

Wczesnośredniowieczne szkła sodowe z ziem polskich – problematyka i postulaty badawcze

Author: Sylwia Wajda

PL ISSN 0003-8180; e-ISSN 2719-7034

DOI: <https://doi.org/10.23858/APol70.2025.003>

<https://rcin.org.pl/dlibra/publication/299388>

Jak cytować:

Wajda, S. (2025). Wczesnośredniowieczne szkła sodowe z ziem polskich – problematyka i postulaty badawcze. *Archeologia Polski*, 70, 55–77.
<https://doi.org/10.23858/APol70.2025.03>

SYLWIA WAJDA^a

WCZESNOŚREDNIOWIECZNE SZKŁA SODOWE Z ZIEM POLSKICH – PROBLEMATYKA I POSTULATY BADAWCZE

EARLY MEDIEVAL SODA GLASS FOUND IN POLAND: ISSUES AND RESEARCH PROPOSALS

Abstract: Artykuł poświęcony jest analizie szkieł sodowych z wczesnośredniowiecznych stanowisk archeologicznych na ziemiach polskich, przeprowadzonej na podstawie dostępnych wyników badań składu pierwiastkowego. Omówiono dotychczasowy stan wiedzy oraz przedstawiono przegląd klasyfikacji chemicznych szkła stosowanych w literaturze wschodnio- i zachodnioeuropejskiej. Podjęto próbę ponownej interpretacji danych według systemu klasyfikacyjnego używanego w badaniach zachodnioeuropejskich. Wyodrębniono grupy szkieł wytopionych na sodzie mineralnej, z których najliczniejszą stanowi HIMT2 oraz szkła sodowe popiołowe, wśród których dominujące są tworzywa należące do grupy mezopotamskiej 1. Wskazano też na konieczność dalszych badań uwzględniających pierwiastki śladowe, w celu rozpoznania skali recyklingu szkła.

Słowa kluczowe: wczesne średniowiecze, skład pierwiastkowy, szkła sodowe mineralne, szkła sodowe popiołowe, Polska, Egipt, Bliski Wschód

Abstract: This article presents an analysis of soda glass from early medieval archaeological sites in Poland, based on the available results of elemental composition analyses. The discussion of the current state of knowledge includes a review of the chemical classification of glass used by authors from Eastern and Western Europe. A classification system adopted from Western European studies is then employed to reinterpret the analyzed data from Poland. The most numerous group among the identified mineral soda glass is HIMT2, while the predominant group among the soda ash glasses is Mesopotamian 1. Further research taking trace elements into account is needed to determine the scale of glass recycling.

Keywords: early medieval period, elemental composition, mineral soda glass, soda ash glass, Poland, Egypt, Near East

WSTĘP

W 1980 r. Maria Dekówna¹ opublikowała pracę poświęconą szkłu we wczesnośredniowiecznej Europie. Na podstawie ówczesnego stanu badań stwierdziła, że w tym okresie wykorzystywano trzy główne receptury szklarskie: sodową, potasową i ołowiową (Dekówna

^a Mgr Sylwia Wajda; Instytut Archeologii, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Moniuszki 10, 35-00 Rzeszów; sylwia.wajda@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8100-764X>.

¹ Pani prof. dr hab. Maria Dekówna była moim pierwszym nauczycielem w dziedzinie badań nad szkłem. To dzięki Niej postanowiłam rozwijać swoje zainteresowania tą tematyką. Chciałabym Pani Profesor serdecznie podziękować za poświęcony mi czas, przekazaną wiedzę i inspirację, która miała istotny wpływ na kierunek moich dalszych prac.

1980, s. 19). W ostatnich latach przedmiotem intensywnych badań były głównie szkła ołowiowe (por. Dekówna 2023; Wajda i in. 2024; Pankiewicz i in. 2025), natomiast pozostałe dwa rodzaje szkieł nie doczekały się równie szerokiej analizy.

W niniejszym artykule koncentruję się na szklach sodowych znalezionych na ziemiach polskich, omawiam ich pochodzenie oraz kierunki napływu we wczesnym średniowieczu, korzystając z dostępnych wyników analiz składu pierwiastkowego. W ostatnim czasie opublikowano bowiem liczne prace prezentujące wyniki badań szkła sodowego z różnych, wczesnośredniowiecznych stanowisk archeologicznych w Polsce (np. Dekówna, Purowski 2012; Wajda 2013; Wajda 2014; Dekówna 2015; Dekówna, Purowski 2016; Dekówna, Purowski 2019; Kokora 2019a; Wajda 2020; Wajda, Gan 2021; Sawicka 2023a; Sawicka 2023b; Sawicka 2024). Równocześnie znacząco wzrósł zasób opublikowanych materiałów porównawczych, m.in. szkieł ze wschodniej części Morza Śródziemnego i Bliskiego Wschodu (np. Schibille 2011; Phelps i in. 2016; Schibille i in. 2016; Phelps 2018; Schibille i in. 2019; Schibille 2022), Europy Zachodniej (np. Kronz i in. 2016; Kronz 2022) i Południowej (de Juan Ares, Schibille 2017; Gliozzo i in. 2021; Occari i in. 2021). Ułatwia to identyfikację typów szkła występujących na ziemiach polskich; wcześniej było to utrudnione z powodu braku tak szerokiej i osiągalnej bazy danych.

Tworzywa sodowe to jeden z podstawowych rodzajów szkła, w których głównym topnikiem jest tlenek sodu (Na_2O), uzyskiwany z sody pochodzenia mineralnego (np. natronu) lub popiołowego (z popiołu roślin słonolubnych). Receptura ta wywodzi się z Bliskiego Wschodu i/lub Egiptu i była stosowana od XVI w. p.n.e. (Shortland, Rehren 2020, s. 347). Liczne odkrycia archeologiczne, a także analizy pierwiastkowe szkieł wykazały, że produkcja szklarska przez niemal całe pierwsze tysiąclecie naszej ery podzielona była między warsztaty, w których wytapiano szkło z surowców (pierwotna produkcja szkła – warsztaty typu A) oraz pracownie, w których wytopione już szkło w postaci półproduktów (np. szklanych pałeczek), stłuczki szklanej lub tzw. surowego szkła², używano do powtórnego przetopu i formowania wyrobów (warsztaty typu B) (Dekówna 1988; Freestone i in. 2000; Cholakova i in. 2016, tam starsza literatura). Wyniki badań archeologicznych prowadzonych w ostatniej dekadzie wykazują, że główne ośrodki pierwotnej produkcji szkła zlokalizowane były przede wszystkim we wschodniej części basenu Morza Śródziemnego. W Egipcie i Palestynie znaleziono piece szklarskie, w których wytwarzano szkło na masową skalę – nawet do kilku ton podczas jednego cyklu wytopu (Freestone i in. 2000; Gorin-Rosen 2000; Nenna i in. 2000; Tal i in. 2004).

W kontekście nowych badań i danych konieczne jest ponowne przeanalizowanie wcześniejszych ustaleń dotyczących pochodzenia i rozprzestrzeniania się szkieł sodowych w środkowo-wschodniej Europie. W artykule podjęto próbę wskazania, skąd pozyskiwano szkło używane do produkcji szklanych przedmiotów odkrywanych na ziemiach polskich. Trzeba jednak zaznaczyć, że prawdopodobnie część tworzyw, z których one powstały (m.in. paciorki, pierścionki, naczynia), mogła pochodzić z recyklingu. Ze względu na brak wystarczająco precyzyjnych analiz pierwiastkowych, na tym etapie badań nie jest możliwe

² Surowe szkło to półprodukt w postaci bloków, brył, grubszych tafli lub dużych fragmentów szkła, który powstał bezpośrednio w wyniku procesu wytopu z surowców szklarskich (piasku i topników), przeznaczony do dalszej obróbki w celu wykonania naczyń, paciorków, bransolet oraz innych przedmiotów (por. Freestone i in. 2008).

jednoznaczne rozróżnienie szkieł poddanych wtórnemu przetopowi, co zostanie szerzej omówione w dalszej części pracy.

METODY BADAŃ SKŁADU CHEMICZNEGO SZKŁA I ICH KLASYFIKACJA TECHNOLOGICZNA

W celu określenia pochodzenia i technologii produkcji szkła niezbędne jest przeprowadzenie analiz jego składu chemicznego, który stanowi podstawę dalszej klasyfikacji i interpretacji. Typ chemiczny szkła określany jest na podstawie analizy jego składu pierwiastkowego. Metody analityczne mające zastosowanie w Polsce zostały szczegółowo omówione przez M. Dekównę (Dekówna 2005, s. 9–18; Dekówna 2017), dlatego nie będą tutaj szczegółowo przedstawiane. Warto jedynie przypomnieć, że autorka opisała metody badawcze stosowane od lat pięćdziesiątych XX w., w tym: klasyczną analizę chemiczną ilościową, jakościową analizę spektrograficzną, ilościową metodę spektrograficzną, rentgenowską analizę fluorescencyjną oraz analizę radiometryczną. Od początku XXI w. coraz powszechniej stosuje się także mikroanalizę rentgenowską, w tym techniki takie jak EPMA (*electron probe microanalysis*) oraz SEM-EDS (*scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy*) (por. Dekówna, Purowski 2012; Wajda 2014; Wajda, Gan 2021; Sawicka 2024). Obie te metody służą do ilościowego oznaczania składu chemicznego tworzyw szklanych w sposób nieniszczący, umożliwiając analizę mikroobszarów z użyciem m.in. detekcji elektronów wstecznie rozproszonych – BSE (*backscattered electrons*) (Kunicki-Goldfinger 2020, s. 52).

Coraz większe znaczenie w badaniach nad szkłem zyskuje metoda LA-ICP-MS (*laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry*), czyli spektrometria mas z jonizacją w plazmie indukcyjnej wzbudzonej po ablacji laserowej. Technika ta pozwala na oznaczanie stężeń pierwiastków na poziomie śladowym (ppm), znacznie przekraczając możliwości detekcyjne metod takich jak EPMA lub SEM-EDS, które są skuteczne głównie w odniesieniu do pierwiastków występujących w średnich i wysokich stężeniach. Z tego względu zastosowanie metody LA-ICP-MS ma istotne znaczenie dla badań nad proveniencją surowców szklarskich oraz rozpoznaniem szkła recyklingowanego (Brems, Degryse 2014; Gliozzo i in. 2019; Kunicki-Goldfinger 2020, s. 52). Pomimo wysokiej czułości i dużego potencjału analitycznego, technika ta wciąż jest stosunkowo rzadko używana w Polsce w odniesieniu do szkieł wczesnośredniowiecznych. Dotychczas przebadano nią nieliczne znaleziska, m.in. trzy paciorki z cmentarzyska w Lubieniu (Nowak i in. 2012) oraz cztery z Dziekanowic (Dekówna, Purowski 2019, tab. 5, 7, 12, 25)³; analizy LA-ICP-MS tworzywa dwóch paciorków z Bodzi nie zostały w całości opublikowane (Dekówna, Purowski 2016, s. 154).

Analiza składu pierwiastkowego szkła to pierwszy etap w określaniu technologii produkcji szklarskiej, drugim – równie istotnym – jest interpretacja wyników badań. W polskiej i wschodnioeuropejskiej literaturze przedmiotu stosuje się kryteria klasyfikacji szkieł zaproponowane przez Julię Szczapową (Szczapowa 1973). Według tej badaczki szkła sodowe, w zależności od zastosowanego topnika, dzielą się na dwie główne odmiany: szkła mineralne,

³ Uwaga ta dotyczy jedynie szkieł sodowych. Opisywaną metodą wykonano bowiem analizy 36 szkieł ołowiowych z grodziska w Czermnie (Wajda i in. 2024).

wytwarzane z sody pochodzenia mineralnego (głównie natronu), oraz szkła popiołowe, do których produkcji używano popiołu roślin słonolubnych, tzw. halofitów. Zgodnie z jej klasyfikacją, do pierwszej odmiany zaliczane są szkła, w których zawartość tlenku potasu (K_2O) nie przekracza 1,3%, a $Na_2O/K_2O \geq 13/1$. Do drugiej zaś należą szkła o wyższym stężeniu K_2O ($> 1,3\%$), a stosunek Na_2O do K_2O jest mniejszy niż 13/1. Dalsza klasyfikacja, obejmująca podział na typy, uwzględnia dodatkowe kryteria: zawartość $Al_2O_3 > 2\%$, $MgO > 2\%$ oraz $CaO > 3\%$ (Szczapowa 1973, s. 33–36, tab. 25; por. uwagi: Dekówna 1980, s. 30–31, 284–285).

Polscy badacze uwzględniają też ustalenia zespołu kierowanego przez M. Dekównę i Jerzego Olczaka (Dekówna, Olczak red. 2002, tab. 2–5) w odniesieniu do stężeń dolnych wartości dla głównych składników szklotwórczych i wartości stosowanych składników barwiących, odbarwiających i mączących. W następnej kolejności wyniki badań analizuje się, zestawiając sumy i proporcje tlenków, które charakteryzują surowce szklarskie alkaliczne ($Na_2O + K_2O$; Na_2O / K_2O ; $K_2O / [Na_2O / K_2O] \times 100\%$), wapniowo-magnezowe (CaO / MgO ; $CaO + MgO$; $MgO / [CaO + MgO] \times 100\%$), piasek ($SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + Fe_2O_3$; $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$). Ponadto oblicza się proporcje składników piasku do topników ($[SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3] / [Na_2O + K_2O]$; $[SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + MgO + Fe_2O_3] / [Na_2O + K_2O]$) oraz proporcje topników do stabilizatorów ($[Na_2O + K_2O] / [CaO + MgO]$), a także $SiO_2 / (CaO + MgO)$, które służą do rekonstrukcji receptury i cech piasku. Tym sposobem określa się rodzaje, odmiany i typy szkieł (szerzej na ten temat por. Stawiarska 1984, s. 33–38; Purowski 2012, s. 154–157, tab. 12; Dekówna, Purowski 2012, s. 69; tam starsza literatura). Analogii wyszukuje się, porównując wyniki wyżej przedstawionych wskaźników chemicznych, przede wszystkim w formie zestawień tabelarycznych (np. Dekówna, Purowski 2019, tab. 3).

W Europie Zachodniej badacze odwołują się do klasyfikacji zaproponowanej przez R.V. Sayre i R.W. Smitha (Sayre, Smith 1961), w której szkła podzielone zostały na pięć grup na podstawie zawartości tlenków potasu, magnezu, manganu, antymonu i ołowiu. Granicę podziału szkieł na popiołowe i mineralne stanowi około 1,5% K_2O i MgO (mineralne, jeśli ilość MgO i K_2O jest mniejsza niż 1,5%, a popiołowe, jeśli MgO i K_2O jest większa niż 1,5%; Brill 1992, s. 15). Bardziej szczegółowy podział oparty jest na wybranych składnikach, które mogą być charakterystyczne dla określonych grup szkła, związanych z konkretnym okresem i regionem geograficznym (Kunicki-Golfinger 2020, s. 57).

Do najczęściej wyróżnianych grup produkcyjnych tworzyw wytopionych na sodzie pochodzenia mineralnego z okresu wczesnego średniowiecza należą szkła egipskie (1A, 1B, 1C, 2), lewantyńskie (1 i 2), a także szkła o podwyższonej zawartości żelaza, manganu i tytanu, określane skrótem HIMIT⁴ (w tym HIMIT1, HIMIT2 – *high iron, manganese, titanium*; Freestone 2005; Phelps i in. 2016; Schibille i in. 2019). Ich nazwy odnoszą się do geograficznych regionów, na których wytapiano szkło z surowców szklarskich. W przypadku szkieł lewantyńskich udało się powiązać konkretne grupy z określonymi lokalizacjami, np. z warsztatami szklarskimi w Jalame, Apollonii, Bet Eliezer (Phelps i in. 2016, s. 60, tam starsza literatura). Jeśli chodzi o szkła HIMIT, to lokalizacja ośrodków produkcyjnych pozostaje

⁴ Szkła HIMIT, oprócz podstawowego podziału na HIMIT1 i HIMIT2, dzielone są w literaturze również na inne warianty, takie jak *weak* HIMIT, HIMITa, HIMITb oraz HLIMIT (por. Rosenow, Rehren 2014; Ceglia i in. 2015).

niepewna; w literaturze wskazuje się jednak na północny Egipt jako najbardziej prawdopodobny obszar ich wytwarzania (Rehren, Cholakova 2014).

Chronologia poszczególnych grup szkieł jest dosyć dobrze ustalona, co może wskazywać na ograniczony czas funkcjonowania związanych z nimi warsztatów produkcyjnych⁵. Tworzywo HIMT1 stosowano przede wszystkim w IV–V w., HITM2 – od IV do IX w., zaś lewantyńskie – od końca VII do VIII w. Produkcja szkła egipskiego 1 trwała w VII w., natomiast egipskiego 2 – od VIII do IX w. (zob. Schibille i in. 2019). Dodatkowo, szkła późnoantyczne i wczesnośredniowieczne klasyfikowane są również w ramach tzw. grup Foy, z dalszym podziałem na serie, opracowanych przez francuskich badaczy na podstawie znalezisk z terenów dzisiejszej Francji (Foy i in. 2003). Grupy te częściowo pokrywają się z jednostkami wyróżnianymi dla szkieł pochodzących ze wschodnich obszarów Morza Śródziemnego (Kronz 2022, tab. 1).

Jak już wspomniano, identyfikacja poszczególnych grup szkła opiera się przede wszystkim na przypisaniu ich do konkretnych ośrodków lub/i rejonów produkcyjnych. Duże znaczenie dla rozpoznania miejsca wytwarzania szkieł natronowych ma ustalenie źródeł krzemionki. Jest to określane przez analizę zawartości zanieczyszczeń w piasku użytym do wytopu tego tworzywa (Al_2O_3 , Fe_2O_3), oraz licznych pierwiastków śladowych (jak ZrO_2 oraz TiO_2). Dwie grupy szkieł z Lewantu (Lewant 1 i 2) charakteryzują się niską zawartością tlenków pochodzących z ciężkich minerałów (Fe_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2) oraz większą zawartością Al_2O_3 (>3%) w porównaniu do szkieł egipskich (Egipt 1 i 2) (Phelps i in. 2016). Szkła HIMT mają zaś podwyższone ilości żelaza, tytanu oraz manganu w porównaniu do szkieł lewantyńskich i egipskich (Gliozzo i in. 2019).

Wśród omawianych grup warto uwzględnić również szkła bizantyńskie z okresu wczesnego średniowiecza. Przeprowadzone badania wyrobów szklanych z kilku stanowisk z Półwyspu Anatolijskiego (m.in. Pergamonu i Hisn al-Tinat), ujawniły istnienie tworzyw z podwyższoną zawartością tlenu glinu (Al_2O_3), boru (B), litu (Li) oraz strontu (Sr), a jednocześnie niską zawartością tlenków magnezu i potasu. Tego rodzaju szkła nie należą do klasycznych grup natronowych znanych z Egiptu i Lewantu. Do ich wytopu używano sody mineralnej, która różniła się od tej z północnego Egiptu. Prawdopodobnie złoża boranów w zachodniej Anatolii mogły stanowić lokalne źródło tego surowca. Pomimo analiz chemicznych tworzyw bransolet i fragmentów naczyń wykonanych z tego szkła, świadczących o istnieniu niezależnych ośrodków wytwórczych na terenie Anatolii, brak jest jak dotąd jednoznacznych dowodów potwierdzających działalność warsztatów szklarskich w tym regionie (Schibille 2011; Swan i in. 2018).

W przypadku szkieł wczesnośredniowiecznych wytapianych z użyciem sody pochodzenia popiołowego, wyodrębniono kilka głównych grup chemicznych, obejmujących m.in. szkła wschodniośródziemnomorskie oraz mezopotamskie 1 i 2. Ich pojawienie się datowane jest na koniec VIII – początek IX w. (Phelps 2018). Szkła wschodniośródziemnomorskie charakteryzują się wysoką zawartością tlenu wapnia (około 9% CaO), niższą tlenu magnezu (około 2,9% MgO) oraz stosunkowo wysokim udziałem tlenu fosforu (około 0,3%

⁵ Chronologia szkieł określonych jako Egipt 1 i Egipt 2 została ustalona na podstawie analizy składu pierwiastkowego stemplowanych odważników szklanych (Schibille i in. 2019). Większość tych odważników można precyzyjnie datować dzięki odcisniętym w szkło datom lub imionom namiestników (Schibille i in. 2016).

P₂O₅). Ponadto niski stosunek MgO/CaO oraz K₂O/P₂O₅ określany jest jako typowy dla szkielek ze stanowisk archeologicznych położonych na wybrzeżach Lewantu (Tyr, Al-Rakka, Banias) i Egiptu (Fustat).

Pozostałe dwie grupy szkielek – mezopotamskie 1 i 2, mają wyższe stężenia MgO i K₂O, niższe CaO (< 7%). Grupa 1 obejmuje szkło barwione, w którym stężenia Al₂O₃ (> 2,3%), TiO₂ (> 0,15%) i ZrO₂ (~ 145 ppm) wskazują na używanie zanieczyszczonego piasku jako źródła krzemionki. Grupa 2 reprezentowana jest głównie przez szkło bezbarwne, o znacznie niższych poziomach tych tlenków, co sugeruje użycie otoczków kwarcowych. Obie grupy występują zarówno w Mezopotamii, jak i w Iranie (Phelps 2018).

Skład chemiczny szkła wytapianego na bazie sody z popiołu roślinnego jest bardziej złożony niż w przypadku szkielek natronowych, ponieważ zależy nie tylko od źródła krzemionki, lecz także od składu samego popiołu. Popiół roślinny cechuje się dużym zróżnicowaniem, wynikającym z wielu czynników, takich jak gatunek rośliny, temperatura i czas spalania (Tite i in. 2006), geologia i hydrologia środowiska, w którym roślina rosła (Barkoudah, Henderson 2006), a także złożonych procesów antropogenicznych, w tym ewentualnego oczyszczania popiołu z domieszek (Bezborodov 1969, s. 47–50, tab. 4, 5; Stawiarska 1984, s. 33–35, tab. 3, 4; Degryse, Shortland 2009; Brems, Degryse 2014).

W przeciwieństwie do scentralizowanej produkcji szkła natronowego w Egipcie i Lewancie, wytop szkła popiołowego był prawdopodobnie bardziej rozproszony. Wskazuje na to większa różnorodność jego składu chemicznego (Meek i in. 2025). Jest to widoczne w materiałach z Azji Środkowej, obejmujących m.in. stanowiska z terenów dzisiejszego Turkmenistanu, Uzbekistanu i Iranu (Schibille i in. 2022; Chinni i in. 2023; Schibille i in. 2024; Meek i in. 2025). Wyróżniono tam kilka grup kompozycyjnych o zasięgu lokalnym. Wspólną cechą analizowanych szkielek są podwyższone zawartości zanieczyszczeń mineralnych związanych z piaskiem krzemionkowym – przede wszystkim Al₂O₃, pierwiastków ziem rzadkich (REE), TiO₂ i ZrO₂ (Meek i in. 2025).

Wspomniane grupy szkielek sodowych, w tym szkła mineralne egipskie, lewantyńskie i HIMT, są typowe dla późnoantycznej i wczesnoislamskiej produkcji szklarskiej. W okresie wczesnoislamskim kontynuowano technologie rozwinięte w okresie późnorzymskim, bazując na natronie jako głównym topniku. Przełom technologiczny nastąpił w VIII/IX w., gdy z powodu ograniczonego dostępu do egipskiego natronu (z przyczyn politycznych i klimatycznych) zaczęto stosować alternatywne topniki, m.in. popiół roślinny (Shortland i in. 2006). Równolegle w zachodniej Europie pojawiły się szkła wykonane przy użyciu popiołu drzewnego (Wedepohl, Simon 2010) oraz pierwsze szkła ołowiowe, m.in. na terenie Hiszpanii (Schibille i in. 2020). Od X w. te ostatnie znane są także z ziem polskich (Dekówna 2023, s. 183), co świadczy o stosowaniu nowych technologii w środkowej Europie.

Zmiany te wyznaczają przełom w dziejach szklarstwa, prowadzący do rozwoju lokalnych tradycji produkcyjnych, opartych na dostępnych surowcach i dostosowanych do nowych realiów społeczno-gospodarczych.

ZARYS STANU BADAŃ

Szkła sodowe z okresu wczesnego średniowiecza znalezione zostały w Polsce na 27 stanowiskach archeologicznych. Najwięcej analiz składu pierwiastkowego przeprowadzono dla zabytków pozyskanych na obszarze nadbałtyckim. Badania wykonano dla wyrobów szklanych ze Wzgórza Zamkowego w Szczecinie (cztery paciorki datowane od końca VIII w. do 1 poł. XI w.; Dekówna 1980, s. 201, tab. 54; s. 210, tab. 57; s. 214, tab. 60; s. 222, tab. 64), z Wolina (52 szkła z IX–XI w.; Kokora 2019a, tab. 81–83; Kokora 2019b, tam starsza literatura), Janowa Pomorskiego (Truso) (35 szkieł z IX–XI w.; Dekówna, Purowski 2012, s. 79, tab. 5; s. 98–100, tab. 12; s. 132, tab. 14; s. 141, tab. 16; s. 147, tab. 18), Gdańska z ul. Tartacznej (pierścioneł z przełomu XIII i XIV w.; Wajda 2023, s. 417, tab. 16.4) oraz ze stan. 1 (dwa paciorki z X–XIII w.; Chmielowska 1960, tab. 1:13, 14), a także z grodziska w Świłubiu (VIII–IX w.) i z Borkowic (Dekówna, Szymański 1971, s. 302–303, tab. 2:1, 5–8). Wyniki analiz pierwiastkowych szkieł z Gdańska z ul. Tartacznej są obecnie w opracowaniu i nie zostały opublikowane; przebadano je wyłącznie pod względem technologicznym i typologicznym (por. Wajda 2023).

Szkła ze Szczecina, Świłubia, Borkowic oraz z Gdańska (stan. 1) analizowane były po uprzednim wyprażeniu próbek (tzw. strata prażenia). W przeszłości wyprażanie w wysokiej temperaturze, mające na celu usunięcie wilgoci, substancji organicznych oraz składników lotnych, stanowiło standardowy etap przygotowania próbek szkła do analiz chemicznych. Obecnie jednak wiadomo, że może ono prowadzić do zafałszowania wyników – w szczególności przez zawyżenie zawartości tlenu krzemu (SiO_2) oraz zaniżenie udziału lotnych tlenków, takich jak Na_2O czy K_2O (Heiri i in. 2001, s. 106, 108–109). Szkła z pozostałych stanowisk, tj. z Wolina i Janowa Pomorskiego, badane były za pomocą metody elektronowej mikroanalizy rentgenowskiej (EPMA) na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego (Dekówna, Purowski 2012, s. 67; Kokora 2019a, s. 191, przyp. 2). Metoda ta umożliwia precyzyjne oznaczenie głównych składników szkłotwórczych, takich jak SiO_2 , Na_2O , K_2O , CaO , MgO i Al_2O_3 , ma jednak ograniczoną czułość w zakresie pierwiastków śladowych.

Duża liczba analiz składu chemicznego szkła została przeprowadzona również dla znalezisk z Wielkopolski. W ostatnich latach Joanna Sawicka opublikowała kilka opracowań, w których badane szkła sklasyfikowane zostały jako sodowe. Do tej grupy należą m.in. tworzywa paciorków, fragmentu naczynia oraz kostki mozaikowej z zespołu osadniczego w Kruszwicy, datowanego na okres od 1 poł. XI do XII/XIII w. (Sawicka 2021b; Sawicka 2023b, nr kat. 1, 14, 35, 40, 43, 44, 45, 61, 90, 224), paciorki z zespołu osadniczego w Gnieźnie (Sawicka 2020, s. 252–258), paciorek z cmentarzyska w Gieczu z 1 poł. XI w. (Sawicka 2021a, s. 143, tab. 4:10), a także fragment naczynia szklanego z Ostrowa Lednickiego, pochodzący z 2 poł. X lub 1 poł. XI w. (Sawicka 2023a, s. 210–213, tab. 4). Większość szkieł publikowanych przez tę badaczkę analizowana była w Laboratorium Bio- i Archeometrii Instytutu Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk metodą SEM-EDS, która wykrywa pierwiastki wstępujące w stężeniach powyżej 0,1% (Sawicka 2020, s. 250, przyp. 4; Sawicka 2021b, s. 221, przyp. 2; Sawicka 2023b, tab. II.12.4). Warto jednak zauważyć, że w niektórych zestawieniach wyników pojawiają się również wartości niższe niż 0,1%; może to wskazywać na konieczność uwzględnienia ograniczeń metody w interpretacji rezultatów tych badań.

Z obszaru Wielkopolski pochodzą także wyroby z cmentarzyska w Dziekanowicach, datowanego od X/XI do XIII w. M. Dekówna i Tomasz Purowski zidentyfikowali tam kilka różnych typów szkła sodowego, z których wykonano łącznie 20 analizowanych szkieł (Dekówna, Purowski 2019, s. 275–276, tab. 7; s. 291, tab. 11; s. 292–293, tab. 12; s. 295, tab. 16; s. 314, tab. 22). Wszystkie próbki szkła badano metodą EPMA. Z opisywanego tworzywa wykonano także tzw. paciorki z metalową tuleją, znalezione na kilku grodziskach w Wielkopolsce i Ziemi Lubuskiej (m.in. z Giecza, Połupia, Gostchorza), datowane od 2 poł. VIII do 1 ćw. XI w. (osiem zabytków; Sawicka 2024). Z Ziemi Lubuskiej pochodzą również paciorki z grodziska w Santoku, stan. 1, spośród których 14 wykonano ze szkła sodowego (Sawicka 2019, s. 260–266, tab. 5.V.1–5.V.5.9; 5.V.13). Kilkadziesiąt ozdób z tego rodzaju szkła M. Dekówna i T. Purowski zidentyfikowali też na cmentarzysku w Bodzi, datowanym na okres od X do XI w. (Dekówna, Purowski 2016, s. 195, tab. 3.5.2; s. 199, tab. 3.5.6; s. 200, tab. 3.5.8; s. 202–203, tab. 3.5.10).

W porównaniu z północno-zachodnią Polską, z części południowej i wschodniej rozpoznano znacznie mniej znalezisk pod względem chemicznego składu szkła. Z terenu dzisiejszej Małopolski przebadane zostały paciorki jedynie z dwóch stanowisk: osiem ozdób ze skarbu z Zawady Lanckorońskiej (Dekówna 1999, s. 50–54, tab. 1) oraz paciorek z osady w Kaczycach (Buko 2003, s. 130–131, tab. 4). W przypadku zabytków z Zawady Lanckorońskiej, główne tlenki oznaczono za pomocą ilościowej analizy spektralnej, ze stratą prażenia, której dokładność jest ograniczona. Z kolei w przypadku paciorka z Kaczyc stwierdzono bardzo wysoką zawartość CaO (14,03%), która może wskazywać, że badaniu poddano warstwę szkła objętą korozją.

Z obszaru obecnego Mazowsza i Podlasia analizy przeprowadzono dla szkieł z kilku stanowisk. Ze szkła sodowego wykonano osiem paciorków znanych z cmentarzyska w Radomiu (stan. 4), datowanego na XI w. (Wajda 2020, s. 16–26, tab. 2:1–9), trzy bransolety z Warszawy-Pelcowizny, pochodzące z XII–XIII w. (Lipińska 1973, s. 330, tab. 1:5, 9, 10), oraz paciorek z cmentarzyska z grobami w obudowach kamiennych w Czarnej Wielkiej, użytkowanego od X do XVI w. (Wajda 2014, s. 75–79, tab. 8). Analizy tych szkieł prowadzone były na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego (metodą EPMA) oraz w Instytucie Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk w Warszawie (metodą SEM-EDS). Badania przeprowadzono również dla paciorków z cmentarzyska w Czersku, jednak zostały one skrótowo omówione w rozdziale dotyczącym ozdób szklanych. Wyników analiz nie opublikowano w formie tabelarycznej, z podaniem wartości liczbowych, co wyklucza możliwość ich wykorzystania w dalszych studiach porównawczych. Wśród uwzględnionych zabytków jeden paciorek został określony jako wykonany ze szkła sodowego (Bronicka-Rauhut 1998, s. 29)⁶. W przeciwieństwie do tych szkieł, analizy przeprowadzone dla czterech paciorków z cmentarzyska w Lubieniu, woj. łódzkie, zostały opublikowane w formie ilościowej, bez interpretacji typów chemicznych szkła. Na podstawie dostępnych danych możliwe jest jednak samodzielne przyporządkowanie próbek do grup chemicznych – dwa spośród badanych paciorków można zaklasyfikować jako szkła sodowe (por. Nowak i in. 2012, tab. 2 – paciorek czarny z folią; tab. 3).

⁶ Wyniki analizy trzech paciorków z Czerska zostały opublikowane przez M. Dekównę i A. Szymańskiego (Dekówna, Szymański 1971, tab. 1). Uzyskano je z analizy jakościowej, a zatem nie pozwalają na dokładne określenie zawartości poszczególnych pierwiastków, ani na pełną klasyfikację chemiczną szkła.

Na terenie Lubelszczyzny analizowano szkła z czterech stanowisk, w tym z grodziska w Chodliku (fragment naczynia i paciorek z VII–VIII w.; Dekówna 2015), grodziska w Sądziadce (dwa paciorki i grudka szklana z X–XIII w.; Wajda 2013, s. 96–97, tab. 7:1, 8, 9) oraz cmentarzyska kurhanowego w Lipsku-Polesiu (cztery paciorki z IX–XI w.; Wajda, Gan 2021).

Ponadto badaniom składu pierwiastkowego poddano fragmenty bransolet ze stanowiska Chełm-Bieławin (Fituła 2008, s. 150, ryc. 3, tab. 3). Jednak – jak zaznacza sama autorka – w analizach nie oznaczono sodu (Na), mimo że pierwiastek ten występował w znacznych ilościach w każdej z badanych próbek. Zważywszy, że sód jest jednym z podstawowych składników szkła, jego brak w analizach budzi poważne wątpliwości co do wiarygodności uzyskanych rezultatów. Z opublikowanych danych wynika jednak, że większość fragmentów bransolet wykonana została ze szkła ołowiowego (por. Fituła 2008, s. 150, tab. 3).

Na Śląsku również odkryto szkła sodowe. Pochodzą one z dwóch miejscowości – Wrocławia i Opola (Olczak 1968, tab. 8:249, 251; Pankiewicz i in. 2017, s. 35–36, tam starsza literatura; Siemianowska 2020, s. 207, tab. 4:2000/52, 440/68). W przypadku zabytków z Wrocławia, brak opublikowanych, ilościowych analiz składu pierwiastkowego szkielek; nie ma zatem danych do badań porównawczych. Można przypuszczać, że wśród nich znajdują się zarówno szkła wytopione z użyciem sody mineralnej, jak i popiołowej, jednak w dostępnych publikacjach nie dokonano jednoznacznego podziału tych tworzyw według źródła surowca (por. Pankiewicz i in. 2017, s. 21, 35–36, tam starsza literatura). Z Opola-Ostrówka opublikowano wyniki analiz czterech fragmentów naczyń szklanych: dwa opracowane przez Jerzego Olczaka (Olczak 1968, tab. 8:249, 251), które – w świetle obecnego stanu badań – należy traktować orientacyjnie, oraz dwa opublikowane przez Sylwię Siemianowską (Siemianowska 2020, s. 207, tab. 4:2000/52, 440/68).

Jak już wspomniano, większość przebadanych szkieł wczesnośredniowiecznych z obszaru Polski została sklasyfikowana zgodnie z podziałem zaproponowanym przez J. Szczapową (Szczapowa 1973). Na tej podstawie wyróżniono dwanaście typów szkieł sodowych, w tym sześć mineralnych i sześć popiołowych (**tab. 1**). Szkła wytopione na sodzie pochodzenia mineralnego odkryto na dziewiętnastu stanowiskach, z których większość datowana jest na okres od IX do XII w., choć najwcześniejsze znaleziska pochodzą już z VII i VIII w. (Chodlik; Dekówna 2015, tab. 1:1–4). Zidentyfikowano sześć typów chemicznych tej odmiany szkieł: $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ oraz $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{PbO}-\text{SiO}_2$. Najliczniej reprezentowany jest typ z podwyższoną zawartością tlenu glinu ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$), który stwierdzono na piętnastu stanowiskach, datowanych od 2 poł. VIII w. do XIII w. (38 próbek). Mniej licznie (trzynastokrotnie) stwierdzono typ $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$, rozpoznany na sześciu stanowiskach, dla wyrobów datowanych od 4 ćw. IX w. do XIII w. (por. **tab. 1**). Typ $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ reprezentowany jest przez dwie próbki: z Santoka, stan. 1, datowaną na 3 ćw. IX w., oraz z Opola-Ostrówka. Czwarty typ, $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, również stwierdzono w jednym przypadku – w Chodliku, na stanowisku z VII w. Typy $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ oraz $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$, z podwyższoną zawartością tlenu ołowiu, reprezentowane są przez nieliczne próbki z grodziska w Świelubiu oraz cmentarzyska w Lubieniu i datowane od XI do XII w. Pochodzenie szkieł mineralnych wszystkich opisanych typów określane jest najczęściej w sposób ogólny – przypisywane są

one warsztatom z obszaru Bliskiego Wschodu, Egiptu oraz południowej Europy (Dekówna, Purowski 2019, s. 244, tam starsza literatura).

Szklą wytopione na sodzie pochodzenia popiołowego znane są z dziewiętnastu stanowisk (por. **tab. 1**), datowanych od końca VIII w. (Szczecin, Wzgórze Zamkowe) do poł. XIII w. (grodzisko w Sąsiadce); jest to łącznie 165 próbek. Do tej pory wyróżniono sześć typów chemicznych tej odmiany szkła: $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{PbO}-\text{SiO}_2$.

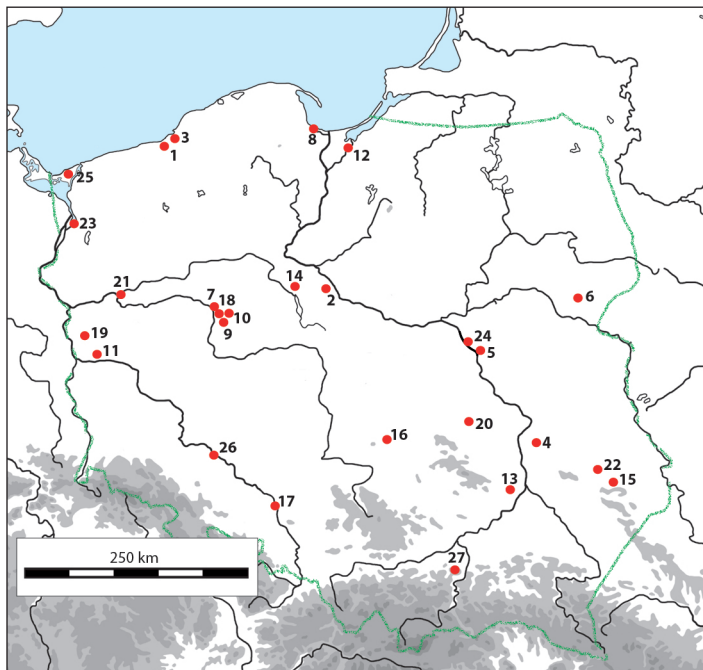
Najliczniej odnotowano czwarty typ, czyli $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (69 próbek), który stwierdzono na dziesięciu stanowiskach datowanych od końca VIII do XIII w. Drugi pod względem liczebności jest typ $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ – 53 próbki z 10 stanowisk, których chronologia zamyka się w przedziale od 2 poł. VIII w. do XIII w., zaś trzeci to $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, obejmujący 17 próbek z dziewięciu stanowisk, z okresu IX–XII w. Nieco mniej licznie występuje typ $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ (10 próbek z pięciu stanowisk, których chronologię określono od IX do XII w.). Najrzadsze są dwa typy: $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ oraz $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{PbO}-\text{SiO}_2$; każdy z nich cechuje osiem próbek (odpowiednio z trzech i dwóch stanowisk), datowanych na okres od XI do XIII w. oraz IX–X w. (por. **tab. 1**). Pochodzenie szkła wytopionych z użyciem popiołu roślinnego, podobnie jak w przypadku szkła mineralnych, jest w literaturze określane ogólnie: jako egipskie, bliskowschodnie lub azjatyckie (np. Dekówna, Purowski 2012, s. 101).

Analizy chemiczne szkła sodowych przeprowadzono dotychczas dla zabytków z 27 stanowisk w Polsce, jednak ich liczba i jakość są bardzo zróżnicowane. Najwięcej danych mamy z obszaru Pomorza, w szczególności z Wolina i Truso, gdzie przebadano po kilkadziesiąt próbek. W pozostałych regionach – Wielkopolsce, Małopolsce i na Śląsku – liczba rozpoznanych szkła jest znacznie mniejsza, często są to pojedyncze znaleziska. Ponadto część rezultatów uzyskano za pomocą metod o ograniczonej dokładności (np. analizy ze stratą prażenia), co utrudnia ich porównywanie z nowszymi wynikami.

Obecny stan badań nad składem chemicznym szkła z obszaru ziem polskich nie pozwala jeszcze na formułowanie ogólnych i wiarygodnych wniosków dotyczących regionalnego zróżnicowania, chronologii lub kierunków importu tych tworzyw. Konieczne jest przeprowadzenie szeroko zakrojonych analiz chemicznych, z zastosowaniem nowoczesnych metod (np. LA-ICP-MS), umożliwiających nie tylko precyzyjne oznaczenie głównych składników szkła, lecz także identyfikację pierwiastków śladowych, istotnych przy określaniu proveniencji surowca. Dopiero takie podejście pozwoli na stworzenie wiarygodnych modeli produkcji i dystrybucji szkła na ziemiach polskich we wczesnym średniowieczu.

KLASYFIKACJA SZKŁA SODOWYCH NA PODSTAWIE NOWYCH DANYCH PORÓWNAWCZYCH

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę ponownej klasyfikacji wczesnośredniowiecznych szkła z Polski, zgodnie z systematyką powszechnie przyjętą we współczesnych badaniach nad jego składem chemicznym. W interpretacji wyników dawnych analiz stosowano niemal wyłącznie podział zaproponowany przez J. Szczapową w 1973 r. Do tej pory zaledwie



Ryc. 1. Miejscowości na ziemiach polskich, w których znaleziono wczesnośredniowieczne szkła sodowe, na stanowiskach archeologicznych różnych kategorii: 1 – Bardy-Świelubie; 2 – Bodzia; 3 – Borkowice; 4 – Chodlik; 5 – Czersk; 6 – Czarna Wielka; 7 – Dziekanowice; 8 – Gdańsk; 9 – Giecz; 10 – Gniezno; 11 – Gostchorze; 12 – Janów Pomorski (Truso); 13 – Kaczyce; 14 – Kruszwica; 15 – Lipsko-Polesie; 16 – Lubień; 17 – Opole; 18 – Ostrów Lednicki; 19 – Połupin; 20 – Radom; 21 – Santok; 22 – Sądka; 23 – Szczecin; 24 – Warszawa-Pelcowizna; 25 – Wolin; 26 – Wrocław; 27 – Zawada Lanckorońska. Oprac. S. Wajda.

Fig. 1. Places in Poland where early medieval soda glass has been found, at various kinds of archaeological sites: 1 – Bardy-Świelubie; 2 – Bodzia; 3 – Borkowice; 4 – Chodlik; 5 – Czersk; 6 – Czarna Wielka; 7 – Dziekanowice; 8 – Gdańsk; 9 – Giecz; 10 – Gniezno; 11 – Gostchorze; 12 – Janów Pomorski (Truso); 13 – Kaczyce; 14 – Kruszwica; 15 – Lipsko-Polesie; 16 – Lubień; 17 – Opole; 18 – Ostrów Lednicki; 19 – Połupin; 20 – Radom; 21 – Santok; 22 – Sądka; 23 – Szczecin; 24 – Warszawa-Pelcowizna; 25 – Wolin; 26 – Wrocław; 27 – Zawada Lanckorońska. Prepared by S. Wajda.

w kilku publikacjach odwoływano się do nowszych interpretacji: w pracy M. Dekówny i T. Purowskiego (Dekówna, Purowski 2019, s. 263, ryc. 5), w której zestawiono dane dotyczące paciorka z cmentarzyska w Dziekanowicach ze szklami z Serbii, na tle grup szkieł bliskowschodnich i egipskich; w artykule J. Sawickiej, która posłużyła się analogicznym schematem graficznym, wzorowanym na propozycji M. Dekówny i T. Purowskiego (Sawicka 2024, s. 179–180, ryc. 4)⁷ oraz w opracowaniu Sylwii Wajdy i Pawła Gana (Wajda, Gan 2021, s. 212). Obecnie jednak rozwój metod analitycznych oraz dostępność rezultatów badań dużych zespołów szkieł z różnych stanowisk umożliwiają zastosowanie nowszych kryteriów klasyfikacyjnych oraz porównania z danymi dla zabytków z innych rejonów Europy, a także z Azji i Afryki.

⁷ J. Sawicka odwołała się również do wcześniejszej pracy M. Dekówny i K. Dymaczewskiej (Dekówna, Dymaczewska 2014), korzystając z identycznego wykresu zamieszczonego w tym opracowaniu.

W prezentowanym artykule zgromadzono informacje dotyczące składu pierwiastkowego szkieł z 27 stanowisk archeologicznych położonych na obszarze dzisiejszych ziem polskich, dla których potwierdzono obecność tworzywa sodowego (ryc. 1) – łącznie 225 analiz. Z dalszych rozważań wyłączono wynik badań paciorka z Kaczyc, ze względu na nietypowo wysoką zawartość CaO, która – jak wcześniej wspomniano – najprawdopodobniej wynika z błędu pomiarowego. Pominęto również dane, w których zawartość tlenu krzemu (SiO_2) nie została oznaczona bezpośrednio, lecz wyliczona jako różnica do 100%, po uwzględnieniu tzw. straty prażenia (por. Kociszewski 1966, s. 64). Z tego powodu wykluczono z rozważań rezultaty analiz tworzywa zabytków ze Szczecina, Świłubia, Borkowic, Warszawy-Pelcowizny, Zawady Lanckorońskiej i Gdańska (stan. 1), a także z Wolina i Opola opracowanych przez J. Olczaka (Olczak 1968). Nie rozpatrywano również wyników analiz paciorków z cmentarzyska w Lipsku-Polesiu, które – jak sami autorzy wskazali – wymagają powtórzenia, a opublikowane wyniki należy traktować wyłącznie orientacyjnie (Wajda, Gan 2021, s. 213, przyp. 5).

W niniejszym opracowaniu dokonano podziału przeanalizowanych próbek szkła na główne grupy, jednak nie omówiono odrębnie każdej z nich. Informacje zawarte w publikacjach odnoszą się przeważnie do podstawowych tlenków szklotwórczych. W związku z tym analizy ograniczyłam do ogólnej klasyfikacji tworzyw w ramach głównych grup chemicznych, pomijając szczegółowe rozpoznanie zastosowanych barwników, odbarwiaczy oraz środków mączących. W celu potwierdzenia tych wstępnych przyporządkowań, wskazane byłoby przeprowadzenie dodatkowych badań z użyciem bardziej czułych technik, umożliwiających dokładne oznaczenie pierwiastków śladowych.

Należy również zauważyć, że część opublikowanych wyników, zwłaszcza uzyskanych metodą SEM-EDS, może budzić wątpliwości ze względu na sposób określenia limitów detekcji. Choć technika ta charakteryzuje się niższą czułością niż EPMA, w niektórych publikacjach odnotowano obecność licznych pierwiastków śladowych na bardzo niskim poziomie, co może świadczyć o niedoszacowaniu granic wykrywalności.

SZKŁA WYTOPIONE NA SODZIE POCHODZENIA MINERALNEGO

Charakterystyczną cechą tworzyw wytapianych z użyciem sody mineralnej od okresu wpływów rzymskich po wczesne średniowiecze jest ich bardzo duże podobieństwo pod względem podstawowego składu pierwiastkowego szkła (Rosenow, Rehren 2014, s. 170). Wynikało to prawdopodobnie z zastosowania surowców szklarskich (piasku i topników) pochodzących z podobnych złóż. Jak wcześniej zaznaczono, istotnym elementem w określaniu miejsca produkcji szkieł natronowych jest określenie źródła piasku. Dokonuje się tego przez analizę obecnych w nim domieszek, takich jak tlenki glinu (Al_2O_3) i żelaza (Fe_2O_3) oraz wybranych pierwiastków śladowych, m.in. cyrkonu (ZrO_2) i tytanu (TiO_2), których stężenia mogą wskazywać na konkretne pochodzenie geologiczne użytego surowca. Większość opublikowanych dotąd analiz szkieł sodowych mineralnych z obszaru ziem polskich nie zawiera jednak danych dotyczących stężeń tych pierwiastków, istotnych dla rozróżnienia źródeł krzemionki. Wynika to przede wszystkim z ograniczeń stosowanych metod analitycznych, takich jak SEM-EDS i EPMA.

Z tego względu w analizie porównawczej uwzględniono jedynie te dane, w których przynajmniej zawartość TiO_2 została oznaczona w sposób wiarygodny, tj. mieściła się w granicach wykrywalności danej metody. Pominięto natomiast wyniki uzyskane metodą SEM-EDS, jeśli zawartość TiO_2 była niższa niż 0,1%. W rezultacie, do interpretacji włączono 35 próbek szkielek ze stanowisk w Wolinie, Bodzi, Dziekanowicach, Gnieźnie, Lubieniu, Santoku, a także paciorki z metalową tuleją.

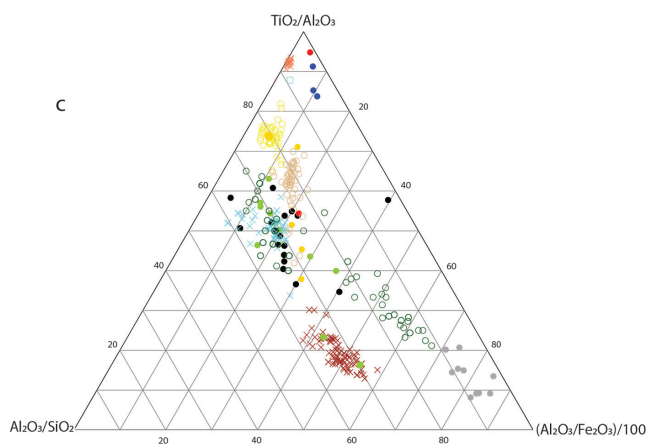
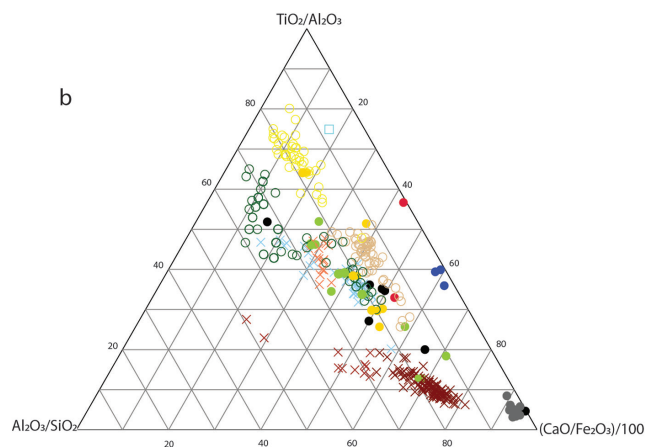
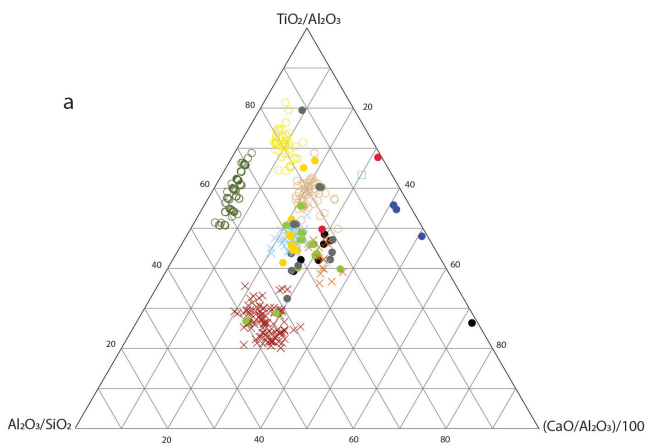
W badaniach nad pochodzeniem szkielek wytopionych na bazie natronu (sody mineralnej) wykorzystano trzy diagramy trójskładnikowe opracowane przez Elisabeth Gliozzo i jej współautorów (Gliozzo i in. 2019, ryc. 4). Stanowią one rozwinięcie wcześniejszego wykresu dwuskładnikowego ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ – $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) zaproponowanego przez zespół Nadine Schibille (Schibille i in. 2017, ryc. 9). Diagramy uwzględniają główne tlenki szklotwórcze szkielek mineralnych: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , TiO_2 i Fe_2O_3 .

Najliczniejszy zespół tworzą szkielek, które można przypisać do grupy HIMT2 (*high iron manganese titanium*), zbliżonej także do grup Foy 2.1/2.2 oraz Foy 3.2. Do tej grupy należy większość przedmiotów z Wolina i Dziekanowic, a także paciorki z metalową tuleją odkryte na obszarze Wielkopolski i Ziemi Lubuskiej, łącznie 25 próbek (ryc. 2). Szkielek HIMT2, według najnowszych ustaleń, to tworzywa powstałe w wyniku recyklingu starszego szkielek (Schibille 2022, s. 38–40); występowały one od początku IV do IX w. i stanowią tworzywa, które są zbliżone składem chemicznym zarówno do szkielek lewantyńskich, jak i HIMT1. W porównaniu jednak do tych ostatnich charakteryzują się niższą zawartością tlenków żelaza (Fe_2O_3), manganu (MnO) i tytanu (TiO_2).

Dwie próbki szkielek z Dziekanowic na wszystkich wykresach występują w bezpośrednim sąsiedztwie lub nakładają się na wyniki szkielek przypisywanego do grupy lewantyńskiej 1, datowanej na okres od IV do VII w. Dwa paciorki z tuleją – z Gieczy i z Santoka – odpowiadają proporcjami głównych składników szklotwórczych grupie HIMT1 (Foy 1), której chronologia obejmuje głównie IV i V stulecie. Z kolei jedno tworzywo z Santoka, z którego został wykonany ornament paciorka, we wszystkich trzech diagramach umiejscowione jest w pobliżu skupiska punktów reprezentujących szkielek Egipt 2, datowane na VIII–IX w. (por. Kronz 2022, tab. 2). Największe odchylenia od głównych grup referencyjnych wykazują próbki z cmentarzyska w Lubieniu, które na wszystkich wykresach trójskładnikowych znajdują się poza zwartymi skupiskami punktów. Podobnie rozmieszczone są pojedyncze szkielek z Bodzi i Gniezna oraz Santoka.

Obecność kilku odmiennych grup chemicznych szkielek na poszczególnych stanowiskach – takich jak Dziekanowice, Santok i Gniezno – świadczy o zróżnicowanym pochodzeniu użytego materiału, który trafiał tam jako gotowe wyroby. Równoczesne występowanie szkielek HIMT2, HIMT1, lewantyńskich oraz Egipt 2 może wskazywać na istnienie rozbudowanych kontaktów handlowych i przepływ szkielek z różnych ośrodków produkcyjnych. Taka różnorodność może też być skutkiem wtórnego przetopu lub recyklingu starszego szkielek, co – jak zaznacza Andreas Kronz na podstawie analiz materiału z nadreńskich pracowni szklarskich – mogło prowadzić do mieszania różnych typów chemicznych, w ramach jednego cyklu użytkowania (Kronz 2022, s. 248).

Trzeba jednak podkreślić, że w odniesieniu do znalezisk z ziem polskich możliwość określenia takich praktyk jest bardzo ograniczona. Jest to spowodowane zarówno jakością dostępnych danych analitycznych, jak też kategoriami przebadanych zabytków, wśród



- Bodzia
- Dziekanowice
- Gniezno
- Lubień
- Santok
- Wolin
- paciorki z metalową tuleją
- Egipt 2
- Egipt 1
- × Lewantyńskie 1
- × HIMT2/Foy 2.1
- HIMT1/Foy 1
- × Foy 3.2

których dominują ozdoby (paciorki, pierścionki, bransolety) zrobione ze szkła silnie barwionego. Z uwagi na niewielką liczbę analiz wykonanych z precyzją poniżej 0,1%, trudno jednoznacznie rozpoznać ewentualne ślady powtórnego przetopienia szkła. W przypadku szkła intensywnie barwionego przeszkodą dla takiej jednoznacznej interpretacji jest też fakt, że pierwiastki takie jak kobalt (Co), miedź (Cu), cyna (Sn), antymon (Sb) i ołów (Pb) – będące potencjalnymi wskaźnikami kolejnego przetopu – pełniły równocześnie rolę barwników (Kronz 2022, s. 248). Z tej przyczyny stwierdzenie, czy dokonywano recyklingu, przy obecnym stanie badań jest niemożliwe.

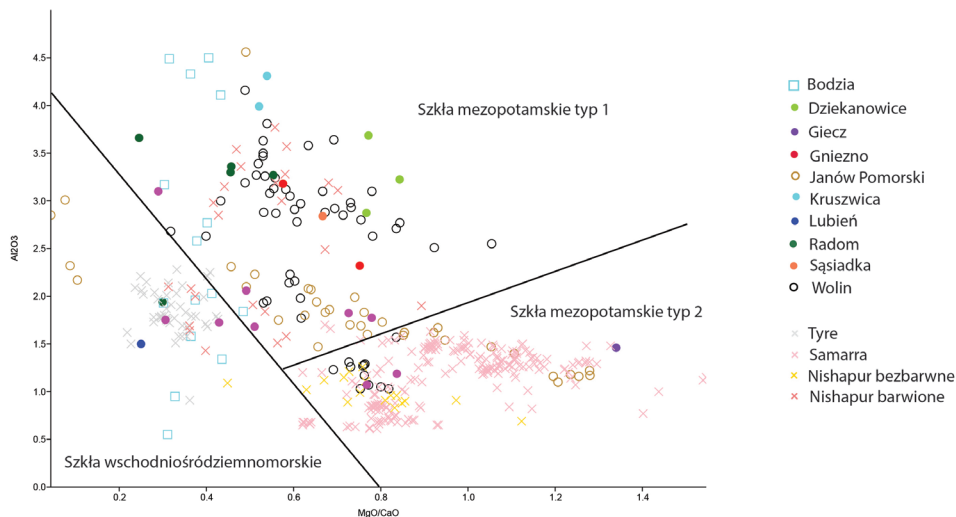
SZKŁA SODOWE WYTOPIONE NA SODZIE POCHODZENIA POPIOŁOWEGO

W celu podziału szkieł sodowych popiołowych na grupy posłużono się wykresem zaproponowanym przez Matta Phelpsa (Phelps 2018, ryc. 11.5), na którym przedstawiono stosunek MgO do CaO względem zawartości Al_2O_3 (ryc. 3). Autor, analizując szkła z regionu wschodniego basenu Morza Śródziemnego oraz obszaru Mezopotamii i Iranu, wyróżnił trzy główne grupy regionalne. Do pierwszej zaliczył szkła z obszaru wschodniośrodmorskiego, które cechują się niskim stosunkiem MgO do CaO i wysoką zawartością CaO. Podobieństwa w składzie chemicznym szkieł z tego rejonu mogą być wynikiem użycia podobnych gatunków roślin oraz zbliżonych praktyk technologicznych przy pozyskiwaniu i stosowaniu popiołu jako topnika (Phelps 2018, s. 259). Do tej grupy szkieł można włączyć część szkieł z Bodzi (7 próbek), Santoka (2), Lubienia (1) oraz Radomia (1) i Janowa Pomorskiego (4).

Druga grupa, określona przez M. Phelpsa jako typ mezopotamski 2, obejmuje szkła o wysokiej zawartości MgO (około 5%) i K_2O (około 2,5%) oraz stężeniu CaO około 6,2% i bardzo niskiej zawartości P_2O_5 (około 0,1%). Charakteryzuje się również niskim udziałem Al_2O_3 (około 1%), TiO_2 (około 0,04%) i Fe_2O_3 (około 0,27%), co świadczy o zastosowaniu surowca krzemionki o wysokim stopniu czystości. Z tych szkieł produkowano przede wszystkim naczynia bezbarwne, znane z Nishapur, Samarry i kontekstów sasanidzkich (Phelps 2018, s. 262–264). W przypadku znalezisk z ziem polskich zostały one rozpoznane wśród paciorków szklanych z Janowa Pomorskiego (11 próbek), Wolina (10) oraz Santoka (2). Obecność szkieł tego typu w składzie barwionych paciorków, różniących się kolorem i techniką wykonania, wskazuje na wtórne wykorzystanie materiału – najprawdopodobniej pochodzącego z recyklingu omawianego tworzywa.

Ryc. 2. Diagramy trójskładnikowe ukazujące szkła sodowe z ziem polskich na tle głównych grup szkieł natronowych, wyodrębnionych na podstawie cech mineralogicznych piasku: a – $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3)/100$; b – $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)/100$; c – $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3)/100$. Źródła danych dla szkieł z Polski, por. **tab. 1**; HIMT-1/Foy 1 i HIMT-2/Foy 2.1/3.2 wg Gliozzo i in. 2019; Foy i in. 2003; Egipt 1 i Egipt 2 wg Schibille i in. 2016; lewantyńskie wg Phelps i in. 2016. Oprac. S. Wajda.

Fig. 2. Three-component diagrams showing soda glass from sites in Poland compared to the main groups of natron glass distinguished on the basis of the mineralogical characteristics of sand: a – $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3)/100$; b – $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)/100$; c – $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3)/100$. Data sources for the glasses from Poland, see **Table 1**; HIMT-1/Foy 1 and HIMT-2/Foy 2.1/3.2 according to Gliozzo *et al.* 2019; Foy *et al.* 2003; Egypt 1 and Egypt 2 according to Schibille *et al.* 2016; Levantine according to Phelps *et al.* 2016. Prepared by S. Wajda.



Ryc. 3. Zestawienie wartości Al_2O_3 względem stosunku MgO/CaO . Źródła danych dla szkieł z Polski, por. **tab. 1**; typ Tyre wg Phelps 2018; mezopotamskie typ 1 i typ 2 (Samarra) wg Schibille i in. 2018; Nishapur wg Brill 1995. Oprac. S. Wajda.

Fig. 3. Al_2O_3 values plotted against the MgO/CaO ratio. Data sources for the glasses from Poland, see **Table 1**; Tyre type according to Phelps 2018; Mesopotamian type 1 and group 2 (Samarra) according to Schibille *et al.* 2018; Nishapur according to Brill 1995. Prepared by S. Wajda.

Większość przebadanych szkieł tzw. sodowych popiołowych z obszaru ziem polskich można zaklasyfikować do grupy mezopotamskiej 1. Należą do niej próbki z następujących stanowisk: Wolin (42 próbki), Janów Pomorski (17), Bodzia (8), Radom (4), Santok (4), Dziekanowice (3), Kruszwica (2), Gniezno (2) oraz Sądka (1). Szkła tej grupy charakteryzują się niską zawartością Al_2O_3 (poniżej 2%) i CaO (około 7%) oraz stosunkowo wysokim stężeniem P_2O_5 w porównaniu z grupą 2. Były one produkowane prawdopodobnie na terenie Iranu, być może w samym Nishapur, w X i XI w. (Phelps 2018, ryc. 11.9).

W przypadku szkieł popiołowych, podobnie jak mineralnych, również należy wziąć pod uwagę, że mogły być one ponownie użyte. Nie ma jednak wystarczająco dokładnych wyników analiz stężeń składników, które są pomocne w identyfikacji przetopionego wtórnie szkła (tj. kobalt – Co, miedź – Cu, cyna – Sn, antymon – Sb, ołów – Pb), aby na tym etapie badań móc to potwierdzić (Kronz 2022, s. 248). Nawet zaproponowany wyżej podział szkieł na trzy główne grupy ma charakter wstępny i może ulec zmianie w miarę uzyskiwania bardziej szczegółowych danych dotyczących składu pierwiastkowego i izotopowego omawianych tworzyw.

ZAKOŃCZENIE

W odróżnieniu od Bliskiego Wschodu i basenu Morza Śródziemnego, gdzie rozwijała się zarówno produkcja pierwotna, jak i wtórna szkła, w Europie Środkowo-Wschodniej – w tym na ziemiach polskich – we wczesnym średniowieczu szkło sodowe spotykane jest głównie w postaci gotowych, importowanych wyrobów. Na nasze ziemie docierały przede

wszystkim paciorki, przy czym szkło do ich wytopienia pochodziło z dużych ośrodków Bliskiego Wschodu, Egiptu, a być może też Bizancjum. Prawdopodobnie część gotowych wytworów sprowadzano też bezpośrednio z tych regionów.

Z terenu Europy Zachodniej znane są jednocześnie liczne warsztaty przetwórcze (typu B), w których z gotowego szkła (półproduktów, stłuczki szklanej oraz surowego szkła) wykonywano rozmaite przedmioty, lecz głównie paciorki. Takie pracownie funkcjonowały w Groß Strömkendorf, Rostock-Dierkow, Ribe, Helgö i Hedeby (Messal, Kronz 2022, s. 191), ale także na ziemiach polskich – w Szczecinie (Dekówna 1980) i na Wolinie (Kokora 2019b), a dalej na północny wschód – w Starej Ładodze (Dekówna, Purowski 2012, s. 95–96, tam starsza literatura). Niewielka liczba analiz chemicznych szkieł z tych stanowisk powoduje, że wiedza na temat tych wytworów opiera się przede wszystkim na obserwacjach typologicznych. To ogranicza możliwość powiązania tych znalezisk z głównymi, wczesnośredniowiecznymi centrami produkcji szkła.

Wyniki badań archeometrycznych szkieł z obszaru Polski wskazują na ich różnorodną proveniencję. Dalsze studia nad ich składem i atrybucją są istotne dla lepszego zrozumienia roli handlu szkłem w systemach gospodarczych i społecznych wczesnośredniowiecznej Europy. W celu dokładnego prześledzenia obiegu tego tworzywa na ziemiach polskich konieczne jest kompleksowe przebadanie większej liczby znalezisk. Dotychczas przeanalizowano ponad 200 próbek szkła; to stosunkowo niewiele w zestawieniu z badaniami przeprowadzonymi na innych obszarach. Dla porównania, z samej tylko Nadrenii przebadanych zostało około 500 zabytków z okresu późnorzymskiego (Kronz 2022). Pozwoliło to na precyzyjniejsze określenie typów szkieł, ich pochodzenia i dystrybucji.

Jednym z ważniejszych kierunków przyszłych studiów powinno być także skorelowanie typów chemicznych szkła sodowego z określonymi kategoriami i formami wyrobów szklanych. To pozwoliłoby nie tylko lepiej rozpoznać potencjalne ośrodki produkcji, ale również ustalić, z jakimi typami wytworów wiążą się poszczególne grupy chemiczne szkieł.

BIBLIOGRAFIA

- Barkoudah Y., Henderson J. 2006. *Plant ashes from Syria and the manufacture of ancient glass: Ethnographic and scientific aspects*, „Journal of Glass Studies”, 48, s. 297–321.
- Bezborodov M.A. 1969. *Himiã i tehnologiã drevnih i srednevekovyh stekol*, Minsk.
- Brems D., Degryse P. 2014. *Trace element analysis in provenancing Roman glass-making*, „Archaeometry”, 56(1), s. 116–136, <https://doi.org/10.1111/arc.12063>
- Brill R.H. 1992. *Chemical analyses of some glasses from Frattesina*, „Journal of Glass Studies”, 34, s. 11–22.
- Brill R.H. 1995. *Appendix 3: Chemical analyses of some glass fragments from Nishapur in the Corning Museum of Art*, [w:] J. Kroeger (red.), *Nishapur: Glass of the Early Islamic Period*, New York, s. 211–233.
- Bronicka-Rauhut J. 1998. *Cmentarzysko wczesnośredniowieczne w Czersku*, Warszawa.
- Buko A. 2003. *Wczesnośredniowieczna osada w Kaczycach koło Opatowa: zagadkowy epizod w dziejach osadnictwa wiejskiego na Wyżynie Sandomierskiej*, „Archeologia Polski”, 48(1–2), s. 113–156.
- Ceglia A., Cosyns P., Nys K., Terryn H., Thienpont H., Meulebroeck W. 2015. *Late antique glass distribution and consumption in Cyprus: a chemical study*, „Journal of Archaeological Science”, 61, s. 213–222, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.06.009>

- Chinni T., Fiorentino S., Silvestri A., Mantellini S., Berdimuradov A.E., Vandini M. 2023. *Glass from the Silk Roads. Insights into new finds from Uzbekistan*, „Journal of Archaeological Science: Reports”, 48, 103841, s. 1–16, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.103841>
- Chmielowska A. 1960. *Wyroby szklarskie z X–XIII wieku na stanowisku 1 w Gdańsku*, [w:] J. Kamińska (red.), *Gdańsk wczesnośredniowieczny*, 3, Gdańsk, s. 105–158.
- Cholakova A., Rehren T., Freestone I.C. 2016. *Compositional identification of 6th c. AD glass from the Lower Danube*, „Journal of Archaeological Science: Reports”, 7, s. 625–632, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.08.009>
- Degryse P., Shortland A. 2009. *Trace elements in provenancing raw materials for Roman glass production*, „Geologica Belgica”, 12(3–4), s. 135–143.
- De Juan Ares J., Schibille N. 2017. *Glass import and production in Hispania during the early medieval period: The glass from Ciudad de Vascos (Toledo)*, „PLoS ONE”, 12(7), e0182129, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0182129>
- Dekówna M. 1980. *Szkło w Europie wczesnośredniowiecznej*, Wrocław.
- Dekówna M. 1988. *Uwagi na temat klasyfikacji i interpretacji pozostałości starożytnej i wczesnośredniowiecznej produkcji szklarskiej*, [w:] G. Labuda, S. Tabaczyński (red.), *Studia nad etnogenezą Słowian*, Wrocław, s. 5–20.
- Dekówna M. 1999. *Glass beads*, [w:] H. Zoll-Adamikowa, M. Dekówna, E.M. Nosek, *The early medieval hoard from Zawada Lanckorońska (upper Vistula River)*, Warszawa, s. 25–70.
- Dekówna M. 2005. *Rozwój metod badania złazisk szkła w Polsce w latach 1930–2000*, „Acta Universitatis Nicolai Copernici, Archeologia”, 29, „Archeologia szkła”, 9, s. 3–40.
- Dekówna M. 2015. *Dwa przedmioty szklane z wczesnośredniowiecznego grodziska w Chodliku, pow. Opole Lubelskie, woj. lubelskie*, [w:] H. Taras (red.), *Myśl badawcza Aleksandra Gardawskiego*, Lublin, s. 165–182.
- Dekówna M. 2017. *Badania nad początkami szklarstwa i wyrobami szklanymi na ziemiach polskich: problemy i metody badań. Zarys*, „Przegląd Archeologiczny”, 65, s. 69–88, <https://doi.org/10.23858/pa65.2017.007>
- Dekówna M. 2023. *Reflections on the beginnings of ancient Russian glassmaking*, „Archeologia Polski”, 68, s. 183–207, <https://doi.org/10.23858/APol68.2023.006>
- Dekówna M., Dymaczewska U. 2014. *Fragment naczynia szklanego z napisem znaleziony w Odcercy (Bułgaria)*, „Archeologia Polski”, 58(1–2), s. 231–269.
- Dekówna M., Olczak J. (red.), 2002. *Principes de description des verres anciens depuis les temps les plus reculés jusqu'au XIII^e siècle de n.è.*, Warszawa–Toruń.
- Dekówna M., Purowski T. 2012. *Znaleziska związane ze szklarstwem oraz okazy z kwarcu ze stanowiska Janów Pomorski 1*, [w:] M. Bogucki, B. Jurkiewicz (red.), *Janów Pomorski, stan. 1. Wyniki ratowniczych badań archeologicznych w latach 2007–2008, I:3, Analizy, Elbląg*, s. 65–260.
- Dekówna M., Purowski T. 2016. *Paciorki szklane*, [w:] A. Buko (red.), *Bodzia. Elitarny cmentarz z początków państwa polskiego*, Warszawa, s. 153–205.
- Dekówna M., Purowski T. 2019. *Biżuteria szklana z cmentarzyska w Dziekanowicach/Glass jewellery from the Dziekanowice cemetery*, [w:] J. Wrzesiński (red.), *Groby z biżuterią z wczesnośredniowiecznego cmentarzyska w Dziekanowicach/ Graves with jewellery from the early medieval cemetery in Dziekanowice*, Biblioteka Studiów Lednickich, B1, 8(1), Lednica, s. 237–360.
- Dekówna M., Szymański A. 1971. *Badanie technik produkcji wczesnośredniowiecznych paciorków szklanych metodami petrograficznymi*, „Slavia Antiqua”, 18, s. 283–309.
- Fituła M. 2008. *Średniowieczne bransolety szklane ze stanowiska Chełm-Bielawin*, „Archeologia Polski Środkowowschodniej”, 10, s. 145–162.
- Foy D., Picon M., Vichy M., Thirion-Merle V. 2003. *Caractérisation des verres de la fin de l'Antiquité en Méditerranée occidentale: l'émergence de nouveaux courants commerciaux*, [w:] M.-D. Nenna, D. Foy (red.), *Échanges et commerce du verre dans le monde antique: actes du colloque de l'Association Française pour l'Archéologie du Verre, Aix-en-Provence et Marseille, 7–9 juin 2001*, Montagnac, s. 41–85.

- Freestone I. 2005. *The provenance of ancient glass through compositional analysis*, „MRS Online Proceedings Library”, 852, s. 188–201, <https://doi.org/10.1557/PROC-852-008.1>
- Freestone I.C., Gorin-Rosen Y., Hughes M.J. 2000. *Primary glass from Israel and the production of glass in Late Antiquity and the Early Islamic Period*, [w:] M.-D. Nenna (red.), *La route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Âge. Colloque organisé en 1989 par l'Association française pour l'Archéologie du Verre (AFAV)*, Travaux de la Maison de l'Orient méditerranéen, 33, Lyon, s. 65–83, https://www.persee.fr/doc/mom_1274-6525_2000_act_33_1_1874
- Freestone I.C., Jackson-Tal R.E., Tal O. 2008. *Raw glass and the production of glass vessels at Late Byzantine Apollonia-Arsuf, Israel*, „Journal of Glass Studies”, 50, s. 67–80.
- Gliozzo E., Braschi, E., Giannetti F., Langone A., Turchiano M. 2019. *New geochemical and isotopic insights into the Late Antique Apulian glass and the HIMT1 and HIMT2 glass productions—the glass vessels from San Giusto (Foggia, Italy) and the diagrams for provenance studies*, „Archaeological and Anthropological Sciences”, 11, s. 141–170, <https://doi.org/10.1007/s12520-017-0531-4>
- Gliozzo E., Braschi E., Langone A., Ignelzi A., Favia P., Giuliani R. 2021. *New geochemical and Sr-Nd isotopic data on medieval plant ash-based glass: The glass collection from San Lorenzo in Carmignano (12th–14th centuries AD, Italy)*, „Microchemical Journal”, 168, 106371, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106371>
- Gorin-Rosen, Y. 2000. *The ancient glass industry in Israel: summary of the finds and new discoveries*, [w:] M.-D. Nenna (red.), *La route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Âge. Colloque organisé en 1989 par l'Association française pour l'Archéologie du Verre (AFAV)*, Travaux de la Maison de l'Orient méditerranéen, 33, Lyon, s. 49–63, www.persee.fr/doc/mom_1274-6525_2000_act_33_1_1873
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. 2001. *Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results*, „Journal of Paleolimnology”, 25, s. 101–110, <https://doi.org/10.1023/A:1008119611481>
- Kociszewski L. 1966. *Metody laboratoryjne badania przedmiotów ze szkła*, Studia z dziejów rzemiosła i przemysłu, 6, Wrocław, s. 49–75.
- Kokora K. 2019a. *Glass artefacts*, [w:] M. Rębkowski (red.), *Wolin – the Old Town, 2: Studies on finds*, Szczecin, s. 191–220.
- Kokora K. 2019b. *Szklarstwo wczesnośredniowiecznego Wolina według Jerzego Olczaka i Elżbiety Jasiewiczowej – 55 lat później. Nowe ustalenia dotyczące przedmiotów szklanych ze stanowiska nr 1 w Wolinie*, „Archeologia Polski”, 64, s. 283–338, <https://doi.org/10.23858/APOL64.2019.008>
- Kronz A. 2022. *Rhenish glass – the role of late antique to early medieval glass production in the Rhine-land: a chemical investigation*, [w:] M. Dodt, S. Messal, B.S. Majchczack, A. Kronz (red.), *Glas als Fernhandelsprodukt im frühen Mittelalter – Köln und der europäische Norden: Zwei Workshops im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms “Häfen von der Römischen Kaiserzeit bis zum Mittelalter”, ausgerichtet vom Römisch-Germanischen Museum zu Köln, 8.–10. November 2016, und dem Sydvestjyske Museer in Ribe / Dänemark, 20.–22. März 2018*, Heidelberg, s. 233–261, <https://doi.org/10.11588/propylaeum.1105.c15180>
- Kronz A., Hilberg V., Simon K., Wedepohl K.W. 2016. *Glas aus Haithabu*, „Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters”, 43, s. 39–58.
- Kunicki-Goldfinger J.J. 2020. *Szkoło w Europie Środkowej od późnego średniowiecza do XVIII wieku. Skład chemiczny – uwarunkowania i interpretacja*, Warszawa.
- Lipińska O. 1973. *Wczesnośredniowieczne bransolety szklane z Warszawy-Pelcowizny*, „Wiadomości Archeologiczne”, 38(2), s. 329–347.
- Meek A., Simpson S.J., Schibille N. 2025. *Tracing glass production in urban centers along the Silk Roads in the early Islamic period*, „iScience”, 28, 111845, s. 1–11, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.111845>
- Messal M., Kronz A. 2022. *Glashandel und Glasverarbeitung im südlichen Ostseeraum – Glas aus den frühmittelalterlichen Emporien von Groß Strömkendorf und Rostock-Dierkow*, [w:] M. Dodt,

- S. Messal, B.S. Majchczack, A. Kronz (red.), *Glas als Fernhandelsprodukt im frühen Mittelalter – Köln und der europäische Norden: Zwei Workshops im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Häfen von der Römischen Kaiserzeit bis zum Mittelalter"*, ausgerichtet vom Römisch-Germanischen Museum zu Köln, 8.–10. November 2016, und dem Sydvestjyske Museer in Ribe / Dänemark, 20.–22. März 2018, Heidelberg, s. 183–218, <https://doi.org/10.11588/propylaeum.1105.c15178>
- Nenna M.-D., Picon M., Vichy M. 2000. *Ateliers primaires et secondaires en Égypte à l'époque gréco-romaine*, [w:] M.-D. Nenna (red.), *La route du verre. Ateliers primaires et secondaires du second millénaire av. J.-C. au Moyen Âge. Colloque organisé en 1989 par l'Association française pour l'Archéologie du Verre (AFAV)*, Travaux de la Maison de l'Orient méditerranéen, 33, Lyon, s. 97–112, https://www.persee.fr/doc/mom_1274-6525_2000_act_33_1_1877
- Nowak A., Wagner B., Bulska E. 2012. *Analiza składu chemicznego paciorków z wczesnośredniowiecznego cmentarzyska w Lubieniu*, [w:] T. Kurasiński, K. Skóra, *Wczesnośredniowieczne cmentarzysko szkieletowe w Lubieniu, pow. piotrkowski, Łódź*, s. 375–383.
- Occari V., Freestone C.I., Fenwick C. 2021. *Raw materials and technology of medieval glass from Venice: The Basilica of SS. Maria e Donato Murano*, „Journal of Archaeological Science: Reports”, 35, 102981, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102981>
- Olczak J. 1968. *Wytwórczość szklarska na terenie Polski we wczesnym średniowieczu. Studium archeologiczno-techniczne*, Wrocław–Warszawa–Kraków.
- Pankiewicz A., Siemianowska S., Sadowski K. 2017. *Wczesnośredniowieczna biżuteria szklana z głównych ośrodków grodowych Śląska (Wrocław, Opole, Niemcza)*, Wrocław.
- Pankiewicz A., Miśta-Jakubowska E., Siemianowska S., Czech-Błońska R., Błoński M., Mathur R., Karasiński J., Siuda R., Żabiński G., Gójska A. 2025. *Origins of medieval lead glass ornaments in Central Europe in the light of lead isotopic analysis of finds from Wrocław and Sypniewo (Poland)*, „Journal of Archaeological Science”, 176, 106168, s. 1–11, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2025.106168>
- Phelps M. 2018. *Glass supply and trade in early Islamic Ramla: An investigation of the plant ash glass*, [w:] D. Rosenow, M. Phelps, A. Meek, I. Freestone (red.), *Things that travelled: Mediterranean glass in the first millennium AD*, London, s. 236–282, <https://doi.org/10.2307/j.ctt21c4tb3>
- Phelps M., Freestone I.C., Gorin-Rosen Y., Gratuze B. 2016. *Natron glass production and supply in the late antique and early medieval Near East: The effect of the Byzantine-Islamic transition*, „Journal of Archaeological Science”, 75, s. 57–71, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.08.006>
- Purowski T. 2012. *Wyroby szklane w kulturze łużyckiej w międzyrzeczcu Noteci i środkowej Odry. Studium archeologiczno-techniczne*, Warszawa.
- Rehren Th., Cholakova A. 2014. *Glass supply and consumption in the late Roman and early Byzantine site Dichin, northern Bulgaria*, [w:] D. Keller, J. Price, C. Jackson (red.), *Neighbours and successors of Rome: Traditions of glass production and use in Europe and the Middle East in the later 1st millennium AD*, Oxford, s. 83–94.
- Rosenow D., Rehren Th. 2014. *Herding cats – Roman to Late Antique glass groups from Bubastis, northern Egypt*, „Journal of Archaeological Science”, 49, s. 170–184, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.04.025>
- Sawicka J. 2016. *Paciorek „oliwkowaty” z metalową tuleją z grodziska w Połupinie, stan. 2. Analiza porównawcza*, [w:] B. Gruszka (red.), *Wczesnośredniowieczny gród w Połupinie, stan. 2. Nowe analizy i interpretacje źródeł archeologicznych i przyrodniczych*, Zielona Góra, s. 109–118.
- Sawicka J. 2019. *Zabytki ze szkła*, [w:] K. Zamelska-Monczak (red.), *Santok. Strażnica i klucz Królestwa Polskiego. Wyniki badań z lat 1958–1965*, Origines Polonorum, 13, Warszawa, s. 259–275.
- Sawicka J. 2020. *Kwestia chronologii, typologii i pochodzenia szklanej biżuterii z wczesnośredniowiecznego ośrodka grodowego w Gnieźnie*, „Folia Praehistorica Posnaniensia”, 25, s. 247–289, <https://doi.org/10.14746/fpp.2020.25.11>
- Sawicka J. 2021a. *Pilotażowe badania biżuterii szklanej z cmentarzyska w Gieczu*, [w:] E. Indycka (red.), *Cmentarzysko wczesnośredniowieczne w Gieczu (stanowisko 4)*, Dziekanowice, s. 131–145.

- Sawicka J. 2021b. *Wczesnośredniowieczny szklany paciór z Kruszwicy*, „Slavia Antiqua”, 62, s. 217–232, <https://doi.org/10.14746/sa.2021.62.10>
- Sawicka J. 2023a. *Kilka uwag o szklanych naczyniach z grodu na Ostrowie Lednickim*, „Slavia Antiqua”, 64, s. 197–220, <https://doi.org/10.14746/sa.2023.64.7>
- Sawicka J. 2023b. *Warsztaty szklarskie. Nowe interpretacje*, [w:] W. Dzieduszycki, J. Sawicka (red.), *Wczesnośredniowieczna Kruszwica*, Warszawa, s. 387–492.
- Sawicka J. 2024. *O pochodzeniu wczesnośredniowiecznych szklanych paciorków z metalową tuleją z wczesnośredniowiecznych ośrodków grodowych w Wielkopolsce i na Ziemi Lubuskiej*, „Slavia Antiqua”, 65, s. 167–187, <https://doi.org/10.14746/sa.2024.65.8>
- Sayre E.V., Smith R.W. 1961. *Compositional categories of ancient glass*, „Science”, 133, 1824–1826.
- Schibille N. 2011. *Late Byzantine mineral soda high alumina glasses from Asia Minor: A new primary glass production group*, „PLoS ONE”, 6(4), e18970, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018970>
- Schibille N. 2022. *Islamic glass in the making: Chronological and geographical dimensions*, Studies in Archaeological Sciences, 7, Leuven, <https://doi.org/10.2307/j.ctv2bfhhht>
- Schibille N., Meek A., Tobias B., Entwistle C., Avisseau-Broustet M., Da Mota H., Gratuze B. 2016. *Comprehensive chemical characterisation of Byzantine glass weights*, „PLoS ONE”, 11(12), e0168289, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168289>
- Schibille N., Sterrett-Krause A., Freestone I.C. 2017. *Glass group, glass supply and recycling in the late Roman Carthage*, „Archaeological and Anthropological Science”, 9, s. 1223–1241, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12520-016-0316-1>
- Schibille N., Meek A., Wypyski M.T., Kroeger J., Rosser-Owen M., Wade Haddon R. 2018. *The glass walls of Samarra (Iraq): Ninth-century Abbasid glass production and imports*, „PLoS ONE”, 13(8), e0201749, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201749>
- Schibille N., Gratuze B., Ollivier E., Blondeau É. 2019. *Chronology of early Islamic glass compositions from Egypt*, „Journal of Archaeological Science”, 104, s. 10–18, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.02.001>
- Schibille N., De Juan Ares J., Casal García M.T., Guerrot C. 2020. *Ex novo development of lead glass-making in early Umayyad Spain*, „PNAS”, 117(28), s. 16243–16249, <https://doi.org/10.1073/pnas.2003440117>
- Schibille N., Lankton J.W., Gratuze B. 2022. *Compositions of early Islamic glass along the Iranian Silk Road*, „Geochemistry”, 82(4), 125903, <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2022.125903>
- Schibille N., Klesner C., Neuville D.R., Stark S., Torgoev A.I., Mirzaakhmedov S.J. 2024. *Geochemical variations in early Islamic glass finds from Bukhara (Uzbekistan)*, „Geochemistry”, 84(1), <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126078>
- Shortland A., Schachner L., Freestone I., Tite M. 2006. *Natron as a flux in the early vitreous materials industry: sources, beginnings and reasons for decline*, „Journal of Archaeological Science”, 33, s. 521–530, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.09.011>
- Shortland A.J., Rehren Th. 2020. *Glass*, [w:] M. P. Richards, K. Britton (red.), *Archaeological Science – an introduction*, Cambridge, s. 347–364, <https://doi.org/10.1017/9781139013826.015>
- Siemianowska S. 2020. *Przemiany społeczno-gospodarcze doby przełomu lokacyjnego na Śląsku. Szkło jako identyfikator zmian*, [w:] K. Krzan, P. Rzeźnik, S. Siemianowska (red.), *Ceramika i szkło w badaniach interdyscyplinarnych*, Wrocław, s. 195–228.
- Stawiarska T. 1984. *Szkła z okresu wpływów rzymskich w północnej Polsce*, Wrocław.
- Swan C.M., Rehren Th., Dussubieux L., Eger A.A. 2018. *High-boron and high-alumina Middle Byzantine (10th–12th century CE) glass bracelets: A Western Anatolian glass industry*, „Archaeometry”, 60(2), s. 207–232, <https://doi.org/10.1111/arc.12314>
- Szczapowa J.L. 1973. *Zasady interpretacji analiz składu szkła zabytkowego*, „Archeologia Polski”, 18(1), s. 15–72.
- Tal O., Jackson-Tal R., Freestone I. 2004. *New evidence of the production of raw glass at late Byzantine Apollonia-Arsuf, Israel*, „Journal of Glass Studies”, 46, s. 51–66.

- Tite M., Shortland A., Maniatis Y., Kavoussanaki D., Harris S. 2006. *The composition of the soda-rich and mixed alkali plant ashes used in the production of glass*, „Journal of Archaeological Science”, 33(9), s. 1284–1292, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.01.004>
- Wajda S. 2013. *Zabytki szklane i szklwione*, [w:] J. Kalaga (red.), *Sutiejsk. Gród z pogranicza polsko-ruskiego z X–XIII wieku. Studium interdyscyplinarne*, Warszawa–Pękowice, s. 93–103.
- Wajda S. 2014. *Wyroby szklane*, [w:] H. Karwowska (red.), *Średniowieczne cmentarzysko w Czarnej Wielkiej, stan. 1, woj. podlaskie (badania 1951–1978)*, 2, Białystok, s. 57–103.
- Wajda S. 2020. *Przedmioty szklane*, [w:] T. Baranowski, K. Skóra, K. Skrzyńska (red.), *Przestrzeń osadnicza wczesnośredniowiecznego Radomia*, 3, Stanowisko 4. *Badania interdyscyplinarne*, Łódź–Warszawa, s. 13–38.
- Wajda S. 2023. *Biżuteria szklana*, [w:] S. Wadył, Z. Misiuk, E. Drozd-Wadył (red.), *Tartaczna. Studium z życia przedlokacyjnego Gdańska*, 1, Gdańsk, s. 401–419.
- Wajda S., Gan P. 2021. *Paciorki szklane z cmentarzyska kurhanowego w Lipsku-Polesiu*, [w:] W. Borkowski, W. Brzeziński (red.), *Unikatowe wczesnośredniowieczne cmentarzysko kurhanowe w Lipsku-Polesiu, gm. Zamość*, Warszawa, s. 209–215.
- Wajda S., Merkel S.W., Florkiewicz I., Jansen M., Marciniak-Maliszewska B., Wagner B., Wołoszyn M. 2024. *Early medieval lead glass bangles from Czermino, Poland: results of elemental and lead isotopes analyses*, „Archaeometry”, 66(2), s. 306–325, <https://doi.org/10.1111/arc.12907>
- Wedepohl K.H., Simon K. 2010. *The chemical composition of medieval wood ash glass from Central Europe*, „Chemie der Erde-Geochemistry”, 70(1), s. 89–97, <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2009.12.006>

SUMMARY

In 1980 Maria Dekówna identified three main types of glass recipe used in early medieval Europe: soda, potash and lead (Dekówna 1980, p. 19). While lead glass has been the focus of most recent research in Poland (e.g. Dekówna 2023; Wajda *et al.* 2024; Pankiewicz *et al.* 2025), soda glass has not been analysed in such detail. This article discusses the origin of this type of glass and the trade routes by which it was transported, making use of published chemical analysis results (e.g., Dekówna, Purowski 2012; Dekówna, Purowski 2016; Dekówna, Purowski 2019; Wajda 2013; Wajda 2014; Wajda 2019; Sawicka 2023; Sawicka 2024). Drawing on the growing body of published comparative data from the Middle East and Europe (e.g., Schibille 2011; Schibille 2022; Phelps 2018; Kronz 2022), it aims to more accurately identify the types of soda glass found in Poland. These new findings prompt a reassessment of earlier interpretations of the presence of soda glass in Central and Eastern Europe (Freestone *et al.* 2000; Cholakova *et al.* 2016).

Early medieval soda glass has been identified at 27 sites in Poland (**Fig. 1**), with most analyses coming from the Baltic region, especially from Wolin and Janowo Pomorskie (Dekówna, Purowski 2012; Kokora 2019a). The most common mineral type is $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ glass, while $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ glass dominates among plant ash glasses (**Table 1**).

The reclassification of soda glass is based on an analysis of 225 samples taken from all 27 archaeological sites. This analysis, which was carried out according to the latest research criteria (cf. Phelps *et al.* 2016; Phelps *et al.* 2018; Schibille 2022), distinguished glass melted from mineral soda from that for which plant ash soda was used. Based on three-component diagrams (Gliozzo *et al.* 2019), the mineral soda glass (35 samples) was found to be mainly of the HIMT2 type (25 samples); this type has been recorded from sites such as Wolin and Dziekanowice. Single examples of HIMT1, Levantine 1, and Egypt 2 types of glass were also identified (**Fig. 2**). This diversity suggests a complex network of trade routes for imported glasses, as well as the probable recycling of older products (Schibille 2022; Kronz 2022). The greatest deviations from the reference groups were found in glass from Lubień, Bodzia, Gniezno, and Santok.

Phelps's classification (Phelps 2018) based on the MgO/CaO ratio and Al_2O_3 content was used for the ash glasses. Three types were identified: Eastern Mediterranean (including the sites of Bodzia and Janów Pomorski), Mesopotamian 2 (Wolin, Santok, Janów Pomorski) and the most numerous – Mesopotamian 1 (including Wolin, Bodzia, Kruszwica, Sądka) (Fig. 3). This typological division is preliminary and requires further analysis, particularly with regard to trace elements and isotopic data.

Imported beads were made of glass from the Middle East, Egypt, or Byzantium, and some of the beads found in Poland may have been imported directly from these areas. Several glass-working workshops (type B according to M. Dekówna's classification) are known to have operated on the Baltic coast, including Groß Strömkendorf, Rostock-Dierkow, Ribe, Helgö, Hedeby, as well as Wolin, Szczecin, and Stara Ładoga, where items such as beads were mainly produced from imported raw glass and semi-finished products. However, the limited number of chemical analyses from these sites means that knowledge about their activities is mainly based on typological studies.

So far, only around 200 samples from Poland have been analysed, which is a small number compared to the approximately 500 analyses from the Rhineland alone (Kronz 2022), for example. Further research is necessary, particularly into the relationship between chemical types of glass and specific product categories and forms. This will improve our understanding of the trade routes and better identify potential centres of glass production.

Translated by Iwona Zych

*

Nadesłano: 01.07.2025; **zrewidowano:** 01.09.2025; **zaakceptowano:** 19.09.2025.

Artykuł opublikowano w otwartym dostępie na licencji CC BY 4.0

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

„Archeologia Polski” Copyright © 2025 Instytut Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk

Autorka oświadcza, że nie ma konfliktu interesów wynikającego z konkurencji, współpracy lub innych relacji, powiązań osobistych lub finansowych, które mogły mieć wpływ na badania i wyniki opisane w artykule.

Received: 01.07.2025; **revised:** 01.09.2025; **accepted:** 19.09.2025.

Article is published in an open access under the CC BY 4.0 license

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

„Archeologia Polski” Copyright © 2025 by Institute of Archaeology and Ethnology Polish Academy of Sciences

The author declares that she has no conflicts of interest arising from competition, collaboration or other personal or financial relationships that could affect the research and results described in the article.