

PROGRAM BADAŃ KONSERWATORSKICH WRAZ Z ICH WYCENĄ DLA CZTERECH NAGROBKÓW POŁOŻONYCH NA CMENTARZU PARAFIALNYM NA ANTOKOLU W WILNIE.

Program badań obejmuje interdyscyplinarne analizy fizykochemiczne, mikrobiologiczne i strukturalne oryginalnych elementów zabytkowych obiektów. Wykorzystanie nowoczesnych metod badawczych pozwala na określenie składu materiałowego, identyfikację zjawisk degradacyjnych oraz ocenę wcześniejszych interwencji konserwatorskich. Program badań uwzględnia metody zarówno nieinwazyjne, jak i inwazyjne, dostosowane do specyfiki badanego materiału. Pobór próbek do badań zostanie przeprowadzony zgodnie z zasadami sztuki konserwatorskiej, w sposób w pełni profesjonalny, kontrolowany i zgodny z obowiązującymi normami, w szczególności z wytycznymi zawartymi w normie EN 16085 dotyczącą metodologii pobierania próbek z materiałów dziedzictwa kulturowego.

Wszystkie próbki zostaną pobrane w ściśle wyselekcjonowanych miejscach, z zachowaniem najwyższej ostrożności i poszanowania dla integralności oraz estetyki zabytkowych nagrobków. W żadnym przypadku nie będą one pozyskiwane z powierzchni eksponowanych ani widocznych w codziennym odbiorze obiektu. Lokalizacje poboru zostaną dobrane tak, aby zminimalizować jakiegokolwiek ingerencje w tkanke zabytkową – planuje się wykonywanie mikropoborów w obrębie istniejących przełamów, ubytków, mikropęknięć bądź szczelin strukturalnych, których charakter nie wpływa na estetykę obiektów. W przypadkach wymagających szerszego dostępu, próbki zostaną pozyskane wyłącznie z powierzchni ukrytych, dostępnych jedynie po demontażu elementów wtórnych lub konstrukcyjnych, takich jak płyty przykrywające czy cokoły. Zakres pobieranych materiałów

zostanie ograniczony do absolutnego minimum, niezbędnego do przeprowadzenia wiarygodnych analiz laboratoryjnych, przy jednoczesnym zachowaniu pełnej kontroli nad miejscem i sposobem ingerencji. Pobór każdej próbki zostanie przeprowadzony w sposób w pełni kontrolowany i udokumentowany – zarówno fotograficznie, jak i opisowo – co zapewnia pełną transparentność procesu badawczego oraz możliwość precyzyjnego śledzenia pochodzenia materiału wykorzystanego do analiz.

Badania mikrobiologiczne

Analiza mikroflory powierzchniowej – identyfikacja grzybów pleśniowych, bakterii i drożdżaków odpowiedzialnych za biodeteriorację zabytkowych materiałów budowlanych, w tym kamienia, drewna, metalu i zapraw. Badania pozwolą określić stopień skażenia mikrobiologicznego oraz mechanizmy jego oddziaływania na strukturę obiektu.

Zastosowanie wyników badań (zgodnie z EN 16096)

Zakres badań:

- **Identyfikacja organizmów zasiedlających powierzchnię** – analiza obecności i aktywności grzybów pleśniowych, bakterii oraz drożdżaków.
- **Określenie intensywności skażenia mikrobiologicznego** – ocena stopnia kolonizacji powierzchni oraz wpływu mikroorganizmów na destrukcję materiału.
- **Analiza interakcji mikroorganizmów z podłożem** – określenie mechanizmów biodegradacji, w tym aktywności enzymatycznej oraz wytwarzania substancji kwasowych prowadzących do rozkładu materiałów zabytkowych.
- **Badanie odporności mikroorganizmów na czynniki zewnętrzne** – analiza wpływu warunków atmosferycznych, poziomu wilgotności oraz nasłonecznienia na rozwój mikroflory.

- **Opracowanie rekomendacji konserwatorskich** – dobór odpowiednich metod eliminacji skażenia biologicznego oraz sposobów zabezpieczenia przed ponownym zasiedleniem mikroorganizmów.

Metody badawcze:

Metoda suchego wymazu i wysiewu na podłożach selektywnych (*nieinwazyjna*)

- Pobranie próbek mikroorganizmów za pomocą sterylnych wymazówek.
- Wysiew na podłoża mikrobiologiczne dostosowane do hodowli poszczególnych grup mikroorganizmów.
- Inkubacja próbek w warunkach kontrolowanych dla identyfikacji dominujących gatunków.

Analiza mikroskopowa (*nieinwazyjna*)

- Obserwacja struktur mikroorganizmów pod mikroskopem świetlnym i fluorescencyjnym.
- Barwienia selektywne ułatwiające identyfikację bakterii i grzybów.
- Ocena biofilmu pokrywającego powierzchnię kamienia, drewna lub metalu.

Zakres badań terenowych:

- Pobranie próbek z różnych stref obiektu, w tym obszarów szczególnie narażonych na rozwój mikroorganizmów (miejsca zacienione, wilgotne, z ograniczoną cyrkulacją powietrza).
- Ocena wzrostu mikroflory w miejscach osłoniętych oraz intensywnie eksponowanych na promieniowanie słoneczne.

- Analiza warstw mikrobiologicznych osadzonych w mikropęknięciach, spoinach oraz na powierzchniach kamiennych, drewnianych i metalowych.

Zastosowanie wyników badań:

- **Wybór metod oczyszczania powierzchni** – dobór środków biobójczych o minimalnym wpływie na strukturę materiału.
- **Ocena skuteczności metod konserwacji** – porównanie składu mikroflory przed i po zastosowaniu działań konserwatorskich.
- **Rekomendacje dotyczące warunków eksploatacji zabytku** – określenie optymalnych warunków przechowywania i ochrony przed ponowną kolonizacją mikroorganizmów.
- **Monitorowanie skuteczności zabiegów konserwatorskich** – długoterminowa obserwacja wpływu warunków środowiskowych na rozwój mikroflory.

Instytucja badawcza:

Badania prowadzone w RDLŚ UW (Regionalne Laboratorium Diagnostyki Środowiskowej Uniwersytetu Warszawskiego) z wykorzystaniem nowoczesnych metod analitycznych i diagnostycznych, umożliwiających kompleksową ocenę zagrożeń mikrobiologicznych dla zabytków.

Dzięki zastosowaniu szerokiego wachlarza metod badawczych możliwe jest precyzyjne określenie mechanizmów biodegradacji oraz opracowanie skutecznych strategii konserwatorskich minimalizujących wpływ mikroflory na obiekty zabytkowe.

Badania oryginalnych elementów metalowych

Cel badań

Badania elementów metalowych, mają na celu określenie składu chemicznego, stanu zachowania oraz identyfikację procesów korozyjnych. Uzyskane wyniki umożliwią wybór odpowiednich metod konserwacji i zabezpieczenia metalu przed dalszą degradacją.

Metody badawcze (zgodnie z EN 16095 i EN 16085)

Zakres badań

- **Identyfikacja składu chemicznego stopu** - określenie zawartości pierwiastków w oryginalnych elementach metalowych.
- **Analiza procesów korozyjnych** - badanie struktury i rodzaju produktów korozji.
- **Określenie warstw ochronnych** - identyfikacja pozostałości pierwotnych powłok zabezpieczających oraz ocena ich skuteczności.
- **Ocena ingerencji konserwatorskich** - wykrycie wcześniejszych napraw, przemalowań oraz zastosowanych powłok antykorozyjnych.
- **Badania wpływu środowiska** - analiza czynników sprzyjających degradacji metalu, takich jak wilgotność, zasolenie i oddziaływanie zanieczyszczeń atmosferycznych.

Metody badawcze

Fluorescencja rentgenowska (XRF) (nieinwazyjna)

- Analiza składu pierwiastkowego stopu bez konieczności pobierania próbki.
- Wykrywanie pierwiastków śladowych mogących świadczyć o domieszkach w metalu.

- Identyfikacja warstw ochronnych (np. pozostałości cynkowania, oksydowania, malowania).

Zakres badań terenowych

- Pobranie danych z różnych fragmentów konstrukcji metalowych (miejsca narażone na korozję, części nośne, dekoracyjne detale).
- Analiza stopnia degradacji w miejscach kontaktu metalu z innymi materiałami (np. kamieniem, drewnem).
- Dokumentacja fotograficzna oraz makroskopowa ocena stanu zachowania powierzchni metalu.

Zastosowanie wyników badań

- **Opracowanie metod konserwacji** - wybór odpowiednich technik oczyszczania i zabezpieczenia metalu przed dalszą degradacją.
- **Określenie skuteczności wcześniejszych zabiegów konserwatorskich** - analiza skutków nałożonych powłok ochronnych oraz ich wpływu na strukturę metalu.
- **Ocena konieczności interwencji konserwatorskiej** - określenie, czy dany element wymaga stabilizacji, rekonstrukcji czy wymiany
- **Dobór technologii naprawczych** - identyfikacja metod uzupełnień ubytków, lutowania lub spawania w przypadku poważnych uszkodzeń strukturalnych.
- **Opracowanie strategii długoterminowej ochrony metalu** - wskazania dotyczące zabezpieczeń powierzchni, warunków przechowywania i konserwacji prewencyjnej.

Instytucja badawcza

Badania prowadzone w MIK (Międzyuczelniany Instytut Konserwacji), z wykorzystaniem nowoczesnych technik

analitycznych pozwalających na kompleksową diagnostykę zabytkowych elementów metalowych.

Wyniki analiz posłużą do opracowania precyzyjnych metod konserwatorskich, zapewniając skuteczną ochronę metalowych detali architektonicznych przed dalszą degradacją.

Badania oryginalnych elementów kamiennych oraz zapraw

Badania geologiczne minerałów skał z wykorzystaniem preparatów płytek cienkich do analiz w spolaryzowanym świetle przechodzącym i odbitym – metoda inwazyjna wymaga pobrania próbki z materii oryginalnej.

Badania dr inż. Wojciech Bartz (UWr)

Metody badawcze (zgodnie z EN 16085 i EN 15886)

Cel badań

Badania geologiczne minerałów skał i zapraw mają na celu szczegółową analizę składu mineralnego oraz mechanizmów degradacji oryginalnych materiałów budowlanych. Ich wyniki pozwolą na określenie procesów wietrzenia, wpływu czynników środowiskowych oraz metod rekonstrukcji i konserwacji zabytkowych elementów architektonicznych.

Zakres badań

- **Identyfikacja składu mineralnego kamienia i zapraw** – analiza strukturalna minerałów i ich właściwości fizykochemicznych.
- **Ocena stopnia wietrzenia i erozji** – określenie stopnia degradacji wynikającej z procesów atmosferycznych i biologicznych.

- **Identyfikacja procesów krystalizacji soli** - analiza wpływu zasolenia na destrukcję materiału.
- **Badania porowatości i mikrostruktury** - ocena zdolności absorpcji wody oraz mechanizmów destrukcyjnych związanych z wilgotnością
- **Analiza składu zapraw murarskich** - identyfikacja pierwotnych spoiw i ewentualnych wtórnych ingerencji konserwatorskich.

Metody badawcze

Analiza petrograficzna w świetle spolaryzowanym (PPL i XPL) (inwazyjna)

- Badanie preparatów płytek cienkich pod mikroskopem polaryzacyjnym.
- Identyfikacja minerałów, tekstury i struktury skał budowlanych.
- Analiza stopnia przeobrażeń metamorficznych i procesów wietrzeniowych.

Zakres badań terenowych

- Pobranie próbek z różnych partii obiektu w celu porównania stopnia degradacji materiału.
- Dokumentacja makroskopowa uszkodzeń i zmian powierzchniowych.
- Analiza struktur kamiennych i zapraw w miejscach szczególnie narażonych na zawilgocenie i osadzanie soli.

Zastosowanie wyników badań

- **Identyfikacja pierwotnego składu materiałów** - umożliwia określenie technologii stosowanych w danym okresie historycznym.

- **Ocena wpływu warunków atmosferycznych i środowiskowych** - pozwala na wybór optymalnych metod zabezpieczenia kamienia przed dalszą degradacją.
- **Dobór odpowiednich metod konserwacji** - umożliwia selekcję materiałów do rekonstrukcji zgodnych z oryginalnym składem i właściwościami
- **Określenie przyczyn degradacji** - analiza wpływu procesów wietrzeniowych, zasolenia i oddziaływania wody na strukturę kamienia i zapraw.
- **Weryfikacja skuteczności wcześniejszych zabiegów konserwatorskich** - ocena trwałości historycznych metod naprawy i ich wpływu na obecny stan obiektu
- Instytucja badawcza

Badania prowadzone przez dr inż. Wojciecha Bartza (UWr) z wykorzystaniem nowoczesnych metod analitycznych stosowanych w geologii i petrografii konserwatorskiej.

Dzięki uzyskanym danym możliwe będzie opracowanie precyzyjnych metod konserwatorskich dostosowanych do unikalnych właściwości badanego materiału, co pozwoli na skuteczne zabezpieczenie oryginalnych elementów kamiennych i zapraw przed dalszą degradacją.

Badania soli rozpuszczalnych w wodzie w skałach porowatych - analiza jakościowa i ilościowa

Cel badań

Metody badawcze (zgodnie z EN 16085 i EN 15886)

Celem badań jest identyfikacja oraz ilościowa ocena soli rozpuszczalnych obecnych w strukturze porowatych skał budowlanych, które mogą prowadzić do degradacji materiału poprzez cykle krystalizacji i rozpuszczania. Badania te pozwolą na określenie źródeł zasolenia, mechanizmów migracji jonów oraz ich wpływu na stabilność strukturalną obiektu.

Wyniki badań będą kluczowe dla opracowania skutecznych metod konserwacji i przeciwdziałania dalszej degradacji.

Zakres badań:

- **Identyfikacja rodzajów soli rozpuszczalnych w wodzie** - wykrycie i analiza najczęściej występujących soli, takich jak chlorki, siarczany, azotany, węglany i fosforany.
- **Określenie stężenia jonów** - ilościowa analiza zawartości poszczególnych jonów w skałach porowatych.
- **Badanie mechanizmów migracji soli** - analiza zdolności soli do transportu kapilarnego oraz ich krystalizacji w warunkach zmiennych poziomów wilgotności.
- **Identyfikacja źródeł zasolenia** - ocena wpływu czynników atmosferycznych, zanieczyszczeń środowiskowych, interakcji z gruntami zasolonymi oraz wcześniejszych interwencji konserwatorskich.
- **Ocena skutków degradacji** - analiza wpływu cyklicznego krystalizowania i rozpuszczania soli na stabilność strukturalną kamienia.

Metody badawcze:

Ekstrakcja wodna i analiza jonowa (*inwazyjna*)

- Pobranie próbki materiału i ekstrakcja jonów rozpuszczalnych w wodzie.
- Oznaczenie zawartości jonów metodą chromatografii jonowej (IC) lub elektroforezy kapilarnej.
- Określenie profilu zasolenia w poszczególnych warstwach skały.\n

Spektrofotometria UV-Vis (*inwazyjna*)

- Oznaczenie jonów azotanowych i siarczanowych na podstawie charakterystycznych pasm absorpcji.
- Analiza stężenia jonów w próbce rozpuszczonej w wodzie.

Metoda Titrmetryczna (miareczkowa) (inwazyjna)

- Analiza zawartości chlorków metodą miareczkowania azotanem srebra.
- Oznaczanie zawartości wapnia i magnezu metodą kompleksometryczną.

Zakres badań terenowych

- Pobranie próbek skał z różnych stref obiektu (powierzchnia, warstwy głębsze, obszary zawilgocone).
- Ocena wizualna i dokumentacja fotograficzna wykwitów solnych oraz objawów destrukcji.
 - Określenie tendencji migracji soli w różnych warunkach środowiskowych.

Zastosowanie wyników badań

- **Identyfikacja rodzaju i pochodzenia zasolenia** – pozwala na podjęcie odpowiednich działań ograniczających migrację soli.
- **Ocena wpływu zasolenia na strukturę skały** – analiza destrukcyjnych skutków krystalizacji soli.
- **Dobór metod konserwacji i odsalania** – selekcja skutecznych metod usuwania soli z kamienia (np. kompresy, wymiana zasolonych fragmentów, impregnacja ochronna).
- **Ocena wpływu wcześniejszych działań konserwatorskich** – analiza skuteczności poprzednich interwencji oraz ich wpływu na poziom zasolenia obiektu.

- **Opracowanie zaleceń dotyczących warunków ekspozycji zabytku** – określenie optymalnych parametrów środowiskowych minimalizujących ryzyko wtórnej krystalizacji soli.

Instytucja badawcza

Badania prowadzone przez MIK (Międzyuczelniany Instytut Konserwacji), przy wykorzystaniu zaawansowanych metod analizy składu soli w skałach porowatych.

Dzięki uzyskanym wynikom możliwe będzie opracowanie skutecznych strategii ochrony i konserwacji zabytkowych elementów kamiennych narażonych na zasolenie i jego destrukcyjny wpływ.

Badania powłok malarskich

Analiza spoiw metodą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fourriera (FT-IR) – metoda inwazyjna wymaga pobrania próbki z materii oryginalnej.

Badania dr inż. Joanna Kurkowska

Analiza pigmentów metodą spektroskopii ramanowskiej – metoda inwazyjna wymaga pobrania próbki z materii oryginalnej.

Badania mgr Aleksandra Wesołowska

Badania układu warstwowego za pomocą szlifów stratygraficznych – metoda inwazyjna wymaga pobrania próbki z materii oryginalnej.

MIK Badania mgr Aleksandra Wesołowska

Metody badawcze (zgodnie z EN 15898 i EN 16085)

Cel badań

Badania powłok malarskich mają na celu określenie składu spoiw, identyfikację pigmentów oraz analizę układu warstwowego malatur historycznych. Pozwola na określenie techniki wykonania, wykrycie ewentualnych przemalowań oraz ocenę stanu zachowania warstw malarskich, co jest kluczowe dla opracowania odpowiednich metod konserwatorskich.

Analiza spoiw metodą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT-IR) (inwazyjna)

Badania prowadzi: dr inż. Joanna Kurkowska

Zakres badań:

- **Identyfikacja rodzajów spoiw malarskich** - analiza białek, żywic, olejów, wosków oraz substancji organicznych użytych w historycznych powłokach malarskich.
- **Określenie procesów starzeniowych spoiw** - badanie zmian chemicznych zachodzących w strukturze powłok w wyniku oddziaływania warunków atmosferycznych.
- **Analiza interakcji warstw malarskich z podłożem** - określenie stopnia penetracji spoiwa w strukturę podłoża (np. drewna, płótna, tynku).
- **Wykrycie środków konserwujących i wtórnych ingerencji** - identyfikacja substancji aplikowanych w ramach wcześniejszych prac konserwatorskich.

Metody badawcze:

- **FT-IR (spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera)** - analiza widm absorpcji podczerwieni pozwalająca na identyfikację związków organicznych

- **Mikroskopia FT-IR** - analiza powierzchniowa dla oceny stopnia degradacji spoiw.
- **Chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas (GC-MS)** (*opcjonalnie*) - szczegółowe badanie składników organicznych spoiw

Analiza pigmentów metodą spektroskopii ramanowskiej (*inwazyjna*)

Badania prowadzi: mgr Aleksandra Wesołowska

Zakres badań:

- **Identyfikacja składu pigmentów** - określenie składu chemicznego i mineralnego pigmentów użytych w warstwach malarskich.
- **Określenie pochodzenia barwników** - analiza stosowanych substancji organicznych i nieorganicznych.
- **Detekcja przemalowań i warstw wtórnych** - wykrycie zmian w palecie barwnej na przestrzeni lat.
- **Określenie metod produkcji pigmentów** - identyfikacja technologii wytwarzania farb historycznych.

Metody badawcze:

- **Spektroskopia ramanowska** - analiza widm ramanowskich dla identyfikacji pigmentów mineralnych i organicznych.
- **Mikroskopia SEM-EDS** (*opcjonalnie*) - analiza składu chemicznego drobin pigmentu.
- **Dyfrakcja rentgenowska (XRD)** (*opcjonalnie*) - określenie struktury krystalicznej pigmentów.

Badania układu warstwowego za pomocą szlifów stratygraficznych (*inwazyjna*)

Badania prowadzi: mgr Aleksandra Wesołowska (MIK)

Zakres badań:

- **Analiza sekwencji warstw malarskich** - określenie pierwotnego układu warstw oraz ewentualnych przemalowań.
- **Badanie relacji między warstwami** - ocena spójności warstw spoiwa i pigmentów.
- **Identyfikacja metod aplikacji farby** - analiza techniki nakładania poszczególnych warstw malarskich.
- **Ocena grubości i struktury powłok** - określenie miąższości poszczególnych warstw farby i ich wpływu na optykę malatury.

Metody badawcze:

- **Analiza mikroskopowa szlifów stratygraficznych** - obserwacja przekrojów próbek w świetle przechodzącym i odbitym.
- **Fluorescencja UV** - wykrywanie warstw lakieru, werniksów oraz przemalowań.
- **Mikroskopia konfokalna (*opcjonalnie*)** - szczegółowe badania struktury warstw malarskich.

Zakres badań terenowych

- Pobranie próbek z różnych obszarów obiektu (miejsca o różnym stopniu narażenia na czynniki atmosferyczne).
- Dokumentacja fotograficzna i mikroskopowa przed pobraniem próbek.

- Ocena warstw powierzchniowych pod kątem obecności zabrudzeń, osadów i produktów degradacji.

Zastosowanie wyników badań

- **Identyfikacja techniki malarskiej** - określenie oryginalnych metod wykonania powłoki malarskiej.
- **Określenie składu chemicznego materiałów** - umożliwia dobór odpowiednich metod konserwacji i rekonstrukcji.
- **Detekcja wcześniejszych interwencji konserwatorskich** - analiza zmian w składzie pigmentów i spoiw.
- **Opracowanie strategii konserwatorskiej** - dobór metod oczyszczania i zabezpieczania powłok malarskich.

Instytucje badawcze

- **FT-IR (spektroskopia spoiw)**: dr inż. Joanna Kurkowska
- **Spektroskopia ramanowska (pigmenty)**: mgr Aleksandra Wesołowska
- **Badania stratygraficzne**: mgr Aleksandra Wesołowska (MIK)

Dzięki zastosowaniu zaawansowanych metod analitycznych możliwe będzie precyzyjne określenie składu i struktury warstw malarskich, co pozwoli na opracowanie skutecznych metod konserwatorskich i ochronnych dla historycznych malatur.

Badania spoiw wtórnych (żywice, kleje, werniksy)

Analiza spoiw metodą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fourriera (FT-IR) - metoda inwazyjna wymaga pobrania próbki z materii oryginalnej.

Badania spoiw wtórnych (żywice, kleje, werniksy)

Cel badań

Badania spoiw wtórnych mają na celu identyfikację składu chemicznego żywic, klejów i werniksów użytych w dotychczasowych interwencjach konserwatorskich. Analiza pozwoli na ocenę ich stabilności, zgodności z oryginalnym materiałem oraz wpływu na strukturę obiektu. Wyniki badań będą kluczowe dla opracowania metod usuwania, wzmocnienia lub rekonstrukcji spoiw wtórnych, a także dla doboru odpowiednich substancji konserwujących w przyszłych działaniach.

Zakres badań:

- **Identyfikacja składu chemicznego spoiw wtórnych** - analiza naturalnych i syntetycznych żywic, klejów oraz werniksów stosowanych w poprzednich konserwacjach.
- **Ocena stopnia degradacji spoiw** - określenie zmian strukturalnych zachodzących w spoiwach na skutek starzenia, ekspozycji na światło UV, wilgotność i zanieczyszczenia środowiskowe.
- **Detekcja środków aplikowanych wtórnie** - wykrycie substancji hydrofobowych, polimerów syntetycznych oraz impregnatów stosowanych do zabezpieczenia powierzchni.
- **Badanie interakcji spoiw z podłożem** - określenie sposobu penetracji spoiwa w strukturę kamienia, drewna lub metalu oraz jego wpływu na integralność oryginalnego materiału.
- **Ocena skuteczności wcześniejszych działań konserwatorskich** - porównanie właściwości spoiw

pierwotnych i wtórnych pod kątem kompatybilności oraz trwałości.

Metody badawcze:

Spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT-IR) (inwazyjna)

- Identyfikacja substancji organicznych i nieorganicznych obecnych w żywicach, klejach i werniksach.
- Analiza widm absorpcji w podczerwieni w celu określenia składu chemicznego spoiw.
- Detekcja procesów starzeniowych na podstawie zmian w widmach FT-IR.

Mikroskopia FT-IR (inwazyjna)

- Analiza rozkładu substancji w mikroskopowej skali.
- Badanie powierzchni spoiw w kontekście interakcji z oryginalnym podłożem.

Zakres badań terenowych

- Pobranie próbek z różnych obszarów obiektu (miejsca o różnym stopniu ekspozycji na warunki atmosferyczne i środowiskowe).
- Ocena wizualna powierzchni spoiw wtórnych oraz ich relacji z podłożem.
- Dokumentacja fotograficzna przed pobraniem próbek.

Zastosowanie wyników badań

- **Identyfikacja substancji stosowanych w dotychczasowych konserwacjach** - umożliwia ocenę skuteczności wcześniejszych zabiegów.
- **Dobór metod usuwania lub stabilizacji spoiw wtórnych** - pozwala na opracowanie optymalnych technik konserwatorskich.
- **Weryfikacja zgodności zastosowanych materiałów konserwatorskich z oryginalnym podłożem** - kluczowe dla zapewnienia trwałości interwencji.
- **Opracowanie strategii konserwatorskiej** - pozwala na selekcję odpowiednich środków do przyszłych prac zabezpieczających.

Instytucja badawcza

Badania prowadzone przez **dr inż. Joannę Kurkowską (MIK)** z wykorzystaniem zaawansowanych technik analitycznych.

Dzięki szczegółowej analizie spoiw wtórnych możliwe będzie opracowanie precyzyjnych metod konserwatorskich, uwzględniających kompatybilność historycznych i współczesnych materiałów zabezpieczających.

Badania geologiczne minerałów skał

Metody badawcze (zgodnie z EN 16085)

Cel badań

Badania geologiczne minerałów skał mają na celu określenie składu mineralnego, struktury oraz procesów degradacyjnych, jakie zachodzą w kamieniu w wyniku oddziaływania czynników atmosferycznych i antropogenicznych. Pozwolą na ocenę stopnia

zniszczenia, identyfikację wtórnych nawarstwień oraz ustalenie pierwotnej technologii obróbki kamienia. Wyniki będą kluczowe dla opracowania odpowiednich metod konserwatorskich i rekonstrukcyjnych.

Zakres badań:

- **Identyfikacja składu mineralnego skały** - określenie proporcji minerałów budujących kamień oraz ich cech petrograficznych.
- **Analiza tekstury i struktury skały** - badanie mikrostruktury materiału w celu określenia jego pierwotnej technologii obróbki oraz późniejszych przekształceń.
- **Ocena procesów wietrzeniowych** - identyfikacja stopnia i rodzaju degradacji wynikającej z działania wilgoci, soli, mikroorganizmów i zanieczyszczeń atmosferycznych.
- **Badanie porowatości i absorpcji wody** - określenie właściwości higroskopijnych kamienia oraz podatności na migrację soli rozpuszczalnych.
- **Analiza wtórnych produktów mineralnych** - wykrycie nowych faz mineralnych powstałych w wyniku reakcji chemicznych zachodzących w kamieniu w trakcie użytkowania.

Metody badawcze:

Próbki skał budujących nagrobki zostaną pobrane wyłącznie w ściśle wyselekcjonowanych miejscach, z zachowaniem najwyższej ostrożności i poszanowania dla integralności oraz estetyki obiektów.

W żadnym przypadku nie będą pobierane próbki z powierzchni eksponowanych i widocznych dla obserwatora w typowym odbiorze obiektu. Wszystkie miejsca poboru zostaną dobrane tak, aby zminimalizować jakiegokolwiek potencjalne zmiany w odbiorze wizualnym nagrobków – planuje się wykonywanie mikropoborów w obrębie istniejących przełamów, szczelin strukturalnych bądź ubytków, których charakter wyklucza negatywny wpływ na wygląd całości. W sytuacjach wymagających szerszego dostępu, próbki zostaną pobrane wyłącznie z powierzchni ukrytych, dostępnych jedynie po demontażu detali, takich jak płyty przykrywające, cokoły itp. Każdorazowo pobór materiału będzie ograniczony do absolutnego minimum, wystarczającego jedynie do przeprowadzenia niezbędnych analiz identyfikacyjnych, zgodnie z zasadami określonymi w normie EN 16085 dotycząca metodologii pobierania próbek z materiałów dziedzictwa kulturowego.

W przypadku braku zgody na inwazyjne pobranie próbek kamienia, proponuje się przeprowadzenie oceny makroskopowej przez specjalistę petrografa, co pozwoli na uzyskanie podstawowych informacji o materiale bez konieczności wykonywania głębszych analiz.

Analiza petrograficzna w świetle spolaryzowanym (PPL i XPL) (inwazyjna)

- Badanie preparatów płytek cienkich pod mikroskopem polaryzacyjnym.
- Identyfikacja minerałów, tekstury i struktury skał budowlanych.
- Analiza stopnia przeobrażeń metamorficznych i procesów wietrzeniowych.

Zakres badań terenowych

- Pobranie próbek z różnych obszarów obiektu (miejsca narażone na oddziaływanie wilgoci, promieniowania słonecznego, zanieczyszczeń atmosferycznych).
- Dokumentacja fotograficzna i makroskopowa struktur kamiennych przed pobraniem próbek
- Ocena widocznych objawów wietrzenia, mikrospektań oraz nalotów wtórnych.

Zastosowanie wyników badań

- **Identyfikacja pierwotnego składu skały** - umożliwia wybór odpowiednich materiałów do rekonstrukcji i konserwacji.
- **Określenie stopnia degradacji materiału** - pozwala na zaplanowanie działań zabezpieczających i naprawczych.
- **Dobór metod konserwacji i wzmocnienia skały** - analiza wyników badań pozwala na selekcję najlepszych metod stabilizacji strukturalnej.
- **Detekcja obecności soli i innych agresywnych substancji** - pozwala na eliminację czynników przyspieszających degradację.
- **Opracowanie zaleceń konserwatorskich** - dobór odpowiednich środków ochronnych, hydrofobowych oraz metod czyszczenia i wzmocnienia struktury skały

Instytucja badawcza

Badania prowadzone przez **dr inż. Wojciecha Bartzę (UWr)** przy użyciu zaawansowanych technik petrograficznych i geochemicznych. Dzięki uzyskanym wynikom możliwe będzie opracowanie skutecznych metod konserwacji, rekonstrukcji oraz zabezpieczenia historycznych elementów kamiennych przed dalszą degradacją.

Skanowanie 3D

Skanowanie 3D obiektu zabytkowego zostanie wykonane w celu sporządzenia szczegółowej dokumentacji przestrzennej służącej analizie stanu zachowania, planowaniu prac konserwatorskich oraz archiwizacji. Prace obejmą wykonanie skanu przy użyciu fotogrametrii cyfrowej lub skanera strukturalnego, z zachowaniem wysokiej dokładności (do $\pm 0,5$ mm) i pełnego pokrycia powierzchni. Model 3D zostanie opracowany w formacie OBJ i STL, z teksturą w rozdzielczości min. 8192×8192 px oraz z raportem technicznym opisującym metodykę, parametry i przebieg prac. Dane zostaną zarchiwizowane w dwóch kopiach i opatrzone kompletem metadanych.

1. Grób Józefa Zawadzkiego (Juozapo Zavadskio kapas, 1781-1838, unikalus kodas 30404)







Charakterystyka obiektu:

Pomnik ma formę prostopadłościenną kolumny osadzonej na masywnej, dwustopniowej podstawie o rzucie kwadratu. Jego

baza, ukształtowana w formie dwóch stopni, zwieńczona jest profilowanym gzymsem. Trzon, wykonany z czerwonego granitu, zdobią pionowe inskrypcje, a na jego tylnej ścianie, w dolnej partii, umieszczono kartusz herbowy.

Zwieńczenie pomnika składa się z czterech gładkich naczółków, pomiędzy którymi rozciągają się łagodnie opadające spadki. W narożach znajdują się proste akroteriony, dodające całości monumentalnego charakteru. Centralne części frontowego i tylnego naczółka zdobią płaskorzeźby – na froncie umieszczono krzyż, a z tyłu pochodnię.

Konstrukcja została zbudowana z precyzyjnie spasowanych bloków kamiennych, połączonych najprawdopodobniej stalowymi kotwami i klamrami. Do jej wykonania użyto trzech rodzajów kamienia. Podstawę tworzą granitowe bloki o groszkowanej powierzchni – dolny element składa się z czterech bloków, a górny z dwóch.

Baza, kształtowana schodkowo, wykonana jest z nieporowatego kamienia o zbitej strukturze i widocznych warstwach sedimentacyjnych w odcieniach szarości. Nakrywa, wieńcząca całość, została wyrzeźbiona z drobnokrystalicznego marmuru. Na jej powierzchni znajdują się subtelne płaskorzeźby – krzyż na froncie oraz pochodnia na tylnej ścianie, podkreślające symbolikę i dostojny charakter obiektu.

- Materiał: granitowa podstawa, marmurowe zwieńczenie, inskrypcje na czerwonym granicie.
- Stan zachowania: silne zanieczyszczenia atmosferyczne, biokorozja, spękania i uszkodzenia mechaniczne, osiadanie gruntu wpływające na statykę pomnika.
- Ewentualne interwencje: wtórne spoinowanie, stalowe kotwy osadzone w ołowiu, powłoka barwna liter imitująca złoto, deformacje podstawy.

Zakres badań:

1. Badania mikrobiologiczne (*nieinwazyjne*)

- Identyfikacja mikroorganizmów niszczących kamień.

2. Badania strukturalne kamienia (*inwazyjne*)

- Badania geologiczne minerałów skał z wykorzystaniem preparatów płytek cienkich do analiz w spolaryzowanym świetle przechodzącym i odbitym
- Identyfikacja składu zapraw.

3. Badania elementów metalowych (*nieinwazyjne i inwazyjne*)

- Spektroskopia XRF dla identyfikacji składu metalu.
- SEM-EDS dla identyfikacji korozji.

4. Badania warstw pozłotniczych zachowanych w inskrypcji, analiza spoiw (*inwazyjne*)

- Analiza FT-IR i chromatografia GC-MS.
- Badania układu warstwowego za pomocą szlifów stratygraficznych - metoda inwazyjna wymaga pobrania próbki z materii oryginalnej.

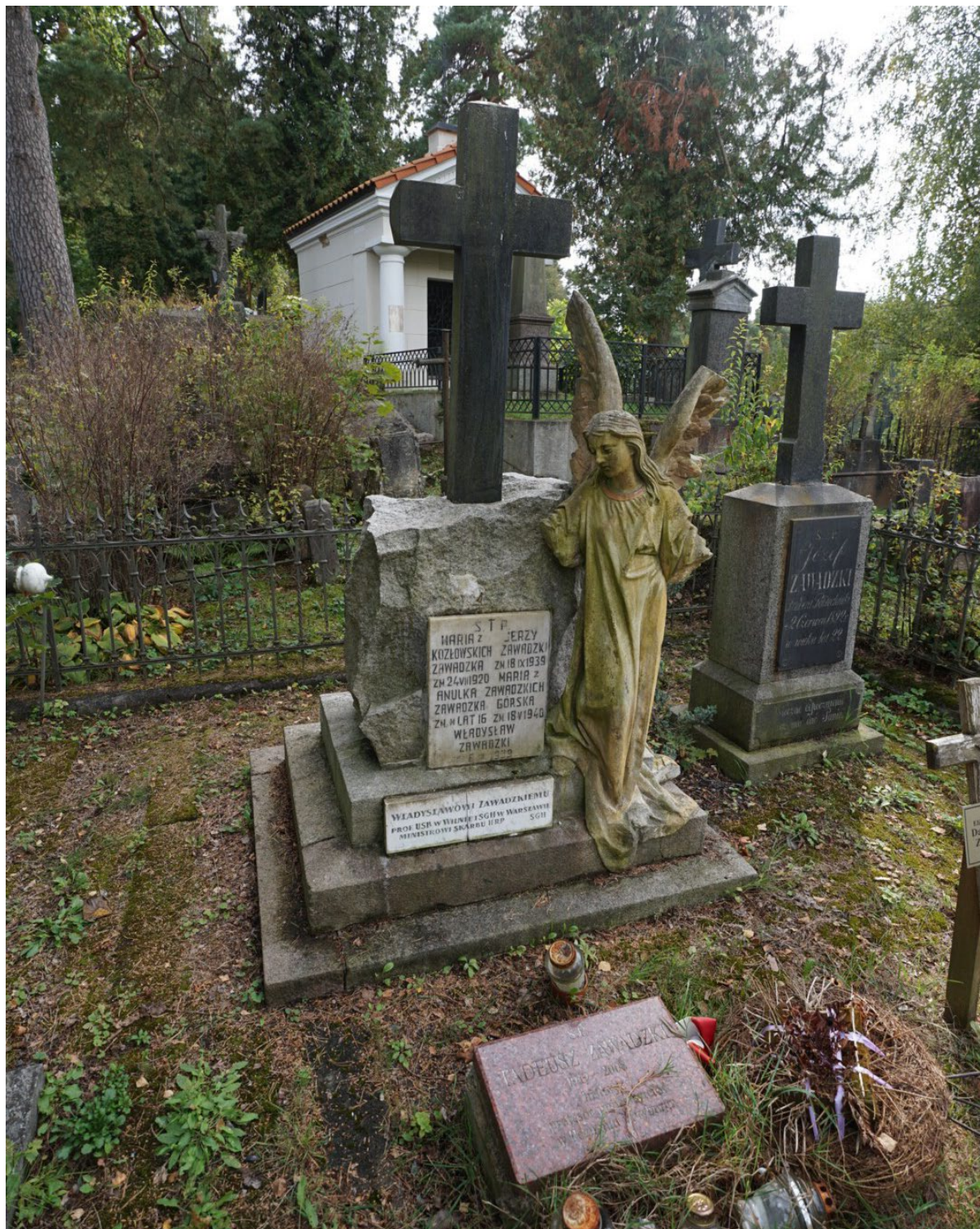
5. Dokumentacja fotogrametryczna (*nieinwazyjna*)

- Model 3D obiektu, analiza deformacji i ubytków.

6. Analiza stabilności strukturalnej

Analiza statyczna stabilności nagrobka.

2. Grób Władysława Zawadzkiego (Vladislovo Zavadskio kapas, 1885-1939, unikalus kodas 30407)









Charakterystyka obiektu:

Pomnik ma układ wertykalny i został skomponowany jako stopniowo wznosząca się struktura, złożona z zestawionych bloków kamiennych, połączonych najprawdopodobniej za pomocą stalowych klamer i kotew, oraz dołączonej rzeźby anioła. Do jego budowy wykorzystano trzy rodzaje kamienia.

Podstawę tworzy schodkowa konstrukcja, wykonana z granitowych bloków o groszkowanej powierzchni. Dolny i środkowy segment trzystopniowej podstawy składają się z czterech podłużnych bloków, natomiast górny – z dwóch. Na najwyższym poziomie umieszczono asymetrycznie podłużną płytę inskrypcyjną z białego, drobnokrystalicznego marmuru, z wykutymi literami pokrytymi ciemną powłoką barwną.

Centralnym elementem pomnika jest trzon w postaci łupanego prostopadłościanu, symetrycznie ustawionego na podstawie. Do jego powierzchni przymocowano drugą płytę inskrypcyjną, również wykonaną z białego, drobnokrystalicznego marmuru i ozdobioną inskrypcją. Zwieńczeniem monumentu jest masywny krzyż z czarnego, polerowanego granitu, o wyraźnie sfazowanych krawędziach zarówno na ramionach, jak i na szczycie.

Po prawej stronie pomnika, na jednym ze stopni podstawy, ustawiono rzeźbę anioła wykonaną z wapienia. Przedstawiony w dynamicznej pozie, z rozpostartymi ramionami i uniesionymi skrzydłami, nadaje kompozycji podniosły charakter. Rzeźba została zakotwiona do pomnika za pomocą stalowych mocowań, co zapewnia jej stabilność i trwałość w konstrukcji monumentu.

- Materiał: granit, marmurowe płyty inskrypcyjne, rzeźba anioła z wapienia.
- Stan zachowania: zabrudzenia mikrobiologiczne, uszkodzenia mechaniczne rzeźby, osiadanie gruntu, liczne pęknięcia i spoiny wtórne.

- Ewentualne interwencje: naprawy skrzydeł rzeźby, spoinowanie cementowe, rekonstrukcja fragmentów rzeźby.

Zakres badań:

Badania mikrobiologiczne (*nieinwazyjne*)

- Identyfikacja mikroorganizmów niszczących kamień.

Badania soli rozpuszczalnych w wodzie

- analiza jakościowa i ilościowa w skałach porowatych

Próbki do analizy jakościowej i ilościowej soli rozpuszczalnych w wodzie obecnych w porowatych skałach budujących nagrobki zostaną pobrane w sposób ściśle przemyślany, zgodnie z obowiązującymi normami konserwatorskimi, w szczególności z normą EN 16085, określającą ogólne zasady pobierania próbek z materiałów dziedzictwa kulturowego. Wszystkie miejsca poboru zostaną dobrane indywidualnie dla każdego obiektu, z uwzględnieniem istniejących stref zawilgocenia oraz widocznych oznak krystalizacji soli. Próbki będą pobierane wyłącznie z powierzchni nieekspozowanych, znajdujących się w miejscach ukrytych lub trudno dostępnych, których ingerencja nie wpłynie na estetyczny odbiór obiektu. W pierwszej kolejności wykorzystane zostaną istniejące ubytki, przełomy, spękania lub strefy zniszczeń wtórnych. W przypadku konieczności głębszej analizy warstw strukturalnych, materiał zostanie pobrany z obszarów możliwych do zamaskowania bądź pochodzących z elementów konstrukcyjnych niewidocznych po ponownym montażu. Każdy etap pobierania zostanie skrupulatnie udokumentowany fotograficznie i opisowo, co zapewni transparentność badań i precyzyjne przypisanie wyników do konkretnego miejsca w strukturze obiektu.

Badania strukturalne kamienia (*inwazyjne*)

- Badania geologiczne minerałów skał z wykorzystaniem preparatów płytek cienkich do analiz w spolaryzowanym świetle przechodzącym i odbitym
- Identyfikacja składu zapraw.

Badania metalowych kotew (*nieinwazyjne i inwazyjne*)

- Identyfikacja stopu metalu.
- Analiza SEM-EDS dla identyfikacji korozji.

Badania warstw malarskich i zabezpieczeń (*inwazyjne*)

- Analiza FT-IR i chromatografia GC-MS.
- Badania układu warstwowego za pomocą szlifów stratygraficznych

Dokumentacja fotogrametryczna (*nieinwazyjna*)

- Skanowanie 3D w celu wykrycia pęknięć i odkształceń.

Analiza stabilności strukturalnej (*nieinwazyjna i inwazyjna*)

- Ocena stabilności rzeźby.

3. Grób Feliksa Zawadzkiego (Felikso Zavadskio kapas, 1824-1891, unikalus kodas 30406)







Charakterystyka obiektu:

Podstawę stanowi płaska, groszkowana płyta, na której osadzono bazę z wykuta inskrypcją. Powyżej umieszczono główną tablicę inskrypcyjną, wyróżniającą się kontrastowym wykończeniem – litery zostały wydobyte poprzez groszkowanie tła, co podkreśla ich czytelność. Nad nimi umieszczono dekoracyjny motyw w postaci dwóch ozdobnych śrub.

Kolejny element pomnika zawiera specjalne gniazdo z dwoma otworami mocującymi, w którym pierwotnie znajdowała się fotografia. Choć nie zachowała się do dziś, jej pierwotne miejsce otacza subtelne zdobienie w formie motywu roślinnego splecionego z lirą. Nad tym reliefem wykuto sześcioramienną gwiazdę.

Zwieńczeniem pomnika jest masywny krzyż o rozszerzonej u podstawy formie. Jego krawędzie sfazowano i wykończono metodą groszkowania, co kontrastuje z polerowaną powierzchnią pozostałych elementów. W centrum krzyża dodatkowo wygroszkowano jego uproszczoną formę. Brakująca, niezachowana

podstawa krzyża wskazuje na pierwotnie bardziej rozbudowaną kompozycję.

Zastosowanie kontrastowych technik obróbki kamienia – groszkowania i polerowania – nadaje nagrobkowi wyrazisty charakter. Subtelne detale ornamentalne oraz starannie opracowane inskrypcje podkreślają symbolikę pomnika, nadając mu dostojny i ponadczasowy wygląd.

- Materiał: skała magmowa o dominujących kryształach czarnych, rzeźbione detale ozdobne.
- Stan zachowania: silna erozja powierzchniowa, wykruszenia, ubytki detali rzeźbiarskich, pęknięcia.
- Ewentualne interwencje: cementowe uzupełnienia, brak dokumentacji konserwatorskiej.

Zakres badań:

Analiza strukturalna kamienia (*inwazyjna*)

- Identyfikacja składu mineralnego.

Badania mikrobiologiczne (*nieinwazyjne*)

- Analiza obecności grzybów, mchów i porostów.

Dokumentacja rzeźb (*nieinwazyjna*)

- Skany 3D dla rekonstrukcji brakujących fragmentów.

Analiza stabilności strukturalnej

Analiza statyczna stabilności nagrobka.

**4. Grób Wincenty Zawadzkiej i Adama Zawadzkiego (Vincentino
ir Adomo Zavadskio kapas, unikalus kodas 30405)**



Charakterystyka obiektu:

Pomnik ma formę podłużnego kopca kamiennego, na którym wspierają się dwie masywne płyty inskrypcyjne, stabilizowane u podstawy płaskimi blokami granitowymi. Całość tworzy dynamiczną i monumentalną kompozycję, podkreślającą symboliczny charakter nagrobka.

Kopiec został wymurowany z kamieni polnych, spojonych zaprawą cementową, co nadaje mu surową, naturalistyczną fakturę. W kontraście do niego dwie zachowane płyty inskrypcyjne, wykonane z polerowanego granitu, odznaczają się precyzyjną obróbką i gładką powierzchnią.

Lewa płyta wyróżnia się bogatszą ornamentyką - na jej powierzchni, poprzez groszkowanie tła, wyodrębniono pochyłony krzyż, inskrypcję oraz stylizowaną imitację podłużnej tablicy inskrypcyjnej z wykutym napisem. Środkowa płyta ma bardziej uproszczoną, lecz równie wyrazistą formę - zdobi ją wykuty krzyż oraz inskrypcja.

Po prawej stronie nagrobka widoczne jest miejsce, w którym pierwotnie znajdowała się trzecia płyta, obecnie niezachowana. U podstawy pomnika ułożono trzy płaskie bloki z groszkowanego granitu, które wzmacniają całą konstrukcję i nadają jej stabilność.

Zróznicowanie technik obróbki kamienia - polerowania, groszkowania oraz wykorzystania surowych kamieni polnych - podkreśla kontrast pomiędzy surową, naturalną formą a precyzyjnie wykonanymi detalami. Nagrobek łączy w sobie monumentalność i prostotę, a jego układ oraz symbolika krzyży świadczą o jego sakralnym charakterze. Ślady po niezachowanych elementach wskazują na długą historię pomnika oraz procesy naturalnej erozji, które wpłynęły na jego obecny wygląd.

- Materiał: skała magmowa, zaprawy murarskie
- Stan zachowania: erozja materiałów mineralnych, liczne nawarstwienia zauważalna ubytki mechaniczne.

Zakres badań:

1. Analiza składu kamienia i cementowych napraw (inwazyjna)

- Identyfikacja składu mineralnego i procesów wietrzenia.
- Analiza XRD i FT-IR do badania składu cementowych wypełnień.

Badania mikrobiologiczne (nieinwazyjne)

- Analiza mikroflory powierzchniowej.

Dokumentacja konserwatorska *(nieinwazyjna)*

- Fotogrametria 3D i modelowanie ubytków.

Analiza stabilności strukturalnej

- Analiza statyczna stabilności nagrobka.