

doi:10.15199/48.2023.05.49

## Ferromagnetyczne warstwy drukowane do weryfikacji autentyczności zwłaszcza dokumentów, wyrobów i opakowań

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości magnetycznych mieszanki farby drukarskiej z proszkami ferromagnetycznymi, służących do weryfikacji autentyczności dokumentów. Badania eksperymentalne przeprowadzono na próbkach o trzech grubościach powłoki magnetycznej. Na podstawie wartości indukcji i pola magnetycznego określono zależności między grubością farby magnetycznej a jej przenikalnością magnetyczną.

**Abstract.** The paper presents the results of testing the magnetic properties of a mixture of printing ink with ferromagnetic powders, used to verify the authenticity of documents. Experimental studies were carried out on samples with three thicknesses of the magnetic coating. Based on the values of induction and magnetic field, the relationship between the thickness of the magnetic paint and its magnetic permeability was determined. (*Ferromagnetic printed layers for authenticity verification, especially of documents, products and packaging*).

**Słowa kluczowe:** farba ferromagnetyczna, sitodruk, fałszerstwo, właściwości magnetyczne.

**Keywords:** ferromagnetic ink, screen printing, counterfeiting, magnetic properties.

### Wstęp

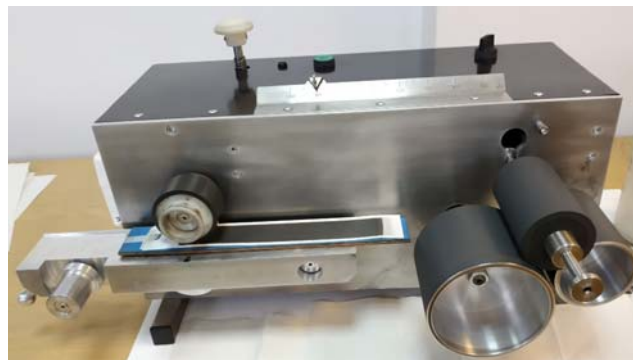
Zabezpieczenie dokumentów, opakowań, wydruków, itp. przed fałszerstwem jest istotnym problemem od setek lat. W związku z dynamicznie rozwijającymi się technologiami produkty podrabiane są bardzo bliskie produktom wzorcowym, często są wręcz nie do odróżnienia „gołym okiem”. W efekcie tego różni producenci tracą miliony złotych w związku z oszustwami [1-3]. Prowadzone badania nad rozwojem technologii zabezpieczeń druków, mają pomóc w rozwiązaniu ww. problemu. Zasadniczą koncepcją zabezpieczeń jest wykonywanie specjalistycznych nadruków (np. na opakowaniach i dokumentach) i umożliwienie jego późniejszego odczytu pozwalającego na potwierdzenie oryginalności produktu [4-8]. Problemem technologicznym jest wykonanie takiego nadruku, który nie będzie mógł zostać odwzorowany przez fałszerzy. Znane są zabezpieczenia druku przed fałszerstwem w postaci farb magnesowalnych. Ich zastosowanie umożliwia wczytywanie, przechowywanie i aktualizację różnego typu informacji do odczytu automatycznego na różnych dokumentach. Zapis i odczyt danych możliwy jest dzięki właściwościom ferromagnetycznym farby. Znane zabezpieczenia drukowane wymagają zastosowania zewnętrznego źródła pola magnetycznego w celu nadania im wymaganych właściwości zabezpieczających [9].

Badania przeprowadzone w drukarni Częstochowskie Zakłady Graficzne doprowadziły do opracowania uproszczonej techniki zabezpieczeń dokumentów, polegającej na powiązaniu właściwości magnetycznej miękkiej farby kompozytowej wraz z indywidualnym charakterem kształtu i grubości nadruku. Dzięki temu zabezpieczenie naniesione metodą sitodruku jest gotowe zaraz po wysuszeniu i nie wymaga dalszych czynności procesowych. Autentyczność dokumentu może zostać potwierdzona przez pomocą sondy indukcyjnej.

### Material

Farba ferromagnetyczna została opracowana z wykorzystaniem napełniacza metalicznego w postaci proszku żelaza o frakcji od 1  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$ , o czystości min. 99,9 %, o sferycznym kształcie cząstek, w ilości od 60 do 70 % wagowo oraz z 30 do 40% wag. osnową w postaci farby drukarskiej zgodnej z DIN ISO 2846-1. Kolor farby uzależniony jest od zastosowanej bazy. Przykład

prezentujący laboratoryjną metodę nanoszenia farby oraz wydruki próbne przedstawiono na rysunkach 1-2.



Rys. 1. Laboratoryjny tester do farb



Rys. 2. Wydruki testowe

Próbki sporządzono w oparciu o metodę offsetową oraz sitodrukową. Próbki wykonane w technologii offsetowej posiadały tylko jedną warstwę farby magnetycznej. Próbki wykonane w technologii sitodrukowej posiadały od 1 do 3 warstw farby. Wykonane próbki przebadano zarówno pod kątem całkowitej grubości powłoki, rezystancji ścieżki. Otrzymane wartości grubości powłoki dla metody offsetowej oscylowały w okolicach 0,05 mm. Natomiast metoda sitodrukowa umożliwiła otrzymanie próbek o grubościach odpowiednio 0,2; 0,25; 0,3 mm

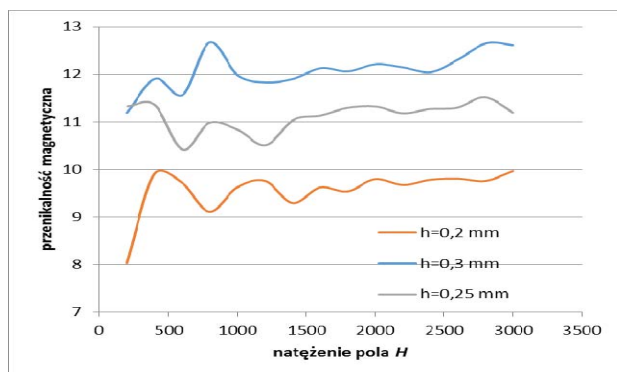
## Badania

Badaniom podano właściwości elektryczne oraz odporności na warunki zewnętrzne. W zależności od procentowego udziału napelniacza, jego rodzaju oraz grubości warstwy otrzymano zróżnicowane wartości rezystancji powierzchniowej. Jednakże otrzymane wartości wskazują na właściwości izolacyjne (tab. 1).

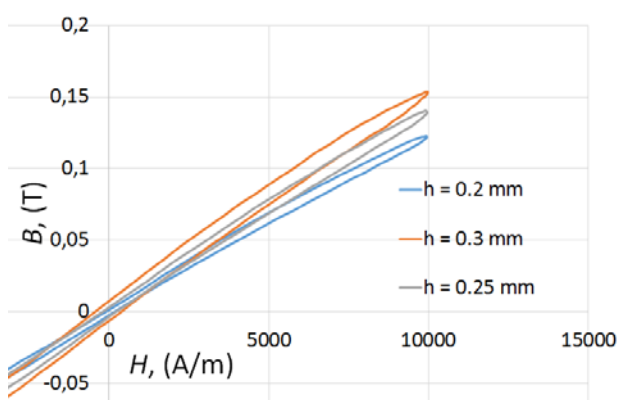
Tabela 1. Wyniki pomiaru rezystancji powierzchniowej dla wybranych próbek.

Lp.	Napelniacz	Metoda	Rezystancja
1	Fe 99,9+, 60%	offset	230 GΩ
2	Fe 99,9+, 70%	sitodruk, 1 warstwa	133,2 GΩ
3	Fe 99,9+, 70%	sitodruk, 3 warstwy	10,16 GΩ
4	Fe 99,9+, 80%	sitodruk, 1 warstwa	14,4 GΩ
5	Fe 99,9+, 80%	sitodruk, 3 warstwy	0,974 GΩ
6	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , 70%	offset	83,4 GΩ
7	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , 70%	sitodruk, 3 warstwy	21,2 GΩ

Dla próbki o najlepszych parametrach (Fe 99,9+, 80%) i kształcie prostokątnego paska wyznaczono zależność natężenia indukcji magnetycznej od grubości warstwy oraz przenikalność magnetyczną. Rezultaty pokazano na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Zależność przenikalności magnetycznej od grubości warstwy



Rys. 4. Kształt pętli histerezy dla różnych grubości warstwy farby.

Wyniki wskazują na silną zależność wartości przenikalności magnetycznej od grubości powłoki.

Przygotowane wydruki poddano ocenie jednorodności i powtarzalności struktury farby magnetycznej naniesionej na podłoże papierowe. Pomiar jednorodności natężenia pola magnetycznego nad powierzchnią farby przeprowadzono za pomocą matrycy czujników Halla wbudowanej w kamerę MagCam 3D. Bardziej szczegółowy opis koncepcji pomiaru można odnaleźć w publikacji [10].

W badaniach jako źródło pola magnetycznego wymuszającego strumień magnetyczny w próbce wykorzystano magnes neodymowy o wymiarach

pokrywających się z badaną próbką (rys. 5). W pierwszej kolejności zebrano informacji o natężeniu pola tuż nad magnesem (wzorcowanie). Następnie wykonano mapowanie natężenia pola tuż nad powierzchnią próbek. Procedurę przeprowadzono dla obu stron próbek.



Rys. 5. Przebieg badania jednorodności pola magnetycznego.

W drugim etapie badań, przeprowadzono pomiar jednorodnego rozłożenia materiału magnetycznego (ferrytu) w strukturze powłoki. W tym celu wykorzystano miernik do pomiarów zawartości ferrytu FMP30 (rys. 2). Powierzchnie badanej próbki podzielono na matrycę 4x11 obszarów, których powierzchnia pokrywała się powierzchnią elektrody pomiarowej (rys. 4).



Rys. 6. Matryca 4x11 pól pomiarowych

Dodatkowo przeprowadzono badania wpływu temperatury i światła na właściwości przygotowanych farb. Przygotowane próbki podzielono na serię referencyjną i badaną. Seria referencyjna była przechowywana przez okres 1 miesiąca w zaciemnionym miejscu o stałej temperaturze 22 °C. Druga seria została wystawiona na działanie promieni słonecznych przez okres min 10 godzin dziennie, przy temperaturze otoczenia dochodzącej do 35 °C. W tym czasie raz w tygodniu wykonywane były pomiary sprawdzające. W okresie testowym nie zaobserwowano zmian względnej rezystancji powierzchniowej o więcej niż 10 %. Analizę zmiany barwy przeprowadzono poprzez pomiar naświetlanych powierzchni próbek przy pomocy spektrofotometru. W przypadku barwy pomiędzy próbkami nienaświetlanymi i próbkami wystawionymi na ekspozycję otrzymane różnice nie przekraczały 5%. Warto zaznaczyć, że w wyniku domieszkiwania proszkami metali i tlenków żelaza, farby (w tym transparentna) przyjmują kolory od ciemnoszarego do czarnego.

## Rezultaty

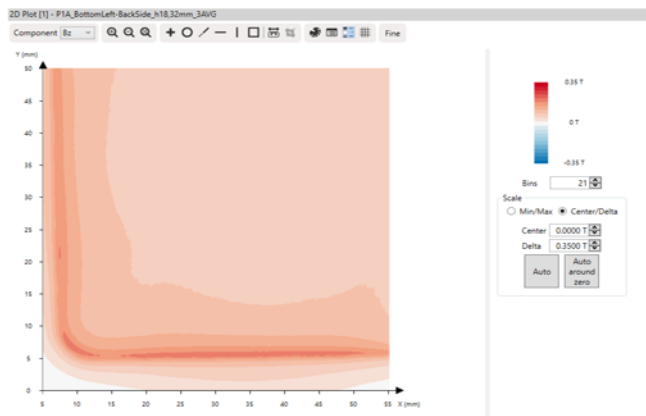
Badania przeprowadzono dla trzech rodzajów próbek o różnej grubości warstwy farby magnetycznej. Pomiar zawartości ferrytu dla próbek A, B i C (rys. 7) wykazał istotne i powtarzalne różnice, na podstawie którym można wnioskować o różnicach grubości powłok. Dodatkowo analiza statystyczna wyników otrzymanych z 44 obszarów pomiarowych wykazała niewielki rozrzut wartości od wartości średniej dla całej próbki.



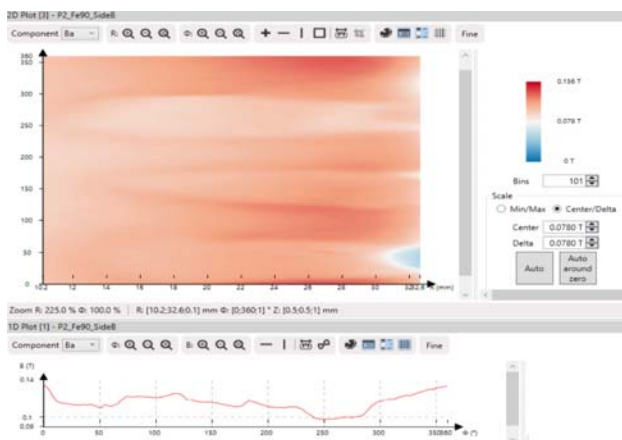
Rys. 7. Pomiar zawartości ferrytu w próbce A

Średnia wartość zawartości ferrytu dla próbki A wyniosła  $2,6\% \pm 0,2$ , dla próbki B wyniosła  $4,5\% \pm 0,1$ , a dla próbki C  $5,3\% \pm 0,1$ , przy poziomie ufności 0,95. Większy rozrzut wartości w przypadku próbki A wynikał z zaobserwowanej zmiany jednorodności powłoki w skrajnym obszarze próbki (na krawędzi).

Analiza pomiaru natężenia pola magnetycznego potwierdziła poziom jednorodności powłoki opisaną powyżej. Wartość natężenia pola magnetycznego przewodzonego przez próbki uzależniona jest od zawartości ferrytu i zawiera się w przedziale od 0,15 Tesli do 0,35 Tesli. Zmierzone obszary cechowały się równomiernym rozłożeniem natężenia pola (rys. 8). Jedynie na krawędziach próbki można zauważyć zmiany, spowodowane załamaniem się linii pola magnetycznego.



Rys. 8. Przykładowy magnetogram naroża powłoki magnetycznej dla próbki A.



Rys. 9. Magnetogram obszaru powłoki magnetycznej z wykrytym zaburzeniem jednorodności struktury dla próbki A.

W przypadku tej próbki, zaobserwowano obszar z zaburzeniami struktury magnetycznej, który poddano dalszej obróbce analitycznej. Rozkład poziomy natężenia pola w układzie 2D przedstawiony na rysunku 9.

Powiększony obszar przedstawiony na rysunku 10 potwierdza wystąpienie zmiany jednorodności struktury wynikającej z uszkodzenia mechanicznego.



Rys. 10. Powiększenie obszaru z widocznym defektem powłoki.

## Podsumowanie

Badania umożliwiły opracowanie przydatnej w warunkach produkcyjnych oraz późniejszej weryfikacji autentyczności dokumentu metody pomiaru parametrów magnetycznych wydruku wykonanego z farby magnetycznej. Na podstawie analizy uzyskanych wyników pomiarów można stwierdzić, że wartość przenikalności magnetycznej farby magnetycznej naniesionej na podłoże papierowe może być skuteczną metodą wyznaczania grubości.

- wartość względnej zawartości ferrytu zależy wprost proporcjonalnie od grubości powłoki (przy założeniu stałości jej składu),
- niezależnie od grubości powłoki, pomiary wykazały że są one jednorodne w na całej powierzchni próbek,
- w celu eliminacji wpływu lokalnych defektów na rezultat pomiaru należy przeprowadzać pomiary w min. trzech obszarach,
- druk najlepiej stosować na płaskich powierzchniach. Składanie i gięcie może spowodować pęknięcia warstwy farby,
- im grubsza warstwa farby tym lepszy efekt magnetyczny,
- farbę ferromagnetyczną aplikuje się w technologii sitodruku. Użyte sito powinno mieć średnicę oczek min. 30  $\mu\text{m}$ . Farbę można nakładać innymi metodami, przy zachowaniu całkowitej grubości powłoki min. 100  $\mu\text{m}$ .

Badania zostały przeprowadzone przy wsparciu przez Regionalny Program Operacyjny Województwa Śląskiego, projekt nr WND-RPSL.01.02.00-24-06G9/16-004.

**Autorzy:** Mgr Anna Łodzińska, Drukarnia Częstochowskie Zakłady Graficzne Sp. z o. o., Aleja Najświętszej Maryi Panny 52, 42-200 Częstochowa. e-mail: [anna.lodzinska@czq.pl](mailto:anna.lodzinska@czq.pl); dr hab. inż. Adam Jakubas, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: [adam.jakubas@pcz.pl](mailto:adam.jakubas@pcz.pl),

## LITERATURA

- [1] Majewski P., Analiza danych dotyczących przestępstw ubezpieczeniowych ujawnionych w 2020 roku, *Polska Izba Ubezpieczeń*, Warszawa 2021.
- [2] Przestępstwa przeciwko wiarygodności dokumentów – statystyka policyjna. Postępowania wszczęte i przestępstwa stwierdzone z art. 270 KK za lata 1999 – 2020. Dostęp on-line (odczyt 5.01.2022 r.) <https://statystyka.policja.pl/st/kodeks-karny/przestepstwa-przeciwko-15/63643,Podrabianie-dokumentow-art-270.html>

- [3] Troyan, O., Korobchynskiy, M., Didyk, O. Analysis of threats falsification of printed documents. In *2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, IEEE (2016), 248-253.
- [4] Kołdecki H, *Technicznokryminalistyczne badania autentyczności dokumentów publicznych (praca zbiorowa)*, wyd. poznańskie, Poznań 2004, s. 9.
- [5] Yang, D., Ouyang, C., Zhang, Y., Ma, D., Ye, Y., Bu, D., & Huang, S. Simple and efficient fabrication of multi-stage color-changeable photonic prints as anti-counterfeit labels. *Journal of Colloid and Interface Science*, 590 (2021), 134-143.
- [6] Van Beusekom, J., Schreyer, M., & Breuel, T. M. Automatic counterfeit protection system code classification. In *Media Forensics and Security II*. SPIE. Vol. 7541 (2010), pp. 149-156.
- [7] Pan, M., Wang, L., Dou, S., Zhao, J., Xu, H., Wang, B., & Li, Y. Recent advances in colloidal photonic crystal-based anti-counterfeiting materials. *Crystals*, 9((2019), 417.
- [8] Tuyls, P., & Batina, L. RFID-tags for anti-counterfeiting. In *Cryptographers' track at the RSA conference*. Springer, Berlin, Heidelberg (2006), 115-131.
- [9] Merazzo, K. J., Lima, A. C., Rincón-Iglesias, M., Fernandes, L. C., Pereira, N., Lanceros-Mendez, S., & Martins, P. Magnetic materials: a journey from finding north to an exciting printed future. *Materials Horizons*, 8 (2021), No 10, 2654-2684.
- [10] Jakubas, A., Jabłoński, P. Measurement and evaluation of the defect size in soft magnetic composites using magnetic field inspections. *Energies*, 14 (2021), No. 9, 2694.