbki zawierające żywicę akrylową (PB7), nitrocelulozę (PB8) oraz spoiwo silikonowe (PB10) wykazały obniżenie twardości.

W teście z roztworem soli o stężeniu 3,5% przez 24 godziny, zmiany twardości były generalnie mniejsze. PB1 (dyspersja akrylowa) oraz PB12 (zawierająca między innymi kopolimer akrylanów i poliester-23) nie wykazały zmian. Większość pozostałych próbek akrylowych (PB2, PB3, PB4, PB5, PB6) wykazała niewielki wzrost twardości, natomiast próbka z żywicą akrylową (PB7) oraz nitrocelulozą (PB8) wykazały niewielki spadek. Interesujący jest wzrost twardości próbki PB9, zawierającej żywicę akrylową i poliuretanową.

Dłuższa ekspozycja na roztwór soli o stężeniu 3,5% przez 168 godzin spowodowała bardziej wyraźne zmiany. Próbki PB2, PB3, PB4, PB5 i PB6, oparte na dyspersjach akrylowych i lateksowych, nadal wykazywały wzrost twardości, przy czym PB4 osiągnęła znaczny wzrost. Zauważalny spadek twardości wystąpił w przypadku próbek PB1 (dyspersja akrylowa), PB7 (żywica akrylowa) i PB8 (nitroceluloza).

Po 336 godzinach oddziaływania roztworu soli o stężeniu 3,5%, tendencje te w pewnym stopniu się utrzymały. Próbki akrylowe i lateksowe generalnie wykazywały wzrost twardości, choć w różnym stopniu. Znaczny spadek twardości zaobserwowano ponownie dla próbek PB7 (żywica akrylowa) i PB8 (nitroceluloza), a także dla próbki PB11 (wieloskładnikowej mieszaniny, w tym nitrocelulozy i kopolimerów). Warto również odnotować znaczny wzrost twardości próbki PB9 (żywica akrylowa i poliuretanowa) oraz próbki PB12 (zawierającej między innymi kopolimer akrylanów i poliester-23).

Podsumowując, reakcja badanych powłok na roztwory soli była zróżnicowana i zależała od stężenia soli, czasu ekspozycji oraz składu chemicznego danej substancji powłokotwórczej. Powłoki na bazie dyspersji akrylowych i lateksowych generalnie wykazywały tendencję do wzrostu twardości pod wpływem soli, szczególnie w wyższym stężeniu i krótszym czasie ekspozycji. Natomiast powłoki zawierające żywicę akrylową i nitrocelulozę częściej ulegały zmiękczeniu pod wpływem roztworów soli, zwłaszcza przy dłuższym czasie ekspozycji. Wyjątkiem była próbka PB9, która wykazała znaczący wzrost twardości we wszystkich badanych roztworach soli. Zaobserwowane korelacje sugerują, że typ polimeru bazowego w powłoce ma wpływ na jej reakcję na zmiany środowiskowe dotyczące temperatury i roztworu NaCl. W szczególności, powłoki akrylowe i lateksowe wydają się wykazywać tendencję do wzrostu twardości w obniżonych temperaturach, co może być związane ze zmianami właściwości fizycznych polimerów w tych warunkach. Z kolei, nitroceluloza i żywica akrylowa wydają się być bardziej podatne na spadek twardości w podwyższonych temperaturach.

Reakcja na roztwory soli jest bardziej złożona i może zależeć od mechanizmów interakcji pomiędzy jonami soli a strukturą polimeru, a także od czasu ekspozycji. Dłuższa ekspozycja na roztwór soli o niższym stężeniu (3,5%) wydaje się prowadzić do bardziej

zróżnicowanych zmian twardości w porównaniu do krótszej ekspozycji na roztwór o wyższym stężeniu (10%).

Przeprowadzona analiza wykazała pewne potencjalne korelacje między typem substancji powłokotwórczej, a zmianami twardości w różnych warunkach środowiskowych. Niemniej jednak, należy podkreślić kilka ograniczeń. Badane powłoki są złożonymi mieszaninami, a obecność innych dodatków poza głównym polimerem może znacząco wpływać na ich właściwości. Właściwości deklarowane przez producentów dla poszczególnych produktów (np. odporność na szorowanie, wilgoć, UV) mogą mieć istotny wpływ na ich reakcję na testowane warunki środowiskowe.

Dalsze badania z większą i bardziej kontrolowaną liczbą próbek oraz szczegółową analizą składu chemicznego powłok byłyby niezbędne do ustalenia bardziej jednoznacznych i statystycznie istotnych korelacji, niemniej jednak przeprowadzone badania ukazują zależność substancji powłokotwórczej (jej twardości) od ekspozycji na różne czynniki otoczenia, które nie są proponowane przez normę ISO. Badania te wykonano dzięki autorskiemu, prototypowemu urządzeniu do pomiarów twardości powłok lakierowych w sposób precyzyjny określają możliwość wykorzystania badanych powłok np. w przemyśle malarskim czy transporcie morskim, ukazują ich jakość ze względu na przeznaczenie.

3.3. Weryfikacja hipotez badawczych

Głównym celem rozprawy doktorskiej było zobjektywizowanie badania jakości powłok lakierowych dzięki zastosowaniu zautomatyzowanego autorskiego prototypowego urządzenia pomiarowego uwzględniającego parametry środowiskowe (temperaturę i zmiany zasolenia próbki) z uwzględnieniem wytycznych normy PN-EN ISO 1522:2008 oraz ISO 1522:2006. Hipoteza główna: Zastosowanie elementów automatyki i elektronicznych sensorów wpłynie pozytywnie na precyzję i poszerzenie możliwości badań jakości oraz identyfikacji powłok lakierowych została zweryfikowana pozytywnie. Dzięki zastosowaniu nowatorskich rozwiązań technologiczno-technicznych urządzenie pomiarowe może zmierzyć krzywą tłumienia wahadła podczas przebiegu całego badania poszerzając możliwości pomiarowe dotychczas stosowanej aparatury. Stosowany do tej pory stopień zaawansowania technicznego urządzeń pomiarowych nie zapewniał tak szczegółowej powtarzalności ani odtwarzalności wykonywanych pomiarów.

Zastosowanie szerokiego spektrum podzespołów elektronicznych, w tym procesora jednoukładowego, pozwoliło na radykalne podniesienie jakości wyników dzięki eliminacji błędów przypadkowych powstających w wyniku niedoskonałości zmysłów ludzkich. Dokładność zastosowanych podzespołów pozwala na precyzyjne oszacowanie niepewności pomiarowych. Klasyczny sposób badań, zgodny z założeniami normy, polega na ręcznym pomiarze czasu tłumienia wahadła za pomocą stopera, co stanowiło newralgiczny punkt badania, gdyż wynik pomiaru obarczony błędem przypadkowym nie gwarantował powtarzalności pomiarów a tym samym ich jakości jaką można osiągnąć przy zastosowaniu czujników elektronicznych. Zastosowanie tych czujników pozwoliło również na zwiększenie precyzji samego pomiaru. W mniejszym stopniu na dokładność pomiarów wpłynęło zastosowanie elektronicznych urządzeń poziomujących. Sensory zastosowane

w prototypowym urządzeniu badawczym takie jak, czujniki wilgotności i temperatury pozwalają na szczegółowe określenie warunków, w których prowadzone są badania twardości powłoki lakierowej. Ciągła rejestracja widma tłumienia wahadła pozwala na identyfikację badanego materiału przez analizę kształtu krzywej tłumienia. Wspomniana ciągła rejestracja widma odbywała się za pomocą laserowych czujników odległości. Dane zarejestrowane w ten sposób przedstawiono na wykresach krzywych tłumienia wahadła. Tłumienie wahadła jest specyficzne dla każdej powłoki i zależy od temperatury otoczenia. Spektra tłumienia wykazują powtarzalność charakterystyczną dla danej powłoki lakierowej za pomocą analizy widm tłumienia. Fakt ten pozwolił na pozytywną weryfikację hipotezy, w której założono, że wykresy tłumienia wahadeł mogą posłużyć do identyfikacji danej powłoki lakierowej względem aktualnie posiadanych w bazie danych (ówcześnie przebadanych próbek) metodą porównawczą. Przy wykonywaniu konstrukcji urządzenia pomiarowego zakładano możliwość analizy próbki w różnych punktach umiejscowienia wahadła. Pomysł ten wymaga większej rozbudowy urządzenia o przekładnie taśmową. Nie zostało to wykonane ze względu na mnogość przeróbek konstrukcyjnych.

Podczas projektowania urządzenia pomiarowego, zastosowano komorę, służącą do stabilizacji warunków środowiskowych, w których wykonywano pomiary. Komora ta stanowiła izolację od wpływu warunków zewnętrznych mogących destabilizować pracę wahadła. Komorę udało się zastosować z powodzeniem do ochrony przed warunkami zewnętrznymi oraz częściową izolację termiczną przy stabilizacji otoczenia badanej próbki.

Podczas konstruowania prototypowego urządzenia badawczego zakładano opracowanie dwupoziomowej metody identyfikacji wahadeł. Pierwszy poziom pozwala na określenie stopnia wychylenia wahadła względem środka układu pomiarowego. Druga metoda zakładała pomiar masy wahała osadzonego na urządzeniu spustowym z wykorzystaniem czujników tensometrycznych. W toku prac projektowych odrzucono ten wariant ze względu na znaczną komplikację całego przedsięwzięcia i ostatecznie pozostawiono jednopoziomową detekcję obejmującą stopień wychylenia wahadła od pozycji startowej. Operator przed przystąpieniem do badań wybiera wahadło i wpisuje jego kod, a urządzenie weryfikuje poprawność tego wyboru stosownym komunikatem.

W ramach realizacji celów szczegółowych, podczas budowy urządzenia zastosowano system monitoringu pracy urządzenia, prezentacji danych pomiarowych i ich bezpośredniej archiwizacji. Założenia te zostały spełnione przez dostosowanie oprogramowania wykonanego w środowisku programistycznym Arduino IDE, które umożliwia też bezpośredni podgląd pracy urządzenia. Archiwizację danych pomiarowych realizuje się bezpośrednio za pomocą komputera klasy PC oraz zapisu na karcie SD przyłączonej do urządzenia. Dzięki dywersyfikacji zapisu danych pomiarowych możliwe było poprawienie bezpieczeństwa w zakresie zapisu pozyskiwanych wyników ze względu na ich automatyczną i ciągłą archiwizację na dwóch niezależnych nośnikach. Automatyzacja całego procesu pomiarowego pozwoliła na utrzymanie jakości pomiarów (dzięki ciągłej kontroli parametrów) i przyczynia się do poszerzenia możliwości w zakresie późniejszej analizy widm tłumienia. Wszystkie pomiary są dokładnie zapisywane począwszy od startu wahadła aż do momentu jego zatrzymania. Automatyczne urządzenie spustowe pozwala na pozyskanie serii danych nawet bez obecności operatora. Dodatkowym walorem urządzenia jest ich wstępna selekcja polegająca na odrzuceniu serii pomiarowych

odbiegających od przyjętej średniej. Wszystkie informacje program automatycznie przekształca w krzywe, które można bezpośrednio analizować.

Wpływ na jakość wyników miała również sama konstrukcja mechanizmu opuszczania wahadła, który precyzyjnie ustawia wahadło na badanej próbce. Mechanizm odpowiadający za wychył wahadła charakteryzuje się dużą (zmierną badaniami i poddaną kalibracji zgodną z normą ISO 1522:2006/2008) powtarzalnością podobnie jak mechanizm odpowiadający za rozpoczęcie ruchu wahadła. Bardzo ważną częścią urządzenia jest ogniwo Peltiera mające na celu regulację temperatury badanej próbki. Nastawienie wartości temperatury jest bardzo dokładne, gdyż temperaturę ogniwa można regulować liniowo przez zmiany natężenia przepływającego prądu przez ogniwo Peltiera. Za kontrolą poziomów temperatury oraz wilgotności odpowiada precyzyjny czujnik DHT. Dzięki zastosowaniu półprzewodnikowego czujnika DHT, uzyskano dane pozwalające na pełną stabilizację otoczenia badanej próbki. Wszystkie wymienione podzespoły pozwoliły na zachowanie powtarzalności, odtwarzalności oraz wysokiej dokładności badań, znacząco poprawiając jakość wyników prowadzonych pomiarów.

W toku prowadzonych badań i po analizie wyników twardości powłok poddanych testom, należy zauważyć, że zmiana temperatury ma bezpośredni i znaczący wpływ na twardość powłok lakierowych. Aktualna norma nie uwzględniała badań obejmujących zmiany temperatury, wilgotności czy różnych czynników otoczenia przy pomiarze twardości powłok. Dzięki przeprowadzonym badaniom można stwierdzić, że wiele stosowanych aktualnie powłok lakierowych należałoby sprawdzić ponownie w zmiennych warunkach otoczenia. Powinny być poddane oddziaływaniu warunków, na które będą narażone podczas użytkowania. Większość badanych próbek w temperaturze obniżonej, tak jak się spodziewano, wykazała wzrost twardości powłoki lakierniczej, względem wartości powłok zbadanych w warunkach zadanych w normie. W niektórych przypadkach wzrost twardości powłoki przekraczał nawet 700%. Takie zmiany w twardości powłok mogą mieć poważne skutki objawiające się zmianą jakości a tym samym użyteczności produktów pokrytych konkretną powłoką lakierniczą. Zmiany twardości powłok w temperaturze obniżonej mogą prowadzić do zmiany ich struktury, a jako skutek – powodować wzrost ich kruchości. To z kolei może doprowadzić do uszkodzenia pokrytych nimi przedmiotów. Mogą bowiem wpływać na osłabienie całej konstrukcji zabezpieczonej warstwą lakieru. Zwiększenie twardości danej powłoki często skutkuje zmianą użyteczności danych produktów, szczególnie tych o elastycznej strukturze. Podczas obniżania temperatury otoczenia większość z powłok lakierowych będzie miała bardziej zwartą strukturę poprzez zbliżanie się cząsteczek do siebie. Zmiana taka może powodować kurczenie się materiału kryjącego daną powłokę. Jak wykazano w badaniach ankietowych twardość powłoki lakierniczej jest jednym z głównych aspektów, które decydują o jakości produktu pokrytego tymi powłokami. W badaniach tych wykazano, że jednym z ważniejszych kryteriów wyboru powłoki przez wytwórcę jest jej twardość. Określając wartości zmian twardości powłok w różnych temperaturach pozwala na dokonanie odpowiedniego wyboru powłoki w zależności od zastosowania, potwierdzając jedną z hipotez pomocniczych.

W trakcie przeprowadzania badań w temperaturze podwyższonej zauważono obniżenie twardości powłok lakierowych, ich zmiękczenie. W wyniku występowania tego zjawiska powłoka lakiernicza może nie utrzymywać wystarczającego kontaktu z podłożem,

a rozmiękczenie jej przy bardzo wysokiej temperaturze może doprowadzić do całkowitej utraty przyczepności z podłożem. Jeżeli to nastąpi, istnieje ryzyko, że substancja powłokotwórcza złuszczy się z podłoża materiału. Dodatkowym problemem przy zmiękczeniu powłoki lakierniczej może być zmniejszenie gęstości struktury. Występowaniu tego zjawiska towarzyszy przekształcanie się powłoki w żel lub płyn. Przy obniżaniu twardości powłoki następuje utrata właściwości ochronnych. Miękkie powłoki lakiernicze są nieodporne na uszkodzenia fizyczne czy chemiczne. Na powłokach o niskiej twardości powstawanie uszkodzeń fizycznych jest bardzo prawdopodobne. Sieci cząsteczek farby ulegają rozszczepieniu, co pozwala na interakcję z czynnikami chemicznymi. Przy wysokiej temperaturze w niektórych typach farb i lakierów może wystąpić zjawisko samozapłonu. Jest to spowodowane zawartością substancji łatwopalnych i ropopochodnych. Zmniejszenie twardości powłoki lakierniczej może powodować także zmniejszenie odporności na wilgoć. Niektóre farby mają w składzie substancje wodno-rozpuszczalne. W takich przypadkach kontakt z wodą czy wilgocią może powodować częściowe rozpuszczenie się powłoki lakierniczej. Podwyższenie temperatury otoczenia może też skutkować odparowaniem części substancji z farb lub lakierów.

W rozprawie podjęto próbę przeprowadzenia badań przy zmiennym zasoleniu otoczenia, przeprowadzono je na oddzielnych próbkach testowych. Przy definiowaniu hipotez pomocniczych, założono, że zasolenie może mieć bezpośredni wpływ na twardość powłok lakierowych. Stwierdzenie to podczas testów zostało częściowo potwierdzone. Przy wykonywaniu badania napotkano na problemy wynikające z dodatkowych czynników zakłócających pomiar. Do takich czynników zaliczyć można struktury krystaliczne soli pojawiające się na badanych powłokach. Osadzały się one na powierzchniach badanych próbek wpływając na wyniki badań. W celu eliminacji opisanego zjawiska badania oddziaływania soli kuchennej na powłoki lakierowe poddawano od razu po przekroczeniu danego czasu oddziaływania. Chlorek sodu charakteryzuje się właściwościami niszczącymi, przyspieszając degradację narażonego na jego działanie materiału. Ze względu na te właściwości założono, że twardość powłok zmieni się po długotrwałym oddziaływaniu soli. Krótkotrwałe oddziaływanie soli na materiał badawczy nie doprowadziło do istotnych zmian jego twardości. Warto w tym miejscu przytoczyć wyniki badań w otoczeniu NaCl o stężeniu 3,5% w różnych czasach. Badania te wykazały, iż wysokość poziomu zasolenia jak i okres oddziaływania mają znaczący wpływ na twardość powłoki lakierniczej. Powłoki zachowują się w różny sposób, w głównej mierze zależnie od swojego składu. Wysokość poziomu zasolenia nie jest wprost proporcjonalna do zachodzących zmian w powłoce. Również różnica w czasie oddziaływania roztworu NaCl nie wpływa na zmianę twardości powłoki liniowo. Przeprowadzone badania wykazały różnorodność w zachowaniu powłok lakierniczych w zależności od poziomu zasolenia jak i czasu oddziaływania na produkt.

Jednym z założeń pomocniczych była ocena możliwości identyfikacji danej powłoki lakierniczej lub malarskiej za pomocą analizy spektrum tłumienia wahadła. Identyfikacja danego rodzaju czy gatunku powłoki została potwierdzona w toku badań. Dotyczy to jedynie przebadanych powłok lub powłok, których wyniki badań są znane i zachowane w bazach danych. Każda z badanych powłok charakteryzowała się innym kształtem charakterystyk tłumienia. W niektórych próbkach występowało podobne spektrum tłumienia wahadła, co jest bezpośrednio powiązane ze składem chemicznym i rodzajem

danej powłoki. Reasumując można stwierdzić, że podstawowa identyfikacja powłoki lakierniczej za pomocą analizy widma tłumienia wahadła jest możliwa, a szczegółowe rozpoznanie powłoki jest osiągalne poprzez dokładną analizę poszczególnych widm powstających podczas badań. Przy połączeniu zastosowanej elektroniki i odpowiedniego programu komputerowego w urządzeniu pomiarowym można dokładnie zarejestrować a później zidentyfikować powstające widmo przypisując go do konkretnej powłoki lakierowej znajdującej się w bazie danych urządzenia. Warto wspomnieć, że bardzo pomocna przy identyfikacji powłoki jest zmiana temperatury otoczenia próbki. Dzięki porównaniu zachowania danej powłoki w różnych temperaturach jakość detekcji analizy otrzymanych wyników jest wyższa, co umożliwia klasyfikację próbki.

Reasumując należy stwierdzić, iż powszechnie prowadzone aktualnie badania powłok lakierowych nastawione są na ściśle ustalone warunki środowiskowe. Takie postępowanie uniemożliwia określenie przydatności danej powłoki do zróżnicowanych warunków środowisk, w których mogą znaleźć się te powłoki. Zgodnie z aktualnie obowiązującą normą, nie ma możliwości stwierdzenia zachowań twardości powłok w zmiennym środowisku.

Ciągłe doskonalenie metod badawczych wpływa bezpośrednio na rozwój nauki i jakości badań. Rozszerzanie badań naukowych o innowacyjne rozwiązania z zastosowaniem nowoczesnych podzespołów elektronicznych w jednej z dziedzin pozwala na rozwój badań także w innych dziedzinach nauki. Wpływa to na poszerzenie możliwości działania i osiągnięcia szerszych i bardziej precyzyjnych wyników. Wpływa także na niwelowanie różnego rodzaju niekorzystnych wpływów środowiskowych na sam przebieg badań dzięki zastosowaniu automatyzacji oraz komory ochronnej.

Materiały zastosowane do budowy prototypowego urządzenia badawczego pozwalają na określenie poziomu wymagań stawianych nowoczesnym inteligentnym urządzeniom pomiarowym, a wysokiej klasy materiały i podzespoły umożliwiają osiągnięcie dokładnych wyników. Zastosowanie w ramach niniejszej pracy nowoczesnej elektroniki pozwala na otrzymanie zadowalającego poziomu powtarzalności i odtwarzalności badań, a także na zachowanie wysokiej jakości pomiarów. Automatyczne pobieranie i zapisywanie danych pozwalają na szybsze, sprawniejsze i dokładniejsze wykonywanie szeregu analiz z wykorzystaniem wielu powtórzeń.

WNIOSKI

Przeprowadzenie badań doprowadziło do osiągnięcia założonych celów i pozytywnej weryfikacji hipotez badawczych. Uzyskano szczegółowe informacje na temat twardości powłok lakierowych podczas badań zgodnych z wytycznymi zapisanymi w normie ISO 1522:2006. Utrzymanie stałych warunków otoczenia, zgodnie z wytycznymi normy, pozwoliło na sprawdzenie twardości powłok lakierowych metodą tłumienia wahadła wyłącznie w ściśle określonych warunkach. Działanie takie wpływa bezpośrednio na jakość zarówno badań, jak i jakości samych powłok, które często znajdują zastosowanie w całkowicie odmiennym środowisku niż laboratoryjne warunki określone przez normę ISO 1522:2006/2008. Wyniki dla stałych zgodnych z normą warunków nie odzwierciedlają ostatecznie cech badanej powłoki. Często powłoki zbadane w warunkach normatywnych

nigdy nie będą użyte w takim otoczeniu, w jakim zostały sprawdzone. Zachowanie powłok w innym otoczeniu niż to, w którym przeprowadzono badania może powodować zniszczenia obiektu pokrytego daną powłoką. Analiza była oparta na procentowych zmianach twardości (na podstawie odchylenia wahadła 6-3° określonego w ISO 1522) pod wpływem różnych czynników, w porównaniu z otoczeniem normatywnym oraz na zidentyfikowanych głównych typach substancji powłokotwórczych dla każdej próbki na podstawie danych producenta. Zaobserwowane tendencje, wskazują, że powłoki na bazie dyspersji akrylowej i lateksowej generalnie wykazywały wzrost twardości w obniżonych temperaturach, podczas gdy żywica akrylowa wykazała spadek twardości. Powłoki na bazie nitrocelulozy wykazywały zróżnicowane wyniki w niskich temperaturach. W podwyższonych temperaturach powłoki nitrocelulozowe konsekwentnie miękły. W teście z 10% roztworem NaCl powłoki akrylowe i nitrocelulozowe w większości miękły. Przy 3,5% roztworze NaCl przez 24 godziny zmiany były mniejsze, przy czym większość akryli nieznacznie twardniała, a żywica akrylowa i nitroceluloza nieznacznie ulegały zmiękczeniu. Dłuższa ekspozycja na 3,5% roztwór NaCl (168 i 336 godzin) skutkowała bardziej wyraźnymi i różnorodnymi zmianami, przy czym powłoki akrylowe i lateksowe generalnie twardniały, a żywica akrylowa i nitroceluloza często wykazywały spadek twardości. Reakcja na roztwory soli jest złożona i zależy od mechanizmów interakcji i czasu ekspozycji, przy czym dłuższa ekspozycja na niższe stężenie (3,5%) prowadzi do bardziej różnorodnych zmian twardości niż krótsza ekspozycja na wyższe stężenie (10%). Zauważając ograniczenia ze względu na liczbę testów i substancji, analiza wskazuje na potencjalne korelacje między typem substancji powłokotwórczej a zmianami twardości w niestandardowych warunkach środowiskowych, podkreślając możliwości wykorzystanego w badaniach prototypowego urządzenia pomiarowego.

Główny cel rozprawy doktorskiej mający na względzie zobjektywizowanie możliwości badań jakości powłok lakierowych dzięki zastosowaniu zautomatyzowanego autorskiego urządzenia pomiarowego uwzględniającego parametry środowiskowe (temperatura/zasolenie) z uwzględnieniem wytycznych norm: PN-EN ISO 1522:2008 oraz ISO 1522:2006 został osiągnięty. Na potrzeby rozprawy doktorskiej skonstruowano prototypowe urządzenie pomiarowe, które zostało dodatkowo zgłoszone do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej o numerze zgłoszeniowym WIPO ST 10/C PL450516. Opracowane urządzenie pomiarowe w pełni sprostało postawionym założeniom konstrukcyjnym, które w głównej mierze miały za zadanie zwiększenie jakości otrzymywanych wyników oraz możliwość zmiany otoczenia badanej próbki. Sukcesem zakończyły się próby rozszerzenia zakresu badań o odmienne warunki otoczenia, a tym samym – weryfikację stanu badanych powłok w różnej temperaturze. W przeprowadzonych badaniach udowodniono bezpośredni wpływ temperatury oraz roztworów soli na twardość powłok lakierniczych. Za pomocą przeprowadzonych badań uzyskano dane, dzięki którym określono zależność składu powłok lakierniczych względem stopnia ich zmian w różnych środowiskach. Zależność ta pozwala na precyzyjniejsze dobranie składu chemicznego produktów powłokotwórczych bezpośrednio narażonych na opisane czynniki zmiennej temperatury czy roztworów NaCl o różnych stężeniach.

Zastosowanie precyzyjnych podzespołów elektronicznych pozwoliło na znaczną poprawę jakości badań w dyscyplinie nauk o zarządzaniu i jakości. Powłoki poddane

bezpośredniemu oddziaływaniu zmiennych warunków otoczenia wykazywały właściwości, których nie można było zmierzyć w warunkach opisanych w normie. Ciągłe doskonalenie badań w tej dziedzinie może w przyszłości doprowadzić do testowania powłok w środowiskach w pełni symulujących warunki naturalne, w których będzie użytkowana dana powłoka, choćby w środowisku silnie zakwaszonym.

BIBLIOGRAFIA

- Adamovic D., Zivic F., *Hardness and Non-Destructive Testing (NDT) of Ceramic Matrix Composites (CMCs)* [w:] Encyclopaedia of Materials: Composites; Elsevier: Holandia, 2021.
- Awrejcewicz J., *Classical Mechanics: Dynamics*, Springer 2012, nr. 29,
- Awrejcewicz J., Particle Dynamics, Material System Dynamics and Rigid-Body Motion About a Point, *Classical Mechanics*, 2012
- Aitken CGG, Taroni F, *Statistics and the evaluation of evidence for forensic scientists*, Wiley and Sons, Chichester, 2004
- Aitken CGG, Zadora G, Lucy D *a two-level model for evidence evaluation*. *Journal of Forensic Sciences* 52(2), 412-419. 2007
- Au P. et al. Property measurements from instrumented hardness tests
- Baker G.L., Blackburn J.A., *The Pendulum: a Case study in Physics*, Wielka Brytania 2005,
- Barajas C., Vicente J. et al., *Considerations to the hardness Brinell measurement using optical equipment*, *Procedia Manufacturing*, Hiszpania, 2017, nr 13,
- Barbosa K., Esterle J., Chen Z., *Shore hardness measurements of sub-bituminous coal microlithotypes*, *International Journal of Coal Geology Australia*, 2019, nr 217
- Barrie S.S., *a simple procedure for calculating rockwell hardness conversion relationships for metallic alloys*, *Materials Science and Engineering*, USA 1987, nr 95
- Bell SEJ, Fido LA, Speers SJ, Armstrong WJ *Rapid Forensic Analysis and Identification of "Lilac" Architectural Finishes Using Raman Spectroscopy*. *Applied Spectroscopy* 59(1), 100-08. 2005
- Buzzini P, Massonnet G *a market study of green spray paints by Fourier Transform infrared (FTIR) and Raman spectroscopy*. *Science & Justice* 44(3), 123-131. 2004
- Buzzini P, Massonnet G, Sermier FM *The micro-Raman analysis of paint evidence in criminalistics: case studies*. *Journal of Raman Spectroscopy* 37, 922-931 2006
- Buzzini P, Suzuki E *Forensic applications of Raman spectroscopy for the in-situ analyses of pigments and dyes in ink and paint evidence*. *Journal of Raman Spectroscopy*, 47 16-27. 2015
- Cao F. et al. An adaptive iterative learning algorithm for boundary control of a coupled ODE-PDE two-link rigid-flexible manipulator *J. Franklin Inst.* 2017
- Caddy B (Ed) *Forensic Examination of Glass and Paint – Analysis and Interpretation*, Taylor & Francis, CRC Press London New York. 2001
- Campbell S.A., Crawford S., Morris K., *Friction and the inverted pendulum stabilization problem*, *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, USA, 2008, nr 130,
- Cahoon J.R. et al. The determination of yield strength from hardness measurements *Metall. Trans.* a 1971
- Ceanne A.V. de, Fry A.L., Mauro J.C., *Experimental analysis and modelling of the Knoop hardness of lithium disilicate glass-ceramics containing lithium tantalate as a secondary phase*, *Journal of Non-Crystalline Solids*, USA, 2022, nr 585,
- Chochół A, Czerniak J. *Mikroprocesorowe urządzenie do badania twardości powłok lakierniczych = Microprocessor Device for Testing of Lacquer*, *Coast Role of*

- Innovativity in Quality Creation = Rola innowacyjności w kształtowaniu jakości
Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB;
Politechnika Radomska. Wydział Ekonomiczny, 2012, s. 143-151 - Bibliogr.
- Chochół A., Czerniak J. Microprocessor Device for Testing of Lacquer Coat, Role of
Science of Commodities in Quality Management in Knowledge Based Economy: VI
international conference, Technical University of Radom, September 12-14, 2012,
Radom, Poland: Commodity Science in XXI Century - Development and Barriers:
Abstracts - Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji -
PIB: Politechnika Radomska. Wydział Ekonomiczny, 2012, s. 14
- Chochół A., Hornik S., Kaniewski J. Analiza wyróżników kryterialnych dla wybranych
artykułów przemysłowych w oparciu o badania preferencji konsumenckich Kraków,
Akademia Ekonomiczna, 1999
- Chochół A., Żydzik M. Wykorzystanie zintegrowanych systemów informatycznych
w procesach zarządzania jakością, Zintegrowane systemy zarządzania jakością:
materiały II konferencji naukowej z cyklu Jakość wyrobów w gospodarce rynkowej
zorganizowanej przez Katedrę Towaroznawstwa Ogólnego i Zarządzania Jakością
Akademii Ekonomicznej w Krakowie przy współpracy Oddziału Krakowskiego
Polskiego Towarzystwa Towaroznawczego (Kraków, 25 i 26 IX 2000 r.) - Kraków:
[s.n.], 2000, s. 231-236 - Bibliogr.
- Chochół A., Hornik S., Kaniewski J., Szakiel J., Teoretyczne podstawy próbobrania
w kontroli jakości wyrobów przemysłowych. (Etap 1) Kraków, Akademia
Ekonomiczna, 2000
- Chicot D., Mercier D., Lesage J., Comparison of instrumented Knoop and Vickers hardness
measurements on various soft materials and hard ceramics, *Journal of the European
Ceramic Society*, Francja, 2007, nr 27(4),
- Chu W. et al. An active continuous control method and its experiment on the rapid
suppression of inverted pendulum structure oscillation *J. Sound Vib.* 2022
- Daubechies i *the wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis*. IEEE
T. Transactions and Information Theory 36, 961-1005 1990
- Defeyt C, van Pevenage J, Moens L, Strivay D, Vandenabeele P *Micro-Raman spectroscopy
and chemometrical analysis for the distinction of copper phthalocyanine polymorphs
in paint layers*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular
Spectroscopy* 115, 636-640. 2013
- de Gelder J, Vandenabeele P, Govaert F, Moens L Forensic analysis of automotive paints
by Raman spectroscopy. *Journal of Raman Spectroscopy* 36, 1059-67. 2005
- Ellis R., Knott A., Herrmann K., XVIII IMEKO World Congress 2006: Metrology for
a Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 2006.
- Endo T. et al. Bending moment-based force control of flexible arm under gravity *Mech.
Mach. Theory*. 2014
- Fett T., Munz D., *J. Amer. Ceram. Soc.* 1992, 75 (4), 958- 963
- Franco E. et al. Robust balancing control of flexible inverted-pendulum systems *Mech.
Mach. Theory*. 2018
- Ferreira KB, Oliveira AGG, Gomes JA Raman spectroscopy of automotive paints: Forensic
analysis of variability and spectral quality, *Spectroscopy Letters* 50(2), 102-110. 2017
- Fenz D.M., Constantinou M.C., *Behaviour of the double concave friction pendulum
bearing*, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, USA, 2006, nr 35,
- Franco Jr A.R., Pintaúde G. et al. The use of a Vickers indenter in depth sensing indentation
for measuring elastic modulus and Vickers hardness. *Mater. Res.*, Brazylia, 2004, nr
7,

- Francis H.A. Phenomenological analysis of plastic spherical indentation Trans. ASME, J. Eng. Mater. Tech. 1976
- Ghorbal B.G. et al., *Comparison of conventional Knoop and Vickers hardness of ceramic materials*, Journal of The European Ceramic Society, Francja, 2017, nr 37,
- Gandhi P.S. et al. Energy shaping control of an inverted flexible pendulum fixed to a cart Control Eng. Pract. 2016
- Gregory P *Industrial applications of phthalocyanines*. Journal of Porphyrins and Phthalocyanines 4(4), 432-437. 2000
- Gritli H. et al. Robust feedback control of the underactuated Inertia Wheel Inverted Pendulum under parametric uncertainties and subject to external disturbances: LMI formulation J. Franklin Inst. 2018
- Gu S., Wu Y. et al., Non-destructive testing of strength of sleeve grouting material in prefabricated structure based on surface hardness method, Construction and Building Materials, Chiny, 2020, nr 263, ID: 120675.
- Gao S. et al. Event-triggered vibration control for a class of flexible mechanical systems with bending deformation and torsion deformation based on PDE model Mech. Syst. Signal Process. 2022
- Golcuk K, Mandair GS, Callender AF, Sahar N, Kohn DH, Morris MD Is photobleaching necessary for Raman imaging of bone tissue using a green laser? Biochimica et Biophysica Acta 1758, 868-873. 2006
- Guediche A., Compoin F., Boscher C. et al., *Indentation hardness and scratch tests for thin layers manufactured by sol-gel process*, Thin Solid Films, Francja, 2021, nr 724 DOI: 10.1016/j.tsf.2021.138618
- Heitzman S *Indanthrone pigments for polymers and coatings*. Polymers Paint Colour Journal 201(4562), 24-27 2011
- Hill R., Storakers B. Zdunek A.B., *a theoretical study of the Brinell hardness test*, Proceeding of The Royal Society of London, ser. a Mathematical and Physical Sciences, Wielka Brytania, 1989, nr 423(1865),
- Iost A., Najjar D., Hellouin R., Modelling of the Vickers hardness of paint coatings deposited on metallic substrates, Surface and Coatings Technology 2003, nr 165, ISO 6506-1:2014 Metallic materials. Brinell hardness test. Part 1: Test method. ISO 6506-2:2014 Metallic materials. Brinell hardness test. Part 2: Verification and calibration of testing machines.
- Jangid RS., *Optimum friction pendulum system for near-fault motions*, Engineering Structures, Indie, 2005, nr 27,
- Jędrychowska S *Możliwości wykorzystania spektroskopii ramanowskiej w branży naftowej. Część 1. Podstawy teoretyczne spektroskopii ramanowskiej*. Nafta-Gaz, 11, 842-849. 2012
- Kragten G.A. et al. The ability of underactuated hands to grasp and hold objects Mech. Mach. Theory. 2010
- Kim B.J., Yang H.S., Park Y.J., *Shore hardness and tensile bond strength of long-term soft denture lining materials*, The Journal of Prosthetic Dentistry, Korea, 2014, nr 112,
- Khattak M. A., Mukhtar A., S. M. Sufian, *a Review on Application of Non-Destructive Techniques on Composites*, Penerbit Akademia Baru 2016
- Kuptsov AH *Application of Fourier transform Raman spectroscopy in forensic science*. Journal of Forensic Science 39, 305-318. 1994
- Lambert D, Muehlethaler C, Gueissaz L, Massonnet G *Raman analysis of multilayer automotive paints in forensic science: measurement variability and depth profile*, Journal of Raman Spectroscopy 45, 1285-1292. 2014

- Lai X.Z. et al. Unified control of n-link underactuated manipulator with single passive joint: a reduced order approach *Mech. Mach. Theory.* 2012
- Lee C.H. et al. Analysis of ball indentation *Int. J. Mech. Sci.* 1972
- Leyi G., Wei Z., Songling H., Mechanics analysis and simulation of material Brinell hardness measurement, *Measurement*, Chiny, 2011, nr 44,
- Low S.R., *Rockwell Hardness Measurement of Metallic Materials*, NIST Recommended Practice Guide, USA, 2001.
- Low S.R., Pitchure D.J., Flanigan C.D., *The effect of suggested changes to the rockwell hardness test method*, NIST, XVI Konferencja IMEKO 2000.
- Low S., K. Hattori, A. Germak, A. Knott, *XX IMEKO World Congress 2012: Metrology for Green Growth*, Busan, Republic of Korea. 2012.
- Low S., Update: *Working Group on Hardness*, Tech. rep., BIPM 2015.
- Li C. et al. Experimental study on rapid oscillation suppression of a pendulum using phase delay motion of pivot *Mech. Syst. Signal Process.* 2021
- Lu X. et al. Self-learning interval type-2 fuzzy neural network controllers for trajectory control of a Delta parallel robot *Neurocomputing.* 2018
- Macdonald AM, Wyeth P On the use of photobleaching to reduce fluorescence background in Raman spectroscopy to improve the reliability of pigment identification on painted textiles. *Journal of Raman spectroscopy* 37, 830-835. 2006
- Ma L., S. Low, J. Song, *XX IMEKO World Congress 2012: Metrology for Green Growth*, Busan, Republic of Korea, 2012.
- Malekzadeh M., Taghikhani T., Adaptive behaviour of double concave friction pendulum bearing and its advantages over friction pendulum systems, *Scientia Iranica*, USA, 2010, nr 17,
- Martyna A, Michalska A, Zadora G Interpretation of FTIR spectra of polymers and Raman spectra of car paints by means of likelihood ratio approach supported by wavelettransform for reducing data dimensionality. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 407, 3357-3376. 2015
- Martyna A, Zadora G, Neocleous T, Michalska A, Dean N. Hybrid approach combining chemometrics and likelihood ratio framework for reporting the evidential value of spectra. *Analytica Chimica Acta* 931, 34-46. 2016
- Michalska A., Zastosowanie spektroskopii Ramana w badaniu niebieskich lakierów samochodowych. Ocena wartości dowodowej widm w podejściu klasycznym oraz z zastosowaniem metod chemometrycznych i statystycznych, pr. dr, Instytut Ekspertyz Sądowych, Katowice, 2017,
- Muehlethaler C, Massonnet G, Esseiva P The application of chemometrics on Infrared and Raman spectra as a tool for the forensic analysis of paints. *Forensic Science International* 209, 173 -182. 2011
- Mazerski J Chemometria praktyczna - Interpretuj wyniki swoich pomiarów. wyd. II. Wydawnictwo Malamut 2016
- Mennicke R. T., "Equotip Metal Hardness", ICASI 2008 & CCATM 2008 congress proceedings, Chiny, 2008.
- Muehlethaler C, Massonnet G, Deviterne M, Bradley M, Herrero A, de Lezana ID, Lauper S, Dubois D, Geyer-Lippmann J, Ketterer S, Milet S, Bertrand M, Langer W, Plage B, Gorzawski G, Lamothe V, Marsh L, Turunen R *Survey on batch-to-batch variation in spray paints: a collaborative study.* *Forensic Science International* 229, 80-91. 2013
- Michalska A, Martyna A, Zięba-Palus J, Zadora G *Application of likelihood ratio approach in solving a comparison of Raman spectra recorded for blue automotive paints.* *Journal of Raman Spectroscopy* 46, 772-783. 2015

- Michalska A, Martyna A, Zadora G *Investigation of various factors influencing Raman spectra interpretation with the use of likelihood ratio approach*. Forensic Science International 10.1016/j.forsciint.2017.10.034 2017
- Massonnet G, Stoecklein w *Identification of organic pigments in coatings: applications to red automotive topcoats. Part I: Thin layer chromatography with direct visible microspectrophotometric detection*. Science & Justice 39(2), 128-134 1999
- Massonnet G, Stoecklein w *Identification of organic pigments in coatings: applications to red automotive topcoats. Part II: Infrared spectroscopy*. Science & Justice 39(2), 135-140. 1999
- Massonnet G, Stoecklein w *Identification of organic pigments in coatings: applications to red automotive topcoats. Part III: Raman Spectroscopy*. Science & Justice 39(3), 181-187. 1999
- Mohamed M.I., Aggag G.A., *Uncertainty evaluation of shore hardness testers*, Measurement, Egipt, 2003, nr 33,
- Navas N, Romero-Pastor J, Manzano E, Cardell C *Raman spectroscopic discrimination of pigments and tempera paint model samples by principal component analysis on first derivative spectra*. Journal of Raman Spectroscopy 41, 1486-1493. 2010
- Nieznańska J, Zięba-Palus J, Kościelniak P *Badania fizykochemiczne samochodowych powłok lakierowych*, Problems of Forensic Sciences 39, 77-94. 1999
- Niihara K.A., wvv, J. Mater. Sci. Lett. 1983, 2, 221-223
- Oliveto N.D., *geometrically nonlinear analysis of friction pendulum systems under tri-directional excitation*, Engineering Structures, USA, 2022, nr 269, DOI: 10.1016/j.engstruct.2022.114770.
- Paik B.G., Kim K.S. et al., *Test method of cavitation erosion for marine coatings with low hardness*, Progress in Organic Coatings, Republika Korei, 2018, nr 124,
- Pampuch R., *Materiały ceramiczne. Zarys nauki o materiałach nieorganiczno-niemetalicznych*, WN PWN, Warszawa 1988.
- Panchal V.R., Jangid R.S., *Variable friction pendulum system for near-fault ground motions*, Engineering Structures, USA, 2008, nr 27,
- Palenik CS, Palenik S, Groves E, Herb J *Raman Spectroscopy of Automotive and Architectural Paints: In situ Pigment Identification and Evidentiary Significance* www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/243162.pdf (accessed 12.03.2014). 2014
- Pędzich Z., Piekarczyk J., Stobierski L., *Twardość Vickersa i odporność na pęknięcie wybranych kompozytów ceramicznych*, Kompozyty (Composites), Polska, 2003, nr 3,
- Piekarczyk J., Hennicke H.W., Pampuch R., *On Determining the Elastic Constants of Porous Zinc Ferrite Materials*, Ceramic Forum International /Berichte der Deutschen Keramische Gesellschaft 1982, 59 (4), 227-232.
- Rickerby D.G. *Mater. Sci. Eng.* 1982
- Richmond O. et al. *Sphere indentation with application to the Brinell hardness test* Int. J. Mech. Sci. 1974
- Ryland SG, Jergovich TA, Kirkbride KP *Current trends in forensic paint examination*. Forensic Science Review 18, 98-117 2006
- Raju K.V.S.N., Yaseen M., *Scratch hardness of paint coatings: effect of ageing and film thickness*, Progress in Organic Coatings, Indie, 1992, nr 21,
- Silverman B *Density estimation for statistics and data analysis*. Chapman and Hall, London, UK. 1986
- Schneider J.M., Bigerelle M., Iost A., *Statistical analysis of the Vickers hardness*, Materials Science and Engineering, ser. A, Francja, 1999, nr 262,
- Shabel B.S. et al. *a new procedure for the rapid determination of yield and tensile strength from hardness tests*

- Siddiqui A., Braden M., Patel MP., Parker S., *An experimental and theoretical study of the effect of sample thickness on the Shore hardness of elastomers*, Dental Materials, Wielka Brytania, 2010, nr 26,
- Skenderovska M, Minčeva-Šukarova B, Andreeva L *Application of micro-Raman and FT-IR spectroscopy in forensic analysis of automotive topcoats in the Republic of Macedonia*. Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering 27(1), 9-17. 2008
- Stanimiriva I, Daszykowski M, Walczak B *Metody uczenia z nadzorem – kalibracja, dyskryminacja i klasyfikacja. (In) Zuba D, Parczewski a (Eds.), Chemometria w analityce – wybrane zagadnienia*. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie. 2008
- Song J.F., Low S., *Establishing a worldwide unified Rockwell hardness scale using standard diamond indenters*, Measurement, Włochy, 1998, nr 24,
- Staden J.C. van et al., *Computerized pendulum experiment for the introductory physics laboratory*, Computers and Education, Republika Południowej Afryki, 1987, nr 11,
- Suzuki EM, Carrabba M *In situ identification and analysis of automotive paint pigments using line segment excitation Raman spectroscopy*. Journal of Forensic Science 46, 1053-1069. 2001
- Su X. et al. *Event-triggered fuzzy control of nonlinear systems with its application to inverted pendulum systems* Automatica. 2018
- Sangeetha M. et al., *Study on effect of rubber paint coating on epoxy composite laminates*, Materials Today Proceedings, Indie, 2021, nr 44(2)
- Thompson B *Shades of blue*. Polymers Paint Colour Journal 199(4542), 31-32. 2009
- Tsai C.S., Chiang T.C., Chen B.J., *Experimental Study for Multiple Friction Pendulum System*, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, USA, 2004,
- Tabor D. *the Hardness of Metals*
- Urone P.P., Hinrichs R., *College Physics 2e*, OpenStax, USA, 2017, ISBN: 9781506698090
- Van der Voort G.F. *Metallography—Principles and Practice*
- Walczak B, Massart D *Noise suppression and signal compression using wavelet packet transform*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 36, 81–94. 1997
- Wei D, Chen S, Liu Q *Review of Fluorescence Suppression Techniques in Raman Spectroscopy*. Applied Spectroscopy Reviews 50, 387-406. 2015
- Yanikoglu N. et al., *Effects of different solutions on the surface hardness of composite resin materials*, Dental Materials, Japonia, 2009, nr 28,
- Zavacky M., Stefanak J., Mica L., *Statistical Estimate of Uniaxial Compressive Strength of Rock Based on Shore Hardness*, Procedia Engineering, Republika Czeska, 2017, nr 191,
- Zadora G, Martyna A, Ramos D, Aitken CGG *Statistical Analysis in Forensic Science Evidential Values of Multivariate Physicochemical Data*. Wiley and Sons, Chichester. 2014
- Zadora G *Sposoby interpretacji danych pochodzących z badań fizykochemicznych [w:] Zięba-Palus J, Mikroślady i ich znaczenie w postępowaniu przygotowawczym i sądowym*. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków. 2015
- Zięba-Palus J *Badania lakierów samochodowych, [w:] Kościelniak P, Piekoszewski W, Chemia sądowa*, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych. 2002
- Zięba-Palus J, Wąs-Gubała J *An investigation into the use of micro-Raman spectroscopy for the analysis of car paints and single textile fibre*. Journal of Molecular Structure 993, 127- 133. 2011
- Zięba-Palus J, Trzcińska BM *Study of pigments composition in paint traces by microspectrometric techniques*. Problems of Forensic Sciences 89, 5-16. 2012

- Zięba-Palus J, Michalska a *Characterization of Blue Pigments Used in Automotive Paints by Raman Spectroscopy*. Journal of Forensic Science 59(4), 943-949. 2014
- Zięba-Palus J, Michalska a *Photobleaching as a useful technique in reducing fluorescence in Raman spectra of blue automobile paint samples*. Vibrational Spectroscopy 74, 6-12 2014
- Zięba-Palus J, Zadora G, Milczarek JM, Kościelniak P *Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry analysis as a useful tool in forensic examination of automotive paint traces*. Journal of Chromatography a 1179, 41-46. 2008
- Zięba-Palus J, Michalska A, Wesełucha-Birczyńska a *characterisation of paint samples by infrared and Raman spectroscopy for criminalistic purposes*. Journal of Molecular Structure 993, 134-141. 2011
- Zięba-Palus J *Analiza śladów lakieru [w:] Zięba-Palus, Mikroślady i ich znaczenie w postępowaniu przygotowawczym i sądowym*. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków. 2015
- Zhang Y. et al., *Hybrids of CNTs and acrylic emulsion for the consolidation of wall paintings*, Progress in Organic Coatings, USA, 2018, nr 124,
- Zięba-Palus J., Zadora G., Milczarek J.M., *Differentiation and evaluation of evidence value of styrene acrylic urethane topcoat car paints analysed by pyrolysis-gas chromatography*, Journal of Chromatography, Polska, 2008 A, nr 1179,
- Zhao Z.L. et al *Vibration control of a pneumatic driven piezoelectric flexible manipulator using self-organizing map based multiple model* Mech. Syst. Signal Process. 2016

Wykaz użytych norm i dokumentów

- Norma ISO 1518: Farby i lakiery – Oznaczanie odporności na zarysowanie
- Norma ISO 15184: Farby i lakiery – Oznaczanie twardości powłoki metodą ołówkową
- Norma ISO 1522:2006: Farby i lakiery – Badanie tłumienia drgań metodą wahadła
- Norma ISO 2815:2003: Farby i lakiery – Badanie odporności na wgniecenie za pomocą węgelnika Buchholza
- Norma ISO 4586-2: Płyty laminowane dekoracyjne wysokociśnieniowe (HPL) – Arkusze na bazie żywic termoutwardzalnych (zwykle zwane laminatami) – Część 2: Oznaczanie właściwości
- Norma ISO 7267: Gumy i tworzywa sztuczne – Oznaczanie charakterystyki pęknięcia wzrostu rozdarcia przy wielokrotnym rozciąganiu
- Norma ISO 7619: Gumy, wulkanizowane lub termoplastyczne – Oznaczanie twardości przez wciskanie (twardość Shore'a)
- Norma ISO 868: Tworzywa sztuczne i ebonit – Oznaczanie twardości przez wciskanie za pomocą twardościomierza (twardość Shore'a)
- Norma ISO 1514: Farby i lakiery – Standardowe płyty do badań
- Norma ISO 1513: Farby i lakiery – Badanie i przygotowanie próbek do badań
- Norma ISO 15528: Farby, lakiery i surowce do farb i lakierów – Pobieranie próbek
- Norma ISO 3165: Prezentacja danych do oznaczania właściwości materiałów
- Norma ISO 2808:2007: Farby i lakiery – Oznaczanie grubości powłoki
- Norma ISO 1268: Aluminium i stopy aluminium – Odlewy – Badania penetracyjne
- Norma ISO 2409: Farby i lakiery – Badanie metodą siatki nacięć
- Norma ISO 2808: Farby i lakiery – Oznaczanie grubości powłoki
- Norma ISO 4287: Specyfikacje geometryczne wyrobów (GPS) – Struktura powierzchni: metoda profilowa – Terminy, definicje i parametry struktury powierzchni
- Norma ISO 8336: Płyty włóknisto-cementowe – Specyfikacja wyrobu i metody badań
- Norma ISO 11949: Szkło – Odporność na szok termiczny – Metoda badania

Norma ISO 520: Ziarna zbóż i roślin strączkowych – Oznaczanie masy tysiąca ziaren
 Norma ISO 622: Tworzywa sztuczne – Poliamidy – Oznaczanie liczby aminowej
 Norma ISO 1396: Gummy – Oznaczanie miedzi
 Norma ISO 10205: Druk offsetowy – Parametry odbitki i warunki pomiaru
 Norma ISO 13523-1: Lakiery proszkowe – Część 1: Terminologia i ogólne metody badań
 Norma ISO 13523-22: Lakiery proszkowe – Część 22: Oznaczanie odporności na korozję w warunkach wilgotności
 Norma ISO 15283-2: Ocena starzenia się farb i lakierów – Część 2: Ogólne zasady i procedury
 Norma ISO 16245-1: Informacje i dokumentacja – Archiwa do przechowywania dokumentów elektronicznych – Część 1: Wymagania i zalecenia
 Norma ISO 1513:2010: Farby i lakiery – Badanie i przygotowanie próbek do badań.
 Norma ISO 4618: Farby i lakiery – Terminy i definicje
 PN-C-81530:1979: Wyroby lakierowe. Oznaczanie odporności powłok lakierowych na zarysowanie.
 PN-87 H-04335: Stal. Oznaczanie twardości metodą Rockwella.
 ASTM Standard E18-79: Standardowe metody badań twardości Rockwella i twardości powierzchniowej Rockwella materiałów metalowych.
 ASTM Standard E140-79: Standardowe tabele konwersji twardości dla metali Relacja między twardością Brinella, Rockwella, Vickersa, Knoopa i Scleroscope.
 ASTM Standard E399: Standardowa metoda badania planarno-odkształceniowej odporności na pękanie materiałów metalowych.

SPIS TABEL

TABELA 1. ZESTAWIENIE OZNACZEŃ PRODUKTÓW PODDANYCH BADANIOM.....	45
TABELA 2. TEST NIR-FISHERA SPRAWDZAJĄCY ISTOTNOŚĆ RÓŻNIC MIĘDZY ŚREDNIMI DLA PYTAŃ O ISTOTNE CECHY POWŁOK LAKIEROWYCH.....	55
TABELA 3. ZESTAWIENIE WAHNIĘĆ I CZASU TŁUMIENIA WAHADŁA W OTOCZENIU NORMATYWNYM.....	78
TABELA 4. LICZBA WAHNIĘĆ I CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PRZY PODWYŻSZONEJ TEMPERATURZE DO 60°C.....	89
TABELA 5. LICZBA WAHNIĘĆ ORAZ CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA W OTOCZENIU O OBNIŻONEJ TEMPERATURZE DO -2°C	101
TABELA 6. ZESTAWIENIE WAHNIĘĆ I CZASU TŁUMIENIA WAHADŁA PO PODDANIU PRÓBEK OTOCZENIU 10% ROZTWORU NaCl.....	112
TABELA 7. LICZBA WAHNIĘĆ ORAZ CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA PO PODDANIU BADANIU PRÓBEK ODDZIAŁYWANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24H.....	124
TABELA 8. LICZBA WAHNIĘĆ ORAZ ŚREDNI CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO PODDANIU PRÓBEK NA ODDZIAŁYWANIE ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 168 GODZIN.....	136
TABELA 9. LICZBA WAHNIĘĆ ORAZ CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO PODDANIU PRÓBEK DZIAŁANIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.....	148
TABELA 10. ZESTAWIENIE WAHNIĘĆ I CZASU TŁUMIENIA WAHADŁA W OTOCZENIU NORMATYWNYM.....	220
TABELA 11. ZESTAWIENIE WARTOŚCI TWARDOŚCI POWŁOK W OTOCZENIU NORMATYWNYM.	220

TABELA 12. ZESTAWIENIE WARTOŚCI NIEPEWNOŚCI POMIAROWYCH DLA POMIARÓW WARUNKACH OTOCZENIA OKREŚLONYCH W NORMIE.....	221
TABELA 13. LICZBA WAHNIĘĆ I CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA W OTOCZENIU Z PODWYŻSZONĄ TEMPERATURĄ DO 60°C.....	222
TABELA 14. ZESTAWIENIE WARTOŚCI TWARDOŚCI POWŁOK W OTOCZENIU Z PODWYŻSZONĄ TEMPERATURĄ DO 60°C.....	222
TABELA 15. ZESTAWIENIE WARTOŚCI NIEPEWNOŚCI POMIAROWYCH WYSTĘPUJĄCYCH PRZY BADANIACH PRÓBEK Z PODWYŻSZONĄ TEMPERATURĄ DO 60°C.....	222
TABELA 16. ZMIANA WARTOŚCI WYNIKÓW BADAŃ DLA TŁUMIENIA WAHADŁA POSZCZEGÓLNYCH PRÓBEK PRZY BADANIU Z PODWYŻSZONĄ TEMPERATURĄ DO 60°C (WYNIKI PROCENTOWE).....	224
TABELA 17. LICZBA WAHNIĘĆ ORAZ CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA W OTOCZENIU O OBNIŻONEJ TEMPERATURZE DO -2°C.....	225
TABELA 18. ZESTAWIENIE WARTOŚCI TWARDOŚCI POWŁOK W OTOCZENIU O OBNIŻONEJ TEMPERATURZE DO -2°C.....	226
TABELA 19. ZESTAWIENIE WARTOŚCI NIEPEWNOŚCI POMIAROWYCH WYSTĘPUJĄCYCH W BADANIACH PRZY TEMPERATURZE OBNIŻONEJ DO -2°C.....	226
TABELA 20. ZMIANA WARTOŚCI WYNIKÓW BADAŃ DLA TŁUMIENIA WAHADŁA POSZCZEGÓLNYCH PRÓBEK PRZY OBNIŻONEJ TEMPERATURZE DO -2 °C (WYNIKI PROCENTOWE).....	228
TABELA 21. ZESTAWIENIE WAHNIĘĆ I CZASU TŁUMIENIA WAHADŁA PO PODDANIU PRÓBEK OTOCZENIU 10% ROZTWORU NaCl.....	230
TABELA 22. TWARDOŚCI POWŁOK W 10% ROZTWORZE NaCl.....	230
TABELA 23. ZESTAWIENIE WARTOŚCI NIEPEWNOŚCI POMIARÓW PO PODDANIU PRÓBEK OTOCZENIU 10% ROZTWORU NaCl.....	230
TABELA 24. ZALEŻNOŚĆ ZMIAN TŁUMIENIA WAHADŁA PO PODDANIU PRÓBEK OTOCZENIU ZASOLENIA W ROZTWORZE 10%.....	232
TABELA 25. LICZBA WAHNIĘĆ ORAZ CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA PO PODDANIU BADANIU PRÓBEK ODDZIAŁYWANIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	234
TABELA 26. ZESTAWIENIE WARTOŚCI TWARDOŚCI POWŁOK PO PODDANIU PRÓBEK OTOCZENIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	234
TABELA 27. ZESTAWIENIE WARTOŚCI NIEPEWNOŚCI POMIARÓW PO PODDANIU PRÓBEK OTOCZENIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	234
TABELA 28. ZALEŻNOŚĆ ZMIAN TŁUMIENIA WAHADŁA PO PODDANIU PRÓBEK OTOCZENIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	236
TABELA 29. LICZBA WAHNIĘĆ ORAZ CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO PODDANIU PRÓBEK ODDZIAŁYWANIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 168 GODZIN.....	237
TABELA 30. TWARDOŚĆ POWŁOK PO PODDANIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168 GODZIN.....	238
TABELA 31. ZESTAWIENIE WARTOŚCI NIEPEWNOŚCI POMIARÓW PO PODDANIU PRÓBEK ODDZIAŁYWANIU 3,5% NaCl W CZASIE 168 GODZIN.....	238
TABELA 32. ZALEŻNOŚĆ ZMIAN TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO PODDANIU PRÓBEK NA ODDZIAŁYWANIE OTOCZENIA 3,5% NaCl W CZASIE 168 GODZIN.....	240

TABELA 33. LICZBA WAHNIĘĆ ORAZ CZAS TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO PODDANIU PRÓBEK DZIAŁANIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.....	241
TABELA 34. ZESTAWIENIE WARTOŚCI TWARDOŚCI POWŁOK PO PODDANIU PRÓBEK DZIAŁANIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	242
TABELA 35. WARTOŚCI NIEPEWNOŚCI POMIARÓW PO PODDANIU PRÓBEK DZIAŁANIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	242
TABELA 36. ZALEŻNOŚĆ ZMIAN TŁUMIENIA WAHADŁA PO PODDANIU PRÓBEK DZIAŁANIU ROZTWORU 3,5% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	244

SPIS RYSUNKÓW

RYSUNEK 1. ŚREDNIE ROCZNE WARTOŚCI TEMPERATURY NA ZIEMI W RÓŻNYCH REGIONACH.	9
RYSUNEK 2. SCHEMAT ZASADY DZIAŁANIA CZUJNIKA TIME OF FLIGHT (TOF).	11
RYSUNEK 3. RÓŻNE RODZAJE PŁYT ROZWOJOWYCH ARDUINO Z PROCESORAMI ATMEGA. ...	14
RYSUNEK 4. NIEKTÓRE OZNACZENIA DLA POWŁOK MALARSKICH, LAKIEROWYCH.....	18
RYSUNEK 5. DZIAŁANIE METODY ROCKWELLA. D – ŚREDNICA, F – SIŁA ODDZIAŁYWANIA, E – GŁĘBOKOŚĆ ODCISKU, Z/X – OSIE.....	20
RYSUNEK 6. TWARDOŚCIOMIERZ STOSOWANY W METODZIE SHORE’A.....	21
RYSUNEK 7. ZASADA DZIAŁANIA WAHADŁA MATEMATYCZNEGO.....	23
RYSUNEK 8. WAHADŁO KÖNIGA.	27
RYSUNEK 9. WAHADŁO PERSOZA.....	28
RYSUNEK 10. SCHEMAT URZĄDZENIA POMIAROWEGO WEDŁUG NORMY ISO 1522:2006/2008.	29
RYSUNEK 11. FARBA DEKORAL „VOICE OF COLOR” (PB1).....	38
RYSUNEK 12. FARBA LATEKSOWA BECKERS „HANDSOME” (PB2).	38
RYSUNEK 13. FARBA LATEKSOWA BECKERS „SEA BREEZE” (PB3).	39
RYSUNEK 14. FARBA DULUX, AKRYLOWA SZARA (PB4).	39
RYSUNEK 15. FARBA LUXDECOR „CHALK IT” (PB5).	40
RYSUNEK 16. FARBA DO METALU GOOD HOME „CUENCA” (PB6).	40
RYSUNEK 17. FARBA SPECTRUM HIGH GLOSS „HIGH-GLOSS GOLD” (PB7).	41
RYSUNEK 18. LAKIER VIDARON, LAKIER NITROCELULOZOWY „BEZBARWNY POŁYSK” (PB8).	41
RYSUNEK 19. LAKIER DO DREWNA MARKI DRAGON, AKRYLOWO-POLIURETANOWY (PB9). 42	
RYSUNEK 20. SREBRZANKA ŻAROODPORNĄ SILIKONOWĄ, MARKI ŚNIEŻKA (PB10).....	42
RYSUNEK 21. LAKIER DO PAZNOKCI MANHATTAN (PB11).....	43
RYSUNEK 22. LAKIER DO PAZNOKCI SEMILAC (PB12).....	43
RYSUNEK 23. PROTOTYPOWE URZĄDZENIE BADAWCZE. 1 – PODSTAWA WAHADŁA WRAZ Z MIEJSCEM NA PRÓBKĘ BADAWCZĄ, 2 – MECHANIZM BEZ UDARNEGO OPUSZCZANIA WAHADŁA, 3 – WAHADŁO KÖNIGA, 4 – CZUJNIK ODLEGŁOŚCI WYCHYLENIA WAHADŁA, 5 – INTERFEJS UŻYTKOWNIKA.....	50
RYSUNEK 24. CZY WIE PAN / PANI, CO TO JEST TWARDOŚĆ POWŁOKI?.....	52
RYSUNEK 25. WAŻNOŚĆ KRYTERIÓW POWŁOK LAKIEROWYCH.....	53

RYSUNEK 26. ISTOTNOŚĆ WYBRANYCH CECH POWŁOK LAKIEROWYCH W OCENIE ANKIETOWANYCH.....	54
RYSUNEK 27. STRUKTURA WIEKU RESPONDENTÓW.....	55
RYSUNEK 28. STRUKTURA PŁCI ANKIETOWANYCH.....	56
RYSUNEK 29. WYKSZTAŁCENIE RESPONDENTÓW – PRZEDSTAWIENIE ILOŚCIOWE.....	56
RYSUNEK 30. SCHEMAT UKŁADU DO KALIBRACJI POŁOŻENIA OPARTEGO NA UKŁADZIE MPU6050. GDZIE: X, Y, Z - OSIE PRZESTRZENI.....	58
RYSUNEK 31. SCHEMAT DZIAŁANIA OGNIWA PELTIERA.....	59
RYSUNEK 32. TŁUMIENIE WAHADŁA KÖNIGA Z ZASTOSOWANIEM SZKŁA BARWIONEGO W MASIE TYPU ANTISOL, WYCHYLENIE KALIBRACYJNE 6–3°.....	61
RYSUNEK 33. TŁUMIENIE WAHADŁA KÖNIGA Z ZASTOSOWANIEM SZKŁA KWARCOWEGO, WYCHYLENIE KALIBRACYJNE 6–3°.....	62
RYSUNEK 34. TŁUMIENIE WAHADŁA KÖNIGA Z ZASTOSOWANIEM SZKŁA KWARCOWEGO WYCHYLENIE KALIBRACYJNE 6–3°.....	63
RYSUNEK 35. TŁUMIENIE WAHADŁA PERSOZA Z ZASTOSOWANIEM SZKŁA KWARCOWEGO, WYCHYLENIE KALIBRACYJNE 6–3°.....	64
RYSUNEK 36. TŁUMIENIE WAHADŁA PERSOZA Z ZASTOSOWANIEM, SZKŁA DRUGIEGO SZKŁA KWARCOWEGO, WYCHYLENIE KALIBRACYJNE 6–3°.....	65
RYSUNEK 37. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI DEKORAL VOICE OF COLOR (PB1).	68
RYSUNEK 38. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY HANDSOME MARKI BECKERS (PB2).....	69
RYSUNEK 39. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY SEA BREEZE MARKI BECKERS (PB3).....	70
RYSUNEK 40. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SZARY” MARKI DULUX (PB4).	71
RYSUNEK 41. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY SEAWAVES MARKI LUXDECOR (PB5).....	72
RYSUNEK 42. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „CUENCA” MARKI GOODHOME (PB6).	72
RYSUNEK 43. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HIGH-GLOSS GOLD” MARKI SPECTRUM (PB7).....	73
RYSUNEK 44. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „BEZBARWNY POŁYSK” MARKI VIDARON (PB8).....	74
RYSUNEK 45. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO DREWNA MARKI DRAGON (PB9).	75
RYSUNEK 46. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY SILIKONOWEJ MARKI ŚNIEŻKA (PB10).....	76
RYSUNEK 47. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI MANHATTAN (PB11).	77
RYSUNEK 48. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI SEMILAC (PB12).	78
RYSUNEK 49. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „VOICE OF COLOR” MARKI DEKORAL (PB1) W TEMPERATURZE 60°C.....	79

RYSUNEK 50. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HANDSOME” MARKI BECKERS (PB2) W TEMPERATURZE 60°C.....	80
RYSUNEK 51. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEA BREEZE” MARKI BECKERS (PB3) W TEMPERATURZE 60°C.....	81
RYSUNEK 52. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SZARY” MARKI DULUX (PB4) W TEMPERATURZE 60°C.....	82
RYSUNEK 53. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEAWAVES” MARKI LUXDECOR (PB5) W TEMPERATURZE 60°C.....	83
RYSUNEK 54. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „CUENCA” MARKI GOODHOME (PB6) W TEMPERATURZE 60°C.....	84
RYSUNEK 55. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HIGH-GLOSS GOLD” MARKI SPECTRUM (PB7) W TEMPERATURZE 60°C.....	85
RYSUNEK 56. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU „BEZBARWNY POŁYSK” MARKI VIDARON (PB8) W TEMPERATURZE 60°C.....	85
RYSUNEK 57. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU AKRYLOWO-POLIURETANOWEGO MARKI DRAGON (PB9) W TEMPERATURZE 60°C.....	86
RYSUNEK 58. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY SILIKONOWEJ MARKI ŚNIEŻKA (PB10) W TEMPERATURZE 60°C.....	87
RYSUNEK 59. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI MANHATTAN (PB11) W TEMPERATURZE 60°C.....	88
RYSUNEK 60. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI SEMILAC (PB12) W TEMPERATURZE 60°C.....	89
RYSUNEK 61. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „VOICE OF COLOR” MARKI DEKORAL (PB1) W TEMPERATURZE -2°C.....	90
RYSUNEK 62. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HANDSOME” MARKI BECKERS (PB2) W TEMPERATURZE -2°C.....	91
RYSUNEK 63. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEA BREEZE” MARKI BECKERS (PB3) W TEMPERATURZE -2°C.....	92
RYSUNEK 64. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SZARY” MARKI DULUX (PB4) W TEMPERATURZE -2°C.....	93
RYSUNEK 65. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEAWAVES” MARKI LUXDECOR (PB5) W TEMPERATURZE -2°C.....	94
RYSUNEK 66. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „CUENCA” MARKI GOODHOME (PB6) W TEMPERATURZE -2°C.....	95
RYSUNEK 67. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HIGH-GLOSS GOLD” (PB7) MARKI SPECTRUM W TEMPERATURZE -2°C.....	96
RYSUNEK 68. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU NITROCELULOZOWY „BEZBARWNY POŁYSK” MARKI VIDARON (PB8) W TEMPERATURZE -2°C.....	97
RYSUNEK 69. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU AKRYLOWO-POLIURETANOWEGO MARKI DRAGON (PB9) W TEMPERATURZE -2°C.....	98
RYSUNEK 70. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA SREBRZANKI SILIKONOWEJ MARKI ŚNIEŻKA (PB10) W TEMPERATURZE -2°C.....	99
RYSUNEK 71. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI MANHATTAN (PB11) W TEMPERATURZE -2°C.....	100

RYSUNEK 72. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI SEMILAC (PB12) W TEMPERATURZE -2°C.....	101
RYSUNEK 73. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI DEKORAL (PB1) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	102
RYSUNEK 74. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI BECKERS (PB2) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	103
RYSUNEK 75. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI BECKERS (PB3) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	104
RYSUNEK 76. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI DULUX (PB4) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	105
RYSUNEK 77. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI LUXDECOR (PB5) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	106
RYSUNEK 78. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI GOODHOME (PB6) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	107
RYSUNEK 79. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI SPECTRUM (PB7) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	108
RYSUNEK 80. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI VIDARON (PB8) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	109
RYSUNEK 81. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY MARKI ŚNIEŻKA (PB10) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.	110
RYSUNEK 82. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI MANHATTAN (PB11) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.....	111
RYSUNEK 83. PRZEBIEG PROCESU TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI SEMILAC (PB12) PO NARAŻENIU NA ODZIAŁYWANIE 10% NaCl W CZASIE 336 GODZIN.....	112
RYSUNEK 84. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „VOICE OF COLOR” MARKI DEKORAL (PB1) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.	113
RYSUNEK 85. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HANDSOME” MARKI BECKERS (PB2) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	114
RYSUNEK 86. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEA BREEZE” MARKI BECKERS (PB3) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	115
RYSUNEK 87. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SZARY” MARKI DULUX (PB4) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.	116
RYSUNEK 88. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEAWAVES” MARKI LUXDECOR (PB5) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H...	117
RYSUNEK 89. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „CUENCA” MARKI GOODHOME (PB6) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H..	118
RYSUNEK 90. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HIGH-GLOSS GOLD” MARKI SPECTRUM (PB7) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	119

RYSUNEK 91. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU NITROCELULOZOWEGO „BEZBARWNY POŁYSK” MARKI VIDARON (PB8) PO EKSPOZYCJI NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	120
RYSUNEK 92. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU AKRYLOWO-POLIURETANOWEGO MARKI „DRAGON” (PB9) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.....	121
RYSUNEK 93. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA SREBRZANKI SILIKONOWEJ MARKI ŚNIEŻKA (PB 10) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.	122
RYSUNEK 94. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI MANHATTAN (PB 11) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H.	123
RYSUNEK 95. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI SEMILAC (PB12) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 24H....	124
RYSUNEK 96. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „VOICE OF COLOR” MARKI DEKORAL (PB1) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.	125
RYSUNEK 97. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HANDSOME” MARKI BECKERS (PB2) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H....	126
RYSUNEK 98. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEA BREEZE” MARKI BECKERS (PB3) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H....	127
RYSUNEK 99. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SZARY” MARKI DULUX (PB4) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.....	128
RYSUNEK 100. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEAWAVES” MARKI LUXDECOR (PB5) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.	129
RYSUNEK 101. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „CUENCA” MARKI GOODHOME (PB6) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.	130
RYSUNEK 102. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HIGH-GLOSS GOLD” MARKI SPECTRUM (PB7) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.....	131
RYSUNEK 103. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU NITROCELULOZOWY „BEZBARWNY POŁYSK” MARKI VIDARON (PB8) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.....	132
RYSUNEK 104. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU AKRYLOWO-POLIURETANOWEGO MARKI DRAGON (PB9) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.....	133
RYSUNEK 105. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA SREBRZANKI SILIKONOWEJ MARKI ŚNIEŻKA (PB10) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.....	134
RYSUNEK 106. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI MANHATTAN (PB11) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H.	135

RYSUNEK 107. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI SEMILAC (PB12) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE 3,5% NaCl W CZASIE 168H. .	136
RYSUNEK 108. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „VOICE OF COLOR” MARKI DEKORAL (PB1) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	137
RYSUNEK 109. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HANDSOME” MARKI BECKERS (PB2) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	138
RYSUNEK 110. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEA BREEZE” MARKI BECKERS (PB3) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	139
RYSUNEK 111. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SZARY” MARKI DULUX (PB4) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.	140
RYSUNEK 112. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „SEAWAVES” MARKI LUXDECOR (PB5) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	141
RYSUNEK 113. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „CUENCA” MARKI GOODHOME (PB6) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	142
RYSUNEK 114. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA FARBY „HIGH-GLOSS GOLD” (PB7) MARKI SPECTRUM PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	143
RYSUNEK 115. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU NITROCELULOZOWY „BEZBARWNY POŁYSK” MARKI VIDARON (PB8) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	144
RYSUNEK 116. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU AKRYLOWO-POLIURETANOWEGO MARKI DRAGON (PB9) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	145
RYSUNEK 117. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA SREBRZANKI SILIKONOWEJ MARKI ŚNIEŻKA (PB10) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	146
RYSUNEK 118. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI MANHATTAN (PB11) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	147
RYSUNEK 119. PRZEBIEG TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA DLA LAKIERU DO PAZNOKCI MARKI SEMILAC (PB12) PO NARAŻENIU NA ODDZIAŁYWANIE WODY ORAZ 3,5% NaCl W CZASIE 336H.....	148
RYSUNEK 120. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKI DEKORAL VOICE OF COLOR (PB1).	149
RYSUNEK 121. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKI BECKERS HANDSOME (PB2).	150

RYSUNEK 122. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ BECKERS SEA BREEZE (PB3).....	151
RYSUNEK 123. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ DULUX SZARY (PB4).	152
RYSUNEK 124. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ LUXDECOR SEAWAVES (PB5).	153
RYSUNEK 125. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ GOODHOME CUENCA PB6).....	154
RYSUNEK 126. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ SPECTRUM HIGH-GLOSS GOLD (PB7).	155
RYSUNEK 127. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ VIDARON BEZBARWNY POŁYSK (PB8).	156
RYSUNEK 128. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ DRAGON LAKIER (PB9).....	157
RYSUNEK 129. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ ŚNIEŻKA SILIKONOWA (PB10).	158
RYSUNEK 130. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ MANHATTAN LAKIER DO PAZNOKCI (PB11).	159
RYSUNEK 131. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE OBNIŻONEJ (-2°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ SEMILAC LAKIER DO PAZNOKCI (PB12).	160
RYSUNEK 132. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ DEKORAL VOICE OF COLOR (PB1).	161
RYSUNEK 133. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ BECKERS HANDSOME (PB2).....	162
RYSUNEK 134. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ BECKERS SEA BREEZE (PB3).....	163
RYSUNEK 135. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBKİ DULUX SZARY (PB4).	164

RYSUNEK 136. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBK LUXDECOR SEAWAVES (PB5).....	165
RYSUNEK 137. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBK GOODHOME CUENCA (PB6).....	166
RYSUNEK 138. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBK SPECTRUM HIGH-GLOSS GOLD (PB7).....	167
RYSUNEK 139. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBK VIDARON BEZBARWNY POŁYSK (PB8).....	168
RYSUNEK 140. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBK DRAGON LAKIER (PB9).....	169
RYSUNEK 141. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBK ŚNIEŻKA SILIKONOWA.....	170
RYSUNEK 142. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBK MANHATTAN LAKIER DO PAZNOKCI (PB11).....	171
RYSUNEK 143. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA W TEMPERATURZE PODWYŻSZONEJ (60°C) ORAZ NORMATYWNEJ DLA PRÓBK SEMILAC LAKIER DO PAZNOKCI (PB12).....	172
RYSUNEK 144. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBK DEKORAL VOICE OF COLOR (PB1).....	173
RYSUNEK 145. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBK BECKERS HANDSOME (PB2).....	174
RYSUNEK 146. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBK BECKERS SEA BREEZE (PB3).....	175
RYSUNEK 147. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBK DULUX SZARY (PB4).....	176
RYSUNEK 148. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBK LUXDECOR SEAWAVES (PB5).....	177
RYSUNEK 149. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBK GOODHOME CUENCA (PB6).....	178

RYSUNEK 150. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII SPECTRUM HIGH-GLOSS GOLD (PB7).....	179
RYSUNEK 151. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII VIDARON BEZBARWNY POŁYSK (PB8).....	180
RYSUNEK 152. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII ŚNIEŻKA SILIKONOWA (PB10).....	181
RYSUNEK 153. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII MANHATTAN LAKIER DO PAZNOKCI (PB11).....	182
RYSUNEK 154. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 10% ROZTWORU NaCl ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII SEMILAC LAKIER DO PAZNOKCI (PB12).....	183
RYSUNEK 155. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII DEKORAL VOICE OF COLOR (PB1).....	184
RYSUNEK 156. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII BECKERS HANDSOME (PB2).....	185
RYSUNEK 157. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII BECKERS SEA BREEZE (PB3).....	186
RYSUNEK 158. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII DULUX SZARY (PB4).....	187
RYSUNEK 159. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII LUXDECOR SEAWAVES (PB5).....	188
RYSUNEK 160. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII GOODHOME CUENCA (PB6).....	189
RYSUNEK 161. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII SPECTRUM HIGH-GLOSS GOLD (PB7).....	190
RYSUNEK 162. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII VIDARON BEZBARWNY POŁYSK (PB8).....	191
RYSUNEK 163. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKII DRAGON LAKIER (PB9).....	192

- RYSUNEK 164. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI ŚNIEŻKA SILIKONOWA (PB10). 193
- RYSUNEK 165. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO NARAŻENIU NA OTOCZENIE ROZTWORU 3,5% NaCl W OKRESIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO DLA PRÓBKI MANHATTAN LAKIER DO PAZNOKCI (PB11). 194
- RYSUNEK 166. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 24 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI SEMILAC LAKIER DO PAZNOKCI (PB12)..... 195
- RYSUNEK 167. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI DEKORAL VOICE OF COLOR (PB1). 196
- RYSUNEK 168. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI BECKERS HANDSOME (PB2). 197
- RYSUNEK 169. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI BECKERS SEA BREEZE (PB3). 198
- RYSUNEK 170. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI DULUX SZARY (PB4). 199
- RYSUNEK 171. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI LUXDECOR SEAWAVES (PB5). 200
- RYSUNEK 172. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI GOODHOME CUENCA (PB6). 201
- RYSUNEK 173. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI SPECTRUM HIGH-GLOSS GOLD (PB7). 202
- RYSUNEK 174. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI VIDARON BEZBARWNY POŁYSK (PB8). 203
- RYSUNEK 175. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI LAKIER DRAGON (PB9). 204
- RYSUNEK 176. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI ŚNIEŻKA SILIKONOWA (PB10). 205
- RYSUNEK 177. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI MANHATTAN LAKIER DO PAZNOKCI (PB11). 206

RYSUNEK 178. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 168 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI SEMILAC LAKIER DO PAZNOKCI (PB12.).....	207
RYSUNEK 179. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI DEKORAL VOICE OF COLOR (PB1).....	208
RYSUNEK 180. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI BECKERS HANDSOME (PB2).....	209
RYSUNEK 181. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI BECKERS SEA BREEZE (PB3).....	210
RYSUNEK 182. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI DULUX SZARY (PB4).....	211
RYSUNEK 183. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI LUXDECOR SEAWAVES (PB5).....	212
RYSUNEK 184. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI GOODHOME CUENCA (PB6).	213
RYSUNEK 185. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI SPECTRUM HIGH-GLOSS GOLD (PB7).....	214
RYSUNEK 186. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI VIDARON BEZBARWNY POŁYSK (PB8).....	215
RYSUNEK 187. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI LAKIER DRAGON (PB9).....	216
RYSUNEK 188. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI ŚNIEŻKA SILIKONOWA (PB10).....	217
RYSUNEK 189. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI MANHATTAN LAKIER DO PAZNOKCI (PB11).....	218
RYSUNEK 190. WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY ZALEŻNOŚĆ TŁUMIENIA WAHADŁA KÖNIGA PO DZIAŁANIU 3,5% ROZTWORU NaCl W CZASIE 336 GODZIN ORAZ OTOCZENIA NORMATYWNEGO PRÓBKI SEMILAC LAKIER DO PAZNOKCI (PB12).	219
RYSUNEK 191. WYKRES OBRAZUJĄCY ZMIANY PROCENTOWE PO NARAŻENIU NA TEMPERATURĘ PODWYŻSZONĄ DO 60°C WZGLĘDEM OTOCZENIA NORMATYWNEGO..	225
RYSUNEK 192. W WYKRES OBRAZUJĄCY ZMIANY PROCENTOWE PO NARAŻENIU NA TEMPERATURĘ OBNIŻONĄ WZGLĘDEM OTOCZENIA NORMATYWNEGO.....	229

RYSUNEK 193. WYKRES OBRAZUJĄCY ZMIANY PROCENTOWE PO NARAŻENIU PRÓBKI NA ODDZIAŁYWANIE 10% ROZTWORU NaCl W OKRESIE 7 DNI WZGLĘDEM OTOCZENIA NORMATYWNEGO.....	233
RYSUNEK 194. WYKRES OBRAZUJĄCY RÓŻNICĘ PROCENTOWĄ W WYGASZANIU DLA OTOCZENIA ROZTWORU SOLI 3,5% W OKRESIE 24 GODZIN WZGLĘDEM TŁUMIENIA W OTOCZENIU NORMATYWNYM.....	237
RYSUNEK 195. WYKRES OBRAZUJĄCY ZACHODZĄCE ZMIANY PROCENTOWE W OTOCZENIU O PODWYŻSZONYM ZASOLENIU DO STĘŻENIA 3,5% PRZEZ OKRES 168 GODZIN W STOSUNKU DO OTOCZENIA NORMATYWNEGO.....	241
RYSUNEK 196. WYKRES OBRAZUJĄCY ZMIANĘ PROCENTOWĄ TWARDOŚCI POWŁOK LAKIERNICZYCH PO Poddaniu próbek na oddziaływanie roztworu 3,5% NaCl w czasie 336 godzin względem otoczenia normatywnego.....	244