PRACE INSTYTUTU ODLEWNICTWA
Tom L Rok 2010 Zeszyt 4

BADANIE SKŁADU CHEMICZNEGO WYROBÓW ZŁOTNICZYCH Z KOLEKCJI MUZEUM OKRĘGOWEGO W TORUNIU

COMPARATIVE STUDIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GOLDSMITH OBJECTS FROM THE COLLECTION OF REGIONAL MUSEUM IN TORUN

Katarzyna Kluczwajd, Jacek Krokosz**, Rafał Pabiś**, Zdzisław Żółkiewicz**, Robert Sałat****

**Muzeum Okręgowe w Toruniu, Rynek Staromiejski 1, 87-100 Toruń*
***Instytut Odlewnictwa, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*
****Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Laboratorium Sterowników PLC, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa*

Streszczenie

Przedstawiono charakterystykę toruńskich wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu. Przytoczono wyniki badań składu chemicznego metodą XRF wykonane urządzeniem NITON kilkuset obiektów zabytkowych oraz zestawiono je w tabeli. Podjęto próbę interpretacji wyników pomiaru z zastosowaniem sieci neuronowej „Odwzorowanie Sammona". Wskazano, jak istotne są dla kustoszy muzeów takie badania, rozszerzając w ten sposób zasób informacji o obiektach muzealnych.

Słowa kluczowe: skład chemiczny, urządzenie NITON, obiekty muzealne

Abstract

The characteristics of goldsmith objects included in the collection of Regional Museum in Torun were presented. The results of the chemical composition measurements taken by XRF method on a Niton device on hundreds of historic objects were given and the concluding findings were summarised in a table. An attempt was made to interpret the results of measurements using a „Sammon Mapping" neural network. It was indicated how important these investigations are for museum keepers, extending the range of information about museum objects.

Key words: chemical composition, NITON device, museum objects

Wstęp

Srebra toruńskiej roboty stanowią cenną część kolekcji złotniczej Muzeum Okręgowego w Toruniu - dość dobrze rozpoznaną pod względem historycznym, artystycznym, ikonograficznym, choć nie technologicznym (a raczej materiałoznawczym) - z oczywistych względów: metod i instrumentów badawczych dostępnych dla historyka sztuki. Dla pełnego opisania tych dzieł, a tym samym dla pełniejszego poznania dawnego warsztatu miejscowych złotników, tym bardziej cenna była propozycja Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, współpracującego ze środowiskiem toruńskich historyków sztuki, m.in. w ramach cyklu sesji naukowych „Rzemiosło artystyczne i wzornictwo w Polsce" [1], precyzyjnego przebadania składu stopów metali wybranych muzealiów za pomocą najnowocześniejszej aparatury.

Ze względu na specyfikę muzealnej kolekcji zabytków metalowych, z których przecież mało który wykonany jest z „czystego" metalu (to zabytki ze stopów cyny, miedzi, żelaza, a także srebra) oraz fakt, iż ze względu na pilotażowy charakter badania podlegać mu mogła ograniczona ilość eksponatów, wytypowana została grupa zabytków najcenniejszych w tym zespole: srebra toruńskiej roboty oraz klejnoty i srebra stołowe ze skarbu ze Skrwilna. To pionierskie w polskim muzealnictwie, nieinwazyjne badanie materiałowe pozwala precyzyjnie ocenić skład stopu metali dzieł sztuki użytkowej, co umożliwia wnioskowanie, m.in. o stopniu zgodności oznakowania próby z faktycznym składem stopu. Aby tego rodzaju analizy mogły być użyteczne w badaniu przedmiotów zabytkowych, konieczne byłoby jednak wykonanie analiz na znacznie większej, reprezentatywnej grupie zabytków.

Badanie składu stopów zabytków złotniczych metodą mikrofluorescencji rentgenowskiej, wykonane metodą XRF za pomocą urządzenia NITON, wykonano w kwietniu 2010 roku przez pracowników Instytutu Odlewnictwa w Krakowie. Szczegółowe dane dotyczące składu chemicznego stopów badanych muzealiów uzupełnią przygotowywany katalog wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego i będą jednymi z pierwszych, tak precyzyjnych, w publikacjach tego rodzaju.

Charakterystyka kolekcji

Kolekcja sreber Muzeum Okręgowego w Toruniu obejmuje dzieła zarówno sakralne, jak i świeckie, roboty polskiej i obcej. W kategoriach historycznych najcenniejsze dla Muzeum są naczynia, sprzęty i przedmioty zarówno lokalnego wyrobu, jak i te związane z miastem - z miejscowymi kościołami, katolickimi i protestanckimi; z organizacjami cechowymi działającymi w Toruniu, z lokalnymi gmachami użyteczności publicznej.

Muzeum może poszczycić się reprezentatywnym zbiorem wyrobów złotników toruńskich od XVI wieku po XIX stulecie. Oceniając kolekcję złotniczą wedle kategorii artystycznych, najcenniejszą i najważniejszą jej częścią jest wspomniany skarb ze Skrwilna, z okazami klejnotów europejskiej klasy, z których część wykonana została zapewne w warsztatach południowych Niemiec, ale i ze srebrami stołowymi lokalnego wyrobu. W grupie dzieł najcenniejszych wymienić należy również najwyższej klasy wyroby toruńskie okresu nowożytnego, m.in. dzieła najlepszego w Toruniu mistrza - Jacoba Weintrauba, z przełomu XVII i XVIII wieku.

W toruńskim zbiorze ozdób ciała i stroju naczelne miejsce zajmują znamienite klejnoty z II połowy XVI w. i I połowy XVII w. ze skarbu ze Skrwilna, należące do rodziny Piwów. Nie wiadomo, czy Zofia Piwo, z domu Loka, wówczas już wdowa po Stanisławie Piwo, skrzynię z precjozami i srebrami z powodu szwedzkiego najazdu (1655 r.) nakazała zakopać (ukryć), czy też została ona zagubiona podczas ucieczki. Dzieje odkrycia skarbu ze Skrwilna (1961 r.), opis, analizę i interpretację zespołu, szczegółowe noty dotyczące ozdób i sreber stołowych, literaturę etc. zawarto w monografii „Skarb ze Skrwilna" [2].

Odnośnie do sreber korpusowych w zbiorach Muzeum należy stwierdzić, że znana jest proweniencja znacznej ich liczby, co dotyczy szczególnie dzieł sakralnych. Ten historyczny kontekst decyduje o tym większej wartości dzieł, szczególnie w odniesieniu do sreber miejscowej roboty. Większa część naczyń, sprzętów liturgicznych (licząc łącznie z depozytami) pochodzi z toruńskich świątyń; są to kościoły:

- Świętojański (pw. św. Jana Chrzciciela i św. Jana Ewangelisty) - 16 poz. inw.,
- Dominikanów, pw. św. Mikołaja - 1 poz. inw.,
- Franciszkanów, Mariacki (pw. Wniebowzięcia NMP i bł. ks. Stefana W. Frelichowskiego), z okresu ewangelickiego - 3 poz. inw. (4 szt.),
- pw. św. Jerzego, ewangelicki - 9 poz. inw.,
- staromiejskiej gminy ewangelickiej, pw. Ducha Św. - 15 poz. inw.,
- nowomiejskiej gminy ewangelickiej, pw. Św. Trójcy - 3 poz. inw. (5 szt.),
- Reformatów, pw. św. św. Piotra i Pawła w Piaskach (obecnie Toruń Podgórz) - 1 poz. inw.

O innych srebrach wiadomo, że użytkowano je, m.in. w Dworze Artura w Toruniu (2 poz. inw.), w kościołach: w Łowiczu (2 poz. inw.), w Czernikowie (1 poz. inw.), w Barłożnie (1 poz. inw.).

Nieliczne w kolekcji są świeckie naczynia reprezentacyjne, tak licznie wytwarzane i zachowane w niedalekim Gdańsku. To m.in. puchar i kubek z toruńskiego Dworu Artusa, okazałe, acz nieliczne naczynia cechowe. W odniesieniu do sreber cechowych cenne są informacje o ich pierwszych użytkownikach, którzy zapewne byli także zamawiającymi. Zachowane wyroby należały do następujących korporacji toruńskich:

- bednarzy - 2 poz. inw.,
- kapeluszników, rękawiczników, rymarzy - 1 poz. inw.,
- kowali - 1 poz. inw.,
- murarzy - 5 poz. inw.,
- rzeźników - 6 poz. inw.,
- bractw pogrzebowych (cechów śmiertelnych) - 2 poz. inw.,

oraz cechów spoza Torunia:

- piekarzy w Gdańsku - 1 poz. inw.,
- bractwa strzeleckiego w Gdańsku - 3 poz. inw.,
- bractwa strzeleckiego w Malborku - 1 poz. inw.,
- bractwa strzeleckiego w nieznanym mieście - 1 poz. inw.,
- nieznanego cechu w Świdnicy - 1 poz. inw.

W kontekście badania składu stopów sreber toruńskich istotne są informacje o charakterze historycznym, odnoszące się do dawnej praktyki warsztatowej oraz systemu znakowania wyrobów [3]. W okresie średniowiecza stosowano zapewne srebro 15 i 14-łutowe, z czasem obniżając próbę do 13 łutów. W statucie cechu złotników w Toruniu z 1644 roku zapisano obowiązek stosowania srebra 12-łutowego. W II. ćwierci

XVIII w. obok cechy miejskiej stosowano znaki próby („12" lub „13"), co wedle Michała Gradowskiego oznacza, że w tym czasie cecha miasta nie oznaczała jednoznacznie powszechnie znanej próby.

Zagadnienia probiercze uporządkowano w Toruniu dopiero w połowie XVIII w., kiedy zmieniono cechę miasta (1749 r.) oraz dopuszczono stosowanie srebra niższej próby, jednak pod warunkiem jej oznakowania. W praktyce dla wyrobów ze srebra 12-łutowego stosowano tylko cechę miasta, przy próbie wyższej, tj. „13" i „14", rzadziej używanej, obok cechy miasta kładziono znak próby (cyfrowy). Na srebrach próby niższej niż 12-łutowej bito tylko znak próby (cyfrowy), bez cechy miasta. Mimo uporządkowanego systemu probierczego, zdarzały się w Toruniu nadużycia i oszustwa w tej materii, podobnie jak w innych miastach.

Należy wspomnieć, że w II połowie XVII w. i I połowie XVIII w. wyroby z powierzonego surowca nie podlegały znakowaniu cechą miejską (miały zwykle cechę imienną wybitą dwa razy).

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań składu chemicznego stopów toruńskich wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu. Analizując wyniki tych badań za pomocą urządzenia NITON, należy dokonać „przeliczenia" historycznych oznaczeń próby srebra w łutach na określenie procentowe, wynikające z trybu pracy współczesnej aparatury. Próba „12" oznacza 12 łutów srebra w grzywnie stopu, tj. 75% wag. srebra (grzywna ma 16 łutów), zaś próba „13" to 13 łutów srebra w grzywnie stopu, tj. 81,2% wag. srebra. Odniesienie wyników pomiarów do wartości tych dwóch prób stopów, stosowanych powszechnie w złotnictwie toruńskim, pokazuje, na ile rzetelnie przestrzegano tu zasad probierniczych oraz ujawnia stosowanie srebra wysokiej próby w wyrobach bez jej oznaczenia, które stanowią sporą część obiektów przebadanych.

Dobrej klasy materiał, o zawartości ponad 90% wag. srebra w stopie, stwierdzono w wyrobach z XVII w., które nie mają oznakowania próby. Są to: naczynia z łupiną orzecha kokosowego (MT/S/1939, MT/S/1944), kubek cechu kapeluszników, rękawiczników, rymarzy (MT/S/1943), kubek ze stopą Albrechta Weimmera II (MT/S/10413), kielich mszalny ze stopą Albrechta Weimmera I (MT/S/10414), kielich mszalny Niclausa Bröllmanna (MT/S/1911), krzyż relikwiarzowy Stephana Petersena (MT/S/2048), ołtarzyk domowy (MT/S/10410) i plakieta wotywna (MT/S/10412). Wysoką klasę reprezentują (ponad 90% wag. srebra w stopie) także naczynia z XVIII w., np.: łódka do kadzidła Jacoba Weintrauba (MT/S/2032), kielichy mszalne: Johanna Christiana Bröllmanna (MT/S/1900, MT/S/1906), Jacoba Jenny'ego (MT/S/1901), z Podgórza (MT/S/10417), tacka Jenny-'ego (MT/S/2017), zawieszka cechu rzeźników (MT/S/1947), choć bez oznaczenia próby. Niektóre plakiety wotywne z kościoła Świętojańskiego w Toruniu wykonane są ze stopu dobrej próby, zawierającego od ponad 80% wag. do 90% wag. srebra (np. MT/Ad/1633/S). Wyjątkowo wysoką próbą srebra (ponad 95% wag.) charakteryzują się łyżki ze skarbu z Nieszawy (MT/S/2001-MT/S/2005), co w wyrobach tego rodzaju nie było akurat najbardziej wskazane (szybsze zużycie), a także pas (MT/S/2007) i naczynie (MT/S/2006) z tegoż skarbu.

W grupie wyrobów złotych (wszystkie ze skarbu ze Skrwilna) najwyższej próby stop, o zawartości ponad 95% wag. złota, stwierdzono w przypadku trzech bransolet (MT/S/1979/1-2, MT/S/1980). Ze złota wysokiej klasy (ponad 90% wag.) wykonane są także pochodzące z tego skarbu łańcuchy: zachowany fragmentarycznie (MT/S/1987) i złożony z dziewięciu sznurów (MT/S/1984), a stop o zawartości ponad 80% wag. złota użyto w przypadku dwóch wielkich łańcuchów: noszenia z kamieniami jubilerskimi

i emalią (MT/S/1983), fragmentu noszenia z filigranem i emalią (MT/S/1996) oraz jednego ze skromniejszych łańcuchów (MT/S/1985).

Ale zdarzają się też kurioza, jak w przypadku łyżki stołowej Joachima Knopfa (MT/S/2014), sprzed 1624 roku, gdzie znak próby „10" jest zdecydowanie zaniżony w stosunku do rzeczywistego składu stopu - w badaniu stwierdzono w nim 90,911% wag. srebra. Więcej srebra niż wykazuje próba użyto także w trzech zapinkach do torebki przy pasie, z XIX w. (1 - Ernst A. Plengorth, około 1830–1840, MT/S/1958, próba „12" - 87,703% wag. srebra; 2 - R. Knorr, około 1834 r., MT/S/5077, próba „12" - 85,393% wag. srebra, 3 - tenże, MT/S/1959, próba „12" - 90,283% wag. srebra).

Na drugim biegunie lokują się przypadki oznaczania próby zawyżonej w stosunku do rzeczywistego składu stopu, jak w przypadku innej łyżki stołowej, Ludwiga Ferdinanda Kambly, acz późnej (około 1834 roku) - przy znaku próby „12" srebra jest zbyt mało, bo 64,966% wag. Trudne do jednoznacznej interpretacji są wyniki pomiarów w odniesieniu do kompletu do obmywania rąk, augsburskiej roboty (Balthasar Grill I, 1615–1617), ze skarbu ze Skrwilna. Dzban i misa ze złoconego srebra mają próbę „13", jednak w badaniu wykazano wartości niższe lub wyższe. Trzeba pamiętać, że w przypadku złocenia zastosowanego na całej powierzchni przedmiotu, odczyt jest zniekształcony, ponieważ jest to badanie powierzchniowe. W przypadku dzbana stwierdzono 69,367% wag. (z boku) i 96,045% wag. (od spodu) srebra, zaś misy - 68,793% wag. i 72,490% wag. (od spodu).

**Łut, dawna jednostka miary masy, używana była w Europie od średniowiecza do końca XIX w., m.in. do określania wagi probierczej srebra. Łut to 1/16 grzywny (tj. 1/32 funta), w zależności od czasu i miejsca wynosił 10-50 gramów, w Polsce - 12,65625 grama.*

Tabela 1. Wyniki badań składu chemicznego stopów toruńskich wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu (metoda XRF)

Table 1. The results of measurements of the chemical composition of alloys used for goldsmith objects included in the collection of Regional Museum in Torun (XRF method)

Oznaczenie badanego przedmiotu wg numeru inwentarza	Nr pomiaru	Skład chemiczny, % wag.																				
		Sn	In	Cd	Ag	Pd	Rh	Ru	Mo	Nb	Pb	Au	Pt	Ir	Ga	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	Ti
2006	172	0,454	0,047	0	64,402	0	0	0	0	0	0,181	32,2	0	0,151	0	0,328	1,506	0	0,04	0,078	0,106	0,116	0,302
2008	173	0	0	0	84,428	0	0	0	0	0	0,564	9,861	0,058	0	0	0,176	4,774	0	0	0	0	0	0
2007	174	0,295	0,05	0	95,64	0,026	0,014	0	0	0	0,118	0,308	0	0,028	0	0,034	2,837	0	0	0	0	0,122	0,389
2005	175	0	0	0	94,261	0	0	0	0	0	0,703	0,195	0	0,112	0	0,09	4,601	0	0	0	0	0	0
2003	176	0,352	0	0	95,023	0	0	0	0	0	0,483	0,271	0	0,04	0	0,147	3,578	0	0	0	0	0	0
2004	177	0,16	0	0	91,519	0	0	0	0	0	1,176	0,604	0	0,06	0	0,472	5,988	0	0	0	0	0	0
2002	178	0	0	0	94,484	0	0	0	0	0	0,623	0,143	0	0,118	0	0,044	4,56	0	0	0	0	0	0
2001	179	0	0	0	94,277	0	0	0	0	0	0,478	0,574	0	0,104	0	0,048	4,338	0	0	0	0	0	0
1975	180	0,264	0	0	89,987	0	0	0	0	0	0,494	0,4	0	0	0	0,274	8,531	0	0	0	0	0	0
1976	181	0,403	0	0	85,254	0	0	0	0	0	0,322	0,554	0	0	0	0,344	13,047	0	0	0	0	0	0
1977	182	0,232	0	0	87,761	0	0	0	0	0	0,387	0,519	0	0	0	0,183	10,853	0	0	0	0	0	0
1978	183	0	0	0	88,134	0	0	0	0	0	0,652	0,412	0	0,079	0	0,395	10,1	0	0	0	0	0	0
1974	185 *	0,293	0	0	92,706	0	0	0	0	0	0,797	0,415	0	0,106	0	0,166	5,426	0	0	0,069	0	0	0
1970	186	0,177	0	0	94,2	0	0	0	0	0	0,272	0,519	0	0,051	0	0,145	4,555	0	0	0,072	0	0	0
oferta	187	0,252	0	0	91,858	0	0	0	0	0	0,228	0,214	0	0	0	0,055	7,191	0	0	0	0	0	0
oferta-baranek	188	0,214	0	0	93,435	0	0	0	0	0	0,212	0,235	0	0	0	0,163	5,64	0	0	0	0	0	0
1971	189	0	0	0	92,245	0	0	0	0	0	0,285	0,098	0	0,037	0	0,047	7,215	0	0	0,065	0	0	0
1972	190	0,219	0	0	93,773	0	0	0	0	0	0,2	0,491	0	0	0	0,294	4,657	0	0	0,079	0	0	0
1973	191	0	0	0	91,395	0	0	0	0	0	0,41	0,378	0	0	0	0,183	7,374	0	0	0,113	0	0	0
1969-dzbanek	192	0,206	0	0	69,367	0	0	0	0	0	0,222	26,241	0	0,237	0	0,407	2,873	0	0,028	0,05	0	0	0
1969-dzbanek-d	193	0	0,061	0	96,045	0,02	0,016	0,004	0	0	0,235	0,16	0	0,039	0	0,051	2,489	0	0	0	0	0,162	0,458
1969-misa	194	0,336	0	0	68,793	0	0	0	0	0	0,232	27,246	0	0,197	0	0,43	2,183	0	0	0,069	0	0,121	0,291

Tabela 1 cd.

Oznaczenie badanego przedmiotu wg numeru inwentarza	Nr pomiaru	Skład chemiczny, % wag.																					
		Sn	In	Cd	Ag	Pd	Rh	Ru	Mo	Nb	Pb	Au	Pt	Ir	Ga	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	Ti
1969-misa-d	195	0	0,045	0	72,49	0	0	0	0	0	0,209	21,026	0	0,218	0	0,444	4,886	0,047	0	0	0	0,13	0,27
1979	196	0	0	0,158	2,452	0	0,067	0,054	0,01	0,006	0,099	95,821	0	0	0	0,074	0,757	0,059	0	0,128	0,063	0	0
1981	197	0	0	0,113	7,579	0,026	0	0,05	0	0	0,108	88,801	0	0	0	0,087	2,956	0,041	0	0	0	0	0
1980	198	0,091	0,099	0,153	2,51	0	0,154	0,04	0,023	0,019	0,085	95,417	0	0,091	0	0	1,038	0,042	0	0,081	0	0	0
1979p	200	0	0	0,057	3,412	0	0	0,023	0	0	0,096	94,796	0	0	0	0	1,227	0	0	0,173	0	0,071	0
1987	201	0	0	0,165	4,387	0,084	0	0,062	0	0	0,086	93,054	0	0	0	0	1,922	0,049	0	0	0	0	0
1986	202	0	0	0	18,522	0	0	0	0	0	0,077	77,939	0	0	0	0	3,304	0	0	0,063	0	0	0
1985	203	0	0	0,071	9,556	0	0	0,024	0	0	0,083	84,631	0	0	0	0,493	4,937	0,04	0	0,068	0	0	0
1990	204	1,187	1,163	1,731	12,62	1,324	1,091	0,417	0,224	0,17	0,222	71,075	0,171	0,055	0	0,125	7,897	0,076	0,029	0,198	0,129	0	0
1992	205	7,193	0,078	0,097	8,202	0	0,056	0,04	0,009	0	8,941	68,67	0	1,038	0	0,042	4,329	0,112	0,304	0,706	0,058	0	0
1996	206	0	0	0,037	10,464	0	0	0,027	0	0	0,084	84,791	0	0	0	0,082	4,253	0	0	0,078	0	0	0
1983	207	0	0	0,171	10,304	0,065	0	0,065	0	0	0,095	82,92	0	0	0	0,13	5,959	0	0	0,085	0	0	0
1984	208	0	0	0,046	4,983	0	0	0,022	0	0	0,103	92,101	0	0	0	0,067	2,399	0,05	0	0,055	0	0	0
1982	209	0	0	0,105	8,095	0	0	0,038	0	0	0,089	88,863	0	0	0	0	2,586	0,037	0	0,127	0	0	0
1997	210	0,964	0	0,031	38,181	0	0	0	0	0	0,111	58,387	0	0,247	0	0,216	1,509	0,055	0	0,15	0	0	0
1993	211	0	0	0	23,327	0	0	0	0,021	0	0,076	59,756	0	1,043	0	0,073	9,409	0,142	0,608	1,159	4,311	0	0
1994	212	0,66	0	0	36,374	0	0	0	0	0	0,185	59,825	0	0,254	0	0,322	2,146	0,066	0	0,058	0	0	0
1995	213	0,368	0	0	17,757	0	0	0	0	0	0,129	79,714	0	0,208	0	0,266	1,272	0,057	0	0,076	0	0	0
1933	214	0,308	0	0	70,878	0	0	0	0	0	0,471	0,45	0	0,106	0	0,705	27,047	0	0	0	0	0	0
1936	215	0,231	0	0	77,102	0	0	0	0	0	0,255	0,056	0	0,061	0	0,116	21,523	0	0	0,15	0	0	0,439
2031	216	0,326	0	0	84,111	0	0	0	0	0	0,202	0,052	0	0	0	0,093	15,118	0	0	0	0	0	0
5077	217	0,366	0	0	85,393	0	0	0	0	0	0,209	0,58	0	0	0	0,143	13,129	0	0	0	0	0	0
1958	218	0,535	0	0	87,703	0	0	0	0	0	0,234	0,367	0	0,029	0	0,516	10,487	0	0	0,059	0	0	0
1959	222	0,187	0,042	0	90,283	0	0	0	0	0	0,195	0,271	0	0,035	0	0,516	8,303	0	0	0	0	0	0
1962	223	0,258	0	0	80,828	0	0	0	0	0	0,359	0,214	0	0,037	0	0,276	17,969	0	0	0	0	0	0

Tabela 1 cd.

Oznaczenie badanego przedmiotu wg numeru inwentarza	Nr pomiaru	Skład chemiczny, % wag.																					
		Sn	In	Cd	Ag	Pd	Rh	Ru	Mo	Nb	Pb	Au	Pt	Ir	Ga	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	Ti
10408	224	0,585	0	0	64,966	0	0	0	0	0	0,436	0,052	0	0,041	0,027	0,142	33,695	0	0	0	0	0	0
10409	226	0,313	0	0	73,923	0	0	0	0	0	0,335	0,047	0	0	0	0,231	25,038	0,066	0	0	0	0	0
1943	227	0	0	0	92,908	0	0	0	0	0	0,217	0,425	0	0	0	0,126	6,03	0	0	0	0	0	0
1939	228	0,488	0	0	92,816	0	0	0	0	0	0,262	0,414	0	0,037	0	0,163	5,716	0	0	0	0	0	0
1932	229	0,64	0	0	88,665	0	0	0	0	0	0,234	0,543	0	0	0	0,45	9,305	0	0	0	0	0	0
1944	230	0,594	0	0	92,653	0	0	0	0	0	0,416	0,372	0	0,048	0	0,548	5,172	0,052	0	0	0	0	0
10403	231	0,185	0	0	84,615	0	0	0	0	0	0,095	0,029	0	0	0	0,224	14,758	0	0	0	0	0	0
2017	232	0,456	0	0	94,882	0	0	0	0	0	0,188	0,705	0	0	0	0,159	3,51	0	0	0	0	0	0
2026	233	0,213	0	0	70,605	0	0	0	0	0	0,42	0,401	0	0,11	0	1,201	26,873	0	0	0,062	0	0	0
10415	234	0,292	0	0	77,26	0	0	0	0	0	0,485	0,308	0	0,066	0	0,728	20,818	0	0	0	0	0	0
10402	235	0,422	0	0	87,297	0	0	0	0	0	0,036	0,025	0	0	0	0,16	12,021	0	0	0	0	0	0
10413-korpus	236	0,232	0	0	91,975	0	0	0	0	0	0	0,036	0	0	0	0,045	7,601	0	0	0,095	0	0	0
10413-stopa	237	0,319	0	0	91,03	0	0	0	0	0	0,011	0	0	0	0	0,102	5,987	0	0	2,472	0	0	0
2014	238	0,335	0	0	90,911	0	0	0	0	0	0,444	0,106	0	0	0	0,075	8,084	0	0	0	0	0	0
1941	239	0,331	0	0	84,689	0	0	0	0	0	0,39	0,263	0	0,051	0	0,227	13,96	0	0	0	0	0	0
1940	240	0,417	0	0	81,34	0	0	0	0	0	0,441	0,272	0	0,068	0	0,274	17,107	0	0	0	0	0	0
1946	241	0,42	0	0	88,009	0	0	0	0	0	0,239	0,465	0	0,031	0	0,411	10,308	0	0	0	0	0	0
1947	242	0,218	0	0	93,962	0	0	0	0	0	0,222	0,124	0	0	0	0,091	5,215	0	0	0	0	0	0
1948	243	0,502	0	0	83,395	0	0	0	0	0	0,402	0,439	0	0	0	0,462	14,701	0	0	0	0	0	0
1942	244	0,45	0	0	78,74	0	0	0	0	0	0,401	0,452	0	0	0	2,312	17,589	0	0	0	0	0	0
2032	245	0	0	0	97,179	0	0	0	0	0	0,098	0,383	0	0	0	0,055	1,828	0	0	0,076	0	0	0
1913	246	0,245	0	0	95,903	0	0	0	0	0	0,151	0,489	0	0	0	0,13	3,026	0	0	0	0	0	0
1902	247	0,483	0	0	85,504	0	0	0	0	0	0,342	0,614	0	0,054	0	0,54	12,407	0	0	0	0	0	0
1907	248	0,326	0	0	89,236	0	0	0	0	0	0,221	0,263	0	0,038	0	0,282	9,597	0	0	0	0	0	0
1904	249	0,315	0	0	84,508	0	0	0	0	0	0,189	0,36	0	0,066	0	1,464	12,949	0	0	0	0	0	0

Tabela 1 cd.

Oznaczenie badanego przedmiotu wg numeru inwentarza	Nr pomiaru	Skład chemiczny, % wag.																					
		Sn	In	Cd	Ag	Pd	Rh	Ru	Mo	Nb	Pb	Au	Pt	Ir	Ga	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	Ti
1903	250	0,446	0	0	90,018	0	0	0	0	0	0,139	0,354	0	0,041	0	1,014	7,787	0	0	0	0	0	0
1905	251	0,333	0	0	90,893	0	0	0	0	0	0,302	0,327	0	0,08	0	0,211	7,672	0	0	0,103	0	0	0
1918	252	0,412	0	0	86,231	0	0	0	0	0	0,383	0,464	0	0,073	0	0,379	12,039	0	0	0	0	0	0
1917	253	0	0	0	87,46	0	0	0	0	0	0,21	0,702	0	0	0	0,273	11,21	0	0	0	0	0	0
1900	254	0,398	0	0	93,017	0	0	0	0	0	0,219	0,948	0	0,035	0	0,14	5,148	0	0	0	0	0	0
1914	256	0,54	0,045	0	55,341	0	0	0	0	0	0,219	27,995	0	0,379	0	0,665	14,424	0,046	0	0,049	0	0,096	0
1906	258	0,278	0	0	91,309	0	0	0	0	0	0,252	0,529	0	0,049	0	0,302	7,209	0	0	0	0	0	0
1901	259	0,284	0	0	96,006	0	0	0	0	0	0,124	0,705	0	0	0	0,033	2,415	0	0	0	0	0	0
1911	260	0,274	0	0	91,963	0	0	0	0	0	0,122	0,563	0	0	0	0,143	6,666	0	0	0,08	0	0	0
10417	261	0,181	0	0	94,859	0	0	0	0	0	0,229	0,748	0	0	0	0,275	3,486	0	0	0	0	0	0
2048	262	0,3	0	0	94,475	0	0	0	0	0	0,373	0,432	0	0	0	0,154	4,183	0	0	0	0	0	0
10410	264	0,314	0	0	93,127	0	0	0	0	0	0,478	0,639	0	0,063	0	0,071	5,242	0	0	0	0	0	0
10412	265	0,311	0	0	93,881	0	0	0	0	0	0,423	0,571	0	0,081	0	0,098	4,581	0	0	0	0	0	0
2016	266	0,41	0,048	0	86,997	0	0	0	0	0	0,346	0,156	0	0,051	0	0,164	11,739	0	0	0	0	0	0
1945	267	0,248	0	0	94,693	0	0	0	0	0	0,218	1,257	0	0	0	0,05	3,429	0	0	0	0	0	0
10406	268	0,33	0	0	87,604	0	0	0	0	0	0,241	0,58	0	0	0	0,505	10,482	0	0	0	0	0	0
1923	270	0,249	0	0	89,727	0	0	0	0	0	0,242	0,058	0	0,042	0	0,081	9,529	0	0	0	0	0	0
1924	271	0,363	0	0	85,444	0	0	0	0	0	0,227	0,614	0	0	0	0,158	13,164	0	0	0	0	0	0
1926	272	0,336	0,04	0	86,864	0	0	0	0	0	0,274	0,421	0	0	0	0,32	11,616	0	0	0	0	0	0
10414	273	0	0	0	96,076	0	0	0	0	0	0,246	0,578	0	0	0	0,095	2,574	0	0	0,054	0	0	0
10411	274	0,299	0	0	79,417	0	0	0	0	0	0,339	0,209	0	0,23	0	0,307	19,092	0	0	0	0	0	0
2010	275	0,22	0	0	66,705	0	0	0	0	0	0,468	0,306	0	0,058	0	5,149	26,999	0,045	0	0	0	0	0
1645	276	0,405	0	0	73,849	0	0	0	0	0	0,38	0,334	0	0,079	0	0,402	24,485	0	0	0,042	0	0	0
1644	277	0,324	0	0	87,35	0	0	0	0	0	0,329	0,204	0	0,045	0	0,411	11,249	0	0	0,056	0	0	0
1643	278	0,303	0	0	60,791	0	0	0	0	0	0,35	0,161	0	0,113	0	0,641	37,548	0	0	0	0	0	0

Tabela 1 cd.

Oznaczenie badanego przedmiotu wg numeru inwentarza	Nr pomiaru	Skład chemiczny, % wag.																					
		Sn	In	Cd	Ag	Pd	Rh	Ru	Mo	Nb	Pb	Au	Pt	Ir	Ga	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	Ti
1642	279	0,378	0,038	0	73,243	0	0	0	0	0	0,38	0,141	0	0,104	0	0,344	25,334	0	0	0	0	0	0
1641	280	0,38	0	0	87,489	0	0	0	0	0	0,233	1,295	0	0,033	0	0,42	10,123	0	0	0	0	0	0
1640	281	0,469	0	0	86,082	0	0	0	0	0	0,237	1,325	0	0	0	0,407	11,428	0	0	0	0	0	0
1639	282	0,238	0	0	73,654	0	0	0	0	0	0,24	0,321	0	0,049	0	0,495	24,927	0	0	0	0	0	0
1638	283	0	0	0	78,035	0	0	0	0	0	0,341	0,794	0	0,074	0	0,431	20,134	0	0	0	0	0	0
1637	285	0,455	0	0	83,111	0	0	0	0	0	0,366	0,851	0	0,057	0	0,561	14,456	0	0	0	0	0	0
1636	286	0,239	0	0	83,932	0	0	0	0	0	0,494	0,469	0	0,055	0	0,42	14,331	0	0	0	0	0	0
1635	287	0,5	0	0	82,252	0	0	0	0	0	0,274	0,629	0	0,174	0	0,747	15,325	0	0	0	0	0	0
1634	288	0,471	0	0	84,781	0	0	0	0	0	0,296	0,617	0	0,183	0	0,766	12,752	0	0	0	0	0	0
1633	289	0,568	0	0	58,186	0	0	0	0	0	0,231	35,145	0	0,418	0	0,587	4,29	0,066	0,033	0,086	0	0,11	0
1633	290	0,401	0,039	0	90,808	0	0	0	0	0	0,252	0,27	0	0,064	0	0,159	7,81	0	0	0	0	0	0
1908	291	0,369	0,038	0	81,996	0	0	0	0	0	0,235	0,219	0	0	0	0,838	16,227	0	0	0	0	0	0
1910	293	0,388	0	0	86,416	0	0	0	0	0	0,32	0,482	0	0,191	0	0,537	11,501	0	0	0	0	0	0
1916	294	0,395	0	0	84,974	0	0	0	0	0	0,214	0,147	0	0,037	0	0,169	13,998	0	0	0	0	0	0
1919	295	0,399	0	0	79,594	0	0	0	0	0	0,285	0,281	0	0	0	0,354	19,002	0	0	0	0	0	0
1920	296	0,387	0	0	84,322	0	0	0	0	0	0,292	0,582	0	0	0	0,591	13,708	0	0	0	0	0	0
1915	297	0,14	0	0	78,56	0	0	0	0	0	0,314	1,674	0	0	0	0,977	18,24	0	0	0	0	0	0

*Uwaga: * Oznaczenie - brak kolejności pomiaru oznacza, że pomiar był wykonany, lecz z błędem i został usunięty. Kolory w tabeli odpowiadają koloru na rysunku 1 abc.*

Porównanie składu chemicznego wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu za pomocą sztucznej sieci neuronowej - „Odwzorowanie Sammona"

Istotne znaczenie podczas prowadzenia badań naukowych, oprócz opracowania metodyki, stanowi sposób gromadzenia wyników pomiarów. Dotyczy to także odlewnictwa. Odlewnictwo, bowiem należy do tych dziedzin, w której podczas badań zmienia się wiele parametrów w jednostce czasu. Zapis wyników podczas pomiarów decyduje w głównej mierze o ich późniejszej interpretacji i prawidłowym opracowaniu wniosków z przeprowadzonych badań.

Jednym ze sposobów na rozwiązanie tych problemów jest wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej, która w sposób szybki i rzetelny pozwoli na wizualizację komputerową, a tym samym na prawidłową ocenę wyników pracy, zgodnie z maksymą: „jeden obraz znaczy więcej niż tysiąc słów".

Sztuczne sieci neuronowe – teoretyczne podstawy „Odwzorowania Sammona"

Dynamicznie rosnące możliwości w zakresie rozwoju sprzętu, a także coraz to dokładniejsze i lepsze oprogramowanie są powodem, że zagadnienia, które jeszcze niedawno były nie do rozwiązania, stają się teraz rzeczywistością. Szybkie procesory, większe pamięci RAM, możliwości zapisu na dyskach twardych PC, to tylko niektóre z czynników, które zadecydowały, że aktualnie nie ma już dziedziny życia, która nie posługiwałaby się tym narzędziem. Jedną z dziedzin nauki wykorzystującą olbrzymie możliwości komputera są sztuczne sieci neuronowe.

W przypadku danych wielowymiarowych, a do takich można bez wątpienia zaliczyć np. skład chemiczny odlewów, powstaje problem interpretacji wyników. Metoda opisowa, a więc w postaci pliku tekstowego nie jest zbyt dobra, ponieważ nie pozwala na rzetelną ocenę wszystkich parametrów.

Osobnym zagadnieniem jest przyjęcie kryteriów oceny. Znacznie lepszym sposobem jest interpretacja wyników analizy składu chemicznego odlewów metodą graficzną z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Powoduje to potrzebę zrzutowania rozkładu danych z przestrzeni n-wymiarowej (n - ilość pierwiastków charakteryzujących dany wyrób) do przestrzeni zwykle dwu- lub trójwymiarowej, z zachowaniem podstawowych cech rozkładu z przestrzeni n-wymiarowej. Jedną z metod prowadzącą do rozwiązania powyższego problemu jest tzw. „Odwzorowanie Sammona". Zadanie to polega na takim doborze wektorów „y", aby zminimalizować funkcję błędu „E" zdefiniowaną wzorem:

$$E = \frac{1}{c}\sum_{i<j}^{n}\frac{[d_{ij}^{*} - d_{ij}]^2}{d_{ij}^{*}}$$

gdzie:

$$c = \sum_{i<j}^{n} d_{ij}^{*}$$

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{M}[y_{ik} - y_{jk}]^2}$$

$d^*_{ij}=d(x_i,x_j)$ - odległość między poszczególnymi wektorami w przestrzeni n-wymiarowej
$d_{ij}=d(y_i,y_j)$ - odległość między poszczególnymi wektorami w przestrzeni dwu- lub trójwymiarowej,
x_i,x_j - wektor opisujący odlew - wyrób w przestrzeni n-wymiarowej,
y_i,y_j - wektor opisujący odlew - wyrób w przestrzeni dwu- lub trójwymiarowej, w którym y_{ik} i y_{jk} oznacza k-tą składową wektora y_i i y_j.

W minimalizacji funkcji błędu Sammon zastosował metodę optymalizacji Newtona, uproszczoną do postaci:

$$\mathbf{y}(k+1) = \mathbf{y}(k) - \eta\ \Delta\ (k)$$

gdzie:

$$\Delta\ (k) = \frac{\frac{\partial \mathrm{E}}{\partial \mathbf{y}}}{\left|\frac{\partial^2 \mathrm{E}}{\partial \mathbf{y}^2}\right|}$$

- reprezentuje iloraz odpowiedniej składowej gradientu przez diagonalny składnik hesjanu, w określony w k-tej interracji

η - współczynnik przyjmowany jest z zakresu [0,3–0,4].

Metodyka badań - „Odwzorowanie Sammona”

W celu zobrazowania zagadnienia poniżej przedstawiono metodologię interpretacji wyników badań analizy składu chemicznego dawnych wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu.

Proces wizualnego, wzajemnego usytuowania wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu rozpoczęto od dokonania analizy składów chemicznych. W analizie tej przyjęto zasadę, że dopuszczone do dalszego „przetwarzania” są składy chemiczne odlewów - wyrobów nie budzące najmniejszych wątpliwości co do rzetelności ich pomiaru.

Zebrane dane odnośnie składu chemicznego wyrobów zestawiono w arkuszu kalkulacyjnym Microsoft EXCEL - tabela 1, celem przygotowania ich do dalszego przetwarzania. Dane te zapisane w postaci wierszy oznaczają tzw. klasę.

W celu zobrazowania rozmieszczenia różnego rodzaju odlewów w przestrzeni trójwymiarowej wykorzystano w pracy sztuczne sieci neuronowe, samoorganizujące się. Wszystkie obliczenia i wstępne projektowanie sieci neuronowych wykonano w pakiecie matematycznym MATLAB.

Kolejną czynnością było wykorzystanie funkcji:

xls = read

przenoszącej te dane z arkusza kalkulacyjnego do postaci macierzy zrozumiałej dla programu MATLAB.

Dla tak określonej macierzy nastąpiło zrzutowanie danych z przestrzeni 22-wymiarowej (ilość pierwiastków chemicznych opisujących poszczególne badane odlewy-wyroby - „sprowadzenie danych wielowymiarowych z przestrzeni n-wymiarowej do przestrzeni X,Y,Z (tzw. przestrzeni Kartezjusza) do przestrzeni trójwymiarowej, wykorzystując funkcję oprogramowania MATLAB:

xyz = sammon(a)

gdzie:

x,y,z - wyniki wykonania powyższej funkcji, przedstawione w postaci współrzędnych x, y lub x, y, z,

a - macierz opisująca odlewy.

Wynikiem przeprowadzonych programowo obliczeń jest zestaw współrzędnych „X,Y,Z” dla poszczególnych klas. Współrzędne „X,Y,Z” klas zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestaw współrzędnych „X,Y,Z" dla poszczególnych klas po przetworzeniu z wykorzystaniem „Odwzorowania Sammona"

Table 2. A set of X, Y, Z coordinates for each class of objects after processing with the „Sammon Mapping" programme

Lp.	Oznaczenie badanego przedmiotu wg numeru inwentarza	x	y	z
1	2006	-5,59239	-6,57904	20,82451
2	2008	-8,32194	4,546653	-7,09565
3	2007	-13,561	10,29899	-19,7596
4	2005	-11,2114	10,35017	-19,3637
5	2003	-12,5023	10,45627	-19,5338
6	2004	-8,95014	8,959821	-17,4181
7	2002	-11,3777	10,34674	-19,5453
8	2001	-11,5515	10,21977	-19,0315
9	1975	-6,12869	7,807964	-17,9879
10	1976	-0,12532	5,658417	-16,4946
11	1977	-3,18619	6,640319	-17,4412
12	1978	-4,04311	6,672801	-17,4934
13	1974	-9,93816	9,418829	-18,255
14	1970	-11,421	9,86781	-19,1643
15	oferta	-8,08624	8,713825	-18,8461
16	oferta-baranek	-10,1061	9,503396	-19,2665
17	1971	-8,18568	9,041078	-19,1691
18	1972	-11,1432	9,590894	-18,9803
19	1973	-7,63587	8,830462	-18,4561
20	1969-dzbanek	-5,88503	-4,25555	13,2857
21	1969-dzbanek-d	-13,9897	10,53058	-20,1114
22	1969-misa	-6,25057	-4,24464	14,6242
23	1969-misa-d	-4,71345	-2,26732	7,313551
24	1979	13,14253	-35,0384	102,8966
25	1981	13,70442	-32,4326	94,33828
26	1980	13,45449	-35,0886	102,4591
27	1979p	13,30701	-34,3867	101,567
28	1987	13,6877	-34,0007	99,51878
29	1986	10,69599	-26,9195	80,25025
30	1985	15,09186	-31,5456	89,59672
31	1990	18,74421	-32,0517	75,745
32	1992	14,25172	-43,5032	73,91264
33	1996	14,06443	-30,9144	89,4787
34	1983	15,8851	-31,0317	87,68628
35	1984	13,99124	-33,6306	98,38753
36	1982	13,12842	-32,1357	94,2317
37	1997	2,956254	-18,3608	54,97536
38	1993	17,56773	-25,7238	61,35817

Tabela 2 cd.

Lp.	Oznaczenie badanego przedmiotu wg numeru inwentarza	x	y	z
39	1994	4,183073	-18,962	56,96763
40	1995	8,950309	-27,8313	82,28545
41	1933	17,79559	-2,67384	-12,93
42	1936	10,40092	0,483494	-15,1718
43	2031	2,242525	5,182902	-16,8323
44	5077	-0,06286	5,932591	-16,5007
45	1958	-3,28105	7,144952	-17,1361
46	1959	-6,3034	8,324731	-18,0693
47	1962	5,828218	2,753612	-15,9324
48	10408	26,19498	-5,43325	-11,7219
49	10409	14,91669	-0,7569	-14,2299
50	1943	-9,61039	9,059695	-19,05
51	1939	-9,69171	9,474285	-18,7419
52	1932	-4,73342	7,627935	-17,1985
53	1944	-9,91592	9,926264	-18,2644
54	10403	1,674521	5,312146	-17,0959
55	2017	-12,611	10,35985	-19,0061
56	2026	17,62801	-3,25655	-12,9458
57	10415	9,947042	1,259063	-14,5566
58	10402	-1,86792	6,55595	-17,836
59	10413-korpus	-7,79323	8,658284	-19,2539
60	10413-stopa	-7,67382	11,27549	-17,4491
61	2014	-6,87344	8,266959	-18,6452
62	1941	0,969057	5,474712	-16,5886
63	1940	4,91336	3,143826	-15,8964
64	1946	-3,64816	7,103474	-17,2674
65	1947	-10,7046	9,712671	-19,5144
66	1948	2,072558	4,546664	-16,0591
67	1942	7,290394	3,902013	-13,6857
68	2032	-15,0425	11,46333	-20,0638
69	1913	-13,4633	10,83938	-19,5757
70	1902	-0,83836	5,622457	-16,424
71	1907	-4,81117	7,591893	-17,9685
72	1904	-0,14651	4,296852	-16,4598
73	1903	-6,50855	8,625281	-17,3563
74	1905	-7,20072	8,409352	-18,2667
75	1918	-1,41066	6,120366	-16,8065
76	1917	-2,86818	6,230699	-17,294
77	1900	-10,4843	9,1339	-18,4351
78	1914	10,05065	-10,9464	19,17996
79	1906	-7,8429	8,512674	-18,2596
80	1901	-14,1058	10,70581	-19,3517

Tabela 2 cd.

Lp.	Oznaczenie badanego przedmiotu wg numeru inwentarza	x	y	z
81	1911	-8,62278	8,737506	-18,5537
82	10417	-12,6739	10,08363	-19,0938
83	2048	-11,839	10,01824	-19,2693
84	10410	-10,3369	9,452174	-18,6384
85	10412	-11,2003	9,902077	-18,8617
86	2016	-1,92234	6,641728	-17,3369
87	1945	-12,7369	10,03168	-18,5369
88	10406	-3,3451	6,871379	-16,9986
89	1923	-5,10894	7,697018	-18,4459
90	1924	-0,05794	5,949778	-16,5705
91	1926	-2,05533	6,428203	-17,0881
92	10414	-13,9285	10,93468	-19,572
93	10411	7,357402	1,910175	-15,484
94	2010	18,34657	-8,70319	-12,3754
95	1645	14,43835	-0,79331	-13,7714
96	1644	-2,53177	6,758965	-17,3465
97	1643	31,08123	-8,18038	-10,6442
98	1642	15,45929	-1,10223	-13,8242
99	1641	-3,75254	6,639637	-16,3792
100	1640	-1,95549	6,139862	-15,8911
101	1639	14,81343	-1,14111	-13,9226
102	1638	8,735088	1,116778	-14,5766
103	1637	1,944236	4,437231	-15,5147
104	1636	1,568146	5,016789	-16,1297
105	1635	3,101627	4,002524	-15,4004
106	1634	-0,28558	5,056996	-16,152
107	1633	-0,79136	-9,52403	25,67034
108	1633	-7,08535	8,228389	-18,3133
109	1908	4,09167	4,035457	-15,7671
110	1910	-2,00123	6,045646	-16,7583
111	1916	0,881139	5,599975	-16,9063
112	1919	7,287263	2,225655	-15,4892
113	1920	0,785089	4,994994	-16,1848
114	1915	7,010105	1,969558	-13,5017

Uwaga:
Kolory w tabeli 2 oznaczają odpowiednie znaczniki odlewów – wyrobów na rysunku 1.

Niezbyt precyzyjna metoda interpretacji graficznej w oprogramowaniu MATLAB (zapis rastrowy) spowodowała, że opracowano indywidualną metodę wykorzystującą zapis wektorowy, tj. taki, którym posługują się programy CAD.

Wprowadzanie danych do tego typu oprogramowania może odbywać się na dwa sposoby: pierwszy - „ręcznie", tj. poprzez kolejne wpisywanie danych „X", „Y", „Z" z tabeli 2. Taki sposób jest żmudny i wymaga od operatora dużej cierpliwości i wprawy. Drugi stanowi zupełnie nową interpretację wyników, pozbawioną powyższych kłopotów i polega na przygotowaniu plików skryptowych *.scr. Teoretyczny zapis takiego pliku przed wprowadzeniem do edytora graficznego CAD wygląda następująco:

line
x,y,z
x1,y1,z1
x2,y2,z2
xn,yn,zn
.....
gdzie:
x,y,z to współrzędne klas mogące przyjmować wartości zerowe, ujemne i dodatnie, np. 0,00,-0,09,10,98.

Zapis takiego pliku jest obrazowany na ekranie monitora jako linia łamana prowadzona od punktu x,y,z do punktu x1,y1,z1, dalej x2,y2,z2 itd., wg wymienionych powyżej współrzędnych. Te właśnie punkty są podstawą do wrysowania poszczególnych klas. Bardziej szczegółowy zapis plików już dla badanych odlewów podano poniżej.

Przykładowy zapis plików scriptowych wprowadzanych do oprogramowania AutoCAD celem wizualizacji poszczególnych składów chemicznych odlewów - wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu, pochodzących z różnych kolekcji przedstawia się następująco:

line

-5.59239	-6.57904	20.82451
-8.32194	4.546653	-7.09565
-13.561	10.29899	-19.7596
-11.2114	10.35017	-19.3637
-12.5023	10.45627	-19.5…..

Próba wykorzystania metryki euklidesowej do określenia lokalizacji wykonania wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu. Interpretacja wyników

Teoretyczne podstawy przeprowadzenia obliczeń wg normy euklidesowej, określenia wzajemnego usytuowania poszczególnych klas w stosunku do wzorca w tym przypadku do początku układu współrzędnych, opisane są następującym wzorem:

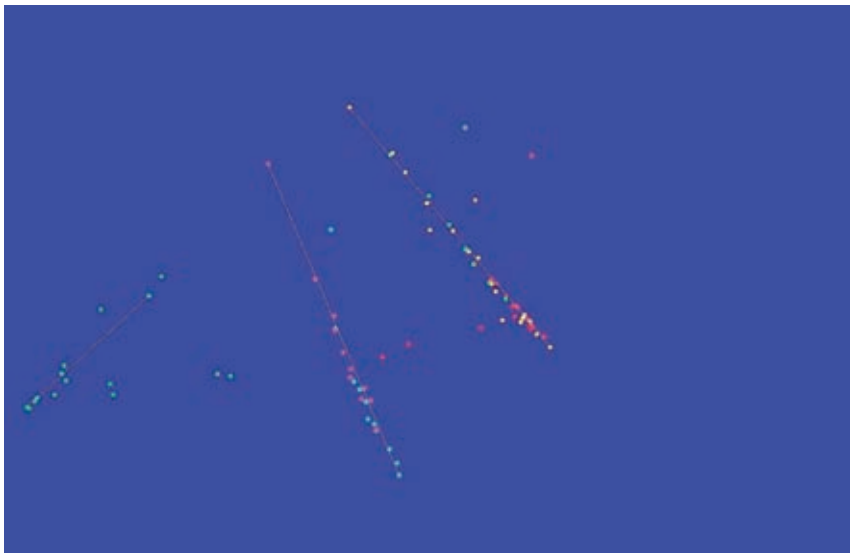
$$d(x, w_i) = \|x - w_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^{N} (x_j - w_{ij})^2}$$

gdzie:
x - wzorzec,
w_i - klasa porównywana z wzorcem.

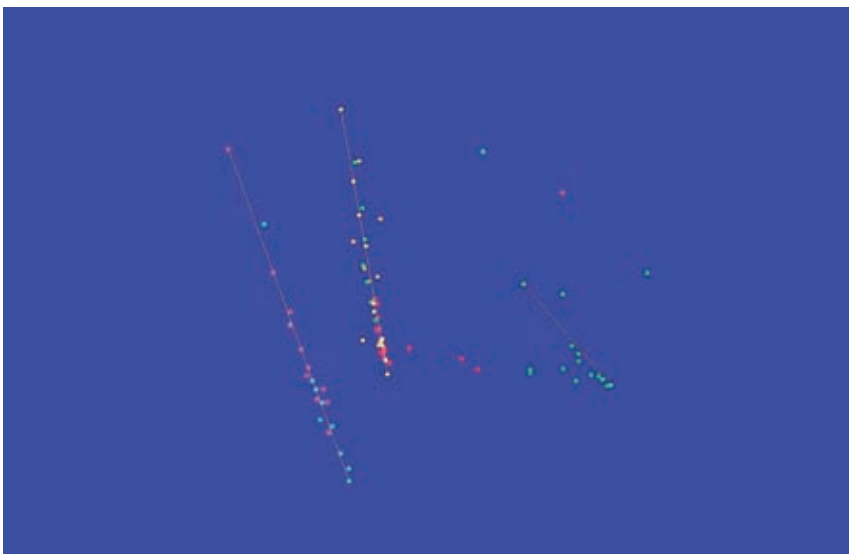
Bardziej przemawiającą do obserwatora metodą jest jednak metoda graficzna.

W tym celu posłużono się edytorem wektorowym AutoCAD, gdzie naniesiono wyniki poszczególnych klas, co przedstawiono na rysunku 1 a–c.

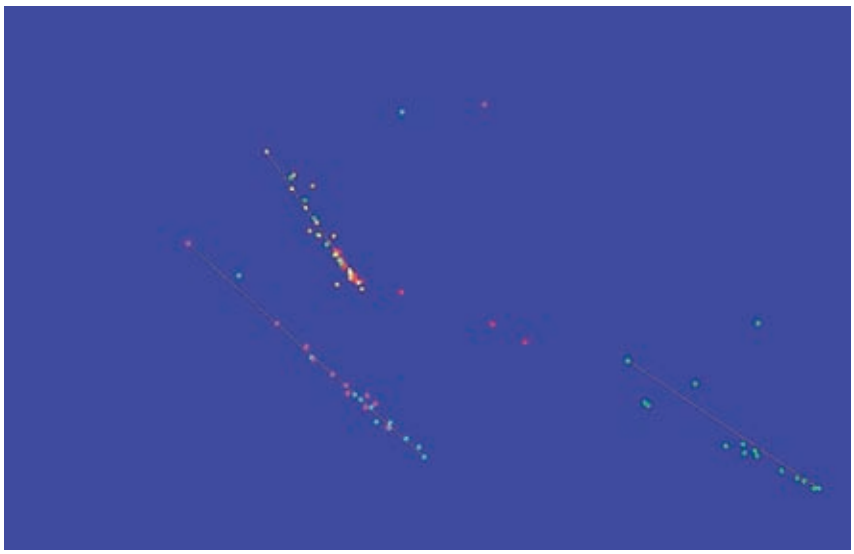
a)



b)



c)



Rys. 1. Naniesione znaczniki, odlewy – wyroby o współrzędnych X,Y,Z w edytorze graficznym AutoCAD – a,b,c - obserwacja pod różnymi kątami

Fig. 1. Tags applied, castings – items with X,Y,Z coordinates in AutoCAD graphic editor; a,b,c - observations at different angles

Na rysunkach 2–9 przedstawiono niektóre eksponaty skarbu ze Skrwilna, poddane badaniom składu chemicznego urządzeniem NITON.

Rys. 2. Kufel, Brodnica, po 1635, (MT/S/1970); łyżki stołowe, Toruń i Brodnica, 1630–1649, (MT/S/1974/1-4, MT/S/1975/1-3, MT/S/1976/1-3, MT/S/1977, MT/S/1978), skarb ze Skrwilna, Ratusz, wystawa „Skarb ze Skrwilna. Skarb z Nieszawy". Numery pomiarów: 186 (kufel), 185, 180, 181, 182, 183 (łyżki, kolejno)

Fig. 2. A beer mug, Brodnica, after 1635, (MT/S/1970); table spoons, Torun and Brodnica, 1630–1649, (MT/S/1974/1-4, MT/S/1975/1-3, MT/S/1976/1-3, MT/S/1977, MT/S/1978), the treasure of Skrwilno, The Town Hall, an exhibition "The Treasure of Skrwilno. The treasure of Nieszawa". Measurement No. 186 (the beer mug), 185, 180, 181, 182, 183 (table spoons, successively)

Rys. 3. Lavabo (komplet do obmywania rąk), Balthasar Grill I, Augsburg, około 1615–1617, (MT/S/1969/1-2), skarb ze Skrwilna, Ratusz, wystawa „Skarb ze Skrwilna. Skarb z Nieszawy". Numery pomiarów: 192–195

Fig. 3. Lavabo (a hand washing set), Balthasar Grill I, Augsburg, about 1615–1617, (MT/S/1969/1-2), the treasure of Skrwilno, The Town Hall, an exhibition "The Treasure of Skrwilno. The treasure of Nieszawa". Measurement No. 192–195

Rys. 4. Badanie składu stopu dzbana z augsburskiego kompletu do obmywania rąk (MT/S/1969/1; zob. rys. 2). Numery pomiarów: 192 i *193*

Fig. 4. Examination of chemical composition of a jug from the Augsburg hand washing set (MT/S/1969/1; see Fig. 2). Measurement No. 192 and 193

Rys. 5. Bransolety o splocie pancerzowym, Polska, 4. ćwierć XVI w. i około 1600–1620, (MT/S/1979/1-2, MT/S/1980, MT/S/1981), skarb ze Skrwilna, Ratusz, wystawa „Skarb ze Skrwilna. Skarb z Nieszawy". Numery pomiarów: 196 i 200, 198, 197

Fig. 5. Curb chain bracelets, Poland, fourth quarter of the 16th century and about 1600–1620, (MT/S/1979/1-2, MT/S/1980, MT/S/1981), the treasure of Skrwilno, The Town Hall, an exhibition "The Treasure of Skrwilno. The treasure of Nieszawa". Measurement No. 196 and 200, 198, 197

Rys. 6. Kubek z pokrywą, Jacob Jenny, Toruń, 1. ćwierć XVIII w., (MT/S/10403), Ratusz, wystawa „Dawny Toruń 1233–1793. Historia i rzemiosło artystyczne". Numer pomiaru: 231

Fig. 6. A cup with lid, Jacob Jenny, Torun, first quarter of the 18th century (MT/S/10403), The Town Hall, an exhibition "Old Torun 1233–1793. History and Artistic Crafts." Measurement No. 231

Rys. 7. Badanie składu stopu puszki na susz herbaciany, Jacob Jenny, Toruń, 1. ćwierć XVIII w., (MT/S/10402), Ratusz, wystawa „Dawny Toruń 1233–1793. Historia i rzemiosło artystyczne". Numer pomiaru: 235

Fig. 7. Examination of chemical composition of a can for dried tea, Jacob Jenny, Torun, first quarter of the 18th century (MT/S/10402), The Town Hall, an exhibition "Old Torun, 1233–1793. History and Artistic Crafts". Measurement No. 235

Rys. 8. Badanie składu stopu plakiety wotywnej, Jan Letyński, Toruń, 1748, (MT/S/2010), Ratusz, wystawa „Sztuka sakralna nowożytnego Torunia". Numer pomiaru: 275

Fig. 8. Examination of chemical composition of alloy used for votive plaques, Jan Letyński, Torun, 1748, (MT/S/2010), The Town Hall, an exhibition "Torun's Modern Sacred Art". Measurement No. 275

Rys. 9. Plakiety wotywne z wystawy „Sztuka sakralna nowożytnego Torunia", (MT/Ad/1633/S-MT/Ad/1645/S, MT/S/2010). Numery pomiarów: 289, 288, 287, 286, 285, 284, 283, 282, 281, 280, 279, 278, 277, 276, 275 (odpowiednio do kolejności nr inw.)

Fig. 9. Votive plaques from an exhibition "Torun's Modern Sacred Art". (MT/Ad/1633/S-MT/Ad/1645/S, MT/S/2010). Measurement No. 289, 288, 287, 286, 285, 284, 283, 282, 281, 280, 279, 278, 277, 276, 275 (in order of the inventory numbers)

Podsumowanie

Badanie muzealiów przeprowadzone zostało w gmachu Muzeum Okręgowego w Toruniu, z zachowaniem procedur bezpieczeństwa, pracownicy Instytutu Odlewnictwa zaprezentowali także urządzenie NITON, jego parametry i możliwości techniczne, łatwość obsługi i precyzję pomiaru, podczas XI konferencji z cyklu „Rzemiosło artystyczne i wzornictwo w Polsce", pt.: „Dawne i nowsze odlewnictwo w Polsce - odlewy żeliwne i inne (22-24 kwietnia 2010 roku)".

W dyskusji dotyczącej tej prezentacji podnoszono przede wszystkim kwestie potencjalnego, metodycznego wykorzystania wyników tego rodzaju badań, dla których warunkiem jednak jest ich „masowość", tj. znaczna liczba przeprowadzonych prób pozwalająca na wyciąganie wniosków na podstawie w miarę reprezentatywnej grupy obiektów.

Interesujące informacje szczególnie dla historyków sztuki może nieść ze sobą badanie składu chemicznego wyrobów złotniczych z kolekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu. Otóż obserwacja „rozłożenia" składu chemicznego tych obiektów na rysunku 1 prezentuje się dość ciekawie. Można tu zaobserwować rozłożenie ich w trzech ciągach graficznych, co wskazywałoby na zbliżony skład chemiczny poszczególnych odlewów-wyrobów. W tej sytuacji można byłoby wysunąć hipotezę, że ówcześni wykonawcy posługiwali się już stopem o określonym składzie chemicznym. Czy znajdujące się w danej grupie wyroby były wykonane przez ten sam warsztat lub warsztaty posługujące się stopem o zbliżonym składzie chemicznym? To muszą już wyjaśnić odrębne badania.

Z oczywistych względów jednak powszechny dostęp historyków sztuki do takich badań jest mało realny - urządzenia są nieliczne, zlecenia płatne dla muzeów zwykle niedostępne z powodu kosztów, a przy finansowaniu projektów badawczych z funduszy Unii Europejskiej, jak w przypadku Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, niemożliwe

z powodu warunków przyznawania dotacji (dotowana instytucja nie może osiągać przychodów z tytułu realizacji projektu).

Systematyczne badania materiałoznawcze muzealiów, przydatne do poszerzenia wiedzy historycznej, nie wchodzą więc na razie w rachubę. Warto jednak znać metodę i służące jej instrumentarium oraz wiedzieć o potencjalnej możliwości wykonania badania składu stopu metali, choćby w przypadkach szczególnych.

Podziękowania

Precę wykonano w ramach projektu MCITIM. Autorzy pragną podziękować Pani Profersor Natalii Sobczak za możliwość wykorzystania w pracy urządzeń do prowadzonych badań oraz Dyrekcji Muzeum Okręgowego w Toruniu za udostępnienie eksponatów.

Literatura

1. Ludwisarstwo w Polsce. Materiały z III Sesji Naukowej z cyklu „Rzemiosło artystyczne i wzornictwo w Polsce" (8–9.11.2002 r.), red. K. Kluczwajd, Muzeum Okręgowe w Toruniu oraz Toruński Oddział Stowarzyszenia Historyków Sztuki, Toruń 2003
2. Odlewnictwo w Polsce. Materiały z VII Sesji Naukowej z cyklu: „Rzemiosło artystyczne i wzornictwo w Polsce" (7–9.04.2006 r.), red. K. Kluczwajd, Muzeum Okręgowe w Toruniu oraz Toruński Oddział Stowarzyszenia Historyków Sztuki, Toruń 2006
3. Dawne i nowsze odlewnictwo w Polsce - odlewy żeliwne i inne, Materiały z XI Konferencji z cyklu: „Rzemiosło artystyczne i wzornictwo w Polsce" (23–24.04.2010 r.), Toruński Oddział Stowarzyszenia Historyków Sztuki, Toruń 2010
4. Katarzyna Kluczwajd: Skarb ze Skrwilna. Złotnictwo świeckie polskie i obce ze zbiorów Muzeum Okręgowego w Toruniu, Toruń 1999
5. Michał Gradowski: Znaki na srebrze. Znaki miejskie i państwowe używane na terenie Polski w obecnych jej granicach, Wydawca Fundacja Hereditas, wyd. 4, Warszawa 2010, s. 177–187