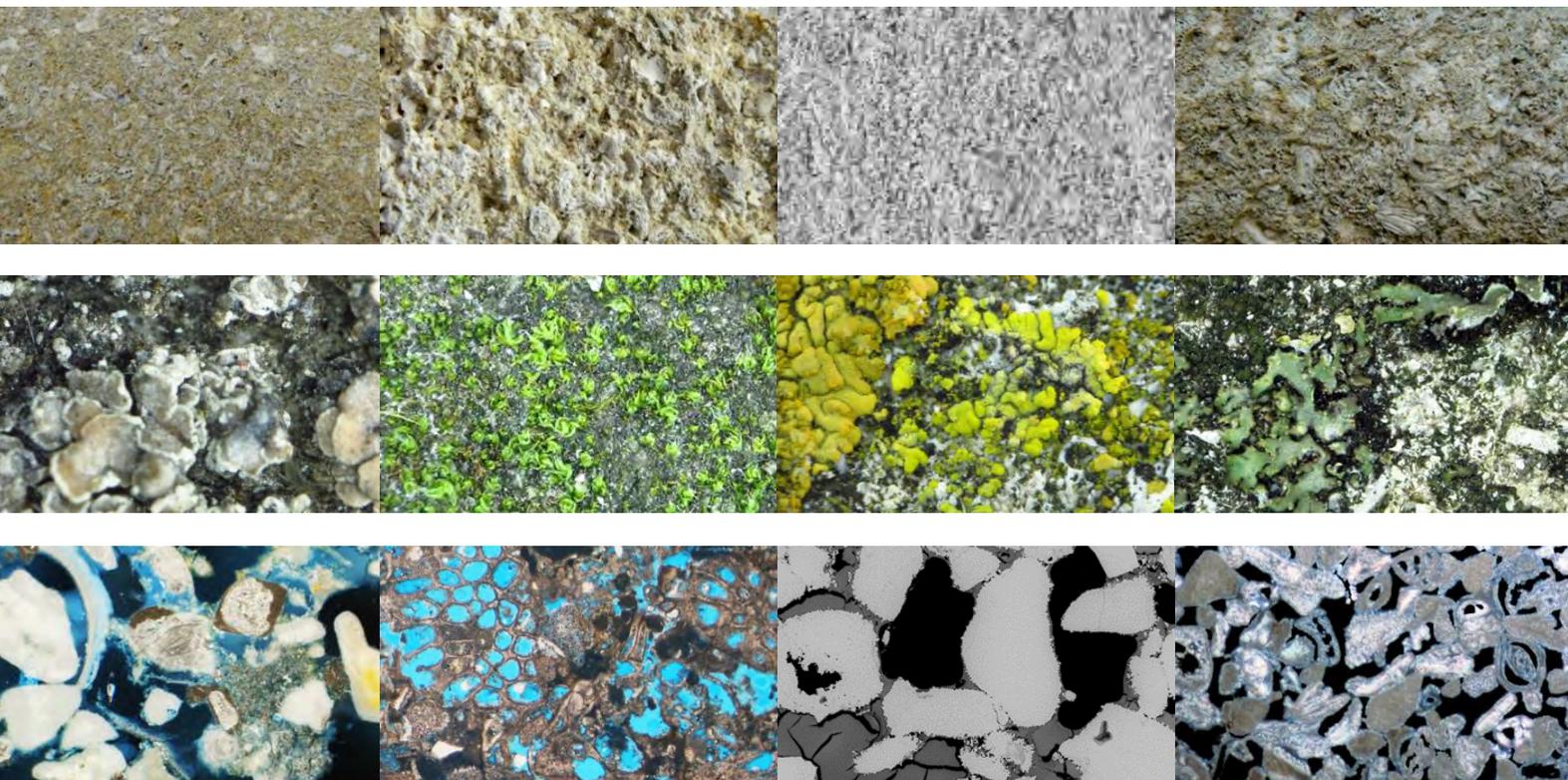


NANOLITH

KONZERVACE LITAVSKÝCH VÁPENCŮ S VYUŽITÍM
PROSTŘEDKŮ NA BÁZI NANOČÁSTIC HYDROXIDU
VÁPENATÉHO

KONSERVIERUNG VON LEITHAKALKEN AUF BASIS VON
CALCIUMHYDROXID-NANOPARTIKELN

Zuzana Slížková | Karol Bayer | Johannes Weber | Editoři / Herausgeber



Výsledky studií použití vápenných nanomateriálů pro konzervaci
historických sochařských a architektonických děl z litavských vápenců
v České republice a v Rakousku



EUROPEAN UNION
European Regional
Development Fund



EUROPEAN TERRITORIAL CO-OPERATION
AUSTRIA - CZECH REPUBLIC 2007-2013
Gemeinsam mehr erreichen. Společně dosáhneme více.

KONZERVACE LITAVSKÝCH VÁPENCŮ S VYUŽITÍM PROSTŘEDKŮ NA BÁZI NANOČÁSTIC HYDROXIDU VÁPENATÉHO

Výsledky studií použití vápenných nanomateriálů pro konzervaci historických sochařských a architektonických děl z litavských vápenců v České republice a v Rakousku

KONSERVIERUNG VON LEITHAKALKEN AUF BASIS VON CALCIUMHYDROXID-NANOPARTIKELN

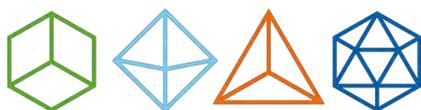
Untersuchungsergebnisse zur Anwendung von Kalk-Nanomaterialien für die Konservierung von historischen Skulptur- und Architekturobjekten aus Leithakalk in der Tschechischen Republik und Österreich

Zuzana Slížková, Karol Bayer, Johannes Weber

Editoři / Herausgeber



© Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v. v. i.



Centrum excellence Telč

Vydáno v roce 2016 / Herausgegeben im 2016



Stěna lomu St. Margarethen v obci Sankt Margarethen im Burgenland, Rakousko

Die Wand des Steinbruchs St. Margarethen im Dorf Sankt Margarethen im Burgenland, Österreich

KONZERVACE LITAVSKÝCH VÁPENCŮ S VYUŽITÍM PROSTŘEDKŮ NA BÁZI NANOČÁSTIC HYDROXIDU VÁPENATÉHO

KONSERVIERUNG VON LEITHAKALKEN AUF BASIS VON CALCIUMHYDROXID-NANOPARTIKELN

Editoři / Herausgeber:

© Zuzana Slížková, Karol Bayer, Johannes Weber

Autoři textů, fotografií, nákresů / Autoren der Texte, Bilder und Grafiken:

© Dana Macounová, Karol Bayer, Zuzana Slížková, Johannes Weber, Michaela Navrátilová, Elisabeth Ghaffari, Daniel Hvězda

Spolupráce / Kooperation:

Miloš Drdácký, Roman Fabeš, Hana Hasníková, Petra Hauková, Petra Janská, Ivona Kocianová, Olga Kovářiková, Kateřina Kreislová, Jan Krejčí, Dita Machová, Dušan Majtás, Marija Milchin, Petr Rejman, Severin Mayr, Petr Šašek, Šárka Voláková

Překlady, jazykové korektury / Übersetzung, Deutschkorrekturen:

Tereza Cikrytová, Petra Janská, Karol Bayer, Helga Grimmová, Johannes Weber

Grafická úprava / Typographie:

Dana Macounová, Petra Hauková, Daniel Hvězda

Vědecký recenzent / Wissenschaftlicher Rezensent:

© Ing. Petr Justa

Vydavatel / Verleger:

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v. v. i., Praha
Prosecká 809/76
190 00 Praha 9

Tisk / Druck:

Copy General

Senovážné nám. 26

110 00 Praha 1

Za obsah zodpovídá / Verantwortlich für den Inhalt:

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR v. v. i., Centrum excellence Telč, Česká Republika; Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Česká Republika; Univerzita užitého umění ve Vídni, Institut pro umění a technologie, Rakousko.

Institut für theoretische und angewandte Mechanik AS CR V. I., Exzellenzzentrum Telč, Tschechische Republik, Universität Pardubice, Fakultät für Restaurierung, Tschechische Republik; Universität für angewandte Kunst in Wien, Institut für Kunst und Technologie, Österreich.

ISBN 978-80-86246-79-6

DOI 10.21495/79-6



OBSAH

ÚVOD.....	8
Projekt Nanolith – přeshraniční rakousko-česká spolupráce.....	8
HORNINY FORMACE LITAVSKÝCH VÁPENCŮ V DOLNÍM RAKOUSKU A BURGENLAND.....	10
Úvod.....	10
Rozdělení a litologie litavských vápenců.....	14
Kalkarenity – písčité vápence.....	14
Další litavské vápence.....	25
ZKOUŠKY MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ.....	29
Úvod.....	29
Mikroskopické diagnostické metody.....	35
Pórovitost a transport vody.....	44
Mechanické vlastnosti.....	47
Roztažnost.....	53
Barva.....	54
Trvanlivost – laboratorní zkoušky po zrychleném stárnutí.....	55
TECHNICKÉ A APLIKAČNÍ SPECIFIKACE VYBRANÝCH VÁPENNÝCH NANOMATERIÁLŮ.....	56
Úvod.....	56
Konsolidační prostředky CaLoSiL®.....	57
Prostředky pro omezení biologického osídlení.....	63
Injektážní prostředky.....	64
Prostředky pro povrchovou úpravu.....	67
Podmínky použití a uskladnění vápenných nanomateriálů.....	68
PŘÍKLADY APLIKACE VÁPENNÝCH NANOMATERIÁLŮ PRO KONZERVACI LITAVSKÝCH VÁPENCŮ.....	72
Socha sv. Floriána z obce Vratěšín.....	72
Základní popis díla.....	72
Charakteristika použitého vápence.....	73
Popis stavu sochy před započítáním zkoušek.....	74
Hlavní typy poškození sochy sv. Floriána.....	80
Stanovení vybraných základních vlastností.....	84
Aplikace a zkoušky vápenných nanosuspenzí.....	91
Shrnutí výsledků zkoušek využití vápenných nanomateriálů.....	102

Torzo baldachýnu zámku Lednice	104
Základní popis díla.....	104
Charakteristika použitého vápence.....	106
Popis stavu torza před započítím zkoušek	106
Stanovení vybraných základních vlastností.....	112
Zkoušky konsolidačního ošetření vápence nanovápennými materiály	117
Hodnocení průběhu a výsledků konsolidace	124
Shrnutí výsledků zkoušek využití vápenných nanomateriálů.....	126
Váza ze zámeckého parku zámku Valtice.....	127
Základní popis díla.....	127
Charakteristika použitého vápence.....	128
Popis stavu vázy před započítím zkoušek	129
Zkoušky aplikace konsolidačních a injektážních prostředků na bázi vápenných nanosuspenzí.....	138
Hodnocení průběhu a výsledků konsolidace	141
Hodnocení průběhu a výsledků biocidního ošetření	141
Shrnutí výsledků zkoušek využití vápenných nanomateriálů.....	142
Kamenný kříž s korpusem Krista ze Šitbořic	143
Základní popis díla.....	143
Popis stavu kříže před započítím zkoušek.....	143
Stanovení nasákavosti vápence	149
Zkoušky aplikace konsolidačních a injektážních prostředků na bázi vápenných nanosuspenzí.....	151
Shrnutí výsledků zkoušek využití vápenných nanomateriálů.....	154
Náhrobek Josefa Engeleina ze hřbitova St. Marx ve Vídni.....	156
Úvod	156
Základní popis náhrobku a použité typy horniny.....	157
Popis poškození náhrobku	160
Příklady použití nanomateriálů	163
Výsledky biocidního a konsolidačního ošetření	166
Testování vhodných injektážních maltovin k vyplnění šupin a dutin.....	167
Výsledky zkoušek injektážních maltovin na bázi nanovápna	170

LABORATORNÍ VÝZKUM POVRCHOVÝCH OCHRANNÝCH VÁPENNÝCH NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ PRO ARCHITEKTONICKÉ PRVKY Z VÁPENCE.....	171
Zkušební tělesa.....	176
Nátěrový systém – popis.....	176
Metody zkoušení a výsledky.....	180
Závěr.....	187
LABORATORNÍ ZKOUŠKY EFEKTŮ KONSOLIDACE LITAVSKÉHO VÁPENCE PROSTŘEDKEM CALOSIL® E25.....	188
Úvod	188
Charakteristiky zkušebních tělísek z umělého kamene.....	188
Aplikace konsolidantu.....	190
Zrání konsolidovaných tělísek.....	191
Výsledky zkoušek.....	193
SOUHRN.....	201
POUŽITÁ LITERATURA A PRAMENY	202

INHALT

EINLEITUNG	8
Projekt Nanolith - grenznahe österreichisch-tschechische Kooperation	8
DIE GESTEINE DER LEITHAKALKFORMATION IN NIEDERÖSTERREICH UND BURGENLAND	10
Einleitung	10
Einstufung und Lithologie der Leithakalke.....	14
Kalkarenite - „Kalksandsteine“	14
Weitere Leithakalksteine	25
PRÜFUNG DER MATERIALEIGENSCHAFTEN	29
Einleitung	29
Mikroskopische Diagnosemethoden	35
Porosität und Wassertransport	44
Mechanische Eigenschaften	47
Dehnung (Dilatation).....	53
Farbe	54
Beständigkeit – Laborprüfungen durch beschleunigte Alterung.....	55
TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN UND APPLIKATIONSHINWEISE FÜR DIE GETESTETEN NANO-KALKSUSPENSIONEN	56
Einleitung	56
Festiger CaLoSiL®	57
Mittel zu Biozidbehandlung	63
Injektionsmittel.....	64
Anwendungsfertige Kalkanstriche und Kalklasuren	67
Applikations- und Lagerungsbedingungen der Nano-Kalkmaterialien	68
ANWENDUNGSBEISPIELE FÜR KALKHALTIGE NANOMATERIALIEN ZUR KONSERVIERUNG VON LEITHAKALK	72
Skulptur des Hl. Florian im Dorf Vratěňín	72
Allgemeine Beschreibung.....	72
Charakteristik des verwendeten Kalksteins	73
Vorzustand der Skulptur	74
Wesentliche Schadensbilder an der Skulptur des Hl. Florian	80
Bestimmung ausgewählter Materialeigenschaften	84
Anwendungen und Prüfungen der Kalknanosuspensionen.....	91

Zusammenfassung der Testergebnisse	102
Torso eines Baldachins aus dem Schloss Lednice	104
Allgemeine Beschreibung	104
Charakteristik des verwendeten Kalksteins	106
Vorzustand des Baldachins	106
Bestimmung ausgewählter Materialeigenschaften	112
Applikationstests der Konsolidierung durch Nanokalk-Materialien	117
Auswertung der Applikation und der Ergebnisse der Konsolidierung	124
Zusammenfassung der Testergebnisse	126
Vase aus dem Schlosspark des Schlosses Valtice	127
Allgemeine Beschreibung	127
Charakteristik des verwendeten Kalksteins	128
Vorzustand der Vase	129
Applikationstests der Konsolidierung und Biozidbehandlung durch Nanokalk-Materialien	138
Auswertung des Verlaufs und der Ergebnisse der Konsolidierung	141
Auswertung der Ergebnisse der bioziden Behandlung	141
Zusammenfassung der Testergebnisse	142
Steinkreuz mit Corpus Christi aus Šitbořice	143
Allgemeine Beschreibung	143
Vorzustand des Steinkreuzes	143
Bestimmung der Aufnahmefähigkeit des Festigungsmittels	149
Applikationstests der Konsolidierung und Rissverfüllung durch Nanokalk-Materialien	151
Zusammenfassung der Testergebnisse	154
Grabstein „Engelein“ vom Friedhof St. Marx in Wien	156
Einleitung	156
Beschreibung der Gesteinsvarietäten	157
Schadensbeschreibung	160
Anwendungsbeispiele mit Nanomaterialien	163
Ergebnisse zur Biozid- und Festigungsbehandlung	166
Versuche zur Herstellung geeigneter Injektionsmörtel für die Hinterfüllung von Schalen und Schollen	167
Resultate der Zubereitung geeigneter Injektionsmörtel auf Basis von Nanokalk	170

LABORUNTERSUCHUNG ZU KALKANSTRICHEN UND -SCHLÄMMEN FÜR ARCHITECTURELEMENTE AUS KALKSTEIN	171
Prüfkörper.....	176
Malschichtpaket – Beschreibung	176
Prüfmethoden und Ergebnisse.....	180
Fazit	187
LABORVERSUCHE DER KONSOLIDIERUNG VON LEITHAKALKEN DURCH NANOKALKSUSPENSIONEN.....	188
Einleitung.....	188
Charakteristik der Prüfkörper.....	188
Auftrag des Festigungsmittels.....	190
Konditionierung der behandelten Prüfkörper.....	191
Prüfergebnisse.....	193
RESÜMEE.....	201
LITERATUR.....	202

PŘEDMLUVA

Kniha předkládá informace o různých typech litavských vápenců se zaměřením na moderní postupy konzervace soch a architektonických prvků vytesaných z těchto hornin. Jsou uvedeny nejdůležitější diagnostické metody využívané pro vyšetření materiálových vlastností kamene před plánovaným konzervačním zásahem a na čtyřech příkladech památkových objektů z litavských vápenců je dokumentován praktický postup konzervace degradovaného kamene pomocí konzervačních prostředků na bázi vápenných nanočástic.

Prezentované konzervační postupy jsou příspěvkem k udržitelné péči o kulturní dědictví v přeshraničním regionu Rakousko-Česká republika a jsou výsledkem společného výzkumu českých a rakouských vědců a restaurátorů, kteří se zabývají metodami konzervace památkových objektů z litavských vápenců v příhraničních regionech České republiky a Rakouska.

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum prezentovaný v této knize byl podpořen projektem NANOLITH (M00264) „POUŽITÍ NANOMATERIÁLŮ PRO UDRŽITELNOU KONZERVACI HISTORICKÝCH SOCHAŘSKÝCH A ARCHITEKTONICKÝCH DĚL Z LITAVSKÝCH VÁPENCŮ“ z dotačního programu "Evropská územní spolupráce Rakousko-Česká republika 2007–2013" Evropského fondu pro regionální rozvoj.

Projekt byl realizovaný v letech 2013-2014 a na jeho řešení se podíleli tři partneři. Vedoucím partnerem byl ÚTAM AV ČR v. v. i., Centrum excelence Telč (CET). Dalšími partnery byly dvě univerzity: Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování v Litomyšli a Univerzita užitého umění ve Vídni, Institut pro umění a technologie.

Autoři vyslovují svůj hluboký dík tomuto projektu.

VORWORT

Das Buch befasst sich mit verschiedenen Sorten von Leithakalksteinen und modernen Verfahren zur Erhaltung von Skulpturen und Architekturelementen aus diesen Gesteinen. Es werden die wichtigsten Diagnosemethoden vorgestellt, die zur Bestimmung der Materialeigenschaften von Gesteinen vor einer geplanten Konservierungsmassnahme angewandt werden. An vier Beispielen von Denkmälern aus Leithakalk wird die praktische Vorgehensweise im Zuge der Konservierung von verwittertem Stein durch Einsatz von Konservierungsmitteln auf Basis von Nanokalkpartikeln dokumentiert. Die vorgestellten Konservierungsverfahren sind das Ergebnis einer Forschungs Kooperation zwischen tschechischen und österreichischen Wissenschaftlern/-innen und Restauratoren/-innen, die sich mit den Methoden der Konservierung von Denkmalobjekten aus Leithakalk in den grenznahen Regionen der Tschechischen Republik und Österreich beschäftigen.

DANKSAGUNG

Die Forschung wurde im Rahmen des Projektes NANOLITH (M00264) "ANWENDUNG VON NANOMATERIALIEN ZUR NACHHALTIGEN KONSERVIERUNG VON HISTORISCHEN SKULPTUR UND ARCHITEKTUROBJEKTEN AUS LEITHAKALK" durchgeführt und wurde durch das Förderprogramm "Europäische territoriale Zusammenarbeit Österreich-Tschechische Republik 2007-2013" des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung unterstützt.

Die Autoren möchten an dieser Stelle ihre Dankbarkeit gegenüber den fördernden Institutionen und Personen zum Ausdruck bringen.

ÚVOD

Projekt Nanolith – přeshraniční rakousko-česká spolupráce

Mnoho z cenných sochařských a architektonických děl ve východním Rakousku a na jižní Moravě bylo v období od římské říše až po 20. století zhotoveno z litavských vápenců. Tyto porézní biodetritické vápence byly těženy a využívány v příhraničních oblastech a jméno získaly podle hlavní lokality svého výskytu, pohoří Leithagebirge (Litavské hory). Současný stav řady památkových objektů lze z důvodu litologických vlastností litavských vápenců a expozice znečištěnému ovzduší označit jako ohrožený. Bez odborné péče není tento fond dlouhodobě udržitelný. I když je v současnosti k dispozici poměrně široká nabídka konzervačních prostředků, památková péče nemá k dispozici ověřenou technologii, která by zajistila efektivní konsolidaci těchto kamenných památek kompatibilními materiály.

Díky podpořenému projektu a přeshraniční spolupráci se podařilo získat zkušenosti s novým typem konzervačního materiálu, tzv. nanovápna. Chování a působení prostředků na bázi nanovápna na degradovaný litavský kámen bylo možné vyzkoušet a vyhodnotit na několika vybraných skulpturách a architektonických prvcích na Vysočině, Jižní Moravě a ve Vídni. Výsledkem, předkládaným v této publikaci, je přehled vlastností současných dostupných nanovápenných produktů a zjištěné efekty jejich aplikace za účelem konsolidace, injektáže prasklin a povrchové ochrany historických sochařských a architektonických děl z litavských vápenců v česko-rakouském příhraničí. Provedené studie chtějí přispět k výzkumu i praxi konzervace kamenných památek v České republice a Rakousku.

EINFÜHRUNG

Projekt Nanolith - grenznahe österreichisch-tschechische Kooperation

Zahlreiche der wertvollen skulpturalen und architektonischen Werke in Ostösterreich und Südmähren von der Zeit des Römischen Reiches bis zum 20. Jahrhundert wurden aus Leithakalken geschaffen. Diese biotritischen porösen Kalksteine wurden in grenznahen Gebieten abgebaut und verwendet. Ihren Namen verdanken sie der wichtigsten Lokalität ihres Vorkommens, dem Leithagebirg. Der aktuelle Zustand vieler dieser Denkmäler ist aufgrund der Gesteinseigenschaften der Leithakalke und der atmosphärischen Exposition als gefährdet zu bezeichnen. Ohne fachgerechte Pflege ist dieser Denkmalbestand langfristig nicht zu erhalten. Obwohl derzeit ein relativ breites Spektrum von Konservierungsmitteln bekannt und erhältlich ist, verfügt die Denkmalpflege über keine bewährte Technologie, die eine effektive Gefügefestigung dieser Steindenkmäler durch kompatible Materialien gewährleisten würde.

Dank der Projektunterstützung und der grenzüberschreitenden Kooperation konnten Erfahrungen mit einer neuen Art von Konservierungsmitteln, dem sog. Nanokalk, gewonnen werden. Das Verhalten und die Wirkungsweise von Mitteln auf Basis von Nanokalk für die Konservierung von Leithakalkobjekten konnten auf einigen ausgewählten Skulpturen und Architekturelementen aus den Regionen der Vysočina (Hochland), Südmähren und Wien getestet und bewertet werden. Das in dieser Veröffentlichung vorgelegte Ergebnis bietet eine Übersicht der Eigenschaften von derzeit verfügbaren Nanokalk-Produkten, sowie ihrer Wirksamkeit zum Zweck der Gefügefestigung, Rissverfüllung und dem Oberflächenschutz von historischen Skulpturen und Architekturelementen aus Leithakalk in den tschechisch-österreichischen grenznahen Gebieten. Die durchgeführten Studien sollen zum theoretischen und praktischen Kenntnisstand in Zusammenhang mit der Erhaltung von Steindenkmälern in beiden Ländern beitragen.

HORNINY FORMACE LITAVSKÝCH VÁPENCŮ V DOLNÍM RAKOUSKU A BURGENLAND

Úvod

Litavský vápenec je obecný pojem pro řadu sedimentárních vápenců, které vznikaly v miocénu před zhruba 10 až 15 miliony let na dně mora, které se rozprostíralo severně a hlavně východně od okraje Alp. Poměrně mělké moře označované jako Parathetys tvořilo otevřenou mořskou pánev pouze směrem na východ a bylo zbytkem oceánské moře Thetys, které se po ukončení hlavních fází alpínského vrásnění předsunulo před vyzdvížené masivy pohoří Alp a Karpat.

Vysoký počet organismů žijících v subtropickém moři Parathetys umožnil zejména v blízkosti pobřeží vznik různých typů vápenců bohatých na fosilie. Z tohoto důvodu se střídají na relativně malém prostoru jemnozrnné biodetritické vápence tzv. biokalkarenity, tvořené hlavně mikrofosíliemi (často trochu zavádějící označované jako „vápnité pískovce“) s poměrně pevnými řasovými vápenci, které za svůj vznik vděčí hlavně vápenatým červeným řasám (tzv. ruduchy) rodu Lithothamnium. Především na západním okraji moře, kde řeky přinášely z pevniny štěrky a horninové drtě, se tvořily konglomeráty resp. vápence s vysokým podílem jemných silikátových znečištění.

DIE GESTEINE DER LEITHAKALKFORMATION IN NIEDERÖSTERREICH UND BURGENLAND

Einleitung

Leithakalk ist ein Überbegriff für eine Serie von Kalksteinen, die im Miozän vor etwa 10-15 Mio Jahren in Meeresbecken abgelagert wurden, die sich nördlich und vor allem östlich des Alpenostrandes erstreckten. Dieses auch als Parathetys bezeichnete, vorwiegend flache und nur mehr nach Osten hin offene Meeresbecken bildete den Rest des ozeanartigen Thetysmeeres, das nach dem Abschluss der Hauptphasen der alpidischen Gebirgsbildung den aufgefalteten Gesteinsmassen der Alpen und Karpaten vorgelagert war.

Begünstigt durch die Vielzahl an Lebewesen im subtropischen Meer der Parathetys, entstanden besonders in den Küstenbereichen fossilreiche Kalksteine unterschiedlicher Ausprägung. So wechseln oft auf kleinem Raum fein zerriebene, aus Mikrofossilschalen bestehende Biokalkarenite (oft etwas missverständlich als „Kalksandsteine“ bezeichnet) mit relativ festen Algenkalken, die ihr Entstehen vor allem der kalkabscheidenden Rotalge Lithothamnium verdanken. Besonders am Westrand, wo Flüsse vom Festland Gerölle eingeschwemmt haben, bildeten sich Konglomerate bzw. Kalksteine mit zahlreichen fein-silikatischen Verunreinigungen.

Geograficky je výskyt Litavských vápenců v užším významu daného pojmu ohraničen na oblast jižní vídeňské pánve, kde docházelo především podél tzv. termální linie na jedné straně a kolem pahorkatiny pohoří Leitha (v tom čase ostrov) k usazování vápenců a konglomerátů. Velmi podobné podmínky panovaly i na jiných místech např. v jižním Štýrsku, nebo na západním okraji regionu Weinviertel a Jižní Moravy. Z tohoto důvodu lze proto i zdejší vápence přiřadit k Litavským vápencům.

Těžba a použití Litavských vápenců se datuje už od doby římské říše a přetrvala do středověku a novověku. Největší rozkvět zažívala těžba litavských vápenců v baroku a potom ještě na konci 19. a počátku 20. století. Na jedné straně představují jemnozrnné, často vysoce porézní biodetritické vápence ideální horninu pro sochařské účely. Na druhé straně poskytovaly tvrdší typy kvalitní materiál pro architekturu, takže je možné litavské vápence často najít i na soklových částech nebo schodištích historických budov. Po ukončení oprav a obnovy staveb po 2. světové válce a v důsledku stoupající nabídky importovaných druhů kamene, současně s ústupem používání přírodního kamene ve stavebnictví, došlo k postupnému uzavření většiny lomů litavských vápenců. Dnešní nabídka těžených litavských vápenců je proto poměrně omezená.

Leithakalk im engeren Sinn ist geografisch auf den Bereich des südlichen Wiener Beckens beschränkt, wo vor allem entlang der sogenannten Thermenlinie einerseits, aber auch rund um den Hügelzug des Leithagebirges – zu jener Zeit eine Insel – strandnahe Kalkstein- und Konglomeratablagerungen erfolgten. Sehr ähnlich Bedingungen fanden sich aber auch anderswo, etwa im südsteirischen Raum oder am Westrand des Weinviertels und Südmährens, weswegen die dortigen Vorkommen ebenfalls zu den Leithakalken gerechnet werden können.

Abbau und Verwendung von Leithakalkengehen auf römische Zeiten zurück und haben jedenfalls in Spätmittelalter und Neuzeit stets weiterbestanden. Eine Hochblüte erlebte die Gesteinsverwendung im Barock und dann wiederum im ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhundert. Während die feinen, oft hochporösen Kalkarenite ideale Bildhauergesteine darstellten, gaben die härteren Sorten gute Werksteine für die Architektur ab, sodass man auch in zahlreichen Gebäudesockeln und Stiegenstufen Leithakalke findet. Nach dem Abschluss der Reparatur- und Erneuerungsarbeiten nach dem 2. Weltkrieg und infolge des gesteigerten Angebots an importierten Steinsorten bzw. des Rückgangs der Verwendung von Naturstein im Bauwesen erfuhren die meisten Steinbrüche einen Niedergang, sodass das Angebot an bruchfrischem Leithakalk heute nur mehr sehr eingeschränkt vorhanden ist.

Vzhledem k signifikantním rozdílům jednotlivých druhů vápenců litavské formace mohou specialisté určit použitý typ vápence a přiřadit jeho původ k některému z historických lomů pouhým vizuálním posouzením přímo na jednotlivých památkách. Historie využívání jednotlivých lomů je poměrně známá a tak je možné využít určení typu vápence jako důležitý nástroj v rámci stavebně-historických průzkumů [např.1]. Pro četné stavební památky ve Vídni bylo možné tímto způsobem provést jejich časové zařazení (datování).

Ke vztahu mezi vlastnostmi horniny a těžbou uvádí A. Rohatsch [2]:

„Bohaté využívání neogenních zdrojů hornin od dob římské říše až do 20. století je dáno relativně jednoduchou těžitelností a zpracovatelností těchto hornin, kterou lze zase vysvětlit genezi těchto formací.

¹ Müller, H. W., Rohatsch, A., Schwaighofer, B., Ottner, F., & Thinschmidt, A: *Gesteinsbestand in der Bausubstanz der Westfassade und des Albertinischen Chores von St. Stephan.* - Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege, Sonderdruck, 1993,

Am Denkmal erschließen sich dem Experten oft die signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Steinsorten der Leithaformation, sodass sehr oft durch bloße visuelle Begutachtung die Zuordnung zu einem der zahlreichen historischen Brüche oder Bruchgebieten möglich ist. Diese sind wiederum in Hinsicht auf ihre Abbaugeschichte weitgehend bekannt, wodurch die Gesteinsbestimmung zu einem für die Bauforschung wichtigen Instrumentarium werden kann [z. B. [1]]. Für zahlreiche Wiener Baudenkmäler konnten auf diese Weise Datierungen vorgenommen werden.

Zum Zusammenhang zwischen Gesteinseigenschaften und Abbau schreibt A. Rohatsch in [2] (im folgenden wörtlich wiedergegeben):

„Die überreiche Nutzung der neogenen Gesteinsvorkommen von der Römerzeit bis ins 20. Jahrhundert liegt in der relativ einfachen Gewinn- und Bearbeitbarkeit dieser Gesteine, die wiederum aus der Genese dieser Formationen zu begründen ist.

² Rohatsch, A.: *Neogene Bau- und Dekorgesteine Niederösterreichs und des Burgenlandes.*-In: Mitt. IAG BOKU, Institut für Angewandte Geologie, Universität für Bodenkultur Wien, Reihe: *Nutzbare Gesteine von Niederösterreich und Burgenland - „Junge Kalke, Sandsteine und Konglomerate – Neogen“.* B. Schwaighofer & W. Eppensteiner (Hg), Wien, 2005

Tyto horniny vznikaly usazováním ve více či méně silných vrstvách na ohraničených, poměrně rovných plochách, přičemž jsou jednotlivé vrstvy navzájem často odděleny slínutými sedimenty. Především nebyly vystaveny žádným dalším horninotvorným procesům, které by mohly vést k rozlomení nebo zvlnění těchto usazenin. Síla jednotlivých vrstev variet vápence vhodných pro stavební účely se pohybuje mezi 30 – 70 cm, v některých případech dosahuje mocnost lavic až několik metrů a těžená hornina je pak vhodná pro velkoformátová sochařská díla. Další výhodou je poměrně velká vzdálenost prasklin vrstev, což umožňuje těžbu větších bloků pro kvádry, schody, sloupy nebo sochařská díla. Oddělené nerozpraskané části vrstvy velikosti (objemu) 200 – 300 m³ nejsou žádnou výjimkou.“

Diese Gesteine wurden in mehr oder weniger mächtigen, durch einigermaßen ebene Flächen begrenzte, Schichten abgelagert, die häufig durch Mergellagen voneinander getrennt sind. Vor allem aber wurden sie in keine wesentliche Gebirgsbildungsphase mehr mit einbezogen, die zu starkem Zerbrechen und zur Verfaltung dieser Ablagerungen geführt hätte. Die Dicke der einzelnen Schichten der für Bauzwecke am besten geeigneten Varietäten liegt bei 30 - 70 cm, in einzelnen Fällen werden aber Bankmächtigkeiten bis zu mehreren Metern erreicht, die sich dann besonders gut für großformatige Bildhauerarbeiten eignen. Ein weiterer günstiger Umstand ist die häufig sehr weitständige Klüftung, welche die Gewinnung von großen Werksteinen für Quader, Stufen, Säulen und Bildhauerarbeiten zulässt. Kluftkörper mit 200 - 300 m³ Größe sind keine Seltenheit.“
(Zitatende)

Rozdělení a litologie litavských vápenců

Kalkarenity – písčité vápence

A. Kieslinger [3] uvádí:

Pod označením písčité vápenec rozumíme také pískovce, kterých zrna, „písek“, pozůstávají z vápenatých částic (tedy nejen pojivo), které jsou vzájemně tmeleny na svých okrajích a proto nejsou všechny póry úplně vyplněné; jednotlivá zrna jsou ještě zřetelně odlišitelná, co ovlivňuje i celkový vzhled písčitého vápence. Pochopitelně existují přechody až ke kompaktním vápencům, které vznikli z písčitých vápenců úplným zaplněním pórů.“

Litavskými vápenci, tak důležitými horninami pro region východního Rakouska se zabývají i některé novější práce, především práce A. Rohatsche (2) und F. Steininger a R. Roetzela [4].

Kalkarenity litavské formace jsou tvořeny relativně jemnozrnnými fragmenty skořápek mořských organismů, které byly natolik rozmělněny vlnobitím, že nepoškozené zůstaly pouze malé fosílie foraminifer. Kromě fragmentů fosilií mohou vápence obsahovat i křemen nebo jílové částice, které byly do moře splaveny ze sousedící pevniny. S tím spojený nízký obsah železitých sloučenin způsobuje lehce

³ Kieslinger, A.: *Gesteinskunde für Hochbau und Plastik*. Österreichischer Gewerbeverlag, 1951, Wien

Einstufung und Lithologie der Leithakalke

Kalkarenite („Kalksandsteine“)

A. Kieslinger [3] schreibt (im folgenden wörtlich wiedergegeben):

„Unter Kalksandstein [Kalkarenit, Anm.] wollen wir Sandsteine verstehen, deren Körner, der „Sand“, aus Kalkgebilden besteht (also nicht nur das Bindemittel), deren Verkittung aber in solchen Grenzen geblieben ist, dass noch nicht alle Poren restlos ausgefüllt sind; die Einzelkörner sind daher als solche noch deutlich erkennbar, wodurch eben der Gesamteindruck eines Sandsteines bewirkt wird. Begreiflicherweise gibt es aber Übergänge zu dichten Kalksteinen, von denen ja viele aus Kalksandsteinen durchvöllige Ausfüllung der Poren hervorgegangen sind.“ (Zitatende).

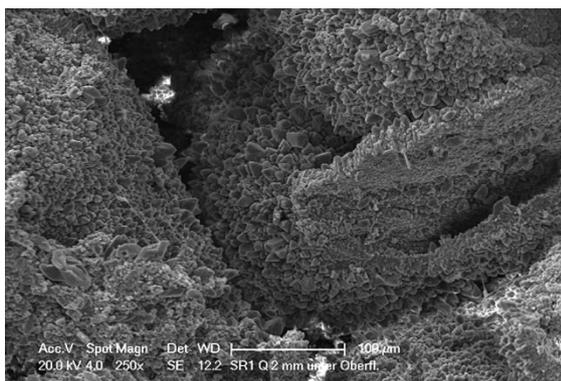
Auch mehrere neuere Arbeiten beschäftigen sich mit diesen für Ostösterreich so wichtigen Werksteinen, so vor allem von A. Rohatsch und F. Steininger & R. Roetze [4].

Die Kalkarenite der Leithaformation bestehen aus relativ feinen Schalenteilchen von Meeresorganismen, die in der Brandung soweit zerrieben wurden, dass nur kleine Fossilien wie Foraminiferen unversehrt erhalten geblieben sind. Dazu können in unterschiedlichem Ausmaß Silikatminerale wie Quarz oder Tone kommen die vom benachbarten Festland eingeschwemmt wurden.

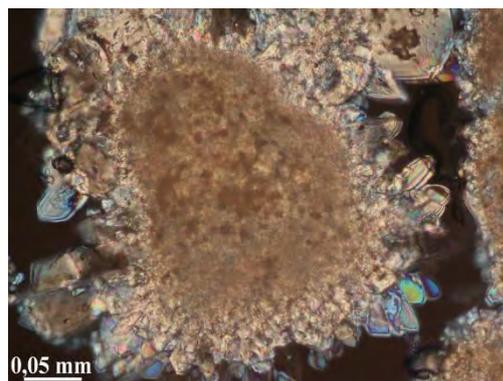
⁴ Steininger, F.; Roetzel, R. *Zogelsdorfer Kalksandsteine im nördlichen Niederösterreich*, 2005

nažloutlou barvu těchto kalkarenitů. Z hlediska vlastností hornin jsou podstatné nejen samotné komponenty, ale i jejich vzájemné propojení: tmelení jako diagenetický proces probíhá v případě litavských vápenců prostřednictvím uhličitanu vápenatého (kalcit), který narůstá ve formě menších nebo větších krystalů na jednotlivých částicích (zrnech) a tyto vzájemně spojuje – často bývá označován jako „cement zrn“. Krystaly kalcitu vznikají vysrážením z vodných roztoků nasycených uhličitanem vápenatým, které cirkulují v pórech, přičemž zdrojem uhličitanu vápenatého jsou aragonitové schránky mořských organismů. Míra stmelení může být velmi rozdílná, ale v případě kalkarenitů nevede nikdy k výraznému nebo úplnému zaplnění porů. Některé typy kalkarenitů mají celkovou pórovitost až 30% obj., která je tvořena hlavně tzv. „klínovitými“ póry v kontaktní oblasti mezi jednotlivými zrny. Při jejich zvětrávání, které je významně ovlivněno porézním systémem, je tmel zrn místem, kde dochází k prvním rozpouštěcím pochodům nebo proměnám kalcitu. V důsledku rozpouštění uhličitanu vápenatého se postupně zhoršuje vzájemné propojení zrn, což se pak projevuje jako „pískovatění“ vápence. Další častý korozní proces – proměna uhličitanu vápenatého na sádrovec jako následek reakce s oxidy síry v ovzduší je spojený obvykle s tvorbou krust. V prvním případě lze v rámci konzervačních opatření provést zpevnění dodáním nového pojiva do degradovaných částí vápence. V druhém případě lze důsledky koroze kompenzovat fixací krust, doprovázené případně úplným nebo částečným odstraněním samotného sádrovce v krustách.

Damit verbundene geringe Gehalte an eisenhaltigen Verbindungen führen zu einer leichten Gelbfärbung solcher Kalkarenite. Entscheidend für die Gesteinseigenschaften sind aber nicht nur die Komponenten, sondern auch deren Bindung: die Verkittung als diagenetischer Prozess erfolgt bei den Leithalkalen ebenfalls durch Kalk in Form von Kalkspat (Calcit), der in Form kleinerer oder größerer Kristalle auf den Komponenten aufwächst und diese miteinander verkittet – man spricht auch von einem „Kornzement“. Diese Kristalle stellen Ausfällungen aus zirkulierenden Porenwässern dar, die ihren Kalkgehalt der Lösung von Aragonitschalen verdanken. Der Grad dieser Bindung kann unterschiedlich sein, wird bei einem Kalkarenit aber nie zu einer erheblichen Verengung oder gar zu einem Verschluss der Poren führen. Manche Sorten können eine Gesamtporosität von über 30 Vol.-% aufweisen, die vorwiegenden sogenannten Zwickelporen im Kontaktbereich zwischen den Komponenten zu verdanken ist. Bei der Verwitterung, die ja vom Porensystem ausgeht, ist es der Kornzement, der die ersten Angriffsflächen für Lösungs- und Umwandlungsreaktionen bietet. Bei seiner Lösung kommt es zu einem Kornbindungsverlust mit Absanden des Steins, während die häufige Umwandlung zu Gips durch schwefelhaltige Luftschadstoffe zu einer zonenweisen Gefügeverdichtung führen kann, die meist mit einer Schalen- oder Krustenbildung verbunden ist. Im ersteren Fall besteht eine konservierende Steinfestigung aus der Einbringung eines neuen Bindemittels, im zweiten kann eine Fixierung der Schalen, eventuell begleitet von einer Herauslösung von verdichtenden Gipsanteilen, notwendig sein.



↑ Kalcitový tmel ve formě malých kalcitových krystalů, rastrovací elektronový mikroskop, detektor sekundárních elektronů
↑ „Kornzement“ in Form kleiner Calcitkristalle, die den Komponenten eines Kalkarenits als natürliches Bindemittel aufwachsen, im Rasterelektronenmikroskop-Sekundärelektronenbild



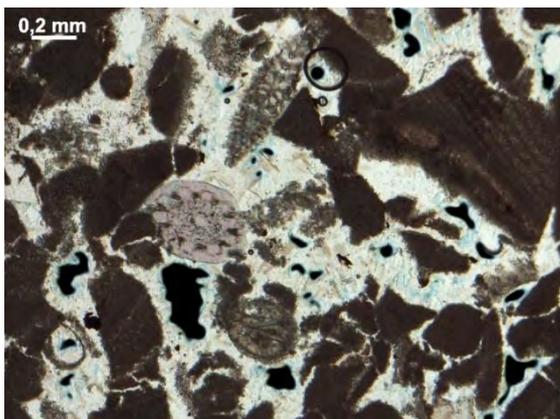
↑ Kalcitový tmel ve formě malých kalcitových krystalů, výbrus, optický mikroskop, procházející polarizované světlo, zkřížené nikoly
↑ „Kornzement“ in Form kleiner Calcitkristalle als natürliches Bindemittel eines Kalkarenits im Dünnschliff; Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren



↑ Poškození v důsledku zvětrávání na chrlič z litavského vápence na Dómu sv. Štěpána ve Vídni
↑ Verwitterungsschäden an einem Wasserspeier aus Leithakalk am Wiener Stephansdom



↑ Typické poškození ve formě sádrovcových krust na prvku z vápence St. Margarethen na Dómu sv. Štěpána ve Vídni
↑ Krabbe aus St. Margarethner Leithakalk am Wiener Stephansdom mit typischen Schäden in Form von Gipskrusten



← Komplettní vyplnění porézního systému vápence v důsledku sulfatizace – tvorby a kumulace sádrovce (světlé součásti) v pórech vápence, výbrus, optický mikroskop, procházející polarizované světlo, zkřížené nikoly

← Vollständiger Verschluss des Porengefüges eines Leithakalksteins durch verwitterungsbedingte Gipskristallisation (helle Bereiche); Dünnschliff; Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren

Vápenec Zogelsdorf

Ke geologicky nejstarším kalkarenitům dolnorakouského hraničního regionu patří především vápence z lokality Zogelsdorf z okolí města Eggenburg [4,5].

Vzhledem ke stáří ca. 18,5 milionů let se z geologického hlediska v podstatě neřadí k Litavským vápencům, ale patří k nim z hlediska památkové péče i klasifikace stavebního kamene. Jedná se o špatně vytríděné, spíše hrubozrnné a často málo homogenní horniny. Pro zvýšený obsah jílu a křemene v těchto vápencích je možné předpokládat blízkost krystalického masivu v době jejich vzniku. Biogenní vápenné složky jsou tvořeny vedle úlomků vápenných červených řas (ruduch) i z mechovek (bryozoa) tvořících kolonie, které svou charakteristickou strukturou s jemnými dutinovými póry představují výrazný rozlišovací znak těchto vápenců.

Zogelsdorfer Stein

Zu den geologisch ältesten Kalkareniten im niederösterreichischen Grenzgebiet zählen vor allem die Zogelsdorfer Steine aus der Gegend von Eggenburg [4, 5].

Mit einem Alter von ca. 18,5 Mio. Jahren werden sie von der Geologie eigentlich nicht den Leithakalken zugeordnet, wohl aber seitens der Werksteinkunde und Denkmalpflege. Es handelt sich um schlecht sortierte, eher grobkörnige und oft wenig homogene Gesteine, die z.T. mit recht hohem Ton- und Quarzgehalt die Nähe des kristallinen Vorlandes erkennen lassen. Der Grad der spätdiagenetischen Verfestigung ist unterschiedlich hoch. Die biogenen Kalkkomponenten bestehen neben Kalkrotalgen typischerweise aus kolonienbildenden Moostierchen (Bryozoen), die mit ihren feinen Lochporen ein deutliches Erkennungsmerkmal darstellen.

⁵ Rohatsch, A.; Thinschmidt, A. *Charakterisierung und Vorkommen historisch bedeutsamer Baugesteine im nördlichen Weinviertel – eine Auswahl. Exkursionsführer, Österreichische Geologische Gesellschaft, 1997*

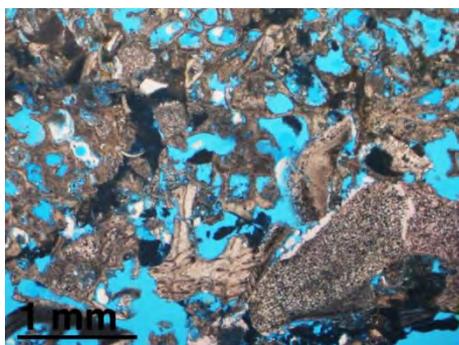
Početné lomy v regionu Eggenburg poskytovaly zogeldorfský vápenec v různé kvalitě a varietách, které byly používány od románského období až do 20. století pro nejen stavební účely, architektonické prvky, ale ve významné míře i pro sochařskou tvorbu.

Zejména v baroku sahalo rozšíření jeho použití od jihomoravské a jihočeské oblasti až do Vídně a Dolního Rakouska jižně od Dunaje. Ve Vídni existují i četné příklady z období historismu a secese.

Především v městském prostředí, které je dlouhodobě zatíženo vysokou mírou znečištění ovzduší, je zogeldorfský vápenec považován za málo odolnou horninu.

Důvodem je nejen značná citlivost na sulfatizaci, ale i vysoký obsah jílových podílů u většiny variet. Nerovnoměrná velikost zrn i nerovnoměrné diagenetické stmelení vedou k tomu, že tento vápenec má v důsledku eroze kromě pískovatění i tendenci k vylamování celých částí kamene.

V současné památkové péči v Rakousku se exteriérové sochy zhotovené z tohoto kamene obvykle chrání pomocí vápenných nátěrů, přičemž tomuto kroku předchází zpevnění nebo i doplnění chybějících částí.



↑ Výbrus, vápenec Zogelsdorf, procházející světlo, paralelní nikoly

↑ Zogelsdorfer Stein im Dünnschliff; Durchlicht, parallele Polarisatoren; der Porenraum erscheint blau

Bau- und Architekturteile, wesentlich aber auch für Skulpturarbeiten verwendet worden. Besonders im Barock reichte seine Verbreitung vom Südmährischen und – böhmischen Raum über Wien bis nach Niederösterreich südlich der Donau, für Wien sind aber auch zahlreiche gründerzeitliche Beispiele belegt.

Aus zahlreichen Brüchen im Raum Eggenburg ist der Zogelsdorfer Stein in seinen unterschiedlichen Qualitäten von der Romanik bis ins 20. Jahrhundert für Besonders im städtischen Raum, der über lange Zeit mit Luftverschmutzung konfrontiert war, gilt der Zogelsdorfer Stein als wenig beständig.

Grund dafür ist wohl nicht nur die Anfälligkeit für Vergipsung, sondern auch der recht hohe Tongehalt der meisten Varietäten. Ungleichmäßige Korngrößen und diagenetische Verfestigungen führen dazu, dass der Stein nicht nur zum Absanden tendiert, sondern oft auch Ausbrüche aufweist.

In der derzeitigen österreichischen Denkmalpflege werden Skulpturen aus diesem Stein im Außenbereich üblicherweise mit einer Kalkschlämme versehen, nachdem sie zuvor gefestigt und gekittet und eventuell ergänzt wurden.



↑ Pietà zhotovená z vápence Zogelsdorf, Roseldorf 1696

↑ Pietà aus Zogelsdorfer Stein, datiert 1696, Roseldorf (NÖ) (Foto: R. Mandl)

Vápenec z lokality St. Margarethen v Burgenlandsku (spolková země Burgenland, Hradsko) je pravděpodobně nejnámější varietou litavských vápenců. Je to i z toho důvodu, že tzv. „římský lom“ je až do dnešní doby stále aktivní. Jestli a do jaké míry se v lomu těžil kámen už za doby Římanů je ovšem nejisté.

Stratigrafická datace vápence ze St. Margarethen poukazuje na stáří ca. 16 až 12 milionů let, když Parathetys bylo ještě stále mělkým, poměrně neklidným mořem. Variety vápence z dané lokality jsou poměrně různorodé a jsou známé měkké, středně tvrdé a tvrdé typy této horniny. Obvykle nažloutlé vápence sestávají převážně z částic tvořených úlomky foraminifer a červených řas (ruduch), které jsou v různé míře stmeleny kalcitem. Detritické silikátové částice chybí. Charakteristickým rozlišovacím znakem jsou hlízy vápenných řas do velikosti pěsti dospělého člověka.

Těžba a využití vápence St. Margarethen v období římské říše není doloženo a v středověku bylo jeho používání pouze lokální. Využívání tohoto kamene nabývá velký význam až v baroku a později na stavbách vídeňské Ringstrasse. Od roku 1841 zásoboval „římský lom“ kamenem získávaným z tzv. štěpánské stěny lomu katedrální huť u dómu Sv. Štěpána ve Vídni. Důvodem byla silná poptávka po vhodné hornině potřebné pro realizaci rozsáhlých restaurátorských prací v 19.

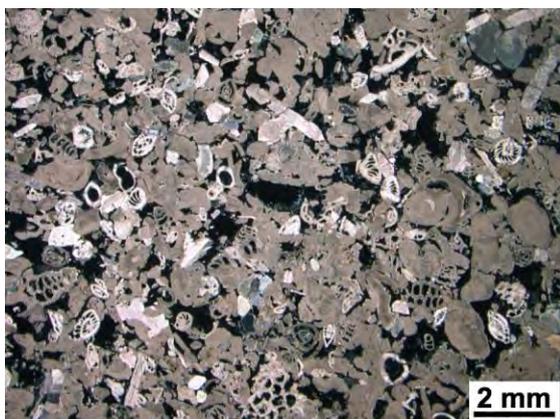
Zu den eigentlichen Leithakalken gehörend, stellt der Stein aus St. Margarethen im Burgenland vermutlich die bekannteste Varietät dar. Dies auch, weil der große so genannte „Römersteinbruch“ bis heute aktiv ist. Inwieweit er tatsächlich schon zur Zeit der Römer in Abbau stand, ist allerdings ungewiss.

Die stratigrafische Datierung der Steine von St. Margarethen weist sie in die Zeit von ca. 16 bis 12 Mio. Jahren, als die Parathetys in diesem Bereich vor ihrer beginnenden Aussüßung ein bewegtes Flachwassermeer darstellte. Die dort vorkommenden Gesteinsvarietäten sind ziemlich unterschiedlich, wobei von einer weichen, mittelharten und harten Qualität gesprochen wird. Die meist gelbraunen Gesteine bestehen vorwiegend aus Komponenten von Foraminiferen und Kalkrotalgenbruchstücken, die mit feinem Kornzement aus Kalkspat unterschiedlich gut verkittet sind. Detritäre Silikate fehlen. Ein charakteristisches Erkennungsmerkmal sind Einlagerungen von bis zu faustgroßen Kalkalgenknollen.

Während Abbau und Nutzung des Margarethner Steins für die römische Zeit nicht belegt ist und im Mittelalter auf lokale Anwendungen beschränkt war, kam dem Stein im Barock und in der Wiener Ringstraßenzeit sehr große Bedeutung zu. Ab 1841 bis heute belieferte der „Römersteinbruch“ die aus der sogenannten Stephanswand gewonnene Varietät der Dombauhütte von St. Stephan in Wien, wo die ausgedehnten Restaurierarbeiten des 19. Jahrhunderts

století a pro odstranění poškození z 2. světové války. Kromě toho je doloženo i hojné použití na architektonických prvcích na sakrálních i profánních stavbách v oblasti Vídně.

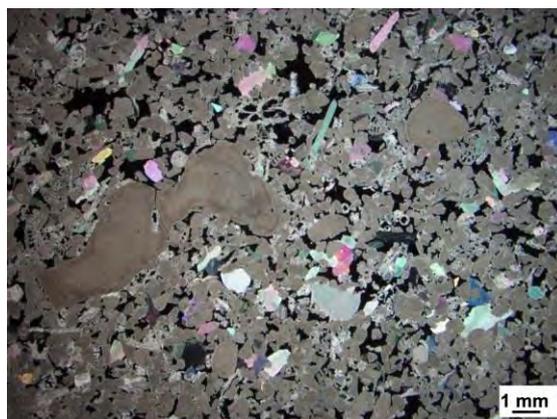
Nejtvrďší variety vykazují poměrně dobrou odolnost vůči zvětrávání, přičemž poréznější typy jsou méně odolné vůči atmosférickým polutantům a vodorozpustným solím, částečně také vůči mrazovým poškozením. Poměrně častým typem poškození je tvorba krust, které je obvykle důsledkem sulfatizace vápence, následně migrace a opětovného vysrážení vzniklého sádrovce.



↑ Výbrus, vápenc St. Margarethen, měkká varieta, procházející světlo, zkřížené nikoly
↑ St. Margarethner Leithakalk vom Typ „Weich“ im Dünnschliff; Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren

und die Beseitigung der großen Schäden aus dem 2. Weltkrieg zu einem verstärkten Bedarf geführt hatten. Aber auch zahlreiche andere Verwendungen für Architekturelemente an sakralen und profanen Bauwerken im Raum Wien sind belegt.

Die härteren Varietäten weisen eine relativ gute Witterungsbeständigkeit auf, während die poröseren Steine besonders gegenüber Luftschadstoffen und Schadsalzen, teilweise auch gegenüber Frost, wenig beständig sind. Ein häufiges Schadensbild ist die Krusten- und Schalenbildung, an der zumeist die Umwandlung des Kalks zu Gips und dessen Migration und Wiederausfällung beteiligt sind.



↑ Výbrus, vápenc St. Margarethen, středně tvrdá varieta, procházející světlo, zkřížené nikoly
↑ St. Margarethner Leithakalk vom Typ „Mittelhart“ im Dünnschliff; Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren

Vápenec Breitenbrunn

Podobně jako v případě St. Margarethen byl tento vápenec těžen na východní straně pohoří Leitha v několika varietách s odlišnou pevností. Nejznámější varieta, označovaná jako „sochařský kámen“, se vyznačuje bílou barvou a jemnozrnnou strukturou a kámen byl ceněn především pro sochařské práce s jemnou modelací.

Tento vápenec vznikl cca. před 12 miliony let v poměrně klidném mělkém moři. Jemnozrnné částice jsou tvořeny hlavně úlomky foraminifer a příležitostně i ooidy, které jsou slabě spojeny kalcitovým tmelem. Porovitost a nasákavost jsou velmi vysoké.

Použití vápence Breitenbrunn bylo velmi rozšířené zejména ve 14. a 15. století pro sochařská díla s jemnou modelací. Používal se i v období baroka a později až do období vzniku vídeňské Ringstrasse (v tomto období spíše pevnější a kompaktnější variety). Odolnost vůči zvětrávání je tak nízká, že v exteriéru byl používán pouze zřídka. Je považován za málo odolný vůči působení mrazu, má tendenci ke tvorbě sádrovcových krust, které se po čase oddělují od vlastní horniny. Reaguje velmi citlivě i na působení vodorozpustných solí.

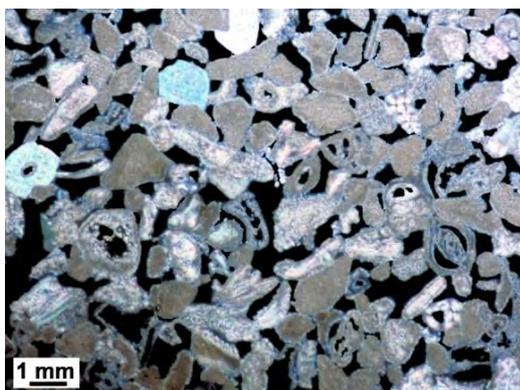
Breitenbrunner Stein

Ebenfalls auf der burgenländischen, also östlichen Seite des Leithagebirges wurde in Breitenbrunn ein Kalkarenit in unterschiedlich festen Qualitäten abgebaut. Die bekannteste Varietät, als „Bildhauerstein“ bezeichnet, zeichnet sich durch seine weiße Farbe und Feinheit aus und war für feingliedrige Bildhauerarbeiten sehr geschätzt

Die vor etwa 12 Mio Jahren im wenig bewegten Flachwasser abgesetzten, feinen Komponenten bestehen überwiegend aus Foraminiferenschalen und gelegentlichen Ooiden, die nur punktuell mit wenig calcitischem Kornzement verkittet sind, wodurch Porosität und Wasseraufnahme sehr hoch sind.

Die Verwendung des Breitenbrunner Steins war besonders im 14. und 15. Jahrhundert für feingliedrige Bildhauerarbeiten sehr verbreitet, aber auch im Barock und bis in die Wiener Ringstraßenzeit findet sich der Stein, dann aber eher in seinen festeren und dichteren Ausbildungen.

Die Witterungsbeständigkeit des Breitenbrunner Bildhauersteins ist so gering, dass er im Außenbereich relativ selten verwendet wurde. Er gilt als nicht frostbeständig, neigt zur Bildung von Gipskrusten, die nach einiger Zeit mit dem darunter liegenden Stein abplatzen, und reagiert sehr empfindlich auf lösliche Salze.



↑ Výbrus, vápenec Breitenbrunn, procházející světlo, zkřížené nikoly

↑ Breitenbrunner Leithakalk im Dünnschliff; Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren



↑ Kazatelna v Dómu Sv. Štěpána ve Vídni, cca. 1510, zhotovená z vápence Breitenbrunn

↑ Domkanzel (sog. Pilgramkanzel) im Wiener Stephansdom, aus Breitenbrunner Leithakalk, datiert um 1510 (Foto: wikipedia)

Vápence Au, Loretto a Stotzing

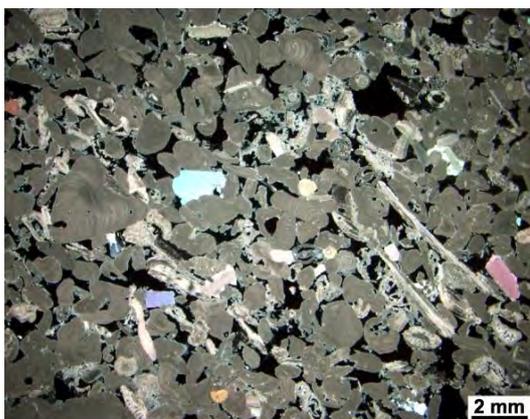
Kalkarenity z lokality Au na západní straně pohoří Leitha jsou zhruba stejného geologického stáří jako vápence Breitenbrunn. Jsou podobně jemnozrné a porézní, ale dají se rozlišit podle vysokého obsahu úlomků vápenatých červených řas (ruduch) při poměrně malém podílu úlomků foraminifer. Tyto součásti vznikly ze starších kalkarenitů a proto jsou označovány jako „detritické litavské vápence“. Pro světlý vápenec Loretto jsou charakteristické tmavé tečky způsobené přítomností částic oxidu manganičitého. Příležitostně se vyskytují i oolické variety.

Steine von Au, Loretto und Stotzing

Von etwa gleichem Bildungsalter wie der Breitenbrunner Stein sind die Kalkarenite aus der Gegend von Au an der Westseite des Leithagebirges. Ähnlich fein und poröse wie jener, sind diese an einem hohen Anteil von Bruchstücken aus Kalkrotalgen neben einigen Foraminiferen zu unterscheiden. Diese Komponenten entstammen eigentlich der Umlagerung älterer Leithakalkarenite, weswegen sie als „detritäre Leithakalke“ bezeichnet werden. Für den hellen Lorettostein sind überdies punktförmigen dunklen Flecken aus Manganoxid charakteristisch. Gelegentlich treten hier auch oolithische Varietäten auf.

V průměru mají tyto vápence velikost zrn do 2 mm a jsou méně jemnozrné jako sochařský kámen Breitenbrunn. Navzdory tomu byly tyto vápence od 14. století nejoblíbenějším sochařským kamenem v oblasti Vidně. Pevnější variety z lokality Au byly používány jako stavební kámen, např. pro gotické části Dómu Sv. Štěpána ve Vídni a nacházejí zase uplatnění i v architektuře vídeňské Ringstrasse.

Přesto, že je známo několik dobře zachovaných fasád z vápence Au nebo Stotzing jsou tyto kalkarenity obecně považovány za málo odolné vůči zvětrávání, přičemž jsou citlivé hlavně na působení mrazu a solí. Jako důsledek eroze lze často pozorovat tvorbu krust i pískovatění.



↑ Výbrus, vápenec Au, procházející světlo, zkřížené nikoly
↑ Auer Leithakalk im Dünnschliff, Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren

Im Schnitt sind die Steine mit bis zu 2 mm Korngröße etwas weniger feinkörnig als der Breitenbrunner Bildhauerstein, waren aber dennoch seit dem 14. Jahrhundert die beliebtesten Bildhauerstein des Wiener Raumes. Festere Varietäten aus Au wurden auch als Baustein, z.B. für die gotischen Teile des Stephansdoms in Wien, verwendet und finden sich dann wieder in der Wiener Ringstraßenarchitektur.

Trotz einiger gut erhaltener Außenfassadenaus Stotzing oder Auer Stein gelten diese Kalkarenite im allgemeinen als wenig witterungsbeständig, vor allem was die Einwirkung von Frost und Schadsalzen betrifft. Krusten- und Schalenbildung sind ebenso häufig wie Absanden zu beobachten.



↑ Detail figurální výzdoby z vápence Au na Dómu sv. Štěpána ve Vídni
↑ Detail einer Skulptur aus Auer Leithakalk vom Singertor des Wiener Stephansdoms

↓Vlastnosti některých důležitých kalkarenitů litavské formace

↓Kennwerte einiger wichtiger Kalkarenite der Leitaformation

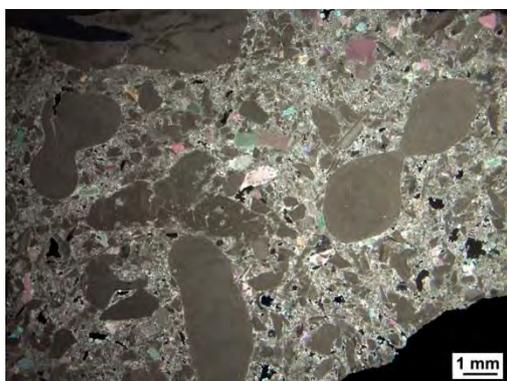
	Zogelsdorf	St. Margarethen	Breitenbrunn	Au, Stotzing
Objemová hmotnost [g/cm ³] Rohdichte [g/cm ³]	1,91	2,08	1,77	1,83
Celková pórovitost [obj. %] Gesamt-porosität [Vol.-%]	35–38	16–25	40–42	–
Pevnost v tlaku za sucha [N/mm ²] Druckfestigkeit trocken [N/mm ²]	4–38	42,6–56,1	13	11
Pevnost v tlaku po nasycení vodou [N/mm ²] Druckfestigkeit wassergesättigt [N/mm ²]	7–24	30,0–47,1	8	10
Nasákavost [hm. %] Wasseraufnahme [M.-%]	6,2–4,3	3,6–10,2	21,0	17,0
Rychlost šíření ultrazvuku [km/s] Ultraschallgeschwindigkeit [km/s]	2,9–3,8	2,9–3,8	2,5–2,7	2,6

Další litavské vápence

Řasové vápence

Vedle popsaných kalkarenitů mají ve fondu historických budov důležitou roli i řasové vápence z pohoří Leitha. Podobně jako na korálových útesech vytvářejí vápenné řasy rodu *Lithothamnium* navzájem spojené vrstvy, které postupně zkamení v útesy. Diagenetickým vysrážením vápence se mohou prostory mezi větvičkami a hlízami vyplnit natolik, že vzniknou téměř neporézní, kompaktní a leštitelné vápence s vysokou pevností. Tyto horniny se využívaly především ve stavebnictví a architektuře. Lze je však nalézt, především v 19. století, i na sochařských dílech. Jejich odolnost vůči zvětrávání není i při vysoké tvrdosti vždy dobrá, zejména u typů s vysokým obsahem jílových složek.

Nejnámější řasové vápence litavské formace pocházejí z lomů Kaisersteinbruch, Mannersdorf a Wöllersdorf.



Weitere Leithakalksteine

Algenkalke

Neben den beschriebenen Kalkareniten spielen auch die sogenannten „gewachsenen“ Algenkalke des Leithagebirges eine wichtige Rolle im Denkmalbestand. Ähnlich einem Korallenriff bilden auch Kalkalgen vom Typ *Lithothamnium* zusammenhängende Lagen, die zu Riffen versteinern. Durch diagenetische Kalkausscheidung können die Zwischenräume zwischen den ästchen- oder knollenförmigen Algenskeletten soweit verdichtet werden, dass annähernd porenfreie und polierbare Gesteine mit hoher Festigkeit entstehen. Bevorzugt wurden diese Steine im Bauwesen und der Architektur eingesetzt, es finden sich aber auch, besonders im 19. Jahrhundert, Skulpturen aus solchen dichten Leithakalken. Ihre Witterungsbeständigkeit ist trotz der Härte nicht immer gut, besonders in Sorten, die erhöhte Tongehalte aufweisen.

Die bekanntesten Algenkalksorten der Leithaformation stammen aus Kaisersteinbruch, Mannersdorf und Wöllersdorf.

← Výbrus, Mannersdorfský řasový vápenec, tvrdá varieta, optický mikroskop, procházející světlo, zkřížené nikoly

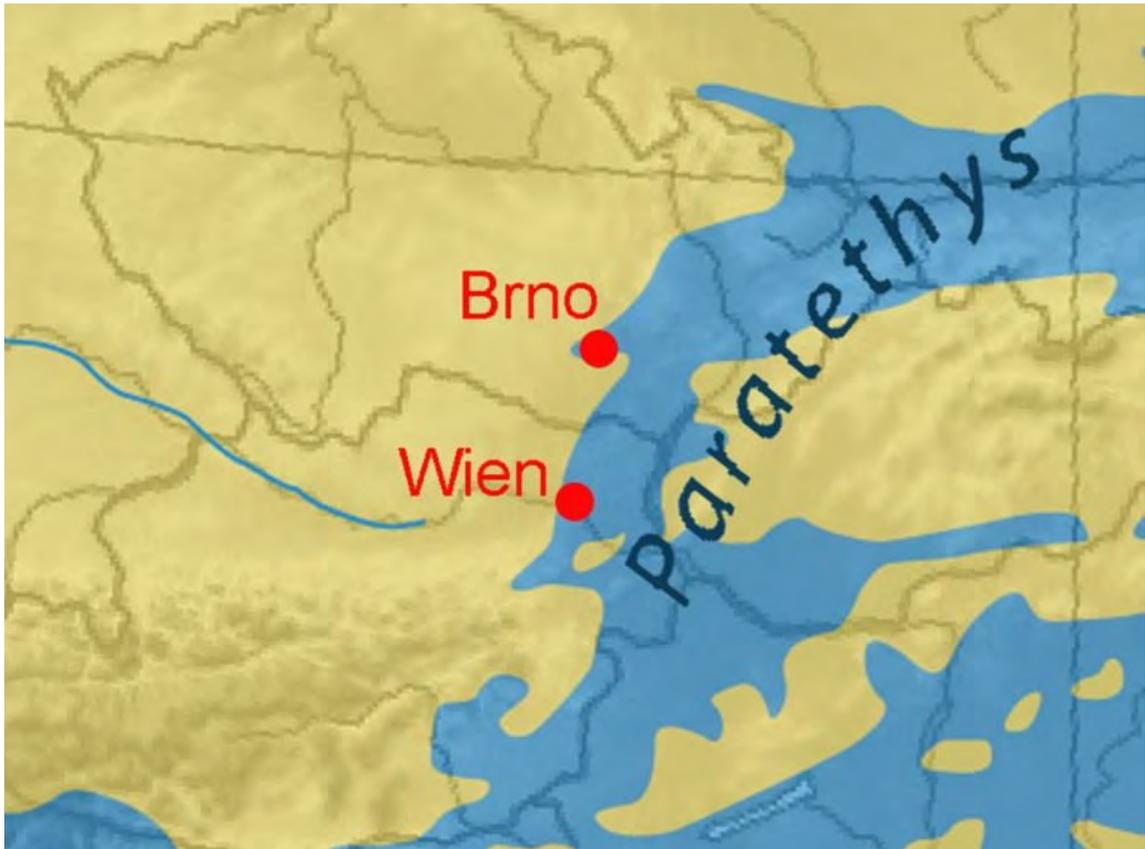
← Mannersdorfer Algenkalk vom Typ „Hart“ im Dünnschliff, Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren

Konglomeráty

Jak již bylo zmíněno, tak především podél západního pobřeží moře Parathetys, kde řeky a potoky tekoucí z předhůří Alp přinášely štěrk, vznikaly konglomeráty, které přecházely částečně na kalkarenity. Hrubě strukturované a často dírkované horniny byly používány ve středověku spíše ojediněle, získaly ale na důležitosti především pro technické stavby 19. století. Mnohé druhy jsou z důvodu kompaktnosti pojiva dobře odolné vůči zvětrávání, ale představují problém, když je obsah jílových složek vysoký. V tomto případě dochází působením mrazu nebo solí ke ztrátě soudržnosti tvrdých vápenných oblázků, což má za následek vznik trhlin a vylamování větších částí horniny. Tento typ poškození lze běžnými konzervačními prostředky stabilizovat jen velmi obtížně. Nejznámější litavské konglomeráty pocházejí z linie termálních pramenů na západním okraji jižní vídeňské pánve, jmenovitě z lokalit Lindabrunn, Bad Fischau a Baden.

Konglomerate

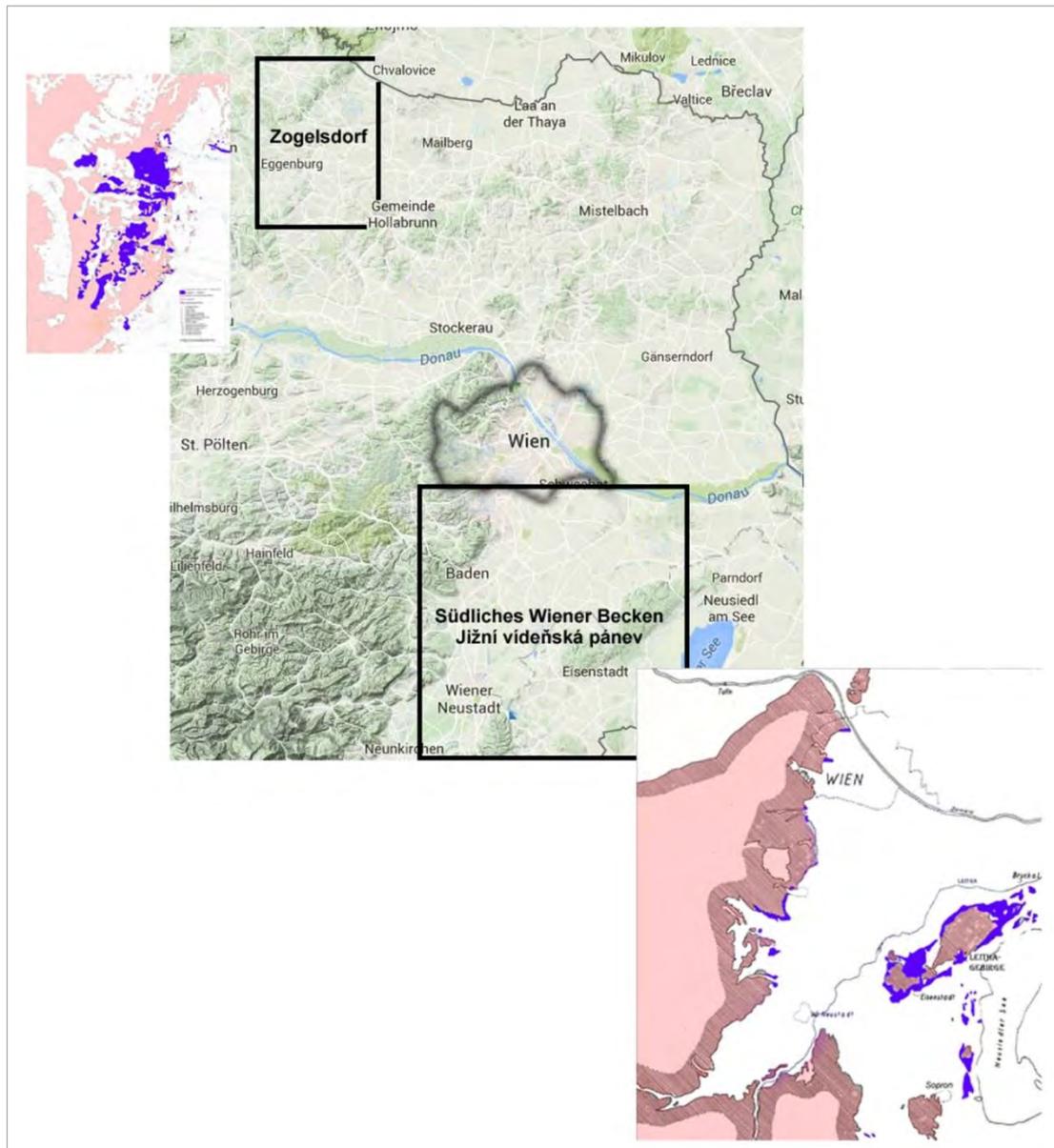
Wie eingangs bereits erwähnt, sind besonders entlang der westlichen Küstenlinie der Parathetys, wo aus den Kalkvorlpen kommende Flüsse und Bäche Schotter angeliefert haben, Konglomerate entstanden, die teilweise in Kalkarenite übergehen. Die grob strukturierten und oft löchrigen Gesteine sind im Mittelalter eher selten verwendet worden, konnten aber vor allem für technische Bauwerke des 19. Jahrhunderts Bedeutung erlangen. Viele Sorten sind aufgrund der Dichtigkeit des Bindemittels gut beständig, stellen aber dann ein Problem dar, wenn die Tongehalte zu hoch sind und aufgrund von Frost- oder Salzeinwirkung die Bindekraft für die harten Karbonatgerölle verloren geht, wodurch es zu Rissbildung und großvolumigen Ausbrüchen kommen kann. Solche Schäden sind mit den herkömmlichen Konservierungsmitteln nur schwer zu beheben bzw. zu stabilisieren. Die bekanntesten Leithakonglomerate stammen aus der Thermenlinie am Westrand des südlichen Wiener Beckens, nämlich aus Lindabrunn, Bad Fischau und Baden.



↑ Rozšíření centrální části moře Paratethys jako sedimentačního prostoru litavských vápenců před 17 až 13 miliony let [6]

↑ Erstreckung der Zentralen Paratethys als Sedimentationsraum der Leithakallevor 17 bis 13 Mio. Jahren [6]

⁶ Výpis z/ Auszug aus: „Paratethys vor 17-13 Mio Jahren“ mapy: NordNordWest, Lizenz: Creative Commons by-sa-3.0 de. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 de über Wikimedia Commons – http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paratethys_vor_17-13_Mio_Jahren.png#/media/File:Paratethys_vor_17-13_Mio_Jahren.png



↑ Regiony s hlavními zdroji litavských vápenců v Dolním Rakousku. Modrá: terciární litavské vápence. Geologické skicy na základě zdrojů [3, 4].

↑ Die Regionen mit den wichtigsten Vorkommen von Leithakalken im südlichen bzw. nördlichen Niederösterreich. Blau: tertiäre Leithakalke. Geologische Skizzen in Anlehnung an [3] und [4].

ZKOUŠKY MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ

Úvod

Výběr vhodného, případně hodnocení provedeného konzervačního materiálu nebo postupu vyžaduje často objektivní a někdy i kvantitativně srovnatelné posouzení [7]. V minulosti se hodnocení úspěšnosti konzervačních opatření provádělo prakticky výlučně na empirickém základě nebo subjektivním posouzení. V současnosti je možné využít celou řadu přírodovědných metod průzkumu umožňujících upřesnění a objektivizaci dosažených výsledků a často i odhad možných rizik a určité predikce do budoucna.

V rámci péče o sochařská a umělecko-řemeslná díla z kamene je jedním z častých a velmi důležitých konzervačních opatření konsolidace (zpevnění). Konsolidaci neboli zpevňování lze charakterizovat jako úkon, jehož cílem je obnovit zhoršené mechanické vlastnosti poškozených částí restaurovaného díla ve smyslu zlepšení koheze degradovaných částí (např. vzájemné soudržnosti zrn horniny) nebo adheze mezi jednotlivými poškozenými vrstvami (vzájemná soudržnost různých vrstev). Obecně může konsolidace zahrnovat poměrně široké spektrum opatření od stabilizace povrchových vrstev, přes hloubkové zpevnění degradované struktury hornin až po injektáž prasklin a dutin.

⁷ Macounová, D. (2013)

PRÜFUNG DER MATERIALEIGENSCHAFTEN

Einleitung

Die Auswahl eines geeigneten Konservierungsmittels bzw. die Bewertung der Applikationsmethode erfordert häufig eine objektive und manchmal auch quantitative Auswertung der Ergebnisse [7]. In der Vergangenheit wurde der Erfolg der Konservierungsmaßnahmen praktisch ausschließlich auf empirischer Basis durchgeführt. Heute kann man eine ganze Reihe naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden einsetzen, die die erzielten Ergebnisse präzisieren und objektivieren und die uns oftmals auch helfen können, mögliche Risiken abzuschätzen und gewisse Vorhersagen zur Dauerhaftigkeit der Maßnahmen zu treffen.

Eine der häufigsten und wichtigsten Konservierungsmaßnahmen im Zuge der Restaurierung von Skulpturen ist die Gefügefestigung oder Konsolidierung. Unter diesem Begriff versteht man ein Verfahren, durch das die alterungsbedingt verminderten mechanischen Eigenschaften der betroffenen Bereiche des Objekts verbessert werden, womit eine Stärkung der Kornhaftung zwischen den Komponenten (Kohäsion) oder der Haftung zwischen den geschwächten Schichten (Adhäsion) angestrebt wird. Die Festigung kann im Allgemeinen ein ziemlich breites Spektrum verschiedener Maßnahmen umfassen, von der Stabilisierung der Oberflächenschichten, über eine tiefgreifende Festigung des geschwächten Steingefüges bis hin zur

Cílem konsolidace je, jak již bylo zmíněno výše, obnova nebo přiblížení se mechanickým vlastnostem původní nepoškozené horniny. Téměř vždy to znamená snahu o zvýšení pevnosti degradovaného materiálu. Současně by v důsledku zpevnění nemělo dojít k výrazným změnám dalších vlastností horniny (např. barva, lesk, pórovitost, roztažnost, atd.[8,9]). Do hodnocení dosažení výše uvedeného cíle je proto nutné zahrnout i posouzení všech „vedlejších“ efektů a rizik, které konzervační opatření přináší [10, 11, 12]. Z tohoto pohledu lze cíle posuzování úspěšnosti konsolidace rozdělit do dvou základních okruhů:

1. Hodnocení úspěšnosti konsolidace daného materiálu (kamene) z hlediska „obnovení“ jeho soudružnosti, respektive zlepšení mechanických vlastností poškozených částí.
2. Evaluace možných rizik a vedlejších nežádoucích, krátkodobých i dlouhodobých účinků konsolidace.

kraftschlüssigen Rissverklebung bzw. dem Füllen von Hohlräumen. Endziel einer Festigung in diesem Sinne ist die annähernde Wiederherstellung der ursprünglichen mechanischen Eigenschaften des Steins. Gleichzeitig sollten sich aber auch die anderen physikalischen Eigenschaften nach der Festigung von den ursprünglichen Eigenschaften nicht bedeutend unterscheiden [8, 9]. Bei der Bewertung, ob das oben genannte Ziel erreicht wurde, müssen auch die „Nebeneffekte und -risiken“, die die Konservierungsmaßnahme mit sich bringt, abgeschätzt werden [10, 11, 12]. Aus diesem Blickwinkel kann die Bewertung des Festigungserfolgs in Bezug auf die Zielsetzung in zwei Bereiche eingeteilt werden:

1. Die Beurteilung des Festigungserfolgs des gegebenen Steinmaterials in Bezug auf die vorhandenen Gefügedefekte, beziehungsweise die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der geschädigten Gesteinszonen.
2. Die Bewertung potenzieller Risiken und Nebenwirkungen mit kurz- und langfristigen Auswirkungen.

In der üblichen restauratorischen Praxis wird der Festigungserfolg gewöhnlich nur visuell oder haptisch überprüft. Diese Methode ist bestimmt ein bedeutender Bestandteil der Bewertung, aber kann manche Fragen nicht verlässlich beantworten und kann gleichzeitig sehr

⁸ Sasse, H. R.; Snethlage, R. (1996).

⁹ Tabasso, M. L.; Simon, S. (2006)

¹⁰ Snethlage, R. (2005).

¹¹ Rodrigues, J. D.; Grossi, A. (2007)

¹² Bayer, K. (2008),.

V běžné restaurátorské praxi se úspěšnost konsolidace hodnotí obvykle pouze vizuálně nebo hapticky (hmatově). Tento způsob je určitě důležitou součástí hodnocení, ale na mnohé otázky nedokáže dát spolehlivou odpověď a zároveň může být často velmi subjektivní. V současnosti je k dispozici celá řada přírodovědných metod, které umožňují upřesnit posouzení účinnosti zpevnování i jeho možných důsledků [13].

Z nejdůležitějších parametrů umožňujících upřesnění hodnocení zpevnění lze jmenovat pevnost (v tahu, v tahu za ohybu, v tlaku) i hloubkový profil pevnosti, dále hloubku průníků konsolidantu a jeho distribuci v konsolidovaném materiálu. Na druhé straně je důležité zabývat se i vlastnostmi, které by se v důsledku konsolidace významně měnit neměly, jako optické vlastnosti (barva, lesk), dilatace (tepelná a vlhkostní roztažnost), modul pružnosti, pórovitost a vlastnosti související s transportem vody v kapalném nebo plynném skupenství (nasákavost, paropropustnost).

Velmi důležitým kritériem je dlouhodobá stabilita konsolidantu a vyloučení rizika zanášení, respektive vzniku vedlejších reakčních produktů.

subjektiv sein. Heute steht eine ganze Reihe von naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden zur Verfügung, die die Bewertung der Festigungseffektivität und ihre Auswirkungen zu präzisieren ermöglichen [13].

Zu den wichtigsten Kenngrößen, die den Festigungserfolg beschreiben können, zählen die mechanische Festigkeit unter Zug-, Biegezug- und Druckbeanspruchung, denen besonders in Hinblick auf das Tiefenprofil Bedeutung zukommt; weiters die Eindringtiefe des Festigungsmittels und die Verteilung des festigenden Wirkstoffs im Porengefüge. Man sollte sich aber auch mit solchen Eigenschaften beschäftigen, die sich infolge der Festigung nicht bedeutend verändern sollten, wie z. B. dem optischen Erscheinungsbild (Farbe, Glanz), dem Dehn- und Quellverhalten unter Temperatur- und Feuchteeinwirkung (Dilatation), dem Elastizitätsmodul, der Porosität und denjenigen Materialeigenschaften, die im Zusammenhang mit dem Wassertransport im flüssigen und gasförmigen Zustand stehen (Kapillarwasseraufnahme, Trocknung und Dampfdurchlässigkeit).

Ein sehr wichtiges Kriterium ist natürlich auch die Langzeitstabilität des Wirkstoffs, ohne dass es zur Entstehung von schädlichen Nebenprodukten kommen darf.

¹³ Slížková, Z. et al. *Metodika určení rozhodných materiálových charakteristik historických stavebních materiálů pro plánovaný restaurátorský zásah. UTAM Praha, NAKI18-MET_1 ; 2015*

¹³ Slížková, Z. et al. *Methodology for determining the relevant material characteristics of historical building materials for the restoration intervention. UTAM Praha, NAKI18-MET_1 ; 2015*

Některé parametry lze zjistit bez odběrů vzorků takzvanými neinvazivními metodami, další metody naopak vyžadují odběr vzorků nebo testování na standardních materiálech odpovídajících originálu [14, 15, 16].

Neinvazivní metody (nedestruktivní)

Neinvazivní metody umožňují získat informaci o vlastnostech zkoumaného objektu, respektive materiálu bez odebírání vzorků nebo zasahování do jeho hmotné podstaty. Jejich výhodou spočívá nejen v „nedestruktivnosti“, ale i v tom, že počet měřících bodů je téměř vždy vyšší než u metod vyžadujících odběr vzorků. Tím se zvyšuje i reprezentativnost výsledků průzkumu a stejně tak i pravděpodobnost, že se zjištěné hodnoty budou více přibližovat skutečnému stavu zkoumaného objektu. Na druhé straně lze celou řadu důležitých parametrů zjistit pouze metodami vyžadujícími odběr vzorků nebo jiný zásah do hmotné podstaty památky.

Invazivní metody (destruktivní)

Jejich využití je spojeno se zásahem do hmoty objektu, nejčastěji ve formě odběru vzorků. Lze k nim zařadit i takzvané mikrodestruktivní metody (u nichž je zásah minimální). Vzorky se obvykle odebírají z referenční plochy před a po aplikaci konsolidantu nebo série konsolidantů.

¹⁴ Macounová, D. et al (2015)

¹⁵ Drdácák, M., Slížková, Z. (2008)

Einige der genannten Kennwerte kann man ohne Probeentnahme mit so genannten zerstörungsfreien Methoden bestimmen, andere wiederum erfordern eine Probenentnahme oder die Prüfung von Referenzmaterialien, die dem Original entsprechen [14, 15, 16].

Zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden

Mittels zerstörungsfreier Methoden kann man Informationen über die Eigenschaften des Untersuchungsobjekts beziehungsweise -materials ohne Eingriff in die Objeksubstanz erhalten. Der Vorteil solcher Verfahren liegt nicht nur in ihrem das Untersuchungsobjekt schonenden Messprinzip, sondern auch in der höheren Anzahl möglicher Messpunkte im Vergleich zu zerstörenden Methoden. Dadurch wird die Repräsentativität der Untersuchung erhöht und damit auch die Wahrscheinlichkeit, dass die erhaltenen Informationen den tatsächlichen Objektzustand erfassen. Jedoch kann eine ganze Reihe von Kenngrößen nur durch solche Methoden bestimmt werden, die eine Probeentnahme oder einen anderen Eingriff in die Substanz des Objekts erfordern.

Zerstörende (invasive) Methoden

Ihre Anwendung ist mit einem Eingriff in die Substanz des Objekts verbunden, am häufigsten in der Form einer Probenentnahme. Zu diesen Methoden können auch die so genannten zerstörungsfreien Methoden, bei denen der Eingriff minimal ist, gezählt werden.

¹⁶ Macounová, D. et al. (2014)

Specifickou možností je provádění zkoušek na materiálu, který je identický s materiálem originálu (například stejný typ horniny) nebo je mu velmi podobný. Zde může být ovšem limitujícím fakt, že tento referenční materiál často nevykazuje odpovídající známky poškození.

Odběr vzorků historického materiálu z kulturních památek za účelem jeho charakterizace během všech stadií konzervátorského procesu popisuje norma EN 16085 (2012) Conservation of Cultural property - Methodology for sampling from materials of cultural property - General rules.

Tato norma upozorňuje na skutečnost, že odběr vzorků je vždy invazivní a i když minimálně, ale i tak nevratně poškozuje kulturní památku. Odběr vzorků má být proto proveden pouze v jednoznačně zdůvodněných případech a v nejtěsnější konzultaci s osobami odpovědnými za památku a s osobami, které budou vzorky studovat. Je nutné vzít v úvahu, zda případně nelze získat stejnou informaci neinvazivním způsobem.

Die Proben werden gewöhnlich von einer Referenzfläche vor und nach der Applikation des Festigers oder einer Reihe von Festigern entnommen. Zur Vermeidung von Beschädigungen besteht unter Umständen auch die Möglichkeit, die Untersuchungen an dem Original identischen Material durchzuführen, etwa an Proben der selben Gesteinssorte. Hier kann sich jedoch der Umstand als limitierend erweisen, dass solches

Vergleichsmaterial oft nicht das entsprechende Schadensbild aufweist. Die Probeentnahme am historischen Material der Kulturdenkmäler zum Zweck seiner Charakterisierung während aller Etappen der Konservierungsmaßnahme wird in der Norm EN 16085 (2012) Conservation of Cultural property - Methodology for sampling from materials of cultural property - General rules (Erhaltung des kulturellen Erbes — Verfahren der Probenahme an Materialien des kulturellen Erbes - Allgemeine Regeln) beschrieben. Diese Norm weist darauf hin, dass die Probeentnahme invasiv ist und das Denkmalobjekt irreversibel, auch wenn nur wenig, beschädigt. Deswegen sollen die Proben nur in eindeutig begründbaren Fällen sowie in enger Zusammenarbeit der für die Erhaltung verantwortlichen Personen mit denjenigen, die die Untersuchungen durchführen, entnommen werden. Dabei muss man in Erwägung ziehen, ob die gleichen Informationen nicht auch durch zerstörungsfreie Methoden gewonnen werden können.

↓ Hlavní materiálové charakteristiky využívané pro hodnocení kamene v rámci konzervačních opatření

Vlastnost	Symbol Jednotka
Hloubka degradované vrstvy, která má být zpevněna	– [mm nebo cm]
Mikrostrukturní vlastnosti: četnost, velikost, tvar a propojenost pórů, množství pojiva/tmelu, popis a lokalizace defektů (praskliny, trhliny)	popis mikroskopického nebo rentgenového obrazu příčného řezu
Velikost pórů stanovená rtuťovou porozimetrií	– [μm]
Smáčivost pro vodu a organická rozpouštědla (úhel smáčení nebo rychlost vsáknutí kapky)	– [° nebo s]
Koeficient kapilární absorpce vody	W [kg·m ⁻² ·hod ^{-1/2}]
Otevřená (efektivní) pórovitost	P _o [% obj.]
Chemické složení složek	–
Přítomnost sekundárních vodorozpustných solí v hloubkovém profilu	– [% hm. nebo mg/g]
Obsah vlhkosti v hloubkovém profilu	– [% hm.]
Minerální (fázové) složení materiálu v hloubkovém profilu	–
Rychlost vysychání vody	– [kg·m ⁻² ·hod ^{-1/2}]
Faktor difuzního odporu pro vodní páru	μ -
Povrchová soudržnost (hmotnost odtrženého materiálu)	A [g]
Odpor proti vrtání (pokud metoda poskytuje jednoznačně interpretovatelné výsledky)	– [N] nebo [s]
Rychlost šíření signálu ultrazvuku (UZ/ultrazvuková transmise)	V [km/s]
Modul pružnosti	E [MPa]
Pevnost v tahu za ohybu	R _c [N·mm ⁻²] nebo [MPa]
Teplotní roztažnost	α _T [μm/K]
Vlhkostní roztažnost	α _H [μm/m]
Mrazuvzdornost	počet cyklů
Odolnost vůči vodorozpustným solím	počet cyklů
Změna barvy a lesku	slovně nebo $\Delta E = \nu \Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2$

↓ Die wichtigsten Materialcharakteristiken, die für die Bewertung des Gesteins im Rahmen der Konservierungsmaßnahme von Relevanz sind

Eigenschaft	Symbol Einheit
Tiefe der verwitterten Schicht, die gefestigt werden soll	– [mm oder cm]
Gefügeeigenschaften: Anzahl, Größe, Form und Verbindung der Poren, Bindemittelmenge, Beschreibung und Lokalisation der Gefügedefekte (Risse u.ä.)	Mikroskopischer Querschliffbefund, ev. mit röntgenspektroskopischer Zusatzinformation
Porengrößenverteilung bestimmt mittels Quecksilberporosimetrie	– [μm]
Benetzbarkeit durch Wasser und organische Lösungsmittel (Randwinkel oder Geschwindigkeit des Tropfenaufsaugens)	– [$^\circ$ oder s]
Koeffizient der kapillaren Wasseraufnahme	W [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Std.}^{-1/2}$]
Offene (effektive) Porosität	P_o [% Vol.]
Chemische Zusammensetzung	–
Menge an sekundären wasserlöslichen Salzen im Tiefenprofil	– [% Gew. oder mg/g]
Feuchtegehalt im Tiefenprofil	– [% Gew.]
Mineralogische Zusammensetzung des Materials im Tiefenprofil	–
Trocknungsrate	– [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Std.}^{-1/2}$]
Wasserdampfdiffusionwiderstandszahl	μ -
Haftzugfestigkeit (Gewicht des abgelösten Materials)	A [g]
Bohrwiderstand (sofern diese Methode eindeutige Ergebnisse bringt)	– [N] oder [s]
Ultraschallgeschwindigkeit (Ultraschalltransmission)	V [km/s]
Elastizitätsmodul	E [MPa]
Biegezugfestigkeit	Rc [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$] oder [MPa]
Thermische Dehnung	α_T [$\mu\text{m}/\text{K}$]
Feuchtedehnung	α_H [$\mu\text{m}/\text{m}$]
Frostbeständigkeit	Anzahl der Frostzyklen
Beständigkeit gegenüber wasserlösliche Salze	Anzahl der Kristallisationszyklen
Farb- und Glanzveränderung	Wortbeschreibung oder $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$

Mikroskopické diagnostické metody

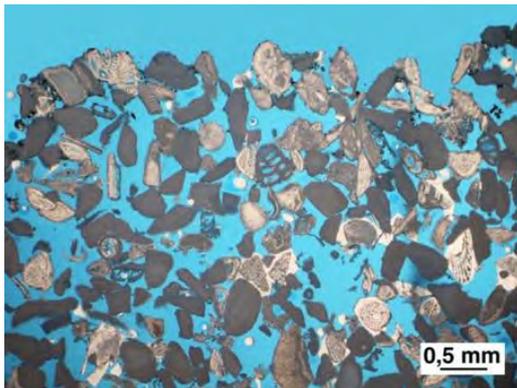
Mikroskopie zahrnuje všechny zobrazovací zvětšovací metody, které jsou založeny na přímém zobrazení nebo rastrování zkoumaného objektu. Na rozdíl od fyzikálních nebo chemických výzkumných technik, kde se zjištěné hodnoty vztahují k určitému objemu vzorky, umožňuje mikroskopie pozorování a zkoumání vzorku s lokálním rozlišením. Tím se tyto metody nabízejí ke studiu struktury a distribuce účinných složek zpevňovacích prostředků ve zpevňované hornině. Nutným předpokladem je možnost odlišení konsolidantu od komponentů tvořících vlastní zpevňovaný materiál (tzv. substrát). K tomuto účelu je nezbytné využít kombinaci různých mikroskopických metod, které ke zkoumání využívají obvykle leštěných výbrusů.

Optická mikroskopie výbrusů v procházejícím světle představuje jednu z klasických průzkumových metod využívaných v geologii a petrografii. Zkoumaný materiál – vzorek se odřízne obvykle kolmo k povrchu a řeznou plochou se přilepí k podložnému sklíčku. Následně se seřízne, zbrousí a vyleští na tloušťku kolem 25 μm . Pozorování a studium vzorku v polarizačním mikroskopu umožňuje získání celé řady poznatků mineralogické podstaty jednotlivých komponentů a jejich struktury. U porézních materiálů je nutné nejdříve provést impregnaci vzorku syntetickou pryskyřicí a až potom zhotovit výbrus. Pryskyřici lze zabarvit pomocí barviva (nejčastěji modrým barvivem) a potom lze na výbrusu dobře odlišit póry a trhliny díky barvě pryskyřice, která je vyplňuje.

Mikroskopische Diagnosemethoden

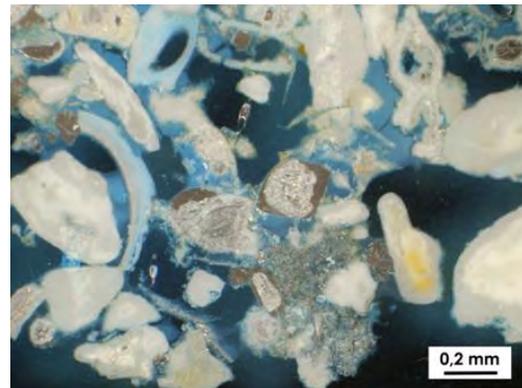
Unter Mikroskopie verstehen wir all jene bildgebenden Vergrößerungsverfahren, die entweder auf einer direkten Abbildung, oder auf dem Abrastern eines Objektes beruhen. Im Unterschied zu den üblichen physikalischen oder chemischen Untersuchungstechniken, deren Messwerte sich auf ein Probevolumen beziehen, erlaubt die Mikroskopie sogenannte ortsauflösende Beobachtungen. Damit bieten sich solche Methoden für die Studie von Struktur und Verteilung der Wirkstoffe von Festigungsmitteln im Steingefüge unter der Voraussetzung an, dass der Wirkstoff des Festigers sich von den Komponenten des Substrats optisch unterscheiden lässt. Dazu ist die Kombination verschiedener Methoden der Mikroskopie notwendig, die großteils auf polierten Schlifften angewandt werden.

Die Lichtmikroskopie an Dünnschlifften im Durchlicht stellt eine klassische Methode der Geologie und Petrographie dar. Hierzu wird das Probenmaterial – meist normal zur Oberfläche geschnitten und auf ein Glasplättchen aufgeklebt - auf eine Dicke von ca. 25 μm geschliffen und poliert. Die Betrachtung im Polarisationsmikroskop ermöglicht eine Vielzahl von Aussagen zur mineralogischen Natur der Komponenten und zu ihren Gefügebeziehungen. Bei porösen Proben sorgt eine vorherige Tränkung mit Kunstharz für optimale Schliffbedingungen. Wenn wir dieses Harz mit einem Farbstoff versetzen – in unserem Fall ist es blau – dann sind Poren und Risse im Schliff an ihrer Farbe sehr gut erkennbar.



↑ Výbrus nezpevněného litavského vápence (polarizační mikroskop, procházející světlo / světlé pole)

↑ Dünnschliffbild eines unbehandelten Leithakalkes (PLM: Durchlicht/Hellfeld)



↑ Výbrus litavského vápence zpevněného prostředkem CaLoSiL (polarizační mikroskop, procházející světlo / tmavé pole)

↑ Dünnschliffbild eines mit CaLoSiL behandelten Leithakalkes (PLM: Durchlicht/Dunkelfeld)

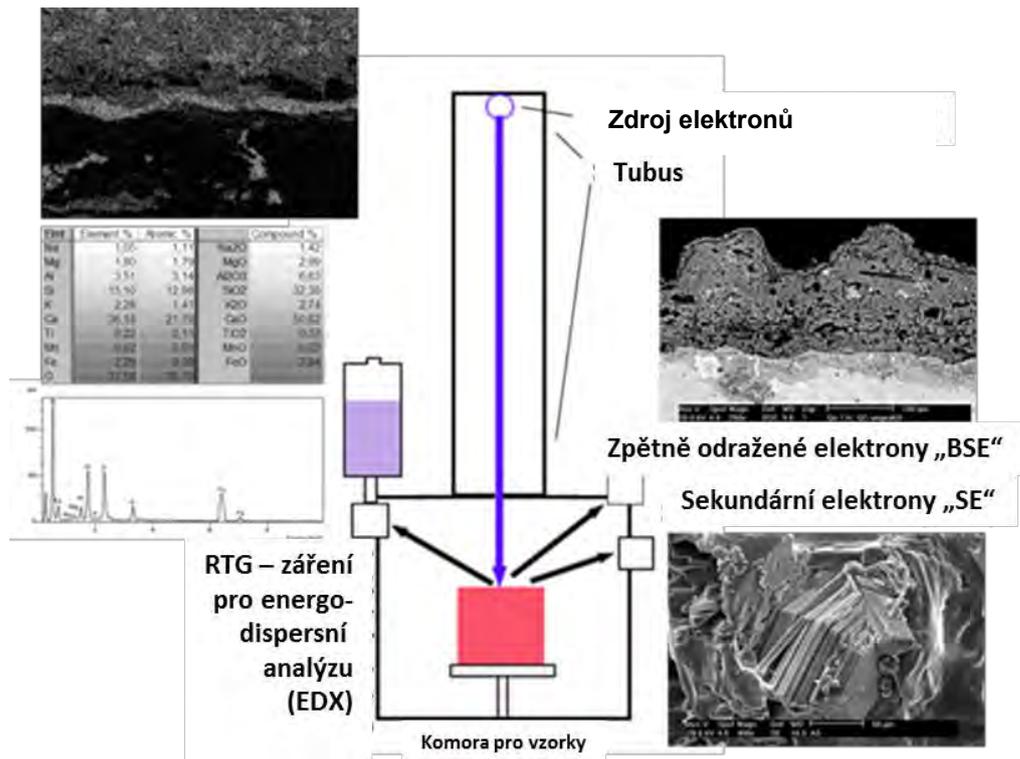
Jednou z výhod optického mikroskopu je možnost zkoumání vzorků (mikroskopických preparátů) od nízkých až po střední zvětšení (ca. 10- až 1000-násobné zvětšení), což dovoluje zachycení i větších ploch vzorku ve výbrusu. Dvojlom představuje primární rozlišovací kritérium polarizační mikroskopie, což ale předpokládá krystalickou strukturu zkoumaného materiálu. Účinné látky zpevňovacích prostředků jsou obvykle v amorfni nebo kryptokrystalické formě a proto optická mikroskopie sama o sobě nemusí být vždy dostačující. Jako další mikroskopická metoda se používá rastrovací elektronová mikroskopie, která má tu výhodu, že ve srovnání s optickou mikroskopií dovoluje vyšší hloubkovou ostrost i při větších zvětšeních. Rastrovací elektronový mikroskop (REM) využívá několik fyzikálních i technických principů, které umožňují velmi dobré zobrazení detailů na výbrusech i vzorcích s nerovným povrchem. Současně je možné využít emitované RTG – záření na chemickou prvkovou analýzu výseku nebo i jednotlivých bodů zkoumaného vzorku.

Einer der Vorteile des Lichtmikroskops liegt in der Möglichkeit, das Präparat in einem weiten Bereich von niedrigen bis mittleren Vergrößerungen zu untersuchen (etwa 10- bis 1.000-fach), womit auch größere Ausschnitte von Schliffen erfasst werden können. Da das Prinzip der Doppelbrechung ein primäres Erkennungsmerkmal im Polarisationsmikroskop darstellt, das allerdings eine kristalline Struktur voraussetzt, und da Wirkstoffe von Festigern zum Teil im amorphen oder kryptokristallinen Zustand vorliegen, ist dieses Verfahren alleine nicht immer ausreichend. Als weiterführende Methode ist die Rasterelektronenmikroskopie von Vorteil, welche – im Gegensatz zu lichtoptischen Durchlichtmikroskopen – eine höhere Schärfentiefe der erzeugten Abbildungen der Probenoberflächen erlaubt. Das Rasterelektronenmikroskop (REM) beruht auf mehreren Effekten, die Details von unebenen Probenflächen oder aber von polierten Schliffen abbilden und zugleich die emittierte Röntgenstrahlung zur chemischen Analyse des Bildausschnitts oder einzelner Punkte verwendet.



↑ Polarizační mikroskop

↑ Polarisationsmikroskop



↑ Funkční schéma a možnosti rastrovacího elektronového mikroskopu

↑ Funktionsschema und Möglichkeiten des Rasterelektronenmikroskopes

Pro lepší vzájemné srovnání výsledků zkoumání vzorků pomocí polarizační a elektronové mikroskopie se v ideálním případě používají stejné výbrusy pro obě metody. Pro zkoumání výbrusů nebo nábrusů pomocí rastrovací elektronové mikroskopie je vhodné používat detektor odražených elektronů (BSE „backscattered electrons“). V tomto případě lze jednotlivé komponenty odlišit podle šedých tónů na základě jejich hustoty a atomové hmotnosti prvků, které je tvoří. Komponenty s nižší hustotou a sloučeniny obsahující prvky s nižším atomovým číslem jsou tmavší. Póry v horninách jsou zobrazeny černě.

Vedle možnosti chemické analýzy spočívá výhoda rastrovací elektronové mikroskopie ve vysoké rozlišovací schopnosti, která umožňuje pozorování v řádech mikrometrů. Zároveň lze zobrazit hraniční plochy velmi ostře, takže lze velmi dobře rozpoznat charakteristické a velmi jemné detaily struktury zkoumaného materiálu.

Principiálně lze snímky (obrázky, fotografie) z obou zmíněných mikroskopických technik využít pro další zpracování pomocí obrazové analýzy. Po převedení jednotlivých složek zkoumaného vzorku do tzv. nepravých barev, což je relativně časově náročné, je lze nejen velmi názorně zobrazit, ale je například možné pomocí speciálního softwaru vypočítat množství konsolidantu nebo procentuální vyplnění porézního prostoru konsolidantem v různých hloubkách vzorku.

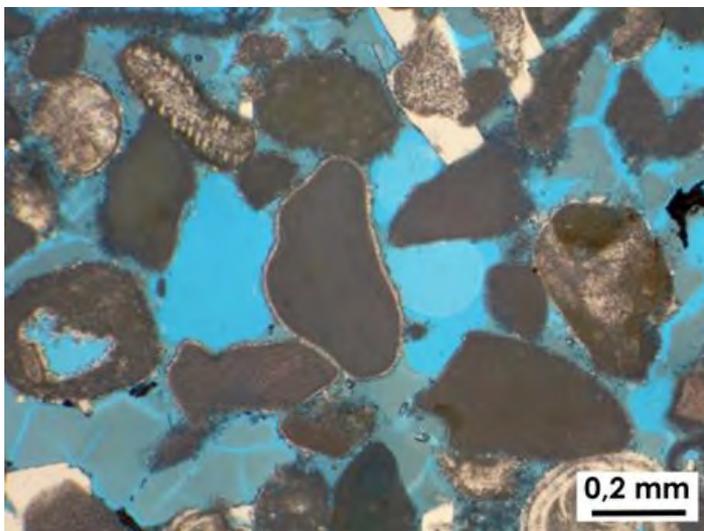
Neben der Möglichkeit zur chemischen Analytik liegt der Vorteil des REM gegenüber der Lichtmikroskopie in einer hohen Auflösung, die Beobachtungen im Mikrometerbereich und darunter ermöglicht; anders als beim Lichtdurchgang durch den Dünnschliff wird hier zudem eine scharfe Grenzfläche abgebildet, sodass Gefügemerkmale oft deutlicher erkennbar werden.

Zum besseren Vergleich mit den Beobachtungen aus der Polarisationsmikroskopie werden idealerweise die selben Schliffpräparate verwendet. Der für Schliffe geeignete Detektor ist der Rückstreuelektronendetektor („BSE“ nach backscattered electrons). Hierbei werden die Komponenten in Abhängigkeit von ihrer mittleren Atomzahl und der Dichte an unterschiedlichen Grautönen erkennbar. So erscheinen Poren schwarz.

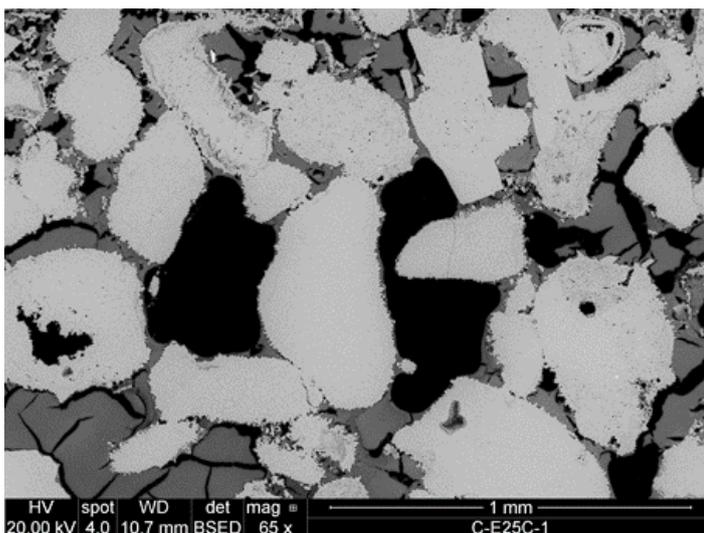
Prinzipiell können Schliffbilder aus beiden Mikroskopie-Anwendungen zur digitalen Bildanalyse herangezogen werden. Nach einer relativ zeitaufwändigen Belegung einzelner Komponenten mit Falschfarben, im besonderen des Festigungsmittels in Beziehung zu den Mineralkörnern und Poren des Substrats, können mithilfe spezieller Computerprogramme zum Beispiel prozentuelle Porenfüllungsgrade für verschiedene Tiefenabschnitte berechnet werden.

Pomocí rastrovací elektronové mikroskopie však nelze zachytit větší plochy výbrusu, což je určitá nevýhoda ve srovnání s polarizační optickou mikroskopií. Pro zobrazení větších oblastí je proto nutné provádět digitální spojování jednotlivých detailních snímků a následně je pak možné obraz dále zpracovat stejným způsobem jak je popsáno výše.

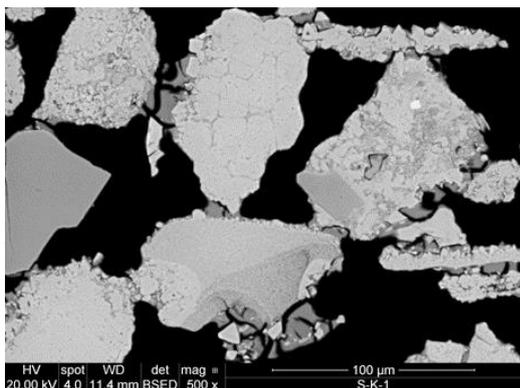
Große Schliffbereiche können jedoch mit dem REM nicht in einem Bild erfasst werden, was einen gewissen Nachteil gegenüber dem Polarisationsmikroskop darstellt. Das digitale Aneinanderfügen von Detailbildern ist zur Darstellung größerer Abschnitte notwendig – erlaubt jedoch die Erfassung eines gesamten Probenquerschnittes mit allen weiteren Analysemöglichkeiten.



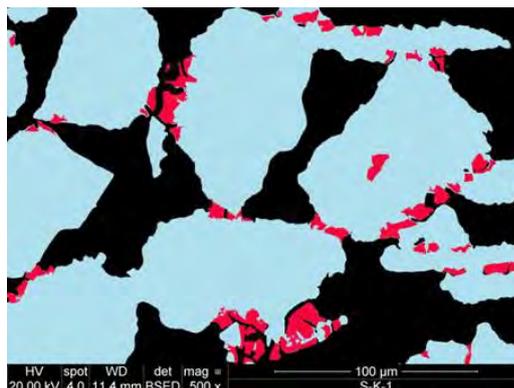
← Výbrus litavského vápence zpevněného prostředkem CaLoSiL; zpevňovací prostředek je lokálně viditelný pouze neostře.
 ← Dünnschliffbild eines mit CaLoSiL getränkten Leithalkes: das Festigungsmittel ist partiell nur unscharf sichtbar



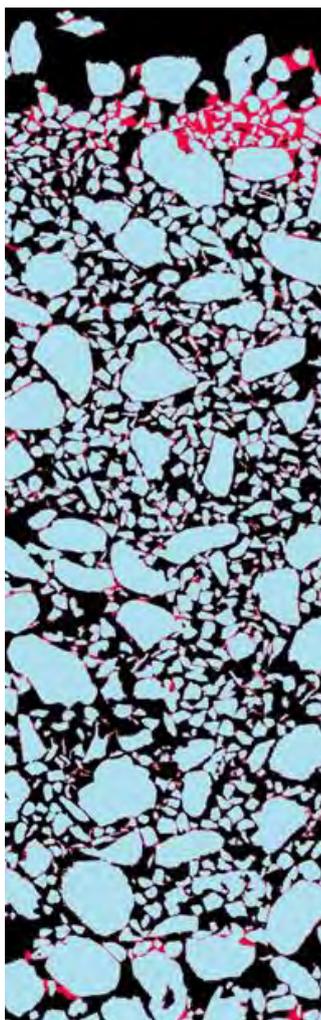
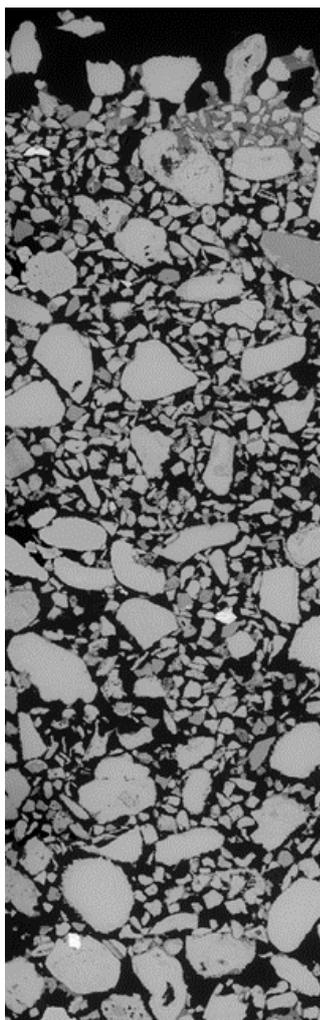
← Snímek stejné části vzorku jako na vedlejším obrázku, zhotovený pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu (detektor odražených elektronů), z důvodu jasnějšího zobrazení struktury, lze lépe verifikovat a odlišit zpevňovací prostředek ve struktuře substrátu.
 ← Aufnahme am REM des selben Probenausschnittes wie bei Abb. 5: auf Grund der klaren Strukturen ist das Festigungsmittel (grau) hier leicht zu verifizieren



↑ REM/BSE snímek vzorku ošetřeného konsolidantem na bázi esterů kyseliny křemičité
↑ REM-Aufnahme einer mit Kieselsäureester behandelten Laborprobe



↑ Editování obrázku v nepravých barvách; konsolidant (červená), substrát (světle modrá) i póry (černá) lze velmi lehce odlišit
↑ Falschfarbenedition von Abb. 7 – Festiger, Substrat und Poren sind hier leicht zu erkennen



← Průřez vzorkem zpevněným prostředkem CaLoSiL v laboratorních podmínkách. Obrázek vlevo REM/BSE a obrázek vpravo edice v nepravých barvách.
← Querschnitt einer im Labor mit CaLoSiL getränkten Probe und Falschfarbenedition derselben

↓ Legenda:

- Póry/pozadí
- Konsolidant
- Substrát (písek)

↓ Legende:

- Poren/Hintergrund
- Festigungsmittel
- Substrat (loser Sand)

Ačkoli je přímá korelace mikroskopických zjištění s hodnotami fyzikálně-mechanických měření možná jen v omezené míře, představuje optická a rastrovací elektronová mikroskopie nepostradatelný nástroj pro zkoumání a dokumentaci struktury, způsobu navázání a distribuce účinné látky konsolidantů v porézní struktuře zpevňovaných hornin. S využitím těchto metod lze často uspokojivým způsobem objasnit velmi důležité a kritické otázky hloubky penetrace konsolidantu anebo gradienty vyplnění pórů zpevňovaného materiálu.

V projektu Nanolith sloužily mikroskopické analýzy nejdříve k vyhodnocení laboratorních zkoušek konsolidace a následně byly tyto poznatky uplatněny při výběru vhodných aplikačních postupů na referenčních reálných objektech. Ukázalo se, že pro litavské vápence, které mají široké spektrum různých typů primární struktury i sekundárních defektů v porézním systému, je z hlediska penetrace a navázání konsolidantu rozhodující vnitřní struktura definovaná distribucí velikosti pórů nebo sekundárních mikrotrhlin. Poznatky získané na vzorcích z reálných objektů v podstatě potvrdily empiricky získané zkušenosti zpevnění různých variet litavských vápenců.

Wenn auch eine direkte Korrelation der mikroskopischen Befunde mit Messwerten aus physikalisch-mechanischen Untersuchungen nur eingeschränkt möglich ist, stellt die Licht- und Rasterelektronenmikroskopie doch ein unentbehrliches Instrument zur Dokumentation der Anbindung und Verteilung des Wirkstoffes einer Steinfestigung im Porenraum dar. Gerade die so kritische Frage der Eindringtiefe und des Gradienten der Porenfüllung kann nur auf diesem Wege beantwortet werden.

Im gegenständlichen Projekt dienten die mikroskopischen Analysen an Schliffen dazu, zunächst die in Labortests durchgeführten Festigungen zu bewerten, um anschließend die geeignetsten Applikationsverfahren auf die Objekte zu übertragen. Es zeigte sich, dass für die Leithakalke mit ihrem breiten Spektrum an unterschiedlichen Primärgefügen und sekundären Gefügedefekten, die jeweiligen Poren- und Rissbedingungen entscheidend für Eindringung und Anbindung des Festigers sind. Die an den Objektproben gewonnenen Erkenntnisse bestätigten im Wesentlichen die empirischen Ergebnisse von Festigungsmöglichkeiten an den unterschiedlichen Varietäten des Leithakalks.

Pórovitost a transport vody

Pórovitost a vlastnosti spojené s transportem vody v daném materiálu spolu úzce souvisejí. Celková pórovitost, tvar pórů a distribuce jejich velikosti jsou určující pro migraci vody nebo jiných kapalin v daném materiálu.

Nejčastěji měřenými parametry jsou otevřená pórovitost, která vyjadřuje poměr objemu otevřených pórů k zdánlivému objemu daného materiálu (zkušební tělesa), nasákavost vodou (která vyjadřuje celkovou nasákavost daného materiálu, tedy schopnost pojmout vodu nebo jinou kapalinu), koeficient kapilární nasákavosti (kvantifikuje kapilární „aktivitu“, tj. schopnost transportovat kapalinu v důsledku kapilárního vztlínání) a propustnost pro vodní páry (schopnost propouštět vodu v plynném skupenství). V některých případech se stanovuje i rychlost vysychání vody.

Objemovou distribuci velikosti otevřených pórů (poměrné zastoupení pórů různých velikostí) lze stanovit pomocí rtuťové porozimetrie. Touto metodou lze zjistit i celkovou pórovitost (obj. %) a objemovou hmotnost (g/cm^3).

Stanovení těchto charakteristik je důležité nejen z hlediska zjištění chování daného materiálu obecně (transport vlhkosti, rychlost navlhání a vysychání atd.), ale lze z nich odhadovat schopnost přijímat impregnační látky (konsolidanty) a případně určit i předpokládané množství

Porosität und Wassertransport

Die mit dem Wassertransport verbundenen Materialeigenschaften stehen im engen Zusammenhang mit der Porosität.

Nicht nur die Gesamtporosität, sondern auch die Porenform und die Porengrößenverteilung sind für die Migration von Wasser oder anderen Flüssigkeiten bestimmend. Die am häufigsten gemessene Eigenschaften sind die offene Porosität, die das Verhältnis zwischen dem Volumen der offenen Poren und dem Gesamtvolumen des gegebenen Materials (Prüfkörper) ausdrückt, weiters die Wasseraufnahme, die die Gesamtaufnahmekapazität des Materials für Wasser oder andere Flüssigkeiten ausdrückt), der Wasseraufnahmekoeffizient (der die Kapillaraktivität beschreibt, also die Fähigkeit zum Flüssigkeitstransport infolge des Kapillaranstiegs) und die Wasserdampfdurchlässigkeit (die Fähigkeit, den Wasserdampf im gasförmigen Zustand durchzulassen). In einigen Fällen wird auch die Geschwindigkeit der Trocknung bestimmt.

Die Porengrößenverteilung (Relativer Anteil der Poren in verschiedenen Größenklassen) kann mittels der Quecksilberporosimetrie bestimmt werden. Auch mittels dieser Methode können Gesamtporosität (Vol. %) und Rohdichte (g/cm^3) bestimmt werden.

Die Bestimmung dieser Charakteristiken ist wichtig nicht nur für die Feststellung, wie sich das Material im Allgemeinen verhält (Feuchtigkeitstransport, Geschwindigkeit der Befeuchtung und Austrocknung usw.), sondern auch zur Abschätzung der Fähigkeit zur Imprägniermittelaufnahme z.B. bei der Festigung. Damit kann auch die

konsolidantu, které je daný materiál schopný absorbovat.

V důsledku konsolidace může dojít ke změně celkové pórovitosti, distribuce velikosti nebo tvarů pórů, a tím i změně nasákavosti, rychlosti vysychání vody nebo paropropustnosti. Vznik vrstev s výrazně nižší propustností pro vodu a vodní páry může být v budoucnu zdrojem poškození, proto je jedním z cílů optimálního zpevnění i požadavek malých změn těchto parametrů.

vermutliche Menge des Festigers, die das gegebene Material aufnehmen kann, vorausbestimmt werden.

Durch die Festigungsbehandlung können sich Gesamtporosität und Porengrößenverteilung bzw. die Porenformen ändern, womit sich auch die Wasseraufnahme, die Geschwindigkeit der Wassertrocknung oder die Dampfdurchlässigkeit verändern. Die Entstehung von Schichten mit bedeutend niedriger Wasser- oder Wasserdampfdurchlässigkeit kann Ursache künftiger Schadensprozesse sein. Deswegen ist eines der Ziele der optimalen Steinfestigung, eine möglichst geringe Veränderungen dieser Parameter zu bewirken.



↑ Výsledek měření pomocí rtuťové porozimetrie - objemová distribuce velikosti otevřených pórů vápence použitého na zhotovení baldachýnu z kostela Sv. Jakuba v areálu státního zámku v Lednici.

↑ Messergebnis aus der Quecksilberporosimetrie – Porengrößenverteilung im Kalkstein, Baldachin der St. Jakob Kirche im Areal des Schlosses Lednice

Pro měření těchto důležitých veličin se používají normované postupy, které mohou být v případě vzorků z reálných objektů modifikovány z důvodu omezených možností odběru vzorků požadovaných rozměrů.

Koeficient kapilární nasákavosti daného materiálu lze zjišťovat i bez odběrů vzorků pomocí takzvané Karstenovy trubice, která umožňuje zjistit příjem vody definovanou plochou za časovou jednotku přímo na objektu (stanovení rychlosti absorpce vody, která do zkoumaného materiálu penetruje jeho kapilárním systémem za spolupůsobení malého hydrostatického tlaku vytvořeného sloupcem vody v trubici).

Nejrychlejší a jednoduchou metodou je tzv. mikrotrubice (model ÚTAM), která umožňuje poloautomatická měření na mnoha místech v krátkém čase [17].

Opakovaným měřením na stejném místě lze srovnat nasákavost materiálu před a po zpevnění. Před zpevněním je nutné vědět, zda je daný materiál schopný přijímat konsolidační prostředky (jsou vždy v kapalném stavu) a nepřímo získat informaci o případné změně pórovitosti povrchu po zpevnění.

Zur Erfassung dieser wichtigen Kenngrößen werden genormte Verfahren benutzt, die für den Fall einer Probeentnahme an originalen Objekten, modifiziert werden können, um die Probengröße zu minimieren.

Der Wasseraufnahmekoeffizient des untersuchten Werkstoffs kann man ohne Probeentnahme, mithilfe des sogenannten Prüfröhrchens nach Karsten oder s messen, das dazu ausgelegt ist, die Wasseraufnahme über eine definierte Fläche in einer Zeiteinheit unmittelbar am Objekt festzustellen. Dabei wird die Absorptionsgeschwindigkeit für Wasser gemessen, das in das Kapillarsystem des Materials durch Kapillarkräfte beim Mikroprüfröhrchen oder in Kombination mit geringem hydrostatischem Druck, der sich im Prüfröhrchen aufbaut, eindringt.

Für die Saugfähigkeit ist die schnellste und einfache Methode das sog. Mikroröhrchen (Modell ÚTAM), das eine halbautomatische Messung an vielen Stellen in kurzer Zeit ermöglicht. [17]

Die Wasseraufnahme vor und nach der Festigung kann durch eine wiederholte Messung am derselben Punkt verglichen werden. Vor der Festigungsbehandlung sollte dadurch auch festgestellt werden, wie gut das Material die Festigungsmittel, die immer in flüssiger Form vorliegen, aufnehmen wird. Mit dieser Methode ist es möglich auch eventuelle Veränderungen der Porosität nach der Festigung ohne Probenahme festzustellen.

¹⁷ DRDÁCKÝ, Miloš; SLÍŽKOVÁ, Zuzana.
Enhanced affordable methods for assessing material characteristics and consolidation effects on stone and mortar. Journal of Geophysics and Engineering, 2013



← Měření nasákavosti
mikrotrubicí na váze v
zahradách zámku Valtice

← Die Messung der
Wasseraufnahme mittels eines
Mikroröhrchens an der Vase im
Garten des Valtice Schlosses

Mechanické vlastnosti

Při zjišťování mechanických vlastností hornin se obvykle stanovuje pevnost v tlaku, pevnost v tahu nebo pevnost v tahu za ohybu, které lze definovat jako maximální zatížení daného materiálu bez viditelného poškození. Pro měření se používají obvykle normované zkušební přístroje a metody. Efektivita konsolidace se posuzuje z hlediska míry zvýšení pevnosti ve srovnání s nekonsolidovaným materiálem, přičemž v tomto případě se nejčastěji pro porovnání využívá stanovení pevnosti v tahu za ohybu. Kromě toho se také zjišťuje modul pružnosti tzv. E-modul (s jeho rostoucí hodnotou klesá elasticita daného materiálu).

Při provádění měření na vzorcích odebraných přímo z objektu obvykle nelze dodržet postupy předepsané normou (konkrétně počet a velikost vzorků), a proto se velmi často používají různé modifikované postupy, které z normou předepsaných postupů pouze vycházejí.

Mechanische Eigenschaften

Unter den mechanischen Eigenschaften werden gewöhnlich die Druckfestigkeit, die Zugfestigkeit und die Biegezugfestigkeit bestimmt, die man als maximal mögliche Belastung des gegebenen Materials ohne erkennbare Zerstörung definieren kann. Für die Messung werden üblicherweise genormte Prüfgeräte und Methoden benutzt. Die Wirksamkeit der Festigung wird auf Basis der Steigerung der Festigkeit im Vergleich zum ungefestigten Material beurteilt, wobei die Biegezugfestigkeit für die Auswertung am häufigsten benutzt wird. Daneben wird auch der Elastizitätsmodul (sog. E-modul) gemessen - je höher der Messwert, desto geringer ist die Elastizität des Materials.

Bei der Messung an Proben, die direkt vom Objekt entnommen wurden, können die in der Norm definierten Verfahren in Hinblick auf Probenanzahl und Größe oft nicht eingehalten werden. Deswegen werden oft verschiedene modifizierte Verfahren benutzt, die sich lediglich an die Normen anlehnen.

Důležitým měřítkem efektivity je z pohledu mechanických vlastností takzvaný pevnostní profil (pevnost v různé hloubce od povrchu). Je často důležitějším hodnotícím kritériem než pouhé srovnávání pevnosti konsolidovaného a nekonsolidovaného materiálu. Poskytuje cennou informaci o hloubkovém rozložení pevnosti (pevnostní gradient) horniny před a po zpevnění, přičemž je vždy snahou dosáhnout co nejvyrovnanějšího profilu bez velkých skoků. Ostrá rozhraní a velké rozdíly v pevnosti se mohou stát zdrojem pnutí a dříve či později na nich může docházet ke vzniku poškození, např. prasklin. Pro zjištění pevnostních hloubkových profilů se často odebraný vzorek (např. vrtné jádro) rozřeže na části nebo plátky a ty se potom jednotlivě měří [18, 19].

Ein wichtiges Kriterium für die Bewertung der Wirksamkeit ist das sogenannte Festigkeitsprofil, das die Festigkeit in den unterschiedlichen Tiefen beschreibt. Es ist oftmals ein wichtigeres Bewertungskriterium als nur der Vergleich der pauschalen Festigkeit des konsolidierten mit dem nicht konsolidierten Material. Das Festigkeitsprofil bietet eine wertvolle Information über die Tiefenverteilung der Festigkeit, den Festigkeitsgradienten, im Gestein vor und nach der Festigung. Dabei ist stets ein ausgeglichenes Profil ohne große Festigkeitsunterschiede anzustreben. Scharfe Grenzen und große Unterschiede in der Festigkeit können als Spannungsquelle wirken, die früher oder später zu Schäden führen kann, z.B. in Form von Rissen. Für die Feststellung des Tiefenprofils wird häufig eine entnommene Probe, z. B. ein Bohrkern, in Scheiben zerteilt, die dann einzeln gemessen werden. [18, 19]



← Měření pevnosti v tahu za ohybu
(tříbodové měření)

← Messung der Biegezugfestigkeit
(Dreipunktmessung)

¹⁸ Drdácý, M., Slížková, Z., Valach, J.: Vliv etylsilikátových zpevňovacích prostředků na chování a vlastnosti glaukonitického pískovce použitého na stavbu katedrály sv. Víta v Praze, in "Organokřemičitany v české památkové praxi", 2008

¹⁹ Slížková, Z.; Frankeová, D. Consolidation of porous limestone with nanolime. Laboratory study, 2012.

Nepřímo lze mechanické vlastnosti hornin včetně pevnostního profilu zjišťovat pomocí ultrazvukové transmise a pomocí odporového vrtání. Tato měření lze provádět na odebraných vzorcích (nejčastěji vrtných jádrech) nebo přímo na zkoumaných objektech bez nutnosti odebírat vzorky.

Princip ultrazvukové transmise spočívá v měření rychlosti přechodu longitudální vlny (tzv. podélné neboli p-vlny) zkoumaným materiálem. Rychlost UZ-signálu je pro daný materiál charakteristickou veličinou ovlivněnou mineralogickým složením a kompaktností horniny. V masivnějších horninách s vyšší mírou stmelení je rychlost ultrazvuku vyšší než v horninách poréznějších, obvykle méně stmelěných. Tato souvislost platí i mezi stejným typem zvětrané a nezvětrané horniny. V poškozených, korodovaných kamenných objektech, jejich částech nebo vrstvách, je proto rychlost ultrazvuku nižší než v nepoškozených, „zdravých“ objektech resp. jeho částech. V případě existence poškození, nehomogenit a trhlin je signál zpomalený, deformovaný nebo neprochází vůbec.

Die mechanischen Eigenschaften der Gesteine einschließlich des Festigkeitsprofils können auch indirekt mittels Ultraschalltransmission und Bohrwiderstandsmessung ermittelt werden. Diese Messungen können entweder an entnommenen Proben, meist Bohrkernen, oder direkt an den Prüfobjekten ohne Probeentnahme durchgeführt werden.

Das Prinzip der Ultraschalltransmission besteht in der Messung der Geschwindigkeit, mit der die Longitudinalwelle (sog. Längswelle oder P-Welle), seltener die Transversalwelle (S-Welle) das geprüfte Material durchläuft. Die Geschwindigkeit des Ultraschallsignals stellt eine materialspezifische Größe dar, die von der mineralogischen Zusammensetzung und der Gefüge-Kompaktheit bestimmt wird. Die Ultraschallgeschwindigkeit ist höher für dichte Gesteinen mit höherem Kornbindungsgrad als in porösen, gewöhnlich weniger gebundenen Gesteinen. Dieser Zusammenhang gilt auch für ein und dasselbe Gestein im verwitterten und unverwitterten bzw. gefestigten Zustand. Die Laufzeit des Ultraschalls ist somit langsamer in gefügeschädigten Zonen des Steinobjekts als in den ungeschädigten Steinzonen. Wenn es im Material Gefügeschäden, Störungen oder Rissen gibt, ist das Signal verlangsamt, deformiert, oder sogar nicht messbar.

Měřením se zjišťuje čas t přechodu UZ-signálu zkoumaným objektem o tloušťce d .

zdroj signálu → objekt → příjem signálu

Z naměřeného času t a vzdálenosti (tloušťky) d lze rychlost v vypočítat dle vztahu:

$$v = d/t$$

v – rychlost UZ, [m/s] případně [km/s]

d – měřená vzdálenost, [m]

t – čas přechodu signálu, [μ s]

Bei der Messung wird die Zeit t des US-Signaldurchgangs durch das geprüfte Objekt von der Dicke d festgestellt.

Signalquelle → Objekt → Signalaufnahme

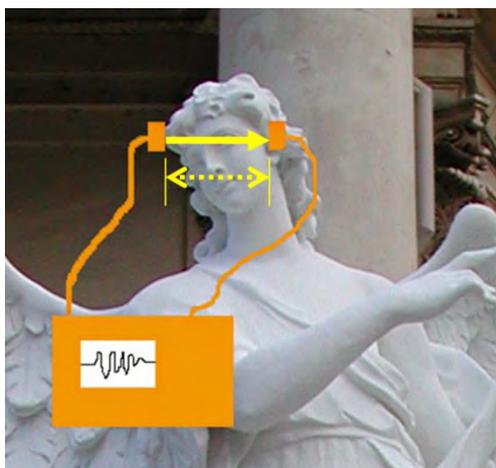
Für die Geschwindigkeit v , die gemessene Zeit t und den Abstand (Dicke) d gilt folgende Gleichung

$$v = d/t$$

v – US-Geschwindigkeit, [m/s] bzw. [km/s]

d – gemessener Abstand, [m]

t – Durchgangszeit, [μ s]



← Schematické znázornění uspořádání při měření ultrazvukové transmise

← Schematische Darstellung der Anordnung einer Ultraschalltransmissionsmessung

Odporové vrtání je metoda, která využívá pro nepřímé stanovení pevnostního profilu hornin měření odporu kladeného materiálem vůči vrtání v závislosti na hloubce průniku vrtáku. Existují podstatě dva hlavní způsoby zjišťování odporu vůči vrtání. V prvním případě se měří rychlost posuvu vrtáku [mm/s] při konstantním přítlaku a konstantních otáčkách vrtání. V druhém případě se měří síla přítlaku [N] působící na vrták při jeho konstantním posuvu a konstantních otáčkách vrtání.

Zjištěný odpor vůči vrtání koreluje s tvrdostí a s pevností měřeného materiálu. Metoda se kromě zjišťování hloubky a míry degradace hornin používá pro hodnocení konsolidace srovnáním profilu odporu vůči vrtání před a po konsolidaci. Metoda bývá označována jako mikro- nebo semi-invazivní, protože není nutný odběr vzorků, ale po vykonání zkoušky zůstává v daném místě malý otvor (3-5 mm) [20, 21].

Im Wesentlichen gibt es zwei Prinzipien der Messung des Bohrwiderstands: einerseits kann die Eindringungsgeschwindigkeit des Bohrers [mm/s] in das Material bei konstantem Anpressdruck und konstanter Drehzahl gemessen werden; andererseits kann die Anpresskraft [N], die für die Eindringung des Bohrers in das Material bei konstantem Vorschub des Bohrers und konstanter Drehzahl nötig ist, gemessen werden.

Der festgestellte Bohrwiderstand steht im Zusammenhang mit der Festigkeit des gemessenen Materials. Diese Methode dient nicht nur zu der Feststellung von Verwitterungstiefe und -grad des Steins, sondern auch zur Bestimmung des Festigungserfolgs durch den Vergleich der Festigkeitsprofile vor und nach der Festigung. Die Methode wird als zerstörungsarm bzw. semiinvasiv bezeichnet, da keine Probennahme nötig ist, aber durch die Prüfung ein kleines Loch mit einem Durchmesser von 3-5 mm entsteht [20, 21].

²⁰ www.stonecore-europe.eu/partner_geotron.php

²¹ Pamplona, M., Kocher, M., Snethlage, R., Barros, L. A.: *Drilling resistance: overview and outlook*, 2007.



↑ Zjišťování pevnostního profilu odporovým vrtáním (přístroj měřící přítlak při konstantním posuvu, SINT Technology, Itálie)

↑ Bestimmung des Festigkeitsprofils mittels Bohrwiderstandsmessung (SINT Technology Gerät, Italien)

Pevnost povrchu se často hodnotí pomocí poměrně jednoduchého odtrhového testu tzv. peeling testu. Při tomto testu se měří množství „hmoty“, odtržené od povrchu lepicí páskou při standardních a reprodukovatelných podmínkách nalepení a odtržení pásky. Z pevných povrchů se odtrhává menší množství materiálu než z povrchů s nižší soudržností [22, 23].

²² Drdácký, M., et al. *Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces*, 2012.



↑ Zjišťování pevnostního profilu odporovým vrtáním (přístroj měřící posuv vrtáku při konstantním přítlaku, Geotron Elektronik, Německo)

↑ Bestimmung des Festigkeitsprofils mittels Bohrwiderstandsmessung (TERSIS 2 Gerät, Geotron Elektronik ,Deutschland)

Die Haftzugfestigkeit wird häufig durch einen einfachen Abreißtest bewertet, den sog. Peeling-Test. Dabei wird die Materialmenge, die sich von der Steinoberfläche im Zuge des wiederholten Auftragens und Abziehens eines Klebandes unter standardisierten Prüfbedingungen löst, gravimetrisch bestimmt. Von festen Oberflächen wird eine geringere Materialmenge gelöst als von Oberflächen mit niedrigerer Kornbindung [22, 23].

²³ Drdácký, M.; Slížková, Z. *In situ peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic plaster and render surfaces*, 2015

Roztažnost

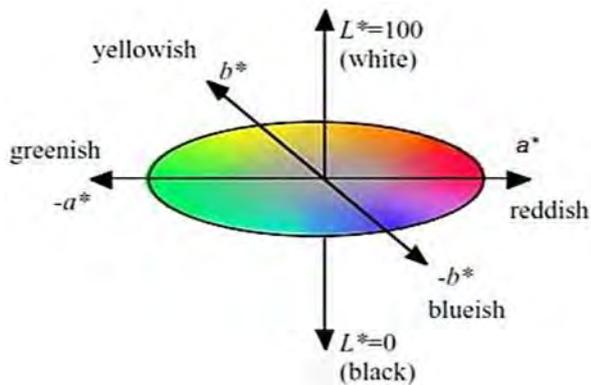
Důležitou vlastností materiálů je i jejich rozměrové chování při změnách teploty nebo vlhkosti - tepelná a vlhkostní roztažnost (dilatace). Většina hornin se při rostoucí teplotě rozpíná a při klesající zase smršťuje. Teplotní součinitel (koeficient) délkové roztažnosti materiálu udává míru těchto rozměrových změn (čím je větší, tím více se materiál rozpíná v daném teplotním rozmezí). Podobně vyjadřuje součinitel vlhkostní roztažnosti míru rozměrových změn materiálu jako reakce na změny obsahu vlhkosti nebo změn relativní vzdušné vlhkosti. Znalost hodnoty těchto součinitelů umožňuje předvídat chování a vzájemné působení různých materiálů nebo vrstev, které jsou v kontaktu při změnách teploty a vlhkosti. Pro stanovení obou koeficientů se používají speciální přístroje – dilatometry.

Dehnung (Dilatation)

Eine weitere wichtige Materialeigenschaft stellt die Volumenänderung bei Temperatur- oder Feuchteänderungen dar. Man spricht von Wärme- bzw. Feuchtedehnung oder Dilatation. Die meisten Gesteine dehnen sich bei Temperaturanstieg aus und schrumpfen bei Abkühlung wieder. Der Längenausdehnungskoeffizient des Materials gibt das Maß dieser Änderungen an, je höher dieser Wert ist, desto stärker dehnt sich das Material im jeweiligen Temperaturbereich. Ähnlich drückt der hygrische Dehnungskoeffizient das Maß der Änderungen infolge der Änderungen des Feuchtegehalts oder der Luftfeuchtigkeit aus. Die Kenntnis dieser beiden Koeffizienten ermöglicht die Abschätzung der möglichen Spannungen zwischen unterschiedlichen Materialien oder Zonen in einem Material, die miteinander im Kontakt stehen. Für die Messung dieser Koeffizienten werden spezielle Geräte, sogenannte Dilatometer, benutzt.

Barva

Poměrně častým nežádoucím jevem doprovázejícím aplikaci konsolidačních prostředků může být změna barevnosti nebo lesku konsolidovaného materiálu, nejčastěji prohloubení barevného tónu. Tento efekt lze kromě obvyklého vizuálního posouzení hodnotit a poměrně přesně kvantifikovat pomocí reflexních spektrometrů. Výsledkem je numerické vyjádření barevnosti měřeného povrchu podle zavedených standardů (systém měření barevnosti podle Munsella; trichromatické systémy – systém záznamu barev Yxy, Lab nebo Cie LCH). To umožňuje přesné sledování změn barevnosti vybrané plochy nebo vybraných ploch před zpevněním a po něm, případně sledovat barevnost povrchu i po delší dobu. Vzhledem k barevné „nehomogenitě“ povrchu kamenných objektů je velmi důležitá volba místa měření a jeho velmi přesná lokalizace. Z důvodu reprodukovatelného srovnávání s referenčním měřením by opakované měření mělo probíhat přesně na stejném místě.



Farbe

Eine Farb- oder Glanzänderung, meist in Form einer Farbtonvertiefung, ist ein ziemlich häufig auftretender, unerwünschter Nebeneffekt einer Festigungsbehandlung von Materialien. Außer der gewöhnlichen visuellen Beurteilung dieses Effekts kann auch eine genauere Quantifizierung mittels Spektralphotometer erfolgen. Das Ergebnis ist eine numerische Bestimmung der Oberflächenfarbigkeit nach den eingeführten Standards, wie dem Messsystem nach Munsell oder den trichromatischen Systemen auf Basis der Farbtonkomponenten Yxy, Lab oder Cie LCH. Dadurch ist eine exakte und objektive Bewertung von Farbveränderungen einer ausgewählten Objektoberfläche vor und nach der Festigung möglich. Die Farbmessung kann auch über eine längere Zeitdauer wiederholt durchgeführt werden. In jedem Fall ist wegen der farblichen Inhomogenität der Gesteinsoberfläche eine sorgfältige Auswahl der Messpunkte und ihre genaue Markierung wichtig, um die Wiederholungsmessungen an genau derselben Stelle durchführen zu können, wodurch erst eine Vergleichbarkeit der Messwerte ermöglicht wird.

← Schematické znázornění 3D barevného prostoru v systému Lab

← Schematische Darstellung des 3D Farbraums im Lab System

Trvanlivost – laboratorní zkoušky po zrychleném stárnutí

Důležitým požadavkem je i dlouhodobá stabilita konsolidovaného materiálu. Kromě zjišťování stability samotného zpevňovacího prostředku, která je z hlediska dlouhodobé životnosti provedené konsolidace zásadní, se často zkoumá i změna odolnosti zpevněného materiálu vůči některým degradačním mechanismům [např. 24]. V důsledku zpevnění by nemělo dojít ke snížení odolnosti vůči poškození mrazem nebo krystalizací vodorozpustných solí. Zkoušky podle normovaných postupů jsou destruktivní a obvykle se provádějí na zvolených standardech, respektive vzorcích připravených z horniny odpovídající hornině použité na daném objektu.

Beständigkeit – Laborprüfungen durch beschleunigte Alterung

Eine wichtige Anforderung ist die langfristige Stabilität des gefestigten Materials. Neben der Feststellung der Stabilität des Festigers selbst, die für die langfristige Dauerhaftigkeit der Maßnahme von grundsätzlicher Bedeutung ist, wird oft auch die Anfälligkeit des gefestigten Materials gegenüber ausgewählten Alterungsfaktoren festgestellt [z. B. 24]. Infolge der Festigung sollte sich die Beständigkeit gegenüber Frost- und Tauzyklen sowie gegenüber der Kristallisation löslicher Salze zumindest nicht vermindern. Die entsprechenden Normprüfungen sind gemäß ihrer Natur zerstörend und werden gewöhnlich an Prüfkörpern durchgeführt, deren Materialbeschaffenheit derjenigen des Originalobjekts entspricht.

²⁴ *Dunajská, J. Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil nanosuspensions on plaster reference samples, 2012.*

TECHNICKÉ A APLIKAČNÍ SPECIFIKACE VYBRANÝCH VÁPENNÝCH NANOMATERIÁLŮ

Úvod

Nanotechnologie se v posledních letech začínají velmi významně uplatňovat v různých oblastech lidské činnosti a nacházejí využití i v péči o kulturní dědictví. Jsou to hlavně některé typy tzv. nanomateriálů, tedy materiálů, kde velikost částic dosahuje maximálně desítky nebo případně stovky nanometrů. Pro základní představu lze například uvést, že jeden nanometr = 10^{-9} m je jedna milióntina milimetru. Některé definice stanovují hranice pro nanostruktury mezi 1 nm až 100 nm. Celá řada objevů a moderní výrobní postupy umožnily vyrobit materiály s velmi malými částicemi a specifickými vlastnostmi, které běžné materiály nemají. Namátkou lze jmenovat použití nanočástic oxidu titaničitého do speciálních nátěrů se „samočisticími“ vlastnostmi.

V 90. letech byly ve Francii a Itálii učiněny první pokusy o výrobu suspenzí hydroxidu vápenatého s velikostí částic na úrovni stovek nanometrů. Cílem těchto výzkumů bylo připravit prostředky pro konzervaci vápenatých materiálů jako např. vápence, vápenné omítky, nástěnné malby atd. Jejich hlavní výhodou z hlediska konzervace

TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN UND APPLIKATIONSHINWEISE FÜR DIE GETESTETEN NANO- KALKSUSPENSIONEN

Einleitung

Nanotechnologien setzen sich in den letzten Jahren in verschiedenen Bereichen durch und sie finden ihren Einsatz auch in der Erhaltung des kulturellen Erbes. Es handelt sich dabei hauptsächlich um sog. Nanomaterialien, dessen Teilchengröße maximal zehn bis hundert Nanometer erreicht. Um eine grobe Vorstellung der Partikelgröße zu haben, ist zu anmerken das ein Nanometer = 10^{-9} m ist ein Millionstel eines Millimeters. Einige Definitionen für Nanostrukturen setzen die Grenze für Nanotechnologien zwischen 1 bis 100 nm. Zahlreiche neue Entdeckungen und moderne Herstellungsverfahren erlauben Stoffe mit sehr feinen Partikelgröße und spezifischen Eigenschaften zu erzeugen, die „gewöhnliche“ Materialien oft nicht besitzen. Man kann als eines der Beispiele die Verwendung von Titandioxid-Nanopartikeln in speziellen Anstrichen mit "selbstreinigenden" Eigenschaften nennen. In den 90-er Jahren des 20-ten Jahrhunderts wurden in Frankreich und Italien die ersten Versuche durchgeführt, Suspensionen von Calciumhydroxid mit einer Partikelgröße auf dem Niveau von Hunderten von Nanometern zu erzeugen. Das Ziel dieser Versuche war es Mittel für die Konservierung von kalkhaltigen Materialien wie z.B. Kalksteine, Kalkputze, oder

výše zmíněných materiálů je chemické složení výsledného produktu, kterým je uhličitan vápenatý. Uhličitan vápenatý je hlavní složkou resp. hlavní pojivem vápenců, vápenných omítek a lze tak předpokládat vysokou míru vzájemné snášenlivosti (kompatibility) s konzervačními prostředky na bázi vápenných nanomateriálů. V následujících kapitolách jsou stručně popsány vápenné nanomateriály, které byly používány v rámci projektu Nanolith pro různé účely konzervace litavských vápenců.

Specifikace použitých vápenných nanosuspenzí a popis jejich aplikace byl vypracován na základě výzkumných i praktických zkušeností s konzervováním historických vápenných materiálů, především porézních vápenců. Současně byly jako zdroj informací použity technické listy použitých produktů na bázi nanosuspenzí hydroxidu vápenatého od jejich výrobce - IBZ - Salzchemie GmbH & Co.KG, Freiberg, Německo. Další informace lze nalézt ve zmíněných technických listech. Tento dokument nemá za cíl nahradit technické listy jednotlivých uváděných produktů.

Wandmalerei herzustellen. Ihr Hauptvorteil in Bezug auf die Erhaltung der angeführten Materialien, war die chemische Zusammensetzung des resultierenden Produkts, das Calciumcarbonat ist. Calciumcarbonat ist die Hauptkomponente bzw. das Hauptbindemittel von Kalksteinen, Kalkputzen, Kalkmalschichten und somit kann man ein hohes Maß an Material-Verträglichkeit (Kompatibilität) mit Konservierungsstoffen auf Basis von Nano-Kalksuspensionen anzunehmen. Die folgenden Abschnitte beschreiben kurz Kalk-Nanomaterialien, die in dem Projekt Nanolith für verschiedene Zwecke der Erhaltung von Leithakalken verwendet wurden.

Die Spezifikation der angeführten Nanomaterialien und ihrer Anwendung wurde auf der Grundlage von Erfahrungen ausgearbeitet, die der wissenschaftlichen und praktischen Beschäftigung mit der Konservierung historischer Materialien auf Kalkbasis, vor allem poröser Kalksteine, entstammt. Zugleich wurden als Informationsquelle die Technischen Merkblätter der betreffenden Produkte auf Nano-Kalk-Basis vom Hersteller - IBZ - Salzchemie GmbH & Co.KG, Freiberg, Deutschland, bezogen. Zusätzliche Informationen sind dann in diesen Technischen Merkblättern zu entnehmen. Das gegenständliche Dokument hat nicht zum Ziel, diese zu ersetzen.

Konsolidační prostředky CaLoSiL®

Z hlediska složení lze konsolidanty řady CaLoSiL® charakterizovat jako soly stabilních nanočástic hydroxidu vápenatého, dispergované v alkoholovém prostředí – v etanolu (typ E), iso-propanolu (typ IP), nebo n-propanolu (typ NP). Konsolidanty jsou dostupné v koncentracích 5 až 50 g/l hydroxidu vápenatého. Typ alkoholu a koncentrace jsou vyjádřeny v názvu produktu, přičemž velké písmeno za označením CaLoSiL® udává typ alkoholu, který je použitý jako dispergační prostředí (E – etanol, IP – iso-propanol a N-n-propanol) a následující číslo udává koncentraci hydroxidu vápenatého. Jako příklad lze uvést produkt CaLoSiL® E25, kde E = etanol a 25 = koncentrace hydroxidu vápenatého 25 g/l.

Dle dosavadních zkušeností s těmito konsolidanty lze pro zpevňování vápenatých materiálů, kamene a omítek doporučit především produkty dispergované v etanolu [25, 26, 27]. Důvodem výběru ve srovnání s jinými typy alkoholu je především lepší penetrace a distribuce výsledného produktu ve zpevňovaném materiálu i menší zdravotní rizika při práci s prostředkem obsahujícím etanol.

Vzhledem ke svému složení mají tyto konsolidanty také biocidní účinek. Používají

Festiger CaLoSiL®

Es handelt sich um Sole der stabilen Calciumhydroxid-Nanopartikel, dispergiert in verschiedenen Alkoholen wie Ethanol (Typ E), iso-Propanol (Typ IP) oder n-Propanol (Typ NP). Die Festiger sind in Konzentrationen von 5 bis 50 g/L erhältlich. Der Alkoholtyp und die Konzentration sind mit den Buchstaben nach dem Produktname nachfolgend charakterisiert: CaLoSiL® E25, wobei E = den Typ des Alkohols (Ethanol) bezeichnet und 25 = für die Konzentration des Calciumhydroxid (25g/L) steht.

Laut den bisherigen Anwendungserfahrungen mit den genannten Festigern empfehlen wir für die Festigung von Kalkstein und Kalkputz vor allem die in Ethanol dispergierten Produkte [25, 26, 27]. Gründe für diese Präferenz im Vergleich zu den anderen Alkoholtypen sind vor allem ein gutes Eindringvermögen und die günstigere Verteilung des Wirkstoffs in dem zu festigenden Material, sowie die geringere Gesundheitsschädlichkeit bei der Arbeit mit dem ethanolhaltigen Produkt. Die Festiger weisen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung und der alkoholischen Natur des Dispersionsmediums zusätzlich eine Biozidwirkung auf.

²⁵ Viz výsledky mezinárodního projektu „STONECORE“

²⁶ Viz výsledky mezinárodního projektu „NANOFORART“

²⁷ Nanomateriály v památkové péči: Sborník přednášek z odborného semináře Společnosti pro technologie ochrany památek., 2012.

se hlavně pro konsolidaci porézních vápenatých materiálů: kamene, malt, omítek. Lze je navzájem mísit nebo upravovat koncentraci příslušným alkoholem. V rámci projektu Nanolith byly pro konsolidaci nejčastěji používané následující produkty [28]:

CaLoSiL® E25: Velikost částic 50–250 nm (střední velikost 150 nm), koncentrace 25 g hydroxidu vápenatého v jednom litru přípravku. Disperzním prostředím je etanol. Používá se hlavně pro hloubkové zpevňování porézních vápenců nebo stabilizaci povrchových poškození.

CaLoSiL® E50: Velikost částic 50–250 nm (střední velikost 150 nm), koncentrace 50 g hydroxidu vápenatého v jednom litru přípravku. Disperzním prostředím je etanol. Používá se hlavně pro konsolidaci vysoce porézních materiálů (s hrubými póry), vyplňování tenkých prasklinek a malých dutinek.



↑ Vápenné nanosuspense s různým obsahem hydroxidu vápenatého
↑ Nanokalksuspensionen mit verschiedenem Gehalt von Calciumhydroxid

CaLoSiL® E25: Partikelgröße 50–250 nm (im Mittel 150 nm), Konzentration 25 g Calciumhydroxid pro Liter. Als Dispersionsmedium dient Ethanol. Hauptsächlich verwendet für die Festigung poröser kalkgebundener Materialien wie Naturstein, Mörtel und Putz bzw. Gips. Mischbar mit anderen CaLoSiL-Produkten und wasserfreiem Ethanol [28].

CaLoSiL® E50: Partikelgröße 50–250 nm (im Mittel 150 nm), Konzentration 50 g Calciumhydroxid pro Liter. Als Dispersionsmedium dient Ethanol. Hauptsächlich verwendet für die Festigung von hochporösen, grobporigen Materialien, Füllung von Mikrorissen und -hohlräumen. Mischbar mit anderen CaLoSiL-Produkten und wasserfreiem Ethanol.



↑ Produkty řady CaLoSiL®
↑ Produkte der Reihe CaLoSiL®

²⁸ Viz reference IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technical Leaflets/ Technischen Merkblätter

Standardní dostupné produkty:

- CaLoSiL® E5, E25, E50
- CaLoSiL® IP5, IP15, IP25
- CaLoSiL® NP5, NP15, NP50

Standardprodukte:

- CaLoSiL® E5, E25, E50
- CaLoSiL® IP5, IP15, IP25
- CaLoSiL® NP5, NP15, NP50

Při aplikaci těchto materiálů je nutné vycházet ze skutečnosti, že konsolidanty CaLoSiL® jsou bezvodé systémy. Zpevňovaný materiál by před aplikací konsolidantu neměl být vlhký a zatížený zvýšeným obsahem vodorozpustných solí. Přítomnost vody může způsobovat aglomeraci nanočástic hydroxidu vápenatého, což potom může významně zhoršovat schopnost penetrace nanosuspenze. Ošetřením povrchu porézního materiálu před zpevňováním pomocí etanolu lze částečně ovlivnit obsah vlhkosti v jeho porézním systému a současně i zlepšit následnou penetraci konsolidantu. V tomto případě je však nutné aplikaci nanosuspenze hydroxidu vápenatého provádět až po odpaření etanolu z porézního materiálu. Nanášení vápenných nanosuspenzí je nejvhodnější pomalým napouštěním, ideálně laboratorní stříčkou, injekční stříkačkou, pipetou či nízkotlakým rozprašovačem. Neosvědčila se aplikace štětcem a také pomocí metod, které mechanicky namáhají vápenné suspenze (např. tlakový rozprašovač).

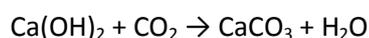
Die CaLoSiL Produkte sind wasserfreie Systeme. Das zu festigende Material sollte zum Zeitpunkt der Anwendung nicht durch Feuchtigkeit oder erhöhten Gehalt an wasserlöslichen Salzen belastet sein, da Feuchte oder Salze zu einer Agglomeration der Nanopartikel von Calciumhydroxid führen kann. Durch die Behandlung der Materialoberfläche mit Ethanol vor der Festigung kann die hohe Oberflächenspannung und der Feuchtigkeitsgehalt niedrig werden. Die Applikation des Festigers durch langsame Tränkung, am besten unter Einsatz einer Spritzflasche, einer Injektionsspritze, einer Pipette oder eines Zerstäubers, ist zu empfehlen. Die Applikation mit einem Pinsel sowie mit Methoden, welche die Kalksuspension mechanisch belasten wie z. B. Druckzerstäuber, haben sich nicht bewährt.

Bei einem höhergradig geschädigten Material wird der Festiger in mehreren Zyklen (z. B. 3–7) appliziert, am besten „Feucht-in-Feucht“, jeweils nach der teilweisen Verdunstung oder Eindringung des Lösungsmittels.

V případech silněji degradovaného materiálu je vhodné nanášet nanosuspenzi v několika cyklech (např. 3–7), ideálně systémem "vlhký do vlhkého" po vsáknutí produktu a částečném odpaření alkoholu z předcházející aplikace [29].

Při aplikaci je třeba zamezit nadbytečnému přesycení zpevňovaného povrchu vápennou nanosuspenzí a tím omezit vznik bílého povlaku na povrchu materiálu. Nanosuspenzi je vhodné aplikovat v menších množstvích opakovaně, s malými přestávkami, aby byl dobře vsakován podkladem. Případné přebytečné množství konsolidantu je vhodné odsávat měkkým savým materiálem.

Po aplikaci dochází do několika hodin k odpaření alkoholu, a to beze zbytku. Poté dochází v přítomnosti CO₂ ve vzduchu k proměně hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý. Ten je chemicky vázán na původní karbonátový materiál a má funkci pojiva. Karbonatace probíhá podle rovnice:



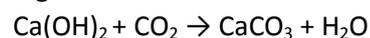
a je ukončena po několika dnech až týdnech, v závislosti na konkrétních podmínkách a hloubce penetrace.

Vápenné nanomateriály je možné případně použít i v kombinaci s estery kyseliny křemičité. Zpevňovače na bázi esterů kyseliny křemičité se aplikují po nanosení nanovápna s určitým časovým odstupem, nejdříve po odpaření alkoholu.

Hydroxid vápenatý může katalyzovat hydrolytické reakce při tvorbě křemičitého gelu z esteru kyseliny křemičité. Kombinovaná aplikace je předmětem dalšího výzkumu [30, 31].

Bei der Applikation ist es nötig, einer möglichen Übersättigung der Festigungsoberfläche und einer Weißschleierbildung auf der Steinoberfläche vorzubeugen. Der Festiger sollte in kleinen Mengen mit kurzen Pausen appliziert werden, um eine gute Eindringung zu ermöglichen. Die überstehende Lösung sollte mit einem weichen, saugfähigen Material abgetupft werden [29].

Das Lösungsmittel verdunstet restlos innerhalb von wenigen Stunden. Danach karbonatisiert das Calciumhydroxid – in Reaktion mit dem Kohlendioxid aus der Luft wandelt es sich in Calciumkarbonat um. Dieses ist auf dem karbonatischen Substrat chemisch gebunden und erfüllt die Bindemittelfunktion. Der Karbonatisierungsprozess verläuft nach der Gleichung:



und benötigt, in Abhängigkeit von den konkreten Bedingungen, mehrere Tage bis Wochen.

Die Nano-Kalkmaterialien können zur Festigung auch in Kombination mit Kieselsäureestern eingesetzt werden. Dabei werden die Festiger auf Basis Kieselsäureester nach der Applikation der CaLoSiL[®] Produkte eingebracht. Der zeitliche Abstand kann variieren, zumindest ist die Verdunstung des Lösungsmittels abzuwarten.

Das Calciumhydroxid wirkt als Katalysator für die Hydrolyse, bei der aus dem Kieselsäureester Kieselgel entsteht. Die kombinierte Applikation von KSE und Nanokalksuspensionen wird weiterhin getestet und erforscht [30, 31].

²⁹ Reference Bayer, K.; Macounová, D., Machačko, L. (2012)

³⁰ Slížková Z.; Frankeová, D. (2012)

³¹ Slížková, Z., Frankeová, D.: *Strengthening of Weak Historic Renders with Traditional and Innovated Consolidation Treatment.* (2015).

↓ Srovnání některých vlastností vápenných nanomateriálů, vápenného mléka a vápenné vody

Nanosuspence $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Vápenné mléko	Vápenná voda
<ul style="list-style-type: none"> • suspenze částic $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v alkoholovém prostředí • obsah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ od 5 až po 200g/litr • střední velikost částic přibližně 150 nm 	<ul style="list-style-type: none"> • suspenze částic $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve vodě • obsah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 100 až 300g/litr • cca 100 × větší než částice $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v nanosuspencích 	<ul style="list-style-type: none"> • nasycený vodný roztok $\text{Ca}(\text{OH})_2$ • obsah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ maximálně 1,6g/litr • cca 400 × menší než částice $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v nanosuspencích

↓ Vergleich einiger Eigenschaften der Nanokalksuspensionen mit Kalkmilch und Kalksinterwasser

Nanosuspension $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Kalkmilch	Kalksinterwasser
<ul style="list-style-type: none"> • Suspension von $\text{Ca}(\text{OH})_2$-Partikeln in Alkohol • Gehalt von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 5 bis 200g/Liter • Mittlere Partikelgröße ca. 150 nm 	<ul style="list-style-type: none"> • Suspension von $\text{Ca}(\text{OH})_2$-Partikeln in Wasser (in gesättigter $\text{Ca}(\text{OH})_2$-Lösung) • Gehalt von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 100 bis 300g/Liter • Mittlere Partikelgröße ca. 100 × grösser als die $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Partikeln in Nanokalksuspensionen 	<ul style="list-style-type: none"> • gesättigte wässrige Lösung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ • Gehalt von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ maximal 1,6 g/Liter • Partikelgröße ca. 400 × kleiner als die $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Partikeln in Nanokalksuspensionen

Prostředky pro omezení biologického osídlení

Pro eliminaci resp. omezení biologické degradace vyvolané zejména nižšími rostlinami lze použít prostředek CaSoPal® plus, sol stabilních nanočástic hydroxidu vápenatého v disperzním prostředí etanolu (E) s velikostí částic okolo 300–400 nm a koncentrací 15 g/l.

Biocidní účinky prostředku lze vysvětlit složením materiálu. Disperzní médium - etanol má dezinfekční účinky. Vysoká alkalita hydroxidu vápenatého vytváří dočasně nepříznivé podmínky pro existenci a růst celé řady organismů včetně nižších rostlin jako např. řasy nebo lišejníky.

Biocidní ošetření materiálu napadeného biologickým povlakem či porostem (růst řas, plísní aj.) a prevenci proti biologickému napadení lze provádět v kombinaci s konsolidací porézních vápenných materiálů.

Při aplikaci se doporučuje dvoufázový zásah. V prvním kroku dochází k zahubení biologické kolonizace a následně se pak realizuje mechanické odstranění organismů. Ve druhém kroku je provedena prevence proti novému biologickému nárůstu po odstranění biologické kolonizace. Nakonec je, v akceptovatelných případech, doporučováno povrch ošetřit vápenným nátěrem.

Nejvhodnější aplikace prostředku je pomalé napouštění laboratorní stříčkou nebo nátěrem.

Biozidbehandlung

Für die Beseitigung oder Bekämpfung biologischen Befalls hauptsächlich durch niedrige Pflanzen können sich Nano-Kalkprodukte eignen. Das dafür speziell eingesetzte Produkt ist CaSoPal® plus. Es handelt sich um die Sole stabiler Calciumhydroxid-Nanopartikel, dispergiert in Ethanol (E). CaSoPal® plus hat eine Partikelgröße von 300–400 nm bei einer Konzentration von 15 g/L.

Das Prinzip der Biozidwirkung basiert auf der chemischen Natur des Produkts. Ethanol als Desinfektionsmittel mit wasserentziehender Wirkung greift desinfizierende Wirkung. Das Calciumhydroxid schafft ein alkalisches Milieu, welches das Wachstum der Mikroorganismen verhindert.

In Kombination mit der Festigungswirkung wird CaSoPal® plus demzufolge verwendet zur Biozidbehandlung des mit biologischem Belag oder Bewuchs angegriffen Materials (Algenwachstum, Schimmelbefall u. a.), sowie zur Prävention gegen weiteren Befall. Hierbei ist ein zweistufiger Einsatz zu empfehlen. Der erste Schritt umfasst die Abtötung des biologischen Bewuchses und muss von einer nachfolgenden mechanischen Entfernung der Reste begleitet werden. Der zweite Applikationsschritt verhindert ein erneutes Wachstum der Mikroorganismen. Anschließend kann in spezifischen Fällen ein Kalkanstrich aufgetragen werden - auch dieses Produkt wird vom Hersteller geliefert.

Die sicherste Applikation erfolgt durch sorgfältiges Fluten mit der Spritzflasche oder durch Aufstreichen des Produkts.

Pro aplikaci, podmínky odparu rozpouštědla aj. platí stejné zásady a doporučení jako v případě konsolidantů řady CaLoSiL®.

Injektážní prostředky

Pro injektáže – vyplňování tenkých prasklin, dutin nebo jiných poškození lze použít prostředky CaLoSiL® Pasty, CaLoSiL® Mikro, CaLoXiL® Injection grout.

I tomto případě se jedná o soly stabilních nanočástic hydroxidu vápenatého v disperzním prostředí etanolu.

Prostředek CaLoSiL® Pasty je injektážní maltovina s velikostí částic 50 nm – 1 µm a koncentrací hydroxidu vápenatého ca. 120 g/l. Disperzním prostředím je etanol. Používá se zejména jako pojivo pro výplně dutin a prasklin, přichycení (přilepení) oddělených povrchových vrstev – fragmentů a šupin.

CaLoSiL® Mikro je prostředek vytvořený ze směsi konsolidantu z řady CaLoSiL® o velikosti částic hydroxidu vápenatého 50–250 nm (střední velikost 150 nm) s vápenným hydrátem o velikosti částic hydroxidu vápenatého v rozmezí 1–3 µm. Disperzním prostředím je etanol. Koncentrace produktu je 120 g hydroxidu vápenatého v jednom litru přípravku. Používá se hlavně pro zpevnování vápenných materiálů, přichycení oddělených povrchových vrstev – fragmentů a šupin, vyplňování hrubších prasklinek a jako materiál pro zahušťování konsolidantů řady CaLoSiL®.

Es gelten die gleichen Prinzipien für Applikation, Trocknungsbedingungen usw. wie für die anderen Konsolidierungsmittel der CaLoSiL®-Reihe.

Injektionsmittel

Zum Füllen von dünnen Rissen oder Hohlräumen im Stein können die folgenden Nano-Kalkprodukte verwendet werden: CaLoSiL® pastös, CaLoSiL® mikro, CaLoXiL® Injektionsmasse.

Auch diese Mittel gehören zu den Solen von stabilen Calciumhydroxid-Nanopartikeln dispergiert in Ethanol.

CaLoSiL® pastös ist eine Injektionsmasse zum Verfüllen von Hohlräumen, Rissen usw. und zum haftvermittelndem Hinterfüllen von abhebenden Schalen, Fragmenten oder Schuppen.

Die Partikelgröße liegt zwischen 50 nm – 1 µm bei einer Konzentration von bis zu 120 g Calciumhydroxid pro Liter. Als Dispersionsmedium dient Ethanol. Hauptsächlich zur Verfüllung von größeren Defekten kann das Produkt mit Marmor- oder Kalksteinmehl verdickt werden. Bei Wasserzugabe, die im Ausmaß bis zu 10 % im Prinzip möglich ist, kann es zur Ausflockung von Partikeln kommen. Eine Vorfestigung mit CaLoSiL® E25 oder CaLoSiL® E50 wird empfohlen. CaLoSiL® pastös ist mischbar mit allen Produkten der CaLoSiL®-Reihe und Ethanol.

Často je doporučováno použití následně po konsolidaci CaLoSiLem®E25. Větší částice CaLoSiLu® Mikro pokryjí povrch ošetřovaného materiálu, a tím dojde ke zlepšení konsolidačního účinku na povrchu materiálu. Tento jev může také omezit zpětnou migraci nanočástic k povrchu ošetřovaného materiálu.

CaLoXiL® Injection grout je připravený z prostředku CaLoSiL® Pasty modifikací pomocí jemnozrnného uhličitanu vápenatého. Velikost částic v této směsi je menší než 6 µm. Disperzním prostředím je etanol. Jedná se o injektážní maltovinu pro vyplňování dutin a trhlin. Pro vyplňování větších defektů je možné prostředek zahustit mramorovou nebo vápencovou moučkou. Při přidavku vody může docházet ke srážení částic, malý přídavek vody je možný (max. do 10 % hm.).

Před aplikací injektážních prostředků je doporučována předchozí prekonsolidace prostředkem CaLoSiL® E25 nebo také CaLoSiL® E50. I tyto produkty je možné mísit se všemi produkty CaLoSiL® nebo etanolem.

CaLoSiL® mikro ist eine werkseitige Mischung des Festigers aus der CaLoSiL® E-Reihe mit einer Partikelgröße des Calciumhydroxids von 50–250 nm (im Mittel 150 nm) und einem mit Partikelgröße des Calciumhydroxids von 1–3 µm.

Als Dispersionsmedium dient Ethanol, die Konzentration liegt bei 120 g Calciumhydroxid pro Liter.

Dieses Produkt wird verwendet für die Festigung von kalkhaltigen Materialien, für Hinterfüllung von losen Oberflächenschichten in Form von Fragmenten, Schuppen etc. und die Verfüllung von gröberem Rissen. Es wird eingesetzt auch zur Verdickung von niedrig viskoserem CaLoSiL®-Festigern.

Die Vorfestigung mit CaLoSiL® E25 wird empfohlen. Größere Partikel des CaLoSiL® mikro lagern sich dabei an die Kornoberflächen des behandelten Materials an, wodurch es zur Verbesserung des Festigungseffekts kommt. Dieses Verfahren kann auch die Rückmigration von Nanopartikeln zur Oberfläche verringern. Das Mittel ist mischbar mit allen Produkten der CaLoSiL®-Reihe und wasserfreiem Ethanol. CaLoXiL®

Injektionsmasse: Im Prinzip handelt es sich um das Produkt CaLoSiL® pastös mit einem Zusatz von feinkörnigen Calciumkarbonat-Füllstoff. Die Korngröße aller Partikel in diesem Gemisch ist kleiner als 6 µm. Als Dispersionsmedium dient Ethanol. Das mörtelartige Endprodukt hat eine hohe Porosität (36 %) und ist hydrophil. Die Wasseraufnahme beträgt 23 Masse-%.

Bei dem Produkt handelt sich um eine Injektionsmasse zum Verfüllen von Hohlräumen und Rissen.

Při aplikaci by injektovaný materiál neměl být zatížený zvýšenou vlhkostí, biologickou kolonizací nebo vodorozpustnými solemi.

Nanášení injektážní maltoviny je nejvhodnější systémem "vlhký do vlhkého" v těsné návaznosti na konsolidaci (např. prostředky CaLoSiL® E25 nebo CaLoSiL® E50), aby došlo k co nejlepšímu propojení injektážní maltoviny se strukturou konsolidovaného materiálu. Povrch ošetřovaného materiálu by měl být před injektáží zpevněný, neměl by být nesoudržný (např. projevující se pískovatěním nebo práškovatěním). V případě nesoudržného povrchu by injektážní maltovina ulpěla pouze k degradovaným částem a spolu s nimi by hrozilo její oddělení.

Gemäß Herstellerangaben handelt es sich um eine höchst flüssige Injektionsmasse, was jedoch nicht ganz den praktischen Erfahrungen mit diesem Produkt entspricht. Des Weiteren gibt der Hersteller eine sehr gute Bindung zu historischen Mörteln an.

Die Anwendung als Schutz- und Festigungsanstrich ist möglich.

Eine Vorfestigung mit CaLoSiL® E25 wird empfohlen.

Der Stein sollte zum Zeitpunkt der Applikation des Festigers nicht durch Feuchtigkeit, biogenen Bewuchs oder erhöhten Gehalt an löslichen Salzen belastet sein.

Der Auftrag der Injektionsmasse erfolgt bevorzugt „feucht in feucht“ unmittelbar im Anschluss an die Vorfestigung mit CaLoSiL® E25 oder CaLoSiL® E50, um die bestmögliche Verbindung der Injektionsmasse mit der Gesteinsstruktur zu erzielen. Die Gesteinsoberfläche sollte vor der Anwendung gefestigt werden, sie sollte nicht kreidend oder sandend sein. In einem solchen Fall würde die Injektionsmasse nur an den losen Gesteinsteilen haften und wenig stabil sein. Sollte die Injektionsmasse ohne Vorfestigung aufgebracht werden, ist eine vorherige Benetzung der Gesteinsoberfläche mit Ethanol zu empfehlen. Dies verringert die Oberflächenspannung und ermöglicht damit eine bessere Anbindung der Injektionsmasse an die Komponenten des Untergrunds.

Při provádění injektáže stavebního materiálu bez předchozí konsolidace, je vhodné nejprve ošetřit povrch materiálu etanolem za účelem snížení povrchového napětí a snazšího propojení injektážní maltoviny s ošetřovaným materiálem. Po napuštění dochází do několika hodin k odpaření etanolu a dále v přítomnosti vzduchu ke karbonataci hydroxidu vápenatého na uhličitán vápenatý. Ten je vázán na původní karbonátový materiál a má funkci pojiva. Karbonatace je ukončena po několika dnech až týdnech, v závislosti na konkrétních podmínkách.

Prostředky pro povrchovou úpravu

Jako nátěrový prostředek nebo součást nátěrových systémů lze použít prostředek CaLoXiL® Lime varnish. Jedná se opět o sol stabilních nanočástic hydroxidu vápenatého. Střední velikost částic je kolem 150 nm a disperzním prostředím je etanol. Koncentrace hydroxidu vápenatého je 120 g /l.

Prostředek CaLoXiL® Lime varnish (někdy označovaný jako Lime glaze) je možné použít jako zředěný vápenný prodyšný nátěr, který zpevňuje povrch a částečně chrání proti povětrnostním vlivům. Vzhledem k malé hustotě je doporučováno použít jako primární adhezní vrstvu pod finální vápenné nátěry. Podobně jako ostatní produkty na bázi hydroxidu vápenatého má biocidní a preventivní účinek. Mísení s pigmenty stabilními v alkalickém prostředí je možné.

Při aplikaci by neměl být ošetřovaný materiál zatížený vodorozpustnými solemi a biologickou kolonizací. Povrch by měl být

Das Lösungsmittel verdunstet innerhalb von wenigen Stunden nach der Tränkung, und durch Reaktion mit der Luft wandelt sich das Calciumhydroxid in Calciumkarbonat um. Dieses wird auf dem ebenfalls kalkhaltigen Untergrund chemisch gebunden und erfüllt auf diese Weise seine Bindemittelfunktion. Der Karbonatisierungsprozess benötigt in Abhängigkeit von den jeweiligen Bedingungen mehrere Tage bis Wochen.

Anwendungsfertige Kalkanstriche und Kalklasuren

Es handelt sich um ein Sol aus stabilen Calciumhydroxid-Nanopartikel mit einer mittleren Partikelgröße von 150 nm. Als Dispersionsmedium dient Ethanol. Die Konzentration liegt bei 120 g Calciumhydroxid pro Liter Festiger.

Das Produkt kann als luftdurchlässiger Anstrich mit festigender Wirkung und Schutzfunktion gegen Witterungseinflüsse verwendet werden. Es ist mit alkali-stabilen Pigmenten mischbar. Aufgrund der geringen Dichte wird der Einsatz als Haftbrücke zu einem Zweitanstrich auf Kalkbasis empfohlen.

Ähnlich wie andere Produkte auf der Calciumhydroxid-Basis, besitzt auch das Anstrichsystem eine biozide und präventive Wirkung.

zpevněný, neměl by být nesoudržný (např. projevující se pískovatěním nebo práškovatěním). Karbonatace vápenného nátěru je ukončena po několika dnech až týdnech, v závislosti na konkrétních podmínkách.

Podmínky použití a uskladnění vápenných nanomateriálů

Všechny výše uvedené nanomateriály by měly být uloženy v těsně uzavřené, suché a čisté originální nádobě na chladném, suchém místě při teplotách +5 až +30 °C. Jedná se o bezvodé systémy. Voda způsobuje srážení částic hydroxidu vápenatého. Je třeba proto dbát zvláštního režimu při aplikaci i skladování těchto materiálů.

Před aplikací je nutné materiál dispergovat řádným a opakovaným protřepáním nádoby, ve které je uložen, nebo promícháním. Důvodem je, že částice hydroxidu vápenatého mají tendenci se shlukovat a sedimentovat. Tendence ke shlukování a sedimentaci se zvyšuje se stárnutím materiálů s blížícím se datem expirace.

Pro práci není vhodné používat prostředek přímo z originální nádoby, ale vždy si jeho část pro použití přelejeme do jiné "pracovní" nádoby. Lze tak zabránit znečištění prostředku, prcháání rozpouštědla a změně koncentrace aktivní složky prostředku v původní nádobě.

Das behandelnde Material sollte vor dem Anstrich nicht mit löslichen Salzen oder biogenem Bewuchs belastet sein.

Die Gesteinsoberfläche sollte vor der Anwendung gefestigt werden, sie sollte nicht kreidend oder sandend sein.

Der Karbonatisierungsprozess benötigt in Abhängigkeit von den jeweiligen Bedingungen mehrere Tage bis Wochen.

Applikations- und Lagerungsbedingungen der Nano- Kalkmaterialien

Lagerung: Das Material soll im verschlossenen, sauberen und trockenen Originalbehälter bei Temperaturen zwischen +5 °C und +30 °C gelagert werden.

Es handelt sich durchwegs um wasserfreie Systeme. Wasser verursacht die Ausflockung der Calciumhydroxid-Partikel. Es sollten die spezifischen Applikations- und Lagerungsbedingungen eingehalten werden.

Vor der Applikation: Das Material soll vor der Applikation durch starkes und wiederholtes Schütteln des geschossenen Behälters oder durch Umrühren dispergiert werden. Der Grund dafür ist, dass die Calciumhydroxid-Partikel zum Absetzen neigen. Je länger das Produkt gelagert wurde, desto deutlicher ist die Sedimentation ausgeprägt.

Verarbeitung: Das Produkt sollte für die Anwendung nicht unmittelbar aus dem Originalbehälter entnommen werden. Immer sollte ein Teil in einen anderen Arbeitsbehälter umgegossen werden. So wird die Verschmutzung, das Verflüchtigen des Lösungsmittels und die damit

Zvláštní pozornost je nutné věnovat zamezení kontaktu prostředku s vodou (používat suché pomůcky, zavírat lahve kvůli omezení kontaktu se vzdušnou vlhkostí atd.).

Po aplikaci může docházet ke vzniku bílého povlaku na povrchu ošetřeného materiálu. Vzhledem k velmi malé velikosti částic vpraveného hydroxidu vápenatého může docházet k jejich pohybu v porézním systému a to především v průběhu odpařování rozpouštědla. Na povrchu ošetřovaného materiálu se tak může po konsolidaci vytvořit bílý povlak. Tento povlak ovlivňuje prakticky jen vzhled ošetřovaného materiálu a nemá negativní vliv na jeho ostatní fyzikální vlastnosti. Především nezpůsobuje významnou změnu propustnosti materiálu pro vodní páry a ani výrazný a nežádoucí pevnostní gradient na jeho povrchu.

Riziko vzniku sekundárních poškození jako důsledek ošetření nanovápnelem nebo omezení konzervačních zásahů v budoucnu je proto velmi nízké. Na vznik bílého povlaku mají vliv především vlastnosti konsolidovaného materiálu (např. pórovitost), rychlost a podmínky odparu rozpouštědla. V případě zhoršených podmínek aplikace, např. vysoké teploty, silnější proudění vzduchu, apod. aj., se doporučuje ošetřený povrch zakrýt. Po ukončení aplikace konsolidantů je také možné ošetřit zpevnovaný povrch vodou, která zpomalí odpar rozpouštědla. Před dalšími napouštěcími cykly by však měl být povrch opět suchý.

verbundene Veränderung der Konzentration verhindert. Besonders sollte der Kontakt mit Wasser vermieden werden, etwa durch Benutzung von trockenen Werkzeugen, Verschließen der Flasche, um Luftzutritt zu verhindern, usw.)

Nach der Applikation – das Problem der Weißschleierbildung: Die Calciumhydroxid-Partikel können aufgrund ihrer geringen Größe besonders in der Trocknungsphase im Porensystem wandern. Auf der Oberfläche des behandelten Materials kann so nach der Festigung ein Weißschleier entstehen. Dieser Schleier beeinflusst praktisch nur das Aussehen des Materials und hat kaum einen negativen Einfluss auf seine weiteren physikalischen Eigenschaften. Vor allem verursacht er keine nennenswerte Veränderung der Wasserdampfdurchlässigkeit und erzeugt keinen negativen Festigkeitsgradienten auf der Oberfläche.

Das Risiko der Entstehung nachfolgender Schäden als Folge der Nanokalk-Behandlung ist deshalb sehr gering, ebenso wie die Beschränkung zukünftiger konservatorischer Maßnahmen. Die Weißschleierbildung wird vor allem von den Eigenschaften des gefestigten Materials, z. B. seine Porenverhältnisse, sowie von der Geschwindigkeit und den Bedingungen der Lösemittelverdunstung beeinflusst. Für den Fall ungünstiger klimatischer Verhältnisse während der Applikation (z.B. hohe Temperatur, Wind usw.) wird die Bedeckung der Oberfläche empfohlen.

Bílý povlak na povrchu je možné redukovat opakovaným ošetřením povrchu vodou po konsolidaci. Účinné je také použití parního čističe. Kompletní odstranění bílého povlaku na povrchu je možné mechanicky, např. mikropískováním.

Nach der Festigung ist es auch möglich, die Oberfläche mit Wasser zu behandeln, um die Lösemittelverdunstung zu verzögern. In diesem Zusammenhang ist auch der Einsatz eines Dampfreinigers wirksam. Vor einem folgenden Tränkungszyklus sollte die Oberfläche jedoch wieder trocknen können. Die völlige Entfernung eines allfälligen Weißschleiers kann auch mechanisch durchgeführt werden, z.B. durch Mikro-Sandstrahlen.

Ideální klimatické podmínky použití jsou následující:

Teplota vzduchu: přibližně +3 až +25 °C.

Relativní vlhkost: 50–80% RV (optimálně RV 60% a vyšší)

Limitní klimatické podmínky použití jsou následující:

Teplota vzduchu by neměla být nižší než +3 °C, a neměla by být vyšší než + 25 °C.

Relativní vlhkost by neměla být nižší než 40% RH a neměla by být vyšší než 80% RH.

Ideale Anwendungsbedingungen:

Lufttemperatur: ca. +3 bis +25°C.

Relative Luftfeuchtigkeit: 50-80%. Die beste Feuchtigkeit ist 60% und höher.

Anwendungsgrenzbedigungen:

Lufttemperatur unter +3°C und über +25°C.

Relative Luftfeuchtigkeit: unter 40% RH und über 80% RH.

Z hlediska bezpečnosti práce je nutné mít na paměti, že dané materiály jsou hořlavé (obsahují alkoholy). Proto je nutné uchování odděleně a mimo dosah od oxidačních činidel, jisker, plamenů a jakýchkoli zdrojů zapálení.

Materiály jsou alkalické a obsahují organická rozpouštědla. Je proto nutné vyvarovat se kontaktu s kůží a očima a při práci používat ochranné rukavice a ochranné brýle, nevdechovat výpary nebo aerosol. V uzavřených místnostech je vždy důležité důkladné větrání. Prostředky je nutné uchovávat v uzavřených nádobách. Použité pracovní nástroje se musí po vždy důkladně očistit, na silné znečištění je možné použít ředěnou kyselinu citrónovou.

Sicherheit: Die Produkte sind entzündlich. Sie sollen getrennt von Oxidationsstoffen, Funken, Flammen und allen Zündquellen gelagert werden. Die Produkte sind alkalisch und enthalten organische Lösungsmittel. Man sollte sehr konsequent den Kontakt mit Haut und Augen vermeiden, sowie beim Gebrauch Handschuhe und Schutzbrille zu tragen. Genauso sollte man das Einatmen der Aerosole und Dämpfe vermeiden. Im geschlossenen Räumen ist es auf eine ausreichende Belüftung zu achten. Die Produkte sind im verschlossenen Behälter zu lagern. Die benutzen Werkzeuge sind gründlich zu reinigen, starke Verschmutzung kann mit verdünnter Zitronensäure entfernt werden.

PŘÍKLADY APLIKACE VÁPENNÝCH NANOMATERIÁLŮ PRO KONZERVACI LITAVSKÝCH VÁPENCŮ

Socha sv. Floriána z obce Vratěnin

Základní popis díla

Vápencová socha sv. Floriána je umístěna v obci Vratěnin na Vysočině před kostelem sv. Jakuba Většího. Celá socha se skládá ze dvou částí - sochy s plintem a profilované hlavice, na niž je socha osazena. Kamenná socha zpodobňuje mužskou figuru v životní velikosti (rozměry: 190 x 74 x 47 cm). Dle ikonografického výkladu se jedná o sv. Floriána, ochránce před požáry, znázorněného jako bojovníka ve zbroji s praporem, který hasí hořící dům. Jedná se o pozdně barokní práci. Letopočet zhotovení lze datovat do roku 1740 podle vročení vysekaného na přední spodní straně profilované hlavice, která je ze zadní strany pouze hrubě kamenicky opracována. Autor je neznámý.

ANWENDUNGSBEISPIELE FÜR KALKHALTIGE NANOMATERIALIEN ZUR KONSERVIERUNG VON LEITHAKALK

Skulptur des Hl. Florian im Dorf
Vratěnin

Allgemeine Beschreibung

Die Kalksteinfigur des Hl. Florian steht im Ort Vratěnin im Region Hochland (Vysočina) vor der Kirche des St. Jakob des Größeren. Das Objekt besteht aus zwei Teilen – dem Sockel mit profiliertem Kapitell und der Skulptur. Die Steinskulptur stellt eine männliche Figur in Lebensgröße dar (Maße: 190 x 74 x 47 cm). Gemäß der ikonografischen Deutung handelt es sich um den Heiligen Florian, den Beschützer vor Bränden, dargestellt als Krieger in Rüstung mit Standarte, ein brennendes Haus löschend. Das Kopfteil ist rückseitig nur grob bearbeitet. Gemäß der unten vorn auf dem profilierten Kopfteil eingemeißelten Jahreszahl kann das Entstehungsjahr dieser Figur mit 1740 datiert werden. Der Autor ist unbekannt.



← Socha sv. Floriána ve stavu před restaurováním a základním očištěním

← Skulptur des Hl. Florian im Zustand vor der Restaurierung und Grundreinigung

Charakteristika použitého vápence

Horninu použitou na zhotovení sochy i hlavice (dva odlišné bloky kamene) lze označit jako porézní biotritický vápenec. Pouhým okem i při zkoumání mobilním mikroskopem lze dobře rozeznat úlomky schránek mořských organismů, které tvoří klastickou součást horniny. Pojivem těchto klastů, které jsou tvořeny uhličitánem vápenatým je rovněž CaCO_3 . Pro přesnou petrologickou identifikaci použitých hornin pomocí optické mikroskopie byly odebrány vzorky resp. použité úlomky vápence odloučené při snímání sekundárních doplňků.

Charakteristik des verwendeten Kalksteins

Die beiden zur Fertigung der Skulptur und des Kapitells verwendete Steine können als poröser biotritischer Kalkstein beschrieben werden. Mit bloßem Auge und auch bei Untersuchungen mit einem mobilen Mikroskop sind Fragmente von Schalen von Meeresorganismen gut zu erkennen, die einen klassischen Bestandteil des Gesteins bilden. Bindemittel dieser Klasten, die aus Calciumkarbonat bestehen, ist ebenfalls CaCO_3 . Zum Zweck einer genauen petrografischen Charakterisierung des verwendeten Gesteins durch Mikroskopie wurden Proben entnommen bzw. die bei der Entfernung der sekundären Zubehöre abgetrennten Kalksteinfragmente benutzt.

Z mikroskopické analýzy, která doplnila vizuální průzkum, vyplynulo, že pro sochu i hlavici byl použit organodetrický hrubozrnný litavský porézni vápenec z lomu v obci Zogelsdorf. Tento vápenec obsahuje poměrně vysoký podíl úlomků červených řas (ruduch), lastur a mechovek (bryozoa). Bioklasty mají poměrně vysokou intergranulární pórovitost (0,1 až 0,3 mm). Analýzou bylo také zjištěno, že na povrchu vápencové sochy se místy vyskytují zbytky cementové malty.



↑ Lomová plocha vápence
↑ Bruchfläche des Kalksteins

Popis stavu sochy před započítím zkoušek

Zkoušky vlastností materiálu sochy sv. Floriána byly zahájeny po transferu objektu do ateliéru restaurátora Daniela Chadima ve Slavonicích a po částečném očištění sochy. Stav objektu popisuje následující text restaurátora Daniela Chadima:

Aus der mikroskopischen Analyse geht hervor, dass für die Skulptur und das Kapitell des Sockels biodetrischer, grobkörnig-poröser Kalkstein aus dem Steinbruch Zogelsdorf in Österreich verwendet wurde. Dieser Kalkstein enthält einen ziemlich hohen Anteil an Fragmenten von Rotalgen (Rhodophyta), Muscheln und Moostierchen (Bryozoen). Das Korngefüge der Bioklasten besitzt eine relativ hohe intergranulare Porosität im Porengrößenbereich von 0,1 bis 0,3 mm. Durch die Analyse wurde auch geklärt, dass auf der Oberfläche der Kalksteinfigur gelegentliche Reste eines Zementmörtels haften.



↑ Výbrus vzorku vápence, procházející světlo, paralelní nikoly.
↑ Dünnschliff einer Kalksteinprobe, Durchlicht, parallele Polarisatoren; der Porenraum ist aufgrund der Einfärbung des Einbettharzes blau

Vorzustand der Skulptur

Die Untersuchung der Materialeigenschaften der Skulptur des Hl. Florian begann nach dem Transport des Objekts in das Atelier des Restaurateurs Daniel Chadim in Slavonice, nachdem eine erste Reinigung der Figur vorgenommen worden war. Den Zustand des Objekts beschreibt der folgende Text des Restaurators Daniel Chadim:

„Socha sv. Floriána v životní velikosti, z mušlového vápence, byla převezena na konci roku 2013 do dílny ve Slavonicích, kde bylo započato čištění povrchu sochy, včetně profilovaného soklu s datací 1740.

Mechy a lišejníky vyskytující se na povrchu sochy byly „ošetřeny“ biocidním prostředkem Porosan rozpuštěným v ethanolu. Silné biologické nárůsty byly následně zeslabeny skalpely a povrch sochy i soklu s výjimkou poškozených míst byl pak omyt regulovanou tlakovou vodou. V místech, kde se projevovala desintegrace vápence, bylo čištění provedeno až po zpevnění kamene.“ [CHADIM, Daniel: Restaurování sochy svatého Floriána ve Vratěnině. Detailní záměr restaurátorského zásahu včetně návrhu nového podstavce pod sochu. Slavonice, 2014]

Socha byla nejprve fotograficky zdokumentována a byly popsány vyskytující se poruchy a poškození. Některé partie povrchu kamene byly silně narušeny zejména selektivní erozí, biologickou kolonizací a přítomností prasklin. Na jiných místech povrchu sochy byl kámen soudržný, kompaktní a hladký. Porovnáním stavů erodovaného a dobře dochovaného kamene bylo možno přesněji popsat stupeň poškození vápence.

Lokální eroze kamene byla způsobena rozpouštěním měkčích složek horniny (ve velké míře se jedná o vápenný tmel bioklastů horniny) dešťovou vodou. Tím došlo na vodou omývaných místech povrchu sochy k selektivnímu úbytku tmelu

Die Skulptur des Hl. Florian in Lebensgröße, aus Muschelkalk gefertigt, wurde Ende 2013 in die Werkstatt in Slavonice gebracht, wo die Reinigung der Oberfläche der Figur, einschl. des profilierten Sockels mit Datierung 1740 begonnen wurde.

Die auf der Oberfläche der Skulptur vorhandenen Moose und Flechten wurden mit dem in Ethanol gelösten Biozid Porosan behandelt. Anschließend wurde der starke biologische Bewuchs mit Skalpellen reduziert, worauf die Oberfläche von Skulptur und Sockel mit Ausnahme der schadhafte Stellen einer kontrollierten Druckwasserreinigung unterzogen wurden. An Fehlstellen des Kalksteins erfolgte die Reinigung bis zum festen Steingefüge.“ [CHADIM, Daniel: Restaurierung der Skulptur des Heiligen Florian in Vratěnin. Detailplan der Restaurierungsarbeiten einschl. Entwurf des neuen Sockels unter der Skulptur. Slavonice, 2014]

Im Zuge der Zustandsaufnahme erfolgte im Atelier die fotografische Dokumentation der Skulptur, sowie die Beschreibung der einzelnen Schäden. Einige Partien der Steinoberfläche waren besonders stark geschädigt durch selektive Erosion, biologischen Befall und Rissbildung. An anderen Stellen der Oberfläche der Skulptur war der Stein fest, kompakt und ziemlich glatt. Im Vergleich zwischen verwitterten und gut erhaltenen Bereichen konnte das Ausmaß der Schäden am Kalkstein genauer beschrieben werden.

Die lokale Abwitterung des Steins wurde durch die Auflösung weicherer Gesteinskomponenten durch Regenwasser verursacht; dabei handelt es sich vorwiegend um die Kornzemente um die Bioklasten des Gesteins. Dadurch kam es

horniny, k obnažení tvrdších zrn vápence (biodetritické částice) a k vytvoření hrubého povrchového reliéfu. Takto narušený povrch vápence je méně soudržný a má vyšší pórovitost a nasákavost oproti „zdravému“ kameni. Na erodovaném povrchu vápence jsou také lepší podmínky pro kolonizaci kamene mikroorganismy nebo nižšími rostlinami. Dalším projevem poškození vápence jsou lokální povrchové praskliny kamene.

Socha byla v minulosti restaurována a na jejím povrchu se tak nachází řada oprav poškozených míst tvárnými směsmi (maltami), které jsou z estetického hlediska většinou vyhovující. Některé vysprávky však nevyhovují svými technickými parametry: nemají potřebnou přidržnost ke kameni a jsou popraskané. Na okrajích vysprávek se často vyskytuje vrstva šedého kompaktního (pravděpodobně cementového) nátěru s velmi dobrou přilnavostí k povrchu vápence. Z důvodu nevyhovující struktury budou některé cementové vysprávky a nátěry odstraněny.

Některé části sochy byly v minulosti odlomené a znovu přilepené. Materiály, které byly v minulosti použity na připevnění odlomených částí sochy, jsou již degradované, nefunkční a odlomené části bude nutné připevnit znovu.

an vom Wasser ausgewaschenen Stellen der Oberfläche der Skulptur zu selektivem Bindemittelverlust im Stein, zum Herauswittwern härterer Kalkbioklasten und damit zur Herausbildung eines rauen Oberflächenreliefs. Die so geschädigte Kalksteinoberfläche weist eine geschwächte Kornbindung auf und hat eine höhere Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit als der gesunde Stein. Die erodierten Steinoberflächen bieten auch bessere Bedingungen für den Befall des Gesteins mit Mikroorganismen oder niederen Pflanzen. Ein weiteres Schadensbild stellen lokale Risse auf der Kalksteinoberfläche dar.

Die Skulptur wurde in der Vergangenheit restauriert; auf der Oberfläche befindet sich als Folge der vorherigen Restauriermassnahmen eine Reihe von Mörtelkittungen, die vom ästhetischen Standpunkt größtenteils befriedigend sind. Einige Ausbesserungen erwiesen sich jedoch als technisch unzulänglich: ihre Haftung auf dem Stein war unzureichend und sie waren rissig. An den Rändern solcher Ausbesserungen war häufig eine kompakte graue, höchstwahrscheinlich zementhaltige Schicht mit sehr guter Haftung auf der Steinoberfläche sichtbar. Aufgrund technischer Unzulänglichkeiten wurden die meisten Zementausbesserungen und Anstriche entfernt.

Einige ehemals abgebrochene Teile der Skulptur wurden in früheren Zeiten wieder verklebt. Die dafür verwendeten Materialien waren bereits geschwächt und ohne Funktion, sodass die Fragmente erneut angebracht werden mussten.

Na soše byly v malé míře dochovány zbytky povrchových barevných úprav sochy včetně zlacení. Fragmety povrchových barevných vrstev se nacházejí přímo na kameni a lze proto předpokládat, že socha byla původně polychromována a povrch sochy byl barevně upravován i později.

Auf der Skulptur waren in geringem Maße Reste von Farbfassungen einschliesslich Vergoldungen erhalten geblieben. Fragmente dieser mehrschichtigen Farbfassungen sind ohne Zwischenschicht oder Verschmutzung direkt auf der Steinoberfläche gelegen und so ist zu behaupten, dass die Skulptur ursprünglich polychrom war und ihre Oberfläche auch später farblich überfasst wurde.



↑ Stav sochy po základním očištění
↑ Zustand der Skulptur nach der Grundreinigung



↑ Stav sochy po základním očištění a sejmutí doplňků a lepených částí
↑ Zustand der Skulptur nach Grundreinigung und Entfernen von Zubehör und Klebeteilen

- ↓ Dokumentace a studium struktury horniny s dochovanou polychromií
- ↓ Dokumentation und Studium der Gesteinsstruktur mit erhaltener Polychromie



- ← Označení fragmentu dochované polychromie na drapérii na zádech světce
- ← Lokalisierung eines Fragments mit Resten der Polychromie auf dem Faltenwurf am Rücken des Heiligen



- ← Mikrofotografie fragmentu dochované polychromie
- Výstavba barevného souvrství na základě mikrofotografie:

- 0 – podklad, kámen
- 1 – červená
- 2 – modrá
- 3 – šedá / šedo-zelená
- 4 – zelená (fragment v pravém rohu)

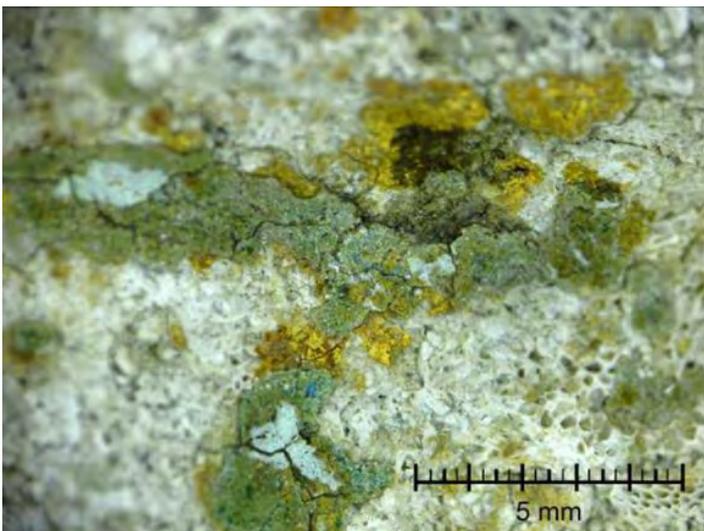
- ← Mikrofotografie des Bereichs mit Resten der Polychromie
- Farbschichtaufbau aufgrund der Mikrofotografie:

- 0 – Unterlage, Stein
- 1 – rot
- 2 – blau
- 3 – grau / grau-grün
- 4 – grün (Fragment in der rechten Ecke)

- ↓ Dokumentace a studium struktury horniny s dochovanou polychromií a zlacením
 ↓ Dokumentation und Studium der Gesteinsstruktur mit erhaltener Polychromie und Vergoldung



- ← Označení fragmentu dochované polychromie a zlacení na oděvu na levém stehně světce
 ← Lokalisierung eines Fragments der Polychromie und Vergoldung auf dem Gewand über dem linken Oberschenkel der Heiligenfigur



- ← Mikrofotografie fragmentu dochované polychromie a zlacení
 Výstavba barevného souvrství na základě mikrofotografie:

- 0 – podklad, kámen
- 1 – žlutá (pravděpodobně podkladová vrstva pod zlacení)
- 2 – zlatolesklá fólie (pravděpodobně plátkové zlato)
- 3 – zelená
- 4 – světlá nazelenalá / šedo-zelená

- ← Mikrofotografie des Bereichs mit Polychromie- und Vergoldungsresten
 Farbschichtaufbau aufgrund der Mikrofotografie:

- 0 – Unterlage, Stein
- 1 – gelb (wahrscheinlich Grundierung der Vergoldung)
- 2 – goldglänzende Folie (wahrscheinlich Blattgold)
- 3 – grün
- 4 – hellgrünlich / grau-grün

Hlavní projevy poškození sochy sv. Floriána

↓ Referenční stav: povrch horniny v relativně dobré kondici

↓ Referenzzustand: Gesteinsoberfläche in relativ gutem Erhaltungszustand

Popis:

Kompaktní povrch vápence bez viditelných projevů poškození

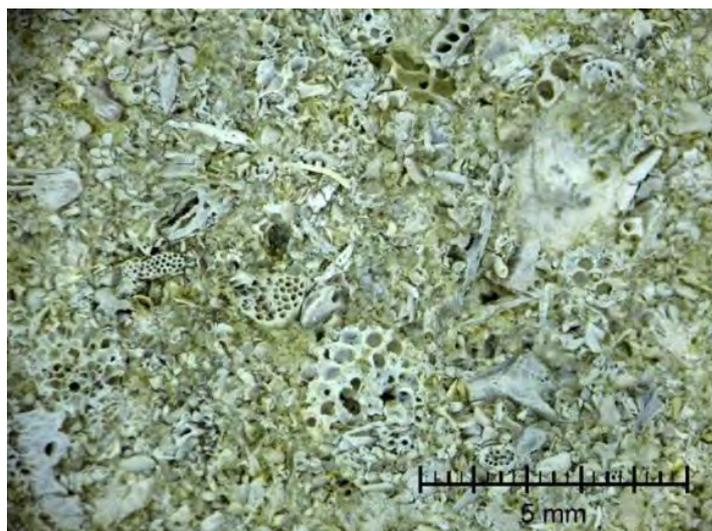
Beschreibung:

Kompakte Kalksteinoberfläche ohne sichtbare Anzeichen von Beschädigung



← Makrofotografie, detail
povrchu sochy v místě dobře
zachované horniny

← Makrofotografie, Detail der
Oberfläche der Skulptur an gut
erhaltener Gesteinsstelle



← Mikrofotografie, detail
povrchu sochy v místě dobře
zachované horniny

← Mikrofotografie, Detail der
Oberfläche der Skulptur an gut
erhaltener Gesteinsstelle

-
- ↓ Poškozený, erodovaný povrch horniny
 - ↓ Durch Erosion geschädigte Gesteinsoberfläche

Popis:

Povrch vápence narušený působením dešťové vody. Na povrchu horniny byl vodou rozpuštěn a vymyt jemný tmel vyplňující mezery mezi hrubšími zrny (biodetritickými klasty) vápence. Na místech povrchu, který byl opakovaně a dlouhodobě smáčený vodou, se tak vytvořil hrubý, členitý reliéf. Změna morfologie povrchu je viditelná pouhým okem.

Beschreibung:

Durch Regenwasser geschädigte Kalksteinoberfläche. Auf der Gesteinsoberfläche wurde das die Zwischenräume zwischen gröberen Kalksteinbioklasten füllende feine Bindemittel durch Wasser aufgelöst und ausgewaschen. An den Stellen der Oberfläche, die wiederholt und langfristig mit Wasser in Kontakt waren, hat sich so ein grobes, zerklüftetes Relief gebildet. Die veränderte Morphologie der Oberfläche ist mit bloßem Auge erkennbar.



← Makrofotografie, detail sochy v místě erodovaného povrchu
← Makrofotografie, Detail der Skulptur im Bereich einer erodierten Oberfläche



← Mikrofotografie, detail sochy v místě erodovaného povrchu
← Mikrofotografie, Detail der Skulptur im Bereich einer erodierten Oberfläche

- ↓ Biologická kolonizace povrchu vápence
- ↓ Biogener Bewuchs der Kalksteinoberfläche

Popis:

Struktura horniny je v důsledku eroze poměrně hrubá a povrch kamene (zejména stěny pórů) je pokrytý vrstvičkou biologického původu – převážně zelené řasy a částečně lišejníky. Při průzkumu bylo zjištěno, že biologická kolonizace proniká do poškozené struktury kamene až do hloubky několika mm.

Beschreibung:

Die Gesteinsstruktur ist infolge der Erosion relativ grob und die Steinoberfläche bzw. vor allem die Porenwände sind mit einer dünnen Schicht biologischen Ursprungs überzogen – überwiegend handelt es sich um Grünalgen und teilweise um Flechten. Bei der Untersuchung wurde festgestellt, dass der biogene Befall bis zur Tiefe von mehreren mm in die geschädigte Steinstruktur eindringt.



← Makrofotografie, detail struktury povrchu horniny s biologickou kolonizací (řasy a lišejníky)
← Makrofotografie, Detail der Gesteinsoberfläche mit biogenem Bewuchs (Algen und Flechten)



← Mikrofotografie, detail struktury povrchu horniny s biologickou kolonizací (řasy a lišejníky)
← Mikrofotografie, Detail der Gesteinsoberfläche mit biogenem Bewuchs (Algen und Flechten)

↓ Povrch vápence s vysprávkami poškozeného povrchu (jedná se o doplňky a úpravy povrchu provedené při posledním restaurátorském zásahu)

↓ Ältere Ausbesserungen der geschädigten Oberfläche aus der letzten Restaurierung

Popis:

Povrch vápence je místy překrytý vrstvou šedého nátěru (pravděpodobně cementového) a částečně překrytý nebo doplněný jemnozrnnou maltou. Tyto vrstvy nanesené během předchozího restaurátorského zásahu mají velmi dobrou adhezi k hrubému povrchu horniny a jsou díky tomu obtížně odstranitelné.

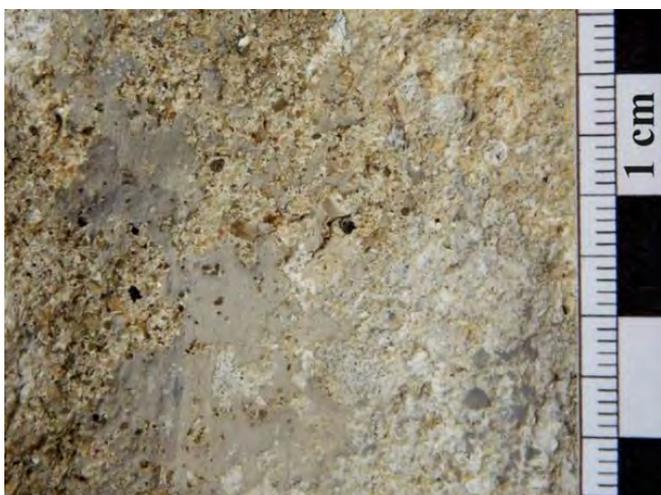
Beschreibung:

Die Kalksteinoberfläche ist bereichsweise mit einer dünnen grauen Anstrichschicht, vermutlich auf Zementbasis, überzogen; teilweise finden sich auch feinkörnige Mörtelüberzüge oder -ergänzungen. Diese während der vorhergehenden Restaurierung aufgetragenen Schichten weisen eine sehr gute Haftung zur groben Gesteinsoberfläche auf und sind deshalb schwer zu entfernen.



← Detail krku světce s materiály z předešlých zásahů

← Detail am Hals der Heiligenfigur mit Kittungen aus früheren Restaurierungen



← Makrofotografie, detail povrchu opraveného při předešlých zásazích

← Makrofotografie, Detail am Hals der Heiligenfigur mit Mörtelaufträgen aus früheren Restauriermassnahmen

Zjištění vybraných materiálových
vlastností horniny in situ

*Zjištění rychlosti vsáknutí vody do vápence
(propustnost povrchu pro vodu a pro
kapalný konsolidační prostředek)*

Tato charakteristika materiálu sochy byla
měřena přímo na objektu pomocí tzv.
Karstenovy trubice.

Rychlost vsáknutí vody byla měřena na více
místech, s různou mírou poškození.
Na erodovaném povrchu byla vedle
rychlosti vsakování vody měřena i rychlost
vsakování konsolidačního prostředku, který
měl být použit pro zpevnění poškozených
povrchových míst. Zamýšleným
konsolidačním prostředkem byla vápenná
nanosuspenze CaLoSiL® E25.



↑ Měření rychlosti vsakování vody do
erodovaného povrchu vápence
(Karstenova trubice)

↑ Messung der Wasseraufnahme
nach Karsten an einer verwitterten
Kalksteinoberfläche

Bestimmung ausgewählter
Materialeigenschaften des Gesteins in
situ

*Bestimmung der Flüssigkeitsaufnahme
durch die Kalksteinoberfläche*

Diese Materialeigenschaft der Skulptur
wurde direkt am Objekt mit dem sog.
Karsten'schen-Prüfröhrchen gemessen.

Die Aufnahme des aus dem an der
Steinoberfläche angebrachten Röhrchens
eindringenden Wassers wurde an
mehreren Stellen mit unterschiedlicher
Schadensintensität gemessen. Auf der
erodierten Oberfläche wurde neben den
Aufnahmewerten für Wasser auch
diejenigen für das zur Festigung
vorgesehene Konsolidierungsmittel
CaLoSiL® E25 gemessen.



↑ Měření rychlosti vsakování
konsolidantu CaLoSiL E25 do
erodovaného povrchu vápence
(Karstenova trubice)

↑ Messung der Aufnahme des
Konsolidierungsmittels CaLoSiL® E25
nach Karsten an einer verwitterten
Kalksteinoberfläche

↓ Výsledky měření

	Koeficient absorpce vody povrchem kamene W [kg/m ² h ^{0,5}]	Koeficient absorpce kapalného konsolidačního prostředku (CaLoSil E25) povrchem kamene W [kg/m ² h ^{0,5}]
Povrch v dobré kondici	7,4	nebylo měřeno
Erodovaný povrch	14,1	3,3

↓ Messergebnisse

	Absorptionskoeffizient des Wassers an der Steinoberfläche W [kg/m ² h ^{0,5}]	Absorptionskoeffizient des flüssigen Konsolidierungsmittels (CaLoSiL® E25) an der Steinoberfläche W [kg/m ² h ^{0,5}]
Oberfläche in gutem Zustand	7,4	nicht gemessen
Erodierte Oberfläche	14,1	3,3

Komentář:

Vápenec, použitý na sochu sv. Floriána, na povrchu poměrně dobře absorbuje vodu. Voda proniká do horniny rychleji v místech poškozených erozí. Snadné namočení povrchové partie sochy deštěm nebo tajícím sněhem může zvyšovat riziko dalšího poškození kamene: působením mrazu, atmosférických nečistot, vzniklých vodorozpustných solí, případně biologickým osídlením povrchu. Plánovaný konsolidační zásah měl proto za cíl i částečné snížení rychlosti průniku vody do povrchové vrstvy kamene. Redukce propustnosti povrchové vrstvy kamene neměla výrazně omezit transport vody opačným směrem - odpařování vody z kamene do ovzduší.

Kommentar:

Der für die Skulptur des Hl. Florian benutzte Kalkstein absorbierte Wasser über die Oberfläche relativ gut. Das Wasser ist in das Gestein an den durch Verwitterung geschädigten Stellen schneller eingedrungen. Das bloße Durchtränken der Oberflächenpartie der Skulptur mit Regen und Schneeschmelzwasser kann das Risiko weiterer Schädigungen des Steins erhöhen: durch Frost, atmosphärische Verunreinigungen, aufgrund wasserlöslicher Salze, ggf. durch biologischen Bewuchs auf der Oberfläche. Die geplanten Festigungsmaßnahmen sollten deswegen auch zu einer gewissen Reduzierung der Wasseraufnahme an der Steinoberfläche führen.

Kapalný konsolidační prostředek - vápenná nanosuspenze hydroxidu vápenatého v alkoholu – se vsakoval do vápence na erodovaném povrchu mnohem pomaleji než voda, nicméně konsolidant do kamene penetroval. Proto byl plánovaný pomalý průběh napouštění vápence prostředkem CaLoSiL® E25, ve více opakovaných krocích.

*Průzkum pevnostního profilu vápence
metodou odporového vrtání*

Tato metoda je založena na měření odporu materiálu při vrtání, které je prováděné při definovaných podmínkách – rychlosti otáček, přitlaku a typu vrtáku. Odpor vůči vrtání koreluje s pevností a tvrdostí materiálu a výsledek proto nepřímo poskytuje informace o pevnosti resp. pevnostním profilu ve směru od povrchu kamene (v místě vrtání) do hloubky několika cm pod povrchem.

Vzhledem k tomu, že se jedná o destruktivní zkušební metodu, bylo vrtání provedeno na plochách, kde mělo následovat lepení odlomené části nebo doplnění chybějící hmoty.

Die Reduzierung der Kapillaraufnahme der Oberflächenschicht des Steins sollte jedoch die Wasserdurchlässigkeit an der Oberfläche auch in entgegengesetzter Richtung zu erhalten – zur Wasserverdunstung in die Atmosphäre.

Das flüssige Konsolidierungsmittel, die Nanosuspension von Calciumhydroxid in Alkohol, ist in die verwitterte Oberfläche langsamer eingedrungen als Wasser, wobei jedoch der Festiger vom Stein aufgenommen wird. Der Auftrag des Festigungsmittels CaLoSiL® E25 wurde daher als langsam und in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten geplant.

*Bestimmung des Festigkeitsprofils durch
Bohrwiderstandsmessung*

Für die Feststellung des Festigkeitsprofils des Kalksteins wurde im Rahmen der Zustandsaufnahme eine Untersuchung durch Bohrwiderstandsmessung (Gerät Tersis 2, Geotron, DE)

Da es sich um eine zerstörende Prüfmethode handelt, wurde die Bohrung an verdeckten Stellen der Skulptur vorgenommen, an denen das Ankleben eines abgebrochenen Teils oder Ergänzungen geplant waren.

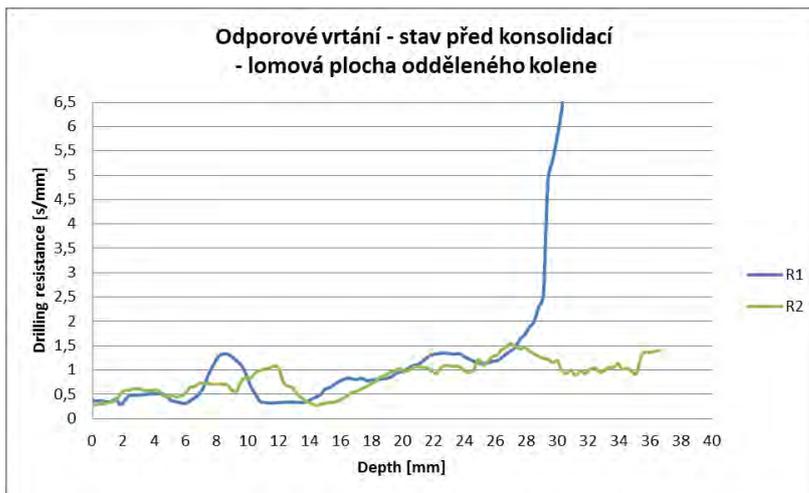
- ↓ Měření v místech s dobře dochovaným, soudržným povrchem horniny
- ↓ Messung an Stellen mit fester Gesteinsoberfläche



← Místo měření : lomová plocha kamene pod odlomenou částí- levým kolenem světce
 ← Messstelle:
 Bruchfläche unter einem abgebrochenen Teil – dem linken Knie der Heiligenfigur



↑ Detail míst měření odporového vrtání – R1, R2
 ↑ Detail der Messstellen für Bohrwiderstandsmessung – R1, R2



← Odpor vůči vrtání / rychlost průniku vrtáku do kamene (s/mm) v závislosti na vzdálenosti špičky vrtáku od povrchu
 ← Bohrwiderstandsprofil , gemessen als Eindringgeschwindigkeit der Bohrkronen in den Stein (s/mm) in Abhängigkeit von der Bohrtiefe

**Bohrwiderstandsprofil vor der Konsolidierung –
 Bruchfläche des abgetrennten Knies**

↓ Měření v místech s poškozeným, nesoudržným povrchem horniny

↓ Messung an Stellen mit geschädigter und gefüegegeschwächter Gesteinsoberfläche



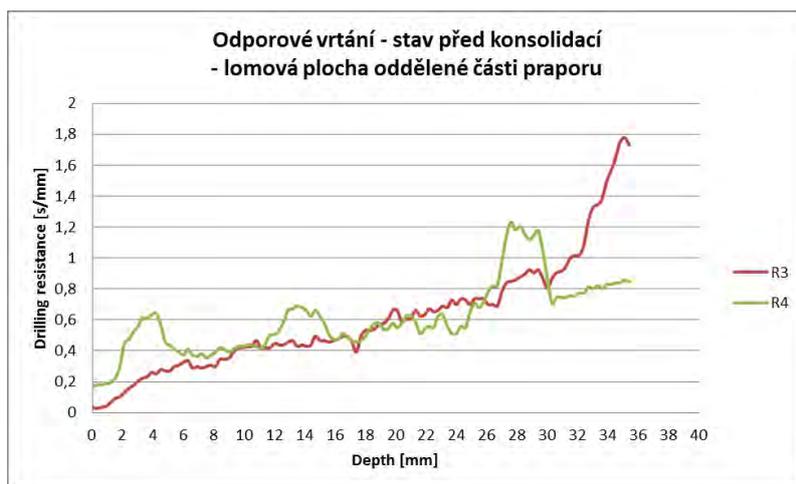
← Místo měření: lomová plocha kamene pod odlomenou částí praporu

← Messstelle:
Bruchfläche unter einem abgebrochenen Teil der Standarte



↑ Detail míst měření odporového vrtání – R3, R4

↑ Detail der Messstellen der Bohrwiderstandsmessung – R3, R4



← Odpor vůči vrtání / rychlost průniku vrtáku do kamene (s/mm) v závislosti na vzdálenosti špičky vrtáku od povrchu

← Bohrwiderstandsprofil, gemessen als Eindringgeschwindigkeit der Bohrkrona in den Stein (s/mm) in Abhängigkeit von der Bohrtiefe

**Bohrwiderstandsprofil vor der Konsolidierung –
Bruchfläche des abgetrennten Teils der Fahne**

Komentář:

Odpor vůči vrtání je v povrchové vrstvě vápence poměrně rovnoměrný, do hloubky 1,5 až 2 cm se naměřené hodnoty pohybují většinou mezi 0,5 až 1,5 s/mm. Směrem do větších hloubek odpor vůči vrtání mírně narůstá.

Kommentar:

Der Bohrwiderstand ist in der Oberflächenzone des Kalksteins relativ gleichmäßig; bis zur Tiefe von 1,5 bis 2 cm liegen die Messwerte größtenteils zwischen 0,5 bis 1,5 s/mm. Mit größerer Tiefe steigt der Bohrwiderstand leicht an.

Stanovení distribuce velikosti pórů horniny pomocí rtuťové porozimetrie

Bestimmung der Porengrößenverteilung des Gesteins mittels Quecksilberporosimetrie

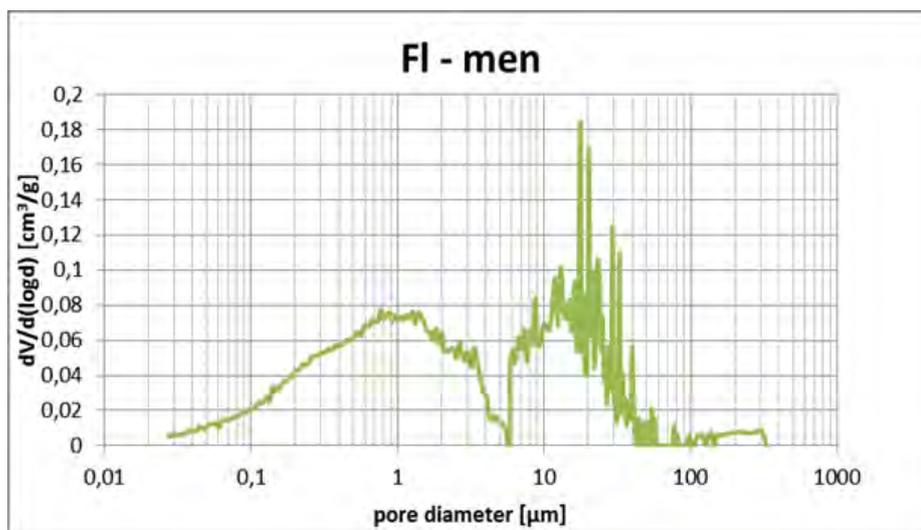
Pro zjištění distribuce velikosti pórů vápence byly použity úlomky horniny, které se odloučili při odstraňování nevyhovujících doplňků. Z tohoto důvodu není možné přesně lokalizovat místa odběrů vzorků. Měření bylo provedeno metodou rtuťové porozimetrie, která umožňuje stanovit kromě poměrného zastoupení velikostí pórů i celkovou otevřenou pórovitost, měrnou hmotnost i měrný povrch pórů v zkoumaném materiálu.

Zur Bestimmung der Porengrößenverteilung im Kalkstein wurden Fragmente verwendet, die sich bei der Entfernung unpassender Teile gelöst hatten. Aus diesem Grund können die Probeentnahmestellen nicht genau lokalisiert werden. Die Messung erfolgte mit der Methode der Quecksilberporosimetrie, welche ermöglicht, neben dem proportionalen Anteil der Porengrößen auch die gesamte offene Porosität, die spezifische Masse und die spezifische Oberfläche der Poren im untersuchten Material zu bestimmen.

↓ Vzorek č. 1 – distribuce velikosti pórů

↓ Probe Nr. 1 – Porosität und Porenradienverteilung

Vzorek	Měrná hmotnost [g/cm ³]	Pórovitost [obj. %]	Průměrná velikost pórů [μm]	Měrný povrch pórů [m ² /g]
Probe	Spezifisches Gewicht [g/cm ³]	Porosität [Vol. %]	Durchschnittliche Porengröße [μm]	Spezifische Oberfläche der Poren [m ² /g]
Fl-men	2.58	28.9	0.46	1.37



← Křivka distribuce velikosti pórů
← Grafische Darstellung der Porenradienverteilung

↓ Tabulka distribuce velikosti pórů

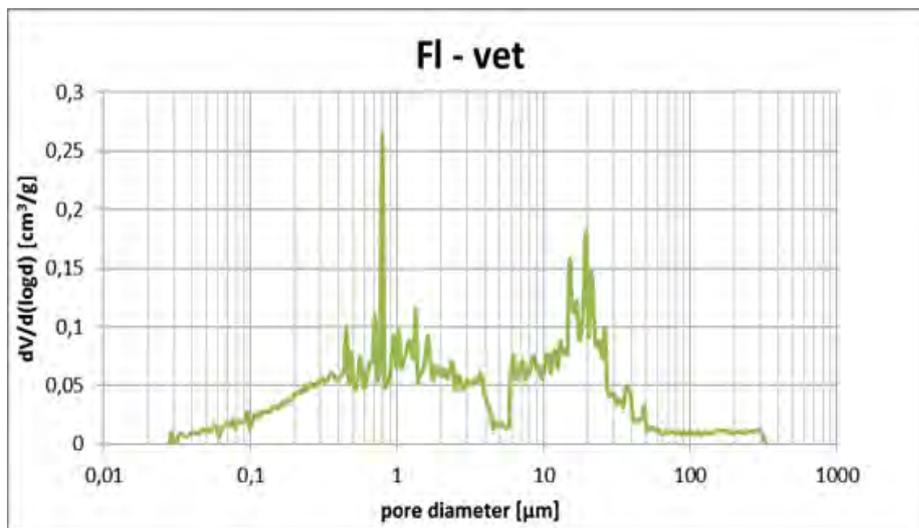
↓ Tabellarische Darstellung der Porenradienverteilung

D [μm]	0,001-0,01	0,01-0,1	0,1-1	1-10	10-100	100-1000
[%]	0	4,58	31,54	33,31	28,39	2,18

↓ Vzorek č. 2 – distribuce velikosti pórů

↓ Probe Nr. 2 – Porosität und Porenradienverteilung

Vzorek Probe	Měrná hmotnost [g/cm ³] Spezifisches Gewicht [g/cm ³]	Pórovitost [obj. %] Porosität [Vol. %]	Průměrná velikost pórů [μm] Durchschnittliche Porengröße [μm]	Měrný povrch pórů [m ² /g] Spezifische Oberfläche der Poren [m ² /g]
Fl-vet	2.58	31.4	0.5	1.43



← Křivka
distribuce
velikosti
pórů
← Grafische
Darstellung
der
Porenradien
verteilung e

↓ Tabulka distribuce velikosti pórů

↓ Tabellarische Darstellung der Porenradienverteilung

D [μm]	0,001-0,01	0,01-0,1	0,1-1	1-10	10-100	100-1000
[%]	0	4,33	29,03	32,54	31,13	2,97

Komentář:

Z výsledků je patrné, že vápenec ze sochy sv. Floriána je porézní, otevřená pórovitost u obou měřených vzorků je podobná, okolo 30%. Křivka distribuce velikosti pórů je u obou vzorků podobná, je bimodální s jedním maximem mezi 0,5 až 2 μm a druhým maximem mezi 5 až 30 μm . V obou případech je až 60% pórů v rozmezí velikostí 1-100 μm a kolem 30% pórů v oblasti 10-100 μm . Tato měření dobře korelují s naměřenými vysokými hodnotami absorpce vody do horniny. Vzhledem ke zjištěné vysoké pórovitosti a poměrně vysokému podílu pórů velikosti nad 10 μm ve vápenci lze předpokládat poměrně dobrou penetraci vápenných nanosuspenzí CaLoSiL® E25 nebo E 50 s velikostí nanočástic v rozsahu 50 až 200 nm (póry kamene jsou dostatečně „velké“ ve srovnání s velikostí částic konsolidačního prostředku).

Aplikace a zkoušky vápenných nanosuspenzí

Na základě výsledků průzkumu, zejména pak měření schopnosti horniny přijímat kapaliny (a to jak vodu, tak konsolidační prostředek na bázi vápenné nanosuspenze), byl pro účely strukturální konsolidace sochy sv. Floriána zvolen prostředek CaLoSiL® E25 a CaLoSiL® E50.

Kommentar:

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass der Kalkstein der Skulptur des Hl. Florian mit etwa 30% offener Porosität als porös zu bezeichnen ist, wobei die Messwerte für beide gemessenen Proben ähnlich sind. Ebenso ist die Porengrößenverteilung in beiden Proben ähnlich, bimodal mit einem Maximum zwischen 0,5 bis 2 μm und dem zweiten Maximum zwischen 5 bis 30 μm . In beiden Fällen liegen bis zu 60% der Poren im Größenbereich von 1-100 μm und etwa 30% im Größenbereich von 10-100 μm . Diese Messungen korrelieren gut mit den gemessenen hohen Werten der Wasserabsorption. Angesichts der ermittelten hohen Porosität und des relativ hohen Anteils der Porengrößen über 10 μm im Kalkstein kann eine relativ gute Penetration der Nanosuspensionen CaLoSiL® E25 eventuell E 50 mit Nanopartikelgrößen im Bereich von 50 bis 200 nm erwartet werden, da die Poren des Gesteins im Vergleich zu den Partikeln des Festigers ausreichend „groß“ sind.

Anwendungen und Prüfungen der Kalknanosuspensionen

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse, vor allem in Hinblick auf die gemessene kapillare Aufnahmefähigkeit des Steins sowohl für Wasser, als auch für die Produkte auf Basis Nanokalksuspensionen, wurden für die Gefügefestigung der Skulptur des Hl. Florian die Mittel CaLoSiL® E25 und CaLoSiL® E50 gewählt.

Postup zpevnění degradovaného vápence nanovápnelem byl nejdříve ověřen na vybraných testovacích plochách. Konsolidant byl aplikován na suchý kámen za pomoci stříček různých velikostí nebo za pomoci injekčních stříkaček s jehlami. Podmínky při zpevňování a v dalším období 1 měsíce byly následující: teplota 10–15 °C a relativní vzdušná vlhkost 70–80 %. Zpevňovací prostředek byl vždy aplikován do nasycení daného místa tak, aby nestékal a nezůstával zadržován na povrchu sochy, v záhybech apod. Případný přebytečný, nevsáknutý kapalný konsolidant byl neprodleně odsáván buničinou, nebo jiným savým materiálem.

V průběhu konsolidace byla sledována spotřeba konsolidantu na jednotlivých ošetřovaných plochách. Aby bylo možné spotřebu snadněji sledovat, byl povrch sochy rozdělen na několik oblastí, u kterých byla následně změřena jejich plocha. Spotřeba tak mohla být vzhledem k této ploše přepočítána a vyjádřena v litrech na metr čtvereční.

Na strukturální konsolidaci jednotlivých částí sochy sv. Floriána, jejichž plocha dohromady tvoří přibližně 4,3 m², bylo celkem spotřebováno přibližně 6,5 litrů nanosuspenze CaLoSil® E25 (obsah hydroxidu vápenatého 25 g/l).

Das Festigungsverfahren für verwitterte Steinoberflächen mit Nanokalk wurde zunächst auf ausgewählten Flächen getestet. Das Konsolidierungsmittel wurde mit Laborspritzflaschen unterschiedlicher Größe und Injektionsspritzen mit Nadeln auf den trockenen Stein aufgebracht. Die Bedingungen während der Applikation sowie im darauffolgenden Monat waren folgende: Temperatur um 10–15 °C und relative Luftfeuchtigkeit 70–80 %. Der Steinfestiger wurde stets bis zur Sättigung der jeweiligen Stelle so aufgetragen, dass er nicht abrann und auch kein Überstand an der Oberfläche der Skulptur, in Gewandfalten u.ä. zurückblieb. Etwaiges überschüssiges, nicht eingedrungenes Konsolidierungsmittel wurde unverzüglich mit Gaze oder einem anderem saugfähigen Material entfernt.

Während der Applikation wurde der Verbrauch des Konsolidierungsmittels an den einzelnen behandelten Flächen verfolgt. Um den Verbrauch leichter feststellen zu können, wurde die Oberfläche der Skulptur in mehrere Tränkungsgebiete unterteilt, deren Flächenmaß nachfolgend gemessen wurde. Der Verbrauch konnte auf diese Weise bezüglich dieser Fläche umgerechnet und in Litern pro Quadratmeter dargestellt werden.

Zur Gefügefestigung der einzelnen Teile der Skulptur des Hl. Florian, deren Fläche zusammen etwa 4,3 m² ergibt, wurden insgesamt etwa 6,5 Liter Konsolidierungsmittel vom Typ CaLoSiL® E25 mit einem Gehalt von Calciumhydroxid von 25 g/L verbraucht). Insgesamt waren mit der Behandlung der Skulptur mit Konsolidierungsmittel zwei Personen 3 volle Arbeitstage beschäftigt, worin auch.

Celkem byly napouštění sochy konsolidantem, dvěma osobami věnovány 3 plné pracovní dny, přičemž do tohoto času je zahrnutá i injekce prasklin prostředky řady CaLoSil® s vyšším obsahem hydroxidu vápenatého. Celý povrch sochy byl konsolidován ve dvou napouštěcích cyklech, z nichž každý zahrnoval nejméně 2 aplikační cykly. Ve třetím napouštěcím cyklu byla lokálně napuštěna silně narušená a nedostatečně soudržná místa. Spotřeba CaLoSilu®E25 pro strukturální zpevnění sochy se pohybovala od 1 do 2,2 l/m² (v závislosti na charakteru a míře degradace povrchu). Průměrná spotřeba pak činila 1,6 l/m².

Aplikace konsolidantu na vybranou plochu v rámci jednoho dne napouštění byla považována za jeden napouštěcí cyklus, i když se skládal z více dílčích impregnačních kroků. V průběhu jednoho dne byly napouštěny různé vybrané plochy, které byly stále prosycovány prostředkem CaLoSil® E25 tak, aby nedošlo k úplnému odparu rozpouštědla a povrch tedy zůstal předvlhčen pro další aplikaci. Po každém dni napouštění byl vždy kámen překryt polyethylenovou folií, aby se zpomalil odpar rozpouštědla a zamezilo se zpětné migraci konsolidantu (toto opatření přispívá i k omezení vzniku bílého zákalu).

V rámci prvního napouštěcího cyklu (1. napouštěcí den) byl konsolidant aplikován ve dvou etapách přibližně s hodinovou přestávkou. Druhý napouštěcí cyklus (2. napouštěcí den) následoval tři dny po prvním napouštěcím cyklu a v rámci něj byl již konsolidant aplikován pouze lokálně na místa, která byla silněji narušená.

die Zeit für die Verfüllung der Risse mit höherkonzentrierten Mitteln der Reihe CaLoSil® enthalten ist. Die Gesamtoberfläche der Skulptur wurde in zwei Tränkungszyklen behandelt, von denen jeder mindestens 2 Applikationen umfasste. Im dritten Tränkungszyklus wurden örtlich stark beschädigte und unzureichend haftende Stellen imprägniert. Der Verbrauch von CaLoSil®E25 zur Gefügefestigung der Skulptur lag zwischen 1,0 bis 2,2 l/m², abhängig vom Charakter und Verwitterungsgrad der Oberfläche). Der durchschnittliche Verbrauch betrug somit 1,6 l/m².

Der Auftrag von Festigungsmittelauf die ausgewählte Fläche im Rahmen eines Tränkungstages gilt als ein Tränkungszyklus, auch wenn er aus mehreren Teilschritten besteht. Innerhalb eines Tages wurden verschiedene ausgewählte Flächen behandelt, die mit CaLoSil®E25 immer so gesättigt waren, dass das Lösungsmittel nicht vollständig verdunstete und die Oberfläche somit für die weitere Behandlung feucht blieb. Nach jedem Behandlungstag wurde der Stein mit einer Polyethylen-Folie abgedeckt, um die Verdunstung zu stoppen und die Rückmigration des Konsolidierungsmittels zu verhindern. Diese Maßnahme dient auch dazu, die Bildung eines Weißschleiers zu reduzieren.

Im Rahmen des ersten Tränkungszyklus (1. Tränkungstag) wurde das Konsolidierungsmittel in zwei Anwendungszyklen mit etwa einstündiger Pause aufgetragen. Im zweiten Tränkungszyklus (2. Tränkungstag), der drei Tage nach dem ersten erfolgte, wurde das Konsolidierungsmittel bereits nur noch an V primé návaznosti na druhý napouštěcí

cyklus byla provedena injektáž prasklin, trhlin a silně korodovaných částí kamene systémem „mokrý do mokrého“. Injektovaná místa byla nejprve důkladně prosycena koncentrovanějším konsolidantem CaLoSil®E50 (50 g/l) a následně byly praskliny a trhliny injektovány prostředkem CaLoSil®Pasty (250 g/l). Množství spotřebovaného materiálu CaLoSilu® E50 na celou sochu bylo cca 500 ml a množství CaLoSilu®Pasty cca 200 ml.

den stärker beschädigten Stellen aufgetragen. Im direkten Anschluss an den zweiten Tränkungszyklus wurden Risse, Spalten und stark korrodierte Teile des Steins mit dem „Nass-in-nass“-Verfahren verfüllt. Die Injektionsstellen wurden zunächst gründlich mit dem konzentrierteren Konsolidierungsmittel CaLoSiL®E50 (50 g/l) imprägniert, und nachfolgend wurden die Risse und Spalten mit dem Produkt CaLoSiL®Pasty (250 g/L) verfüllt. Die verbrauchte Menge von CaLoSiL®E50 für die gesamte Skulptur betrug ca. 500 ml und die Menge der CaLoSiL®Pasty ca. 200 ml.

↓ Vyznačení jednotlivých napouštěných ploch a barevné odlišení spotřeby vápenné nanosuspenze CaLoSilu®E25 v litrech na m²

Napouštěcí plocha	Plocha [m ²]	Celkový objem konsolidantu [l]	Spotřeba [l/m ²]	Počet aplikačních cyklů
Hlava, hrud', ruka	0,60	1,05	1,8	3
Trup	0,16	0,33	2,1	3
Praporec	0,58	1,25	2,2	3
Suknice, vědro	0,81	0,85	1,0	3
Nohy, sokl – přední a boční strany	0,90	1,30	1,4	3
Zadní plocha sochy, sokl ze zadní strany	0,85	1,25	1,5	2
Fragmenty k osazení	0,34	0,45	1,3	2
CELKEM *průměrná spotřeba	4,25	6,48	1,6*	3



↓ Lokalisierung der einzelnen Tränkungsflächen und farbliche Darstellung des Verbrauchs der Kalk-Nanosuspension CaLoSiL®E25, berechnet in Litern pro m²

Tränkungsfläche	Fläche [m ²]	Gesamt- volumen des Konsolidierungs- mittels [l]	Verbrauch [l/m ²]	Anzahl der Anwendungs- zyklen
Kopf, Thorax, Hand	0,60	1,05	1,8	3
Rumpf	0,16	0,33	2,1	3
Standarte	0,58	1,25	2,2	3
Rücken, Eimer	0,81	0,85	1,0	3
Beine, Sockel – Vorder- und Seitenflächen	0,90	1,30	1,4	3
Rückseite der Skulptur, Sockel von der Rückseite	0,85	1,25	1,5	2
Fragmente zu Einsetzen	0,34	0,45	1,3	2
INSGESAMT *durchschnittlicher Verbrauch	4,25	6,48	1,6*	3





↑ Konsolidace - aplikace prostředku CaLoSiL® E25 pomalým napouštěním pomocí laboratorní stříčky
 ↑ Konsolidierung – Anwendung des Mittels CaLoSiL® E25 langsames Fluten mithilfe einer Laborspritzflasche



↑ Injektáže prasklin pomocí injekční stříkačky s jehlou a odsávání přebytečné nanosuspenze buničinou
 ↑ Auffüllen der Risse mithilfe einer Injektionsspritze mit Nadel und Absaugen der überschüssigen Nanosuspension



↑ Injektáže prasklin pomocí injekční stříkačky s jehlou bezprostředně po konsolidaci
 ↑ Auffüllen der Risse mithilfe einer Injektionsspritze mit Nadel unmittelbar nach der Konsolidierung



↑ Zjišťování plochy jednotlivých částí napouštěné plochy pomocí vážení. Povrch dané části sochy byl obalen hliníkovou fólií (alobal), ta byla následně zvážena. Plocha byla vypočítána ze zjištěné hmotnosti a z plošné hmotnosti fólie.
 ↑ Ermittlung der Fläche der einzelnen Teile der getränkten Fläche. Die Oberfläche des jeweiligen Teils der Statue wurde mit Alufolie bedeckt, die anschließend gewogen wurde. Die Fläche wurde aus dem ermittelten Gewicht und dem Flächengewicht der Folie berechnet.

V důsledku provedené konsolidace nanovápnm došlo na povrchu sochy k vytvoření bílého povlaku uhličitanu vápenatého a tím částečné změně barvy vápence. Tato uhličitanová povrchová mikrovrstva byla proto následně mechanickým mikroabrazivním čištěním (mikropískováním) redukována. Tímto způsobem bylo možné docílit výsledného odstínu ošetřeného povrchu sochy, který vyhovoval požadavkům restaurátora i zástupcům Národního památkového ústavu (odborný dozor restaurování sochy).

Infolge der vorgenommenen Konsolidierung mit Nanokalk entwickelte sich auf der Oberfläche der Skulptur ein weißer Schleier aus Calciumkarbonat, wodurch sich die Farbe des Kalksteins veränderte. Dieser dünne Überzug auf der Oberfläche wurde deshalb anschließend mechanisch durch Mikrosandstrahlen reduziert. Auf diese Weise konnte der gewünschte Farbton der behandelten Oberfläche der Skulptur erzielt werden, der den Anforderungen des Restaurators und den Vertretern des Nationalen Denkmalinstituts (Fachaufsicht der Restaurierung der Skulptur) zusagte.



↑ Stav před započatím konsolidace (po sejmutí doplňků a lepených částí).
↑ Zustand vor Beginn der Konsolidierung (nach Entfernung der Zubehöre und geklebten Teile).



↑ Stav po aplikaci vápenných nanomateriálů (po 2. napouštěcím cyklu strukturální konsolidace a injektážích).
↑ Zustand nach Anwendung der Kalknanomaterialien (nach 2. Tränkungszyklus der Gefügefestigung und Verfüllungen).



↑ Stav po dokončení restaurátorských prací (po odstranění bílého zákalu, doplnění poškozených míst a retuších)
↑ Zustand nach Abschluss der Restaurierungsarbeiten (nach Entfernung des Weißschleiers, Ergänzung beschädigter Stellen und Retuschen)

Zpevňující efekt byl hodnocen metodou odtrhu plastové pásky opatřené lepicí vrstvou. Podstatou metody je porovnání hmotnosti částic odtržených lepicí páskou před ošetřením povrchu a po jeho konsolidaci. Zkouškou bylo zjištěno zlepšení soudržnosti částic a zpevnění kamene.

Vedle zpevňovacího účinku na povrchu vápence byla hodnocena i změna rychlosti vsakování vody do povrchu vápence před a po ošetření. Koeficient absorpce byl zjištěn s využitím Karstenovy trubice a také mikrotrubice pro přesné zjištění rychlosti vsakování vody.

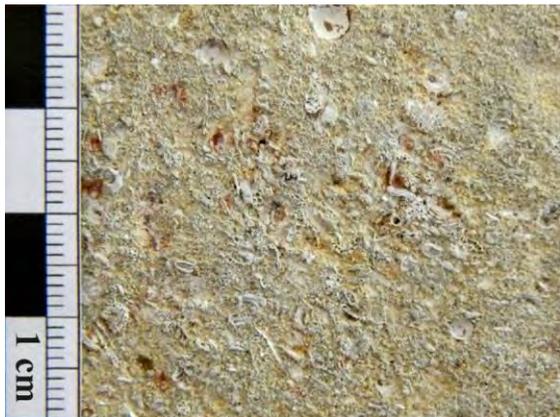
Der Festigungseffekt des Nanokalks wurde mit der Abrissmethode eines Kunststoffstreifens mit Klebeschicht bewertet. Das Prinzip des Verfahrens besteht im Vergleich des Gewichts der mit dem Klebestreifen ausgerissenen Partikel vor der Behandlung der Oberfläche und nach deren Konsolidierung. Durch den Test wurden Verbesserung des Haftvermögens der Teilchen und Verfestigung festgestellt. Neben der verfestigenden Wirkung wurde die Änderung der kapillaren Wasseraufnahme durch die Kalksteinoberfläche vor und nach der Behandlung bewertet. Der Absorptionskoeffizient wurde unter Verwendung des Karsten'schen-Röhrchens und auch des Mikrorohrs zur genauen Feststellung der anfänglichen Wassereindringgeschwindigkeit ermittelt.

↓ Výsledky měření nasákavosti

	Koeficient absorpce vody před konsolidací [kg/m ² h ^{0,5}]	Koeficient absorpce vody po konsolidaci [kg/m ² h ^{0,5}]
Kompaktní povrch	7,4	0,9
Erodovaný povrch	14,1	3,9

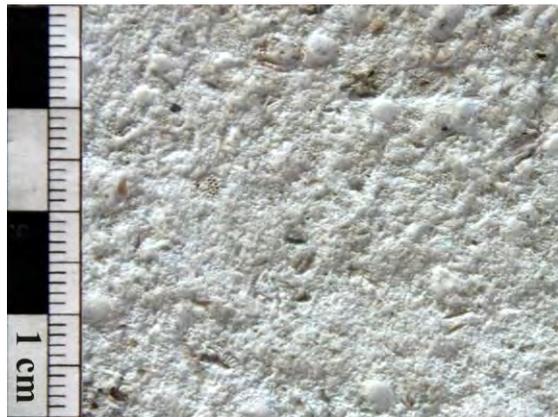
↓ Ergebnisse der Wasseraufnahme

	Wasserabsorptionskoeffizient vor der Konsolidierung [kg/m ² h ^{0,5}]	Wasserabsorptionskoeffizient nach der Konsolidierung [kg/m ² h ^{0,5}]
Kompakte Oberfläche	7,4	0,9
Angewitterte Oberfläche	14,1	3,9



↑ Makrofotografie, detail povrchu v místě dobře zachované horniny před konsolidací

↑ Makrofotografie, Oberflächendetail eines gut erhaltenen Steinbereichs vor der Konsolidierung



↑ Makrofotografie, detail povrchu v místě dobře zachované horniny po konsolidaci

↑ Makrofotografie, Oberflächendetail eines gut erhaltenen Steinbereichs nach der Konsolidierung



↑ Makrofotografie, detail povrchu v místě erodovaného, otevřeného povrchu horniny před konsolidací

↑ Makrofotografie, Oberflächendetail eines angewitterten und offenporigen Steinbereichs vor der Konsolidierung



↑ Makrofotografie, detail povrchu v místě erodovaného, otevřeného povrchu horniny po konsolidaci

↑ Makrofotografie, Oberflächendetail eines angewitterten und offenporigen Steinbereichs nach der Konsolidierung

Komentář

Po ošetření vápence vápennou nanosuspensí se snížila rychlost absorpce vody horninou. Toto snížení je zřejmě důsledkem vyplnění porézní struktury kamene novým pojivem a zúžením pórů vápence.

Výsledným produktem vytvrdnutí konsolidantů na bázi hydroxidu vápenatého je uhličitán vápenatý – materiál složením stejný jako konsolidovaná hornina. Uhličitán vápenatý nemá hydrofobní vlastnosti, které by mohly vyvolávat snížení nasákavosti materiálu vodou. Zpomalení průniku vody do ošetřeného materiálu je možné vysvětlit tím, že v důsledku konsolidace je vápenec i jeho povrch kompaktnější, póry jsou částečně zaplněny a pórovitost kamene je na povrchu snížena.

Kommentar

Durch die Behandlung des Kalksteins mit Kalknanosuspension wurde die Kapillarwasseraufnahmefähigkeit des Steins verlangsamt. Dieser Effekt ist offenbar das Ergebnis des Auffüllens der porösen Steinstruktur mit dem neuen Bindemittel und der Verengung der Gesteinsporen.

Das Endprodukt der Aushärtung von Konsolidierungsmitteln auf Calciumhydroxidbasis ist Calciumkarbonat, eine Verbindung, die dem Mineralbestand des konsolidierten Gesteins entspricht. Calciumkarbonat hat keine hydrophoben Eigenschaften, die die Wasserabsorptionsfähigkeit des Materials verringern könnten. Die Verlangsamung der Wasserpenetration in das behandelte Material lässt sich damit erklären, dass der Kalkstein und dessen Oberfläche infolge der Konsolidierung kompakter und die Poren teilweise verfüllt sind, womit sich die Oberflächenporosität des Steins vermindert. Die im gegenständlichen Fall festgestellte Reduzierung des Wasserabsorptionskoeffizienten infolge der Konsolidierung ist als relativ hoch einzuschätzen. Dieser Effekt wird weiterhin beobachtet und von Zeit zu Zeit kontrolliert werden müssen mit dem Augenmerk darauf, festzustellen, ob sich die Wasseraufnahme in der behandelten Oberfläche des Steins mit der Zeit erhöht oder gleich bleibt.

Shrnutí výsledků zkoušek využití
vápenných nanomateriálů

Vzhledem k typu poškození, výsledku průzkumu i zkoušek byla pro celoplošnou konsolidaci sochy sv. Floriána vybrána vápenná nanosuspenze CaLoSil® E25. Průměrná spotřeba konsolidačního prostředku byla přibližně 1,6 l/m² přičemž na více erodovaných plochách dosahovala spotřeba až 2,2 l/m². Vycházejíc z dosavadních zkušeností s konsolidací podobných typů porézních vápenců lze odhadovat hloubku penetrace vápenné nanosuspenze do vápence kolem 1,5-2 cm, což je vzhledem ke zjištěnému rozsahu poškození sochy dostatečná hloubka. Výsledky injektáže prasklin a trhlin injektážním prostředkem CaLoSil® Pasty lze rovněž hodnotit pozitivně. Po vytvrdnutí injektážního prostředku sice došlo v injektážní maltovině ke tvorbě smršťovacích prasklin, ale celkově bylo dosaženo uspokojivého vyplnění prasklin a stabilizace míst s tímto typem poškození. Časová náročnost byla v tomto případě srovnatelná s aplikací běžně používaných konsolidačních nebo injektážních prostředků.

Konsolidace sochy prostředkem CaLoSil® E25 a injektáž prasklin realizována ve dvou krocích, nejprve prosycením prostředkem CaLoSil® E50 a následně vyplněním prostředkem CaLoSil® Pasty, byla celkově provedena dvěma osobami v průběhu 3 pracovních dnů.

Zusammenfassung der Testergebnisse

In Hinblick auf die Schadensformen sowie auf Basis der Untersuchungs- und Testergebnisse wurde für die ganzflächige Konsolidierung der Skulptur des Hl. Florian die Kalknanosuspension vom Typ CaLoSil® E25 gewählt. Der durchschnittliche Festigerverbrauch betrug annähernd 1,6 l/m², wobei er an einigen verwitterten Flächen bis auf 2,2 l/m² anstieg. Ausgehend von den bisherigen Erfahrungen mit der Konsolidierung lithologisch ähnlicher poröser Kalksteinsorten kann eine Eindringtiefe der Kalknanosuspension von etwa 1,5-2 cm erwartet werden, was angesichts des festgestellten Schadensumfangs ausreichend tief erscheint. Die Testergebnisse des Verfüllens von Rissen und Spalten mit dem Füllmittel CaLoSil® Paste können ebenfalls positiv bewertet werden. Nach dem Aushärten des Füllmittels sind zwar vereinzelt Schrumpfrisse im Füllmörtel entstanden, aber insgesamt wurden ein befriedigendes Verfüllen der Risse im Stein und die Stabilisierung der von dieser Schadensform betroffenen Bereiche erzielt.

Für die Festigung einschließlich der Rissfüllungen, die in zwei Schritten zunächst durch Sättigung mit CaLoSil® E50 und nachfolgend durch das Füllen mit CaLoSil® Paste erfolgte, benötigten zwei Personen 3 Arbeitstage.

Podle subjektivního hodnocení vykazoval zpevňovaný povrch vápence zlepšení pevnosti a soudržnosti a to i na silně erodovaných plochách. Dle vizuálního hodnocení povrchu bylo patrné, že došlo k vyplnění porézní struktury kamene novým pojivem a tím došlo k jejímu scelení. Tento poznatek byl také zaznamenán při měření nasákavosti povrchů po konsolidaci, kdy došlo k jejímu výraznému snížení oproti stavu před ní.

Určitém negativem byl vznik bílého zákalu na napouštěném povrchu sochy, který je však logickým důsledkem vyplňování porů kamene vápenným pojivem. Vzniklý zákal není problematický v případě následných povrchových úprav kamene a tato tenká vrstva uhličitanu vápenatého může také posloužit jako ochranná obětovaná vrstva povrchu. V případě, že je zákal vizuálně neakceptovatelný, je možné se mu vyhnout vhodnými postupy při aplikaci nebo po jejím ukončení.

I na základě dané zkušenosti lze konstatovat, že nanosuspenze hydroxidu vápenatého představují vhodný prostředek pro strukturální konsolidaci erodovaných částí porézních litavských vápenců. Zároveň je nutné znovu připomenout, že nespornou výhodou prostředků na bázi nanosuspenzí hydroxidu vápenatého je stejné chemické složení nového pojiva a původního pojiva zpevňované horniny.

Neben der subjektiven Bewertung wies die gefestigte Kalksteinoberfläche eine Verbesserung von Festigkeit und Haftvermögen auch an stark erodierten Flächen auf. Gemäß der visuellen Begutachtung der Oberfläche war offensichtlich, dass das Porengefüge des Steins mit dem neuen Bindemittel stabilisiert werden konnte, was auch zu einem gewissen Porenverschluss führte. Diese Beobachtung bestätigte sich auch durch die Messwerte Wasserabsorptionsfähigkeit der Oberflächen nach der Konsolidierung, die im Vergleich zur Ausgangssituation stark abgenommen hatte.

Eine gewisse negative Erscheinung war die Entstehung des Weißschleiers auf der getränkten Oberfläche der Skulptur, die jedoch eine logische Folge des Füllens der Steinporen mit dem Kalkbindemittel ist. Der entstandene Schleier ist bei anschließender Oberflächenbearbeitung des Steins unproblematisch, wobei unter gewissen Umständen dieser dünne Belag aus Calciumkarbonat- auch als Opferschicht dienen kann. Sollte diese Trübung als ästhetisch störend empfunden werden, kann sie durch geeignete Vorkehrungen während oder nach der Applikation des Festigers vermieden werden.

Abschließend lässt sich feststellen, dass Calciumhydroxid-Nanosuspensionen ein geeignetes Mittel für die Gefügefestigung erodierter bis stark verwitterter lithologisch ähnlicher poröser Kalksteinsorten darstellen. Gleichzeitig ist hervorzuheben, dass ihr großer und unumstrittener Vorteil in der gegenüber dem Stein gleichartigen chemischen Zusammensetzung des neu eingeführten Bindemittels besteht.

Torzo baldachýnu zámku Lednice

Základní popis díla

Baldachýn byl součástí architektury nad sochou Panny Marie umístěnou na balustrádě terasy nad čelním vstupem do kostela Sv. Jakuba v areálu státního zámku v Lednici. Původně byl posazený na čtyřech sloupech a doplněn o vrcholovou skupinu fiál. Baldachýn má půdorys čtverce a tvarosloví nese znaky neogotického slohu (19. století). Torzo baldachýnu je celé zhotovené ze světlého, porézního, jemnozrnného, biodetritického vápence a jeho rozměry jsou následující: 80 (šířka) x 94 (výška) x 80 (hloubka) cm.

Vzhledem k rozsáhlému poškození baldachýnu bylo v rámci nedávno dokončené obnovy kostela rozhodnuto, že originální baldachýn není možné vrátit zpět do exteriéru a bude nahrazen kopií. Silně poškozený originál resp. jeho část bylo proto možné použít na výzkum konsolidačního ošetření vápence s využitím vápenných nanomateriálů.

Torso eines Baldachins aus dem Schloss Lednice

Grundlegende Beschreibung des Werks

Der Baldachin war ein Bestandteil der Architektur über der Statue der Jungfrau Maria, die an der Balustrade der Terrasse über dem Fronteingang in die Kirche des Hl. Jakobs im Areal des staatlichen Schlosses in Lednice angebracht war. Ursprünglich war er auf vier Säulen gesetzt und um eine Gipfelgruppe von Fialen ergänzt. Der Baldachin hat den Grundriss eines Quadrats und die Morphologie trägt die Merkmale des neugotischen Stils (19. Jahrhundert). Der Torso des Baldachins ist aus hellem, porösen, feinkörnigem, biodetritischen Kalksteins gefertigt und seine Maße sind folgende: 80 (Breite) x 94 (Höhe) x 80 (Tiefe) cm.

Im Hinblick auf die umfangreiche Beschädigung des Baldachins wurde im Rahmen der unlängst beendigten Erneuerung der Kirche entschieden, dass man den originalen Baldachin nicht mehr ins Freie stellen kann, und dass er durch eine Kopie ersetzt wird. Das stark beschädigte Original resp. sein Teil konnte deshalb für eine Untersuchung einer Konsolidierungsbehandlung des Kalksteins unter Anwendung von Kalk-Nanomaterialien verwendet werden.



← Čelní pohled na torzo baldachýnu

(je umístěn na dřevěné podložce obráceně – horní stranou dolů)

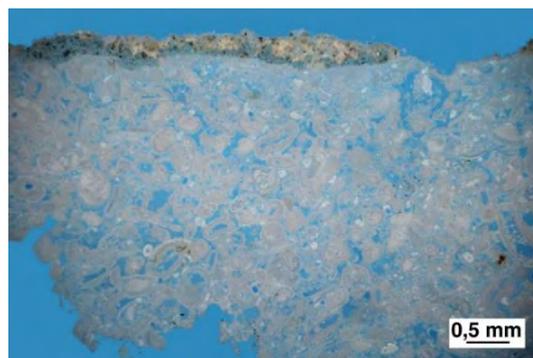
← Frontansicht auf des Torso des Baldachins

(er ist umgekehrt auf einer Holzunterlage platziert – mit der Oberseite nach unten)



↑ Lomová plocha vápence s tenkou vrstvou opravné malty (tmelu) na povrchu (na horní straně lomové plochy)

↑ Bruchfläche des Kalksteins mit einer dünnen Schicht von Ausbesserungsmörtel (Kitt) auf der Oberfläche (auf der oberen Seite der Bruchfläche)



↑ Výbrus vzorku vápence, procházející světlo, paralelní nikoly, na povrchu je viditelná tenká vrstva opravné malty (tmelu)

↑ Dünnschliff einer Kalksteinprobe, Durchlicht, parallele Polarisatoren, auf der Oberfläche ist die sichtbare dünne Schicht des Ausbesserungsmörtels (Kitt)

Charakteristika použitého vápence

Petrologická charakteristika použité horniny byla provedená na základě mikroskopické analýzy. Jedná se o porézni, homogenní, poměrně jemnozrnny organodetritický vápenec tzv. biokalkarenit. Hornina patří jednoznačně do skupiny litavských vápenců a pravděpodobná lokalita původu leží při obci Au am Leithagebirge (Dolní Rakousko).

Popis stavu torza před započatím zkoušek

Baldachýn byl rozpadnutý na několik větších částí a řady drobnějších fragmentů. Příčina tohoto poškození není řešitelům projektu známá, lze předpokládat pád baldachýnu a následný rozpad na několik větších částí a menší fragmenty. Některé části torza byly slepené a některé ze slepených fragmentů na sebe nedoléhaly správně. Lepení originálních částí bylo provedeno pro potřeby zhotovení kopie objektu, kdy originál sloužil jako předloha

Téměř celý povrch torza baldachýnu nese různé známky působení povětrnostních vlivů a různé stupně eroze kamene. Plochy, které byly více exponovány působení srážek, vykazovaly erodovaný a hrubší povrch v důsledku částečného „vyplavení“ pojiva horniny. Na některých místech, zejména v deštových stínech na vnitřních stranách baldachýnu, byla na povrchu

Charakteristik des verwendeten Kalksteins

Die petrologische Charakteristik des verwendeten Gesteins wurde auf der Grundlage einer mikroskopischen Analyse durchgeführt. Es handelt sich um porösen, homogenen, verhältnismäßig einkörnigen organodetritischen Kalkstein, sog. Biokalkarenit. Das Gestein gehört eindeutig zur Gruppe von Leithakalksteinen und die wahrscheinliche Lokalität der Herkunft liegt bei der Gemeinde Au am Leithagebirge (Niederösterreich).

Beschreibung des Zustands des Torsos vor Beginn der Prüfungen

Der Baldachin war in einige größere Teile und einer Reihe kleinerer Fragmente zerfallen. Die Ursache dieser Beschädigung ist den Projektpartnern nicht bekannt. Ein Absturz des Baldachins und das anschließende Zerbrechen in einige größere Teile und kleinere Fragmente wäre voraussetzen. Einige Teile des Torsos waren verklebt und mehrere der zusammengeklebten Fragmente lagen nicht passend aufeinander auf. Das Kleben der Originalteile wurde schon vor und außer Rahmen des Projektes für die Anfertigung einer Kopie des Objekts durchgeführt, wobei das Original als Vorlage diente.

Beinahe die gesamte Oberfläche des Torsos des Baldachins weist verschiedene Merkmale von Witterungseinflüssen und verschiedene Stufen der Erosion des Steins auf. Die Flächen, die durch direkte Einwirkung von Niederschlag betroffen wurden, sind infolge der partiellen Gesteinsmatrix-auflösung rauer und poröser.

kamene vytvořená tmavá, poměrně kompaktní vrstva (krusta).

Lokálně se na těchto plochách objevovaly puchýřky s dutinkami, které byly vyplněny silně dezintegrovanou horninou. V místech, kde došlo k odtržení této povrchové vrstvy, byl vápenec nesoudržný, na povrchu bylo patrné jeho pískovatění. Dalším významným poškozením baldachýnu byly poměrně četné tenké praskliny.

Baldachýn byl v minulosti prokazatelně restaurován. Na několika místech byl kámen překrytý tenkými vrstvami opravných malt jako jeden z důsledků předcházejících restaurátorských opatření a lokálně byla v povrchové vrstvě vápence nalezena i tenká vrstva polymerního filmu (nanesená pravděpodobně za účelem zpevnění).

Vizuální průzkum byl zaměřen především na rozlišení, popis, dokumentování a mapování rozdílných typů poškození vápence a jako podklad pro definování požadavků pro konzervaci s využitím nanosuspenzí hydroxidu vápenatého. Výsledky vizuálního průzkumu byly doplněny mikroskopickými analýzami vzorků odebraných z míst s různými typy poškození. Mikroskopické analýzy upřesnily zjištění vizuálního průzkumu a přispěly k hodnocení stavu baldachýnu. Ukázalo se, že krusta i zbytky polymerního filmu na povrchu vápence uzavírají póry horniny a kompaktní povrch pak může být výraznou překážkou penetrace konsolidačních prostředků.

An einigen Stellen, insbesondere in Regenschatten an den Innenseiten des Baldachins, hat sich auf der Oberfläche des Steins eine dunkle, verhältnismäßig kompakte Kruste gebildet (Folge der Vergipsung – häufiges Schadensphänomen bei Kalksteinen). Lokal zeigen sich an diesen Flächen Blasen mit Hohlräumen, die mit desintegriertem Gestein ausgefüllt sind. In Bereichen mit schon abgetrennter Kruste sandet die Steinoberfläche ab. Eine weitere ziemlich häufig vorkommende Schadensursache sind feine Risse.

Der Baldachin wurde in der Vergangenheit nachweislich restauriert. Die Oberfläche des Kalksteins ist an mehreren Stellen durch dünne Mörtelschichten als Folge von früheren Restaurierungsmassnahmen bedeckt und lokal sind auch Reste von einer Konservierungsschicht vorhanden (vermutlich Festigung der Oberfläche).

Die primäre Zustandsaufnahme war vor allem auf die Unterscheidung, Charakterisierung, Dokumentation und Kartieren der verwendeten Materialien und Hauptschadensphänomene. Diese Informationen dienten als Grundlage für die Definition der Anforderungen für die Konservierung mit Nutzung von Nanokalksuspensionen. Die Ergebnisse der visuellen Untersuchung wurden durch naturwissenschaftliche Methoden inkl. mikroskopische Analysen ergänzt. Diese haben zu den Zustandsaufnahme des Baldachins wesentlich beigetragen. Wie im folgendem Text ersichtlich ist, hat sich z.B. gezeigt, dass die Reste des Konservierungsmittels die Kalksteinoberfläche schliessen und so die Penetration von Festigungsmitteln hindern könnten.



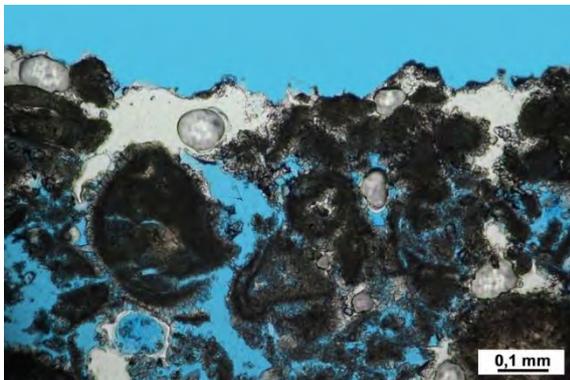
↑ Selektivně erodovaný povrch kamene - zdrsnění, tvorba reliéfu, ztráta části hmoty (makrofoto). Tento typ poškození se vyskytuje zejména v místech, která byla v minulosti pravděpodobně zatížena srážkovou vodou. V důsledku eroze povrchu dochází v těchto místech ke ztrátě původní modelace..

↑ Selektiv erodierte Oberfläche des Steins - Aufrauhung, Reliefbildung, Materialverlust (Makrofoto). Dieser Typ der Beschädigung tritt insbesondere an Stellen auf, die in der Vergangenheit höchstwahrscheinlich durch Niederschlagswasser belastet wurden. In Folge der Erosion der Oberfläche kommt es zum Verlust der ursprünglichen Modellierung.



↑ Selektivně erodovaný povrch (mikrofoto). Viditelné zdrsnění a pórovitý povrch vápence i částečné obnažení jednotlivých zrn vápence..

↑ Selektiv erodierte Oberfläche – sichtbare Aufrauhung und tlw. Kornbindung-verlust (Mikrofoto).



↑ Výbrus vzorku kamene s erodovaným povrchem, lokálně jsou na povrchu vápence zachovány zbytky polymerního filmu (pravděpodobně z předchozího konzervačního zásahu), optická mikroskopie, procházející světlo, paralelní nikoly..

↑ Dünnschliff von Kalksteinprobe mit erodierter Oberfläche und Resten von einem organischen Film (vermutlich als Folge einer vorherigen Konservierungsmaßnahme); Durchlicht, parallele Polarisatoren.



↑ Výbrus vzorku kamene s erodovaným povrchem, optická mikroskopie, procházející světlo, skřížené nikoly. Na obou fotografiích výbrusů je patrné oslabení vzájemného propojení zrn vápence, co pak způsobuje písčovatění povrchu

↑ Dünnschliff von Kalksteinprobe mit erodierter Oberfläche; Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren. An beiden Bildern ist die Schwächung der Kornbindung zu erkennen, die dann das Absanden zu Folge hat.



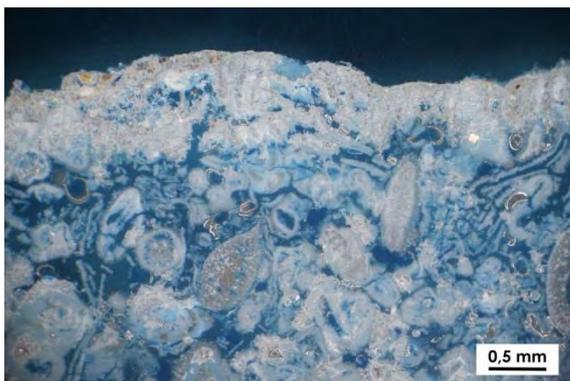
↑ Povrch vápence pokrytý kompaktní krustou (makrofoto), která se místy odděluje od podkladu. Vápenec je pod krustou na mnoha místech nesoudržný, dochází k jeho dezintegraci tzv. pískovatěním.

↑ Kalksteinoberfläche mit einer kompakten Kruste bedeckt, die sich stellenweise von der Unterlage ablöst (Makrofoto). Unter der Kruste kommt es zu Absanden des Kalksteins.



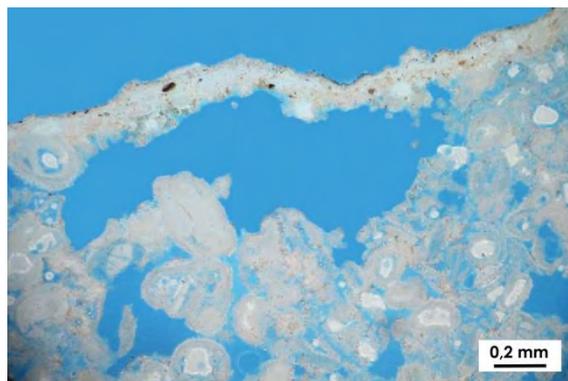
↑ Lomová plocha (mikrofoto) vzorku vápence s tenkou krustou vzniklou jako důsledek sulfatizace povrchu vápence. Krusta se odděluje od horniny pod ní. .

↑ Bruchfläche einer Steinprobe mit dünner, sich ablösender Kruste (Mikrofoto). Die Kruste ist die Folge der Kalksteinvergipsung.



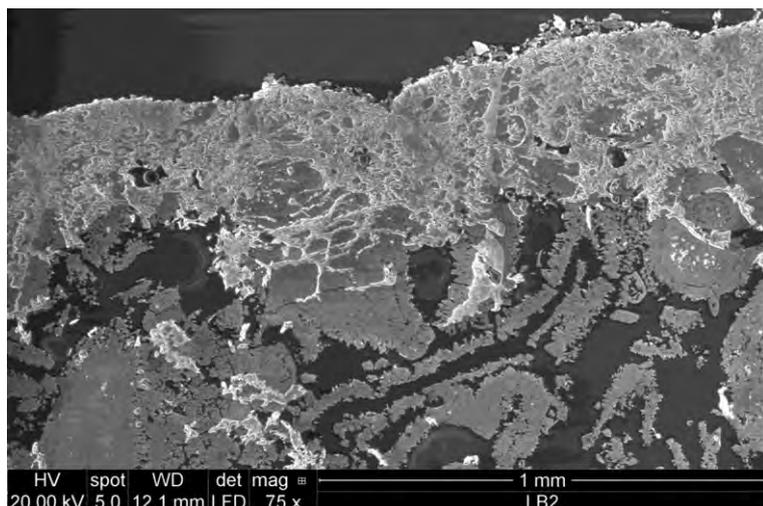
↑ Výbrus vzorku kamene s kompaktní krustou vzniklou jako důsledek sulfatizace povrchu vápence. Na obrázku je zřejmé oslabení vzájemného propojení zrn vápence pod krustou, optická mikroskopie, procházející světlo, tmavé pole.

↑ Dünnschliff von Kalksteinprobe mit einer kompakten Kruste (Kalksteinvergipsung) und erkennbaren Schwächung der Kornbindung direkt unter der Kruste; Durchlicht, Dunkelfeld

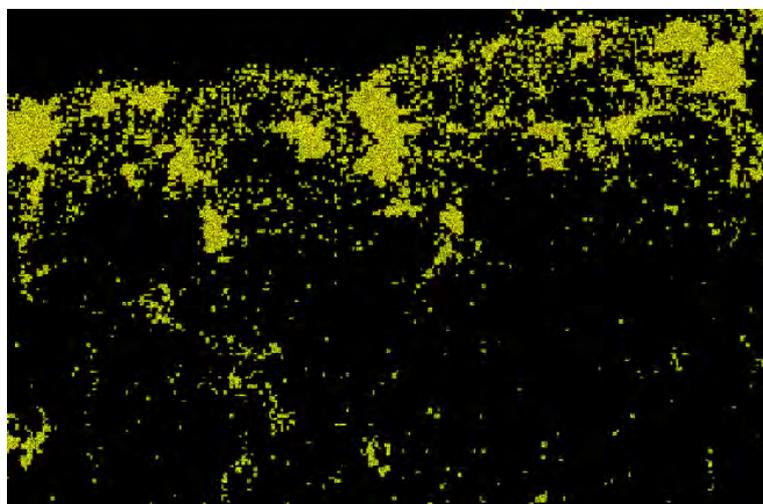


↑ Výbrus vzorku kamene s tenkou tmavou, kompaktní krustou, která se odděluje od podkladu, optická mikroskopie, procházející světlo, paralelní nikoly.

↑ Dünnschliff von Kalksteinprobe mit dünner, sich ablösender Kruste; Durchlicht, parallele Polarisatoren.



← Výbrus vzorku kamene s kompaktní krustou, rastrovací elektronová mikroskopie, detektor zpětně odražených elektronů
← Dünnschliff von Kalksteinprobe mit einer kompakten Kruste (Kalksteinvergipsung) und erkennbaren Schwächung der Kornbindung direkt unter der Kruste; REM-BEI



← Výbrus vzorku kamene s kompaktní krustou, rastrovací elektronová mikroskopie, distribuce síry na povrchu vápence.
← Dünnschliff von Kalksteinprobe mit einer kompakten Kruste (Kalksteinvergipsung); REM-BEI, Schwefelverteilung (Vergipsung der Kalksteinoberfläche)

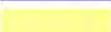
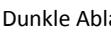
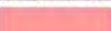
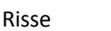


← Fragmenty torza baldachýnu.
← Fragmente des Torsos des Baldachins.



← Grafické znázornění (mapování) hlavních projevů poškození baldachýnu
 ← Graphische Darstellung (Abbildung) der wichtigsten Erscheinungen der Beschädigung des Baldachins

← Legenda
 ← Legende

	Starší vysprávky a tmely		Ältere Ausbesserungen und Kitte
	Jiné znečištění		Andere Verunreinigung
	Zčernalé depozity na povrchu		Dunkle Ablagerungen an der Oberfläche
	Korodovaný povrch		Korrodierte Oberfläche
	Chybějící hmota horniny		Fehlende Gesteinsmasse
	Praskliny		Risse

Stanovení vybraných základních vlastností

Stanovení nasákavosti vápence

Rychlost vsakování kapalin do kamene byla stanovena na několika místech s odlišným stavem povrchu pomocí už zmiňované Karstenovy trubice. Jako zkušební kapalina byl použitý přímo vlastní konsolidant – prostředek CaLoSil® E25. Cílem zkoušky bylo nejen posouzení schopnosti vápence přijímat daný typ kapalin, ale i základní odhad spotřeby vápenné nanosuspenze.

Festlegung der ausgewählten Grundeigenschaften

Bestimmung der Aufnahmefähigkeit des Kalksteins

Die Aufnahmefähigkeit von Flüssigkeiten wurde an einigen Stellen mit unterschiedlichem Zustand der Oberfläche mit Hilfe von Karsten-Rohr bestimmt. Auf der Grundlage der gemessenen Menge des aufgenommenen Festigers in einer bestimmten Zeit wurde der der Aufnahmekoeffizient des Steins für den Festiger CaLoSiL®E25 berechnet. Die Werte des Koeffizienten, die an verschiedenen Stellen der Oberfläche des Baldachins festgestellt wurden, wurden miteinander verglichen, wobei der höhere Koeffizient eine höhere Aufnahmefähigkeit von Flüssigkeiten ausdrückt. Der Aufnahmekoeffizient ist einer der wichtigen Parameter aus der Sicht der Schätzung der notwendigen Zeit für die Applikation einer notwendigen Menge des Festigers.



← Měření rychlosti penetrace konsolidačního prostředku pomocí Karstenovy trubice
← Messung der Geschwindigkeit der Penetration des Konsolidierungsmittels mit Hilfe des Karstenschen Röhrchens

↓ Sumarizace výsledků měření nasákavosti

	Koeficient absorpce kapalného konsolidačního prostředku (CaLoSil E25) povrchem kamene W [kg/m ² h ^{0,5}]
Dobře zachovaný povrch	1,0
Erodovaný povrch	10,2
Erodovaný povrch	4,9

↓ Zusammenfassung der Ergebnisse der Messung der Aufnahmefähigkeit

	Flüssigkeitsaufnahmekoeffizient (CaLoSiL [®] E25) W [kg/m ² h ^{0,5}]
Gut erhaltene Oberfläche	1,0
Erodierte Oberfläche	10,2
Erodierte Oberfläche	4,9

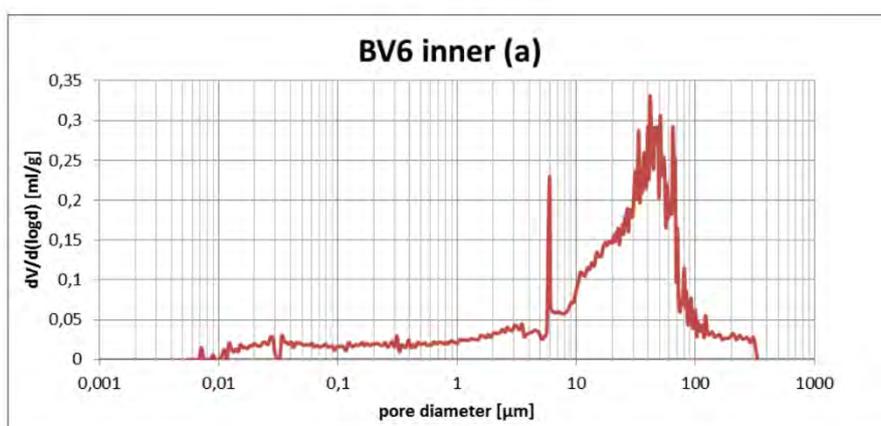
Koeficient nasákavosti nanosuspenzí hydroxidu vápenatého byl výrazně vyšší na místech s erodovaným povrchem. Vzhledem k naměřeným hodnotám bylo možné předpokládat poměrně dobrou penetraci testovaných konsolidantů do povrchových vrstev erodovaného vápence. Cílem konsolidačního ošetření vápence nanočásticemi vápna byla podobně jako v případě sochy sv. Floriána i částečná ochrana povrchu vápence vytvořením tenké „vápenné“ vrstvy v pórech poškozené horniny.

Das Konsolidierungsmittel penetrierte in den Kalkstein relativ schnell, insbesondere an Stellen, die durch Erosion beschädigt sind. Ziel der Behandlung des Kalksteins war neben der Festigung auch eine leichte Schließung der Steinoberfläche.

↓ Vzorek č. 1 – pórovitost a distribuce velikosti pórů

↓ Probe Nr.1. – Porosität und Porenradienverteilung

Vzorek Probe	Měrná hmotnost [g/cm ³] Dichte [g/cm ³]	Pórovitost [obj. %] Gesamtporosität [obj. %]	Průměrná velikost pórů [μm] Durchschnittlicher Porendurchmesser [μm]	Měrný povrch pórů [m ² /g] Porenoberfläche [m ² /g]
Fl-men	2.56	39,65	0.17	3,01



← Křivka distribuce
velikosti pórů
← Grafische
Darstellung der
Porenradienverteilung

↓ Tabulka distribuce velikosti pórů

↓ Tabellarische Darstellung der Porenradienverteilung

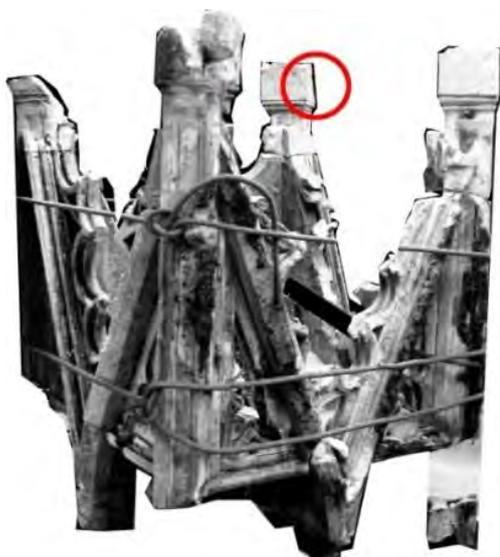
D [μm]	0,001-0,01	0,01-0,1	0,1-1	1-10	10-100	100-332
[%]	0,27	6,30	7,26	15,07	64,75	6,35

I měření pórovitosti a distribuce velikosti pórů provedené pomocí rtuťové porozimetrie na několika vzorcích prokázalo vysokou otevřenou pórovitost použitého typu vápence. Vysoký obsah pórů v oblasti 1 až 100 μm koreluje s vysokou nasákavostí vápence. Zároveň bylo možné na základě výsledků měření předpokládat dobrou penetraci vápenných nanosuspenzí při zkouškách konsolidace.

Auch die Bestimmung der Porenradienverteilung an mehreren Proben durch Quecksilberporosimetrie hat die hohe Porosität des Kalksteins erwiesen. Der hoher Anteil von Poren mit Durchmesser im Bereich zwischen 1 bis 100 μm korreliert mit seiner hoher Aufnahmefähigkeit von Flüssigkeiten. Zugleich ist dadurch eine gute Penetration der Kalknanosuspensionen zu erwarten

Pevnost a soudržnost povrchu vápence měřená pomocí vrtného odporu a peeling testu

Pro zjištění pevnostního profilu povrchových vrstev vápence, přesnější posouzení jeho stavu a identifikaci případných skrytých poškození bylo provedeno měření odporu vůči vrtání tzv. odporové vrtání pomocí přístroje SINT DRMS Cordless (SINT Technology, Itálie). Soudržnost bezprostředního povrchu vápence byla zjišťována i pomocí tzv. peeling testu (odtrhový test). Při zkoušce byla srovnávána plocha s kompaktním, soudržným povrchem a lomová plocha vápence v degradované části baldachýnu.



↑ Dokumentace místa měření
↑ Dokumentation der Messstelle

Festigkeitsprofil und Oberflächenfestigkeit des Kalksteins

Für die Feststellung des Festigkeitsprofils des Kalksteins und seiner Oberflächenfestigkeit wurde im Rahmen der Zustandsaufnahme eine Untersuchung durch Bohrwiderstandsmessung (Gerät SINT Cordless, SINT, IT) und durch sog. Peeling Test durchgeführt. Für die Bestimmung des Bohrwiderstandes wurden mehrere Stellen an der Aussenseite des Baldachins gewählt und der Peeling Test wurde an Testflächen mit kompakten, sowie verwitterten Kalkstein ausgeführt.

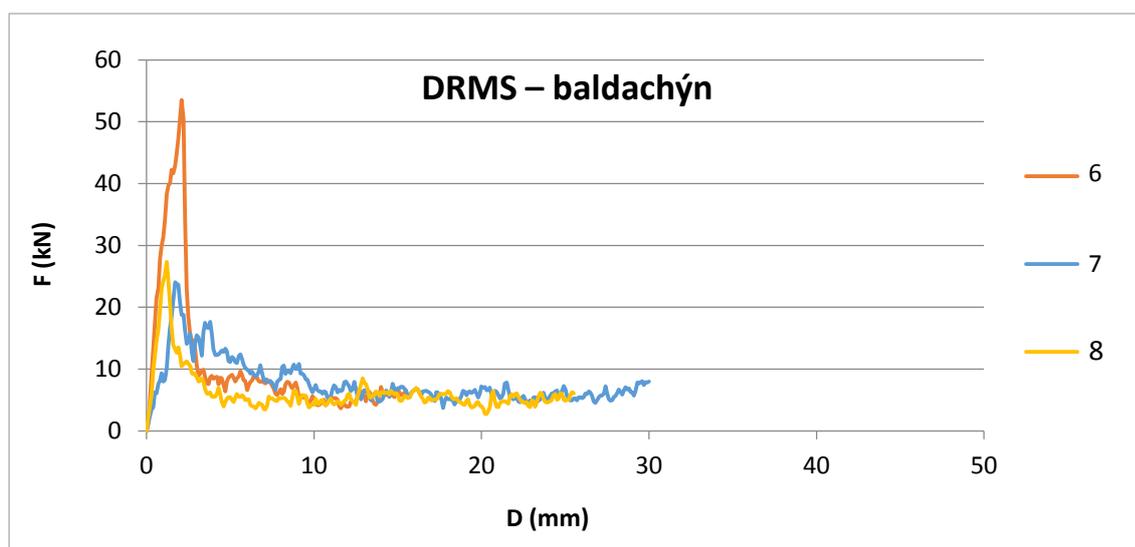


↑ Stopy po vrtání do kamene
(v dolní části obrázku 5 vrtů, průměr otvoru cca 3 – 5 mm)
↑ Bohrlöcher nach der Bohrwiderstandsmessung
in den Stein (Durchmesser ca. 3 – 5 mm)

Při měření odporu vůči vrtání bylo zjištěno, že ve všech měřených místech vykazoval vápenec vyšší odpor vůči vrtání v blízkosti povrchu, v tloušťce několika mm. V hloubkách nad 2-3 mm se odpor vůči vrtání zřetelně snížil, zřejmě jako důsledek nižší pevnosti horniny. V hloubkách mezi 10 až 30 mm se hodnota odporu vůči vrtání již prakticky neměnila. Na základě výsledků odporového vrtání lze předpokládat přítomnost pevnější vrstvy (např. krusty) v hloubkách do 2-3 mm. Toto zjištění poměrně dobře korelovalo s výsledky mikroskopického zkoumání výbrusů vzorků z baldachýnu, které také prokázalo přítomnost krusty, resp. i zbytky předcházející konsolidace na povrchu kamene.

I výsledky peeling testu se shodovaly s vizuálním průzkumem. Hmotnost uvolněného materiálu z povrchu degradovaného vápence je dvojnásobná ve srovnání s kompaktním povrchem vápence.

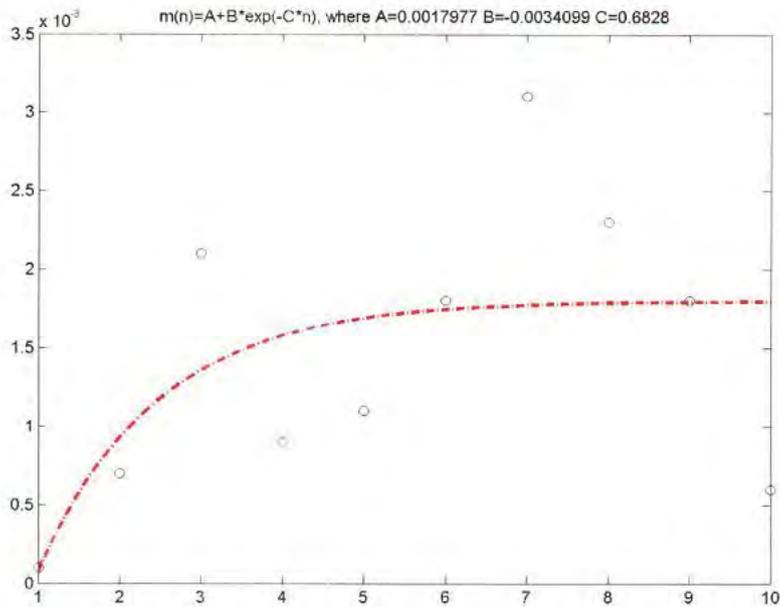
Die Bohrwiderstandsmessung hat erwiesen, dass an allen Messstellen der Bohrwiderstand in oberflächennahen Tiefe deutlich höher ist als in den tieferen Lagen. In einer Tiefe von 2-3 mm ist der Bohrwiderstand erheblich zurückgegangen, vermutlich als Folge der niedrigeren Gesteinsfestigkeit. In tieferen Schichten zwischen 10-30 mm blieb der Bohrwiderstand praktisch unverändert. Es ist daher eine relativ dünne, härtere Schicht an der Oberfläche zu voraussetzen. Die Ergebnisse sind in guter Übereinstimmung mit dem Befund von Krusten und Konservierungsmittelresten durch die mikroskopischen Analysen. Die Ergebnisse von Peeling Test sind wiederum in Korrelation mit der visuellen Zustandsaufnahme. Die Menge von abgelöstem Material ist an der erodierten Fläche doppelt so hoch wie am Kalkstein mit kompakter Oberfläche.



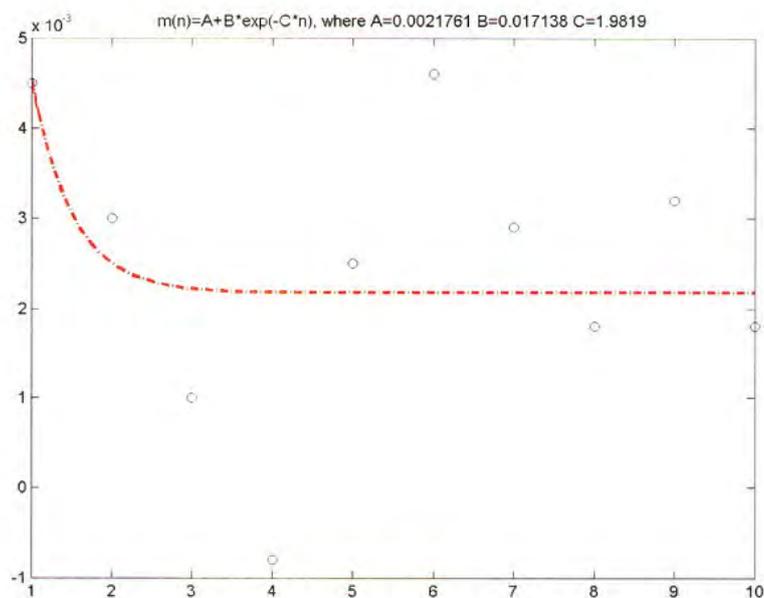
↑ Odpor vůči vrtání (F) v různých vzdálenostech od povrchu do hloubky kamene (D). Záznam tří provedených vrtů.

↑ Bohrwiderstandsprofil, Darstellung von drei durchgeführten Messungen.

- ↓ Grafické znázornění výsledků peeling testu na ploše s kompaktním povrchem vápence
- ↓ Grafische Darstellung der Ergebnisse von Peeling Test an einer Stelle mit kompakter Oberfläche



- ↓ Grafické znázornění výsledků peeling testu na lomové ploše v degradované části baldachýnu
- ↓ Grafische Darstellung der Ergebnisse von Peeling Test an einer Bruchstelle im Bereich von verwitterten Kalkstein.



Zkoušky konsolidace baldachýnu
nanosuspensími hydroxidu vápenatého

Pro účely testování strukturální konsolidace baldachýnu byl na základě výsledků průzkumu, série jednoduchých vstupních zkoušek a předcházejících zkušeností zvolen prostředek CaLoSil® E25.

Aplikace konsolidantu byla prováděna laboratorní stříčkou přímo na suchý povrch kamene, lokálně na malých plochách také pomocí injekčních stříkaček. Případné přebytky konsolidantu, které zůstaly po napuštění na povrchu kamene, byly hned odsáty buničinou. Z důvodu prevence resp. omezení tvorby bílého zákalu na povrchu kamene byl po aplikaci konsolidantu ošetřený povrch smočen vodou z postřikovače (rosením). Nanášení nanosuspense CaLoSil® E25 bylo prováděno v interiéru při teplotě 11–18 °C a relativní vzdušné vlhkosti 64–88 %. V průběhu konsolidace byla sledována jeho spotřeba u jednotlivých vybraných fragmentů baldachýnu.

Na konsolidaci všech fragmentů baldachýnu, jejichž plocha na povrchu představuje dohromady přibližně 4,3 m², bylo celkem spotřebováno přibližně 2,3 litrů nanosuspense CaLoSil® E25. Napouštění zaměřené na erodovaná a nesoudržná místa probíhalo celkem ve třech pracovních dnech, z nichž každý zahrnoval min. 2 aplikační cykly. V průběhu prvního cyklu byly napouštěny vybrané plochy kontinuálním prosyčováním povrchu kamene CaLoSil®E25 tak, aby bylo dosaženo maximální hloubky penetrace zpevňovacího prostředku.

Applikationstests der Konsolidierung
durch Nanokalk-Materialien

Für die Zwecke des Testens der Effekte der Gefügekonsolidierung des Baldachins aus Lednice wurde auf der Grundlage der vorhergehenden Versuche und bisherigen Erfahrungen das Mittel CaLoSil® E25 gewählt.

Die Applikation des Festigers wurde mit einer Laborspritze direkt auf die trockene Steinoberfläche, lokal auf kleinen Flächen mit Hilfe von Injektionsspritzen durchgeführt. Eventuelle Reste des Festigers, die nach dem Imprägnieren auf der Steinoberfläche verblieben sind, wurden mit Zellstoff aufgesaugt. Aufgrund der Prävention der Bildung einer weißen Trübung auf der Steinoberfläche wurde nach der Applikation des Festigers die behandelte Oberfläche mit Wasser aus der Spritze benetzt (durch Sprühen). Die Konsolidierung (Auftrag und spätere Aufbewahrung der gefestigten Teile) wurde im Innenraum bei einer Temperatur zwischen 11 – 18 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 64 - 88 % durchgeführt.

Für die strukturelle Konsolidierung aller Fragmente des Baldachins, dessen Fläche annähernd insgesamt 4,3 m² beträgt, wurden insgesamt annähernd 2,3 Liter CaLoSil®E25 verbraucht. Das Imprägnieren verlief insgesamt in drei vollen Arbeitstagen, von denen jeder min. 2 Applikationszyklen einschloss. Mit zwei bzw. drei Imprägnierungszyklen wurden nur stark erodierte Flächen behandelt. Der Gesamtverbrauch von CaLoSil®E25 für die strukturelle Festigung des Objekts bewegte sich von 0,5 bis 3,9 l/m² (in Abhängigkeit vom Charakter und der Beschädigung der Oberfläche)..

V rámci prvního cyklu byl konsolidant aplikován ve dvou etapách s krátkou přestávkou (cca 1 hod.). Druhý napouštěcí cyklus následoval 1 měsíc po ukončení prvního cyklu a konsolidant aplikován hlavně na více erodované části baldachýnu.

Celková spotřeba nanosuspenze CaLoSil® E25 se pohybovala na jednotlivých částech baldachýnu od 0,5 do 3,9 l/m² (v závislosti na charakteru a poškození povrchu). Průměrná spotřeba činila 2,1 l/m². Odhadnutá hloubka penetrace konsolidantu je ca. 1-3 cm.

Součástí konsolidačního zákroku byla také injektáž prasklin a okrajů krust. Injektovaná místa byla nejdříve ošetřena etanolem a následně byly praskliny injektovány prostředkem CaLoSil®Injection grout. Vlastní injektáží prasklin předcházely zkoušky zaměřené na optimalizaci tekutosti prostředku. Jako nejvhodnější bylo vyhodnoceno ředění CaLoSil®Injection grout etanolem v poměru 2:1 (díly objemu).

Der Durchschnittsverbrauch betrug 2,1 l/m² und die geschätzte Eindringtiefe liegt zwischen 1 - 3 cm.

Im Verlauf des ersten Zyklus wurden ausgewählte Flächen durch kontinuierliche Tränkung der Steinoberfläche mit CaLoSiL®E25 so imprägniert, damit die maximale Tiefe der Penetration des Festigungsmittels erreicht wurde. Im Rahmen des ersten Zyklus wurde der Festiger in zwei Etappen mit kurzer Pause (ca. 1 Std.) angewandt. Der zweite Imprägnierungszyklus folgte 1 Monat nach dem ersten und dann wurde der Festiger bereits nur noch an stärker erodierten Stellen aufgetragen.

Am Baldachin wurde auch die Injektion von Rissen und Krustenrändern durchgeführt. Die Injektionsstellen wurden zuerst mit Äthanol behandelt und anschließend wurden die Risse mit dem Mittel CaLoSiL®Injection grout injiziert. Der Applikation dieses Mittels gingen Versuche zu Optimierung der Flieseigenschaften voran. Als am meisten geeignet erwies sich aus der Sicht der Konsistenz eine Verdünnung des Mittels mit Ethanol im Verhältnis 2:1.



↑ Nanášení konsolidačního prostředku CaLoSil® pomocí laboratorní stříčky v průběhu strukturální konsolidace fragmentu E25BV1

↑ Auftragung des Konsolidierungsmittels CaLoSil® mit Hilfe einer Laborspritze im Verlauf der strukturalen Konsolidierung des Fragments E25BV1



↑ Injektáž prasklin na fragmentu BU2, pomocí CaLoSil®Injection grout.

1. krok: ošetření povrchu etanolem.

↑ Injektion von Risse auf das Fragment BU2, mit Hilfe von CaLoSil®Injection grout.

1. Schritt: Behandlung der Oberfläche mit Äthanol.



↑ Injektáž prasklin na fragmentu BU2, pomocí CaLoSil®Injection grout.

2. krok: aplikace injekční jehly.

↑ Injektion der Risse auf dem Fragment BU2, mit Hilfe von CaLoSil®Injection grout.

2. Schritt: Applikation mit einer Injektionsnadel.



↑ Injektáž okraje praskliny na fragmentu BU2, pomocí CaLoSil®Injection grout

↑ Injektion der Risse auf dem Fragment BU2, mit Hilfe von CaLoSil®Injection grout

↓ Přehled postupu při nanášení prostředků na bázi vápenných nanosuspenzí

Opatření	CaLoSil®E25	CaLoSil®Injection Grout
Strukturální konsolidace – 1. napouštěcí cyklus	2 aplikace (cca s hodinovou pauzou)	
Lokální konsolidace – 2. napouštěcí cyklus (s měsíčním časovým odstupem od 1. cyklu)	1 aplikace – lokálně	
Lokální konsolidace – 3. napouštěcí cyklus Injektáž prasklin (s měsíčním časovým odstupem od 2. Cyklu)	1 aplikace – lokálně	injektáž prasklin

↓ Übersicht der Applikation der Nanokalkmaterialien

Massnahme	CaLoSil®E25	CaLoSil®Injection Grout
Gefügefestigung – 1. Behandlung	2 x Auftrag (mit einer 1 Std. - Pause)	
Lokale Gefügefestigung – 2. Behandlung (nach 1 Monat Pause nach der 1. Behandlung)	1 x Auftrag an stark erodierten Stellen	
Lokale Gefügefestigung – 3. Behandlung Rissverfüllung (nach 1 Monat Pause nach der 2. Behandlung)	1 x Auftrag an stark erodierten Stellen	Rissverfüllung



↑ Fragment BR1 – stav před konsolidací
↑ Fragment BR1 – Zustand vor der Konsolidierung



↑ Fragment BR1 – stav po konsolidaci.
↑ Fragment BR1 – Zustand nach der Konsolidierung



↑ Fragment BU1, detail – stav před konsolidací
↑ Fragment BU1, Detail – Zustand vor der
Konsolidierung



↑ Fragment BU1, detail – stav po konsolidaci
↑ Fragment BU1, Detail – Zustand nach der
Konsolidierung



↑ Jednotlivé fragmenty baldachýnu, které byly použité pro zkoušky strukturální konsolidace
↑ Einzelne Fragmente des Baldachins, die für Prüfungen der strukturalen Konsolidierung verwendet
wurden

↓ Spotřeba konsolidantu na vybraných částech baldachýnu

↓ Verbrauch des Festigers an ausgewählten Teilen des Baldachins

Napouštěný fragment/plocha Imprägnierte Fragment/Fläche	Plocha [m ²] Fläche [m ²]	Aplikované množství konsolidantu [l] Applizierte Menge des Festigers [l]	Spotřeba [l/m ²] Verbrauch [l/m ²]	Čas (počet jednotlivých dnů provádění konsolidace) Zeit (Anzahl der einzelnen Tage der Durchführung der Konsolidierung)
Fragment BU1	0,30	0,75	2,5	3
Fragment BU2	0,32	1,25	3,9	3
Fragment BV1	0,13	0,09	0,7	1
Fragment BZ1	0,10	0,05	0,5	1
Fragment BR1	0,06	0,16	2,8	2
CELKEM *průměrná spotřeba a doba provádění konsolidace INSGESAMT *Durchschnittsverbrauch und Dauer der Durchführung der Konsolidierung	0,91	2,30	2,1*	3*

Hodnocení průběhu a výsledků konsolidace

Z výsledků zkoušek strukturální konsolidace vyplynulo, že penetrace prostředku CaLoSil® E25 do vápence byla uspokojivá pouze v místech, kde byl povrch kamene erodovaný. V místech s kompaktním povrchem nebo krustou byla aplikace prostředku problematická vzhledem k velmi nízké schopnosti penetrace nanosuspenze do kamene.

V místech s výraznějším poškozením bylo nutné aplikační cykly opakovat, jelikož po prvním cyklu byla konsolidace nedostačující (povrch při dotyku se stále drolil).

Z hlediska omezení vzniku bílého zákalu se ukázalo výhodnější opakovat napouštění v několika cyklech s přestávkami, aby přebytky konsolidantu nezůstávaly na povrchu kamene.

Po ukončení všech napouštěcích cyklů a přestávce ca. 1 měsíc (odhadovaná doba dostatečné karbonatace hydroxidu vápenatého) byl povrch poměrně soudržný, drolení zrn horniny bylo výrazně nižší nebo prakticky žádné. Tam, kde byl povrch kompaktní již před aplikací konsolidačního prostředku, k výrazným změnám v charakteru povrchu nedošlo.

Účinnost konsolidace byla hodnocena nejen subjektivně (vizuálně a dotekem), ale i pomocí ultrazvukové transmise. Měření bylo provedeno na stejných měřících bodech před a po konsolidaci, tak aby bylo možné co nejlépe vyhodnotit změny a případnou míru zpevnění.

Bewertung der Applikation und der Ergebnisse der Konsolidierung

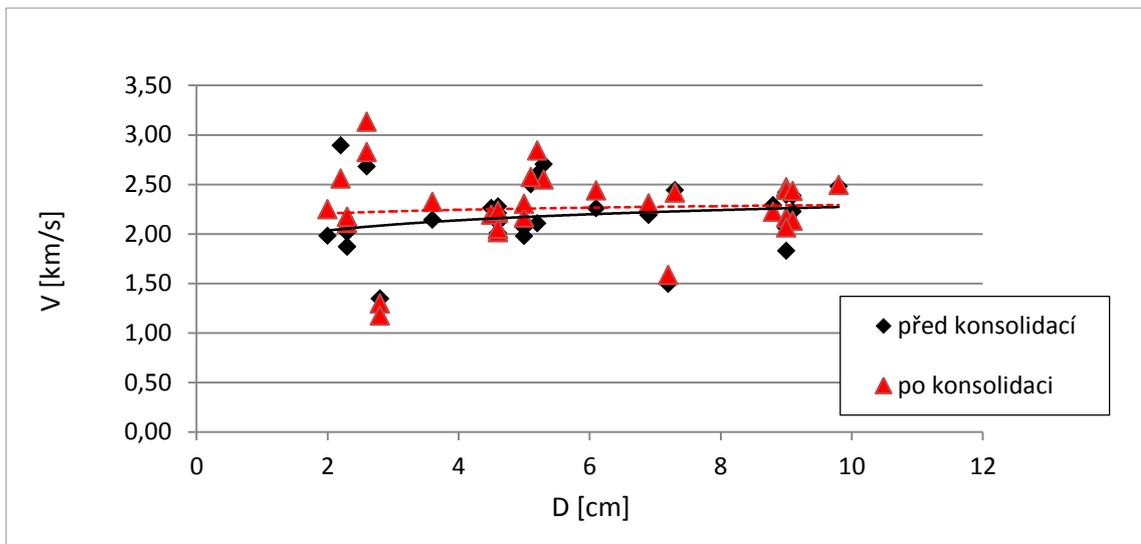
Aus den Ergebnissen der Prüfungen der strukturalen Konsolidierung ging hervor, dass die Penetration des Nanokalk-Materials in den Kalkstein nur an Stellen zufriedenstellend war, an denen die Steinoberfläche erodiert war. An Stellen mit kompakter Oberfläche oder Kruste war die Aufnahme gering und dementsprechend niedrig auch die Eindringtiefe der Nanokalksuspension.

An Stellen mit markanterer Beschädigung war es notwendig, die Applikationszyklen zu wiederholen, da nach dem ersten Zyklus die Konsolidierung ungenügend war (beim Berühren mit der Hand bröselige Oberfläche).

Zu Reduzierung der von Weißschleierebildung erwies es sich als günstiger, die Imprägnierung in mehreren Zyklen mit Pausen zu wiederholen, damit Überreste der Nanokalksuspension nicht lange an der Oberfläche verbleiben.

Nach der Festigung und einer Carbonatisierung des Calciumhydroxids (ca. 1 Monat nach dem letzten Auftrag) war die Oberfläche laut subjektiver Bewertung zusammenhaltend. Dort, wo die Oberfläche bereits vor der Applikation des Konsolidierungsmittels kompakt war, kam es zu keiner nachweislichen Erhöhung der Oberflächenfestigkeit.

Die Wirksamkeit der Konsolidierung wurde nicht nur subjektiv (visuell und durch Berührung), sondern auch instrumentell, mit Hilfe einer Ultraschall-Transmission bewertet. Die Messung wurde an definierten, gleichen Messpunkten vor und nach der Konsolidierung durchgeführt, damit die Werte vor und nach der Festigung genauer auszuwerten sind.



↑ Hlubkový profil rychlostí ultrazvuku před a po konsolidaci

↑ Tiefenprofil der Geschwindigkeit des Ultraschalls vor und nach der Konsolidierung

Při hodnocení stavu horniny před konsolidací lze pozorovat mírný pokles rychlostí UZ směrem k povrchu; u dvou měření byl naopak zaznamenán nárůst směrem k povrchu.

Pokles je způsoben pravděpodobně zhoršením soudržnosti vápence v povrchových vrstvách, zatímco zvýšení rychlosti ultrazvuku je zřejmě důsledkem přítomnosti krusty na povrchu vápence. Po provedené konsolidaci je patrný mírný nárůst rychlostí šíření ultrazvuku ve vrstvách blízko povrchu, rozdíl je však poměrně malý a pokles rychlostí UZ směrem od povrchu do hloubky je pozvolný.

Bei der Bewertung des Zustands des Gesteins vor der Konsolidierung kann man eine leichte Verringerung der Ultraschallgeschwindigkeit in Richtung zur Oberfläche beobachten; bei zwei Messungen wurde demgegenüber eine Zunahme in Richtung zur Oberfläche verzeichnet.

Die niedrige Werte sind vermutlich Folge einer geringeren Gefügefestigkeit in den korrodierten Oberflächenschichten, während die Erhöhung der Ultraschallgeschwindigkeit durch eine Krustenbildung an der Oberfläche des Kalksteins verursacht sein könnte. Nach der durchgeführten Konsolidierung ist nur eine sehr leichte Erhöhung der Ultraschallgeschwindigkeiten in den oberflächennahen Schichten erkennbar.

Shrnutí výsledků zkoušek využití
vápenných nanomateriálů

Baldachýn je zhotovený z porézního, poměrně jemnozrnného, homogenního typu litavského vápence. Průzkumem byly zjištěny hlavní typy poškození baldachýnu a jeho základní vlastnosti, zejména ve vztahu k využití vápenných nanomateriálů pro konsolidaci objektu. Na základě předběžných zkoušek i dosavadních zkušeností byl pro konsolidaci částí baldachýnu vybrán prostředek CaLoSil® E25. Ošetření (impregnace konsolidantem) bylo provedeno ve třech cyklech. Průměrná spotřeba konsolidantu byla ca. 2,1 l/m², přičemž na více erodovaných plochách dosahovala spotřeba až 3,9 l/m².

Injektáž prasklin byla provedena ve dvou krocích. Nejdříve byla prasklina a její bezprostřední okolí impregnováno vápennou nanosuspezí CaLoSil® E50 a následně byla vlastní prasklina vyplněna prostředkem CaLoSil®Pasty.

Podle subjektivního hodnocení vykazoval povrch vápence ošetřený nanosuspezí CaLoSil® E25 zlepšení pevnosti a soudržnosti zejména na silně erodovaných plochách.

Určitým negativem byl vznik bílého zákalu na povrchu konsolidovaných míst, způsobený přítomností tenké vrstvičky uhličitánu vápenatého. Zavlhčování povrchu vápence vodou (rosením) po nanesení a vsáknutí nanosuspenze nevedlo k úplnému potlačení vzniku bílého zákalu. Bílý zákal je nutné odstranit následně, přičemž jako efektivní a přitom šetrná metoda se v případě porézních vápenců osvědčilo mikrotryskání (tzv. mikropískování).

Zusammenfassung der Testergebnisse

Der Baldachin ist aus porösem, verhältnismäßig feinkörnigem, homogenem Typ von Leithakalkstein gefertigt. Durch die Untersuchung wurden die Haupttypen der Beschädigung des Baldachins, insbesondere in Bezug auf die Anwendung von Nanokalkmaterialien für die Konsolidierung des Objekts. Ausgehend von vorläufigen Versuchen und der bisherigen Erfahrungen wurde für die Konsolidierung eines Teils des Baldachins das Mittel CaLoSiL® E25 ausgewählt. Die Behandlung (Imprägnierung mit dem Festiger) wurde in drei Zyklen durchgeführt. Der Durchschnittsverbrauch des Festigers betrug ca. 2,1 l/m², wobei an mehr erodierten Flächen der Verbrauch bis 3,9 l/m² erreichte.

Das Verfüllen der Risse wurde in zwei Schritten durchgeführt. Zuerst wurden die Risse und ihre unmittelbare Umgebung mit der Nanokalksuspension CaLoSiL® E50 imprägniert und anschließend wurde der eigentliche Riss mit dem Mittel CaLoSiL®Pasty injiziert. Laut der subjektiven Bewertung wies die gefestigte Oberfläche des Kalksteins eine Verbesserung der Festigkeit und des Zusammenhalts insbesondere an stark erodierten Flächen auf.

Ein gewisser Nachteil der Behandlung des Objekts mit Nanokalk-Materialien war die Entstehung von weißem Schleier an der Oberfläche der konsolidierten Stellen, die durch die Anwesenheit einer dünnen Schicht von Calciumkarbonat verursacht wurde. Die Befeuchtung der Oberfläche mit Wasser nach dem Auftrag der Nanosuspension hat die Weißschleierbildung nicht unterbinden können. Der Weißschleier ist nachher durch verschiedene Reinigungsmethoden zu entfernen z.B. sehr effektiv durch Mikrosandstrahlen.

Váza ze zámeckého parku zámku Valtice

Základní popis díla

Váza je zhotovena z jednoho bloku vápence. Stojí na subtilním čtvercovém základním tvaru, který přechází v kruhový průřez. Váza má subtilní krček. Ten nese baňaté tělo vázy přecházející po zúžení v široké hrdlo. Horní plocha se propadá v kalich hluboký cca 1/3 výšky vázy. Tělo vázy je dekorováno čtyřmi po obvodu rovnoměrně rozmístěnými maskarony. Propojeny jsou v oblasti uší látkovou girlandou.



Vase aus dem Schlosspark des Schlosses Valtice

Allgemeine Beschreibung

Die Vase ist aus einem Kalksteinblock gefertigt. Sie steht auf einer subtilen quadratischen Grundform, die in einen runden Querschnitt übergeht. Die Vase hat einen subtilen Hals, der den bauchigen Korpus der Vase trägt, der nach einer Verengung in einen breiten Hals übergeht. Die obere Fläche versinkt in einen tiefen Kelch von ca. 1/3 der Vasenhöhe. Der Korpus der Vase ist mit vier über den Umfang gleichmäßig verteilten Maskaronen dekoriert. Die im Bereich der Ohren mit einer Stoffgirlande verbunden sind.

Ähnlich wie der Torso des Baldachins konnte auch die Vase dank der Zusammenarbeit mit Vertretern des Nationalen Denkmalinstituts NPÚ, und der Gebietsdenkmalpflege ÚPS Kroměříž und dem Kastellan des staatlichen Schlosses in Valtice zu den Referenzobjekten gezählt werden.

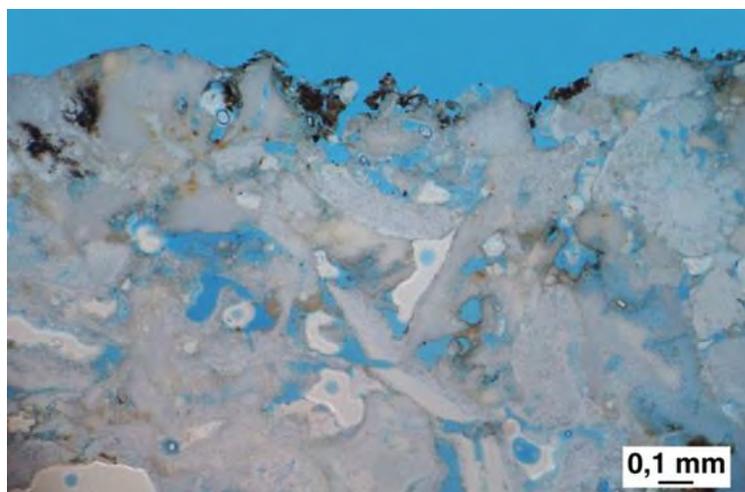
← Váza v zámeckých zahradách, jihozápadní pohled
← Vase in den Schlossgärten, südwestliche Ansicht

Charakteristika použitého vápence

Použitý typ horniny byl klasifikován jako litavský vápenec, typ Zogelsdorf. U všech vzorků byla pozorována nízká pórovitost (velikost pórů 0,1 – 0,3 mm). Vápenec obsahuje fragmenty mořských řas, mušlí a mechovců. Místy byly některé vzorky pokryty sádrovcovou krustou.

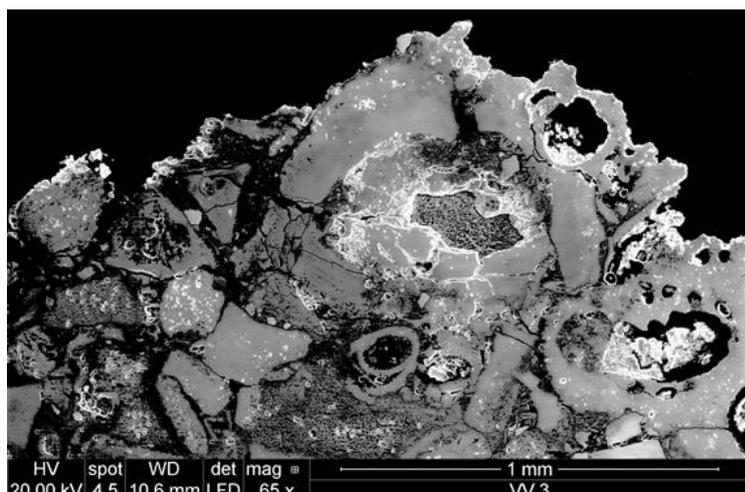
Charakteristik des verwendeten Kalksteins

Der verwendete Gesteinstyp wurde als Leithakalkstein, Typ Zogelsdorf klassifiziert. Bei allen Proben wurden eine geringe Porosität (Porengröße 0,1 – 0,3 mm) und Fragmente von Meeresalgen, Muscheln und Hakenwürmern beobachtet. Stellenweise waren einige Proben mit Gipskruste überzogen.



← Výbrus vzorku vápence, procházející světlo, paralelní nikoly, na povrchu vrstvička nečistot převážně biogenního původu

← Dünnschliff der Kalksteinprobe, Durchlicht, parallele Polarisatoren; auf der Oberfläche eine kleine Schicht von Verunreinigungen meistens biogenen Ursprungs



← Výbrus vzorku vápence, rastrovací elektronová mikroskopie, detektor zpětně odražených elektronů

← Dünnschliff der Kalksteinprobe, SEM-BEI

Popis stavu vázy před započítím zkoušek

Váza je vystavena přímým povětrnostním vlivům v zámeckém parku. I z tohoto důvodu byly nejrozsáhlejším zjištěným poškozením povlaky biologického původu pokrývající prakticky celý povrch kromě nohy vázy. V spodní vnější části těla vázy pokrývají povrch vápence krusty s početnými puchýřovitými deformacemi. Na těchto poškozeních se patrně podílejí vodorozpustné soli i sulfatizace kamene. Defekty na povrchu vnější strany vázy zasahují většinou do hloubky max. několika mm. Tvrdá křusta s puchýřovitými defekty silně deformuje povrch vázy. Pod nimi křustou nebo puchýři je hornina silně narušená a „pískovatí“. V oblastech sochařského zdobení vázy (maskaranony a festony) je stav vázy nejhorší a lze jej označit jako havarijní. Nejzachovalejší je část, která je po většinu roku kryta zeminou. Jedná se o mísu vázy (vnitřní strana), která prakticky nevykazuje žádné poškození.

Vorzustand der Vase

Die Vase ist direkten Witterungseinflüssen ausgesetzt, daher sind die umfangreichsten Schäden biogene Beschichtungen, die nahezu die gesamte Oberfläche der Skulptur überziehen. Im Bereich des Vasenfußes, sind deutliche Schäden bemerkbar, die vermutlich durch Einfluss wasserlöslicher Salze verursacht sind. Weitere Schäden der Oberfläche sind am äußeren Teil des Vasenkörpers auffällig eine harte Kruste mit Blasen- oder Pustelbildung die plastische Deformation Vasenoberfläche verursacht.

Der am besten erhaltene Teil ist zum größten Teil des Jahres mit Erde bedeckt. Es handelt sich um die Vasenschale (Innenseite), die praktisch keine Schäden aufweist. Im Gegensatz dazu sind die Defekte an der Oberfläche der Außenseite der Vase bis zu einer Tiefe einigen mm ausgeprägt. Örtlich kommt es zu Öffnung Blasen und unter ihnen ist sandet das Gestein stark ab. Die Korrosionsprozesse haben einen erheblichen Schwund des Originalmaterials vor allem im Bereich der Steinmetz-Dekoration der Vase (Masken und Girlanden) verursacht.

- ↓ Dobře dochovaný povrch horniny na vnitřní straně vázy
- ↓ Gut erhaltene Gesteinsoberfläche auf der Innenseite der Vase

Popis:

Povrch kamene uvnitř vázy, který je zakryt po většinu času zeminou.

Na povrchu nejsou zjevné stopy degradace kamene.

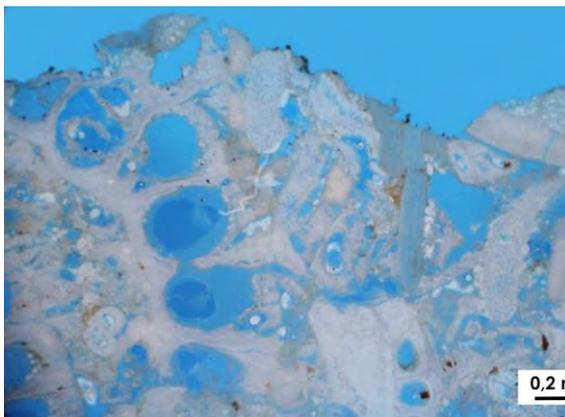
Beschreibung:

Steinoberfläche innerhalb der Vase, die den größten Teil der Zeit mit Erde bedeckt ist. Diese Oberfläche weist weder deutliche Zerfalls- noch Korrosionsspuren auf.

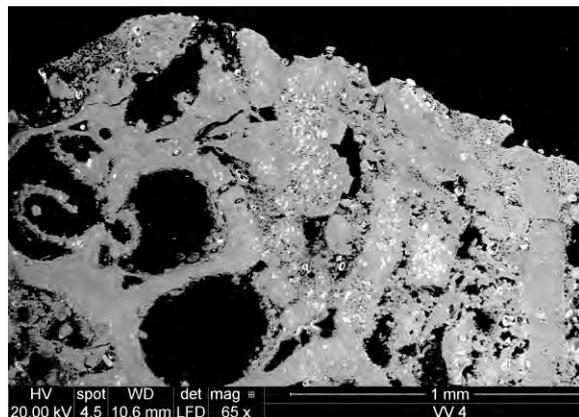


- ↑ Makrofotografie, detail dobře dochovaného povrchu vápence
- ↑ Makrofotografie, Detail der am besten erhaltenen Oberfläche, die keinen Zerfallsprozessen ausgesetzt war

- ↑ Mikrofotografie, detail struktury povrchu horniny na obrázku vlevo
- ↑ Mikrofotografie, Detail der im Bild links dargestellten Oberflächenstruktur des Gesteins



- ↑ Výbrus vzorku vápence, procházející světlo, paralelní nikoly
- ↑ Dünnschliff, gut erhaltene Oberfläche, Durchlicht, parallele Polarisatoren



- ↑ Výbrus vzorku vápence, rastrovací elektronová mikroskopie, detektor zpětně odražených elektronů
- ↑ Dünnschliff, gut erhaltene Oberfläche, SEM-BEI

↓ Biologická kolonizace na povrchu vápence, v místě, které bylo vystaveno působení srážkové vody, na vnější straně těla vázy

↓ Biologická kolonizace na povrchu vápence, v místě, které bylo vystaveno působení srážkové vody, na vnější straně těla vázy

Popis:

Struktura horniny je v důsledku eroze poměrně hrubá a povrch kamene je pokrytý vrstvičkou biologického původu – převážně zelené řasy a částečně lišejníky. Při detailním vizuálním průzkumu bylo zjištěno, že biologická kolonizace proniká hlouběji do poškozené struktury kamene (až několik mm).

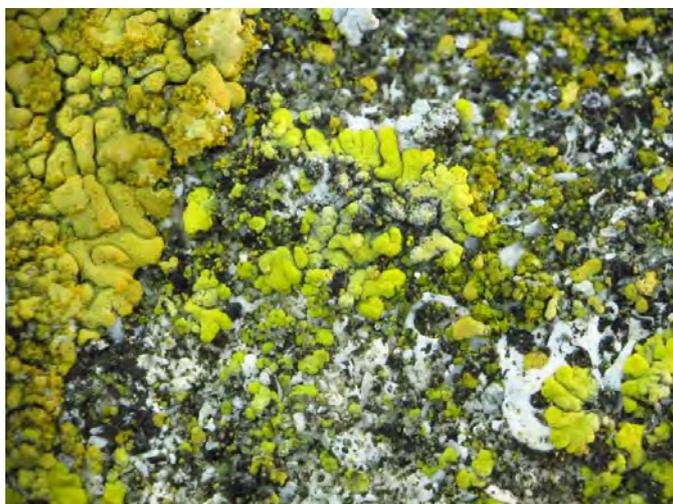
Beschreibung:

Die Gesteinsstruktur ist infolge der Erosion relativ grob und die Gesteinsoberfläche (vor allem die Poren) ist mit einer dünnen Schicht biologischen Ursprungs bedeckt – überwiegend Grünalgen und teilweise Flechten. Bei detaillierter visueller Untersuchung wurde festgestellt, dass die biologische Besiedelung in die geschädigte Steinstruktur „einwächst“ (bis zu einigen mm).



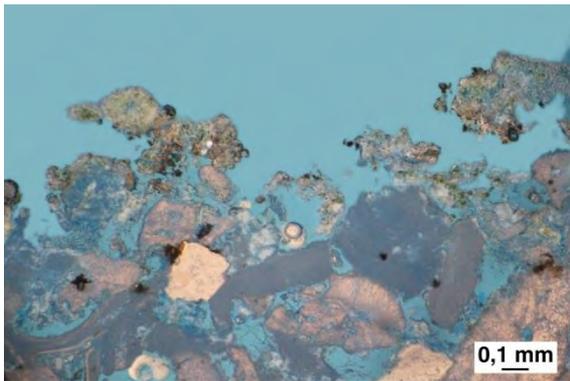
← Makrofotografie, detail struktury povrchu horniny s biologickou kolonizací (řasy a lišejníky)

← Makrofotografie, Detail der Oberflächenstruktur des Gesteins mit biologischer Besiedelung (Algen und Flechten)

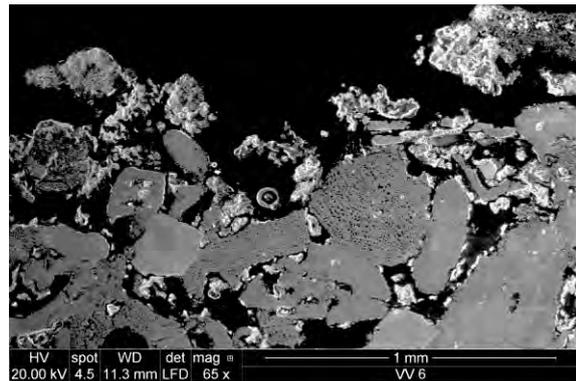


← Mikrofotografie, detail struktury povrchu horniny s biologickou kolonizací (řasy a lišejníky)

← Mikrofotografie, Detail der Oberflächenstruktur des Gesteins mit biologischer Besiedelung (Algen und Flechten)



↑ Výbrus vzorku vápence, povrch s biologickou kolonizací, procházející světlo, paralelní nikoly
↑ Dünnschliff, Oberfläche mit biologischer Besiedelung, Durchlicht, parallele Polarisatoren



↑ Výbrus vzorku vápence, povrch s biologickou kolonizací, rastrovací elektronová mikroskopie, detektor zpětně odražených elektronů
↑ Dünnschliff, Oberfläche mit biologischer Besiedelung, SEM-BEI

-
- ↓ Povrch oddělující se v silných vrstvách
↓ Die sich in starke Schichten trennende Oberfläche

Popis:

Hornina je na povrchu kompaktní a pevnější, lokálně dochází k oddělování povrchové vrstvy. Místy vznikla mezi kompaktním povrchem horniny a podkladem dezintegrovaná mezivrstva.

Beschreibung:

Das Gestein ist an der Oberfläche kompakter und fester, örtlich kommt es zur Schichtabtrennung (Abblättern). Stellenweise ist zwischen der kompakten Gesteinsschicht und der Unterlage eine zersetzte Zwischenschicht entstanden.



↑ Makrofotografie, detail struktury povrchu v místě odloučení vrstev
↑ Makrofotografie, Detail der Oberflächenstruktur an der Ablösungsstelle der Schichten



↑ Mikrofotografie, detail struktury povrchu v místě odloučení vrstev
↑ Mikrofotografie, Detail der Oberflächenstruktur an der Ablösungsstelle der Schichten

- ↓ Deformace povrchu a výskyt krusty na spodní části vázy (severovýchodní strana)
 ↓ Deformation der Oberfläche und Kruste am unteren Vasenteil (nordöstliche Seite)

Popis:

Povrch vápence je pokryt vrstvou depozitů a místy sádrovcovou krustou.

Beschreibung:

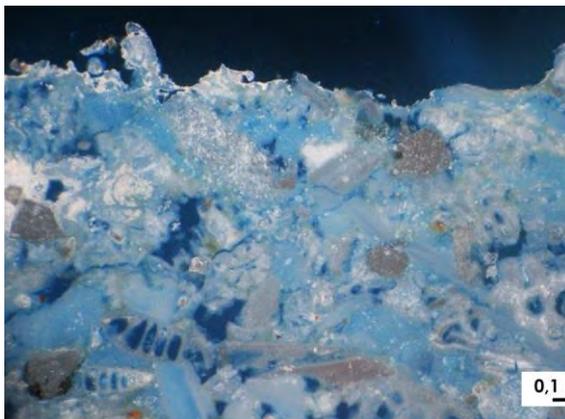
An der Oberfläche des Gesteins Einlagerungsschichten und stellenweise Gipskruste entstanden. Die Oberfläche ist infolge der Korrosion deformiert.



↑ Makrofotografie, detail puchýřů deformujících povrch vázy
 ↑ Makrofotografie, Detail der die Vasenoberfläche deformierenden Blasen



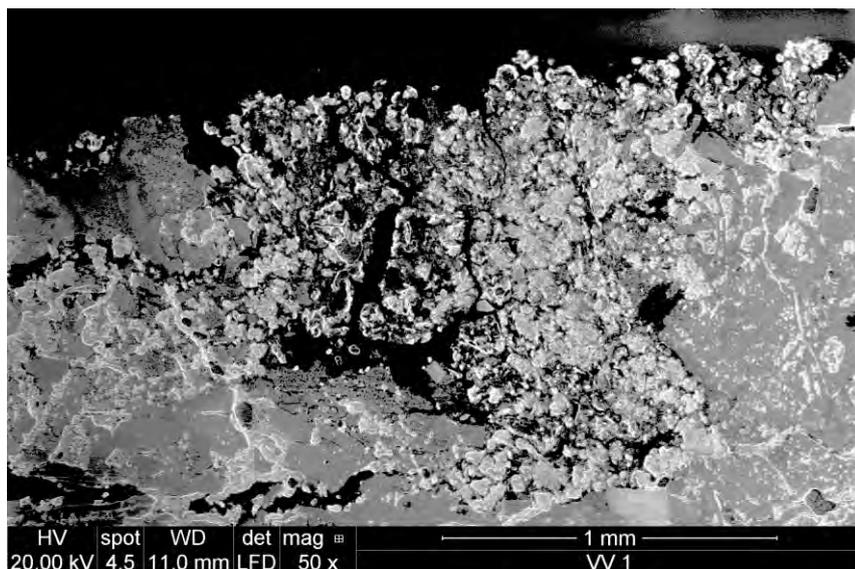
↑ Mikrofotografie, detail struktury povrchu
 ↑ Mikrofotografie, Detail der Oberflächenstruktur



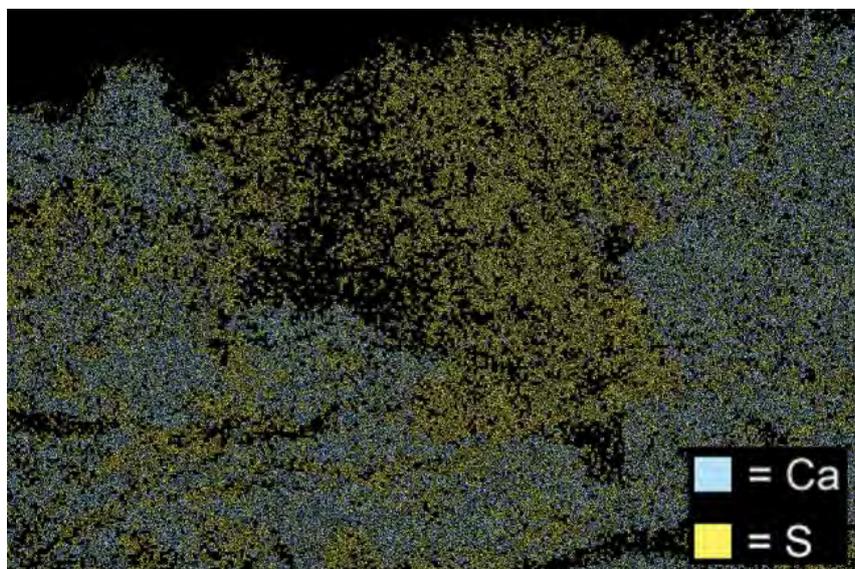
↑ Výbrus vzorku vápence, kompaktní povrch v důsledku sulfatizace vápence, procházející světlo, tmavé pole
 ↑ Dünnschliff, verdichtete Oberfläche durch Vergipsung, Durchlicht, Dunkelfeld



↑ Výbrus vzorku vápence, detail sulfatizovaného povrchu vápence, procházející světlo, tmavé pole
 ↑ Dünnschliff, Detail der verdichteten, vergipsten Oberfläche, Durchlicht, gekreuzte Polarisatoren

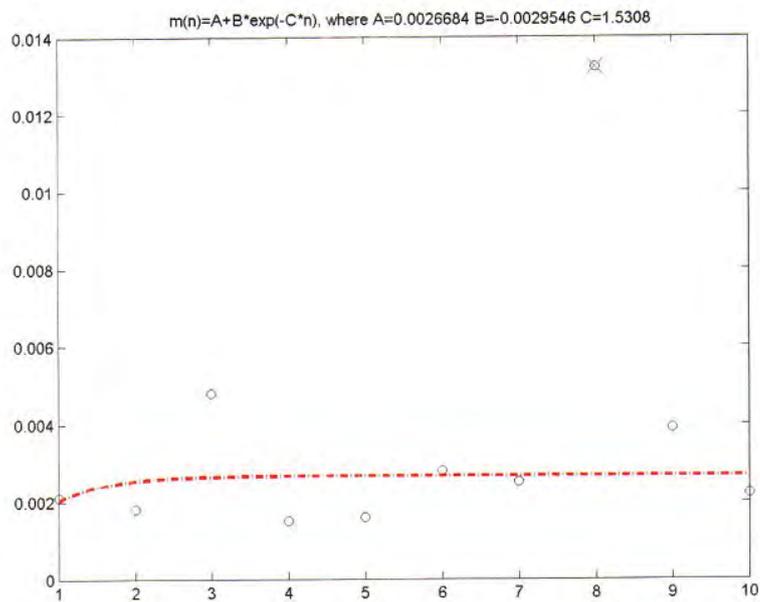


← Výbrus vzorku vápence, detail sulfatizovaného povrchu vápence
rastrovací elektronová mikroskopie, detektor zpětně odražených elektronů
← Dünnschliff, Detail der verdichteten, vergipsten Oberfläche, SEM-BEI

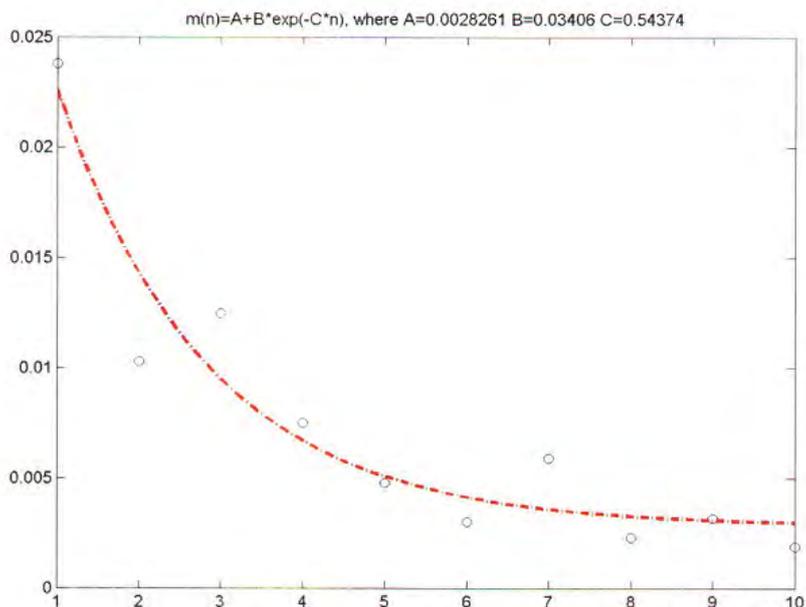


← Výbrus vzorku vápence, detail sulfatizovaného povrchu vápence,
rastrovací elektronová mikroskopie, distribuce vápníku a síry
← Dünnschliff, Detail der verdichteten, vergipsten Oberfläche, SEM, Verteilung von Schwefel (S) und Calcium (Ca)

- ↓ Grafické znázornění výsledků peeling testu na ploše bez známek degradace vápence.
- ↓ Grafische Darstellung der Ergebnisse von Peeling Test an einer Stelle mit gut erhaltener Oberfläche



- ↓ Grafické znázornění výsledků peeling testu na degradovaném povrchu vázy
- ↓ ↑ Grafische Darstellung der Ergebnisse von Peeling Test an einer Stelle mit erodierter Oberfläche



↓ Výsledky měření nasákavosti pomocí mikrotrubice

↓ Ergebnisse der Wasseraufnahmebestimmung durch Mikrorohrmessung

Místo měření Messstelle	Čas [s] Zeit [s]	WAC [kg.m ² .s ^{-0,5}] WAC [kg.m ² .s ^{-0,5}]	Typ povrchu Typ der Oberfläche
VN 1	Nevsakuje Keine Aufnahme	0	Kompaktní Kompakt
VN 2	50	0,23	Degradovaný Erodiert
VN 3	Nevsakuje Keine Aufnahme	0	Kompaktní Kompakt

Výsledky stanovení některých vlastností povrchu vápence (soudržnost a nasákavost) metodami prováděnými bez odběru vzorků přímo na vápencové váze jsou v korelaci se zjištěními vizuálního průzkumu a také s výsledky mikroskopických analýz. V rámci peeling testu bylo zjištěné trojnásobně vyšší množství odtrženého materiálu než na ploše s kompaktním povrchem. Kompaktní povrch je uzavřený a lze konstatovat, že jeho schopnost přijímat kapaliny kapilárním nasákáním je zanedbatelná.

Die Ergebnisse der Bestimmung von Wasseraufnahme und Oberflächenfestigkeit durch zerstörungsfreie diagnostische Methoden sind in guter Übereinstimmung mit der Ergebnissen der visuellen Zustandserfassung, sowie mit den Ergebnissen der mikroskopischer Untersuchungen von Probenmaterial aus verschiedenen teilen der Vase. Zugleich liefern sie wichtige Informationen zu Materialeigenschaften, die für die Prüfung der Konservierungsmassnahmen wichtig sind. Die Menge des abgelösten Materials bei dem Peeling Test von der erodierten Oberfläche ist ca. 3-mal höher als von einer kompakten Kalkstein-Oberfläche. Auf der anderen Seite ist die kompakte Oberfläche als sehr dicht zu bezeichnen und seine Fähigkeit Flüssigkeiten kapillar aufzunehmen ist sehr begrenzt.

- ↓ Grafické znázornění (mapování) hlavních projevů poškození vázy
- ↓ Grafische Darstellung (Kartierung) der Hauptschadens-Phänomene der Vase



	Ztráta povrchové vrstvy	Verlust der Oberflächenschicht	← Legenda
	Ztráta hmoty horniny	Materialverlust des Gesteines	← Legende
	Tvarové deformace povrchu, vlivem koroze	Verwitterungsbedingte Oberflächendeformation	
	Silně korodovaný povrch	Stark korrodierte Oberfläche	
	Praskliny	Risse	
	Historické vysprávky a tmely	Historische Reparaturen und Kitte	
	Zčernalé depozity na povrchu	Dunkle Ablagerungen	
	Povlaky biologického původu	Biogene Überzüge	

Zkoušky aplikace konsolidačních a injektážních prostředků na bázi vápenných nanosuspenzí

Pro konsolidační ošetření a fixaci povrchů a puchýřů na objektu vázy ze zahrad ve Valticích byl na základě předchozích zkoušek a zkušeností zvolen prostředek CaLoSil® E25.

Prostředek byl aplikován speciální injekční stříkačkou na suchý povrch přímo na vybranou plochu. Přebytky konsolidantu, které se nevstřebaly, byly odsáty buničinou. Testovací plochy byly pro tento účel vybrány tak, aby dobře reprezentovaly charakteristické typy poškození vázy. Jednalo se o vertikální i horizontální plochy, které vyžadují odlišný přístup při aplikaci.

Byla zkoušena také biocidní účinnost nanosuspenze CaLoSil® E25. Prostředek byl aplikován na biologickou vegetací osídlený povrch vázy, na různých světových stranách (severní/jižní/východní/západní). Biocidní efekty aplikovaného prostředku byly hodnoceny po 3 měsících. Byly hodnoceny také rozdíly v účinnosti při aplikaci na vlhčený nebo suchý povrch.

Applikationstests der Konsolidierung und Biozidbehandlung durch Nanokalk-Materialien

Zur Prüfung der Konsolidierung und Fixierung der Oberflächen und Blasen am Objekt der Vase aus den Gärten von Valtice wurde aufgrund früherer Tests und Erfahrungen das Mittel CaLoSIL® E25 ausgewählt.

Das Mittel wurde mit einer speziellen Injektionsspritze auf die trockene Oberfläche direkt auf die ausgewählte Fläche aufgebracht. Überreste des Konsolidierungsmittels, die von der Steinoberfläche nicht aufgenommen wurden, wurden mit Zellstoff aufgesaugt. Als Testflächen waren sie zu diesem Zweck auch ausgewählt worden, um typische Beschädigungen der Vase zu zeigen. Es handelte sich um vertikale und horizontale Flächen, die beim Auftragen unterschiedliches Vorgehen erfordern.

Beim Wirksamkeitstest der Nanosuspension CaLoSil® E25 als biozides Mittel wurden die Tests an den einzelnen Stellen der Vase mit verschiedener Ausrichtung nach den Himmelsrichtungen verglichen (nördlich/südlich/östlich/westlich). Hauptkriterium war, die biozide Wirkung nach der Testdauer (3 Monate) zu vergleichen. Gleichzeitig wurden auch Wirksamkeitsabweichungen bei Anwendung auf vorgefeuchteter oder trockener Oberfläche getestet. Allgemein ist bekannt, dass manche biogene Beschichtungen (z.B. Flechten) nach einer Befeuchtung auf biozide Mittel sensibler werden.

Velkým problémem při aplikaci vápenných nanosuspenzí je vznik bílého zákalu po odpaření etanolu. V rámci zkoušek optimálního konsolidačního ošetření byly testovány různé možnosti redukování vzniku tohoto zákalu: povrch kamene ošetřený prostředkem CaLoSil® E25 byl následně ošetřen vodou, přičemž voda byla aplikována v menším množství ve spreji nebo ve vyšším množství z laboratorní stříčky. Jedna plocha konsolidovaná prostředkem CaLoSil® E25 byla ponechána bez ošetření vodou pro porovnání.

Ein großes Problem beim Auftragen der Kalk-Nanosuspensionen ist die Entstehung von weißem Schleier nach der Verdampfung von Ethanol. Im Zuge der Tests wurden auch verschiedene Möglichkeiten getestet, um die Entstehung dieser Trübung zu reduzieren, die dann entfernt werden muss (mechanisch). Die einzelnen Oberflächen wurden deshalb in drei Felder aufgeteilt, mit leichter Benetzung (Anwendung als Spray), mit höherer Befeuchtung (Übergießen mit Laborsprühflasche) und ohne Befeuchtung nach der Anwendung.



↑ Aplikace CaLoSilu E25 na testovanou plochu
↑ Aufbringung von CaLoSiL E25 auf die getestete Fläche

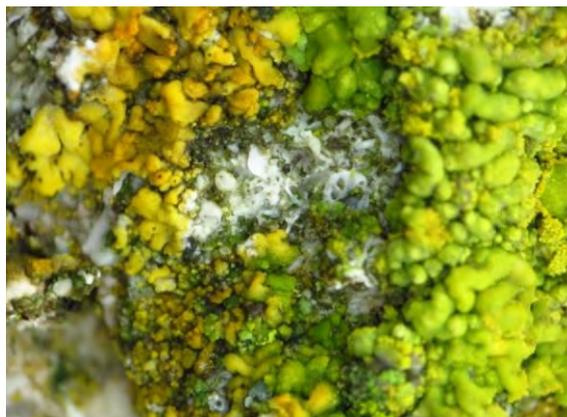


↑ Bezprostřední reakce lišejníků (červené zbarvení) po aplikaci nanosuspenze
↑ Unmittelbare Reaktion der Flechten (Rotfärbung) nach Aufbringung der Nanosuspension



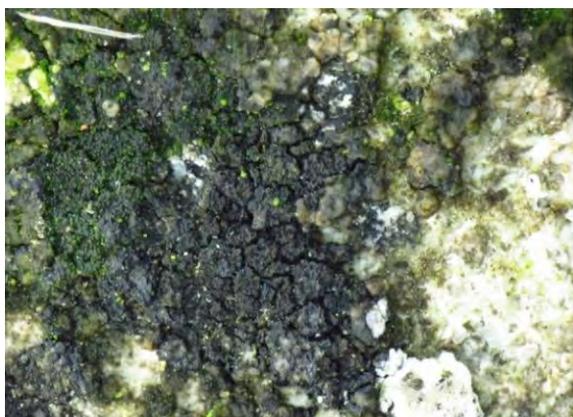
↑ Vzhled biogenních povlaků těsně po ukončení aplikace vápenné nanosuspenze

↑ Aussehen der biogenen Beschichtungen direkt nach Abschluss des Aufbringens der Kalk-Nanosuspensionen



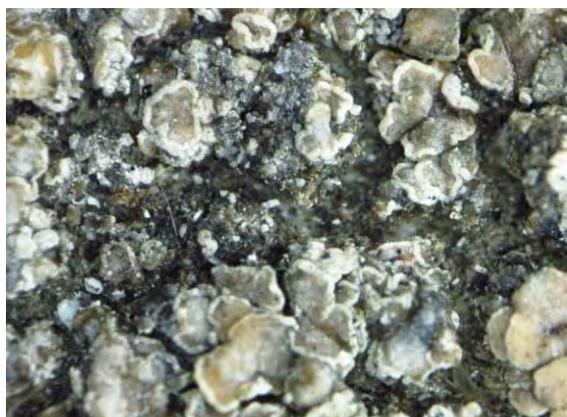
↑ Detail lišejníků 3 měsíce po aplikaci – fotografie v místech rozhraní mezi plochou, na kterou byla nanosena vápenná nanosuspenze (žlutá) a neošetřeným místem (světle zelená)

↑ Detail der Flechten 3 Monate nach der Behandlung – Fotografie an den Schnittstellen zwischen der Fläche, auf welche die Kalk-Nanosuspension aufgetragen wurde (gelb) und unbehandelten Stellen (hellgrün)



↑ Detail lišejníku ošetřeného prostředkem CaLoSil®E25 na povrchu vázy – 3 měsíce po aplikaci

↑ Detail der mit CaLoSiL®E25 behandelten Flechte auf der Oberfläche der Vase – 3 Monate nach der Anwendung



↑ Mikrofotografie lišejníku ošetřeného prostředkem CaLoSil®E25 – 3 měsíce po aplikaci

↑ Mikrofotografie der mit CaLoSiL®E25 behandelten Flechte – 3 Monate nach der Anwendung

Hodnocení průběhu a výsledků konsolidace

Vzhledem k velmi nízké nasákavosti kamene byly zkoušky zaměřeny na konsolidaci povrchu kamene a biocidní ošetření povrchu prostředkem CaLoSil®E25.

Celkově byly provedeny dva cykly napouštění v rozpětí 2 měsíců. Po uplynutí třech měsíců od závěrečné aplikace byly výsledky zkoušek na referenčních plochách zhodnoceny a dokumentovány. Stabilizace povrchu včetně zajištění puchýřů byla úspěšná pouze částečně. Po dvou měsících byl povrch na zkušebních plochách více soudržný, avšak stále se sprašoval.

Hodnocení průběhu a výsledků biocidního ošetření

Prakticky okamžitě po aplikaci prostředku CaLoSil®E25 začaly povlaky lišejníků výrazně reagovat (zčervenáním) a zbarvení bylo intenzivnější s pokračujícím nanášením prostředku.

Nebyly zjištěny žádné výrazné rozdíly v působení prostředku při nanesení na suchý

Auswertung der Ergebnisse der Konsolidierung

Angesichts der geringen Porosität des Steins wurde nur eine Oberflächenfestigung des lokal erodierten Kalksteins (Absanden), Sicherung der plastischen Deformationen auf der Oberfläche (Blasen) und Behandlung mit biozider Wirkung mit CaLoSiL®E25 vorgenommen.

Insgesamt erfolgten zwei Tränkungszyklen im Verlauf von 2 Monaten. Nach Ablauf von drei Monaten ab nach der abschließenden Auftragung wurden die Testergebnisse auf den Referenzflächen eingehend untersucht und dokumentiert. Die Anwendung des Mittels kann als relativ einfach (mithilfe einer Injektionsspritze) gelten und bei den Tests der vorbeugenden bioziden Wirkung wurde unmittelbar nach dem Auftragen eine signifikante Reaktion der Flechten auf der Vasenoberfläche festgestellt (Verfärbung zu Rot und dann bis zu Schwarz).

Ausgehend von den Ergebnissen der subjektiven Bewertung ist festzustellen, dass die Oberflächenstabilisierung und Sicherung der Blasen nur teilweise erfolgreich waren. Nach zwei Monaten hatte die Oberfläche der Testflächen einen besseren Zusammenhalt, aber sandete noch immer ab.

Auswertung der Ergebnisse der bioziden Behandlung

Praktisch sofort nach der Behandlung mit dem Mittel CaLoSiL®E25 begannen die Beschichtungen mit den Flechten deutlich zu reagieren (Rotverfärbung) und Ausmaß der Farbänderung wurde mit einem

či na vlhký povrch. V souvislosti s expozicí povrchu vůči světovým stranám byly ošetřením nejvíce zasaženy lišejníky na jihozápadní straně (strana nestíněná parkovým porostem a vystavena slunci), zatímco na severozápadní straně byl efekt menší. Tento jev ovšem může souviset i s typem lišejníků osídlujících dané povrchy.

Shrnutí výsledků zkoušek využití vápenných nanomateriálů

Průzkumem byly zjištěny hlavní projevy poškození vápence a základní charakteristiky horniny. Bylo zjištěno, že se jedná o poměrně kompaktní typ biodetritického litavského vápence s velmi nízkou nasákavostí.

Na objektu bylo vybráno zkušební pole a byly provedeny zkoušky konsolidace erodovaných povrchových vrstev. Povrchová soudržnost kamene se po dvou cyklech konsolidace sice zvýšila, ale nebyla podle subjektivního hodnocení restaurátorem dostatečná.

Biocidní ošetření lišejníků na povrchu vázy mělo za následek částečnou nebo úplnou likvidaci mikroorganismů a to již po první aplikaci. Účinnost přípravku je srovnatelná s ostatními přípravky běžně používanými pro tyto účely.

weiteren Auftrag des Nanomaterials intensiver. Bei Anwendung auf trockener und feuchter Oberfläche wurden bei der subjektiven Bewertung keine signifikanten Unterschiede in der Wirkung des gegebenen Mittels beobachtet.

In Bezug auf die Ausrichtung nach den Himmelsrichtungen könnte man feststellen, dass nach einer Pause von 3 Monaten die Flechten auf der Südwestseite (ohne Abschirmung durch die Vegetation des Parks und der Sonneneinstrahlung ausgesetzte Seite) von der Behandlung am meisten beeinflusst waren, wobei auf der Nordwestseite die Flechtenbesiedlung relativ „regeneriert“ war. Dieses Phänomen kann jedoch auch vom Typ der Flechten abhängen, welche die jeweiligen Oberflächen besiedeln.

Zusammenfassung der Testergebnisse

Mit der Untersuchung wurden die Haupttypen des beschädigten Kalksteins, vor allem jene, die für die Beurteilung der möglichen Strukturkonsolidierung und Entfernung der biogenen Beschichtungen wichtig sind. Es wurde festgestellt, dass es sich um einen ziemlich kompakten biodendritischen Leithakalk mit sehr geringer Wasseraufnahmefähigkeit handelt.

Am Objekt wurde ein Musterfeld für die Konsolidierungstest ausgewählt. Obwohl das Gestein kaum Wasser aufnimmt, erfolgten Konsolidierungstests der erodierten Oberflächenschichten. Die Festigkeit der Musterfläche hat sich nach zwei Zyklen erhöht, dennoch war die Oberfläche nicht befriedigend stabil.

Die Biozid-Behandlung führte bereits nach der ersten Anwendung zur starken Farbveränderung, die eine tlw. Abtötung der Mikroflora indizieren könnte.

Kamenný kříž s korpusem Krista ze Šitbořic

Základní popis díla

Kříž s korpusem Krista byl zhotoven z litavského vápence, podstavec je z pískovce. Jedná se o tzv. latinský kříž, ve spodní části s prostou patkou. Trámce mají v hranách dvoustupňovou profilaci. Čela mají ukončeny knoflíky (půlkoule). Kristus zaujímá 2/3 výšky kříže. Ruce a nohy má probodnuty čtyřmi hřebíky, nohy má podepřeny patkou. Kolem pasu má roušku a na hlavě trnovou korunu. Ve vrcholu kříže je umístěn nápisový list připevněn hřebem s textem I. N. R. I. Kříž je vytvořen ze dvou kamenných bloků. Spodní větší blok končí nad břevnem, na něj navazuje menší část vertikálního trámce. Objekt patří do správy farnosti při kostele sv. Mikuláše v Šitbořicích.

Popis stavu kříže před započatím zkoušek

Horninu použitou na zhotovení kříže lze zařadit mezi biodetritické vápence. Volným okem i při zkoumání mobilním mikroskopem lze dobře rozeznat úlomky schránek mořských organismů, které tvoří klastickou složku horniny. Klasty i jejich pojivo jsou tvořeny uhličitánem vápenatým. Jedná se o jemnozrnný typ litavského vápence.

Steinkreuz mit Corpus Christi aus Šitbořice

Allgemeine Beschreibung

Das Kreuz mit dem Corpus Christi wurde aus Leithakalkstein gefertigt, der Sockel ist aus Sandstein. Es handelt sich um ein sog. lateinisches Kreuz, im unteren Teil mit einem einfachen Sockel. Die Tragbalken haben an den Kanten eine zweistufige Profilierung. Die Frontseiten sind mit Knöpfen (Halbkugeln) abgeschlossen. Christus nimmt 2/3 der Kreuzhöhe ein. Die Hände und Füße hat er mit vier Nägeln durchbohrt, die Beine hat er auf einen Sockel gestützt. Um die Taille hat er eine Umhüllung und auf dem Kopf eine Dornenkrone. Im Gipfel des Kreuzes ist ein Schriftblatt mit einem Nagel befestigt, mit dem Text I. N. R. I. Das Kreuz ist aus zwei Steinblöcken geschaffen. Der untere größere Block endet über dem Balken, an ihn knüpft der kleinere Teil des vertikalen Tragbalkens

Vorzustand des Steinkreuzes

Das Gestein, das für die Fertigung des Kreuzes verwendet wurde, ist die Gruppe der biodetritischen Kalksteine einzuordnen. Mit bloßem Auge und auch bei der Überprüfung mit einem mobilen Mikroskop könnte man Bruchstücke von Meeresorganismen erkennen, die einen klastischen Bestandteil des Gesteins bilden. Die Klasten und ihre Bindemittel bestehen aus Calciumkarbonat. Es handelt sich um einen feinkörnigen Leithakalk Typ.



← Krucifix před kostelem sv. Mikuláše
– čelní pohled
← Steinkreuz mit Corpus Christi vor
der Kirche des hl. Nikolaus –
Frontansicht

Závažným poškozením kříže je hlavně tvorba krust, které mají obvykle tloušťku mezi 2-3 mm. Pod krustami je kámen často nesoudržný a pískovatí. V místech dešťových stínů mají krusty tmavošedé až černé zbarvení a často deformují modelaci kříže, lokálně se tvoří na povrchu drobné puchýře a dochází také k oddělování krusty od kamene. Na hranách kříže jsou patrné ztráty modelace v důsledku postupné degradace vápence. V oblasti křížení břevien se nacházejí hlubší praskliny, které ohrožují statiku kříže.

Die hauptsächliche Beschädigung des Kreuzes war vor allem eine Krustenbildung, wobei die die Kruste in der Regel eine Dicke von 2 - 3 mm erreicht. Unter den Krusten sandet der Stein häufig stark ab. An den Stellen der Regenschatten haben die Krusten dunkelgraue bis schwarze Einfärbung und oft deformieren sie die Modellierung des Kreuzes, lokal bilden sich an der Oberfläche kleinere Blasen und es kommt auch zur Abtrennung der Kruste vom Stein. An den Kanten des Kreuzes sind Verluste der Modellierung infolge der allmählichen Verwitterung des Kalksteins deutlicher sichtbar.

Místa více zatížené srážkovou vlhkostí, např. horizontální část břevna krucifixu, jsou osídleny mikroorganismy: vyskytují se řasy, lišejníky a mechy. Hlavně na vodorovných plochách a v horních partiích na zadní straně kříže je povrch vápence pokrytý povlaky mikroorganismů.

Im Bereich der Kreuzung der Balken befinden sich tiefere Risse, die auch die Statik des Kreuzes bedrohen könnten.

Stellen, die mehr durch Niederschlagsfeuchtigkeit belastet sind, z.B. der horizontale Teil des Balkens des Kreuzes, sind durch Mikroorganismen Algen, Flechten und Moose besiedelt. Vor allem auf den waagrechten Flächen und in den oberen Partien auf der Rückseite des Kreuzes ist die Oberfläche des Kalksteins mit Überzügen von Mikroorganismen bedeckt.

↓ Dobře zachovaný povrch

↓ Gut erhaltene Oberfläche

Popis:

Kompaktní povrch vápence s jemnozrnnou strukturou bez viditelných poškození

Beschreibung:

Kompakte Oberfläche des Kalksteins mit feinkörniger Struktur ohne sichtbare Beschädigungen



↑ Makrofotografie, detail povrchu v místě dobře zachované horniny

↑ Makrofotografie, Detail der Oberfläche an einer Stelle des gut erhaltenen Gesteins



↑ Mikrofotografie, detail povrchu v místě dobře zachované horniny

↑ Mikrofotografie, Detail der Oberfläche an einer Stelle des gut erhaltenen Gesteins

- ↓ Krusty a erodovaný povrch kamene
- ↓ Schadensphänomene

Popis:

Povrch kamene s krustami, které se lokálně oddělují

Beschreibung:

Steinoberfläche mit Krusten, die sich lokal abtrennen



- ↑ Detail vrcholu kříže s Kristem, silná degradace materiálu, tmavý povrch a výskyt puchýřů
- ↑ Detail des Kreuzgipfels mit Christus, starke Erosion des Kalksteines, dunkle Ablagerungen und Krustenbildung



- ↑ Detail erodovaného povrchu a poškozené hrany kříže (makrofoto)
- ↑ Detail der erodierten Oberfläche und der beschädigten Kante des Kreuzes



- ↑ Detail krusty a poškozeného vápence na okraji kříže (makrofoto)
- ↑ Detail der Krusten und beschädigten Kante des Kreuzes (Makrofoto)



- ↑ Detail erodovaného povrchu vápence (makrofoto)
- ↑ Detail der erodierten Oberfläche (Makrofoto)



← Detail
erodovaného
povrchu vápence
(mikrofoto)

← Detail der
erodierten
Oberfläche
(Mikrofoto)



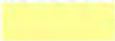
← Detail
erodovaného
povrchu vápence s
prasklinou
(mikrofoto)

← Detail der
erodierten
Oberfläche mit Riss
(Mikrofoto)



← Grafické
znázornění
(mapování) hlavních
projevů poškození
kříže
← Graphische
Darstellung
(Abbildung) der
wichtigsten
Erscheinungen der
Beschädigung des
Kreuzes

← Legenda
← Legende

	Deformace povrchu (puchýře)	Deformation der Oberfläche (Blasen)
	Povlaky biologického původu	Biogene Überzüge
	Praskliny	Risse
	Chybějící hmota horniny	Materialverlust
	Korodovaný povrch	Korrodierte Oberfläche
	Zčernalé depozity na povrchu	Dunkle Ablagerungen an der Oberfläche

Stanovení nasákavosti vápence

Nasákavost kamene byla na vybraných typech povrchů měřena pomocí Karstenovy trubice. Cílem bylo zjistit absorpční schopnost vápence na povrchu objektu a srovnat rozdíly mezi povrchy s různou mírou poškození. Na erodovaném povrchu byla měřena také rychlost vsakování konsolidantu CaLoSil® E25..

Bestimmung der Aufnahmefähigkeit des Festigungsmittels

Die Flüssigkeitsaufnahme vom Stein wurde an einigen Typen der Oberfläche durch des Karsten- Rohre bestimmt. Ziel war die Aufnahmefähigkeit des Kalksteins an der Oberfläche des Objekts festzustellen und die Unterschiede zwischen den Oberflächen mit unterschiedlichem Maß der Beschädigung zu vergleichen. An der erodierten Oberfläche auch die Aufnahmegeschwindigkeit des Festigers CaLoSiL® E25 gemessen.

↓ Sumarizace výsledků měření nasákavosti

	Koeficient absorpce kapalného konsolidačního prostředku CaLoSil E25 povrchem kamene W [$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}^{0,5}$]
Dobře dochovaný povrch	pod 0,1
Erovaný povrch	pod 0,1
Degradovaný povrch	pod 0,1

↓ Summarisierung der Ergebnisse der Messung der Aufnahmefähigkeit

	Flüssigkeitsaufnahmekoeffizient (CaLoSil® E25) W [$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}^{0,5}$]
Gut erhaltene Oberfläche	unter 0,1
Erodierte Oberfläche	unter 0,1
Degradierte Oberfläche	unter 0,1



↑ Měření rychlosti vsakování konsolidantu CaLoSiL E25 do vápence (Karstenova trubice)

↑ Messung der Aufnahmegeschwindigkeit des Festigers CaLoSiL® E25 in den Kalkstein (Karstensches Röhrchen)

Zkoušky prokázaly, že na všech vybraných místech je absorpční schopnost vápence velmi nízká. Koeficient absorpce konsolidačního prostředku byl vždy nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$. Z tohoto důvodu nebyl tento objekt plošně konsolidován a zkoušky byly zaměřeny zejména na lokální konsolidaci poškozených míst s výskytem puchýřů.

Die Prüfungen haben eindeutig gezeigt, dass an allen ausgewählten Stellen die Flüssigkeitsaufnahme des Kalksteins sehr niedrig ist. Der Aufnahmekoeffizient des Konsolidierungsmittels war immer niedriger als $0,1 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$. Aus diesem Grund wurde dieses Objekt nicht flächendeckend konsolidiert und die Prüfungen wurden insbesondere auf die lokale Konsolidierung der beschädigten Stellen mit von geöffneten Blasen gezielt.

Zkoušky aplikace konsolidačních a injektážních prostředků na bázi vápenných nanosuspenzí

Na degradovaném povrchu byly testovány nanosuspenze CaLoSil® E25 a CaLoSil® E50. Okraje puchýřů a praskliny byly v rámci zkoušek stabilizovány injektážními prostředky CaLoSiL® Pasty a CaLoXiL® Injection grout.

Prostředek CaLoSil® E25 byl aplikován injekční stříkačkou na suchý povrch. Přebytky konsolidantu na povrchu vápence byly odsáty buničinou. Zkoušky byly provedeny na horizontálních i vertikálních plochách, aby bylo možné porovnat případné rozdíly v příjmu nanosuspenzí.

Za účelem redukce bílého zákalu na povrchu konsolidovaného vápence byl zkoušen vliv vlhčení vodou po nanesení vápenné nanosuspenze. Zkušební pole bylo vždy rozdělené na dvě části – jedna strana byla po aplikaci konsolidačního prostředku vlhčena, zatímco druhá strana ne.

Applikationstests der Konsolidierung und Rissverfüllung durch Nanokalk-Materialien

An der erodierten Oberfläche wurde eine Festigung mit den Nanosuspensionen CaLoSil® E25 a CaLoSil® E50 getestet. Die Stabilisierungsversuche der offenen Pustelränder und Risse wurde mit den Injektionsmitteln CaLoSiL® Pasty a CaLoXiL® Injection grout durchgeführt.

Bei den Festigungstests wurde die Nanosuspension CaLoSil® E25 an die gefestigte Fläche mit einer Injektionsspritze langsam und vorsichtig aufgetragen. Die Überreste des Mittels, vom Kalkstein nicht aufgenommen, wurden gleich mit Zellstoff abgesaugt. Die Testbereiche wurden an horizontalen, sowie vertikalen Flächen angelegt um die Unterschiede bei dem Auftrag vergleichen zu können.

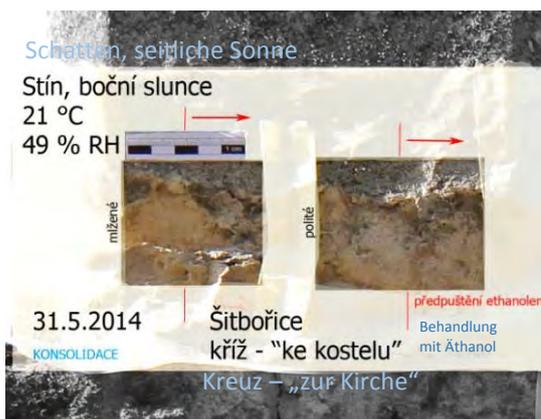
Bei den Konsolidierungsversuchen wurde auch die Möglichkeit der Weißschleierbildung durch Befeuchtung kurz nach dem Auftrag der Nanosuspensionen erprobt. Die Testfläche wurde dabei in zwei Hälften geteilt und eine Hälfte wurde nach dem Auftrag und Absaugung des überschüssigen Festigers befeuchtet.

↓ Přehled postupu při nanášení prostředků na bázi vápenných nanosuspenzí

Opatření	CaLoSil® E25 (25 g/l)	CaLoSil® E50 (50 g/l)	CaLoSil® Pasty CaLoXiL® Injection grout
Strukturální konsolidace – 1. napouštěcí cyklus	2-násobná aplikace (cca s hodinovou pauzou)	-	-
Strukturální konsolidace – 2. napouštěcí cyklus (s dvouměsíčním časovým odstupem)	2-násobná aplikace – lokálně	-	-
Injektáž prasklin	-	1 aplikace – lokálně bezprostředně před injektáží prasklin	Injektáž prasklin

↓ Übersicht der Applikation der Nanokalkmaterialien

Massnahme	CaLoSil® E25 (25 g/l)	CaLoSil® E50 (50 g/l)	CaLoSil® Pasty CaLoXiL® Injection grout
Gefügefestigung – 1. Behandlung	2 x Auftrag (mit einer 1 Std. - Pause)	-	-
Lokale Gefügefestigung – 2. Behandlung (nach 2 Monaten Pause nach der 1. Behandlung)	2 x Auftrag (nur lokal)	-	-
Rissverfüllung	-	1 x Auftrag, lokal, unmittelbar vor der Rissverfüllung	Rissverfüllung



↑ Silně degradovaný povrch vápence v průběhu aplikace vápenných nanosuspenzí CaLoSiL® E25 a E50

↑ Stark erodierte Steinoberfläche, Testflächen während der Applikation von CaLoSiL® E25 a E50



↑ Zkouška zaměřená na redukcí bílého zákalu (spodní část zkušebního pole byla po aplikaci prostředku CaLoSiL® E25 ošetřena vodou)

↑ Kalksteinoberfläche nach der Festigung und Versuch die Bildung von Weisschleier zu reduzieren; der untere Teil der Testfläche wurde nach dem Auftrag von CaLoSiL® E25 befeuchtet



↑ Povrch kamene na zkušební ploše tři měsíce po aplikaci vápenných nanomateriálů

↑ Stark erodierte Steinoberfläche drei Monate nach der Festigung durch Nanokalkmaterialien



↑ Stabilizace okrajů puchýřů kombinací prostředků CaLoSiL®E50 a CaLoSiL®Pasty

↑ Stabilisierung von Pustel-rändern durch CaLoSiL® Pasty a CaLoXiL® Injection grout; Zustand nach der Aushärtung



← Fixace puchýřů
injektážními
prostředky
CaLoSiL® Pasty a
CaLoXiL® Injection
grout
← Stabilisierung
von Pustel-rändern
und Rissen durch
CaLoSiL® Pasty a
CaLoXiL® Injection
grout

Shrnutí výsledků zkoušek využití
vápenných nanomateriálů

Na objektu bylo vybráno několik zkušebních polí pro zkoušku konsolidačního a také biocidního efektu vápenných nanomateriálů. Přes velmi nízkou nasákavost vápence byly na několika menších referenčních plochách s erodovanou horninou provedeny zkoušky konsolidace. Podle výsledků subjektivního posouzení přímo na daných plochách konsolidaci hodnotit jako účinné. Povrchová soudržnost vápence se na zkušební ploše po dvou konsolidačních cyklech zlepšila a nedocházelo k vydrolování zrn horniny, resp. povrchové drolení bylo výrazně sníženo.

Zusammenfassung der Testergebnisse

Ausgehend von den Ergebnissen der Zustandsaufnahme wurden am Kreuz der mehrere Referenztestflächen für Festigung und Rissverfüllung ausgewählt. Trotz der relativ geringen Flüssigkeitsaufnahmefähigkeit wurden an kleineren erodierten Flächen auch Konsolidierungsversuche durchgeführt. Der Festigungserfolg (nach zwei Konsolidierungszyklen) der kleinflächigen Schadstellen nach der Aushärtung (Carbonatisierung des Calciumhydroxids) ist anhand von subjektiver Einschätzung als effektiv zu bewerten. Die Oberflächenfestigkeit vom Kalkstein war nach der Festigung nachweislich gestiegen, das Absanden konnte man durch die Festigung weitgehend reduzieren.

Biocidní účinek vápenných nanosuspenzí se projevil krátce po jejich nanesení. Vzhledem k rychlé změně zbarvení biologického osídlení a lehčí odstranitelnosti povlaků biologického původu lze předpokládat, že působením vápenných nanosuspenzí došlo k částečnému nebo úplnému zahubení mikroflóry na povrchu vápence.

Nevýhodou byl v případě konsolidace i kombinovaného použití (konsolidace a biocidní ošetření) opět vznik bílého zákalu. Vznik zákalu nebylo možné výrazněji ani vlhčením povrchu vápence po nanesení nanosuspenze. Výsledky zkoušek injektáže nelze hodnotit jako úplně uspokojivé. Injektážní prostředky penetrovaly poměrně dobře i do tenkých prasklin, ale zejména na okrajích puchýřů došlo po vytvrnutí prostředku CaLoSil®Pasty k popraskání injektážní hmoty a k jejímu oddělování od horniny. Řešením je zřejmě snížení kontrakce injektážních prostředků při tvrdnutí přidáním jemnozrnných plniv, tak jak to bylo provedeno v případě restaurování náhrobku Josefa Engeleina ze hřbitova St. Marx ve Vídni.

Die biozide Wirkung der Kalknanosuspensionen hatte kurz nach der ersten Applikation eine Farbveränderung und auch eine leichtere Entfernbarkeit der biogenen Überzüge zu Folge gehabt. Dies lässt auch auf eine Zerstörung der Mikroflora auf der Kalksteinoberfläche schliessen.

Als Nachteil bei der Festigung oder kombinierter Anwendung (Festigung und biozide Behandlung) hat sich wieder die Bildung von Weiss schleier erwiesen. Die Entstehung des Weiss schleiers konnte man auch durch eine Befeuchtung nach dem Auftrag des Festigers nicht eliminieren. Die Ergebnisse der Rissverfüllung sind nicht als sehr befriedigend zu bewerten. Die Injiziermittel penetrierten zwar in die Risse relativ gut, aber nach der Aushärtung von CaLoSil®Pasty ist es besonders an den Pustel-rändern zu einer Schrumpfrissbildung des Injiziermittels gekommen. Die Schrumpfrissbildung hat folgend zu tlw. Trennung der injizierten Masse vom Gestein geführt. Die Lösung wäre vermutlich eine Reduktion des Schrumpfens durch Addition von feinkörnigen Füllstoffen, so wie es bei der Restaurierung des Grabsteins „Engelein“ vom Friedhof St. Marx in Wien gemacht wurde.

Náhrobek Josefa Engeleina ze
hřbitova St. Marx ve Vídni

Úvod

Díky vstřícnosti města Vídeň a Spolkového památkového úřadu bylo možné získat objekt pro pilotní restaurování s využitím technologií na bázi nanovápna. Po dohodě se zmíněnými institucemi byl vybrán náhrobek („Josef Engelein“) z litavského vápence ze hřbitova St. Marx ve Vídni, který vykazoval všechny charakteristické typy poškození. Pro plánované restaurování byl transportován do dílen Spolkového památkového úřadu ve Vídni. To, že volba padla na objekt ze hřbitova St. Marx, je s ohledem na rozsáhlý a bohatě zachovaný soubor dochovaný v tomto objektu lehce pochopitelné: Pomníky na hřbitově St. Marx, který byl založen během josefinské reformy na konci 18. století, hojně zastupují celé stylistické a typologické spektrum klasicismu a raného historismu.

Vedle uměleckého hlediska je pro náš projekt důležité především převládající materiálové složení náhrobků, neboť většina z nich je vytvořena z různých variant litavského vápence.

Grabstein „Engelein“ vom Friedhof
St. Marx in Wien

Einleitung

Im Zuge der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit mit den Projektpartnern sollten innovative Technologien entwickelt werden, die wesentlich zur Erhaltung des regionalen Kulturerbes beitragen können. Dank dem Entgegenkommen der Stadt Wien und des Bundesdenkmalamts (BDA) konnte ein passendes Objekt für eine Pilotrestaurierung auf Basis der Nanokalk-Technologie gefunden werden. In Absprache mit den genannten Institutionen wurde ein Grabstein („Josef Engelein“) aus Leithakalk des St. Marxer Friedhofes in Wien ausgewählt, der alle charakteristischen Schadensbilder aufwies und für die geplante Restaurierung in die Werkstätten des BDA transportiert werden konnte.

Dass die Auswahl auf ein Objekt des Friedhofes St. Marx fiel, ist in Hinblick auf das umfangreiche, reich erhaltene und geschlossene Ensemble der Anlage leicht verständlich:

Der im Zuge der josephinischen Reform Ende des 18. Jahrhunderts gegründete Friedhof St. Marx beinhaltet eine Sammlung an Grabdenkmälern, welche das gesamte stilistische und typologische Spektrum des Klassizismus und Frühhistorismus in zahlreichen Beispielen abdeckt.

Neben diesem künstlerischen Aspekt ist insbesondere die vorherrschende Materialität der Grabsteine für unser Projekt von Bedeutung, da ein Großteil der Grabmäler aus Leithakalk der unterschiedlichsten Varietäten gebaut ist.



← Náhrobek „Engelein“ před restaurováním
 ← Grabstein „Engelein“ vor der Restaurierung

Základní popis náhrobku a použité typy horniny

↓ Informace o objektu

Objekt	hřbitovní pomník „Engelein“	
Lokace	hřbitov St. Marx Leberstraße 6 – 8, 1030 Vídeň	
Datace	pravděpodobně kolem roku 1865	
Autorství	autor neznámý	
Rozměry	V 138 / Š 50 / H 23 cm	
Technický stav náhrobku 3 – dílný		Materiál
	Hlavice / štít	Biokalkarenit, typ „Loretto“, litavský vápenec
	Střední část	Biokalkarenit, typ „Zogelsdorf“, litavský vápenec
	Podstavec	Biokalkarenit, typ „Loretto“, litavský vápenec
Technický stav nápisové tabule		Solnhofenský vápenec, typ „Kelheimer“

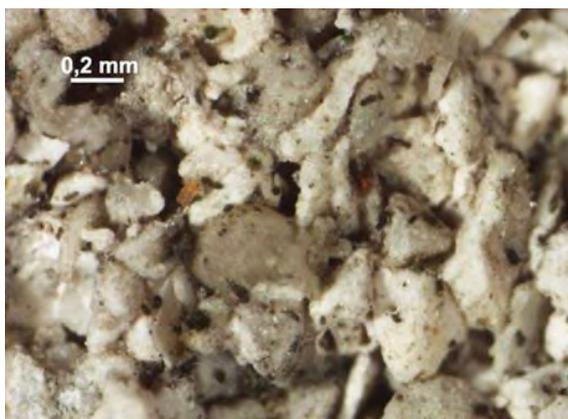
Beschreibung der Gesteinsvarietäten

↓ Objektidentifikation

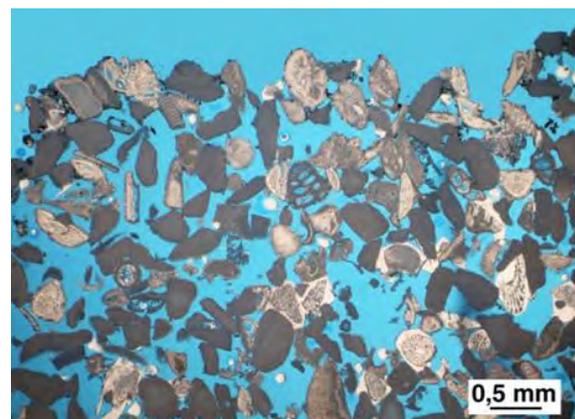
Objekt	Grabdenkmal „Engelein“	
Standort	Friedhof St. Marx Leberstraße 6-8, 1030 Wien	
Datierung	vmtl. um 1865	
Künstler	unbekannt	
Größe	H 138 / B 50 / T 23 cm	
Technischer Bestand Grabstein 3-teilig		Material
	Kopf/ Giebel	Biokalkarenit, Typ „Loretto“, Leithakalk
	Mittel- teil	Biokalkarenit, Typ „Zogelsdorf“, Leithakalk
	Sockel	Biokalkarenit, Typ „Loretto“, Leithaklk
Technischer Bestand Inschrifttafel		Kalkstein, Typ Solnhofen („Kelheimer Stein“)

Na náhrobku „Engelein“ se prokazuje litologická šíře litavských vápenců: vedle jemnozrnného homogenního biokalkarenitu typu „Loretto“, ze kterého jsou vytvořeny štít a podstavec, je střední část tvořena hrubším a kompaktnějším litavským vápencem „Zogeldorfského“ typu.

Die lithologische Bandbreite der Leithakalke spiegelt sich beim Grabstein „Engelein“ wider: neben dem feinkörnig homogenen Biokalkareniten vom Typus „Loretto-Stein“ des Giebels und Sockels weist der Mittelteil den gröberen und dichteren Leithakalk des Typus „Zogelsdorf“ auf.

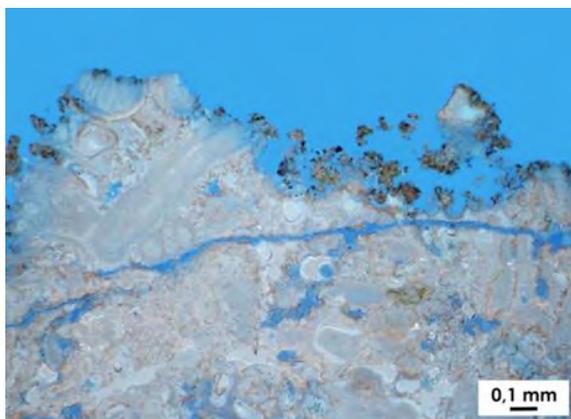


↑ Lomová plocha kamene „Loretto“
↑ Bruchfläche des „Loretto-Steines“



↑ Výbrus kamene typu „Loretto“ se zřetelně uvolněnou vnitřní strukturou (procházející světlo, světlé pole)
↑ Dünnschliffbild vom Typ „Loretto“ mit deutlicher Gefügauflockerung (Durchlicht/Hellfeld)

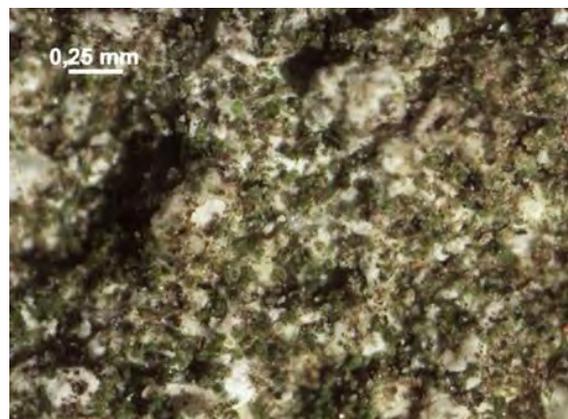
S ohledem na to je také třeba rozdílně vyhodnocovat poškození struktury horniny způsobené zvětváním. Jemnozrné variety litavských vápenců se svojí intergranulární porozitou mají tendenci ke ztrátě pojiva a tím způsobenému pískovatění, zatímco „Zogeldorfské“ typy nevykazují téměř žádná poškození ve struktuře, zato se na jejich povrchu často vyskytují sádrovcové krusty nebo jsou poškozeny povrchovou erozí s následným osídlením mikroorganismy a usazováním nečistot.



↑ Snímek výbrusu Zogeldorfského typu s biogenním povlakem a trhlinami rovnoběžnými s povrchem (procházející světlo, paralelní nikoly)
 ↑ Dünnschliffaufnahme des Typus „Zogelsdorf“ mit biogenen Auflagen und oberflächenparallelen Rissen

Zejména pro druhou zmiňovanou varietu (Zogelsdorfský typ kamene) mohla být určena charakteristická šíře vlasových prasklin (do 0,1 mm). Toto poškození nehraje u jemnozrných homogenních biokalkarenitů (typ Au a typ Loreto) tak významnou roli. Zde se objevuje převážně snížení pevnosti v struktuře vápence vzniklé ztrátou pojiva, které může zasahovat i do hloubky.

Dementsprechend sind die kritischen, durch Verwitterung entstandenen Gefügestände unterschiedlich zu bewerten: Die feinkörnigen Varietäten mit ihrer intergranularen Porosität neigen zum Bindemittelverlust und damit zum Absanden, während die Zogelsdorfer Varietäten kaum Gefügedefekte zeigen, dafür aber oftmals verdichtete Oberflächen auf Grund von Vergipsung des Gesteins sowie Oberflächenerosion und nachfolgende Besiedelung durch Mikroorganismen und Verschmutzung aufweisen.



↑ Povrch „Zogeldorfského“ litavského vápence osídlený mikroorganismy
 ↑ Mit Mikroorganismen besiedelte Oberfläche des „Zogelsdorfer“ Leithakalkes

Besonders für die zweitgenannten Varietäten (Typus Zogelsdorfer-Stein) konnten charakteristische Rissweiten bestimmt werden (bis 0,1 mm). Dieses Schadensbild steht bei den feinkörnigeren und homogenen Biokalkareniten (Typ Au und Typ Loreto) nicht im Vordergrund. Hier finden sich vornehmlich – zum Teil tiefgreifende – Gefügeentfestigungen auf Grund von Bindemittelverlusten.

Zjištěné zhoršení vzájemného propojení zrn vápence (rozvolnění struktury) poukazuje na značnou potřebu konsolidace zvětralého kamene, přičemž je zde možné předpokládat relativně dobré pronikání konsolidantu do kamene.

Popis poškození náhrobku

Jedním z důsledků původního umístění náhrobku ve venkovním prostředí na hřbitově St. Marx je především biologická kolonizace, která je částečně velkoplošná. Tyto biogenní povlaky tvořené hlavně mechy a lišejníky se nachází zejména na podstavci.

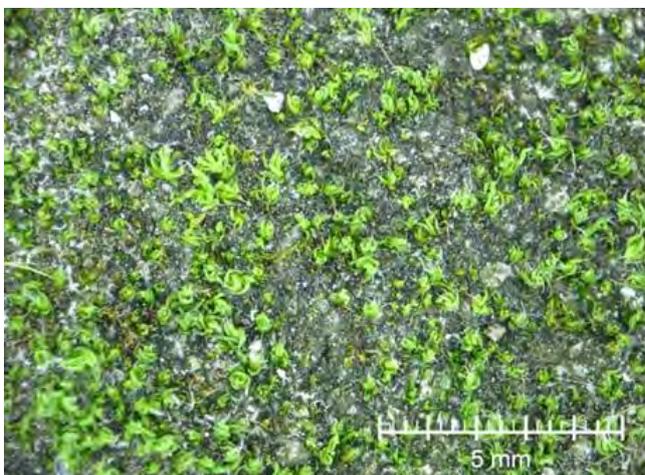


Diese Gefügebrauchungen deuten auf einen hohen Festigungsbedarf des angewitterten Gesteins hin, wobei hier ein relativ gutes Eindringverhalten des Festigungsmittels zu erwarten war.

Schadensbeschreibung

Auf Grund seiner ursprünglichen Position im Außenbereich am Friedhof St. Marx weist der Grabstein „Engelein“ vordergründig zum Teil großflächige biogene Auflagen auf. Diese finden sich insbesondere am Sockelbereich in Form von Moosen und Flechten, wobei auch Flechten auftreten können.

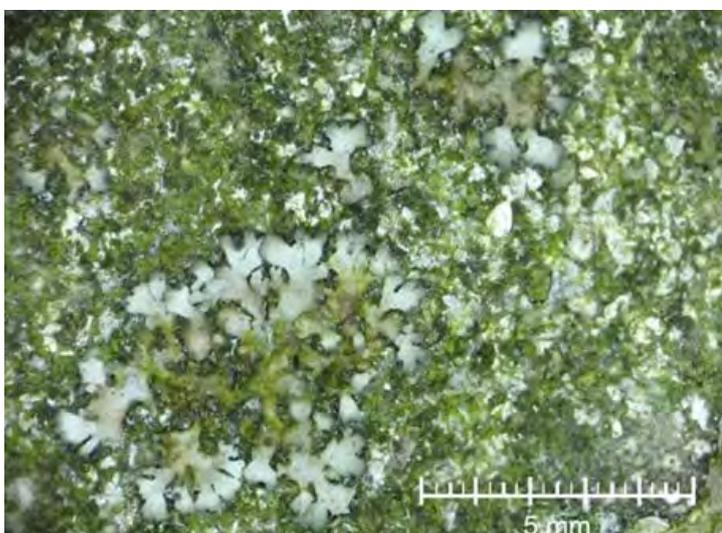
- ← Střední část náhrobku osídlený mikroorganismy
- ← Sockelbereich mit großflächigen biogenen Auflagen



- ← Povrch „Zogeldorfského“ litavského vápence osídlený mikroorganismy
- ← Detailaufnahme der Moose



← Povrch „Zogeldorfského“ litavského vápence osídlený mikroorganismy
 ← Krustenbildung von trockenen biogenen Auflagen



← Povrch „Zogeldorfského“ litavského vápence osídlený mikroorganismy
 ← Kombination von Moosen und Flechten

Zejména na klasických plochách tzv. dešťových stínů se výrazněji tvoří povlaky ve formě černých krust. Parciálně se tyto krusty odlupují a zvyšují tím přijímání vody v těchto místech, což pak následně může vést k dalšímu poškození kamene.

Odprýskávání černých krust vyvolává obvykle ztrátu hmoty na povrchu kamene, přičemž zde může docházet také k výrazným deformacím, jako je tvorba šupin a dutin.

Schattenflächen kommt es verstärkt zu Auflagen in Form von schwarzen Krusten. Partiiell platzen diese kompakten Krusten bereits ab und erhöhen in diesen Bereichen die Wasseraufnahme, was zu einer erneuten Schadensbildung führen kann.

Abplatzungen von schwarzen Krusten rufen zumeist einen Substanzverlust der Oberflächen hervor, wobei es hier auch zu extremen Deformationen wie Schalen und Schollen kommen kann.



↑ Štít s hlavou se silnou, částečně puchýřovitou černou krustou
↑ Giebel und Kopf mit dicken, z. T. pustelartigen schwarzen Krusten



↑ Částečně oddělená kompaktní černá krusta
↑ Kompakte schwarze Kruste, welche partiell bereits abgesprengt ist



↑ Pískovitý povrch nacházející se pod černou krustou
↑ Sandende Oberfläche unterhalb einer schwarzen Kruste



↑ Šupinatění se zřetelnou ztrátou hmoty
↑ Schalenbildung mit deutlichem Substanzverlust



↑ Typické poškození zdrsňelého povrchu s naléhavou potřebou konsolidace
↑ Typisches Schadensbild einer aufgerauten Oberfläche mit dringendem Festigungsbedarf



↑ Již zvětralá šupina: ztráta hmoty a obnovení biologického nárůstu
↑ Bereits „verwitterte“ Schale: Substanzverlust und erneute biogene Auflagen

Při průzkumu stavu náhrobku byly nalezeny trhliny pouze na nápisové desce ze solnhofenského vápence. Zejména na hranách a rozích se vyskytují menší odštípnutí a chybějící části. Na některých místech se nachází cementové doplňky, které byly aplikovány pravděpodobně v průběhu zajišťovacích opatření. Tenké kompaktní nátěry (cement) by mohly pocházet také i z předchozích restaurátorských zásahů.

Bei der Bestandsaufnahme konnten Risse nur im Bereich der Solnhofener Inschrifttafel aufgefunden werden. Insbesondere an Kanten und Ecken finden sich kleinere Ausbrüche und Fehlstellen. Zum Teil finden sich Zementergänzungen, welche vermutlich im Zuge der Sicherungsmaßnahmen aufgebracht wurden. Dünne kompakte Überzüge (Zement) dürften bereits aus früheren Restaurierungen stammen.



↑ Prasklina v nápisové tabuli
↑ Riss in der Inschrifttafel



↑ Cementový doplněk (vytvořený v průběhu zajišťovacích opatření)
↑ Zementergänzung (vermutlich im Zuge der Sicherungsmaßnahmen entstanden)

Příklady použití nanomateriálů

Veškeré předběžné zkoušky restaurování náhrobku Engelein byly provedeny na jeho podstavci (především na zadní straně). Tato „zkušební plocha“ byla vybrána společně s Institutem pro umění a technologie a projektovými partnery, neboť se na tomto úseku nacházela všechna významná poškození (biogenní povlaky, černé krusty, odprýskávání kruz, šupinatění a také pískovitý povrch).

Anwendungsbeispiele mit Nanomaterialien

Sämtliche Vorversuche für die Restaurierung des Grabsteines Engelein wurden an dessen Sockel (vornehmlich an der Rückseite) durchgeführt. Die Auswahl dieser „Musterfläche“ wurde gemeinsam mit dem Institut für Konservierung und Restaurierung und den Projektpartnern getroffen, da in diesem Bereich die wesentlichsten Schadensbilder (biogene Auflagen, schwarze Krusten, Schalen und Schollen sowie reduzierte/sandende Oberflächen) kompakt vorhanden waren.

Zároveň tato plocha nabízela možnost testovat nanomateriály na „originálním kameni“ bez technických a estetických zásahů do umělecky hodnotně zpracovaného povrchu kamene ještě před samotným restaurováním.

Gleichzeitig bot diese Fläche die Möglichkeit, Nanomaterialien auf dem „Originalgestein“ zu testen, ohne künstlerisch wertvoll bearbeitete Oberflächen technisch, wie auch ästhetisch vor der eigentlichen Restaurierung zu beeinflussen.

↓ Následující tabulka podává přehled o škále použitých nanomateriálů*

Označení produktu	Použití	Velikost částic účinné látky	Koncentrace účinné látky	Příměsi
CaLoSiL®E25	Konsolidace	50 – 250 nm	25 g/l	–
CaSoPaL® plus	Konsolidace a biocidní účinek	žádné údaje	žádné údaje	žádné údaje
CaLoSiL® mikro	Injektáž jemných trhlin	1- 3 µm	120 g/l	–
CaLoXiL® Injektážní maltovina	Injektáž větších trhlin	50 – 250 nm		mramorová moučka < 4 µm

*Specifikace použitých produktů na základě údajů výrobce

↓ Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Palette an eingesetzten Nanomaterialien*

Produktbezeichnung	Einsatzmöglichkeiten	Partikelgröße Wirkstoff	Wirkstoffgehalt	Werkseitige Zusätze
CaLoSiL®E25	Gefügefestigung	50 – 250 nm	25 g/l	-
CaSoPaL® plus	Gefügefestigung mit Biozidwirkung	k.A.	k.A.	k.A.
CaLoSiL® mikro	Injektage feiner Risse	1- 3 µm	120 g/l	-
CaLoXiL® Injektionsmörtel	Injektage grober Risse	50 – 250 nm		Marmormehl < 4 µm

*Spezifikation der verwendeten Produkte auf Basis der Herstellerangaben

Prvořadým cílem bylo odstranění biologického nárůstu co nejšetrněji, tak, aby mohly být zachovány všechny fragmenty ker i šupin a následně stabilizovány vhodnou injektážní maltovinou.

Vedle tvorby šupin byly povrch parciálně i značně zasažený pískovatěním. S ohledem na další konzervační kroky (redukce černých krust, mechanické čištění, aplikace injektážních maltovin a doplňků) bylo nutné provést nejdříve konsolidaci kamene. Tyto důvody vedly k úvahám, jak dalece je možná „kombinace“ obou opatření s použitím nanosuspenzí hydroxidu vápenatého.

Proto byl při testování produktu (CaSoPaL®plus), který by měl nabízet možnost strukturální konsolidace se současným odstraněním plísní a řas, použít také konsolidant CaLoSiL®E25.

Po opatrném odstranění nesoudržného prachu a nečistot pomocí jemného štětce proběhly zkoušky konsolidace (2krát po 24 h) podle následující tabulky.

Vorrangige Zielstellung war es, biogene Auflagen möglichst schonend zu entfernen, wobei sämtliche Schollen und Schalen erhalten werden sollten, damit sie in der Folge mit geeigneten Injektionsmörteln hinterfüllt werden konnten.

Neben den Schollen und Schalen wiesen die Oberflächen partiell stark sandende Gefüge auf. In Hinblick auf weitere konservatorische Arbeitsschritte (Reduzierung von schwarzen Krusten, mechanische Nachreinigung, Aufbringen von Injektions- und Ergänzungsmassen sowie einer Schlämme) musste hier vorerst eine Festigung des Gesteins durchgeführt werden. Aus diesem Grund ergab sich die Überlegung, inwieweit eine „Kombination“ beider Maßnahmen mit Nanokalkmaterialien möglich ist.

Deshalb haben wir uns entschieden, für den Versuchsaufbau das Festigungsmittel CaLoSiL®E25 neben einem Produkt (CaSoPaL®plus), welches die Möglichkeit einer strukturellen Festigung mit zusätzlicher Schimmel- und Algenentfernung bieten soll, zu verwenden.

Nach einer vorsichtigen Entfernung loser Staub- und Schmutzauflagen mittels feiner Pinsel erfolgten die Festigungsversuche (2-malig nach 24 h) gemäß nachfolgender Tabelle.

↓ Postup odstranění biologického povlaku

↓ Verfahren zur Elimination des biologischen Belages

Konsolidant Festigungsmittel	Aplikace Anwendung	Následné ošetření Nachbehandlung
CaLoSiL®E25	Napuštění in situ	–
	Fluten in situ	–
CaLoSiL®E25	Napuštění in situ	Dočištění vodou a kartáči
	Fluten in situ	Nachreinigung mit H ₂ O und Bürsten
CaLoSiL®E25	Napuštění in situ	Dočištění vodou
	Fluten in situ	Nachreinigung mit H ₂ O
CaLoSiL®E25	Napuštění úlomku	Dočištění vodou, následně zabalení do PVC-fólie
	Fluten eines Bruchstückes	Nachreinigung mit H ₂ O, anschließendes Einpacken in PVC-Folie
CaSoPaL®plus	Napuštění in situ	–
	Fluten in situ	–
CaSoPaL®plus	Napuštění in situ	Dočištění vodou a kartáči
	Fluten in situ	Nachreinigung mit H ₂ O und Bürsten
CaSoPaL®plus	Napuštění in situ	Dočištění vodou
	Fluten in situ	Nachreinigung mit H ₂ O

Výsledky biocidního a konsolidačního ošetření

S prostředkem CaLoSiL®E25 i s prostředkem CaSoPaL®plus může být – posuzováno čistě hapticky – dosaženo dobrých výsledků při konsolidaci zpískovatělých povrchů. Mikroskopické průzkumy vzorků ze zkušebních ploch ukázaly, že hloubka penetrace je u obou konsolidantů podobná. Použitím CaSoPaL®plus je nicméně možné lépe redukovat biogenní povlaky.

Ergebnisse zur Biozid- und Festigungsbehandlung

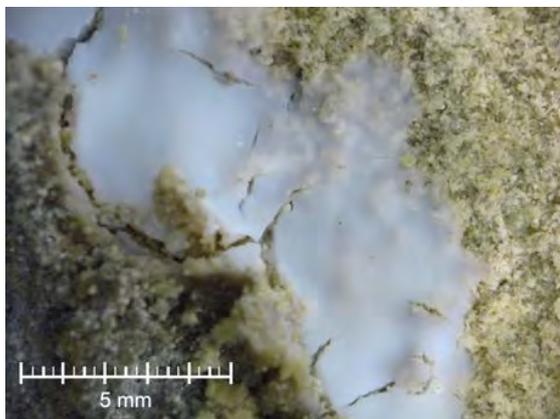
Sowohl mit CaLoSiL®E25 als auch mit CaSoPaL®plus konnten – rein haptisch beurteilt – bereits gute Ergebnisse zur Stabilisierung der sandenden Oberflächen erzielt werden. Mikroskopische Untersuchungen an den beprobten Testfeldern zeigten, dass die Eindringtiefe beider Festiger ähnlich zu bewerten ist. Mit der Anwendung von CaSoPaL®plus konnten jedoch biogene Auflagen besser reduziert werden.

Pro minimalizování rizika vzniku bílého povlaku na povrchu v důsledku konsolidace se jeví vhodné povrch následně ošetřit vodou. Současné mechanické čištění kartáči se nedoporučuje, neboť to může vést ke ztrátě hmoty kamene

Testování vhodných injektážních maltovin k vyplnění šupin a dutin

Poté, co byla na základě prvních testů zvažována konsolidace pomocí CaLoSiLu®E25 a v místech biogenního povlaku CaSoPaLu®plus, nabízelo se také odzkoušení injektážních maltovin na stejné bázi (hydroxidu vápenatého).

Předběžné testy provedené během průzkumu náhrobku již ukázaly, že použití čisté komerční injektážní maltoviny CaLoXiL® vede k enormní tvorbě trhlin způsobené smrštěním při jejím schnutí. Pro zlepšení vlastností maltoviny byly použity přísady – moučky z různých hornin a také prostředek CaLoXiL® mikro. Směsi materiálů uvedených v následující tabulce byly odzkoušeny.



In Hinblick auf eine eventuell notwendige Nachbehandlung zur Minimierung der Weißschleierbildung scheint eine Behandlung mit H₂O sinnvoll – dies jedoch nicht mit einer gleichzeitigen mechanischen Nachreinigung mittels Bürsten, da es hier zu Substanzverlust kommen kann.

Versuche zur Herstellung geeigneter Injektionsmörtel für die Hinterfüllung von Schalen und Schollen

Nachdem eine Festigung mittels CaLoSiL®E25 als auch mit CaSoPaL®plus bei biogenen Auflagen auf Grund der Vorversuche in Frage kam, lag es nahe, Injektionsmörtel auf derselben Basis (Calciumhydroxid) zu testen.

Vorversuche während der Bestandsaufnahme des Grabsteines zeigten bereits, dass eine Anwendung des Fertigproduktes CaLoXiL® Injektionsmörtel pur zu enormen Schrumpf- und Flankenrissen führen. Infolgedessen wurden verschiedene Gesteinsmehle sowie CaLoXiL® mikro zur Verbesserung der Fließfähigkeit zugesetzt. Im Einzelnen wurden die in der folgenden Tabelle angeführten Materialmischungen getestet.

← CaLoXiL® injektážní maltovina bez přidání plniv s kontrakčními trhlinami po vytvrdnutí

← CaLoXiL® Injektionsmörtel ohne Zuschlagsstoffe mit Schrumpfrissen

↓ Receptury injektážních směsí

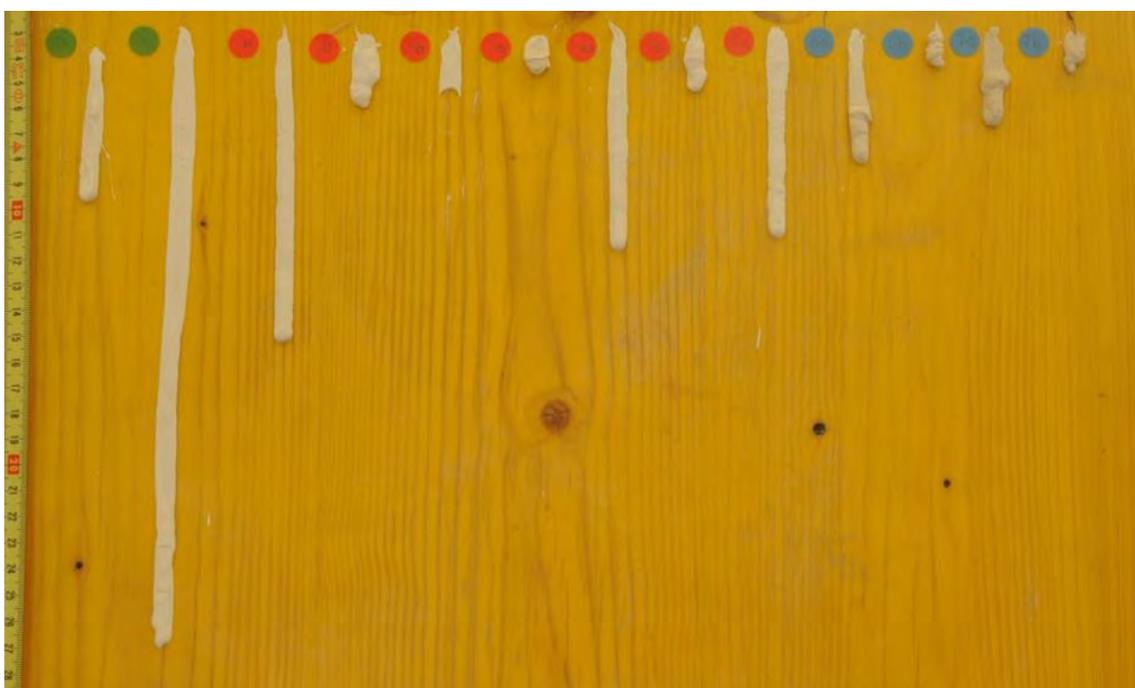
Injektážní maltovina		Plnivo	Příměs CaLoSiLu® mikro	Poměr mísení
1a	CaLoXiL®	-	-	1:0:0
1b	CaLoXiL®	-	+	1:0:1
2a	CaLoXiL®	Carrara (125 - 250 µm)	+	1:1:1
2b	CaLoXiL®	Carrara (125 - 250 µm)	+	1:2:1
3a	CaLoXiL®	Krems (200 µm)	+	1:1:1
3b	CaLoXiL®	Krems (200 µm)	+	1:2:1
4a	CaLoXiL®	Carrara (0 - 0,6 mm)	+	1:1:1
4b	CaLoXiL®	Carrara (0 - 0,6 mm)	+	1:2:1
5a	CaLoXiL®	Sölker (0 - 1 mm)	+	1:1:1
5b	CaLoXiL®	Sölker (0 - 1 mm)	+	1:2:1
6a	CaLoXiL®	St. Margarethen bílý (< 125 µm)	+	1:1:1
6b	CaLoXiL®	St. Margarethen bílý (< 125 µm)	+	1:2:1
7a	CaLoXiL®	St. Margarethen žlutý (0 - 0,5 mm)	+	1:1:1
7b	CaLoXiL®	St. Margarethen žlutý (0 - 0,5 mm)	+	1:2:1

↓ Rezepturen für Injektionsmassen

Injektionsmasse		Füllstoff	Zusatz von CaLoSiL® mikro	Mischungsverhältnis
1a	CaLoXiL®	-	-	1:0:0
1b	CaLoXiL®	-	+	1:0:1
2a	CaLoXiL®	Carrara (125 - 250 µm)	+	1:1:1
2b	CaLoXiL®	Carrara (125 - 250 µm)	+	1:2:1
3a	CaLoXiL®	Kremser (200 µm)	+	1:1:1
3b	CaLoXiL®	Kremser (200 µm)	+	1:2:1
4a	CaLoXiL®	Carrara (0 - 0,6 mm)	+	1:1:1
4b	CaLoXiL®	Carrara (0 - 0,6 mm)	+	1:2:1
5a	CaLoXiL®	Sölker (0 - 1 mm)	+	1:1:1
5b	CaLoXiL®	Sölker (0 - 1 mm)	+	1:2:1
6a	CaLoXiL®	St. Margarethener Weiß (< 125 µm)	+	1:1:1
6b	CaLoXiL®	St. Margarethener Weiß (< 125 µm)	+	1:2:1
7a	CaLoXiL®	St. Margarethener Gelb (0 - 0,5 mm)	+	1:1:1
7b	CaLoXiL®	St. Margarethener Gelb (0 - 0,5 mm)	+	1:2:1

Aby bylo možné testovat chování materiálů v tekutém stavu a při schnutí, byly jednotlivé maltoviny nanесeny injekční stříkačkou na šikmo postavenou natřenou dřevěnou desku („Doka“ deska – komerční označení typu desky). V průběhu testu bylo pozorováno, do jaké míry byla maltovina schopná procházet jehlou, jak daleko maltovina dotekla a jak rychle probíhalo její zasychání. Po zaschnutí bylo vyhodnoceno i smrštění jednotlivých maltovin.

Um das Fließ- und Schrumpfverhalten der verschiedenen Mörtelrezepturen testen zu können, wurden die jeweiligen Massen mittels Injektionsnadel auf eine schräg gestellte, beschichtete Holzplatte („Doka-Platte“) aufgebracht. Beobachtet wurde, inwiefern die Masse durch die Nadel penetrieren kann, wie weit ihre Fließfähigkeit reicht und wie schnell sich deren Austrocknung gestaltet. Nach der Austrocknung konnte das Schrumpfverhalten der verschiedenen Injektionsmörtel beurteilt werden.



1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	6a	6b	7a	7b
Bez plniva		Plnivo: mramorová moučka							Plnivo: písek St. Margarethen			

↑ „Doka“ deska s injektážními maltovinami (Foto: S. Langer)

↑ Doka-Platte mit Injektionsmörteln (Foto: S. Langer)

Výsledky zkoušek injektážních maltovin
na bázi nanovápna

Směsi s vysokým podílem plniva St. Margarethen (poměr 1:2:1 = receptury 6b a 7b) byly vyloučeny, protože tyto maltoviny nebylo možné nanášet injekční stříkačkou, což je nezbytné.

Celkově vykazovaly lepší výsledky maltoviny s příměsí mramorové moučky než ty s pískem St. Margarethen.

Nejlepší vlastnosti vykazovaly překvapivě injektážní maltoviny s vysokým podílem mramorové moučky (2b): ani při zachování vysoké tekutosti se v nich při vysychání netvořily trhliny a proto je možné je používat i k vyplňování větších šupin a dutin.

Pro jemné trhliny se jako nejvhodnější jevila maltovina 1b (naředěná, ale bez plniva) z důvodu své vysoké tekutosti. Vykazovala sice tvorbu slabých kontrakčních trhlin, ale to by při dalším ošetření (konsolidaci) nemělo představovat problém.

Resultate der Zubereitung geeigneter
Injektionsmörtel auf Basis von Nanokalk

Mischungen mit einem hohen St. Margarethener Füllstoffanteil (Verhältnis 1:2:1 = Rezepturen 6b und 7b) konnten ausgeschlossen werden, da diese Mörtel mittels notwendiger Spritze nicht handhabbar waren.

Prinzipiell zeigten die Massen mit Zuschlagstoff Marmorsand bessere Ergebnisse als jene mit St. Margarethener Sand.

Interessanterweise wies hier die Injektionsmasse mit hohem Anteil an Marmorsand (2b) die besten Eigenschaften auf: sie bildete keine Schwundrisse bei einer hohen Fließfähigkeit und sollte deshalb bei der Hinterfüllung größerer Schalen und Hohlräume zur Anwendung kommen.

Für feine Risse zeigte sich Injektionsmasse 1b (verdünnt, aber ohne Füllstoff) auf Grund ihrer hohen Fließfähigkeit als am geeignetsten. Sie wies zwar leichte Schwundrisse auf, dies sollte jedoch bei einer Weiterbehandlung (Festigung) unproblematisch sein.

LABORATORNÍ VÝZKUM POVRCHOVÝCH OCHRANNÝCH VÁPENNÝCH NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ PRO ARCHITEKTONICKÉ PRVKY Z VÁPENCE

V oblasti péče o sochařské a architektonické památky z vápenců se koncepce povrchové úpravy kamene v České republice a v Rakousku dlouho v určitých ohledech lišila. V Rakousku je dodnes udržován zvyk chránit povrch těchto památek před účinky povětrnosti jejich natíráním vápennými barvami. Jako příklad můžeme uvést povrchové úpravy sochařské výzdoby na atice vídeňské požární hlásky (Hauptfeuerwache Am Hof), na atice Uměleckohistorického muzea ve Vídni, nebo povrchovou úpravu Mariánského sloupu v Hainburgu nad Dunajem.



LABORUNTERSUCHUNG ZU KALKANSTRICHEN UND - SCHLÄMMEN FÜR ARCHITECTURELEMENTE AUS KALKSTEIN

Bei skulpturalen und architektonischen Denkmälern aus Kalkstein war die Pflegestrategie für Steinoberflächen in der Tschechischen Republik und Österreich lange Zeit in gewissen Bereichen unterschiedlich. In Österreich hat sich in den letzten Jahrzehnten die Praxis durchgesetzt, Denkmaloberflächen aus Kalkstein durch Schlämmen mit Kalk vor Witterungseinflüssen zu schützen. Als Beispiel können die Oberflächenbehandlungen der skulpturalen Zierelemente auf der Attika der Wiener Hauptfeuerwache Am Hof, auf der Attika des Kunsthistorischen Museums in Wien oder die Oberflächenbehandlung der Mariensäule in Hainburg an der Donau genannt werden.

← Wiener
Hauptfeuerwache Am
Hof – sochařská
výzdoba z 1. pol. 18.
stol. na atice budovy
← Wiener
Hauptfeuerwache Am
Hof – figurale
Dekoration an der
Attika, 1. Hälfte 18.
Jahrhundert



↑ Kunsthistorisches Museum, Wien – sochařská výzdoba z 19. stol.

↑ Kunsthistorisches Museum, Wien – Skulpturenschmuck, 19. Jahrhundert



↑ Mariensäule Hainburg an der Donau - barokní sochařská výzdoba

↑ Mariensäule Hainburg an der Donau - barocken Skulpturenschmuck

V Čechách byl tento přístup narušen v 19. století purismem, který upřednostňoval v oblasti péče o památky nenatřený povrch kamenných sochařských a architektonických prvků. V posledních desetiletích se v památkové péči úprava povrchu kamene nanášením ochranných nátěrových systémů začíná z různých důvodů znovu prosazovat i v České republice. Nejčastěji se uplatňuje povrchová ochrana pomocí vápenných nátěrů uměleckých a umělecko-řemeslných děl z vápence na Vysočině, v Jihomoravském a v Jihočeském kraji, které přímo sousedí se severními spolkovými zeměmi Rakouska. V těchto regionech se vyskytuje i větší zastoupení památkových objektů z litavských vápenců v České republice.

In Böhmen wurde dieses Konzept im 19. Jahrhundert vom Purismus unterbrochen, welcher im Denkmalpflegebereich unbehandelte Oberflächen bei Steinskulpturen und Architekturelemente bevorzugte. In den letzten Jahrzehnten beginnt sich in der Denkmalpflege die Behandlung von Steinoberflächen durch den Auftrag von Schlämmen aus unterschiedlichen Gründen auch in der Tschechischen Republik erneut durchzusetzen. Am häufigsten wird dieser Oberflächenschutz mit Hilfe von Kalkanstrichen der künstlerischen und kunsthandwerklichen Werke aus Kalkstein in den Regionen Vysočina (Hochland), Südmähren und Südböhmen eingesetzt, welche direkt mit den nördlichen Bundesländern Österreichs benachbart sind. In den Regionen gibt es eine größere Anzahl von Denkmalobjekten aus porösen Kalksteinen in der Tschechischen Republik.

Určité negativum při používání vápenných nátěrů pro povrchovou ochranu vápenců je jejich omezená přídržnost k málo pórovitým a nenasákavým typům vápenců s kompaktním povrchem. Problematická je také odolnost vápenných nátěrů vůči povětrnostním vlivům, zejména v podmínkách ovzduší znečištěného sloučeninami síry a dusíku. Laboratorní výzkum se proto zaměřil na využití konzervačních prostředků na bázi disperzí nanočástic vápna v alkoholu, tzv. vápenných nanomateriálů, pro konzervační postupy, které by mohly zlepšit trvanlivost a odolnost ochranného vápenného nátěru chránícího povrch kamenných památek z vápence.

Vápenné nanomateriály byly v rámci popisovaného experimentu použity buď pro funkci tzv. primeru (vrstva nanovápenného prostředku nanosená před aplikací standardního vápenného nátěru za účelem zlepšení jeho přídržnosti) nebo pro funkci tzv. fixativu (vrstva nanovápenného prostředku nanosená na standardní vápenný nátěr za účelem jeho zpevnění). Cílem studie bylo zjistit vliv různých prostředků a různých kombinací primeru, standardního vápenného nátěru a fixativu na trvanlivost celého souvrství.

Ein gewisses Negativum beim Einsatz von Kalkanstrichen und -schlämmen für die Oberflächenbehandlung von Kalksteinen ist deren eingeschränkte Adhäsion zu weniger porösen und gering saugfähigen Kalksteintypen mit kompakter Oberfläche. Problematisch ist auch die Witterungsbeständigkeit der Kalkanstriche, vor allem durch Einfluss von Schwefel- und Stickstoffhaltigen Schadstoffen belasteter Luft. Eine systematische Laboruntersuchung hat deshalb den Einsatz von Konservierungsmitteln auf Basis von Calciumhydroxid-nanosuspensionen in Alkohol, sog. Kalknanomaterialien für Konservierungsmassnahmen getestet, die die Haltbarkeit und Beständigkeit von Kalkschutzanstrichen verbessern könnten.

Die Kalknanomaterialien wurden im Rahmen des beschriebenen Experiments entweder für eine Funktion von sog. Primer (einer primären Schicht der Nanokalksuspension, die vor der Auftrag eines Standard-Kalkanstrichs zwecks Verbesserung der Haftung aufgetragen wurde) oder des sog. Fixativs (der Schicht der Nanokalksuspension, die nach dem Auftrag eines Standard-Kalkanstrichs zwecks dessen Festigung aufgetragen wurde) geprüft. Ziel der Studie war es, die Effekte verschiedener Mittel und Kombinationen des Primers, des Standard-Kalkanstrichs und des Fixativs für die Haltbarkeit des gesamten Malschichtpakets zu ermitteln.

Vzhledem k absenci laboratorních výzkumů zabývajících se danou problematikou a nedostatečnému zastoupení zkušebních norem v oblasti testování vápenných nátěrů byly pro hodnocení využity částečně upravené metody vycházející ze stávajících norem v oblasti testování organických nátěrů a metodiky navržené pracovištěm ÚTAM AV ČR, v. v. i. / CET Telč ve spolupráci s FR UPCE [32, 33].

Jako substrát, tj. podklad pro nanášení testovaných nátěrových systémů, byl zvolen litavský vápenec z lomu Loretto. Byl připraven soubor zkušebních těles z této horniny, a protože se jednalo o přírodní materiál, bylo nutné očekávat určité odchylky ve fyzikálních vlastnostech připravených zkušebních těles. Přídržnost nátěrových úprav i jejich životnost úzce souvisí s pórovitostí a nasákavostí podkladního materiálu, proto byly u zkušebních tělísek, která se navzájem zmíněnými vlastnostmi lišila, tyto parametry stanoveny a následně zohledněny při vyhodnocení odolnosti naneseného nátěrového systému.

³² Navrátilová, M., et al. *Modification of protective lime coating systems for the porous limestone using lime nanomaterials: assessment of mechanical properties and ageing resistance*, 2015.

Angesichts fehlender Laboruntersuchungen, die sich mit dieser Problematik befassen und auch unzureichender Prüfnormen im Bereich des Testens von Kalkanstrichen wurden partiell modifizierte Methoden angewendet, die sich an bestehende Normen im Bereich des Testens von organischen Anstrichen anlehnen, sowie Methoden die von der Dienststelle des ITAM AS CR, v. v. i. (Institut für theoretische und angewandte Mechanik der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik)/ CET Telč in Zusammenarbeit mit FR UPCE genutzt werden [32, 33].

Als Substrat, d.h. als Untergrund für den Auftrag der getesteten Malschichtpakete, wurde ein Leithakalk aus dem Bruch Loretto gewählt. Es wurde eine Testreihe von Prüfkörpern aus diesem Gestein vorbereitet, und da es sich um ein natürliches Material handelte, waren gewisse Abweichungen bei den physikalischen Eigenschaften der vorbereiteten Prüfkörper zu erwarten. Die Haftung der Anstriche sowie deren Beständigkeit hängen eng mit der Porosität und Saugfähigkeit des Untergrundmaterials zusammen. Deshalb wurden an den Prüfteilen diese Parameter bestimmt und anschließend bei der Auswertung der Beständigkeit des aufgetragenen Malschichtpakets berücksichtigt.

³³ NAVRÁTILOVÁ, M. et al. *Modifikace ochranných vápenných nátěrových systémů pro porézní vápenec pomocí vápenných nanomateriálů*, 2014.

Standardní vápenný nátěr byl připraven z vápenné kaše Dullinger Kalk z hašeného bílého vzdušného vápna. Vápenné nanomateriály pro funkci primeru a fixativu byly vybrány z produktové řady IBZ Freiberg (Německo). Pro primární adhezní vrstvu, tj. primer, byly zkoušeny prostředky CaLoSiL® E50 (50 g (CaOH)₂/l) a CaLoXiL® Lime Glaze (120 g (CaOH)₂/l). Pro finální vrstvu, tj. fixativ, byl zkoušen prostředek CaLoSiL® E25 (25 g (CaOH)₂/l).

Der Standardkalkanstrich wurde von Sumpfkalk aus der Produktion der Dullinger Kalk (Österreich) zubereitet. Kalk-Nanomaterialien wurden für die Funktion des Primers und Fixativs aus der Produktreihe der Fa. IBZ Freiberg (Deutschland) ausgewählt. Für die primäre adhäsive Schicht, d.h. Primer, wurden die Mittel CaLoSiL® E50 (50 g (CaOH)₂/l) und CaLoXiL® Lime Glaze (120 g (CaOH)₂/l) getestet. Für die abschliessende Schicht, d.h. das Fixativ, wurde das Mittel CaLoSiL® E25 (25 g (CaOH)₂/l) getestet.

↓ [Nehomogenita litavského vápence z lokality Loretto](#)

↓ Geringe Homogenität des Kalksteins Loretto

Vysoce porézní Vysoce nasákavé Hochporös Hohe Wasseraufnahme	Středně porézní Středně nasákavé Mittlere Porosität Mittlere Wasseraufnahme	Málo porézní Málo nasákavé Na povrchu kompaktní Niedrige Porosität Niedrige Wasseraufnahme Kompakte Oberfläche
Otevřená pórovitost vodě 20-28 % Offene Porosität 20–28 %	Otevřená pórovitost vodě 10-20 % Offene Porosität 10–20 %	Otevřená pórovitost vodě 4-10 % Offene Porosität 4–10 %
Nasákavost 10-17,5 % Wasseraufnahme 10–17,5 %	Nasákavost 5-10 % Wasseraufnahme 5–10 %	Nasákavost 1,5-5% Wasseraufnahme 1,5–5 %
		
		

Zkušební tělesa

Kámen byl rozřezán na testovací tělesa o rozměrech 5 x 5 x 1,5 cm a 8 x 8 x 2 cm. Jednotlivá tělesa vykazovala různou míru heterogenity a lišila se fyzikálními vlastnostmi. Rozdílné parametry pórovitosti jsou uvedeny na příkladu v tabulce na předcházející stránce.

Nátěrový systém - popis

Nejprve byl na substrát (zkušební tělesa z vápence) nanesen tzv. primer. Prostředek CaLoSiL® E50 byl aplikován ve třech cyklech injekční stříkačkou vždy po částečném zavadnutí předchozí vrstvy. Průměrná celková spotřeba činila 1,2 l/m². Před následnou aplikací druhého cyklu vrstva zasychala 24 hodin.

CaLoXiL® Lime glaze byl aplikován injekční stříkačkou a následným rozprostřením skleněnou tyčinkou. Průměrná celková spotřeba činila 0,2 l/m². Před následnou aplikací standardního vápenného nátěru vrstva nanovápenného materiálu zasychala po dobu 48 hodin.

Vápenná kaše (od firmy Dullinger Kalk) byla pro přípravu a aplikaci standardního vápenného nátěru smíchána s vodou v hmotnostním poměru 1 : 3 a dokonale promíchána.

Před aplikací vápenného nátěru bylo zkušební tělísko předvlhčeno vodou pomocí injekční stříkačky, a to ve dvou cyklech. Poprvé 30 - 60 minut před

Prüfkörper

Von größeren Blocken des Loretto-kalksteins wurden Prüfkörper mit folgenden Massen 5 x 5 x 1,5 cm und 8 x 8 x 2 cm zugeschnitten. Die einzelnen Körper wiesen ein bestimmtes Maß an Heterogenität auf und unterschieden sich in ihren physikalischen Eigenschaften. Die unterschiedlichen Parameter sind in der Tabelle auf der vorherige Seite ersichtlich.

Malschichtpaket - Beschreibung

Zunächst wurde auf das Substrat (Prüfkörper aus Kalkstein) der sogenannte Primer aufgetragen. CaLoSiL® E50 wurde in drei Zyklen mit einer Injektionsspritze immer nach teilweiser Abbindung der vorherigen Schicht aufgetragen. Der durchschnittliche Gesamtverbrauch betrug 1,2 l/m². Vor der nachfolgenden Anwendung des zweiten Zyklus trockneten die Schichten 24 Stunden.

CaLoXiL® Lime Glaze wurde mit einer Injektionsspritze und anschließend mit einem Glasstäbchen aufgetragen. Der durchschnittliche Gesamtverbrauch betrug 0,2 l/m². Vor der anschließenden Anwendung des Standard-Kalkanstrichs ließ man die Schichten des Nanokalkes 48 Stunden trocknen.

Der Sumfkalk Dullinger Kalk wurde zur Vorbereitung und Anwendung des Standard-Kalkanstrichs mit Wasser im Verhältnis 1 : 3 gemischt und sorgfältig durchgerührt.

Vor dem Auftragen des Kalkanstrichs wurden die Prüfkörper mit Wasser mit Hilfe einer Injektionsspritze in zwei Zyklen vorgeätzt. Zunächst 30 - 60 Minuten vor dem Anstrich und das zweitemal

nátěrem, podruhé bezprostředně před nátěrem, vždy v množství cca 1 l/m². Následně bylo na povrch tělíska aplikováno vždy stejné množství vápenného nátěru, který byl rozetřen štětcem. Průměrné celkové množství vápenného nátěru bylo 0,2 l/m².

Před aplikací fixativu vrstva zasychala a zrála po dobu cca. 6 dnů.

Jako finální vrstva - fixativ - byl nanesen prostředek CaLoSiL® E25, a to injekční stříkačkou. Cílem této úpravy bylo závěrečné zpevnění povrchu vápenného nátěru, případně celého nátěrového souvrství. Průměrná spotřeba fixativu byla cca 0,4 l/m².

unmittelbar vor dem Anstrich, jeweils in einer Menge von ca. 1 l/m². Anschließend wurde an die Oberfläche des Prüfkörpers immer die gleiche Menge Kalkanstrich aufgetragen und mit einem Pinsel gleichmäßig verteilt. Die durchschnittliche Gesamtmenge des Kalkanstrichs betrug 0,2 l/m².

Vor dem Auftrag des Fixativs trockneten und karbonisierten die Schichten ca. 6 Tage.

Als Abschlusschicht - Fixativ – wurde das Mittel CaLoSiL® E25 mit einer Injektionsspritze aufgetragen. Das Ziel dieser Behandlung war es eine abschließende Verfestigung der Kalkanstrichoberfläche, ggf. des gesamten Malschichtpakets zu erreichen. Der durchschnittliche Verbrauch des Fixativs lag bei ca. 0,4 l/m².

↓ Informace o jednotlivých vrstvách nátěrového systému

↓ System der Schichten der Kalkanstriche mit Kalk-nanomaterialien

1. PRIMER		2. VÁPENNÝ NÁTĚR / KALKANSTRICH	3. FIXATIV
CaLoSiL® E50	CaLoXiL® Lime Glaze	Vápenná kaše z bílého vzdušného vápna Kalkbrei aus weissen Luftkalk	CaLoSiL® E25
Fa IBZ Freiberg, GE	Fa IBZ Freiberg, GE	Fa Dullinger Kalk, AT	Fa IBZ Freiberg, GE
Koncentrace / Konzentración: 50 g Ca(OH) ₂ / l	Koncentrace / Konzentración: 120 g Ca(OH) ₂ / l	Koncentrace / Konzentración: 400–600 g Ca(OH) ₂ / l	Koncentrace / Konzentración: 25 g Ca(OH) ₂ / l
Produkt v původní koncentraci Originales Produkt	Produkt v původní koncentraci Originales Produkt	Vápno : voda - 3 : 1 hm. % Kalk : Wasser - 3 : 1 Gew.T.	Produkt v původní koncentraci Originales Produkt
Aplikace na / Auftrag auf 5 × 5 cm: 3 x 1 ml = 3 ml	Aplikace na / Auftrag auf 5 × 5 cm: 0,5 ml	Aplikace na / Auftrag auf 5 × 5 cm: 0,5 ml	Aplikace na / Auftrag auf 5 × 5 cm: 1 ml
Spotřeba / Verbrauch cca 0,1 l/m ²	Spotřeba / Verbrauch cca 0,1 l/m ²	Spotřeba / Verbrauch cca 0,1 l/m ²	Spotřeba / Verbrauch cca 0,2 l/m ²
Aplikace napuštěním injekční stříkačkou Auftrag durch Tränkung	Aplikace nátěrem Auftrag durch Anstrich	Aplikace nátěrem Auftrag durch Anstrich	Aplikace napuštěním injekční stříkačkou Auftrag durch Tränkung
			

↓ Přehled zkoušených nátěrových systémů

↓ Übersicht der getesteten Malschichtpakete

1. Vápenný nátěr	1. Kalkanstrich	
1. Vápenný nátěr 2. Fixativ CaLoSiL® E25	1. Kalkanstrich 2. Fixativ CaLoSiL® E25	
1. Primer CaLoXiL® Lime Glaze 2. Vápenný nátěr	1. Primer CaLoXiL® Lime Glaze 2. Kalkanstrich	
1. Primer CaLoSiL® E50 2. Primer CaLoXiL® Lime Glaze 3. Vápenný nátěr	1. Primer CaLoSiL® E50 2. Primer CaLoXiL® Lime Glaze 3. Kalkanstrich	
1. Primer CaLoXiL® Lime Glaze 2. Vápenný nátěr 3. Fixativ CaLoSiL® E25	1. Primer CaLoXiL® Lime Glaze 2. Kalkanstrich 3. Fixativ CaLoSiL® E25	
1. Primer CaLoSiL® E50 2. Primer CaLoXiL® Lime Glaze 3. Vápený nátěr 4. Fixativ CaLoSiL® E25	1. Primer CaLoSiL® E50 2. Primer CaLoXiL® Lime Glaze 3. Kalkanstrich 4. Fixativ CaLoSiL® E25	

Metody zkoušení a výsledky

Tělesa byla rozdělena do sad, na kterých byly provedeny jednotlivé laboratorní zkoušky. Cílem bylo vybrat nejvhodnější úpravu vápenného nátěru z hlediska přídržnosti k podkladu, odolnosti vůči mechanickému poškození, klimatickým změnám a zrychlenému stárnutí. Provedené zkoušky jsou uvedeny v následující tabulce.

Prüfmethoden und Ergebnisse

Die Prüfkörper wurden in Gruppen aufgeteilt, an denen die einzelnen Laborprüfungen erfolgt sind. Das Ziel war eine optimale Kombination des Kalkanstrichsystems in Bezug auf seine Haftung, Beständigkeit gegenüber mechanischer Belastung, klimatischen Veränderungen und beschleunigter Alterung auszuwählen. Die durchgeführten Prüfungen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

↓ Zkušební metoda
↓ Prüfmethode

↓ Vlastnost materiálu
↓ Materialeigenschaft

↓ Fotografie z průběhu dané zkoušky
↓ Fotografie vom Prüfungsverlauf

Mřížková zkouška	Přídržnost systému nátěrů k podkladu kamene			
Gitterprüftest	Haftung der Malschichtpakete auf dem Steinuntergrund			
Zkouška fixáže vápenného nátěru Prüfung der Fixierung des Kalkanstrichs	Povrchová soudržnost nátěrů po fixáži Oberflächenhaftung der Anstriche nach Fixierung			
Klimatické zkoušky urychleného stárnutí	Odolnost nátěrového systému vůči cyklickým změnám teploty a relativní vlhkosti, vůči působení směsného znečištění ovzduší plyny SO ₂ a NO _x a odolnost vůči krystalizaci soli NaCl			

Klimatests der beschleunigten Alterung	Beständigkeit des Malschichtpakets gegenüber zyklischen Temperaturänderungen und relativer Feuchtigkeit, gegenüber der Wirkung der gemischten Luftverschmutzung durch die Gase SO ₂ und NO _x und Beständigkeit gegenüber der Kristallisierung des Salzes	
Zkouška odolnosti proti vodě Wasserbeständigkeitstest	Odolnost nátěrů po ponoření do vody Beständigkeit der Anstriche nach dem Eintauchen in Wasser	
Kapková zkouška/ Smáčivost nátěrů vodou Tropftest/ Benetzbarkeit der Anstriche mit Wasser		
Kapková zkouška/ Odolnost kyselině chlorovodíkové Tropftest / Beständigkeit gegen Salzsäure		
Peeling test Peeling Test	Povrchová soudržnost a přídržnost nátěrů Oberflächenadhäsion und Haftung der Anstriche	

<p>Zkouška vysychavosti, nasákavosti a paropropustnosti Prüfung der Trocknung, Saugfähigkeit und Dampfdurchlässigkeit</p>	<p>Rychlost vysychání nátěru na tělískách nasákavosti vodou a propustnosti pro vodní páry Geschwindigkeit der Trocknung der Anstriche an den Körpern, der Saugfähigkeit für Wasser und der Durchlässigkeit für Wasserdampf</p>		
<p>Zkoušky aplikace fixativu na tónované vápenné nátěry Anwendungsprüfungen des Fixativs für getönte Kalkanstriche</p>	<p>Barva a vzhled tónovaných vápenných nátěrů po závěrečné fixáži Farbe und Aussehen getönter Kalkanstriche für die Abschlussfixierung</p>		
<p>Zkoušky vhodného způsobu nanášení fixačního prostředku Prüfungen der geeigneten Art des Auftragens des Fixierungsmittels</p>	<p>Tloušťka vrstvy fixativu a její rovnoměrnost při různých způsobech aplikace Schichtdicke des Fixativs und deren Gleichmäßigkeit bei verschiedenen Anwendungsarten</p>		
<p>Studium mikrostruktury povrchových vrstev Studium der Mikrostruktur der Oberflächenschichten Durch optische und elektronische Mikroskopie, Mikrofotografie mit Spezialkamera</p>	<p>Výstavba vrstev (stratigrafie) nátěrů, mikrostrukturní vlastnosti, tvar, velikost, spojitost částic Aufbau der Schichten (Stratigrafie) der Anstriche, Mikrostrukturelle Eigenschaften, Form, Größe, Verbundenheit der Teilchen</p>		
<p>Stanovení základních fyzikálních vlastností podkladu opatřeného systémem nátěrů Bestimmung grundsätzlicher physikalischer Eigenschaften des mit dem Malschichtpaket versehenen Untergrunds</p>	<p>Objemová hmotnost, otevřená pórovitost přístupná vodě, nasákavost vodou, distribuce velikosti pórů Volumengewicht; offene, für Wasser zugängliche Porosität; Wasseraufnahmefähigkeit; Verteilung der Porengröße</p>		
<p>Vizuální hodnocení v rozptýleném denním světle a razantním bočním nasvícení / Vzhled, barva Visuelle Bewertung im diffusen Tageslicht und rasanter Seitenbeleuchtung / Aussehen, Farbe</p>			

Výsledky studie lze shrnout do několika hlavních zjištění. Jednak se ukázalo, resp. potvrdilo, že přídržnost k podkladu, soudržnost nátěrových systémů a jejich odolnost vůči klimatickým vlivům je zhoršená v případě nanesení na vápence s kompaktním povrchem a nízkou nasákavostí i pórovitostí. Naopak u nasákavých vápenců s vyšší pórovitostí a hrubším povrchem byla zjištěna lepší přídržnost, odolnost a trvanlivost vápenných nátěrových systémů.

Z hlediska zlepšení přídržnosti k podkladu bylo nejlepších výsledků dosaženo u těles ošetřených nejprve primerem a poté vápenným nátěrem. Vytvoření adhezní vrstvy (pomocí primeru na bázi nanovápenného prostředku) mezi povrchem kamene a standardním vápenným nátěrem příznivě ovlivnilo přídržnost, odolnost a trvanlivost vápenného nátěru u všech zkušebních těles. Bylo také zjištěno, že primer zůstává po odpadnutí vápenného nátěru na povrchu vápence a může tedy jistým způsobem plnit funkci ochranné vrstvy podkladu (vápence) i po případném poškození vnějších vrstev nátěru; zároveň zachovává estetické působení vápenného nátěru.

Nejlepších výsledků bylo v tomto směru dosaženo s vysoce koncentrovaným nanovápenným prostředkem CaLoXiL® Lime Glaze.

Die Ergebnisse der gesamten Studie kann man in einige wesentliche Punkte und Erkenntnisse zusammenfassen. Es wurde festgestellt, dass die Haftung am Untergrund, Kohäsion der Malschichtpakete und deren Beständigkeit gegenüber Witterungseinflüssen an wenig saugfähigen, wenig porösen Kalksteinen mit kompakter Oberfläche schlechter ist als an Kalkstein mit einer saugfähigen, porösen und gröber strukturierten Oberfläche.

Hinsichtlich der Haftung am Untergrund wurden die besten Ergebnisse bei den mit Primer und Kalkanstrich behandelten Körpern erzielt. Die Bildung einer Adhäsionsschicht (mit Hilfe des Primers auf Basis einer Nanokalksuspension) zwischen Steinoberfläche und Standard-Kalkanstrich hat die Haftung, Beständigkeit und Haltbarkeit des Kalkanstrichs bei allen Probekörpern günstig beeinflusst. Es wurde weiterhin festgestellt, dass der Primer nach dem eventuellen Abplatzen des Kalkanstrichs auf der Oberfläche der Unterlage verbleibt und somit auf gewisse Weise als Schutzschicht des Substrats wirken kann; gleichzeitig bleibt dadurch die ästhetische Auswirkung des Anstrichs zum Teil erhalten.

Die besten Ergebnisse wurden mit der hochkonzentrierten Kalknanosuspension CaLoXiL® Lime Glaze erzielt.

↓ Před aplikací
nátěrového systému

↓ Vor dem
Anstrichauftrag

↓ Po aplikaci
nátěrového systému

↓ Nach dem
Anstrichauftrag

↓ Po klimatické
zkoušce a zkoušce
odolnosti vodě

↓ Nach den Klimatests
In Kombination Mit
Test Auf
Wasserbeständigkeit

Vysoce porézní, vysoce nasákavé
Hohe Porosität, Hohe Wasseraufnahme

Otevřená
pórovitost vodě 20-
28 %
Nasákavost 10-17
%

Offene Porosität
20–28 %
Wasseraufnahme
10–17,5 %



Středně porézní, středně nasákavé
Mittlere Porosität, Mittlere Wasseraufnahme

Otevřená
pórovitost vodě 10-
20 %
Nasákavost 5-10 %

Offene Porosität
10–20 %
Wasseraufnahme
5–10 %



Málo porézní, málo nasákavé, kompaktní povrch
Niedrige Porosität, Niedrige Wasseraufnahme, Kompakte Oberfläche

Otevřená
pórovitost vodě 4-
10 %
Nasákavost 1,5-5 %

Offene Porosität
4–10 %
Wasseraufnahme
1,5–5 %



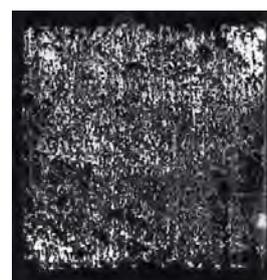
↓ Po aplikaci
nátěrového systému
↓ Nach dem Auftrag
der Kalkanstriche

↓ Po provedení
mřížkové zkoušky
↓ Nach der
Durchführung vom
Gitterprüftest

↓ Adhezní páska s
fragmenty nátěrů
↓ Klebeband mit
Anstrichfragmenten

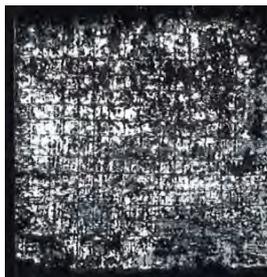
Nejlepší přídržnost
Beste Haftung

Primer
+ Vápenný nátěr
Primer
+ Kalkanstrich



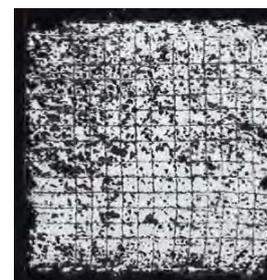
Střední přídržnost
Mittlere Haftung

Primer
+ Vápenný nátěr
+ Fixativ
Primer
+ Kalkanstrich
+ Fixativ



Nejslabší přídržnost
Schwächste Haftung

Vápenný nátěr
Kalkanstrich
Vápenný nátěr
+ Fixativ
Kalkanstrich
+ Fixativ



Důsledky aplikace fixativu CaLoSiL® E25, tedy méně koncentrovaného nanovápenného prostředku, byly spíše negativní. Nanesení fixativu způsobilo zvýšení pevnosti a současně i křehkosti celého souvrství a tím i její snazší odtržení v důsledku mechanického namáhání. Aplikaci fixativu lze na základě provedených zkoušek doporučit pouze za podmínek nanesení velmi slabého rovnoměrného postříku (např. s využitím systému Preval), kdy dojde k minimálnímu zpevnění povrchu vápenného nátěru.

Prokazatelně nejslabší přídržnost měla tělesa opatřená pouze vápenným nátěrem bez primeru. Celková tloušťka nátěrů se pohybovala mezi 150 - 250 μm . Z hlediska skladby souvrství nebyl mezi tloušťkami nátěrových vrstev pozorován žádný rozdíl.

Die Anwendung eines Fixativs CaLoSiL® E25, ist eher als negativ zu bewerten. Das Auftragen des Fixativs hatte zu Folge zwar eine Erhöhung der Festigkeit des gesamten Schichtsystems, aber zugleich auch Erhöhung seiner Sprödigkeit, und bei einer mechanischen Belastung kam es zu leichter Trennung des ganzen Malschichtpaketes. Die Anwendung des Fixativs aufgrund der erfolgten Prüfungen kann nur unter Bedingungen des Auftragens von sehr schwachem gleichmäßig aufgesprühtem Mittel (Spray Preval) empfohlen werden, wenn nur eine geringfügige Verfestigung der Oberfläche des Kalkanstrichs erfolgt.

Die nachweislich schwächste Haftung des Malschichtpaketes wurde bei Prüfkörpern festgestellt, die mit Kalkanstrich ohne Primer behandelt wurden. Die Gesamtstärke der Anstriche lag zwischen 150 - 250 μm . Bei den verschiedenen Anstrichsystemen wurden keine signifikanten Unterschiede der Malschichtpaketstärke beobachtet.

Závěr

Výzkum reaguje na aktuální požadavky České památkové péče, a to nejen v příhraničních oblastech (Vysočina, jižní Morava, jižní Čechy) sousedících se spolkovými zeměmi severního Rakouska. Práce je zvláště přínosná z důvodu absence jiných publikovaných prací na toto téma, nedostatku norem a standardů určených pro testování vápenných či obecně anorganických nátěrů.

Výsledky prokázaly zlepšení vlastností standardního vápenného nátěru připraveného z tradiční vápenné kaše v důsledku aplikace tzv. primeru, adhezní vrstvy nanesené na kámen před aplikací vápenného nátěru. Pro adhezní vrstvu tzv. primer se osvědčil nanovápenný konzervační prostředek CaLoXiL® Lime Glaze, přičemž průměrná spotřeba se pohybovala kolem 0,2 l/m².

Fazit

Die Versuchsreihe hat auf die aktuellen allgemeinen Anforderungen der Tschechischen Denkmalpflege reagiert und nicht nur an die Anforderungen in den grenznahen Regionen (Hochland Vysočina, Südmähren, Südböhmen), die mit den Bundesländern im nördlichen Österreich benachbart sind. Die Arbeit ist auch in Hinblick auf fehlende Publikationen zu diesem Thema, des Mangels an Normen und Standards für Prüfungen von Kalk- und allgemein anorganischen Anstrichen von Bedeutung.

Die Ergebnisse haben eine Verbesserung der Eigenschaften der Standard-Kalkanstriche infolge der Anwendung des sog. Primers nachgewiesen. Dieses Anstrichsystem wurde durch eine Kombination von traditionellen Sumpfkalk und einer Vorbehandlung der Kalksteinoberfläche mit einer zubereitet. Als die Adhäsionsschicht, der sog. Primer hat sich das Nanokalkmittel CaLoXiL® Lime Glaze bewährt, wobei der durchschnittliche Verbrauch bei 0,2 l/m² liegt.

LABORATORNÍ ZKOUŠKY EFEKTŮ KONSOLIDACE LITAVSKÉHO VÁPENCE PROSTŘEDKEM CALOSIL®E25

Úvod

Pro laboratorní zkoušky zaměřené na hodnocení konsolidantů obvykle nelze získat dostatečné množství „stejněomně“ erodované horniny pro provedení většího rozsahu potřebných zkoušek. Z tohoto důvodu se tyto zkoušky často provádí na uměle vyrobeném kameni, který imituje vlastnosti degradovaného kamene. Tímto způsobem byla provedena laboratorní studie efektů prostředku CaLoSil®E25 na materiálové vlastnosti uměle připraveného vápence při dvou různých podmínkách okolního prostředí během zrání ošetřeného kamene.

Charakteristiky zkušebních tělísek z umělého kamene

Zkušební tělíska byla připravena z vápencového písku (zrnitostní frakce 0-2 mm) z lokality St. Margarethen (Burgenland). Pomocí rozšíování písku frakce 0-2 mm na dílčí zrnitostní frakce byly připraveny tři různé směsné varianty písku s odlišnou zrnitostní křivkou: písek SLSM 1 obsahoval vyšší podíl hrubších frakcí; písek SLSM 2 vyšší podíl jemných frakcí a SLSM 3 střední podíl jemných frakcí.

LABORVERSUCHE ZUR FESTIGUNG VON LEITHAKALKEN DURCH CALOSIL®E25

Einleitung

Für eine vollständige Laborprüfung von Konsolidierungsmitteln ist es üblicherweise nicht möglich, eine genügende Menge von „gleichmäßig“ verwitterten Gesteinsprüfkörpern zu erhalten. Aus diesem Grund werden die Tests oft nicht an Proben aus Naturstein ausgeführt, sondern an künstlich hergestelltem Probematerial, dass die Eigenschaften von verwitterten Gestein imitiert. Auf diese Weise wurde eine Studie zur Festigung von künstlich hergestelltem Granulat aus Leithakalk mittels der Kalknanosuspension CaLoSil®E25 durchgeführt, wobei die Aushärtung des Festigers unter zwei verschiedenen Klimabedingungen vorgenommen wurde.

Charakteristik der Prüfkörper

Die Prüfkörper wurden durch Verdichten von Sand aus St. Margarethner Leithakalk (Burgenland) zubereitet. Als Ausgangsmaterial wurde ein heller Kalksteinsand mit einer Körnung von 0-2 mm verwendet. Durch Sieben wurden drei Sandmischungen mit unterschiedlicher Korngrößenverteilung hergestellt - SLSM 1 mit einem höheren Anteil an gröberen Fraktionen; SLSM 2 mit einem höheren Anteil an feinkörnigem Fraktionen und SLSM 3 mit mäßigem Anteil von feineren Fraktionen.

Písky SLSM 1 až 3 byly smíseny s vodou bez přísady jakéhokoli pojiva, podle poměrů uvedených v následující tabulce. Aby byla zajištěna homogenita a vysoká vzájemná podobnost tělísek, byla do formy o rozměrech 4 × 4 × 4 cm nadusána vždy stejná hmotnost mokré směsi.

Für den geplanten Test wurden die Prüfkörper aus den einzelnen Sanden mit Zugabe einer definierten Wassermenge durch Einstampfen in eine Form hergestellt. Um eine Homogenität und ein vergleichbares Gefüge der Prüfkörper und somit auch eine Reproduzierbarkeit ihrer Herstellung zu sichern, wurde stets eine definierte Menge der feuchten Sandmasse in eine Form mit der Dimension von 4x4x4 cm gepresst.

↓ Receptury přípravy zkušebních tělísek o rozměrech 4 × 4 × 4 cm

↓ Zusammensetzung und Menge der Sandmischungen für die Stampfprobekörper 4 × 4 × 4 cm

Složka / poměr složek Bestandteil	SLSM 1	SLSM 2	SLSM 3
Vápenkový písek Kalksteinsand	92,5 g	92,5 g	98 g
Voda Wasser	18,5 g	17,5 g	18 g
Poměr směsi písek: voda (díly hmotnosti) Sand : Wasser (Gew. Teile)	5:1	5,3:1	5,4:1
Hmotnost směsi pro přípravu jednoho tělíška 4x4x4 cm Menge der Masse für ein Prüfkörper 4x4x4 cm	110 g	110 g	115 g

Definované množství mokré písčité směsi bylo do formy aplikováno ve dvou až třech krocích. Vždy před další aplikací směsi byl povrch předešlé vrstvy upraven tak, aby se vrstvy dobře vzájemně propojily a aby nedošlo k jejich separaci. Připravená zkušební tělíška byla po vysušení před aplikací konsolidantů kondicionována v prostorách laboratoře s relativní vzdušnou vlhkostí okolo 35 %.

Die getrockneten Prüfkörper wurden anschließend in den Laborräumen von CET bei einer relativen Luftfeuchte von 35% rF gelagert.



← Příprava zkušebních tělísek dusáním do formy – závěrečné zhutnění písku speciálně připraveným nástrojem
← Stampfen der Prüfkörper



← Zkušební tělísko zhotovené z vápencového písku St. Margarethen po vyjmutí z formy a vysušení
← Prüfkörper nach Herausnehmen aus der Form und Trocknung

Aplikace konsolidantu

Pro konsolidaci byla na základě předběžných zkoušek a zkušeností z předcházejících výzkumných projektů vybrán prostředek CaLoSil® E25.

Prostředek CaLoSil® E25 byl nanášen na vodorovnou plochu zkušebních tělísek injekční stříkačkou s jehlou v 5 cyklech (5 × 20 ml konsolidantu). Každý další aplikační cyklus následoval vždy po uplynutí doby 24 h od předcházejícího. Tělíska nebyla po aplikaci konsolidantu zakrývána, ani nijak jinak zvláště ošetřována.

Auftrag des Festigungsmittels

Ausgehend aus Vorversuchen und bisherigen Erfahrungen, wurde für die Festigungsversuche eine Calciumhydroxid-Nanosuspension in Ethanol, das Produkt CaLoSil® E25 (IBZ Freiberg) gewählt.

Die Kalknanosuspension wurde jeweils auf die obere Fläche eines Prüfkörpers mit einer Injektionsspritze in 5 Zyklen (5x20 ml) aufgetragen. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Applikationen lag jeweils eine Zeitspanne von 24 Stunden, während der die Prüfkörper unbedeckt gelagert wurden.

↓ Popis použitého prostředku

↓ Wesentliche Produkteigenschaften der getesteten Nanosuspension

Název prostředku	Typ účinné látky (pojiva) v prostředku	Obsah účinné látky v prostředku udaný výrobcem [g/l]	Obsah účinné látky v prostředku stanovený gravimetricky [g/l]	Dispergační prostředí uváděné výrobcem	Průměrná velikost částic udávaná výrobcem [nm]
Bezeichnung	Wirkstoff	Wirkstoffgehalt laut Herstellerangaben [g/l]	Wirkstoffgehalt gravimetrisch [g/l]	Dispersionsmedium	Mittlerer Partikeldurchmesser laut Herstellerangaben [nm]
CaLoSil® E25	Ca(OH) ₂	25 g/l	25,03 g/l	Ethanol	150 nm

Zrání konsolidovaných tělísek

Po nanesení konsolidantu a ukončení všech impregnačních cyklů byla ošetřená tělíska umístěna do definovaných klimatických podmínek v klimatické komoře. Jedna část vzorků byla kondicionována při T=20 °C a RV=35 % a druhá část vzorků při T=20 °C a RV=70 %. Doba zrání byla 14 resp. 28 dní.

Lagerung der behandelten Prüfkörper

Nach dem Auftrag des Festigers wurden die behandelten Prüfkörper unter definierten Klimabedingungen gelagert – ein Teil der Proben bei T=20 °C und rF=35 % und der andere Teil bei T=20 °C und rF=70 %. Die Reaktionszeit betrug 14 bzw. 28 Tage festgelegt.

↓ Provedené zkoušky a použité metody

↓ Prüfmethode

Zkouška	Prüfmethode
Stanovení objemové hmotnosti	Bestimmung der Dichte
Stanovení nasákavosti a otevřené pórovitosti ponorem. Vzhledem k tomu, že se zkušební tělíska ve vodě rozplavovala, byla měřena nasákavost 1-propanolem.	Bestimmung von Wasseraufnahme und offener Porosität. Wegen der Instabilität der Prüfkörper im Wasser wurden diese Messungen mit 1-Propanol anstelle von Wasser durchgeführt.
Stanovení součinitele nasákavosti kapilárním vztlínáním. Vzhledem k tomu, že se zkušební tělíska ve vodě rozplavovala, byla měřena nasákavost 1-propanolem.	Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme Wegen der Instabilität der Prüfkörper im Wasser wurden diese Messungen mit 1-Propanol anstelle von Wasser durchgeführt.
Změna hmotnosti materiálu v důsledku karbonatace vneseného konsolidantu - hydroxidu vápenatého.	Bestimmung der Festigermenge und des Karbonatisierungsverlaufes - gravimetrisch Die Gesamtmenge an eingebrachtem Festiger wurde nach der Aushärtung gravimetrisch bestimmt. Mit gleicher Methode wurde auch der Karbonatisierungsverlauf verfolgt (Zunahme des Gewichtes bei definierten Bedingungen als Folge der Umwandlung von Calciumhydroxid zu Calciumkarbonat).
Stanovení pórovitosti a velikosti pórů rtuťovou porozimetrií. Zastoupení velikosti pórů v rozmezí 3nm až 300 μm.	Bestimmung der Porengrößenverteilung durch Quecksilberporosimetrie. Anteil von Porengrößen zwischen 3 nm bis 300 μm.
Stanovení rychlosti šíření ultrazvuku (longitudálního vlnění tzv. p-vln). Rychlost šíření UZ obvykle dobře koreluje s mechanickými vlastnostmi daného materiálu (pevnost, soudržnost).	Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit (Longitudalwelle, sog. P-Welle). Sie korreliert oft sehr gut mit den mechanischen Eigenschaften des Materials (z.B. Festigkeit, Kornbindung)
Pevnost v tlaku	Bestimmung der Druckfestigkeit
Hodnocení změn barevnosti vizuálně na základě srovnání ošetřeného a neošetřeného materiálu.	Bewertung der Farbveränderungen durch visuellen Vergleich der Prüfkörperoberfläche vor und nach der Festigung.
Popis mikrostruktury pomocí optické polarizační mikroskopie a rastrovací elektronové mikroskopie. Distribuce konsolidantu v porézním systému tělíska.	Studium des Korngefüges durch Licht- und Rasterelektronenmikroskopie, vor allem in Hinblick auf die Verteilung des eingebrachten Bindemittels.

Výsledky zkoušek

Všechny série dusaných tělísek měly velmi vysokou pórovitost a podobnou distribuci velikosti pórů s převahou hrubších pórů s průměrem nad 10 μm. Částečně jsou ve všech typech vzorků zastoupeny i menší póry s průměrem 0,1 – 1 μm. Svojí vysokou pórovitostí i velikostí pórů se pórovitost tělísek velmi blíží pórovitosti silně degradovaných litavských vápenců.

Prüfgergebnisse

Zusammenfassend kann man feststellen, dass alle Typen der Prüfkörper eine sehr hohe Porosität besitzen. Die Porengrößenverteilung ist sehr ähnlich, wobei den höchsten Anteil Poren mit einem Durchmesser grösser als 10 μm bilden. Tlw. sind auch Poren mit einem Durchmesser von 0,1 bis 1 μm vertreten. Die hohe Porosität und Porengrößenverteilung kommt den verwitterten porösen Leithakalken sehr nahe.

↓ Fyzikální vlastnosti (průměrné hodnoty) tělísek před a po konsolidaci CaLoSiLem®E25

↓ Durchschnittliche Materialkennwerte der Prüfkörper – vor und nach der Festigung

Stav tělíska	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Nasákavost 1-propanolem [hm. %]	Otevřená pórovitost [obj. %]	Součinitel nasákavosti kapilárním vztlínáním 1-propanolu $W [kg \times m^{-2} \times h^{-0,5}]$
Probe	Dichte [kg/m ³]	Flüssigkeitsaufnahme bestimmt mit 1-Propanol [Gew. %]	Offene Porosität [Vol. %]	Flüssigkeitsaufnahme-koeffizient bestimmt mit 1-Propanol $W [kg \times m^{-2} \times h^{-0,5}]$
Před konsolidací Unbehandelt	1707	26,9	38,1	13,2
Po konsolidaci Nach der Festigung	1746	23,2	31,8	14,3

↓ Průměrná změna hmotnosti tělísek po konsolidaci CaLoSilem®E25

↓ Gehalt von Festiger – durchschnittliche Menge des Festigers CaLoSil®E25 nach der Aushärtung

Označení tělíska	Změna hmotnosti tělíska po konsolidaci a po vyzrání při RV=35% / RV=70%	
	[g]	[hm. %]
Typ der Probe	Durchschnittliche Menge des eingebrachten Festigers nach Ausreaktion bei rF=35 % / rF=70 %	
	[g]	[Gew. %]
SLSM 1	3,6 / 4,0	4,0 / 4,4
SLSM 2	3,5 / 3,8	3,8 / 4,2
SLSM 3	3,5 / 3,6	3,7 / 3,8

↓ Pórovitost tělísek před konsolidací zjištěná rtuťovou porozimetrií

↓ Porosimetrie - Gesamtwerte

Označení tělísek Probe	Měrná hmotnost [g/cm ³] Rohdichte [g/cm ³]	MIP pórovitost [%] MIP Porosität [%]	Měrný povrch pórů [m ² /g] Spezifische Oberfläche [m ² /g]
SLSM1	2,52	40,39	1,68
SLSM2	2,59	44,52	1,94
SLSM3	2,81	47,02	1,82

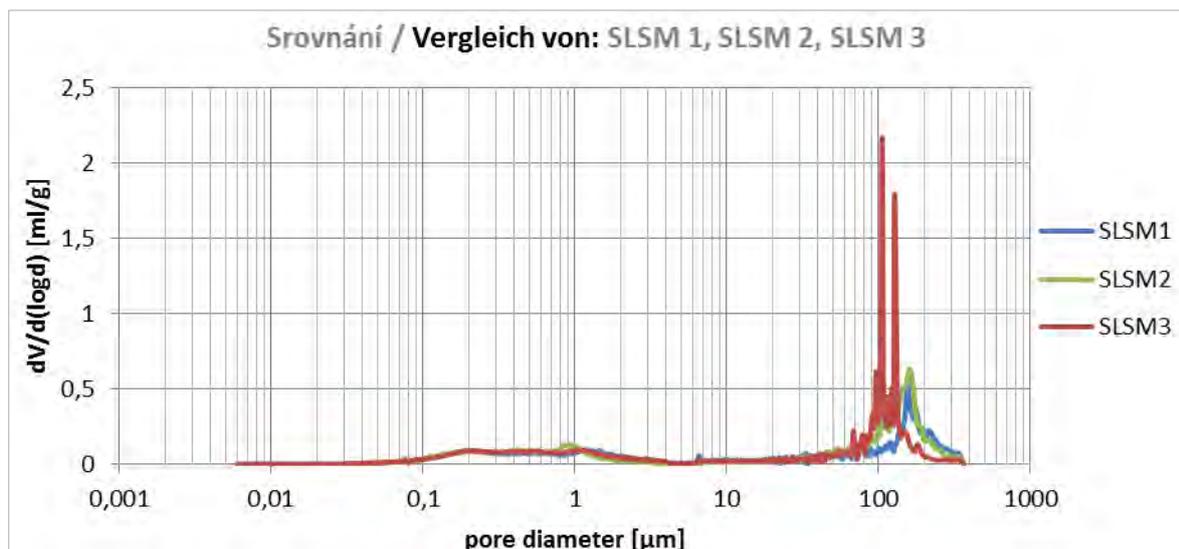
↓ Distribuce velikosti pórů před konsolidací zjištěná rtuťovou porozimetrií

↓ Porengrößenverteilung durch Quecksilberporosimetrie

Označení tělísek Probe	D [μm]					
	0,006-0,01	0,01-0,1	0,1-1	1-10	10-100	100-365
SLSM1 [%]	0	2,82	25,88	15,44	18,40	37,45
SLSM2 [%]	0,01	2,58	26,02	8,91	17,86	44,52
SLSM3 [%]	0	2,58	23,76	11,86	17,76	44,05

↓ Křivka distribuce velikosti pórů z rtuťové porozimetrie

↓ Porengrößenverteilung durch Quecksilberporosimetrie



↓ Průměrné rychlosti UZ v jednotlivých směrech pro tělíska před konsolidací (neošetřené vzorky) kondicionované při T=20°C a RV=35%

↓ : Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit der Prüfkörper vor der Festigung, gelagert bei T=20 °C und rF=35 %

Průměrná rychlost	Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit	V [km/s]
Ve směru 1	In Richtung 1 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,38
Ve směru 2	In Richtung 2 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,37
Ve směru 3	In Richtung 3 (quer zur Tränkungsoberfläche)	1,34
Celková průměrná rychlost	Gesamtdurchschnittswert	1,35

↓ Průměrné rychlosti UZ v jednotlivých směrech pro tělíska po konsolidaci kondicionované po dobu 14 dní po impregnaci při T=20 °C a RV=35 %

↓ Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit der Prüfkörper vor der Festigung, nach der Behandlung gelagert über 14 Tage bei T=20 °C und rF=35 %

Průměrná rychlost		Zvýšení ve srovnání s neošetřenými vzorky [%] Zunahme im Vergleich zu den unbehandelten Prüfkörpern [%]
Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit	V [km/s]	
Ve směru 1 In Richtung 1 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,92	39,1
Ve směru 2 In Richtung 2 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,98	44,5
Ve směru 3 In Richtung 3 (quer zur Tränkungsoberfläche)	1,93	44,0
Celková průměrná rychlost Gesamtdurchschnittswert	1,94	43,7

↓ Průměrné rychlosti UZ v jednotlivých směrech pro tělíska po konsolidaci kondicionované po dobu 28 dní po impregnaci při T=20 °C a RV=35 %

↓ Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit der Prüfkörper vor der Festigung, nach der Behandlung gelagert über 28 Tage bei T=20 °C a rF=35 %

Průměrná rychlost Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit	V [km/s]	Zvýšení ve srovnání s neošetřenými vzorky [%] Zunahme im Vergleich zu den unbehandelten Prüfkörpern [%]
Ve směru 1 In Richtung 1 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,84	33,3
Ve směru 2 In Richtung 2 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,94	41,6
Ve směru 3 In Richtung 3 (quer zur Tränkungsoberfläche)	1,85	38,1
Celková průměrná rychlost Gesamtdurchschnittswert	1,88	39,3

↓ Průměrné rychlosti UZ v jednotlivých směrech pro tělíska po konsolidaci kondicionované po dobu 14 dní po impregnaci při T=20 °C a RV=70 %

↓ Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit der Prüfkörper vor der Festigung, nach der Behandlung gelagert über 14 Tage bei T=20 °C und rF=70 %

Průměrná rychlost Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit	V [km/s]	Zvýšení ve srovnání s neošetřenými vzorky [%] Zunahme im Vergleich zu den unbehandelten Prüfkörpern [%]
Ve směru 1 In Richtung 1 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,90	37,7
Ve směru 2 In Richtung 2 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,94	41,6
Ve směru 3 In Richtung 3 (quer zur Tränkungsoberfläche)	1,91	42,5
Celková průměrná rychlost Gesamtdurchschnittswert	1,92	42,2

↓ Průměrné rychlosti UZ v jednotlivých směrech pro tělíska po konsolidaci kondicionované po dobu 28 dní po impregnaci při T=20 °C a RV=70 %

↓ Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit der Prüfkörper vor der Festigung, nach der Behandlung gelagert über 28 Tage bei T=20 °C und rF=70 %

Průměrná rychlost Durchschnittliche Ultraschallgeschwindigkeit	V [km/s]	Zvýšení ve srovnání s neošetřenými vzorky [%] Zunahme im Vergleich zu den unbehandelten Prüfkörpern [%]
Ve směru 1 In Richtung 1 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,87	35,5
Ve směru 2 In Richtung 2 (parallel zur Tränkungsoberfläche)	1,89	38,0
Ve směru 3 In Richtung 3 (quer zur Tränkungsoberfläche)	1,84	37,3
Celková průměrná rychlost Gesamtdurchschnittswert	1,87	38,5

Ve všech případech došlo k výraznému zvýšení rychlosti šíření ultrazvuku (longitudálního vlnění, tzv. p-vlny) po konsolidaci. Nárůst rychlosti šíření ultrazvuku po 28 dnech se pohyboval kolem 39 %. Různé podmínky zrání vedly jen k malým rozdílům v rychlosti šíření ultrazvuku. Rychlosti UZ byly v různých směrech měření (osách krychle) podobné, což je dokladem homogenní struktury připravených tělísek. Mírné gradienty byly zaznamenány u konsolidovaných vzorků, kde lze pozorovat zvýšení rychlosti šíření ultrazvuku směrem k čelní ploše vzorku, tj. ploše přes kterou docházelo k odpařování ethanolu po nanesení CaLoSilu® E25.

Bei allen Prüfkörpern wurde eine eindeutige Erhöhung der Ultraschallgeschwindigkeit (Longitudalwelle, sog. P-Welle) bestimmt. Die durchschnittliche Zunahme der Ultraschallgeschwindigkeit nach 28 Tagen der Aushärtung liegt bei ca. 39%. Die verschiedenen Lagerungsbedingungen haben nur zu geringen Unterschieden in der Messwertzunahme geführt. Die gemessenen durchschnittlichen Ultraschallgeschwindigkeiten in einzelnen Richtungen (Achsen der Prüfkörper) sind beinahe gleich, weswegen ein ungerichtetes (Gefüge der Prüfkörper anzunehmen ist. Bei den gefestigten Prüfkörpern wurden schwache Wirkstoffgradienten in Richtung zur Auftragsfläche nachgewiesen.

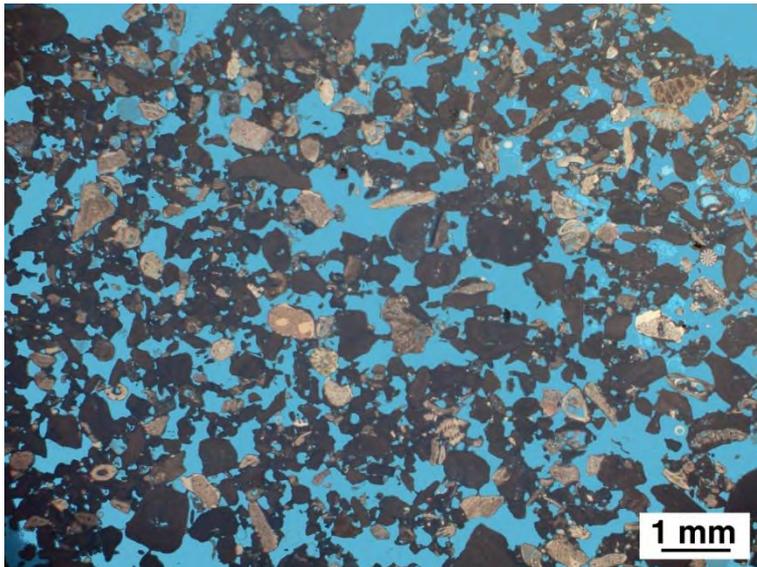
↓ Pevnosti v tlaku

↓ Ergebnisse der Druckfestigkeitsbestimmung

Označení /doba zrání/ relativní vlhkost prostředí	Typ der Probe / Lagerung	Pevnost v tlaku Durchschnittliche Druckfestigkeit [MPa]
Referenční- Neošetřený	Standard - Unbehandelt	0,04
SLSM 1 / 14 dní / RV 35 %	SLSM 1 / 14 Tage / rF 35 %	0,75
SLSM 1 / 28 dní / RV 35 %	SLSM 1 / 28 Tage / rF 35 %	0,82
SLSM 2 / 14 dní / RV 35 %	SLSM 2 / 14 Tage / rF 35 %	0,69
SLSM 2 / 28 dní / RV 35 %	SLSM 2 / 28 Tage / rF 35 %	0,73
SLSM 3 / 14 dní / RV 35 %	SLSM 3 / 14 Tage / rF 35 %	0,80
SLSM 3 / 28 dní / RV 35 %	SLSM 3 / 14 Tage / rF 35 %	0,77
SLSM 1 / 14 dní / RV 70 %	SLSM 1 / 14 Tage / rF 70 %	0,79
SLSM 1 / 28 dní / RV 70 %	SLSM 1 / 28 Tage / rF 70 %	0,85
SLSM 2 / 14 dní / RV 70 %	SLSM 2 / 14 Tage / rF 70 %	0,76
SLSM 2 / 28 dní / RV 70 %	SLSM 2 / 28 Tage / rF 70 %	0,78
SLSM 3 / 14 dní / RV 70 %	SLSM 3 / 14 Tage / rF 70 %	0,73
SLSM 3 / 28 dní / RV 70 %	SLSM 3 / 28 Tage / rF 70 %	0,72

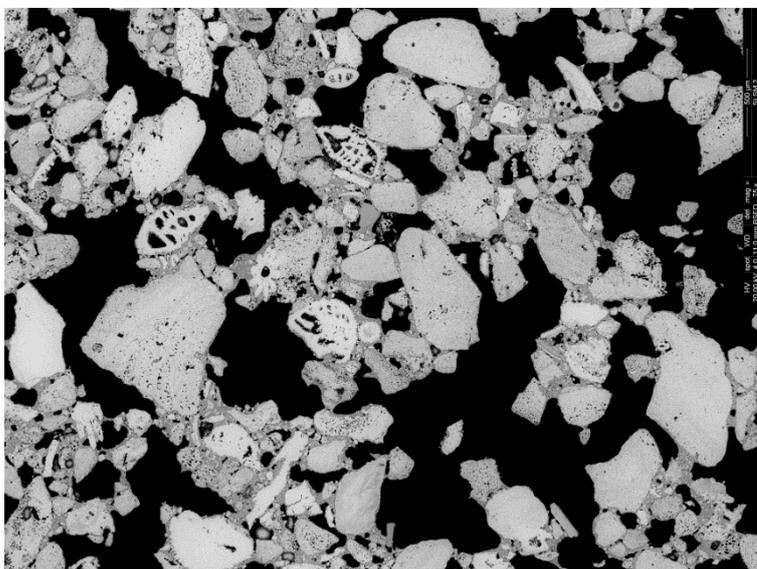
U všech tělísek byl zjištěn výrazný nárůst pevnosti v tlaku po konsolidaci. Různá relativní vlhkost vzduchu v klimatické komoře během zrání konsolidovaných tělísek se na pevnosti tělísek významně neprojevila.

Für alle Typen der Prüfkörper wurde eine deutliche Zunahme der Druckfestigkeit festgestellt. Es wurden dabei keine wesentlichen Unterschiede in Abhängigkeit vom Prüfkörpertyp oder den Lagerungsbedingungen beobachtet.



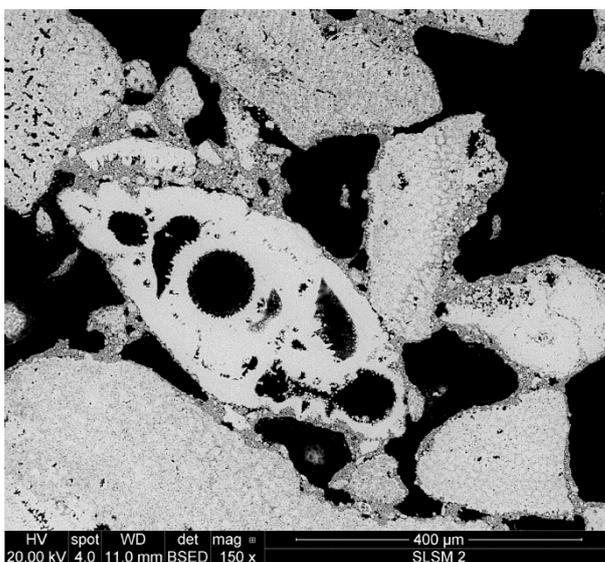
← Výbrus, optický mikroskop, dopadající světlo, bílé pozadí, struktura zkušebního tělíska před konsolidací (typ SLSM2)

← Dünnschliff, Lichtmikroskopie, Auflicht, Gefüge des Prüfkörpers (Typ SLSM2) vor der Festigung



← Výbrus, rastrovací elektronový mikroskop, režim zpětně odražených elektronů, struktura zkušebního tělíska po konsolidaci (typ SLSM 2)

← Dünnschliff, Rasterelektronenmikroskopie, BSE, Korngefüge des Prüfkörpers (Typ SLSM2) nach der Festigung



← Výbrus, rastrovací elektronový mikroskop, režim zpětně odražených elektronů, struktura zkušebního tělíska po konsolidaci (typ SLSM 2), detail

← Dünnschliff, Rasterelektronenmikroskopie, BSE, Detail des Korngefüges des Prüfkörpers (Typ SLSM2) nach der Festigung

Mikroskopické studium neošetřených tělísek prokázalo, že struktura vyrobeného umělého kamene byla velmi podobná struktuře degradovaných typů litavských vápenců, zejména vápenců pocházejících z lokality St. Margarethen. Simulace poškozeného horninového materiálu umělým kamenem byla hodnocena jako zdařilá.

Z mikroskopické analýzy (zejména pomocí rastrovací elektronové mikroskopie) konsolidovaných tělísek byla patrná distribuce konsolidantu v umělém kameni. Konsolidant se uložil na stěnách pórů a v kontaktních místech mezi zrna písku. Tím došlo k jejich vzájemnému propojení a zvýšení soudržnosti (pevnosti) materiálu. Snížení pórovitosti materiálu v důsledku konsolidace (16,5 rel. %) je vzhledem k vysoké počáteční pórovitosti materiálu akceptovatelné.

Die mikroskopische Untersuchung der unbehandelten Prüfkörper hat gezeigt, dass ihre wesentlichen Gefügeeigenschaften denjenigen von verwitterten porösen Leithalken (vor allem des Typs St. Margarethen) sehr ähnlich ist, weswegen man den eingeschlagenen Weg zur Herstellung der Testprüfkörper als erfolgreich bezeichnen kann.

Die Verteilung des neuen Bindemittels im Gefüge der Prüfkörper ist vor allem durch Rasterelektronenmikroskopie gut ersichtlich. Das durch die Behandlung von Nanokalksuspension eingebrachte neue Bindemittel (sehr feinkörniges Calciumcarbonat) wurde an den Porenwänden und in den Kontaktstellen zwischen den Sandkörnern abgelagert. Dadurch ist es zu Kornanbindung gekommen, was dann zum Aufbau einer Kornbindung im konsolidierten Material beigetragen hat. Die Porosität wurde nach der Festigung nur sehr geringfügig verringert, weshalb auch nur eine entsprechend geringe Änderung von Wasseraufnahme oder Dampfdurchlässigkeit zu erwarten ist.

SOUHRN

Kniha pojednává o různých typech litavských vápenců se zaměřením na moderní postupy konzervace soch a architektonických prvků vytesaných z těchto hornin. Jsou uvedeny nejdůležitější diagnostické metody využívané pro vyšetření materiálových vlastností kamene před plánovaným konzervačním zásahem a na čtyřech příkladech památkových objektů z litavských vápenců je dokumentován praktický postup konzervace degradovaného kamene pomocí konzervačních prostředků na bázi vápenných nanočástic. Představené konzervační postupy jsou výsledkem společného výzkumu českých a rakouských vědců a restaurátorů, kteří se zabývají metodami konzervace památkových objektů z litavských vápenců v příhraničních regionech České republiky a Rakouska.

Výzkum byl realizován v rámci projektu NANOLITH (M00264) „POUŽITÍ NANOMATERIÁLŮ PRO UDRŽITELNOU KONZERVACI HISTORICKÝCH SOCHAŘSKÝCH A ARCHITEKTONICKÝCH DĚL Z LITAVSKÝCH VÁPENCŮ“ a byl podpořen z dotačního programu "Evropská územní spolupráce Rakousko-Česká republika 2007–2013" Evropského fondu pro regionální rozvoj.

RESÜMEE

Das Buch handelt von den verschiedenen Arten der Leithakalksteine gezielt auf moderne Verfahren der Erhaltung von Skulpturen und architektonischen Elementen, die aus diesen Gesteinen hergestellt sind. Es sind die wichtigsten Diagnosemethoden vorgestellt, die zu Bestimmung der Materialeigenschaften von Gesteinen vor einer geplanten Konservierungsmassnahme angewendet werden. An vier Beispielen von Denkmälern aus Leithakalk ist die praktische Vorgehensweise der Konservierung vom verwitterten Stein durch Nutzung von Konservierungsmitteln auf Basis von Nanokalkpartikeln dokumentiert. Die vorgestellten Konservierungsverfahren sind das Ergebnis einer gemeinsamen Forschung von tschechischen und österreichischen Wissenschaftlern/-innen und Restauratoren/-innen, die sich mit den Methoden der Konservierung von Denkmalobjekten aus Leithakalken in den grenznahen Regionen der Tschechischen Republik und Österreich beschäftigen.

Die Forschung wurde im Rahmen des Projektes NANOLITH (M00264) "ANWENDUNG VON NANOMATERIALIEN ZUR NACHHALTIGEN KONSERVIERUNG VON HISTORISCHEN SKULPTUR UND ARCHITEKTUROBJEKTEN AUS LEITHAKALK" durchgeführt und wurde durch das Förderprogramm "Europäische territoriale Zusammenarbeit Österreich-Tschechische Republik 2007-2013" des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung unterstützt.

POUŽITÁ LITERATURA A PRAMENY

REFERENZEN

- [1] MÜLLER, H. W., et al. Gesteinbestand in der Bausubstanz der Westfassade und des Albertinischen Chores von St. Stephan. 1993.
- [2] ROHATSCH, A. Neogene Bau-und Dekorgesteine-charakteristische Schadensbilder und Schadensursachen. - „Junge Kalke, Sandsteine und Konglomerate – Neogen“, 2005, 77.
- [3] KIESLINGER, A. Gesteinskunde für Hochbau und Plastik. Wien: Gewerbeverlag, 1951.
- [4] STEININGER, F.; ROETZEL, R. Zogelsdorfer Kalksandsteine im nördlichen Niederösterreich, 2005, 57-76.
- [5] ROHATSCH, A.; THINSCHMIDT, A. Charakterisierung und Vorkommen historisch bedeutsamer Baugesteine im nördlichen Weinviertel–eine Auswahl. Exkursionsführer, Österreichische Geologische Gesellschaft, 1997, 17: 45-52.
- [6] Paratethys vor 17-13 Mio Jahren“ mapy: NordNordWest, Lizenz: Creative Commons by-sa-3.0 de. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 de über Wikimedia Commons – http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paratethys_vor_17-13_Mio_Jahren.png#/media/File:Paratethys_vor_17-13_Mio_Jahren.png
- [7] MACOUNOVÁ, D., Restaurování vápencové sochy světice č. 1 s využitím nanosuspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ / Zhodnocení možností využití nanosuspenzí na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pro konsolidaci organodetrického vápence v porovnání s běžně používanými prostředky na bázi TEOS. Litomyšl, 2013. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování.
- [8] SASSE, H. R.; SNETHLAGE, R. Evaluation of stone consolidation treatments. Science and Technology for Cultural Heritage, 1996, 5.1: 1996.
- [9] TABASSO, M. L.; SIMON, S. Testing methods and criteria for the selection/evaluation of products for the conservation of porous building materials. Studies in Conservation, 2006, 51.sup1: 67-82.
- [10] SNETHLAGE, R. Leitfaden Steinkonservierung: Planung von Untersuchungen und Massnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein. Fraunhofer IRB Verlag, 2005.
- [11] RODRIGUES, J. D.; GROSSI, A. Indicators and ratings for the compatibility assessment of conservation actions. Journal of Cultural Heritage, 2007, 8.1: 32-43.
- [12] BAYER, K. Možnosti hodnocení efektivity konsolidace porézních anorganických materiálů. Padesát let používání organokřemičitanů na území České republiky, Proceedings of ICOMOS (in Czech), Národní muzeum, Národní památkový ústav, 2008, 16: 35-42.

- [13] SLÍŽKOVÁ, Z. et al. Metodika určení rozhodných materiálových charakteristik historických stavebních materiálů pro plánovaný restaurátorský zásah. UTAM Praha, NAKI18-MET_1 ; 2015.
- [14] MACOUNOVÁ, D., et al. Consolidation testing of porous limestone using lime nanomaterials: optimization, assessment of stone mechanical and structural characteristics. In: Náprstek, Jiří a Cyril Fischer, Engineering mechanics 2015. Extended abstracts. 1. vyd. Prague : Institute of theoretical and applied mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i, 2015, s. 184-185.
- [15] DRDÁCKÝ, M.; SLÍŽKOVÁ, Z. Calcium hydroxide based consolidation of lime mortars and stone. In: Proceedings of the International Symposium on Stone Consolidation in Cultural Heritage. Lisbon,, Portugal: LNEC, 2008. p. 299-308.
- [16] MACOUNOVÁ, D. et al. Zpráva z laboratorního testování vápenných nanomateriálů – Strukturální konsolidace. Projekt Nanolith .Telč, 2014. ÚTAM AV ČR, v. v. i. Centrum Excellence Telč; Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování.
- [17] DRDÁCKÝ, Miloš; SLÍŽKOVÁ, Zuzana. Enhanced affordable methods for assessing material characteristics and consolidation effects on stone and mortar. Journal of Geophysics and Engineering, 2013, 10.6: 064005.
- [18] DRDÁCKÝ, M., SLÍŽKOVÁ, Z., VALACH, J.: Vliv etylsilikátových zpevňovacích prostředků na chování a vlastnosti glaukonitického pískovce použitého na stavbu katedrály sv. Víta v Praze, in "Organokřemičitany v české památkové praxi", Práce NPÚ, sv.1, ISBN 978-80-87104- -15-6, NPÚ Praha, str. 49-57, 2008.
- [19] SLÍŽKOVÁ, Z.; FRANKEOVÁ, D. Consolidation of porous limestone with nanolime. Laboratory study. In: 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone Columbia University, New York. 2012.
- [20] www.stonecore-europe.eu/partner_geotron.php
- [21] PAMPLONA, M., KOCHER, M., SNETHLAGE, R., BARROS, L. A.: Drilling resistance: overview and outlook, Z. dt. Ges. Geowiss., 158/3, p. 665-676, September 2007.
- [22] DRDÁCKÝ, M., et al. Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces. Materials and structures, 2012, 45.4: 505-520.
- [23] DRDÁCKÝ, M.; SLÍŽKOVÁ, Z. In situ peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic plaster and render surfaces. Studies in Conservation, 2015, 60.2: 121-130.
- [24] DUNAJSKÁ, J. Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil nanosuspensions on plaster reference samples. 2012.

[25] Výsledky mezinárodního projektu „STONECORE“ (Stone conservation for the refurbishment of buildings, project number 213651; FP7-NMP-2007-SME-1; Collaborative project). Výsledky zahrnuté zejména do průběžných zpráv Deliverable D5; Deliverable D7 viz DELIVERABLE D 7.2: Results of trial testing on objects in the Czech Republic; (UPFR, ITAM); Collaborative Project STONECORE (Stone Conservation for the Refurbishment of Buildings); NMP-SE-2008-213651; FP-2007-SSP-5A.

[26] Výsledky mezinárodního projektu „NANOFORART“ (Nano-materials for the conservation and preservation of movable and immovable artworks "; project number 282816; FP7-ENV-NMP-2011) Výsledky zahrnuté do průběžné zprávy - Deliverable D6 viz DELIVERABLE D 6.1: Collaborative Project NANOFORART. Project no. ENV-NMP.2011.2.2-5; ENV-NMP.2011.3.2.1-1-282816.

[27] Nanomateriály v památkové péči: Sborník přednášek z odborného semináře Společnosti pro technologie ochrany památek. Ed.: Olga KOTLÍKOVÁ. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, Národní technické muzeum, 2012. Dostupné z: <http://www.jh-inst.cas.cz/nanocentrum/data/dokument/soubor/sbornik-seminare-stop-nanomaterialy-v-pamatkove-peci.pdf>.

[28] IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technical Leaflet. CaLoSiL®. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_EN.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technisches Merkblatt. CaLoSiL®. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_DE.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technical Leaflet. CaLoSiL® Paste-like. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_EN-pastoes.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technisches Merkblatt. CaLoSiL® Pastös. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_DE-pastoes.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technical Leaflet. CaLoSiL® Micro. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_EN-mikro.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technisches Merkblatt. CaLoSiL® Mikro. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_DE-mikro.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technical Leaflet. CaLoXiL® Lime glaze. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/kalklasur_EN.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technisches Merkblatt. CaLoXiL® Kalklasur. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/kalklasur_DE.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technical Leaflet. CaLoXiL® Injection grout. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoXiL_EN-kalk-injektionsmasse.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technisches Merkblatt. CaLoXiL® Kalk-Injektionmasse. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoXiL_DE-kalk-injektionsmasse.pdf [online].
IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technical Leaflet. CaSoPaL®. Freiberg. http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/schimmel/CaSoPaL_EN.pdf [online].

IBZ-SALZCHEMIE GMBH & CO.KG. Technisches Merkblatt. CaSoPal® plus. Freiberg.
http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/schimmel/CaSoPaL_DE.pdf [online].

[29] BAYER, K.; MACOUNOVÁ, D. a MACHAČKO, L. Nanosuspenze hydroxidu vápenatého jako konsolidanty porézních vápenců a vápenných omítek – od laboratorních testů k praktické aplikaci. In: Acta Artis Academica 2012: Znalost a praxe ve výtvarném umění; Sborník 4. mezioborové konference ALMA. Praha: Akademie výtvarných umění v Praze, 2012, s. 325-345. ISBN 978-80-87108-33-8.

[30] SLÍŽKOVÁ Z.; FRANKEOVÁ, D. : Strukturní zpevnění vápenné omítky a vápence nanodisperzí CaLoSiL®. Zpravodaj STOP, Nanomateriály v památkové péči. Sv. 14, č. 3, 2012, pp. 47–52.

[31] SLÍŽKOVÁ, Z., FRANKEOVÁ, D.: Strengthening of Weak Historic Renders with Traditional and Innovated Consolidation Treatment. In: Náprstek, Jiří a Cyril Fischer, Engineering mechanics 2015. Extended abstracts. 1. vyd. Prague : Institute of theoretical and applied mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v.v.i, 2015, s.282-283.

[32] NAVRÁTILOVÁ, M., et al. Modification of protective lime coating systems for the porous limestone using lime nanomaterials: assessment of mechanical properties and ageing resistance. In: Náprstek, Jiří a Cyril Fischer, Engineering mechanics 2015. Extended abstracts. 1. vyd. Prague : Institute of theoretical and applied mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v. v. i, 2015, s. 210-211.

[33] NAVRÁTILOVÁ, M. et al. Modifikace ochranných vápenných nátěrových systémů pro porézní vápence pomocí vápenných nanomateriálů. Telč, 2014. Laboratorní zpráva. ÚTAM AV ČR, v. v. i. Centrum Excelence Telč; Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování.