

Univerzita Pardubice

Fakulta restaurování

Studium účinku akrylátových polymerních disperzí na vlastnosti cementových tmelů navržených pro jemnozrné typy pískovců. Posouzení vlastností nové generace akrylátových disperzí s obsahem biosložky.

Restaurování pískovcové sochy Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi

Study of the effect of acrylate polymer dispersions on the properties of cementitious sealants designed for fine-grained sandstone types. Assessment of the properties of a new generation of acrylate dispersions containing biocomponents.

Restoration of the sandstone statue of Tomas Garrigue Masaryk from Moravská Nová Ves

Diplomová práce

2024

BcA. Marek Knot

Univerzita Pardubice
Fakulta restaurování
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **BcA. Marek Knot**
Osobní číslo: **R21024**
Studijní program: **N0222A310001 Restaurování a konzervace děl hmotného kulturního dědictví**
Specializace: **Polychromovaná a nepolychromovaná sochařská díla**
Téma práce: **Studium účinku akrylátových polymerních disperzí na vlastnosti cementových tmelů. Posouzení vlastností nové generace akrylátových disperzí s obsahem biosložky, Restaurování Sochy Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi.**
Zadávací katedra: **Ateliér restaurování kamene**

Zásady pro vypracování

Teoretická část práce se bude zabývat studiem účinku akrylátových disperzí/latexů na vlastnosti tmelů s cementovým pojivem určených pro vybrané jemnozrné typy pískovců. V rámci práce budou připraveny a testovány sady vzorků cementových tmelů, do nichž budou přidávány v různé koncentraci akrylátové disperze. Z disperzí budou testovány tradiční stavební akryláty, které budou srovnávány s novou generací aditiv, které obsahují 20 až 30 % biosložky. Biolatexy byly vyvinuty ve spolupráci s FCHT, UP-Ce, kde se vývojem akrylátových latexů z biosurovin aktuálně zabývají. Disperze se budou v různých koncentracích dávkovat do cementového tmelu se stálým obsahem cementu, písku a záměsové vody. Díky tomu mohou být srovnávány účinky samotných polymerů a studován vliv jejich obsahu na vlastnosti tmelu. Efekt aditiv bude zkoumán na základě měření vybraných vlastností tmelů v čerstvém a zatvrdlém stavu po 28 dnech. Cílem práce je jednak otestovat použitelnost nových akrylátových biolatexů při formulaci nové generace restaurátorských tmelů na jemnozrné pískovce. Druhým očekávaným výsledkem je popsání účinku přísad na vlastnosti cementových tmelů. Výsledkem práce by měla být doporučení o používání těchto přísad a získání znalostí o jejich účinku.

Praktická část bude představovat komplexní restaurátorský zásah provedený na Sochy Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi. Před samotným restaurováním budou zpracovány a vyhodnoceny výsledky restaurátorského, chemicko-technologického a uměleckohistorického průzkumu, na základě kterých bude vytvořena koncepce restaurátorského zásahu. Restaurátorské postupy a technologie budou navazovat na předešlé výsledky zkoušek a vše bude dokumentováno podle standardů stanovených pro restaurátorské dokumentace.

Práce budou probíhat pod dohledem pedagogů restaurátorů. Postup prací bude průběžně konzultován s přidělenými konzultanty a externími specialisty. Použité postupy a technologie budou voleny na základě důkladných zkoušek. Při realizaci diplomové práce bude dodržen následující harmonogram dokončování dílčích úkolů. Dodržování harmonogramu bude součástí závěrečného hodnocení práce.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Základní: Viñas S. M. *Contemporary Theory of Conservation*. Oxford, 2005.
- Základní: Didaktické návody (vydáno v rámci projektu DOCEO PRO CULTURA).
- Henry, A., ed. *Stone conservation, principles and Practice* (vybrané kapitoly přeloženy v rámci projektu DPC). Donhead Publishing Ltd. 2006.
- Základní: Price C., Doehne E. *Stone conservation* (vybrané kapitoly přeloženy v rámci projektu DOCEO PRO CULTURA). The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2010.
- Doporučená: Zelinger J. a kol. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. Academia Praha, 1987.
- Doporučená: Ďoubal, J. *Kamenné památky Kutné Hory: restaurování a péče o sochařské památky* (vydáno v rámci projektu DPC). Univerzita Pardubice, 2015.
- Doporučená: Torraca, G. *Lectures on materials Science For Architectural Conservation*. GCI, Los Angeles, 2009.
- Doporučená: Ďoubal J. a kol. *Sádrové odlitky: restaurování a péče o sádrová díla*. Univerzita Pardubice, 2020
- Doporučená: Šimůnková E., Bayerová T. *Pigmenty*. STOP Praha, 1999.
- Doporučená: Henry A., ed. *Principles and Practice (Polychrome Stone by Christopher Weeks: s. 237-255)*. Donhead Publishing Ltd., 2006.
- Doporučená: Koller, M. *Probleme und Methoden der Retusche polychromer Skulptur*, in: *maltechnik Restauro 85 /1979*, s. 14-40 (přeloženo v rámci projektu DPC).
- Doporučená: Kopecká I., Nejedlý V. *Průzkum hist. materiálů, analytické metody pro rest. a pam. péči*. Grada Pub., 2005.
- Doporučená: Knoepfli A., ed. *Reclams Handbuch der Künstlerischen Techniken*. Stuttgart, 1990.
- Doporučená: Slánský, B. *Technika malby*. Praha, 2003.
- Doporučená: Slánský, B. *Technika v malířské tvorbě (malířský a restaurátorský materiál)*. Praha, 1976.
- Doporučená: Brandi, C. *Teorie restaurování*. Kutná Hora: Tichá Byzanc, 2000.
- Doporučená: Kubička R., Zelinger J. *Výkladový slovník malířství, grafiky a restaurátorství*. Grada, 2004. ISBN 0-247-9046-7
- Doporučená: Buys, S a Oakley V. *The conservation and restoration of Ceramics*. Oxford 1993
- Doporučená: Chandra, S a Flodin, P. *Interactions Of Polymers And Organic Admixtures On Portland Cement Hydration*. *Cement and Concrete Research*. 1987-11, č. 6. ISSN 0008-8846.
- Doporučená: Ollitrault-fichet, R; Gauthier, C; Clamen, et al. *Microstructural Aspects In A Polymer-Modified Cement*. *Cement and Concrete Research*. 1998, roč. 28, č. 12.
- Doporučená: Tian, Ye; Jin, Xian-yu; Jin, Nan-guo, et al. *Research on the microstructure formation of polyacrylate latex modified mortars*. *Construction and Building Materials*. 2013, roč. 5, č. 47. ISSN 09500618.
- Doporučená: Eren, Faruk; Gödek, Eren; Keskinateş, Muhammer, et al. *Effects of latex modification on fresh state consistency, short term strength and long term transport properties of cement mortars*. *Construction and Building Materials*. 2017, č. 133.
- Doporučená: Kolář, M.; Machotová, J.; Hájek, M, et al. *Application of Vegetable Oil-Based Monomers in the Synthesis of Acrylic Latexes via Emulsion Polymerization*. *Coatings* 2023, 13, 262. <https://doi.org/10.3390/coatings13020262>

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Renata Tišlová, Ph.D.

Katedra chemické technologie FR

Datum zadání diplomové práce: **30. listopadu 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **21. srpna 2024**

L.S.

Mgr. BcA. Radomír Slovík
děkan

doc. Jakub Ďoubal, Ph.D.
vedoucí ateliéru

V Litomyšli dne 19. srpna 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Restaurování Sochy Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi, Studium účinku akrylátových polymerních disperzí na vlastnosti cementových tmelů. Posouzení vlastností nové generace akrylátových disperzí s obsahem biosložky., jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Litomyšli dne 31.7.2024

BcA. Marek Knot

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucí práce Ing. Renatě Tišlové, Ph. D., z Katedry chemické technologie FR UPCE za vedení této práce a veškeru snahu a pomoc při psaní tohoto tématu. Dále chci tímto poděkovat vedoucímu Ateliéru restaurování kamene doc. Mgr. art. Jakubu Ďoubalovi, Ph.D. za vedení restaurátorské části diplomové práce a jeho odborný přístup a zkušenosti po dobu mého studia a MgA. Petru Rejmanovi za pomoc při transferu díla. Poděkování patří také Mgr. Petře Hečkové, Ph.D. z Katedry humanitních věd za spolupráci při vypracování průzkumů k dílu. Poslední poděkování patří mé rodině, přítelkyni a přátelům za podporu po celou dobu mého studia.

Zvláštní poděkování patří doc. Ing. Jana Machotové, Ph.D. Ing. Martinu Kolářovi z Fakulty chemicko-technologické UPCE, Oddělení syntetických polymerů, vláken a textilní chemie za dodání biolatexů a odborné konzultace k jejich vlastnostem a použití.

Anotace

Teoretická část diplomové práce se bude zabývat studiem účinku akrylátových disperzí/latexů na vlastnosti tmelů s cementovým pojivem určených pro vybrané jemnozrné typy pískovců. V rámci práce budou připraveny a testovány sady vzorků cementových tmelů, do nichž budou přidávány v různé koncentraci akrylátové disperze. Z disperzí budou testovány tradiční stavební akryláty, které budou srovnávány s novou generací aditiv, které obsahují 20 až 30 % biosložky. Biolatexy byly vyvinuty ve spolupráci s FCHT, UPČe, kde se vývojem akrylátových latexů z bio surovin aktuálně zabývají. Disperze se budou v různých koncentracích dávkovat do cementového tmelu se stálým obsahem cementu, písku a záměsové vody. Díky tomu mohou být srovnávány účinky samotných polymerů a studován vliv jejich obsahu na vlastnosti tmelu. Efekt aditiv bude zkoumán na základě měření vybraných vlastností tmelů v čerstvém a zatvrdlém stavu po 28 dnech. Cílem práce je jednak otestovat použitelnost nových akrylátových biolatexů při formulaci nové generace restaurátorských tmelů na jemnozrné pískovce. Druhým očekávaným výsledkem je popsání účinku přísad na vlastnosti cementových tmelů. Výsledkem práce by měla být doporučení o používání těchto přísad a získání znalostí o jejich účinku.

Praktická část bude představovat komplexní restaurátorský zásah provedený na Sochy Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi. Před samotným restaurováním budou zpracovány a vyhodnoceny výsledky restaurátorského, chemicko-technologického a uměleckohistorického průzkumu, na základě kterých bude vytvořena koncepce restaurátorského zásahu. Restaurátorské postupy a technologie budou navazovat na předešlé výsledky zkoušek a vše bude dokumentováno podle standardů stanovených pro restaurátorské dokumentace. Práce obsahuje jak kompletní restaurátorskou dokumentaci, tak i vzhled do procesu restaurování tak i studium účinku akrylátových polymerních disperzí na vlastnosti cementových tmelů navržených pro jemnozrné typy pískovců.

Klíčová slova

Restaurování, Tomáš Garrigue Masaryk, T.G.M, Masaryk, pomník, realismus, Moravská Nová Ves, pískovec, umělý kámen, jemnozrný pískovec, Bílý portlandský cement, Portlandský cement, modifikace, akrylátové disperze, biolatexy.

Title

Study of the effect of acrylate polymer dispersions on the properties of cementitious sealants designed for fine-grained sandstone types. Assessment of the properties of a new generation of acrylate dispersions containing biocomponents.

Restoration of the sandstone statue of Tomas Garrigue Masaryk from Moravská Nová Ves.

Annotation

The theoretical part of the thesis will deal with the study of the effect of acrylate dispersions/latexes on the properties of cement-bonded mastics intended for selected fine-grained sandstone types. As part of the work, sets of cement putty samples will be prepared and tested, to which acrylate dispersions will be added in different concentrations. Traditional building acrylics will be tested from the dispersions, which will be compared with a new generation of additives that contain 20 to 30% bio-components. Biolatexes were developed in cooperation with FCHT, UPCE, where they are currently involved in the development of acrylic latexes from organic raw materials. Dispersions will be dosed in various concentrations into cement putty with a constant content of cement, sand and mixing water. Thanks to this, the effects of the polymers themselves can be compared and the influence of their content on the properties of the sealant can be studied. The effect of the additives will be investigated based on the measurement of selected properties of the sealants in the fresh and hardened state after 28 days. The aim of the work is to test the applicability of new acrylate biolatexes in the formulation of a new generation of restoration sealants on fine-grained sandstone. The second expected result is the description of the effect of additives on the properties of cement sealants. The result of the work should be recommendations on the use of these additives and the acquisition of knowledge about their effect.

The practical part will present a comprehensive restoration work carried out on the Statues of Tomas Garrigue Masaryk from Moravská Nová Ves. Before the restoration itself, the results of the restoration, chemical-technological and art-historical research will be processed and evaluated, based on which the concept of the restoration intervention will be created. Restoration procedures and technologies will be based on previous test results and everything will be documented according to the standards established for restoration documentation. The work contains both complete restoration documentation, as well as an insight into the restoration process, as well as a study of the effect of acrylate polymer

dispersions on the properties of cement sealants designed for fine-grained types of sandstone.

Keywords

Restoration, Tomas Garrigue Masaryk, T.G.M, Masaryk, monument, Czech realism, Moravska Nova Ves, sandstone, artificial stone, fine-grained sandstone, White Portland cement, Portland cement, modification, acrylic dispersion, biolatexes.

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod | 16 |
| 2 | Literární rešerše k tématu | 18 |
| 2.1 | Složení a výroba akrylátových disperzí | 19 |
| 2.2 | Akrylátové disperze s příměsí biosložky | 21 |
| 2.3 | Vlastnosti akrylátových disperzí | 22 |
| 2.3.1 | Obsah polymeru | 22 |
| 2.3.2 | Velikost částic..... | 23 |
| 2.3.3 | pH Disperzí..... | 23 |
| 2.3.4 | Minimální filmotvorná teplota (MFT) a teplota skelného přechodu polymeru (Tg)..... | 25 |
| 2.4 | Vliv latexů na vlastnosti tmelu v čerstvém a zatvrdlém stavu | 25 |
| 3 | Praktická část experimentu | 31 |
| 3.1 | Použité materiály | 31 |
| 3.2 | Příprava tvárných směsí | 33 |
| 3.3 | Příprava vzorků..... | 36 |
| 3.3.1 | Výběr receptury pro jemnozrnný pískovec z praktických zkušeností .. | 36 |
| 3.3.2 | Receptury testovaných směsí | 38 |
| 3.3.3 | Zrání směsí..... | 39 |
| 4 | Metody analýzy – stanovované vlastnosti..... | 40 |
| 4.1 | Hodnocení vlastností směsí v čerstvém stavu..... | 40 |
| 4.1.1 | Popis tmelících vlastností – subjektivní hodnocení | 40 |
| 4.1.2 | Stanovení rozlivu | 40 |
| 4.2 | Hodnocení vlastností směsí v zatvrdlém stavu | 41 |
| 4.2.1 | Objemová hmotnost | 42 |
| 4.2.2 | Nasákavost vodou za atmosférického tlaku a porozita otevřená vodě .. | 42 |
| 4.2.3 | Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě | 43 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2.4 | Rychlost ultrazvukové transmise | 45 |
| 4.2.5 | Stanovení dynamického modulu pružnosti E_d | 46 |
| 4.2.6 | Pevnost v tahu za ohybu (MPa) | 46 |
| 4.2.7 | Pevnost v tlaku (MPa) | 48 |
| 5 | Výsledky | 49 |
| 5.1 | Hodnocení vlastností směsí v čerstvém stavu | 49 |
| 5.1.1 | Popis tmelících vlastností – subjektivní hodnocení | 49 |
| 5.2 | Hodnocení vlastností směsí v zatvrdlém stavu | 53 |
| 5.2.1 | Vyhodnocení objemové hmotnosti | 53 |
| 5.2.2 | Vyhodnocení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku a porozity otevřené vodě..... | 54 |
| 5.2.3 | Vyhodnocení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě | 56 |
| 5.2.4 | Vyhodnocení ultrazvukové transmise | 57 |
| 5.2.5 | Vyhodnocení dynamického modulu pružnosti | 57 |
| 5.2.6 | Vyhodnocení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku..... | 59 |
| 6 | Shrnutí výsledků a vyhodnocení | 63 |
| 7 | Praktická část | 66 |
| 7.1 | Základní informace | 66 |
| 7.2 | Průzkumová zpráva..... | 67 |
| 7.2.1 | Popis | 67 |
| 7.3 | Restaurátorský průzkum..... | 68 |
| 7.3.1 | Stav díla před restaurováním | 68 |
| 7.4 | Zadání a cíle navazujících průzkumů | 69 |
| 7.5 | Umělecko-historický průzkum | 70 |
| 7.5.1 | Úvod do umělecko-historického průzkumu | 70 |
| 7.5.2 | Ikonografie díla..... | 74 |
| 7.5.3 | Historie díla | 76 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 7.5.4 | Technika vzniku díla | 76 |
| 7.5.5 | Předchozí restaurátorské zásahy | 77 |
| 7.6 | Chemicko-technologický průzkum..... | 77 |
| 7.6.1 | Úvod do chemicko-technologického průzkumu..... | 77 |
| 7.6.2 | Petrografická analýza | 77 |
| 7.6.3 | Měření nasákavosti | 77 |
| 7.6.4 | Ultrazvuková transmise..... | 80 |
| 7.7 | Vyhodnocení průzkumu | 80 |
| 7.8 | Zkoušky materiálů a technologií | 82 |
| 7.8.1 | Zkoušky tmelů | 82 |
| 7.9 | Restaurátorský záměr..... | 83 |
| 7.9.1 | Koncepce | 83 |
| 7.10 | Restaurování | 84 |
| 7.10.1 | Postup prací | 84 |
| 7.10.2 | Použité materiály a technologie | 86 |
| 7.11 | Doporučený režim..... | 87 |
| 8 | Závěr | 88 |
| 9 | Grafická dokumentace | 90 |
| 10 | Fotografická dokumentace..... | 94 |
| 11 | Přílohy..... | 116 |
| 11.1 | Chemicko-technologický průzkum..... | 116 |
| 12 | Seznam Použité literatury a pramenů..... | 133 |
| 12.1 | Seznam Použité literatury | 133 |
| 12.2 | Seznam pramenů:..... | 135 |
| 13 | Seznam použitých symbolů a zkratk | 136 |
| 14 | Seznam obrazových příloh | 137 |
| 15 | Seznam tabulek | 139 |

1 Úvod

Teoretická část diplomové práce se zabývá studiem účinku akrylátových disperzí na vlastnosti cementových tmelů

Polymerní disperze, též latexy, se v praxi využívají jako aditivum do tmelících směsí pojených portlandským cementem, neboť zlepšují vlastností tmelů v čerstvém i zatvrdlém stavu. Dlouhodobě využívané jsou disperze na bázi akrylových a metakrylových polymerů, které se díky svým výborným vlastnostem a stálostí staly pomocníky nejen ve stavebnictví, ale pronikly do široké škály odvětví včetně restaurování a konzervace uměleckých děl. Důvodem jejich 'popularity' je především všeobecně známá stálost vůči povětrnostním podmínkám, alkalickému pojivu, funkčnost a zlepšení uživatelských vlastností tmelících směsí. S narůstajícím důrazem na udržitelnost a ekologické hledisko se v posledních letech vývoj v oblasti stavebních materiálů a směsí obrací na novou skupinu polymerů přírodního původu (tzv. biopolymery), které jsou sice na počátku svého vývoje, ale díky jejich vlastnostem se zdá, že mohou konkurovat syntetickým a mají široký potenciál využití, včetně vývoje tmelů a umělého kamene využitelného v oblasti restaurování kamene.

Práce se dělí na dva oddíly. V rešeršní části přináší přehled současného stavu poznání v oblasti vlastností cementových tmelů a akrylátových polymerů včetně těch s příměsí biosložky, který zpracovává z dostupné odborné literatury. V praktické části se práce zaměřuje na testování vlastností cementových tmelů bez a s příměsí vybraných akrylátových polymerů, z nichž část tvoří latexy s příměsí biosložky, které pro testování vyvinula FCHT, UPCE.

Nejedná se prozatím o latexy zcela přírodního původu, obsah biosložky tvoří 20-30 % z celkového obsahu polymeru. Cílem je posoudit, jaký vliv mají biolately na vlastnosti cementových tmelů v čerstvém stavu a jak ovlivňují jejich fyzikální a mechanické vlastnosti po zatvrdnutí. Aby mohl být účinek biopolymerů posouzen, jsou výsledky porovnávány s obdobnou recepturou bez obsahu disperze a také recepturami obsahující syntetické akrylátové latexy. Aby se téma ještě více vymezilo, je výzkum vlastností směřován pouze do oblasti náhrady jemnozrnných pískovců, které se používají pro sochařská a umělecko-řemeslná díla v ČR nejčastěji. Podle toho byla navržena i receptura tvárné směsi, která se používala pro všechny směsi jednotně a obsahovala směr bílého cementu, směr jemnozrnných písků mísených v hmotnostním poměru 1:4, směsí

modifikované latexy obsahovaly vždy 2, 5 a 8 hm.% polymeru. Obsah záměsové vody zůstal ve všech směsích stejný, aby se mohl posoudit jen účinek samotného polymeru.

Výzkum v oblasti biosložek v stavebních materiálech nabízí mnoho příslibů, zejména v kontextu snižování ekologického dopadu a zvýšení udržitelnosti stavebního průmyslu. Před jejich skutečným uvedením do stavební nebo restaurátorské praxe je však dlouhá cesta a potřeba hlubšího porozumění účinku těchto materiálů.

Praktická část diplomové práce se zabývá restaurováním rozlomené pískovcové sochy Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi.

Jedná se o skulpturu nadživotní velikosti osazené na piedestalu hranolového tvaru. Pomník se sochou byl v minulosti vytvořen ke dvacátému výročí vzniku Československa a umístěn na náměstí v Moravské Nové Vsi. Dílo bylo restaurováno z důvodu poškození při ničivém tornádu, které se prohnalo Moravskou Novou Vsí 24. 6. 2021. V roce 2022 byla socha přesunuta do ateliéru Fakulty restaurování Univerzity Pardubice, kde byl pod dohledem vedení ateliéru restaurování kamene odborně proveden komplexní restaurátorský zásah.

2 Literární rešerše k tématu

Akrylátové disperze jsou ve stavební praxi využívány od 80. let 20. století.¹ Od této doby jsou užívány kontinuálně pro lepení a zpevnění nástěnných maleb a závěsného obrazu, archeologických nálezů nebo třeba v restaurování papíru.² Ve stavebnictví se dodnes užívají jako pojiva fasádních vodou ředitelných nátěrových hmot, jako pojiva nátěrů dřeva, pro lepení anebo třeba pro impregnace betonu či jako aditiva polymer-cementových omítek a tmelů, které nachází uplatnění také v restaurování při tvorbě umělého kamene.³

Hlavními důvody intenzivního využití akrylátových disperzí v oblasti restaurování památek jsou především vzhled filmů (zpravidla bezbarvé s různou mírou lesku) a dlouhodobá stálost vůči povětrnostním podmínkám, především působením slunečního záření, jejichž působením se vlastnosti filmů dlouhodobě nemění.⁴ Pokud se zaměříme jen na použití akrylátových disperzí v cementových tmelech, jsou akrylátové disperze odolné alkalickému prostředí a v tmelech zlepšují vlastnosti cementového tmelu při zpracování i aplikaci a upravují jeho vlastnosti po vytvrnutí tak, aby lépe vyhovoval vlastnostem podkladu.⁵ Z praxe také víme, že tmely lze, i s odstupem několika desítek let, dobře odstranit (doplňky z umělého kamene pocházející kolem 80-90. let 20. století) jsou šetrně reverzibilní za použití organických rozpouštědel jako acetonu nebo toluenu. Používání cementových tmelů s disperzemi mělo i svoje negativa při nesprávném použití; vysoké procentuální zastoupení disperzí ve tmelech způsobovalo deformace tmelů, odchlípnutí okrajů, vysoký obsah disperzí způsoboval tmavnutí a žloutnutí tmelů, tmelená místa velmi dobře vázala na povrchu doplňků prachové depozity a tmely po čase černaly.⁶

¹ HEIDINGSFELD, Viktor a ZELINGER, Jiří. *Polymery – chemie: vlastnosti a zpracování: Sborník vysoké školy chemicko-technologické v Praze*. Praha: SPN, 1985. s. 47-68. Výroba akrylátových disperzí se zintenzivnila až v druhé polovině 80. let, do té doby se výroba disperzí soustředila na výrobu PVAC typů latexů. Například výrobní jednotka na akrylátové disperze byla v CHZ Sokolov uvedena do provozu až v roce 1984.

² HOREI a VELSON. *Materials for Conservation, Organic consolidants, adhesives and coatings*. 2. London and New York: Routledge, 2010. s. 166-171.

³ MLEZIVA, J a ŠŇUPÁREK, J. *Polymery, výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha, 2000. s. 134-138.

⁴ HOREI a VELSON. *Materials for Conservation, Organic consolidants, adhesives and coatings*. 2. London and New York: Routledge, 2010. s. 153-155.

⁵ Příklad disperze zvyšuje adhezi umělého kamene k tmelenému místu, zpomaluje vysychání nevyzrálého tmelu a tím podporuje tvrdnutí především v tenkých vrstvách tmelu. Zlepšuje mechanické vlastnosti tmelu po vytvrnutí. KOTLÍK, P. *Stavební materiály historických objektů: Materiály, koroze, sanace*. Praha, 1999. s. 103.

⁶ ĐOUBAL, Jakub; NOVOTNÝ, Jiří a ALT, Jaroslav. *Restaurátorská zpráva Restaurování Kamenné kašny v Kutné Hoře*. 2010. str.30.

Z akrylátových disperzí se v ČR dlouhodobě užívají styren-akrylátové disperze řady Sokrat (vyráběl CHZ Sokolov, a. s.), která je na trhu od konce 70. let 20. století a užívá se dodnes.⁷ V 80. letech se na tuzemském trhu objevovaly akrylátové disperze nebo tzv. redispergovatelné polymerní prášky Acronal (SRN), Crilat (ITL), Rhoplex, Primal (oba USA) nebo WACKER (USA).⁸

2.1 Složení a výroba akrylátových disperzí

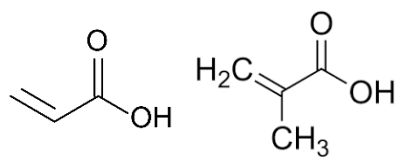
Akrylátové disperze jsou složením homopolymery nebo kopolymery odvozené od kyseliny akrylové nebo metakrylové, resp. jejich esterů (Obr. 1). Podle toho, od jaké kyseliny vznikly, rozdělujeme akrylátové polymery do dvou hlavních skupin na polyakryláty a polymethakryláty. Složení monomerů určuje vlastnosti a stabilitu polymeru, přičemž obecně platí, že při stejné délce řetězce vytváří polyakryláty měkčí až lepivé filmy s nižší teplotou skelného přechodu T_g oproti polymethakrylátům, které jsou díky vysoké T_g značně tvrdší.⁹ Vlastnosti polymeru dále výrazně ovlivňuje délka řetězce čili počet uhlíků alkyků v esterové skupině a jeho rozvětvenost - s rostoucí délkou alkyku klesá tvrdost a bod měknutí polymeru.¹⁰ Z těchto důvodů se vyrábí spíše typy s kratšími řetězci v esterové skupině (např. methyl-, ethyl-, příp. butylakrylát nebo methakrylát). Podobně působí na vlastnosti rozvětvenost alkyku esterové skupiny; monomery s rozvětveným alkoholovým řetězcem vytváří tvrdší polymery oproti řetězcům rovným. Pro úpravu vlastností se akrylátové polymery často připravují z více monomerů (typicky ze dvou), díky kterým se připraví polymer požadovaných vlastností vzhledem k plánovanému použití. Například v experimentální části práce se užíval polymer složený z MMA/BA mísených v reaktoru v poměru 42/56 hm.% s příměsí 2 hm.% kyseliny akrylové (KA), latex s biosložkou připravenou z řepkového oleje se skládal ze stejných synteticky vyráběných monomerů MMA/BA (mísených v poměru 33,4/44,6 hm.%) s příměsí kyseliny akrylové KA (2 hm.%), 20 hm.% v násadě však tvořila biosložky tvořená akrylovaným methylesterem řepkového oleje (RO) (viz kapitola 2.2).

⁷ ŠŇUPÁREK, Jaromír a FORMÁNEK, Leopold. *Vodné disperze syntetických polymerů. Makromolekulární látky, sv. 31.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979.

⁸ CRAVER, C a CARRAHER, C. *Applied Polymer Science: 21st Century.* 2000.

⁹ MLEZIVA, J a ŠŇUPÁREK, J. *Polymery, výroba, struktura, vlastnosti a použití.* Praha, 2000. str. 130.

¹⁰ DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití.* 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 084. ISBN 80-7080-617-6. Dostupné online z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/084.html.



kys. Akrylová, kys. metakrylová

obr. 1 Vzorec kyseliny akrylové a metakrylové. Zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_akrylov%C3%A1;

https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_methakrylov%C3%A1

Akrylátové disperze se nejčastěji připravují emulzní polymerací radikálovým mechanismem.¹¹ Při tomto procesu se získává polymer ve formě disperze (latexu) ve vodě, který tvoří disperzní prostředí. Při reakci se do reaktoru přidává monomer (nerozpustný ve vodě), emulgátor a iniciátor. Reakce probíhá ve vodě, která dobře odvádí teplo a umožňuje míchání reakční směsi. Funkcí emulgátoru je zjednodušeně řečeno vytvořit prostředí pro polymeraci a stabilizovat vznikající částice polymeru. Polymerační reakce neproběhne bez přídavku iniciátoru, což je látka, která vlivem podmínek (nejčastěji zvýšené teploty, UV záření, aj.) vytváří primární volné radikály a zajišťuje propagaci emulzní polymerace. Reakce ukončuje v tzv. terminační fázi, kdy je vyčerpán monomer a vzniklé radikály mohou reagovat jen mezi sebou. Výsledkem emulzní polymerace je tudíž disperze (latex) složený ze stabilních částic polymeru rozptýlených ve vodném prostředí. Mezi nejběžnější iniciátory patří anorganický peroxid peroxodisíran draselný nebo amonný ($K_2S_2O_8$, $(NH_4)_2S_2O_8$), který byl použit i pro přípravu latexů testovaných v laboratorní části práce. Kromě něj lze použít další organické a anorganické peroxidy (např. dibenzoylperoxid), příp. azosloučeniny (azo-bis(izobutyronitril)), které se za zvýšené teploty (okolo 70 °C) ochotně rozkládají na radikály a zahajují polymeraci.¹² Emulgátory bývají různé druhy mýdel nebo-li tzv. povrchově aktivních látek, surfaktantů, což bývají zpravidla složité látky, které se skládají z hydrofobní části molekuly (řetězec s C12 až C24) a hydrofilní části $-SO_3^-$ $-OSO_3^-$, $-[OCH_2CH_2-]_n OSO_3^-$ (např. dodecylbenzensulfonát, larulysulfonát

¹¹ PROKOPOVÁ, I a CHADIMA, D. Technologie emulzní polymerace, Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta chemická 2016. str. 8-26.

https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=124033

¹² DUCHÁČEK, V. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6. Str. 043.

sodný). V laboratorní části práce byl například použit DISPONIL FES 99, což je sodná sůl polyglykolethersulfát vyšší mastné kyseliny.¹³

Polymerací vznikají poměrně koncentrované disperze s vysokým obsahem polymeru (k 50 %), který lze získat také v práškovém stavu koagulací (srážením). Ačkoliv je emulzní polymerace poměrně jednoduchý a rychlý proces, který umožňuje vznik polymeru s vysokou molární hmotností, má určité nevýhody. Kvůli složitému složení reakční směsi je vznikající polymer poměrně znečištěný. V polymeru z procesu syntézy zůstávají zbytky emulgátoru i iniciátoru, což může v případě použití na památky být problém. Zvláště komplikovaná je přítomnost kovů nebo amonných kationů nebo síranových anionů, které jsou obsaženy jak v emulgátoru, tak v iniciátoru, které mohou být potenciálním zdrojem solí.

2.2 Akrylátové disperze s příměsí biosložky

Zcela novým směrem, který reaguje na současné výzvy společnosti, je vývoj polyakrylátových latexů s obsahem složek, které jsou vyráběny z přírodních zdrojů. Jejich vývojem se momentálně zabývají na Oddělení syntetických polymerů, vláken a textilní chemie Fakulty chemicko-technologické Univerzity Pardubice. Biosložku tvoří různé druhy jedlých nebo pro jiné účely využívaných olejů – např. řepkový, lněný, lněničkový.¹⁴ Oleje jsou chemicky směsí esterů vyšších mastných kyselin, které mají vysoký počet uhlíků v základním řetězci a nesou různé počty dvojných vazeb. Samotné dvojně vazby na řetězci však nemají schopnost polymerizace a pro syntézu polyakrylových latexů je tyto suroviny nutné upravovat v prvním kroku esterifikací, následně epoxidací a na závěr akrylací.¹⁵ Vzniklé monomery jsou akrylací možné kopolymerovat s běžnými akrylovými monomery získávanými synteticky, přičemž obsah biomonomeru prozatím dosahuje jen okolo 20 až 30 %. Při vyšším obsahu monomeru jsou připravené disperze prozatím nestabilní.¹⁶ Z dosavadních testů vyplývá, že latexy s obsahem biosložky mají srovnatelné vlastnosti s latexy vyráběnými ze syntetických polymerů – vyznačují se srovnatelnými optickými vlastnostmi (barva, lesk), ale i adhezí a odolností vodě. Díky přítomnosti úseků s dlouhým řetězce pocházejícím z řetězců vyšších mastných kyselin mohou mít tyto disperze

¹³ [Disponil® \(basf.com\)](mailto:Disponil@basf.com)

¹⁴ KOLÁŘ, Martin; MACHOTOVÁ, Jana a HÁJEK, Martin. Application of Vegetable Oil-Based Monomers in the Synthesis of Acrylic Latexes via Emulsion Polymerization. *Coatings* 2023, 13, 262. <https://doi.org/10.3390/coatings13020262>.

¹⁵ Ibidem. Zde k podrobnostem jednotlivých kroků a zdrojová literatura.

¹⁶ Ibidem.

plastifikační účinek, což může být pozitivem při použití na nátěry nebo povrchové úpravy dřeva, kovů nebo například pro různé restaurátorské účely.

2.3 Vlastnosti akrylátových disperzí

Polymerní disperze jsou heterogenní vodné systémy, ve kterých voda tvoří spojitou fázi a polymer, v podobě kulovitých částic o velikosti desetin až setin milimetru, dispergovanou fází. Aplikací látky na povrch například kamene a odpařením vody dojde při vhodné teplotě (k tomu dále) k vytvoření pevného polymerního filmu. Terminologie disperzí není vždy úplně jednotná. Především je využíváno obecného názvu vodné disperze polymerů, často se také v minulosti používal název latex, jenž se vztahoval na vodnou disperzi přírodního kaučuku, později i na ty z kaučuku syntetického. V hovorové češtině byly vodou ředitelné nátěrové hmoty na bázi vodních disperzí polymerů (především polyvinylacetátů) často pojmenovány latex. Pojmenování často vedlo ke zmeti pojmů.¹⁷

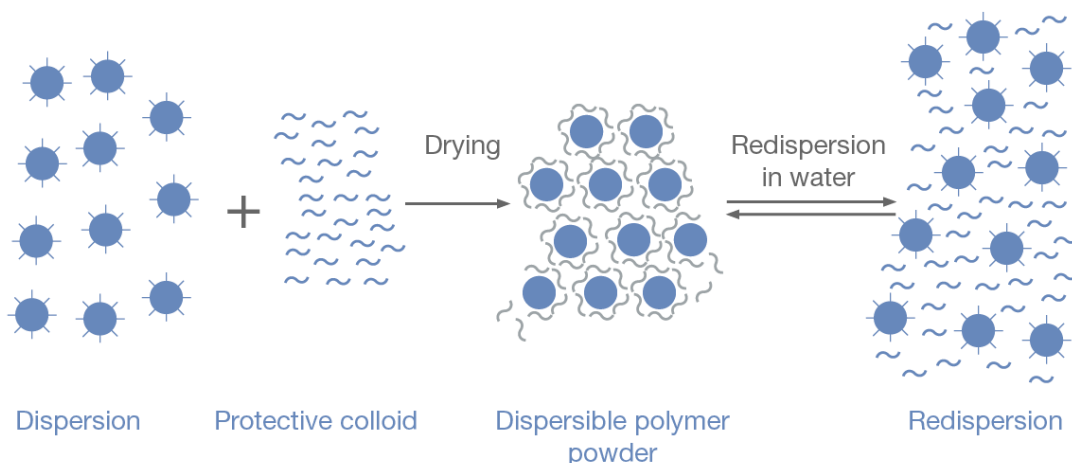
2.3.1 Obsah polymeru

V akrylátových disperzích se běžně pohybuje obsah polymeru mezi 40-50 hmotnostními procenty. Disperze s obsahem sušiny vyšší jak 50 % se využívá spíše při výrobě lepidel a tmelů, především jde o kopolymery a homopolymery vinylacetátu.¹⁸ Polymer může být z disperze koagulován také do formy suchého prášku, který lze zpětně redispergovat ve vodě za vzniku stabilní disperze.¹⁹ Prášky se také vyrábí sušením jemného spreje disperze v přítomnosti ochranného koloidu, jehož přítomnost zajistí zpětnou dispergaci prášku ve vodě (viz Obr. 2).

¹⁷ ZELINGER, Jiří; ŠIMŮNKOVÁ, Eva a KOTLÍK, Petr. Chemie v práci konzervátora a restaurátora. Praha: Academia, 1982.

¹⁸ Ibidem.

¹⁹ Ibidem.



obr. 2 Výroba suchých prášků z polymerních disperzí. Zdroj: <https://www.wacker.com/cms/en-us/products/product-groups/polymer-powders/polymer-powders.html>

2.3.2 Velikost částic

U polymerních disperzí hraje velikost částic dispergovaných ve vodě důležitou roli, jelikož u porézních materiálů jsou zapotřebí malé částice putující do hloubky pórů. Disperze s malými částicemi jsou znatelně viskóznější a projevují se lesklejším filmem. Disperze s velkými částicemi jsou využívány při výrobě lepidel, přičemž jejich větší velikost ovlivňuje nižší viskozitu.²⁰ Částice jsou u disperzí většinou v rozsahu 0,01 až 5 mikrometrů (v oblasti vlnové délky pro viditelné světlo). Rozptyl světla na částicích ovlivňuje zbarvení disperzí – systémy s větší velikostí částic rozptylují více všemi směry, což je příčinou bílého zákalu. U malých částic je rozptyl méně intenzivní, a proto jsou disperze s malými částicemi opalescentní. Na velikost částic mají vliv podmínky polymerace - např. množství a typ emulgátoru nebo na způsobu přidávání monomeru do reaktoru, přičemž platí, že menší částice jsou vyráběny při vyšší koncentraci emulgátoru spíše anionického typu.²¹

2.3.3 pH Disperzí

Hodnotu pH disperzí ovlivňuje jednak složení monomeru, ale zásadně i přítomnost dalších látek, které se užívají při jejich syntéze (iniciátory, emulgátory, síťovací činidla, příp. další látky upravující pH při syntéze, tzv. tlumivé roztoky – uhličitan sodný, hydroxid

²⁰ HEIDINGSFELD, Viktor a ZELINGER, Jiří. Polymery – chemie: vlastnosti a zpracování: Sborník vysoké školy chemicko-technologické v Praze. Praha: SPN, 1985. str.49.

²¹ ŠŇUPÁREK, Jaromír a FORMÁNEK, Leopold. *Vodné disperze syntetických polymerů. Makromolekulární látky, sv. 31.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979.

sodný). pH výchozí směsi monomerů pak určuje rychlost polymerace, výslednou molární hmotnost polymeru²² nebo třeba účinnost emulgátorů a účinnost emulgátorů.²³ Příkladem mohou být disperze polyvinylacetátu a jeho kopolymerů (i s akryláty) jsou při běžných podmínkách syntézy kyselá a jejich pH se pohybuje obvykle okolo 3 až 6.²⁴ Polyvinylacetát má navíc náchylnost hydrolyzovat na polyvinylalkohol za společného odštěpování kyseliny octové. Proto není u těchto polymerů zvyšování pH účelné, neboť rychlost hydrolyzy v alkalickém prostředí je dost značná, kdežto s klesajícím pH se snižuje. Nebezpečí hydrolyzy se také snižuje kopolymerací vinylacetátu s jinými monomery. Akrylátové disperze jsou podstatně stabilnější a mohou se vyrábět jako kyselá, neutrální nebo slabě alkalická. K úpravě pH reakční směsi slouží tzv. regulátory pH, což mohou být hydroxidy, kyseliny nebo různé soli, přičemž pH reguluje i samotná kyselina akrylová, která se přidává do reakční směsi.²⁵ Po skončení polymerace lze pH samotné disperze dále upravovat, přičemž do neutrální a alkalické oblasti se provádí nejčastěji čpavkem nebo organickými aminy. Silně alkalické pH může u vzniklých polymerů vyvolávat alkalickou hydrolyzu, která však probíhá u akrylátových polymerů velmi pomalu, a to i při zvýšené teplotě. Další možný účinek silně alkalického prostředí spočívá v účinku na kyselinu akrylovou, která se do disperzí používá v malé koncentraci pro zvýšení stability a adheze jejich filmů.²⁶ Kyselina působí v alkalickém prostředí samozahušřujícím účinkem, neboť v alkalickém prostředí roste její viskozita.²⁷ Opačná úprava pH směrem do kyselá oblasti může naopak vést k vysrážení disperze. Také může dojít k této reakci při sloučení disperzí opačných stran škály pH.

²² KHANLARI, Samaneh a DUBÉ, Marc. Effect of pH on Poly(acrylic acid) Solution Polymerization. *Journal of Macromolecular Science*, 2015. 52. 10.1080/10601325.2015.1050628.

²³ ŠŇUPÁREK, Jaromír, FORMÁNEK, Leopold. *Vodné disperze syntetických polymerů*, Praha 1979, s. 99-100.

²⁴ HEIDINGSFELD, Viktor; ZELINGER, Jiří. *Polymery – chemie: vlastnosti a zpracování*, Sborník vysoké školy chemicko-technologické v Praze. Praha: SPN, 1985.str 51.

²⁵ ŠŇUPÁREK, Jaromír, FORMÁNEK, Leopold. *Vodné disperze syntetických polymerů*, Praha 1979, s. 86.

²⁶ MLEZIVA, Josef a ŠŇUPÁREK, Jaromír. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7. s. 134.

²⁷ HEIDINGSFELD, Viktor; ZELINGER, Jiří. *Vodné disperze polymerů*. In: *Sborník Vysoké školy chemicko-technologické v Praze S13 (1985)*, *Polymery – chemie, vlastnosti a zpracování*, s. 47-61.

2.3.4 Minimální filmotvorná teplota (MFT) a teplota skelného přechodu polymeru (T_g)

U polymerních disperzí jsou při tvorbě filmu důležité dva údaje.²⁸ Prvním z nich je tzv. minimální filmotvorná teplota MFT, což je teplota, při které při odpařování vody dochází stále k propojování polymerních částic a vzniku spojitého filmu. Pokud disperze vysychá při nižší teplotě, než je MFT vznikne popraskaný film, nebo prášková krusta, tuto chvíli již disperze nemá pojivost. Druhým údajem je teplota skelného přechodu, která ovlivňuje, zda je polymer ve stavu sklovitém nebo kaučukovitým. Stav polymeru ovlivňuje elasticitu polymeru a může ovlivňovat i jeho pojivou schopnost.²⁹ Vliv T_g polymerních disperzí v kompozitech s obsahem cementu byl také studován. Ukazuje se, že disperze s nižším T_g mohou zpomalovat hydrataci více než polymery s vyšším T_g. Důvodem je vyšší afinita polymeru s nižším T_g k povrchu slínkových částic, které způsobují obalení slínkových částic a v důsledku toho probíhá hydratace pomaleji. V tomto ohledu hraje svoji roli i MFT, která ovlivňuje vlastnosti filmu. Oba jevy, tj. vysoká afinita polymeru a tvorba filmu jsou zásadní pro snížení hydratační rychlosti a v konečném důsledku mohou mít vliv i na vlastnosti celé cementové matrice kompozitu.³⁰

2.4 Vliv latexů na vlastnosti tmelu v čerstvém a zatvrdlém stavu

Jak již bylo řečeno dříve, je použití disperzí do cementových tmelů běžnou praxí od 80. let minulého století, odkdy se užívání těchto přísad prakticky nezměnilo. Důvody pro jejich použití již byly zmíněny; kromě odstranitelnosti je to zejména pozitivní vliv na zpracovatelské vlastnosti tmelu/malty, v nichž příměs disperze zlepšuje plasticitu, zpracovatelnost a prodlužuje zádrž vody, což je zvláště důležité pro cementové systémy, u kterých je voda nezbytným médiem pro správné tvrdnutí. Tyto ryze subjektivní zkušenosti restaurátorů jsou dlouhodobě potvrzovány i odbornými laboratorními studii. Vlastnosti tmelů v čerstvém i zatvrdlém stavu však nejsou ovlivňovány jen přísadami, ale

²⁸ KOTLÍK, Petr a kol. Stavební materiály historických objektů. Praha: VŠCHT Praha, 1999. ISBN 978-80-7080-347-9. Str.49.

²⁹ PROKOPOVÁ, Irena. Makromolekulární chemie. 2nd ed. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3. Str.49.

³⁰ LU, Zichen; KONG, Xiangming a ZHANG, Chaoyang. Effect of polymer latexes with varied glass transition temperature on cement hydration. Journal of Applied Polymer (2017). Science134(36): 45264. DOI:10.1002/app.45264.

mnoha dalšími aspekty např. poměry mezi jednotlivými složkami ve směsi, podmínkami zpracování a taktéž vytvrzování v případě použití aditiv je rozhodující jeho typ a složení.

V této kapitole se však zaměříme jen na rešerši vliv latexů na cementové směsi. Jednoznačně podstatný vliv mají latexy na vlastnosti malty/tmelu v čerstvém stavu, polymery však účinkují i ve fázi, kdy cementové pojivo tuhne a tvrdne.³¹ Popisovaný účinek polymerů v cementové maltě výborně popisuje (Obr.3). Po zamíchání latexu (ve formě vodné disperze i suchého prášku) do cementové malty dochází k rovnoměrnému rozptýlení polymeru v maltě (a). Polymer postupně vytváří na povrchu cementových částic i částicích plniva film, nejprve s vysokým obsahem vody (b), ale kapilární voda se postupně odpařuje a spotřebovává na chemické reakce v maltě (hydratace, rozpouštění $\text{Ca}(\text{OH})_2$), takže povrch cementových částic (nehydratovaných nebo už částečně hydratovaných) je postupně 'obalen' pevným filmem polymeru (c). V předchozích kapitolách byl v tomto ohledu zmiňován zásadní vliv MFT, který je rozhodující při tvorbě filmu (viz kapitola 2.3.4). Vytvořený film tvoří na povrchu částic bariéru a zpomaluje postupující hydrataci částic i ve fázi tvrdnutí (d). Účinkem tohoto procesu se u čerstvé malty prodlužuje zpracovatelnost cementových systémů (betony/malty) oproti systémům bez aditiva. Podobně působí částice latexu na zrna plniva nebo stěny pórů, na kterých vytváří buď pevný film, nebo je vzhledem k jejich malé velikosti a velikosti částic částečně vyplňuje.

³¹ OHAMA, Yoshihiko. Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars: Properties and Process Technology, New Jersey 1995, s. 11-21.

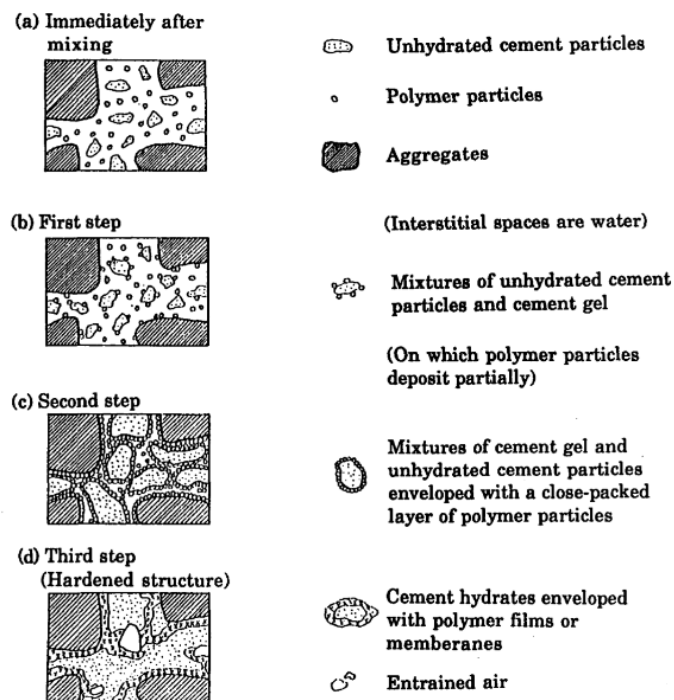


Figure 2.2 Simplified model of formation of polymer-cement co-matrix.

obr. 3 Zjednodušený model vzniku cement-polymer-plnivo matrice. Zdroj: OHAMA, Y. (1995).

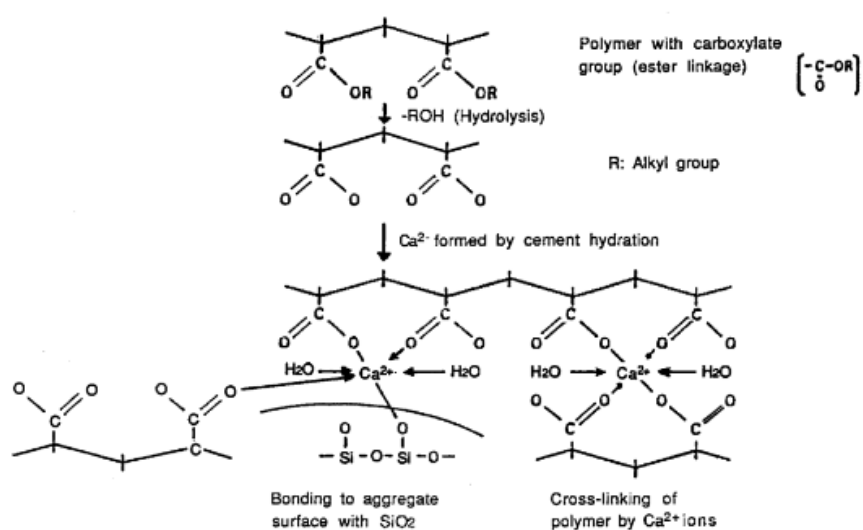
Kromě výše popsaného účinku dochází k chemickým reakcím mezi polymerem (obsahujícím esterové vazby) a částicemi cementu, případně plniva. Konkrétně se jedná o chemickou reakci esterové skupiny s vápenatými (Ca^{2+}), které reagují s esterovou vazbou za vzniku zesíťované struktury cement-polymer (Obr.4). Vápenaté kationy dále reagují s SiO_2 skupinami z plniva, což ve výsledku ovlivňuje lepší spojení pojiva a plniva a zlepšení mechanických vlastností matrice.³² Tento účinek samozřejmě závisí na koncentraci latexu v systému. Jen okrajově je nutné zmínit, že podobný účinek mohou mít další aditiva obsahující vícemocné kovy nebo jiné organické látky, které působí jako síťovadla.³³

Účinek disperzí ovlivňuje popsaným mechanismem zpracovatelské vlastnosti – snižuje množství vody potřebné pro dosažení optimální konzistence (modifikovaná malta má při

³² Ibidem, s. 15-16.

³³ MAHANWAR, Prakash. Parvate, Sumit, Advances in self-crosslinking of acrylic emulsion: what we know and what we would like to know. Journal of Dispersion Science and Technology 2018, 40, s. 1-18. 10.1080/01932691.2018.1472012.

stejném obsahu vody větší rozliv než malta nemodifikovaná). Doprovodným jevem, který nezpůsobují samotné disperze, ale v disperzi použité emulgátory, je napěnění směsí. To je, subjektivně hodnoceno, do určité míry při zpracování příjemné (směsi jsou lehce nadýchané, tvárnost tmelu se blíží máslu), ale při vysoké koncentraci se zcela mění konzistence malt do našlehané. Při tmelení jsou tudíž zcela nepoužitelné, nehledě na to, že zachycený vzduch výrazně ovlivňuje vlastnosti tmelu ve vytvrdlém stavu (viz kapitola 2.4).³⁴



obr. 4 Schéma chemických reakcí mezi polymerem s esterovou skupinou, Portlandským cementem a částicemi plniva. Zdroj: OHAMA, Y. (1995).

Při zpracování cementových malt a tmelů se v poslední řadě hodnotí plasticita a konzistence, které jsou zvláště důležité při zpracování směsi, jejím nanášení a tvarování. Pro ni platí, že malty modifikované latexy mají větší plasticitu, což se vysvětluje kulovým charakterem částic polymerů, které se, nadneseně řečeno, pohybují v čerstvé maltě jako kuličkové ložisko. Pohyb je pak usnadněn napěněním malty, které způsobují emulgátory.

35

Popsané chování modifikovaných cementových malt výrazně ovlivňuje vlastnosti a chování malt i betonů v zatvrdlém stavu, i když ve studiích narážíme v tomto ohledu na

³⁴ EREN, Faruk, GÖDEK, Eren, KESKINATEŞ, Muhammer et al. Effects of latex modification on fresh state consistency, short term strength and long term transport properties of cement mortars, *Construction and Building Materials* 2017, Volume 133, s. 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.080>

³⁵ OHAMA, Yoshihiko, *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars – Properties and Process Technology*. New Jersey 1995, s. 45.

určité rozpory. V dříve citované studii Ohama, Y. (1995), která se komplexně zabývá účinku latexů na cementové materiály se uvádí, že díky zadržení velkého množství vzduchu v čerstvé latexem modifikované maltě, které je způsobeno příměsí povrchově aktivních látek obsažených jako emulgátory a stabilizátory v polymerních latexech jsou malty po zatvrdnutí výrazně poréznější a zvyšují zadržování vody (celková nasákavost) oproti nemodifikované cementové maltě a betonu.³⁶ Zvýšení celkové porozity potvrzují i další studie. Zárýbnická et al. (2023) potvrzuje zvyšování otevřené porozity a snižování objemové hmotnosti s rostoucí koncentrací latexu v cementové maltě, která dosáhla při obsahu latexu 2 hm.% okolo 28 %. S rostoucí porozitou klesají pevnosti; pevnost v tlaku klesla u nejvíce latexem dotované malty téměř o 50%, pevnost v ohybu se u latexem modifikované malty u nejnižších koncentracích latexu (0,5 hm.%) zvětšila oproti referenční maltě bez latexu, ale jak obsah polymeru rostl, pevnost v ohybu se také snižovala.³⁷ Podobný trend účinku koncentrace latexů, i když ne tak drastický, potvrzují i další studie.³⁸ V posledních dvou citovaných studiích je podobně diskutován vliv latexů na kapilární vlastnosti materiálů. Obě studie zmiňují pokles koeficientu kapilární absorpce s rostoucím obsahem latexu ve směsi. Zdůvodnění, které autoři nabízejí, spočívá ve vytvoření hydrofobního filmu na povrchu pórů a kapilár, které brání pohybu vody v kapilárách způsobené kapilárními silami.

Kromě uvedených vlastností ovlivňuje přítomnost latexu další vlastnosti jako navlhavost vzorků, propustnost pro chloridové ionty³⁹ nebo plyny.⁴⁰ Důležitým efektem je vliv na fázové složení a mikrostrukturu cementových vzorků, u nichž s vyšším obsahem latexu roste obsah calcitu (CaCO_3), tj. malta rychleji karbonatuje a podíl amorfních fází

³⁶ OHAMA, Yoshihiko, Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars – Properties and Process Technology. New Jersey 1995, s. 45-156.

³⁷ ZÁRYBNICKÁ, Lucie, POKORNÝ, Jaroslav, MACHOTOVÁ Jana et al. Study of keto-hydrazide crosslinking effect in acrylic latex applied to Portland cements with respect to physical properties, Construction and Building Materials 2023, Volume 375, 130897. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130897>.

³⁸ EREN, Faruk, GÖDEK, Eren, KESKINATEŞ, Muhammed et al. Effects of latex modification on fresh state consistency, short term strength and long term transport properties of cement mortars, Construction and Building Materials 2017, Volume 133, str. 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.080>.

³⁹ RAMACHANDRAN, V.S. 9 - Polymer-Modified Mortars and Concretes. In: Concrete Admixtures Handbook, 2nd Ed. 2. William Andrew, 1996, s. 558-656. ISBN 0815516541, 9780815516545.

⁴⁰ Ibidem.

(C-S-H gelu) se snižuje oproti referenční směsi bez přídavku latexu.^{41 42} Autoři dávají tento efekt do souvislosti s rostoucí porozitou dostatečně modifikovaných směsí i odstraňováním a fázovou transformací Ca z C-S-H gelu, díky kterému se snižuje Ca/Si poměr.

K využití biolatemů do cementových tmelů nejsou prozatím žádné praktické zkušenosti a prozatím nebyly ani laboratorně testovány. Tato diplomová práce je v tomto ohledu průlomová a naznačí, zda se jedná o využitelnou skupinu materiálů nejen pro restaurátorské účely. Biolatexy však nejsou zcela neznámé a dříve již byly podrobně studovány jejich vlastnosti.⁴³ Ukazuje se, že tyto polymery s obsahem biosložky se připravují podobně jako syntetické typy (s nutností úpravy olejů na polymerovatelný monomer) a jejich vlastnosti jsou srovnatelné se syntetickými typy latexů, které by mohly v budoucnu nahradit.

V poslední době vzrůstá poptávka po vývoji a používání bio aditiv a biopolymerů, především díky jejich potenciálu nabídnout ekologičtější a udržitelnější alternativy a modifikace k tradičním syntetickým polymerům. Tento trend vychází ze zvýšeného zájmu o udržitelný rozvoj a snížení dopadu na životní prostředí. Mezinárodní centrum pro studium ochrany a obnovy kulturního dědictví (ICCROM) (2020) poskytuje informace o aplikaci akrylátových polymerů s příměsí biosložky v oblasti restaurování kamene. Tento zdroj zdůrazňuje výhody a vhodnost těchto materiálů pro obnovu historických památek.⁴⁴

⁴¹ ZÁRYBNICKÁ, Lucie, POKORNÝ, Jaroslav, MACHOTOVÁ Jana et al. Study of keto-hydrazide crosslinking effect in acrylic latex applied to Portland cements with respect to physical properties, *Construction and Building Materials* 2023, Volume 375, 130897. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130897>.

⁴² RAMACHANDRAN, V.S. 9 - Polymer-Modified Mortars and Concretes. In: *Concrete Admixtures Handbook*, 2nd Ed. 2. William Andrew, 1996, s. 558-656. ISBN 0815516541, 9780815516545.

⁴³ K syntéze a charakterizaci těchto polymerů viz KOLÁŘ, Martin, MACHOTOVÁ, Jana, HÁJEK, Martin et al. Application of Vegetable Oil-Based Monomers in the Synthesis of Acrylic Latexes via Emulsion Polymerization. *Coatings* 2023, 13. 262. [10.3390/coatings13020262](https://doi.org/10.3390/coatings13020262).

⁴⁴ Online. ICCROM. Dostupné z: <https://www.iccrom.org/resources/publications?keywords=mortar&categories=All&languages=All@ions=All>. [cit. 2024-08-13].

3 Praktická část experimentu

Cílem práce je studium účinku akrylátových disperzí/latexů na vlastnosti tmelů s cementovým pojivem určených pro restaurování uměleckých a umělecko-řemeslných děl z jemnozrnných typů pískovců. V rámci práce budou připraveny a testovány sady vzorků cementových tmelů, do nichž budou přidávány v různé koncentraci vybrané akrylátové disperze. Z disperzí budou testovány tradiční stavební akryláty, které budou srovnávány s novou generací aditiv, které obsahují 20 až 30 % biosložky. Biolatexy byly vyvinuty ve spolupráci s FCHT, UPČe, kde se vývojem akrylátových latexů z biosurovin aktuálně zabývají. Disperze se budou v různých koncentracích dávkovat do cementového tmelu se stálým obsahem cementu, písku a záměsové vody. Díky tomu mohu být srovnávány účinky samotných polymerů a studován vliv jejich obsahu na vlastnosti tmelu. Efekt aditiv bude zkoumán na základě měření vybraných vlastností tmelů v čerstvém a zatvrdlém stavu po 28 dnech. Cílem práce je jednak popsání účinku přísad na vlastnosti cementových tmelů. Druhým očekávaným výsledkem je otestovat použitelnost nových akrylátových biolatexů při formulaci nové generace restaurátorských tmelů na jemnozrnné pískovce. Výsledkem práce by měla být doporučení o používání těchto přísad a získání znalostí o jejich účinku. V případě biolatexů je záměrem ověřit jejich použitelnost v praxi jako možnou zelenější alternativu klasickým synteticky vyráběným polymerům a navázat na současné trendy podporující zelenější a udržitelné strategie, které se dotýkají i oboru restaurování uměleckých děl.

3.1 Použité materiály

Tmely byly připraveny z bílého cementu Rohozník CEMI 52,5N (fa DANUCEM, SK, klasifikace cementu vyplývá z normy ČSN EN 197-1), směsi písků s jemnou frakcí a záměsové vody, kterou tvořila buď čistá voda (referenční směs) nebo zředěná disperze. Písek tvořila směs vytríděných písků s maximální velikostí zrna do 0,25 mm – křemičitého písku Střelec a Černuc, které se mísily v poměru 3:2, obj.

Složení plniva:

| Složka | Frakce (mm) | Popis | Sypná váha (g/cm ³) * | Objemové díly |
|--------------------------------------|-------------|--|--------------------------------------|---------------|
| Střeleč (Sklopísek Střeleč, a.s.) | <0,250 | křemenný písek Střeleč s vysokým obsahem oxidu křemičitého (SiO ₂), s nízkým obsahem oxidu železitého (Fe ₂ O ₃), min. nasákavost 0,12 hm.%, tvar zrn semioválný, ostrohranný | volně sypáno: 1,34 utřeseno: 1,35 | 3 |
| Černuc (Václav Maurer – TAUM) | <0,250 | křemenný písek s vysokým obsahem oxidu křemičitého (SiO ₂) a obsahem oxidu hlinitého (Al ₂ O ₃), nasákavost 0,12 hm.%, tvar zrn semioválný ostrohranný | | 2 |

tab. 1 Složení tmelící směsi. Pozn: * Sypná váha byla stanovena ze směsi písků Střeleč, Černuc v uvedeném objemovém poměru.

Pro přípravu záměsi byla použita buď voda nebo zředěná polymerní disperze. Přehled použitých disperzí a jejich základních vlastností uvádí Tab. 2 a 3. V rámci práce byly testovány komerční stavební disperze Sokrat S2802A, akrylátová disperze D_REF vyvinutá na FCHT, UPČe.⁴⁵ Z disperzí s obsahem biosložky byly testovány D_AME_RO20 a D_AME_LO30 vyráběné z řepkového (AME_RO – akrylovaný methyl ester řepkového oleje) a lněného oleje (AME_LO) s obsahem biosložky 20, resp. 30 % (D_AME_RO20, resp. AME_LO30).

Syntéza D_REF a latexů s biosložkou latexů byla provedena podle následujícího postupu. Polymerní latexy byly připraveny v reaktoru o objemu 700 ml, vybaveného mechanickým míchadlem, zpětným chladičem a přívodem inertního plynu (dusíku). Teplota reakce byla 85 °C. Do reaktoru bylo předloženo 48,75 g demineralizované vody, 0,375 g emulgátoru Disponil FES 993, 0,525 g peroxidisíranu amonného a směs byla zahřáta na danou teplotu. Poté byla do reaktoru po dobu 2 hodin za stálého míchání konstantní rychlostí dávkována emulze, která se skládala ze směsi monomerů (viz Tabulka 2), 172,5 g demineralizované vody, 11,1 g emulgátoru Disponil FES 993 a 1,05 g peroxidisíranu amonného. Následně byla směs udržována při reakční teplotě po dobu dalších 2 hodin. Připravený latex byl zfiltrován přes jemnou tkaninu a zalkalizován pomocí 50% roztoku AMP 95 (2-amino-2-methyl-1-propanol).

⁴⁵ Přípravu latexů s biosložkou provedl Ing. Martin Kolář, pod odborným vedením doc. Jany Machotové, Ph.D. z Oddělení syntetických polymerů, vláken a textilní chemie, FCHT, UPČe.

| Latex | Monomer (g) | | | | | |
|----------------|-------------|-------|-----|--------|--------|--------|
| | MMA | BA | MAA | AME_RO | AME_LO | AME_CO |
| Sokrat S2802A* | - | - | - | - | - | - |
| D_REF | 63 | 84 | 3 | - | - | - |
| D_AME_RO20 | 50,16 | 66,84 | 3 | 30 | - | - |
| D_AME_LO30 | 43,74 | 58,26 | 3 | - | 45 | - |

tab. 2 Složení monomerů syntetických latexů a biolatemů. * Sokrat S2802 A je komerční styrenakrylátová disperze bez znalosti přesného složení monomerů. Zkratky: MMA – methylmethakrylát, BA – butylakrylát, MAA – kyselina methakrylová, AME_RO – akrylovaný methyl ester řepkového oleje, AME_LO – akrylovaný methyl ester lněného oleje. Zdroj informací: Martin Kolář, Jana Machotová, FCHT, UPCE.

| Disperze | Složení (obsah monorů, hm.%) | Sušina (hm.%) | pH | Velikost částic (mm) | MFT (°C) | Tg (°C) |
|---------------|---|---------------|------|----------------------|------------|---------------|
| Sokrat S2802A | S/A, | 48,9 ± 0,1 | 7,0* | 100,44 ± 2,44 | 6,25 ± 0,6 | 9,86 |
| D_REF | MMA/BA (42/56 %), KA (2 %) | 38,9 | 6,8 | 103,7 ± 1,83 | 0,5 | 1,32 ± 0,30 |
| D_AME_RO20 | MMA/BA (33,4/44,6), KA (2), AME_RO (20) | 36,9 | 7,0 | 85,99 ± 2,27 | <0 | -12,42 ± 0,99 |
| D_AME_LO30 | MMA/BA (29,2/38,8), KA (2), AME_LO (30) | 37,9 | 7,2 | 77,07 ± 1,86 | <0 | |

tab. 3 Složení a charakteristika použitých latexů. Zkratky: MMA – methylmethakrylát, BA – butylakrylát, MAA – kyselina methakrylová, AME_RO – akrylovaný methyl ester řepkového oleje, AME_LO – akrylovaný methyl ester lněného oleje, RO20, resp. LO30 označuje hmotnostní koncentraci biosložky v násadě. * pH komerční disperze podle technického listu 8,8–9,0. Zdroj informací, naměřené vlastnosti stanovili: Martin Kolář, Jana Machotová, FCHT, UPCE.

3.2 Příprava tvárných směsí

Jak se ukázalo, postup míchání hrál zásadní vliv na vlastnosti čerstvé směsi. Původně zvolený postup míchání směsí, který doporučuje norma ČSN EN 196-1⁴⁶, se neosvědčil a musel být změněn. Podle postupu popsáném v citované normě se nejprve míchá cement a voda (resp. zředěná disperze), které se míchají v normou předepsaném režimu. Do rozmíchané suspenze se přidává písek, který se opět se suspenzí promíchává podle v normě uvedeného postupu. U směsí s obsahem disperze docházelo kvůli obsahu emulgátoru

⁴⁶ ČSN EN 196-1: Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti. Český normalizační institut 2005.

v disperzi k výraznému napěnění směsi a výrazně nadýchaný charakter si směs zachovávala i po přimíchání písku. Po skončení míchání byl tmel příliš načechraný, provzdušněný s vysokým rozlivem a pro tmelení zcela nevhodný.

Aby se eliminovalo napěnění směsí, byl postup míchání pro přípravu vzorků upraven. V prvním kroku se nejprve míchaly suché složky, tj. cement a směs písků a záměsová voda, resp. disperze se přidávala až v druhém kroku míchání. Při míchání se používal stolní mixér Electrolux (model EKM4200) s výkonem 1000 W a možností regulací otáček. Mezi jednotlivými kroky strojového míchání se směs míchala ručně, aby se v celém objemu zamíchala směs homogenně (stahovala se směs vytlačená na stěny míchací nádoby, odstraňovala se směs suchých složek usazená u dna). Přesný postup míchání, tj. dobu míchání, intenzitu popisuje Tab. 4.



obr. 5 Průběh míchání směsi v mixéru Electrolux (model EKM4200).

| Krok míchání | Popis | Podmínky míchání |
|--------------|--|--|
| 1 | Smíchání suchých složek, tj. bílý cement a směs písků. Písky se namíchaly předem ve výše uvedeném poměru. | 30 s, ručně špachtlí |
| 2 | | 30 s strojově v mixéru, nejnižší otáčky (stupeň 1) |
| 2 | Přidání záměsové vody (voda nebo u modifikovaných směsí voda a vypočítané množství disperze, naléváme v uvedeném pořadí zvlášť). | 1,5 min strojově v mixéru, střední otáčky (stupeň 2) |
| 3 | | 30 s, ruční promíchání směsi na stěnách a ode dna nádoby |
| 4 | | 1 min strojově v mixéru, vysoké otáčky (stupeň 3) |
| 5 | Domíchání směsi ručně, posouzení kvality směsi. | 30 s, ručně špachtlí |

tab. 4 Postup míchání laboratorních vzorků – kroky míchání a podmínky.



obr. 6 Plnění forem namíchanou směsí, ilustrativní snímek.

3.3 Příprava vzorků

3.3.1 Výběr receptury pro jemnozrnný pískovec z praktických zkušeností

Při definování barevnosti, zrnitosti a mechanických vlastností tmelu vycházely receptury v praktické části práce z jemnozrnných křemičitých pískovců (Maletín, Záměl, aj.)⁴⁷ a receptur tmelů použitých při dřívějších projektech restaurování.⁴⁸ Při návrhu receptury se sledovala jemnozrnná struktura horniny se světle okrovým barevným tónem, určující byly vyšší pevnosti hornin a nižší až střední porozita (Tab.5).

⁴⁷ KOUTNÍK, Petr. Dekorační kameny Čech, Moravy a Slezska. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2015. ISBN 978-80-7414-974-0.

⁴⁸ Receptury výběrově ROZLIVKOVÁ, Rozálie. Klasicistní váza z ohradní zdi francouzské zahrady Litomyšlského zámku. Litomyšl 2022. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování. Restaurování podstavce viz VÍTKOVÁ, Eliška. Pískovcový podstavec vázy na ohradní zdi francouzské zahrady zámku Litomyšl. Litomyšl 2022. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování. Tmel byl použit již dříve při restaurování bohyně Ceres (maletínský pískovec) z ohradní zdi zámku. viz ŠKARVADA, Jiří. Restaurování sochy bohyně Ceres (Deméter) z ohradní zdi zámku Litomyšl. Litomyšl 2020. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování.

| Hornina | Objemová Hmotnost [m ³] | Nasákavost [hm.%] | Otevřená pórovitost [obj. %] | Celková pórovitost [%] | Měrná hmotnost [kg/m ³] | Součinitel nasákavosti [gm ⁻² s ^{1/2}] | Pevnost v tahu za ohybu [MPa] | Pevnost v tlaku [MPa] |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------|
| MALETÍNSKÝ PÍSKOVEC | 1950 | 8,0 | | | | | 8,9 | 42,6 |
| LIBNAVSKÝ PÍSKOVEC | 2240 | 4,1 | 14,8 | 16,7 | 2690 | 69 | 5,9 | 74,3 |
| HAVLOVICKÝ PÍSKOVEC | 2440 | 2,2 | 6,9 | 8,7 | 2680 | 18 | 8,3 | 131,2 |
| KOCBEŘSKÝ PÍSKOVEC | 2250 | 3,6 | 16,9 | 17,4 | 2650 | 92 | 6,4 | 63,1 |
| VYHNÁNOVSKÝ PÍSKOVEC | 2190 | 3,6 | 16,9 | 17,4 | 2650 | 47,2 | 10 | 109,2 |
| DUBENECKÝ PÍSKOVEC | 2040 | 7,3 | 21,5 | 23,7 | 2670 | 73 | 4,9 | 46,5 |
| HOŘICKÝ PÍSKOVEC | 1910 | 8,7 | 27,6 | 28,4 | 2660 | 180 | 3,3 | 31,8 |
| ZAMĚLSKÝ PÍSKOVEC | 2150 | 5,5 | 18,2 | 20,4 | 2710 | 23 | 6,2 | 60,1 |
| MŠENSKÝ PÍSKOVEC | 1870 | 10,9 | 28,5 | 29,2 | 2650 | 951,6 | 1,9 | 20,5 |
| ČESKOKAMENICKÝ PÍSKOVEC | 1860 | 11,2 | 29,8 | 30,1 | 2650 | 832,5 | 1,3 | 15,2 |
| TĚŠÍNSKÝ PÍSKOVEC | 2530 | 1,8 | 4,9 | 5,3 | 2670 | 11,5 | 11,1 | 148,8 |

tab. 5 Vlastnosti hornin vybraných pískovců.

3.3.2 Receptury testovaných směsí

Na základě rešerší a laboratorních zkoušek byla vybrána receptura s obsahem bílého portlandského cementu a směsi písků míchaných v poměru 1:4 hmotnostně. Obsah jednotlivých složek tvárných směsí uvádí Tab.1. Zde uvedená množství složek odpovídají přípravě 5 vzorků o rozměrech 4x4x16 cm. Při míchání se postupovalo tak, aby byl stejný obsah záměsové vody (tj. na 450 g cementu se dávkovalo vždy 500 ml vody, což odpovídá vodnímu součiniteli, tj. poměru vody do cementu, tj. w/c 1,1).⁴⁹ Tento postup se volil proto, aby se ukázal vliv samotného polymeru, který tvořil 2, 5 a 8 hm% z hmotnosti cementu. U směsi tudíž docházelo k rozdílnému rozlivu. Před dávkováním disperze byla u každé použité disperze stanovena sušina, tj. obsah polymeru v disperzi (viz Tab. 6). Podle obsahu sušiny a zvolené koncentrace polymeru bylo vypočítáno množství disperze, která byla do směsi dávkována.

| Disperze | Vzorek | Cement (g) | Písek (g) | voda (g) | Polymer (sušina) (g) | Polymer (sušina) (hm.%) |
|---------------|--------|------------|-----------|----------|----------------------|-------------------------|
| REF | A | 450 | 1800 | 500 | 0 | 0 |
| Sokrat S2802A | B | 450 | 1800 | 500 | 9 | 2 |
| | C | 450 | 1800 | 500 | 22,5 | 5 |
| | D | 450 | 1800 | 500 | 36 | 8 |
| D_REF | E | 450 | 1800 | 500 | 9 | 2 |
| | F | 450 | 1800 | 500 | 22,5 | 5 |
| | G | 450 | 1800 | 500 | 36 | 8 |
| D_AME_RO20 | H | 450 | 1800 | 500 | 9 | 2 |
| | CH | 450 | 1800 | 500 | 22,5 | 5 |
| | I | 450 | 1800 | 500 | 36 | 8 |
| D_AME_LO30 | J | 450 | 1800 | 500 | 9 | 2 |
| | K | 450 | 1800 | 500 | 22,5 | 5 |
| | L | 450 | 1800 | 500 | 36 | 8 |

tab. 6 Receptury testovaných směsí – obsah složek, dávkování disperze. Biolatex označeny zeleně. REF je směs bez obsahu latexu.

⁴⁹ Celkový obsah vody byl vždy stejný. Vodu tvořila čistá voda a voda z disperze. O její množství se odečítalo celkové množství čisté vody. K výpočtu složil údaj o obsahu sušiny, který uvádí Tab. 1.

Uvedené receptury byly po namíchání nanášeny do plastových forem, které byly předem separovány detergentem. Vzorky byly do forem nanášeny špachtlí postupně ve třech nánosech, aby se zaručilo, že vzorek vyplní všechny části formy a bude v celé hmotě homogenní. Směs se nedusala, ale jen mírně tlačila špachtlí, aby se neporušil její porézni systém. Po vyplnění se vyplněná forma setřásala na střešacím stolku (vždy 15x úder) jednak pro vypuzení vzduchových bublin, střešáním se tvárná hmota tak lépe propojila a na povrchu vyhladila.

3.3.3 Zrání směsí

Směsi byly po vydusání ve formách ponechány 1 až 2 dny zatvrdnout pod PP fólií. Poté byly odformovány a přesunuty do uzavřené plastové nádoby. Bílý cement, jako hydraulické pojivo, potřebuje k tvrdnutí vodu nebo prostředí se 100 % vlhkostí. U našich vzorků byl zvolen druhý postup; v plastovém boxu se udržovala se 100 % RH mlžením stěn a nalitím malé vrstvy vody na dno nádoby. Vzorky byly v nádobě ponechány 28 dní, poté vysušeny v sušárně na 60 °C po dobu 24 hodin a následně ponechány v laboratoři několik dní do testování. Testování vzorků probíhalo při laboratorních podmínkách 18–22 °C/20–30 % RH.

4 Metody analýzy – stanovované vlastnosti

Tvárné směsi v čerstvém a zatvrdlém stavu byly podrobeny několika zkouškám s cílem posoudit jejich uživatelské a zpracovatelské vlastnosti v čerstvém stavu a zároveň určit vlastnosti tmelů po vytvrdnutí. Cílem bylo zhodnotit, jak přídavky disperze mění uvedené vlastnosti cementových tmelů, zda se mění vlastnosti s rostoucí koncentrací polymeru ve směsi a jaké jsou rozdíly mezi syntetickými latexy a latexy s příměsí biosložky. Stejně vlastnosti byly z literatury vyhledány pro vybrané druhy jemnozrnných pískovců, pro které jsou tmely navrženy (viz kapitola 3.3.1). Porovnání tmelů a vybraných přírodních hornin budou předmětem srovnání v závěru diplomové práce. (viz kapitola 8).

4.1 Hodnocení vlastností směsí v čerstvém stavu

4.1.1 Popis tmelících vlastností – subjektivní hodnocení

Namíchané směsi byly v čerstvém stavu nejprve hodnoceny zpracovatelsky. Cílem hodnocení bylo zjistit, zda jsou směsi vhodné pro tmelení hornin, tj. zda odpovídají konzistencí, plasticitou běžně používaných tmelů na pískovce a jak se mění jejich zpracovatelnost a konzistence napříč recepturami. Hodnocení je zpracováno slovně v experimentální části práce.

4.1.2 Stanovení rozlivu

Zkouška se provádí na čerstvě připravených směsích podle postupu daném normou ČSN-EN 1015-3 (*Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)*). Při zkoušce se stanovuje konzistence čerstvé malty, která je charakterizována rozlitím a/nebo vlhkostí čerstvé malty při zatížení malty střešáním. Zkouška se provádí s čerstvě namíchanou maltou, která se vnese a vydusá do očištěného a předem zvlhčeného kovového kužele z oceli o definovaném tvaru a rozměrech. Kovový kužel se umísťuje do středu desky střešacího stolku. Po vyplnění kužele a zarovnání povrchu se kužel zvedne a malta se na desce střešacího stolku zatíží 15 nárazy s konstantní frekvencí zdvihu. Tím se koláč malty rozlévá. Výsledkem zkoušky je rozměr koláče v mm ve dvou navzájem kolmých směrech.



obr. 7 Stanovení rozlivu na střešacím stolku. Rozlití koláče a měření průměru ve dvou kolmých směrech pomocí měřitek.

4.2 Hodnocení vlastností směsí v zatvrdlém stavu

U vzorků zatvrdlých směsí byly stanovovány vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti. Z fyzikálních vlastností byly stanovovány objemová hmotnost, celková nasákavost vodou, otevřená porozita a kapilární nasákavost. Z mechanických vlastností byly u zatvrdlých tmelů měřeny rychlost ultrazvukové transmise, dynamický modul pružnosti a pevnosti v tlaku a tahu za ohybu. Popis metod je uveden dále včetně odkazu na příslušné platné normy, podle kterých se vlastnosti stanovují.

4.2.1 Objemová hmotnost

Stanovení objemové hmotnosti se provádí dle normy ČSN EN 1015-10: *Zkušební metody pro zdivo – Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*. Objemová hmotnost se počítá v kg/m³ z poměru hmotnosti zkušebního tělesa po vysušení ($m_{s, dry}$) a objemu vypočítaného z rozměru tělesa (V_s). Měření se provádí u pěti těles, z hodnot se vypočítává průměrná hodnota.

4.2.2 Nasákavost vodou za atmosférického tlaku a porozita otevřená vodě

Nasákavost vodou se provádí na úlomcích vzorků po zkouškách pevnosti podle normy ČSN EN 13755: *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku*. Při zkoušce se těleso po vysušení ponoří na 24 a 72 hodin do vody za atmosférického tlaku. Z rozdílu hmotnosti před a po ponoření vztažené na hmotnost vysušeného tělesa (sušení při 70 °C do konstantní hmotnosti) se vypočítává nasákavost vodou, tj. hmotnost vody nasáklé zkušebním tělesem v hm.%:

$$A_b = \frac{(m_s - m_d)}{m_d}$$

Kde:

- A_b nasákavost vodou za atmosférického tlaku, hm.%
 m_s hmotnost nasyceného zkušebního tělesa, g
 m_d hmotnost vysušeného zkušebního tělesa, g

Tzv. Otevřená pórovitost vzorků P_0 stanovuje následně po zkoušce nasákavosti. Počítá se z poměru objemu otevřených pórů V_p ku celkovému objemu vzorku V_b . Kde V_p a V_b se počítá podle vzorců:

$$V_p = \frac{(m_s - m_d)}{\rho_w}$$

$$V_b = \frac{(m_s - m_h)}{\rho_w}$$

Kde:

V_p objem otevřených pórů, mm^3

V_b celkový objem vzorku, mm^3

m_s hmotnost nasyceného zkušební tělesa, g

m_d hmotnost vysušeného zkušební tělesa, g

m_h hmotnost nasyceného zkušební tělesa váženého hydrostaticky, g

Nasákavost vodou i porozita se stanovovala u dvou těles od každé sady vzorků. Výsledná hodnota je průměr ze dvou měření.

4.2.3 Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě

Stanovení se provádí dle postupu popsaném v ČSN EN 1015-18: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě. Zkušební tělesa se lomovou plochou (užívají se trámky po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu, lomová plocha 4x4 cm) umístí do misky s plastovou mřížkou do misky s výškou hladiny 5 až 10 mm (Obr. 8). U nerovných vzorků se plocha brousí. Ve chvíli vložení se spouští stopky a tělesa se v pravidelných intervalech váží.

Zkouška je ukončena po 90 minutách od počátku zkoušky. Z nárůstu hmotností se počítá kapilární absorpce vody (C) a následně koeficient kapilární absorpce (udávaný v $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$), který se rovná směrnici sklonu přímky lineární části závislosti kapilární absorpce a odmocniny z času.

$$C = \left(\frac{M2 - M1}{a^2} \right)$$

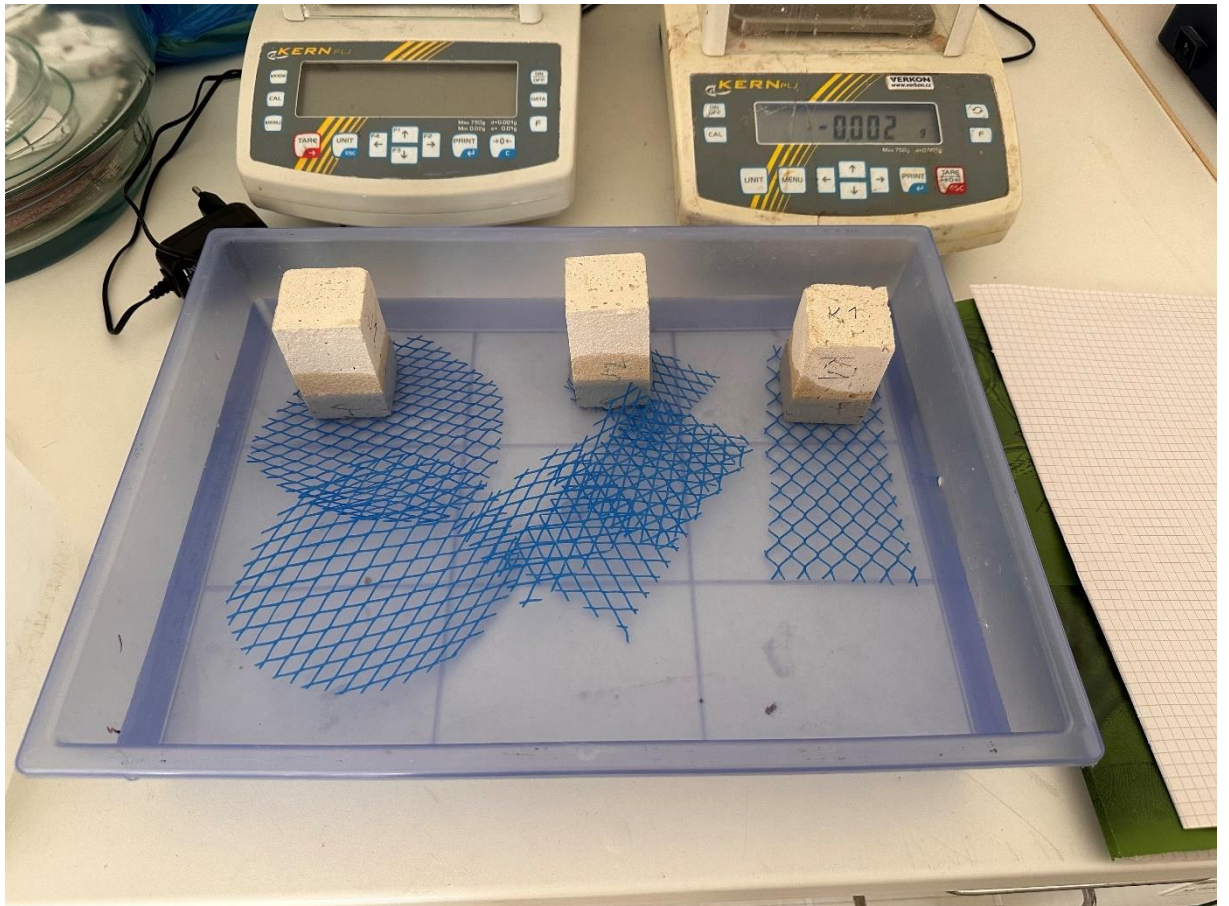
Kde:

C kapilární absorpce vody, kg/m^2

M2 hmotnost tělesa v čase T, kg

M1 hmotnost tělesa na počátku zkoušky v čase T_0 , kg

a průřezová plocha zkušební tělesa, kterou voda vzlíná, mm



obr. 8 Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě. Zkouška se provádí na polovinách zkušebních těles po zkoušce pevnosti v ohybu.

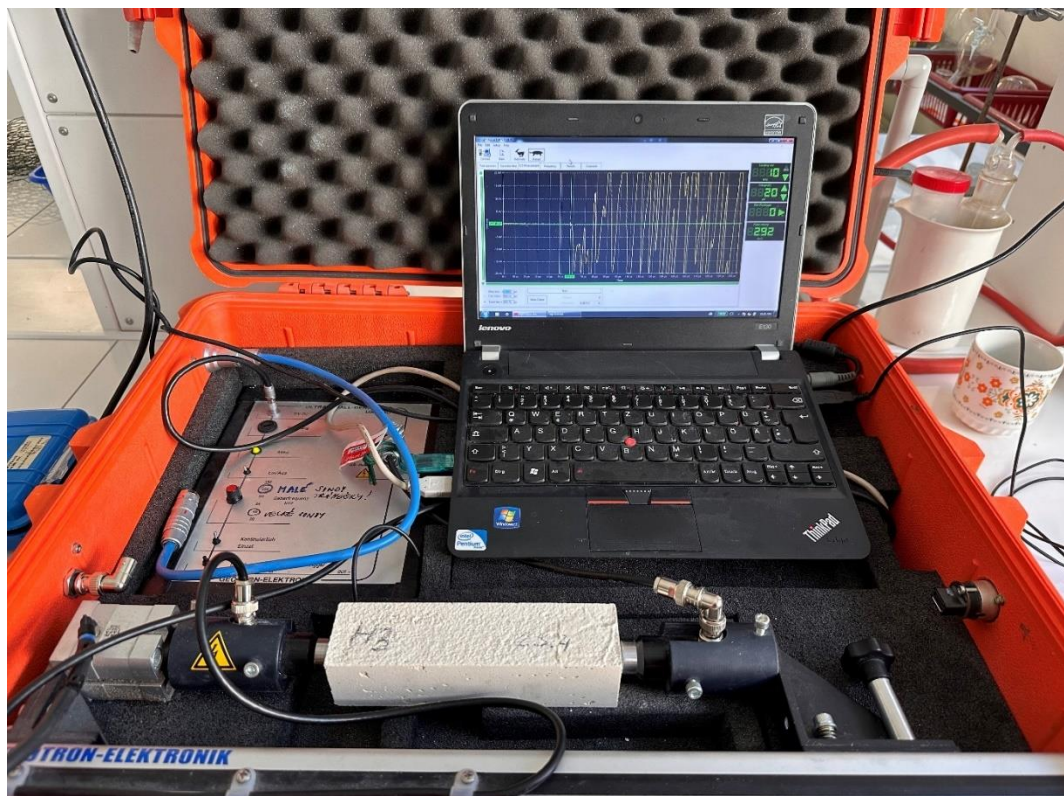
4.2.4 Rychlost ultrazvukové transmise

Měření provedené v souladu s normou ČSN EN 14 579: *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení rychlosti šíření zvuku* má za cíl stanovit rychlost průchodu UZ vlny materiálem, která je funkcí jeho mineralogického složení a dále souvisí s fyzikálními a mechanickými veličinami. Principem zkoušky je měření průchodu impulsu podélného vlnění, který je vyvolán elektroakustickým budičem, umístěným na povrchu vzorku. Po průchodu dráhou známé délky skrz materiál snímá vibrační impuls druhá sonda, tzv. Přijímač (Obr. 9). Při měření se zaznamenává doba průchodu impulsu, která se přepočítává na rychlost ultrazvukové transmise podle vztahu:

$$v = \frac{L}{T}$$

Kde:

| | |
|---|--|
| v | rychlost impulsu, km/s |
| L | délka dráhy, v km |
| T | čas, za který prošel impuls danou dráhu, s |



obr. 9 Průběh měření dynamického modulu pružnosti a ultrazvukové transmise na vzorkových trámčích.

Pro měření vzorků byl použit přístroj Geotron ULTRASONICALL-GENERATOR USG 40, nastaven na frekvenci 250 kHz určenou pro měření vzorků. Pro každou sadu byly měřeny 3 vzorky, z hodnot rychlosti byla vypočítána průměrná hodnota a směrodatná odchylka.

4.2.5 Stanovení dynamického modulu pružnosti E_d

Stanovení dynamického modulu pružnosti se provádělo podle normy ČSN EN 14 146: *Stanovení základní rezonanční frekvence přírodního kamene s výpočtem dynamického přetvárného modulu* má za cíl stanovit na trácích známé délky rozkmitání zkušební tělesa pomocí podélných kmitů s následným určením základní rezonanční frekvence. Vzorky byly vyhodnocovány přístrojem Geotron ULTRASONICALL-GENERATOR USG 40, nastaven na frekvenci 250 kHz určenou pro měření vzorků. Výpočet základní rezonanční frekvence podle vztahu:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Kde:

- I Moment nehybnosti zkušební tělesa
- b šířka zkušební tělesa tvaru hranolu, v milimetrech
- h výška zkušební tělesa, v milimetrech

Stanovení se provádí z jednoho kusu vzorku z každé připravené sady.

4.2.6 Pevnost v tahu za ohybu (MPa)

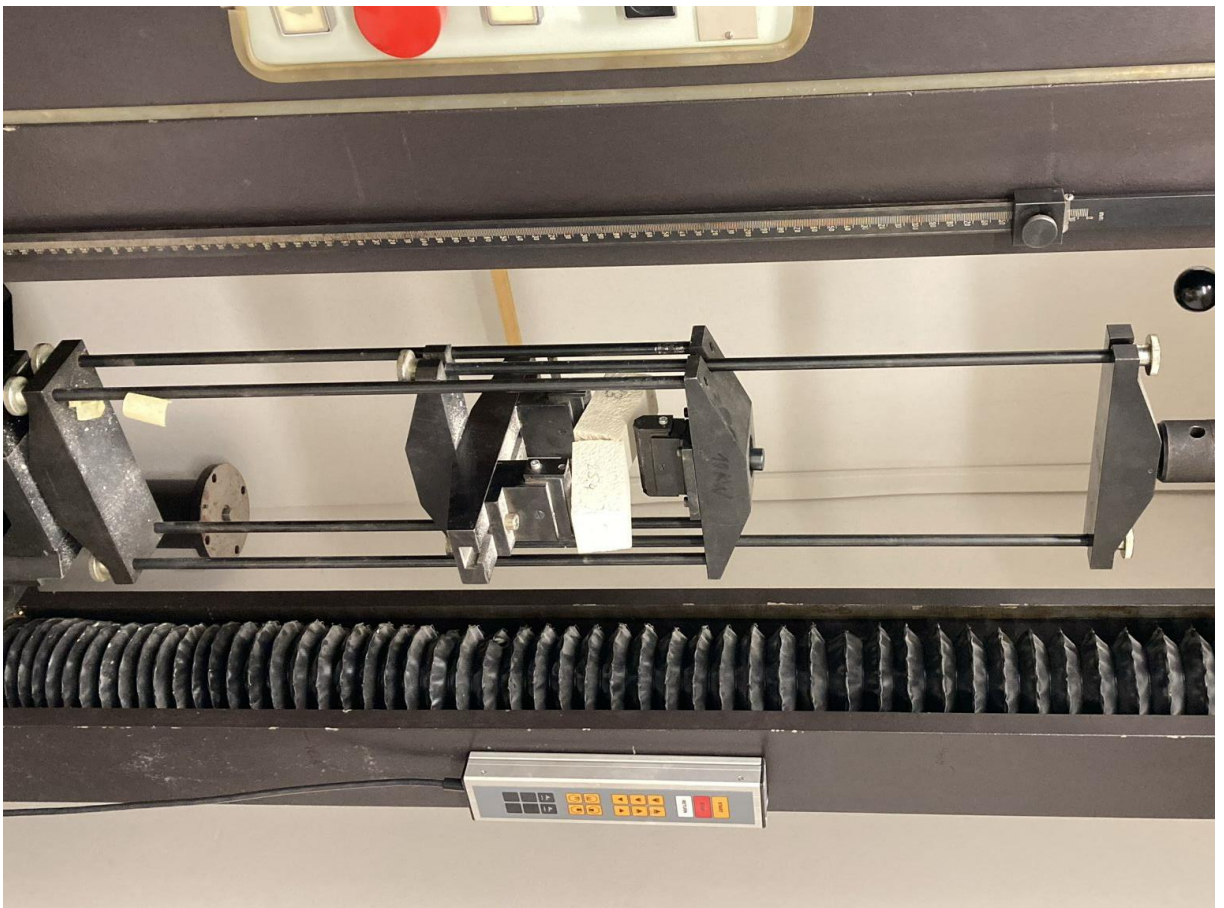
Zkouška pevnosti v tahu za ohybu se prováděla dle normy ČSN EN 1015-11 ve tříbodovém uspořádání podpěr na trhacím stroji FPZ 100/1 (VEB TIW Rauenstein). Pro zkoušku se používají hranoly o rozměrech 4x4x16 cm, které jsou zatěžovány rovnoměrnou rychlostí 2,1-84 mm/min do porušení. Zaznamenává se síla, resp. zatížení v N, která se přepočítává na pevnost v MPa podle vztahu:

$$f = 1,5 \frac{F \cdot l}{bd^2}$$

Kde:

- f pevnost v tahu za ohybu, N/mm²
- F síla, N
- l délka tělesa, mm
- b šířka zkušebního tělesa, mm
- d výška zkušebního tělesa, mm

Pevnost se stanovuje z 5 těles, z hodnot se vypočítává průměrná hodnota a směrodatná odchylka.



obr. 10 Ilustrační snímek průběhu zkoušky pevnosti v tahu za ohybu, autor fotografie: Renata Tišlová

4.2.7 Pevnost v tlaku (MPa)

Se provádí podle stejné normy jako pevnost v tahu za ohybu. Zkouška se provádí na trhacím stroji FPZ 100/1 na rozlomených koncích trámků po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Trámky se zatěžují v tlaku konstantní rychlostí 2,1-84 mm/min do porušení. Zaznamenává se síla, resp. zatížení v N, která se přepočítává na pevnost v MPa, podle vztahu:

$$f = \frac{F}{a^2}$$

Kde:

f pevnost v tlaku, N/mm²

F síla, N

a průřezová plocha zkušebního tělesa, mm

Pevnost se stanovuje z 5 těles, z hodnot se vypočítává průměrná hodnota a směrodatná odchylka.

5 Výsledky

Výsledková část představuje vlastnosti cementových tmelů v čerstvém a vytvrdlém stavu po 28 dnech. V prvních kapitolách jsou představeny vlastnosti čerstvých směsí, následující kapitoly prezentují výsledky fyzikálních a mechanických vlastností tmelů po 28 dnech zrání, do kterých byly přidávány akrylátové disperze ve třech koncentracích 2, 5 a 8 hm.% (vztaženo na cement). Akrylátové disperze tvořily klasické syntetické typy, dvě skupiny vzorků byly připraveny z disperzí s částečným obsahem biosložky. Cílem měření bylo porovnat chování jednotlivých receptur, otestovat použitelnost biolatexů a prostudovat chování tmelů s různým obsahem latexů.

5.1 Hodnocení vlastností směsí v čerstvém stavu

5.1.1 Popis tmelících vlastností – subjektivní hodnocení

Hodnocení tmelících směsí je sumarizováno v (Tab. 7). Srovnávací vzorek tvořila referenční směs A, bez obsahu latexu, která se vyznačuje ideální hustotou a konzistencí pro tmelení jemnozrnných pískovců. Problémem je, že při stání směsi v nádobě nebo ve formě mírně odlučuje vodu, která tvoří souvislý vodný film na povrchu. Tento problém lze odstranit opětovným rozmícháním. Při nanášení na savou podložku kamene se problém redukuje a odlučování vody není tolik patrné skrze savost kamenného materiálu.

Popsané odlučování vody zlepšuje použití všech disperzí. Kromě vázání volné vody se postupně váže i voda vázaná do matrice, což se projevuje na změně konzistence, resp. rozlivu směsí, která se s výjimkou směsi s AME_LO30 s rostoucí koncentrací polymeru snižuje. U směsí s 2 hm.% byl zaznamenán vliv na konzistenci pouze nepatrný, což lze vidět na hodnotách rozlivů, které dosahují u všech směsí s 2 hm.% téměř identických hodnot v porovnání s REF směsí. S rostoucím obsahem disperze se, kromě sady vzorků s AME_LO30, směsi zahušťují, přičemž nejzřetelnější je účinek směsí s 8 hm.% polymeru, které se u většiny vzorků dosáhly konzistence polosuché až suché. Popsanou změnu konzistence však nelze hodnotit negativně, popsané suché směsi se výborně zpracovávaly a tvarovaly a byly by výborné pro tmelení z ruky. Nevhodné by směsi byly pro výdusky, neboť špatně vyplňují formu.

Přídavek disperzí mění kromě konzistence plasticitu, která se v ideálních případech blíží máslu (směs C, F). Konzistenci másla dosahovaly i některé směsi s 8 % polymer (D,

G), přičemž obecně méně výrazný byl zaznamenán účinek s 2 hm.% polymeru, u kterého dosahovala plasticita podobného charakteru s REF směsí.

V hodnocení směsí je nutné vypíchnout chování směsí s biolately, které se vyznačovaly mírně odlišným chováním v čerstvém stavu. Ze dvou testovaných se jednoznačně lépe chovala směs s AME_RO20, jejíž chování se více blížilo účinku syntetických polymerů – rozliv klesá s rostoucím obsahem polymeru ve směsi, směsi H, CH mají výbornou plasticitu, směs I je výrazně suchá a špatně se dusá do forem. Nízká viskozita způsobovala také zhoršenou práci s tmelem, kdy nebylo možné materiál dobře vkládat do připravené formy. Vlastnosti receptur s disperzí D_AME_LO30 byly nejprve při 5% zastoupení podobné jako u disperze D_AME_RO20 v 5 %, ale zásadní změna vlastností nastala u této řady s obsahem 8 % polymeru; tmel byl velmi řídký oproti suché směsi s 8 % D_AME_RO20 nebo ostatním recepturám s 8 % polymeru. Po několika minutách uležení se však tmel zahustil a více zpevnil.

Celkovým vyhodnocením zpracovatelských vlastností vyplynulo, že jako nejvhodnější tmely využitelné v oboru restaurování sochařských děl a architektury z jemnozrnného pískovce jsou spíše ty s nižším procentuálním zastoupením disperzní složky maximálně do 5 %, ve výjimečných případech i 8 % koncentrace například u disperze Sokrat S2802A nebo D_REF, kde tmel dosahoval výborné plasticity a hustší konzistence, která výborně vyhovuje použití pro tmelení z ruky. Jednoznačně nejvhodnějším byl tmel B, C s přídatkem 2 a 5 hm.% disperze Sokrat S2802A, které vyhovovaly konzistencí a plasticitou při nanášení tmelu. Dalším vhodným tmelem byl také vzorek E, F tvořený 2 a 5% zastoupením disperze D_REF, vyhovoval taktéž ideální hustotou a zpracovatelností. U obou řad by se dal použít i tmel s 8 % polymeru, u kterých je však nutné zvážit, nakolik ovlivňuje vysoká koncentrace polymeru další vlastnosti tmelu v zatvrdlém stavu. Z biolately se popsanému ideálnímu chování nejvíce blížil tmel H, CH s 2 a 5 % D_AME_RO20 polymeru. Tmely s vysokým obsahem biolately (8 %) byly vysoce lepivé, takže se lepily na špachtli a povrchy formy.

| Vzorek | Obsah polymeru (hm.%, vztaheno na cement) | Tmelicí vlastnosti | Rozliv (cm x cm) |
|--------|---|---|------------------|
| A | REF | Směs má ideální hustotu i rozliv pro tmelení, plasticita dobrá. Po namíchání odlučuje vodu, která vytváří na povrchu směsi vodný film. | 15,5x15 |
| B | Sokrat S2802A 2 % | Ideální směs pro tmelení, po namíchání dobře váže vodu, zlepšuje plastické vlastnosti REF směsi. Při střešení vylučuje vodu. Nepění, při střešení se rozlívá bez trhání. | 15x14,5 |
| C | Sokrat S2802A 5 % | Ideální směs pro tmelení, i když je konzistencí sušší s nižším rozlivem. Přimíchání se balí do hrudek, ale po střešení se rozlívá. Ve formě se hůře spojuje, po střešení se rozlívá a formu vyplní bez výrazných nehomogenit. | 11,5x12 |
| D | Sokrat S2802A 8 % | Ideální směs pro tmelení, optimální konzistence po namíchání (máslová – mírně našlehaná). Ideální pro nanášení. Nerozlévá se – po setřešení na střešacím stolku zůstává homole souměrného tvaru, která se místy trhá. Ve formě se kvůli horšímu rozlití hůře spojuje a na vzorku zůstávají lokálně po vytažení nespojená místa. | 11,5x12 |
| E | D_REF 2 % | Směs ideální pro tmelení – ideální hustota, konzistence, plasticita. Při střešení ve formě dobře váže vodu, rozlívá se a dobře vyplňuje formu. | 15,5x 15 |
| F | D_REF 5 % | Ideální směs na tmelení, středně váže vodu při míchání, střední rozliv, výborná plasticita mírně napěněná. Střešením se trhá a hůře rozlívá. | 14,2x14 |
| G | D_REF 8 % | Ideální směs na tmelení, i když sušší s výrazně nižším rozlivem. Dobře váže vodu, ale udržuje si plasticitu (charakter másla). Po střešení se rozlívá minimálně, udržuje se kompaktní, výborně tvarovatelná. | 11,5x11,5 |
| H | AME_RO20 2 % | Směs ideální na tmelení – výborná konzistence, plasticita, váže vodu. Rozlívá se, dobře vyplňuje formu. | 15,5x15 |

| | | | |
|----|--------------|---|-------------|
| CH | AME_RO20 5 % | Směs s podobnými vlastnostmi jako směs H, jen mírně napěněná, střední rozliv, více váže vodu. Dobře vyplňuje formu. | 12,5x12 |
| I | AME_RO20 8 % | Spíše suchý až sypký tmel, po domíchání rychle 'cukne' a zdá se být nezpracovatelný. Zpracovatelnost se obnoví po přemíchání. Do formy se směs kvůli konzistenci skoro nedá aplikovat, je hodně suchá a nepropojuje se. Směs lepivá, 'tahá' se při dusání na špachtli ven z formy. Po odformování jsou vzorky nehomogenní, zvláště u dna vidíme nespojené oblasti. | 11x11 |
| J | AME_LO30 2 % | Spíše řidší tmel s vyšším rozlivem, více pění. Po celkovém namíchání je hodně načechraný ale po krátké době cukne a zpevní se. Kvůli počáteční konzistenci méně vhodný pro tmelení. Při dusání do formy dobře váže vodu a je stále načechraný. Dobře vyplňuje formu, po setřesení se mírně odlučuje voda z tmelu jako u směsi REF. | 16x15,5 |
| K | AME_LO30 5 % | Spíše řídký tmel ihned po umíchání. Stejně jako u J se vyznačuje specifickou vlastností, že během pár desítek sekund uležení cukne a na rozlivu je již kompaktní a zpevněný, koláč se po střešení na obvodu částečně trhá – horší plasticita. Směs dobře vyplňuje formu, po vytažení vidíme na vzorku drobné lokální nehomogenity. | 14,3 x 14,4 |
| L | AME_LO30 8 % | Řídký tmel s vysokým rozlivem ihned po zamíchání podobným základní směsí a směsí J. Podobné chování po odležení – během pár desítek tuhne a zpevní se a na rozlivu je již kompaktní. Dobře vyplňuje formu, ve formě pak nejdéle tuhne (1 týden). Koláč čerstvé směsi se na obvodu částečně trhá. Jako jediný nelze vytáhnout z formy kvůli vysoké lepivosti – zatuhlé vzorky se přilepily na stěny formy a musely se odseknout. | 15,6 x 15,5 |

tab. 7 Vlastnosti směsí v čerstvém stavu – popis zpracovatelských vlastností, rozliv.

5.2 Hodnocení vlastností směsí v zatvrdlém stavu

5.2.1 Vyhodnocení objemové hmotnosti

Výsledky objemové hmotnosti tmelů po 28 dnech udává Tab. 8. Nejvyšší objemová hmotnost byla zaznamenána u vzorku A – REF, příměs latexu objemovou hmotnost snižoval, přičemž čím vyšší byl obsah disperze, tím výraznější byl pokles objemové hmotnosti (nejnižší pokles byl zaznamenán vždy u směsí s 2 % polymeru). Na hodnoty neměla překvapivě vliv konzistence směsí, která se s rostoucím podílem polymeru měnila dost podstatně. Důvodem snížení veličiny je rostoucí porozita vzorků (viz Tab. 9), která byla vytvořena provzdušněním směsí účinkem do latexu přidávaných emulgátorů.

Změny objemové hmotnosti byly vyjádřeny v %, z nich lépe vyplývá, že nejmenší změnu vykazují směsi s obsahem latexu Sokrat S2802A 2 a 5 %, B (Sokrat S2802A 5 %) a také vzorek E (D_REF 2 %). U ostatních směsí poklesla objemová hmotnost. Nejvyšší nárůst objemové hmotnosti byl zaznamenán pro směs modifikovanou disperzí D_AME_LO30; u směsi s 2 % latexu byl zaznamenán pokles o 26 %, u směsi s 8 % klesla objemová hmotnost o více než 31 %.

| Vzorek | Obsah polymeru (hm.%, vztaženo na cement) | Objemová hmotnost (kg/m ³) /změna v % (vůči REF) | smodch |
|--------|--|---|--------|
| A | REF | 1813,0 | 12,7 |
| B | Sokrat S2802 A 2 % | 1630,8/ (-10,0 %) | 9,9 |
| C | Sokrat S2802 A 5 % | 1615,9/ (-10,9 %) | 8,5 |
| D | Sokrat S2802 A 8 % | 1525,0/ (-15,9 %) | 13,7 |
| E | D_REF 2 % | 1609,1/ (-11,2 %) | 13,8 |
| F | D_REF 5 % | 1391,4/ (23,2 %) | 3,4 |
| G | D_REF 8 % | 1381,4/ (-23,8 %) | 7,0 |
| H | D_AME_RO20 2 % | 1561,1/ (-13,9 %) | 13,3 |
| CH | D_AME_RO20 5 % | 1504,9/ (-17,0 %) | 11,9 |
| I | D_AME_RO20 8 % | 1451,4/ (-19,9 %) | 36,9 |
| J | D_AME_LO30 2 % | 1333,5/ (-26,4 %) | 11,9 |
| K | D_AME_LO30 5 % | 1277,1/ (-29,6 %) | 22,7 |
| L | D_AME_LO30 8 % | 1241,9/ (-31,5 %) | 22,0 |

tab. 8 Objemová hmotnost referenční směsi a směsí s latexem. Změna objemové hmotnosti vyjádřená v %.

5.2.2 Vyhodnocení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku a porozity otevřené vodě

Výsledky nasákavosti vodou za atmosférického tlaku a porozity otevřené vodě uvádí Tab. 9. Měření ukázala, že oproti referenčnímu vzorku (REF), měly všechny vzorky s přidavkem disperze znatelně vyšší nasákavost i otevřenou pórovitost. A dále, že s narůstajícím množstvím disperze ve směsi vzrůstá úměrně nasákavost i otevřená pórovitost, takže nejvyšší porozitu a nasákavost měly směsi s 8 hm.% polymeru. Zvýšení porozity a nasákavosti souvisí nejspíše s vytvořením sekundární porozity způsobené nikoliv samotným polymerem, ale emulgátory v latexu, které tvárné směsi při míchání napěňují.

Pro porovnání účinku jednotlivých latexů byl v Tab. 9 vypočítán nárůst obou veličin, a to pro všechny směsi. Ty dobře ilustrují účinek jednotlivých latexů, přičemž celkově nejméně ovlivňují porozitu i nasákavost směsi Sokrat S2802A (porozita nárůst o 22-42 %, nasákavost vodou 12-26 %) a nejvíce zvyšuje tyto veličiny příměs biolateru D_AME_LO30 (porozita nárůst o 66-160 %, nasákavost vodou 21-104 %). Je zajímavé, že u směsi s D_AME_RO20 (2 a 5 %) se nasákavost zvýšila ze všech směsí nejméně, což se ale neodrazilo na hodnotách porozity, která mírně vyšší v porovnání se Sokratem S2802A. Důvodem může být to, že ne všechny póry jsou přístupné vodě, buď z důvodu hydrofobního efektu polymeru na stěnách pórů a kapilár (viz více k tomu kapitola 4.4) nebo kvůli jejich velikosti. Obecně platí, že přístupné vodě jsou otevřené kapilární póry, do kterých se voda kapilárním vztlínáním dostane snadno, oproti uzavřeným nebo makropórům, které nejsou vodě přístupné.

| Vzorek | Obsah polymeru (hm.%, vztaženo na cement) | Otevřená pórovitost [obj. %] /změna v % (vůči REF) | smodch | Nasákavost vodou [hm.%] /změna v % (vůči REF) | smodch |
|---------------|---|--|---------------|---|---------------|
| A | REF | 22,4 | 0,2 | 12,9 | 0,2 |
| B | Sokrat S2802A 2 % | 27,3/ (+ 21,9 %) | 0,2 | 14,5/ (+12,4 %) | 0,1 |
| C | Sokrat S2802A 5 % | 28,8/ (+ 28,5 %) | 0,2 | 15,5/ (+20,2 %) | 0,1 |
| D | Sokrat S2802A 8 % | 31,9/ (+ 42,4 %) | 0,6 | 16,2/ (+25,6 %) | 0,4 |
| E | D_REF 2 % | 29,8/ (+ 33,0 %) | 0,5 | 16,0/ (+24,0 %) | 0,3 |
| F | D_REF 5 % | 36,8/ (+ 64,3 %) | 0,4 | 16,5/ (27,9 %) | 0,2 |
| G | D_REF 8 % | 38,4/ (+ 71,4 %) | 0,9 | 17,4/ (34,9 %) | 0,3 |
| H | AME_RO20 2 % | 28,2/ (25,9 %) | 0,3 | 14,0/ (8,5 %) | 0,1 |
| CH | AME_RO20 5 % | 30,0/ (33,9 %) | 0,3 | 14,4 (11,6 %) | 0,1 |
| I | AME_RO20 8 % | 35,6/ (58,9 %) | 2,1 | 17,5 (35,7 %) | 0,8 |
| J | AME_LO30 2 % | 37,1/ (65,6 %) | 0,7 | 15,6/ (+20,9) | 0,2 |
| K | AME_LO30 5 % | 52,2/ (133,0 %) | 0,7 | 23,2/ (+79,8 %) | 0,2 |
| L | AME_LO30 8 % | 58,2/ (159,8 %) | 2,3 | 26,3/ (+103,9 %) | 0,7 |

tab. 9 Výsledky nasákavosti vodou za atmosférického tlaku a porozity otevřené vodě referenční směsi a směsí s latexem. Průměrné hodnoty a směrodatná odchylka.

5.2.3 Vyhodnocení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě

Výsledky stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě uvádí Tab. 10. Měření kapilární nasákavosti prokázalo, že příměs latexu snižuje kapilární nasákavost oproti nemodifikované směsi REF, u kterého dosahoval koeficient kapilární absorpce 0,73 kg.m⁻².min^{-1/2}, což je celkově spíše nižší hodnota typická pro méně nasákové pískovce. Podobné hodnoty referenční směsi dosáhla pouze směs s 2 % D_REF, u ostatních se hodnota snižuje, bez výraznějšího vlivu koncentrace latexu. Snižování kapilární aktivity nekoreluje s výsledky porozity a nasákavosti, která s rostoucím obsahem polymeru u všech směsí roste. Pokles nasákavosti tudíž může být ovlivněn jinými jevy, které by musely být potvrzeny pokročilejšími analytickými metodami, např. rtuťovou porozimetrií nebo např. optickou či skenovací elektronovou mikroskopií. Jednou z příčin by totiž mohla být redistribuce velikosti pórů a poklesem obsahu kapilární pórů způsobená účinkem latexu, což není v rozporu s tím, aby se celková porozita v důsledku přidání disperze mohla zvyšovat. Druhým vysvětlením je hydrofobní účinek latexů, který jasně vidíme u směsí s biolatem. U obou směsí je vidět další pokles koeficientu kapilární nasákavosti oproti směsím se syntetickými latexy, která u D_AME_RO20 klesá s rostoucím obsahem polymeru ve směsi. U vzorků s D_AME_LO30 se koeficient mění nezávisle na koncentraci polymeru ve směsi. U mnoha vzorků se může jednat o synergický účinek obou jevů.

| Vzorek | Obsah polymeru (hm.%, vztaženo na cement) | Koeficient kapilární absorpce vody (kg.m ⁻² .min ^{-1/2}) | smodch |
|--------|---|---|--------|
| A | REF | 0,73 | 0,04 |
| B | Sokrat S2802A 2 % | 0,51 | 0,00 |
| C | Sokrat S2802A 5 % | 0,69 | 0,07 |
| D | Sokrat S2802A 8 % | 0,50 | 0,00 |
| | | | |
| E | D_REF 2 % | 0,72 | 0,04 |
| F | D_REF 5 % | 0,52 | 0,02 |
| G | D_REF 8 % | 0,47 | 0,01 |
| | | | |
| H | AME_RO20 2 % | 0,47 | 0,50 |
| CH | AME_RO20 5 % | 0,38 | 0,04 |
| I | AME_RO20 8 % | 0,35 | 0,03 |
| | | | |
| J | AME_LO30 2 % | 0,49 | 0,02 |
| K | AME_LO30 5 % | 0,43 | 0,00 |
| L | AME_LO30 8 % | 0,58 | 0,01 |

tab. 10 Hodnoty koeficientu kapilární nasákavosti vodou referenční směsi a směsí s latexem.

5.2.4 Vyhodnocení ultrazvukové transmise

Výsledky rychlosti UZ transmise referenční sady a vzorků modifikovaných latexy uvádí Tab.11. Analýzou bylo prokázáno snížení rychlosti průchodu UZ signálu u všech vzorků s přidavkem latexů oproti referenčnímu vzorku (REF, 3,4 km/s). Snížení bylo závislé na obsahu disperze ve směsích; nejnižších výsledků dosáhly směsi s 8 % zastoupením polymeru, z nichž největší pokles byl zaznamenán u směsi s 8 % D_AME_LO30. Rychlost UZ transmise výborně korelovala s objemovou hmotností, která je mírou hustoty/stmelení vzorku, na které závisí propagace UZ signálu. V druhé řadě vidíme stejnou závislost s výsledky porozity – nejméně porézní REF vzorek se vyznačoval nejvyšší rychlostí UZ a vzorky s 8 % polymeru měly celkovou porozitu naopak nejvyšší. Připomeňme, že zvýšení porozity není ve vzorcích způsobeno samotným polymerem, ale v latexu přítomnými emulgátory, jenž namíchávají směs provzdušňují a napěňují. Ty zůstávají po vytvrdnutí ve struktuře tmelu a zpomalují průchod UZ signálu, čímž klesá i jejich objemová hmotnost. Tento efekt byl částečně potlačen u disperze Sokrat S2802A, která v sobě z výroby obsahuje látky snižující pěnovost, tzv. odpěňovadla. UZ transmise dále koreluje s výsledky pevností, přičemž více stmelené vzorky z rychlejší rychlosti šíření UZ mají vyšší pevnost v tlaku i ohybu a naopak.

Z vyjádřených procentuálních změn lze vyčíst podrobnější chování jednotlivých sad vzorků. Od referenčního vzorku se nejméně odchylovaly dva vzorky s 2 % polymeru (B, D_REF a H, D_AME_RO20), které měly téměř identický účinek i ve vyšších koncentracích. To je mírným překvapením, neboť celková porozita směsí s D_AME_RO20 byla vyšší oproti sadám vzorků se Sokratem (viz kapitola 5.2.2). Další směsi snižují rychlost UZ více, v korelaci s porozitou i objemovou hmotností mají nejnižší rychlost šíření UZ vln sady vzorků J, K, L s příměsí D_AME_LO30, přičemž u směsi s 2 % polymeru se rychlost snížila o 29 %, u směsi L s 8 % dokonce o 38 %.

5.2.5 Vyhodnocení dynamického modulu pružnosti

Výsledky dynamického modulu pružnosti prezentované v Tab.11 potvrzují předpoklady o účinku latexů, že jejich příměs do cementových směsí snižuje modul pružnosti, tj. jednoduše řečeno, tmel se stává více elastický a jeho elasticita roste (modul klesá) s rostoucím obsahem latexu ve směsi. Největší vliv na elasticitu a změnu hodnot modulu pružnosti má řada vzorků s biolatem D_AME_LO30. Při obsahu biopolymeru 2 % se modul snížil o více než polovinu z hodnoty referenčního vzorku, u směsi

I s obsahem polymeru 8 % dokonce o 73 %. 'Nejméně' (o 30 až 54 %!) snižují modul řady vzorku s příměsí Sokrat S2802A a D_AME_RO20. To, že latexy takto zásadně ovlivňují elasticitu, je rozhodně zajímavým výsledkem, přičemž tento poznatek by mohl být dále využíván kromě restaurátorských materiálů i v jiných aplikačních oblastech, např. při formulaci speciálních malt a tmelů.

| Vzorek | Obsah polymeru (hm.%, vztaženo na cement) | Dynamický modul pružnosti (E_d , KN/mm ²) //změna v % (vůči REF) | smodch | Rychlost ultrazvukové transmise v (km/s) /změna v % (vůči REF) | smodch |
|--------|---|---|--------|--|--------|
| A | REF | 17,5 | 0,5 | 3,4 | 0,1 |
| B | Sokrat S2802A 2 % | 12,1/ (-30,8 %) | 0,3 | 2,9/ (-14,7 %) | 0,0 |
| C | Sokrat S2802A 5 % | 9,8/ (-40,0 %) | 0,1 | 2,6/ (-23,5 %) | 0,0 |
| D | Sokrat S2802A 8 % | 8,4/ (-52,0 %) | 0,3 | 2,5/ (-26,5 %) | 0,0 |
| E | D_REF 2 % | 10,5/ (-40,0 %) | 0,5 | 2,7/ (-20,6 %) | 0,1 |
| F | D_REF 5 % | 7,8/ (-55,4 %) | 0,2 | 2,4/ (-29,4 %) | 0,0 |
| G | D_REF 8 % | 6,5/ (62,9 %) | 0,4 | 2,3/ (-32,4 %) | 0,0 |
| H | AME_RO20 2 % | 11,3/ (-35,4 %) | 0,6 | 2,9/ (-14,7 %) | 0,1 |
| CH | AME_RO20 5 % | 9,9/ (-43,4 %) | 0,4 | 2,7/ (-20,6 %) | 0,0 |
| I | AME_RO20 8 % | 8,0/ (-54,3 %) | 0,8 | 2,5/ (-26,5 %) | 0,1 |
| J | AME_LO30 2 % | 7,1/ (-59,4 %) | 0,2 | 2,4/ (-29,4 %) | 0,0 |
| K | AME_LO30 5 % | 6,2/ (64,6 %) | 0,5 | 2,3/ (-32,4 %) | 0,1 |
| L | AME_LO30 8 % | 4,7/ (73,1 %) | 0,2 | 2,1/ (-38,2 %) | 0,0 |

tab. 11 Výsledky dynamického modulu pružnosti a ultrazvukové transmise referenční směsi a směsi s latexem.

Ani v oblasti péče o jemnozrné pískovce nejsou hodnoty rychlosti UZ i dynamického modulu jednoznačně špatným výsledkem. Ačkoliv se na území ČR setkáváme spíše s tvrdšími a pevnějšími materiály, které jsou z mnoha důvodů vhodnější pro sochařské účely (sekání, trvanlivost, odolnost, nižší abraze), mohou být tyto tmely vhodné pro některé poréznější a měkčí druhy jemnozrných pískovců s nižší mírou přirozeného stmelení nebo pro tmelení pískovců degradovaných. Pro opravu těchto typů hornin bude vyžadována výrazně měkčí a zároveň pružnější směs s vyšší porozitou a nižší pevností. Tyto směsi také mohou například nahradit méně trvalé a pevné tmely se vzdušným nebo přirozeně hydraulickým vápnem v pojivu, které dosahují podobné rychlosti UZ transmise i modulu pružnosti E_d .⁵⁰

5.2.6 Vyhodnocení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku

Výsledky pevností zatvrdlých vzorků bez a s obsahem latexů po 28 dnech zrání prezentuje Tab.12, graficky byly pevnosti zpracovány do sloupcových grafů (Graf 1, 2).

Jak ukazují výsledky, příměs latexů, a to už při nejnižší koncentraci polymeru, zásadně snižuje pevnostní charakteristiky cementových vzorků, přičemž větší vliv byl pozorován na pevnost v tlaku než ohybu s výjimkou směsi s D_AME_LO30 2 %, kde je trend mírně opačný (například u sady H se pevnost v ohybu snížila o 17 %, v tlaku o poklesla téměř o polovinu).

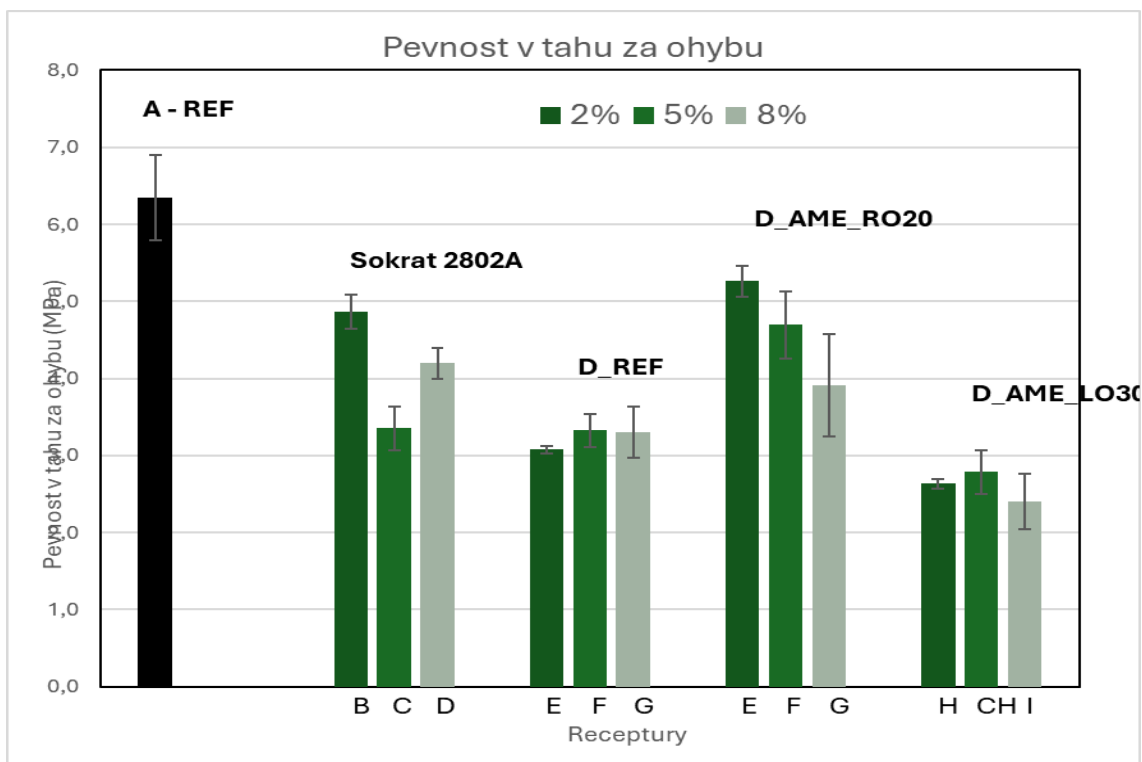
Pokles pevností v ohybu (Graf 1) dosahoval u směsi s nejnižším obsahem polymeru nejméně 17 % (D_AME_RO20) a nejvíce téměř 60 % (D_AME_LO30), přičemž s rostoucím obsahem polymeru se pevnost dále redukuje (výrazně u D_AME_RO20 39 %, už nepatrně u D_AME_LO30). Ostatní vzorky se syntetickými latexy redukovaly pevnosti v ohybu mezi těmito dvěma extrémy, přičemž Sokrat S2802A snižoval při stejné koncentraci méně než D_REF.

Mírně odlišný 'vzorec' chování byl pozorován u změny pevnosti v tlaku (Graf 2), kde se vzorky s D_AME_RO20 (pokles o 52,7 % u směsi s 5 %) chovaly při dané koncentraci polymeru přibližně stejně se vzorky modifikované latexem Sokrat S2802A (pokles o 46,9

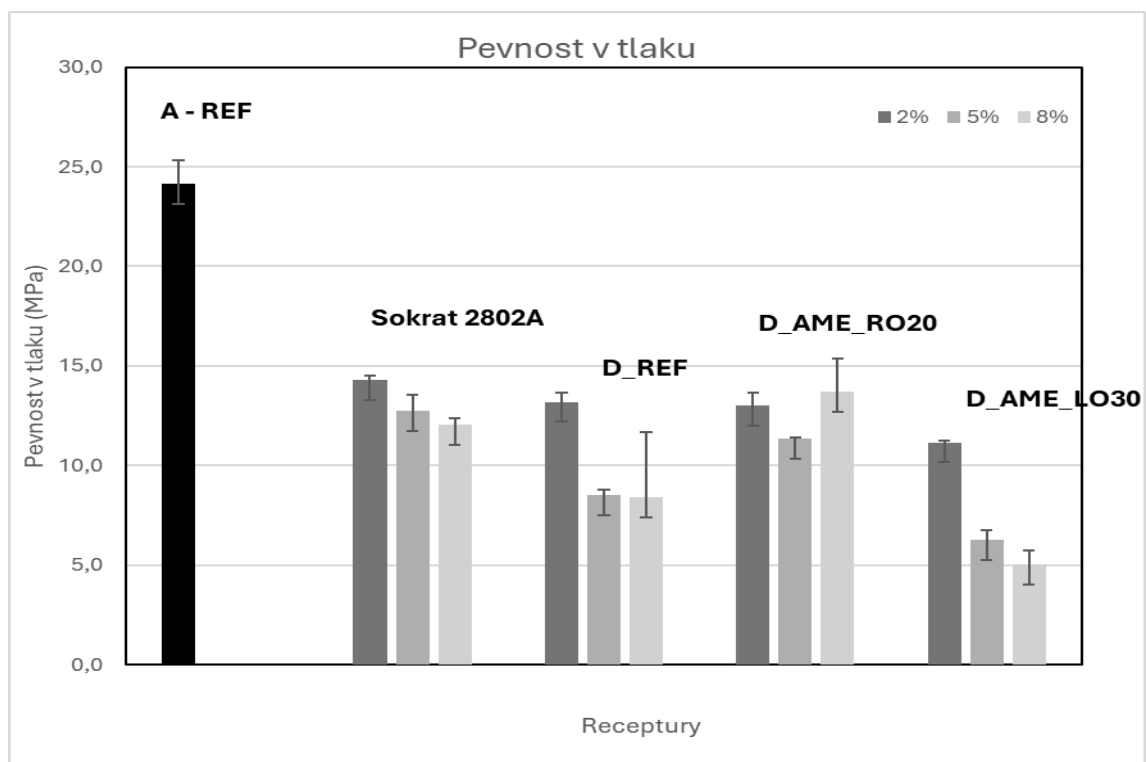
⁵⁰ Některé hodnoty rychlosti UZ transmise pro tmely s vzdušným vápnem byly publikovány v TIŠLOVÁ, Renata, Metodika pro určení mezních intervalů významných materiálových charakteristik opravných materiálů a technologií pro kompatibilní zásah (metodika v rámci projektu NAKI *Podmínky a požadavky kompatibilní péče o historické anorganické porézní materiály*, id. č. DF12P01OVV018. Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2016, str. 19 (Příloha), viz <https://invenio.nusl.cz/record/261491/files/content.csg.pdf> (vyhledáno 16. 8. 2024).

%). Největší vliv na pevnost v tlaku byla zaznamenána u směsi modifikované biolatem D_AME_LO30 (u 2 % pokles o 53,5 %, u 8 % polymeru dokonce o 80 %). Redukce pevnosti je způsobena extrémně vysokou porozitou, která byla detailně diskutována (viz. kapitola 5.2.6). Jen pro připomenutí, pro vzorky s D_AME_LO30 dosahovala porozita nárůst o 66 % oproti referenční směsi (směs J, obsah polymeru 2 %), u směsi L s 8 % polymeru byl zaznamenán nárůst od REF dokonce o 160 %.

Znamená to, že vzorky modifikované malým množstvím disperze budou obecně méně odolné namáhání v tlaku a mírně méně se bude příměs latexu propisovat na pevnosti při zatížení ohybem. Míra účinku je přitom závislá na typu latexu, což platí mezi syntetickými i biopolymery. Přesněji řečeno, pokud, jak se ukazuje, má zásadní vliv na změnu vlastností porozita, bylo by přesnější říci, že účinky na cementový tmel ovlivňuje celý systém latexu včetně jeho přísad. Je ale otázkou, která musí být zodpovězena dalším výzkumem, jak velký je skutečný vliv přísad, například latex Sokrat S2802A odpěňovací přísady obsahuje, ale jejich účinek na vlastnosti tmelu v zatvrdlém stavu byl zaznamenán minimální.



graf. 1 Sloupcový graf pevnosti v tahu za ohybu referenční směsi a směsí s obsahem latexů.



graf. 2 Sloupcový graf pevnosti v tlaku referenční směsi a směsí s obsahem latexů.

| Vzorek | Obsah polymeru (hm.%, vztaženo na cement) | Pevnost v tahu za ohybu (MPa) | smodch | Pevnost v tlaku (MPa) | smodch |
|---------------|--|--|---------------|----------------------------------|---------------|
| A | REF | 6,4 | 0,6 | 24,1 | 1,2 |
| B | Sokrat S2802A 2 % | 4,9/ (-23,4 %) | 0,2 | 14,3/ (-40,7 %) | 0,2 |
| C | Sokrat S2802A 5 % | 3,4/ (-46,9 %) | 0,3 | 12,8/ (-46,9 %) | 0,8 |
| D | Sokrat S2802A 8 % | 4,2/ (-34,3 %) | 0,2 | 12,1/ (-49,8 %) | 0,3 |
| E | D_REF 2 % | 3,1/ (-51,6 %) | 0,1 | 13,2/ (-45,2 %) | 0,5 |
| F | D_REF 5 % | 3,3/ (-48,4 %) | 0,2 | 8,5/ (64,7 %) | 0,3 |
| G | (D_REF_8 %) | 3,3/ (-48,4 %) | 0,3 | 8,4/ (-65,1 %) | 3,3 |
| H | (D_AME_RO20 2 %) | 5,3/ (-17,2 %) | 0,2 | 13,0/ (46,1 %) | 0,7 |
| CH | (D_AME_RO20 5 %) | 4,7/ (-26,6 %) | 0,4 | 11,4/ (-52,7 %) | 0,1 |
| I | (D_AME_RO20 8 %) | 3,9/ (-39,1 %) | 0,7 | 13,7/ (43,2 %) | 1,7 |
| J | (D_AME_LO30 2 %) | 2,6/ (-59,4 %) | 0,1 | 11,2/ (-53,5 %) | 0,1 |
| K | (D_AME_LO30 5 %) | 2,8/ (-56,3 %) | 0,3 | 6,3/ (73,9 %) | 0,5 |
| L | (D_AME_LO30 8 %) | 2,4/ (-62,5 %) | 0,4 | 5,0/ (-79,3 %) | 0,7 |

tab. 12 Výsledky pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku referenční směsi a směsí s latexem

6 Shrnutí výsledků a vyhodnocení

Tato část práce byla zaměřena na studium účinku vodných akrylátových disperzí na vlastnosti cementových tmelů. Latexy jsou používány v praxi jako přísada do tmelů a betonů pojených portlandským cementem, neboť upravují vlastnosti těchto materiálů. Akrylátové latexy mají široké použití v mnoha oborech, tato práce se však zaměřila na studium jejich účinku v tmelech určených pro tmelení jemnozrnných typů tuzemských pískovců, a přitom testovala, jak ovlivňují jednotlivé disperze cementový tmel. Receptura pro jemnozrnné pískovce byla nastavena z praktických zkušeností v oboru restaurování památek tak, aby co nejlépe refletovala vlastnosti jemnozrnných pískovců. Obsahovala Bílý portlandský cement (1 díl), směsi písku (směs Střeleč/Černuc, 4 díly), záměsová voda byla u referenčního vzorku bez obsahu polymeru a u směsí s přidavkem disperze se měnil podíl zastoupení polymeru (přesněji sušiny polymeru). Obsah vody byl v tmelu konstantní a obsah polymeru se ve směsích zvyšoval v koncentraci 2, 5 a 8 hm.% (vztaženo na obsah cementu). Konstantním složením směsi a změnou koncentrace polymeru mohl být studován účinek samotného polymeru a jeho vliv na vlastnosti v čerstvém a zatvrdlém stavu. V zatvrdlém stavu byly vlastnosti studovány po 28 dnech tvrdnutí po uložení v prostředí se 100 % RH.

Pro tuto práci byly testovány celkem 4 latexy, dva tvořily kopolymery akrylátů a metakrylátů, příp. styren, které se připravily ze syntetických monomerů (stavební disperze Sokrat S2802A – kopolymer S/A, laboratorně syntetizovaný latex D_REF vyvinutý ve spolupráci s FCHT, UPCE (kopolymer MMA/BA). Stavební disperze Sokrat S2802A obsahuje odpěňovací přísadu, čímž se zásadně odlišovala od ostatních latexů. Druhá skupina dvou polymerů byla experimentálně připravena také na FCHT UPCE z monomerů, z nichž část, 20 a 30 % tvořila biosložka (latexy D_AME_RO20 a D_AME_LO30) vyráběná z řepkového (AME_RO – akrylovaný methyl ester řepkového oleje) a lněného oleje (AME_LO).

Cílem této práce bylo zjistit účinek posuzovaných latexů na vlastnosti tmelu v čerstvém a zatvrdlém stavu a posoudit chování nové dosud neznámé skupiny latexů s biosložkou. Z vlastností v čerstvém stavu byly testovány – konzistence, plasticita (rozliv), tmelící vlastnosti, u zatvrdlých tmelů byly studovány objemová hmotnost,

otevřená porozita a nasákavost vodou za atmosférického tlaku, kapilární absorpce vody, ultrazvuková transmise, dynamický modul pružnosti a pevnosti v tahu za ohybu a tlaku.

Výzkum ukázal zajímavé výsledky, které lze shrnout takto:

- Příměsi latexů zásadně ovlivňovaly vlastnosti směsí s čerstvém stavu, která se projevila již při přípravě a zpracování směsí. Při míchání podle normou popisovaného postupu směsi výrazně pěnily a připravené tmely byly pro tmelení řídké, silně napěněné a pro tmelení nepoužitelné. Napěnění nezpůsobuje polymer, ale emulgátor v latexu, který tvoří přirozenou součást obou skupin disperzí a přidává se běžně již při přípravě latexu jako stabilizační přísada. Kvůli pěnění se postup míchání musel upravit – suché složky se míchaly jako první, teprve následně se přidávala voda a disperze, míchání bylo provedeno při nižší intenzitě otáček. Opačný postup není v případě testovaných latexů možný a je nutné s tím počítat při přípravě tmelů. Kvůli redukci pěnění by bylo vhodné odzkoušet účinek odpěňovačů, které by problémy s mícháním odstranily a v konečném důsledku by mohly ovlivnit i výrazné změny vlastností tmelů v zatvrdlém stavu, které se u testovaných směsí projevily (viz dále). U jediného latexu s odpěňovačem (Sokrat S2802A) se ale výraznější vliv na chování směsi neprojevil.
- I přes úpravu způsobu přípravy tmelů ovlivňovaly latexy zpracovatelské vlastnosti v čerstvém stavu – měnily konzistenci a plasticitu, což je očekávaný výsledek, kvůli kterému se latexy do minerálních směsí používají. Chování latexů není ale do detailu známé. Z výsledků této práce vyplynuly další podrobnosti; směsi zlepšují konzistenci i plasticitu již při 2% obsahu polymeru a obsah polymeru lze pro tmelení navyšovat až k 8 % (například funkční u latex Sokrat S2802A a D_REF). Směsi se s rostoucím obsahem polymeru u většiny polymerů postupně zahušťují, neboť vážou vodu a směs je dobře plastická a tvárná. U koncentrace 8 % jsou některé tmely dokonce polosuché, což není problém například pro tmelení z ruky, kvůli zahušťování konzistence se ale tyto směsi nebudou hodit pro tvorbu výdusků. Z biolaterů se popsanému ideálnímu chování nejvíce blížil tmel H, CH s 2 a 5 % D_AME_RO20 polymeru. Tmely s vysokým obsahem biolaterů (8 %) byly vysoce lepivé, takže se lepily na špachtli a povrchy formy a nelze je pro do tmelů jednoznačně doporučit.
- Vlastnosti směsí v čerstvém stavu určují vlastnosti tmelů po vytvrdnutí. Zásadní roli hraje zvýšení porozity v důsledku účinku emulgátorů. Díky tomu se u směsí s latexem snižuje objemová hmotnost, která při navyšování poměru latexu značně klesá oproti referenčnímu tmelu. S rostoucí porozitou a nižší objemovou hmotností souvisí snížení pevnost v tlaku

a pevnost v tahu za ohybu, redukuje se rychlost UZ transmise. S rostoucí porozitou naopak roste celková nasákavost.

- Uvedené vlastnosti se mění individuálně s typem latexu, na míru změny vlastností má zásadní vliv koncentrace polymeru, přičemž 2 % obsah mění vlastnosti nejméně a 8 % nejvíce, v některých případech až extrémně (viz například směsi s latexem D_AME_LO30), což je nutné při výběru receptury zvážit. Zvýšení porozity, nasákavosti a snížení pevností bude mít určitě vliv na životnost opravy.
- Doprovodným jevem u tmelů s latexem je snížení kapilární nasákavosti u latexem modifikovaných vzorků. Ta by měla podle předpokladů spíše růst tak, jak roste celková nasákavost vodou. Podle výsledků je tomu zcela naopak. Pokles kapilární nasákavosti může být způsoben buď redistribucí velikosti pórů a celkovým poklesem obsahu kapilárních pórů způsobený účinkem latexu, což není v rozporu s tím, aby se celková porozita v důsledku přidání disperze mohla zvyšovat. Druhým vysvětlením by mohl být hydrofobní účinek latexů, který jasně vidíme u směsí s biolatem. U obou směsí je vidět další pokles koeficientu kapilární nasákavosti oproti směsím se syntetickými latexy, která u D_AME_RO20 klesá s rostoucím obsahem polymeru ve směsi. U vzorků s D_AME_LO30 se koeficient mění nezávisle na koncentraci polymeru ve směsi. U mnoha vzorků se může jednat o synergický účinek obou jevů. Z hlediska praktického využití tmelů je tento výsledek jednoznačně pozitivem, neboť tmely, ač vysoce nasákové a porézní, mají nízkou kapilární nasákavost, což může ovlivnit jejich zavlhčování nebo vysychání, případně redukovat transportní jevy, které jsou často spojené s poškozováním objektů.
- Z celkového vyhodnocení vyplývá, že latexy mohou vlastnosti tmelů měnit, překvapením je, do jaké míry. Asi nejméně radikálně mění vlastnosti tmelů latex Sokrat S2802A a biolatem D_AME_RO20 v nejnižší koncentraci polymeru ve směsi 2 %. Tmel kombinuje pozitivní účinky latexů na zpracovatelské vlastnosti a změna vlastností směsí v zatvrdlém stavu je přijatelná (vzhledem k účinku a trvanlivosti opravy), včetně zvýšení elasticity tmelu, což je většinou hlavním negativem čistě cementových oprav. I tak je nutné změnu vlastností a její míru individuálně zvážit, neboť růst porozity a nasákavosti tmelů, při současném snížení pevnosti může způsobit nižší životnost opravy, tmel bude měkký, málo soudržný. Na druhou stranu to nemusí být negativem, neboť při výběru opravného tmelu je lepší zvolit takový materiál, který degraduje rychleji než samotný originál. V tomto ohledu jsou všechny studované tmely kompatibilní s tuzemskými jemnozrnnými pískovci, jejichž vlastnosti prezentuje (tab. 5), a pro všechny tuzemské pískovce jsou navržené tmely použitelné.

7 Praktická část

Restaurování sochy Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi

7.1 Základní informace

Lokalizace památky

| | |
|-----------------|---|
| Kraj: | Jihomoravský |
| Okres: | Břeclav |
| Obec: | Moravská Nová Ves |
| Adresa: | náměstí Republiky 691 55 Moravská Nová Ves, |
| GPS souřadnice: | 48.8032033 N, 17.0139772E |

Údaje o památce

| | |
|----------------------------------|---|
| Název památky: | Pomník Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi |
| Klasifikace památky: | nezapsaná památka |
| Autor: | sochař Antonín Soják ze Strážnice |
| Sloh/Datace: | Realismus |
| Materiál/technika: | Pískovec/ sekání do kamene |
| Rozměry: | Výška: 220 cm, šířka 58 cm, hloubka 70 cm |
| Předchozí restaurátorské zásahy: | nejsou známe |

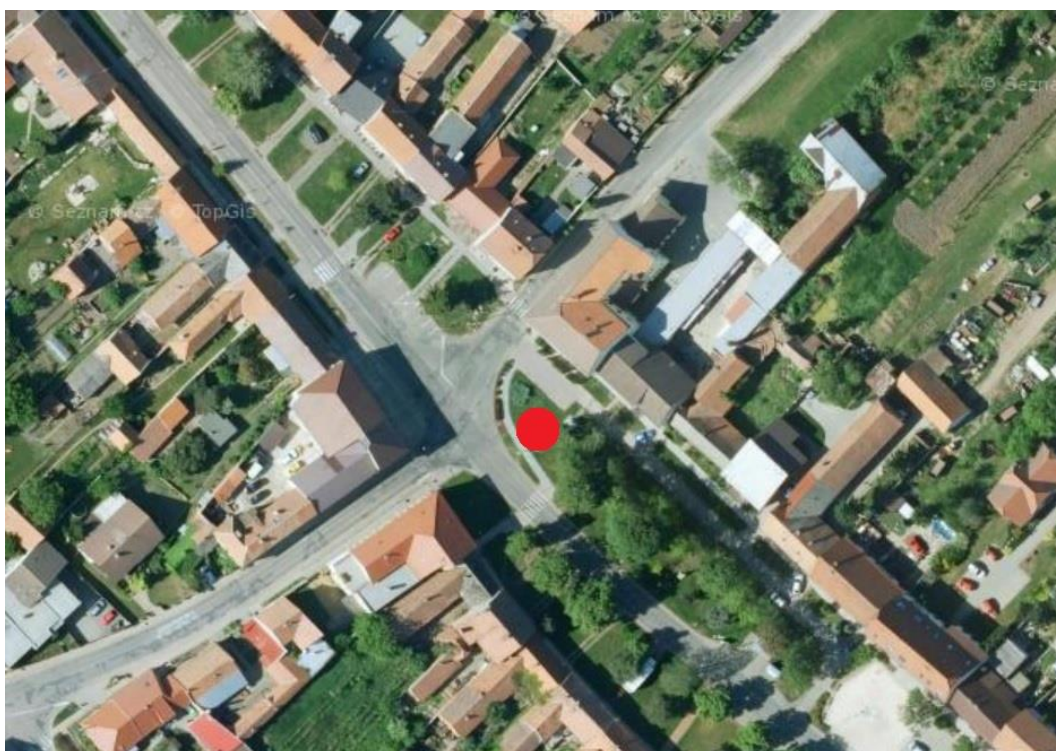
Údaje o akci

| | |
|-------------|--|
| Vlastník: | Městys Moravská Nová Ves |
| Zhotovitel: | Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl |

7.2 Průzkumová zpráva

7.2.1 Popis

Pomník se nachází v Moravské Nové Vsi na parkové zatravněné ploše severozápadní strany náměstí Republiky na křižovatce ulic Dolní a Školní. Jedná se o nadživotní skulpturu Tomáše G. Masaryka s rozměry: výška: 220 cm, šířka 58 cm, hloubka 70 cm. Figura je osazena na hranolovém pískovcovém podstavci se vsazenou mramorovou nápisovou deskou, ve které je vysekán malý státní znak spolu s písmeny T G M a letopočtem 1918-1938. Postava T.G.M má hlavu natočenou mírně doprava, stojí vzpřímeně s rukama spojenýma za zády, pravá noha je mírně nakročena kupředu. Postava má na hlavě vojenskou brigádýrku a je oděna do vojenské uniformy, kabátec je zapnut na knoflíky a stáhnut páskem. Na nohou má postava oblečeny jezdecké kalhoty zvané rajtky zasunuté v holínkách. Hranol za levou nohou podporuje pevnost sochařského díla. V gestu obličeje jsou vetknuty typické charakteristické portrétní rysy prvního československého prezidenta.



obr. 11 Letecký snímek Moravské Nové Vsi, umístění pomníku vyznačeno červeným bodem. zdroj: <https://mapy.cz>.

7.3 Restaurátorský průzkum

7.3.1 Stav díla před restaurováním

Socha v minulosti prošla značnými vizuálními i konstrukčními proměnami. První pochází kolem roku 1948, v tomto období byla pravděpodobně pozměněna hlava a pravá ruka díla do podoby vojáka. Druhou proměnou prošla socha v 90. letech 20. století, jednalo se o navrácení původní podoby sochy. Dne 24.6.2021 prošlo obcí Moravská Nová Ves ničivé tornádo, které zdevastovalo jak obec, tak i sochu T.G Masaryka. Socha byla rozlámána sedmnáct kusů, z toho devět kamenných částí, u dalších kusů se jednalo o doplňky. Rozlámání bylo způsobeno pádem z podstavce. Vizuálním průzkumem jsou patrné druhotné doplňky sochy s vyčnívající armaturou, jedná se o doplněk čepice, modelace obličeje, celé pravé ruky včetně obou dlaní, taktéž jsou rozpoznány doplňky spodního okraje uniformy. Doplňky vznikly s největší pravděpodobností v období druhé proměny díla v devadesátých letech 20. století jako snaha o znovunavrácení původní podoby díla, jelikož jak už bylo zmíněno za dob bývalého režimu byla socha patrně přetvořena na vojáka rudé armády. Po znovunavrácení původní podoby došlo ke zpětnému přesunu sochy na původní místo.

| Hlavní problematika | |
|---|--|
| <p>Rozlomení částí Hlavním poškozením díla je rozlámání na několik částí.</p> |  |
| <p>Druhotné tmely Dílo bylo v minulosti přetvořeno z Masaryka na vojáka Rudé armády. Následně došlo po pádu režimu k přetvoření sochy zpět na T. G. Masaryka. Při navrácení podoby musely být do plněny jednotlivé části tmelem na cementové bázi.</p> |  |
| <p>Úbytek materiálu Pádem z podstavce při vichřici došlo k uražení vystupujících částí díla.</p> |  |

obr. 12 Hlavní problematika díla.

7.4 Zadání a cíle navazujících průzkumů

Jelikož došlo k poškození sochy vlivem pádu, je zapotřebí zjistit, zda materiál není strukturálně degradovaný, či se ve hmotě nenachází praskliny. Vizuální průzkum je nutno doplnit o měření ultrazvukovou transmisí které vyhodnotí stav sochy. Na základě této metody bude rozhodnuto o celkové koncepci díla, tedy zda bude možné sochu osadit na původní místo, nebo bude nutné zhotovit kopii. Dále bude nutné shromáždit historické fotografie a prameny které nám přinesou důležitou informaci o proměnách díla.

7.5 Umělecko-historický průzkum

Umělecko – historický průzkum se zabývá hledáním historických fotografií z různých období a proměn díla, dále hledáním pramenů, předloh pro zhotovení díla a podobných analogií.

7.5.1 Úvod do umělecko-historického průzkumu

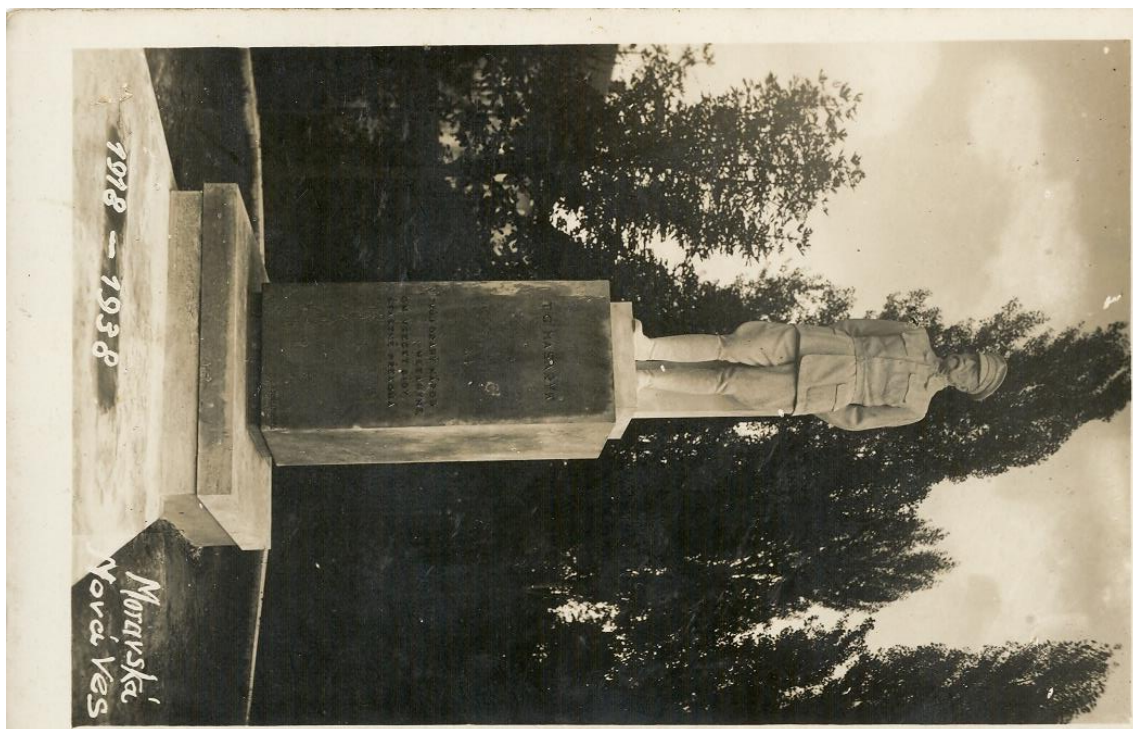
Pro shromáždění informací o díle bylo nejprve potřeba provést rešerši historických pramenů a dokumentů. Proběhlo pátrání ve Státním okresním archivu Břeclav se sídlem v Mikulově, zde byl nalezen list z kroniky Moravské Nové Vsi, kde je zmíněno podání návrhu na stavbu pomníku k uctění 20. výročí založení ČSR. Práce byla zadána sochaři Sojákovi ze Strážnice. Archiv také poskytl kopie listů z knihy Moravská Nová Ves⁵¹, kde byly uvedeny stejné informace jako v kronice. Došlo také ke komunikaci se starostkou obce Moravská Nová Ves Zuzanou Jandákovou, která poskytla tři historické fotografie k dílu a proběhlo zaslání digitálních kroniky obce, jednalo se o též strany jako byla zaslány z archivu. Při hledání dokumentů o pomníku Tomáše G. Masaryka nejvíce přispěla kniha Radima Ryby Moravská Nová Ves: naše historie, kde bylo nalezeno mnoho historických fotografií včetně těch, které byly zaslány starostkou obce. V knize jsou reprodukovány fotografie pomníku z různých období jeho existence.⁵² Další informace k dílu byly nalezeny v kronice MNV⁵³ a také na webových stránkách Vets.cz – Spolek pro vojenská pietní místa⁵⁴.

⁵¹ HRDLIČKA, Milan. Moravská Nová Ves. 2001.

⁵² RYBA, Radim. Moravská Nová Ves: naše historie. 2022, 185 s.

⁵³ Kronika MNV 1936–1945. 102 s.

⁵⁴ Pomník Tomáš Garrigue Masaryk [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.vets.cz/vpm/mista/obec/610-moravska-nova-ves/n%C3%A1m%C4%9Bst%C3%AD%20Republiky/>



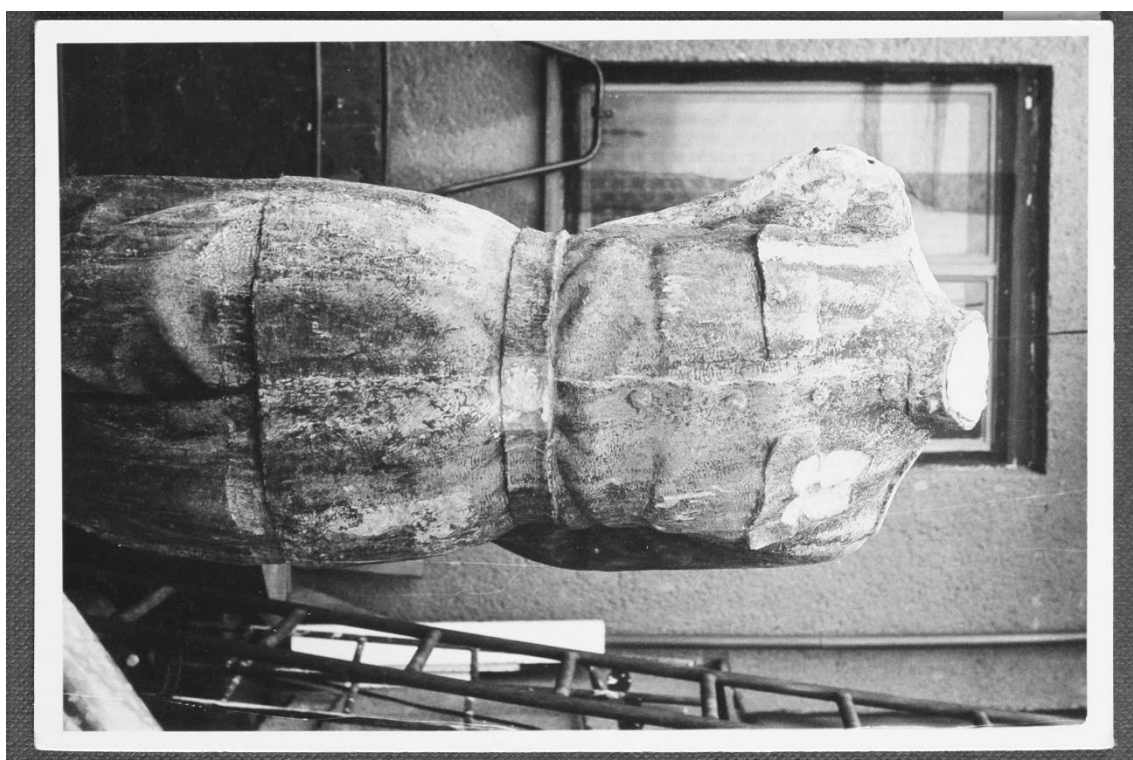
obr. 13 Historická fotografie sochy r.1938 soukromý archiv.



obr. 14 Fotografie odhalení památníku TGM rok 1945, foto Křížek Mor. Nová Ves z knihy Moravská Nová Ves Autor Milan Hrdlička, zdroj foto: p. Kolčava, M.N.Ves.



obr. 15 Znovuodhalení sochy rok 1945 soukromý archiv.



obr. 16 Fotografie torza sochy 70-80. léta 20. stol. Zdroj: Radim Ryba, autor knihy: Moravská Nová Ves naše historie.



obr. 17 Historická fotografie z pohlednice 40.l léta 20. století. Zdroj: Radim Ryba.



obr. 18 Historická fotografie po roce 1990 (znovunavrácení podoby sochy). Zdroj: Radim Ryba.



obr. 19 Historická fotografie shromáždění u pomníku T. G. Masaryka roku 1938 zdroj: *Knihá Moravská Nová ves. Soukromá sbírka.*⁵⁵

7.5.2 Ikonografie díla

Tomáš Garrigue Masaryk *7. března 1850 v Hodoníně byl první prezident Československa v letech (1918–1935) a je tak jednou z předních postav české historie. Jeho sochařská vyobrazení nalezneme na celém území České republiky. Charakteristickými prvky těchto pomníků je důstojnost, vznešenost a symbolika moudrosti. Masaryk je často zobrazován jako stojící, se vzpřímeným držením těla, což symbolizuje jeho autoritu, sílu a stabilitu. Jedna z rukou může být volně svěšená podél těla nebo zapřena o bok postavy, druhá ruka většinou svírá knihu, klobouk nebo může být zachycena v gestu hovoru nebo pozdravu. Bývá také zobrazována ve vojenské uniformě zdůrazňující roli v československých legiích během první světové války, kdy jsou obě ruce spjaty za zády, pravá noha je nakročená. Figura je pak oděna do uniformy, vojenské čepice brigády a na nohou má jezdeckou obuv. Toto vyobrazení působí jako by se postava zrovna chystala pronést proslov vůči vojsku nebo lidu. Dalším způsobem zachycení sochy je sedící uvolněná, zamýšlená figura, často s knihou nebo jinými dokumenty. Socha tak má symbolizovat rozjímání důstojnost a zamyšlení. Dalším typem zobrazení je jedoucí postava

⁵⁵ HRDLIČKA, Milan. Moravská Nová Ves. 2001.

na koni ve vojenské uniformě. Při vyobrazení T.G Masaryka vzniklo mnoho zachycení této postavy Československých dějin.

Autor díla Antonín Soják vytvořil patrně v podobných letech i sochu T.G. Masaryka ve Strážnici:

Toto dílo pochází také z rukou sochaře Sojáka ze Strážnice a vzniklo ve stejném období. Vizuálním porovnáním děl se největší pravděpodobností může jednat o modifikaci téhož modelu který byl použit pro sochu v Moravské Nové Vsi jen s pozměněním rukou před tělem a kabátu přehozeného přes ramena. Jde o bronzovou figuru dominující náměstí Svobody ve Strážnici. Figura je oděna do vojenské uniformy, rajtek a jezdeckých holínek, přes záda má přehozený kabátec. Na hlavě má socha posazenou vojenskou čepici brigadýrku. Dílo je posazeno na plintě v kontrapostu, se spjatýma rukama před tělem. Gesto v tváři je vážné a důstojné, vyobrazení má patrně znázorňovat Masaryka chystající se promluvit k vojsku nebo národu.

Další příklady vyobrazení T. G. M.

Socha T. G. Masaryka na Hradčanském náměstí v Praze:

Tato bronzová socha v nadživotní velikosti stojí v Praze na Hradčanech na severovýchodním nároží Salmovského paláce a zobrazuje figuru stojící v kontrapostu. Socha je umístěna na kruhovém žulovém podstavci s nápisem TGM. Figura má pravou ruku s rukou vztaženou v gestu řeči, levá ruka lehce přiléhá k levému stehnu. Masarykova socha je oblečena v obleku s vestou, což zdůrazňuje jeho roli státníka a řečníka. Dílo vytvořili sochaři Josef Vajce a Jan Bartoš podle původního díla sochaře Otakara Španiela z roku 1931.

Socha T. G. Masaryka v Hodoníně:

Jedná se o realistickou bronzovou plastiku v mírně nadživotní velikosti. Socha je zobrazena v kontrapostu, oděna je do obleku s frakem. Plastika spočívá na čtyřbokém soklu z leštěné žuly s nápisem T.G Masaryk. Pomník byl zbudován ještě za Masarykovy vlády v jeho rodném městě. Jedná se o dílo akademického sochaře Aloise Bučánka z roku 1931.⁵⁶

⁵⁶ Online. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatalog.cz/pomnik-t-g-masaryka-14817505>. [cit. 2024-07-15].

Socha T. G. Masaryka v Brně:

Dílo dominuje parku před lékařskou fakultou Masarykovy univerzity v Brně na Komenského náměstí. Jedná se o nadživotní bronzovou sochu stojící na žulovém hranolovém podstavci. Postoj sochy je vzpřímený důstojný se spojenými rucemi za zády. Obličej sochy působí zadumaně a rozmyšlivě. Masaryk je zde zobrazen v obleku s vestou, přes něj má oblečen dlouhý frak. Dílo pochází z rukou Vincence Makovského.⁵⁷

7.5.3 Historie díla

Socha vznikla v roce 1938 ke dvacátému výročí vzniku Československa Sochařem Antonínem Sojákem ze Strážnice sochařskou technikou sekání do kamene.⁵⁸ Za druhé světové války byla socha uschována v dřevníku místní obecné školy a znovu vztyčena na svém místě až po skončení války v květnu 1945, k příležitosti cesty Edvarda Beneše z Košic do Prahy. Následně roku 1948 byla přemístěna do areálu místní vojenské posádky kde sloužila do osmdesátých let dvacátého století s pozměněnou hlavou a pravou rukou. K navrácení sochy zpět na místo došlo v devadesátých letech 20. století.⁵⁹ Při vichřici 24.6.2021 v Moravské Nové Vsi byla socha vlivem pádu rozlámána na několik kusů.

7.5.4 Technika vzniku díla

Socha vznikla technikou sekání do kamene pomocí sochařských nástrojů na opracování kamene. V místech detailů jsou stále patrné stopy po plochém dlátu. Finálně bylo dílo vizuálně sjednoceno po povrchu draperie a soklu zubatým dlátem, nebo pemrlovacím kladívkem, avšak původní stopy po nástrojích překryly pozdější úpravy, a to změna na sochu vojína a zpětné navrácení podoby T.G. Masaryka.

⁵⁷ Pomník T. G. Masaryka. Online. 09. 12. 2018. Dostupné z: https://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_objektu&load=239. [cit. 2024-07-15].

⁵⁸ HRDLIČKA, Milan. Moravská Nová Ves. 2001.

⁵⁹ Pomník Tomáš Garrigue Masaryk [online]. [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://www.vets.cz/vpm/mista/obec/610-moravska-nova-ves/n%C3%A1m%C4%9Bst%C3%AD%20Republiky/>

7.5.5 Předchozí restaurátorské zásahy

Předpokládané pozměnění sochy proběhlo po roku 1948, socha byla pozměněna na vojáka rudé armády. Autor změny není znám. Navrácení podoby T.G. M proběhlo pravděpodobně v devadesátých letech 20. století, autor zásahu není znám.

7.6 Chemicko-technologický průzkum

7.6.1 Úvod do chemicko-technologického průzkumu

Chemicko-technologický průzkum⁶⁰ je nedílnou součástí restaurátorské dokumentace, má za cíl analyzovat stav díla a přispět ke stanovení příčin poškození daného objektu. Socha bude podrobena petrografické analýze, měření nasákavosti a ultrazvukové transmisi. Nejdůležitější vyhodnocení ukáže ultrazvuková transmise, která vyhodnotí, zda dílo může být nadále exponováno.⁶¹

7.6.2 Petrografická analýza

Tato analýza zkoumá vlastnosti hornin. Petrografickou analýzou bylo prokázáno, že materiálem sochy je křemenný pískovec.⁶² Jedná se o pískovec patrně z okolí Moravské nové Vsi. Kámen má světle okrovou barvu místy s nádechem zelené, nebo hnědozelené barvy, samotný povrch je pak zelenošedého zbarvení. Materiál má jemnou až střední zrnitost.

7.6.3 Měření nasákavosti

Cílem této neinvazivní metody průzkumu je snaha zjistit jaký objem tekutiny absorbuje kámen skrze plochu Karstenovy trubice o Ø 30 mm po dobu 10 minut. Výsledek nám poskytuje informaci o nasákavosti neboli absorpci kapaliny do porézní struktury. Ke zkoušce byl použit ethanol a demineralizovaná voda. Z výsledků byla vyhodnocena standardní nasákavost kamene jak na draperii, tak i na hranolu za levou nohou. V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky měření.

⁶⁰ Celková chemicko-technologická zpráva je součástí dokumentace, viz Příloha 12.1

⁶¹ Celková chemicko-technologická zpráva je součástí dokumentace, viz Příloha 12.1

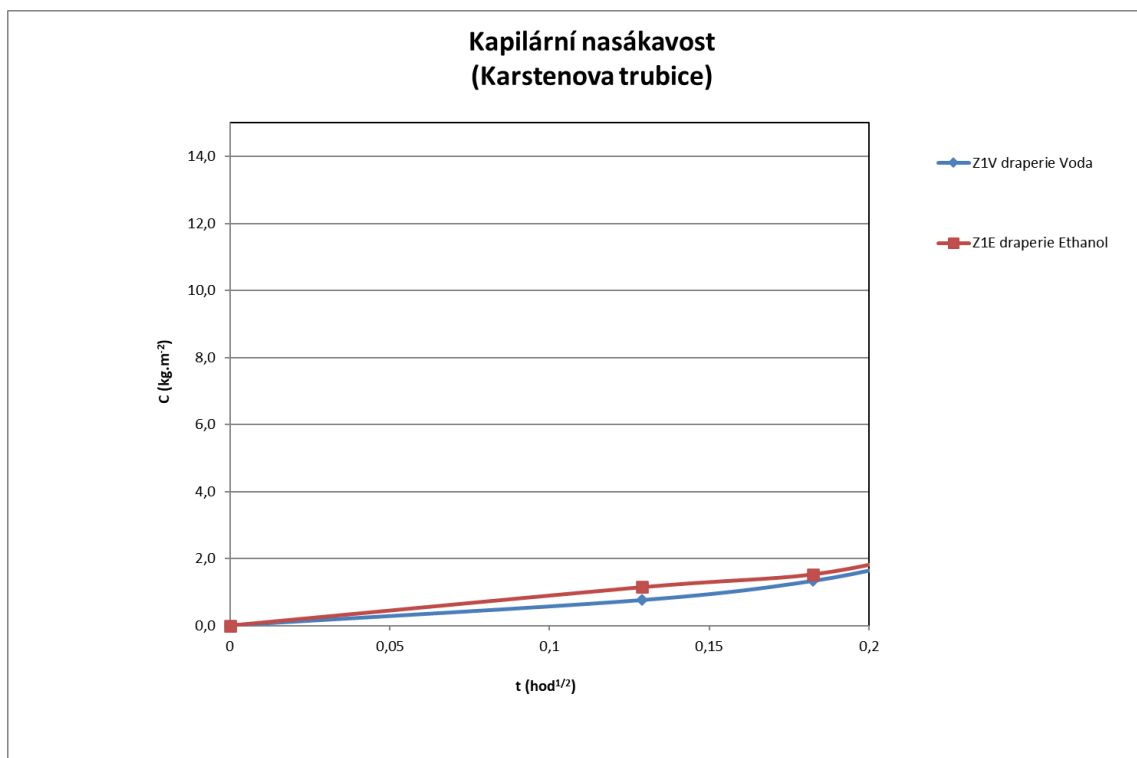
⁶² Celková zpráva z petrografické analýzy je součástí dokumentace, viz Příloha 12.1

| Demineralizovaná voda t(min)/ V(ml) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Koeficient nasákavosti |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|
| Z1V | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | $y = 18,122x - 2,223$ |
| Z2V | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | $y = 18,122x - 2,414$ |

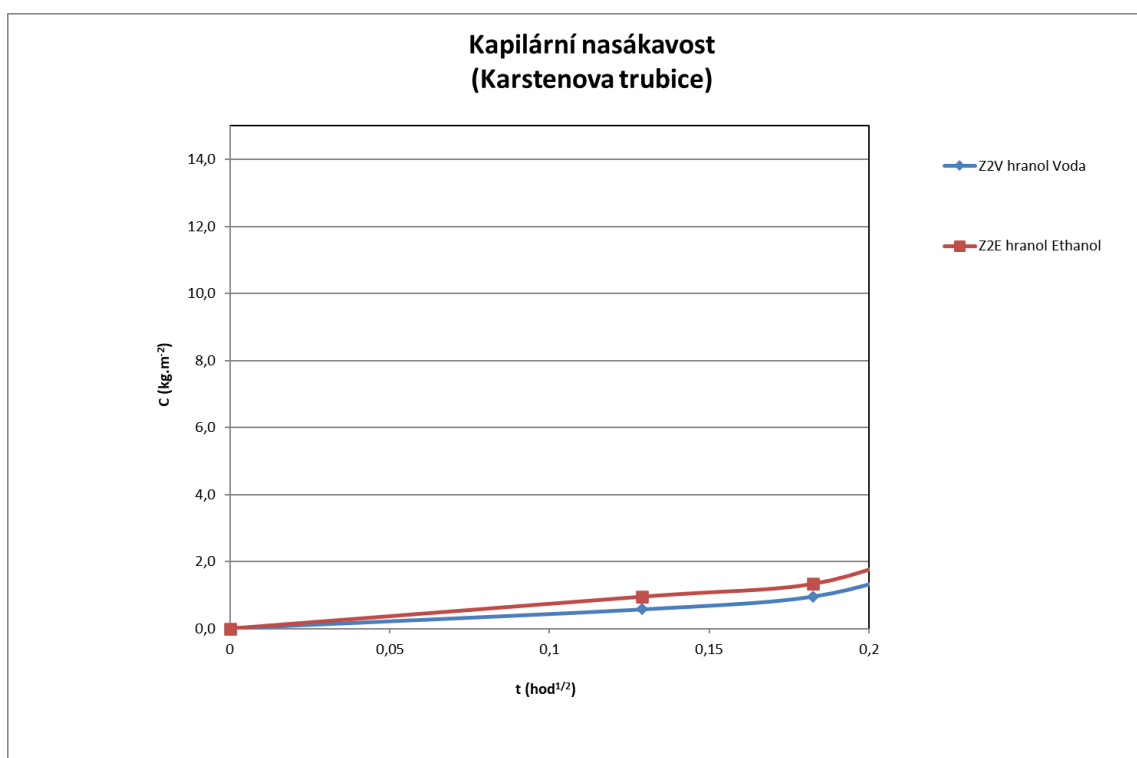
tab. 13 Nasákavost voda.

. tab. 14 Nasákavost ethanol

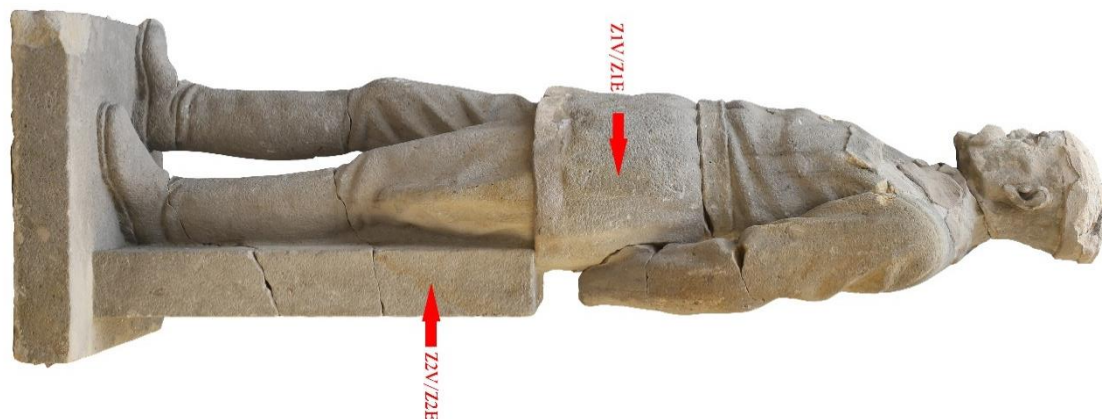
| Ethanol t(min)/ V(ml) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Koeficient nasákavosti |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|
| Z1E | 0,6 | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,8 | $y = 15,726x - 1,0316$ |
| Z2E | 0,5 | 0,7 | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,7 | $y = 13,976x - 0,5766$ |



graf. 3 nasákavosti Z1 V/E.



graf. 4 nasákavosti Z2 V/E.



obr. 20 Fotografie s místy měření nasákavosti.

7.6.4 Ultrazvuková transmise

Měření ultrazvukové transmise je metoda stanovení koheze neboli pevnosti, či soudržnosti materiálu. Vysílač produkuje vysokofrekvenční ultrazvukový tón do přijímače šířící se podélným vlněním přes daný materiál z bodu A do bodu B podle směru kmitání částic. Přístroj se skládá z generátoru, vysílače a přijímače ultrazvukového tónu. Měření ultrazvukové transmise provedené na soše T. G. Masaryka prokázalo celkově dobrý stav díla. Pouze v místech defektů a okrajích odlomených částí byly naměřeny nižší hodnoty UZ transmise, doporučuje se tyto okraje defektů konsolidovat organokřemičitým přípravkem, zvláště okraje plintu. Jedná se o místa s nižší kohezí materiálu. Na základě této metody bylo rozhodnuto navrácení sochy po restaurátorském zákroku na původní místo.

7.7 Vyhodnocení průzkumu

Dílo zadáno sochaři Antonínu Sojákovi ze Strážnice, který jej vytvořil roku 1938 ke dvacátému výročí vzniku Československa technikou sekání do kamene.⁶³ Ze stejného roku pochází také socha T.G.M vytvořená také sochařem Sojákem pro Náměstí Svobody ve Strážnici. S největší pravděpodobností byly sochy zhotoveny podle stejného modelu, jelikož ve Strážnici je dílo shodné svým trupem se sochou v Moravské Nové Vsi pouze je doplněno o kabát a usazení rukou před tělem. V minulosti díla došlo ke značným vizuálními i konstrukčními proměnám. První pochází kolem roku 1948, v tomto období byla pozměněna hlava a pravá ruka do podoby vojáka⁶⁴. Druhou proměnou prošla socha

⁶³ Kronika MNV 1936–1945. 102 s.

⁶⁴ RYBA, Radim. Moravská Nová Ves: naše historie. 2022, 185 s.

v 90. letech 20. století, jednalo se o navrácení původní podoby sochy. Dne 24.6.2021 prošlo obcí Moravská Nová Ves ničivé tornádo, které zdevastovalo jak obec, tak i sochu T.G Masaryka. Socha byla rozlámána sedmnáct kusů, z toho devět kamenných částí, u dalších kusů se jednalo o doplňky. Rozlámání bylo způsobeno pádem z podstavce. Vizuálním průzkumem jsou patrné poškozené druhotné doplňky a tmely vlivem pádu sochy, poškození spočívá v oddělení plastických retuší od podkladu a vyčnívající armaturou, tyto tmely a doplňky jsou pevnější než materiál kamene. Jedná se o doplněk čepice, modelace obličeje, celé pravé ruky včetně obou dlaní, taktéž jsou rozpoznány doplňky spodního okraje uniformy. Doplňky vznikly s největší pravděpodobností v období druhé proměny díla v devadesátých letech 20. století jako snaha o znovunavrácení původní podoby díla, jelikož jak už bylo zmíněno za dob bývalého režimu byla socha patrně přetvořena na vojáka rudé armády. Po znovunavrácení původní podoby došlo ke zpětnému přesunu sochy na původní místo. Při hledání historických pramenů byl osloven Státní okresní archiv Břeclav, obec Moravská Nová Ves a autor knihy Moravská nová ves naše historie. Tyto zdroje poskytly dostatek materiálů pro hlubší poznání díla a jeho historických Samotné dílo prošlo chemicko-technologickým průzkumem který zhodnotil stav díla. Stanovení pevnosti pomocí ultrazvukové transmise byl vyhodnocen dobrý stav kamene s doporučením konsolidace lokálních míst v oblasti plintu, toto stanovení je zásadní pro nastavení koncepce restaurování, jelikož dílo může být na základě vyhodnocení navráceno po restaurátorském zásahu do exteriéru. Zkouškou nasákavosti pomocí Karstenovy trubice, která měří nasycení kamene byla vyhodnocená dobrá nasákavost kamene. Petrografická analýza identifikovala kámen jako křemenný pískovec pocházející z místních zdrojů těžby, kámen je charakteristický jemnou až střední zrnitostí, světle okrovo-zelenou barvou.

7.8 Zkoušky materiálů a technologií

7.8.1 Zkoušky tmelů

Před zhotovením vzorků tmelů byl prozkoumán materiál v místě lomových ploch, aby bylo možno napodobit kámen barevným odstínem a hrubostí. Pro sochu bylo vyhotoveno pět vzorků plastické retuše. Všechny vzorky byly míchány ze směsi písku Střeleč a bílého Portlandského cementu (plnivo: pojivo) 3:1, plnivo tvořilo vyšší nebo nižší zastoupení frakce písku Střeleč v rozmezí zrnitosti od <math><0,5\text{mm}</math> do <math><0,2\text{ mm}</math>. Barevnost tmelů se odvíjí od zastoupení světlostálých pigmentů přidávaných do směsi v průběhu míchání. Vzorky VZ2-VZ5 obsahovaly pigment révová čern a umbra zelenavá v různých poměrech. Pouze barevnost VZ1 se liší kvůli použití pigmentu okr žlutý. Nejvhodnějším tmelem se stal VZ č.3 skládající se z 2 dílů písku Střeleč <math><0,5\text{mm}</math>, 4 dílů písku Střeleč 0,2 mm a bílého Portlandského cementu v poměru pojivo/plnivo 1:3. Tmel vyhovoval parametry barevnosti, zrnitosti, tvrdosti i nasákavosti. Ostatní vzorky tmelů nevyhovovaly pro svou barevnost či zrnitost.



obr. 21 Fotografie zkoušek tmelů.

7.9 Restaurátorský záměr

7.9.1 Koncepce

Socha T.G. Masaryka v minulosti prošla řadou proměn, bylo tedy zapotřebí zohlednit, jak bude dílo prezentováno po restaurátorském zásahu. Vzhledem k poškození pádem se původně uvažovalo pouze o konzervaci originálu, který by byl uložen do depozitáře a jeho náhradě sekanou kopií, nebo kopií z umělého kamene. Umístěním v interiéru by mohly být prezentovány historické proměny díla zachované do současnosti a bylo by zamezeno degradaci plastické retuše, která vizuálním průzkumem pro špatný stav není vhodná k prezentaci v exteriéru.

Na základě měření ultrazvukové transmise, která vyhodnotila dobrý stav materiálu, bylo vyhodnoceno navrátit sochu na původní místo, jelikož v průběhu historie byl originál sochy vždy navrácen na své původní místo a neodmyslitelně k němu patří. Navrácením díla do exteriéru projde socha komplexním restaurátorským zásahem, který má za cíl prodloužit životnost díla odstraněním korozních prvků a druhotných vysprávek. Vizuálním ohledáním je patrné že historické doplňky a plastické retuše nejsou vhodné pro svůj stav a tvrdost k prezentaci v exteriéru a bude nutné je odstranit spolu s nevyhovujícími korodujícími čepy zhotovené z korozivního kovatiny a drátu. Chybějící část paže bude doplněna na základě nalezených historických fotografií výduskem z umělého kamene a defekty doplněny vhodným tmelem s podobnými vlastnostmi jako originál, aby se zachovalo celistvé vnímání poslední podoby sochy, která reflektuje původní stav s ponecháním stop sochařství socialistického realismu jako dokladu historického vývoje objektu a akceptace eroze povrchu.

7.10 Restaurování

7.10.1 Postup prací

- Transfer díla

Dílo bylo přivezeno do ateliéru na třech paletách se záměrem provedení komplexního restaurátorského zásahu.

- Lepení

Socha byla sestavena a slepena pomocí epoxidového lepidla Akepox 5010 a nerezové kulatiny, v místech obou lomových ploch byly vždy vyvrtány otvory pro čep o potřebné hloubce.

- Čištění

Čištění povrchu bylo provedeno nejprve zavlhčením povrchu a poté aplikováním směsí čpavku a peroxidu v poměru 1:1. Jakmile došlo k reakci směsi byla plocha omyta vysokotlakým čističem s regulací tlaku, a plastovými kartáči.

- Konsolidace

Dílo bylo zpevněno organokřemičitým přípravkem lokálně v místě defektů plintu.

- Odstranění druhotných vysprávek

Jednotlivé tmely byly odstraněny pneumatickým mikroperem/mikrodlátem a kamenickým nářadím.

- Odstranění armatury

Veškeré kovové armatury byly odstraněny odvrtáním za pomoci vrtáků do kamene a vrtačky. Uvolněná armatura byla poté vyjmuta z kamene.

- Injektáž

Na lepených místech byla provedena tlaková injektáž směsí Ledan TA1 pro vyplnění styčné plochy.

- Doplňěk paže v umělém kameni

Paže byla nejprve vymodelována na soše v hlíně, následně sejmuta, zaformována a vydusána do umělého kamene. Směs je tvořena stejně jako u plastické retuše z 2 dílů písku Střeleč <0,5mm, 4 dílů písku Střeleč 0,2mm a bílého cementu v poměru pojivo/plnivo 1:3

- Plastická retuše

Chybějící místa byla doplněna plastickou retuší, tmel se skládal z 2 dílů písku Střeleč <0,5mm, 4 dílů písku Střeleč 0,2 mm a bílého Portlandského cementu v poměru pojivo/plnivo 1:3.

- Lepení doplňku paže

Do paže byl nejprve předvrtán otvor společně se styčnou plochou originálu, aby mohl být do obou stran vložen propojovací čep. Následně byly přiloženy díly k sobě a slícovány. Po slícování obou stran byly díly odsazeny od sebe a vyplněny lepidlem, vložen nerezový čep do strany sochy a na něj nasazena paže. Po přesném usazení paže a kontrole ze všech pohledových stran byl lepený spoj zafixován upínacími pásy. Jakmile došlo k vytvrzení lepidla vyplnily se dutiny styčných ploch maltovitou směsí.

- Barevná retuše

Došlo k zapojení tmelů nápodobivou barevnou retuší světlostálými pigmenty Kremmer a 2 % disperzí K9.

- Osazení

Socha byla osazena zpět na podstavec v Moravské Nové Vsi a uložena na cementovou maltu s použitím nerezového čepu.

7.10.2 Použité materiály a technologie

- Transfer do ateliéru: nákladní automobil s hydraulickou rukou, úvazy, popruhy, písek na uložení.
- Lokace zbylých kovových armatur: detektor kovů BOSCH GMS 120 Professional.
- Konsolidace: lokální zpevnění organokřemičitým přípravkem KSE 100, KSE 300 od firmy REMMERS.
- Lepení odlomených částí: lepidlo Akepox 5010 od značky Akemi, čepy nerezová závitová tyč.
- Čištění prachových depozitů a biologického napadení: vysokotlaký vodní čistič s regulací tlaku, směs čpavku a peroxidu 1:1.
- Odvrtání zbylých kovových armatur: kombinované vrtací kladivo Hilti, sada tvrdokových vrtáků do kamene.
- Odstranění druhotných vysprávek: kamenické nářadí, pneumatická mikrotužka/mikrodlátka.
- Injektáž lepených lomových ploch: injektážní maltovitá směs Ledan TA1 složená z: hydraulického pojiva, křemičitý prášek, velmi jemná Terra Pozzuoli a příměsí aditiv pro zlepšení zatékavosti.
- Doplňek paže v umělém kameni: modelační hlína, forma: sádra, silikon, směs výdusku: 2díly písku Střeleč <0,5mm, 4 díly písku Střeleč 0,2mm a bílý cement v poměru pojivo/plnivo 1:3.
- Plastická retuš minerálním tmelem: směs písků Střeleč, písiky v poměru 4 díly <0,2mm a 2 díly 0,5mm a Portlandského cementu v poměru plnivo pojivo 3:1 s příměsí světlostálých pigmentů révová čern, umbra zelenavá.
- Lepení doplňku paže: nerezová armatura, epoxidové lepidlo Akepox 5010, injektáž styčných ploch Ledan TA1.

- Barevná retuš tmelů: světlostálé pigmenty značky Kremmer, akrylátová disperse K9 3 %.
- Transfer zpět na místo: nákladní automobil s hydraulickou rukou, úvazy, popruhy, písek na uložení, cementová malta, nerezový čep délky 40 cm, Ø 20 mm pro ukotvení sochy.

7.11 Doporučený režim

Dílo bylo převezeno a osazeno zpět do exteriéru. Vzhledem k vystavení díla klimatickým podmínkám a jejich změnám se doporučuje se provádět pravidelnou kontrolou sochy nejprve po první zimě a následně každé dva roky. Je zapotřebí prohlédnout celkový stav, barevné i plastické retuše. Především důkladně kontrolovat, zda na díle nevznikají drobné trhliny v materiálu, nebo se nevytváří biologické napadení. Preventivním ošetřováním biocidním prostředkem lze prodloužit životnost díla i jeho vizuální vzhled. Kontrolu stavu by měla provádět kvalifikovaná osoba v oboru restaurování.

8 Závěr




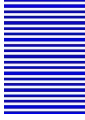



Teoretická část diplomové práce se zabývala studiem účinku akrylátových disperzí/latexů na vlastnosti tmelů s cementovým pojivem určených pro vybrané jemnozrné typy pískovců. V rámci práce byly připraveny a testovány sady vzorků cementových tmelů, do nichž byly přidávány v různé koncentraci akrylátové disperze. Z disperzí byly testovány tradiční stavební akryláty, které byly srovnávány s novou generací aditiv vyráběných z monomerů s podílem biosložky 20 a 30 %. Cílem práce bylo popsat účinek latexů na vlastnosti cementových tmelů a otestovat použitelnost nových akrylátových biolaterů při formulaci nové generace restaurátorských tmelů na jemnozrné pískovce. Výsledkem práce měla být doporučení o používání těchto přísad a získání znalostí o jejich účinku.

Uvedené cíle se podařilo naplnit. Výsledky ukázaly vliv vybraných latexů na cementový tmel, vliv koncentrace polymeru. Účinek byl studován systematickým měřením vybraných vlastností, které ukázaly účinek latexů na vlastnosti směsí v čerstvém i zatvrdlém stavu a naznačily fenomény, které se jejich využitím souvisí. Ze skupiny testovaných biolaterů je nutné pozitivně hodnotit účinek D_AME_RO20, jejíž účinek je srovnatelný s účinkem komerčně užívaného latexu Sokrat S2802A. Nakonec byla provedena základní doporučení pro použití latexů do tmelů, pro jejichž přesnější formulaci by však bylo potřeba výzkum dopracovat například o studium vlastností uvedených tmelů s příměsí odpeňovačů nebo studiem směsi s vyšším obsahem cementu. Tím by se vlastnosti tmelů více přiblížily tuzemským druhům pískovců, pro které byla tato práce primárně určena. Některé tmely zhotovené za účelem poznání vlastností disperzi v cementových směsích by mohly být také testovány pro jiné účely, kde by se využila nízká objemová hmotnost opravné směsi a vysoká porozita. Takové lehčené směsi by mohly být využity v oboru restaurování například ke zhotovování kopií soch nebo architektury určené pro muzeální prostředí nebo depozitář, nebo tam kde se nepožaduje vysoká pevnost a odolnost materiálu.

Praktická část se zabývá komplexním restaurátorským zásahem na pískovcové soše Tomáše Garrigue Masaryka z Moravské Nové Vsi. Socha byla vytvořena k uctění 20. výročí založení ČSR. Dílo vytvořil sochař Antonín Soják ze Strážnice. V minulosti byla socha přetvořena za bývalého režimu na vojáka rudé armády, v té době došlo k pozměnění hlavy a pravé ruky díla. V devadesátých letech 20. století byla zpět navracena podoba

sochy. Dílo bylo zničeno po pádu z podstavce a rozlámáno na několik kusů při tornádu na jižní Moravě. Před započítím prací byl proveden restaurátorský průzkum, z něhož byly identifikovány doplňky sochy pocházející z 90.let. Pro shromáždění informací o díle bylo potřeba provést rešerši historických pramenů a dokumentů. Na základě koncepce vycházející z chemicko-technologického průzkumu, který potvrdil dobrý stav kamene, bylo rozhodnuto o znovuosazení díla do exteriéru a navrácení poslední podoby před poškozením sochy. Samotnému restaurování předcházelo provedení zkoušek použitých materiálů a jednotlivých postupů. Nejprve došlo k očištění sochy směsí čpavku a peroxidu 1:1 s následným omytím vysokotlakým čističem. Po vyschnutí sochy byly defekty zpevněny organokřemičitým prostředkem, po jehož vyžrání došlo ke slepení jednotlivých částí pomocí epoxidového lepidla a nerezových čepů. Lepené styčné plochy byly vyplněny maltovitou směsí. Před doplněním plastických retuší byla vytvořena paže z umělého kamene, vymodelovaná na díle z hlíny a následně odformována a usazena pomocí lepidla a nerezového čepu. Plastickou retuší byly doplněny veškeré defekty díla. Na závěr došlo k vizuálnímu scelení sochy barevnou retuší. Poté byla socha osazena zpět v Moravské Nové Vsi. Jednotlivé postupy restaurování byly konzultovány s vedením ateliéru restaurování kamene na Fakultě restaurování Univerzity Pardubice.

9 Grafická dokumentace

| Legenda | |
|---|---|
| Povlaky biologického původu |  |
| Chybějící části degradovaný materiál |  |
| Tmely a starší restaurátorské vysprávky |  |
| Doplňky |  |
| Praskliny, trhliny |  |
| Nové tmely a doplňky |  |
| Nové čepy |  |

obr. 22 Legenda šrafury.



obr. 23 Grafické zákresy chybějícího a degradovaného materiálu.



obr. 24 Grafické zákresy doplňků a starších vysprávek.



obr. 25 Grafické zákresy nových tmelů, doplňků a čepů.

10 Fotografická dokumentace



obr. 26 Fotografie torza díla před restaurováním.



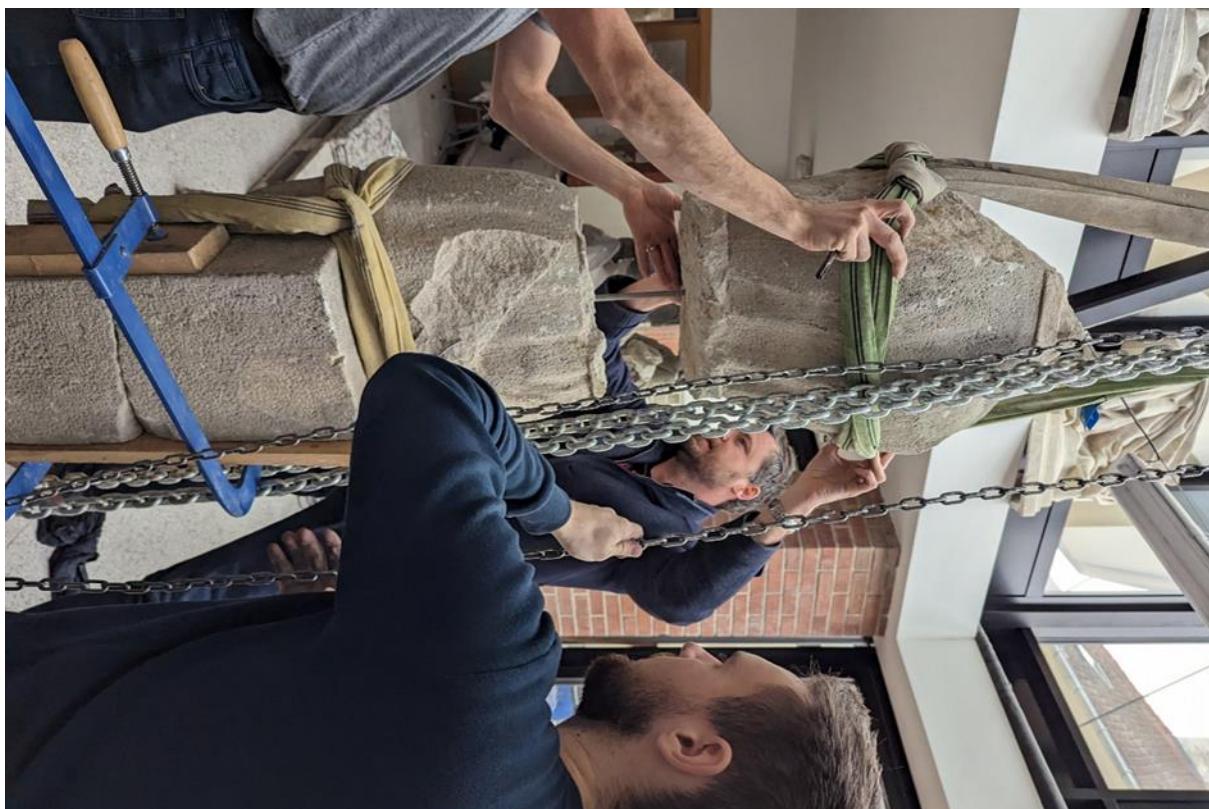
obr. 27 Fotografie fragmentů rukou figury.



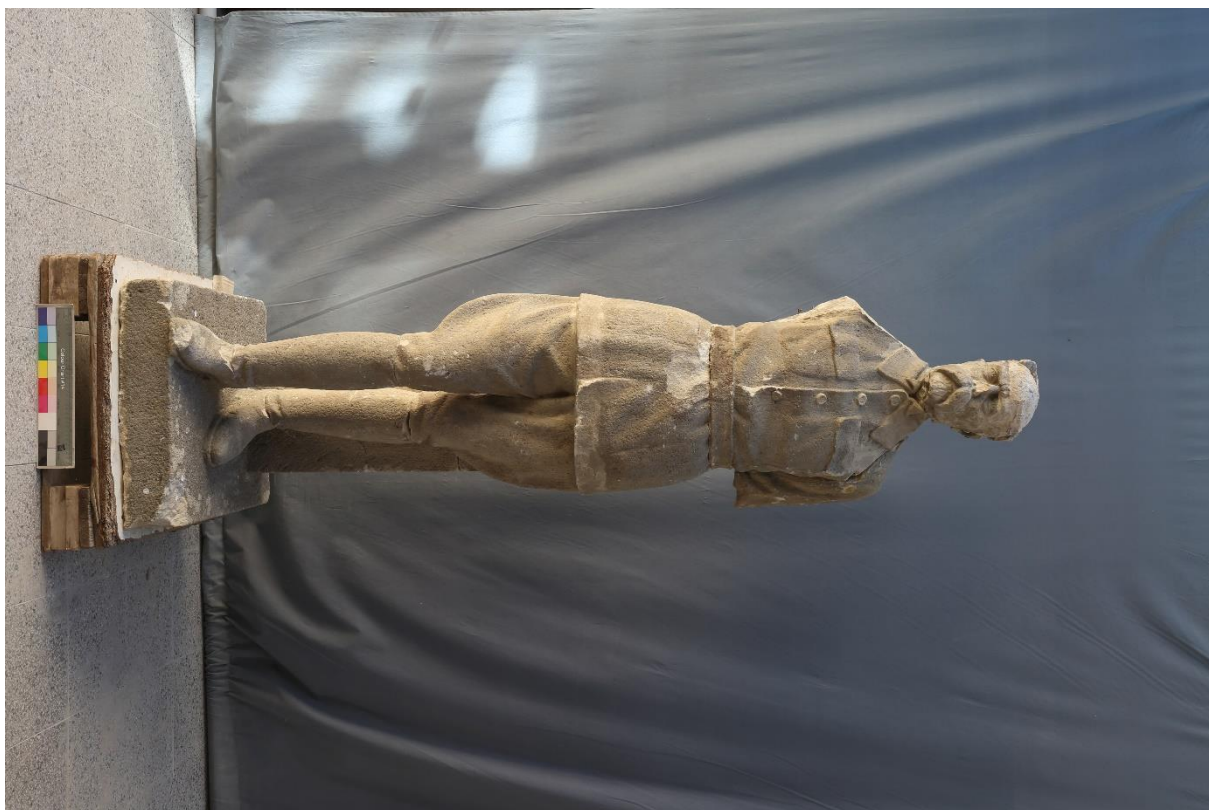
obr. 28 Fotografie plintu s nohami a podporou díla.



obr. 29 Lepení spodních partií sochy.



obr. 30 Lepení trupu sochy na epoxidové lepidlo a nerezovou armaturu.



obr. 31 Socha po slepení, přední pohled.



obr. 32 Socha po slepení, zadní pohled.



obr. 33 Socha po slepení, pravý boční pohled.



obr. 34 Socha po slepení, levý boční pohled.



obr. 35 Úbytek materiálu pokrývky hlavy a nosu.



obr. 36 Chybějící část rukou za zády se zbytky armatury.



obr. 37 Praskliny v úrovni pasu a levé ruky.



obr. 38 Detail místa lomové plochy pravé ruky.



obr. 39 Fotografie po omytí přední pohled.



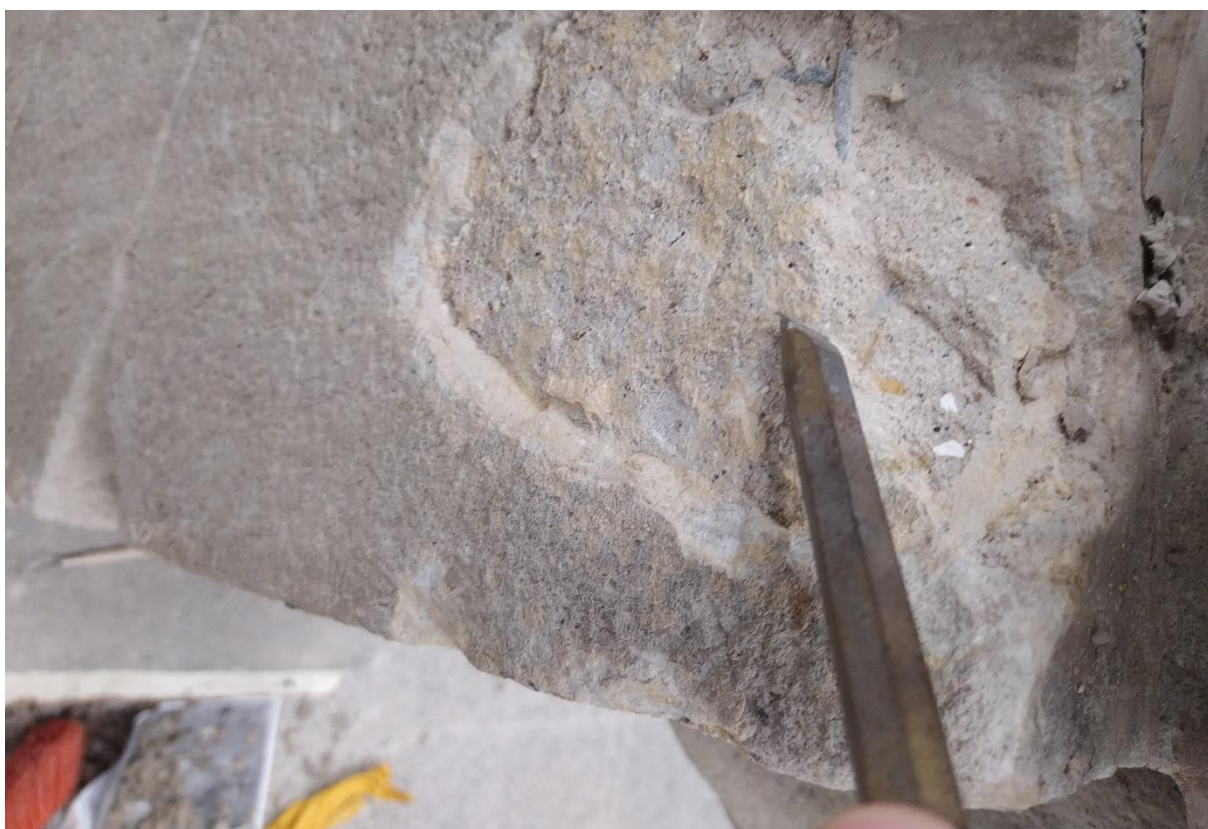
obr. 40 Fotografie po omytí pravý boční pohled.



obr. 41 Fotografie po omytí zadní pohled.



obr. 42 Fotografie po omytí levý boční pohled.



obr. 43 Odstraňování tmelu na hranolu.



obr. 44 Odstraňování tmelu suknice 1.



obr. 45 Odstraňování tmelu suknice 2.



obr. 46 Po odstranění tmelů přední pohled.



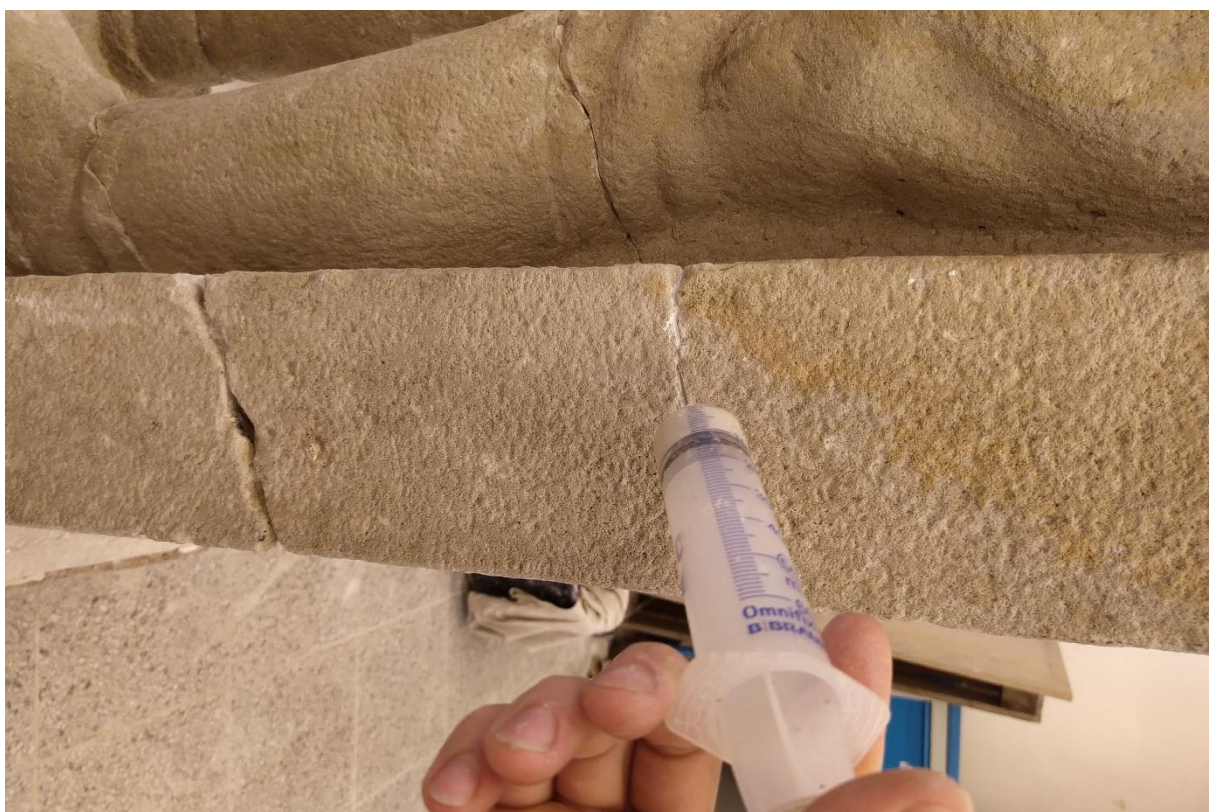
obr. 47 Po odstranění tmelů levý boční pohled.



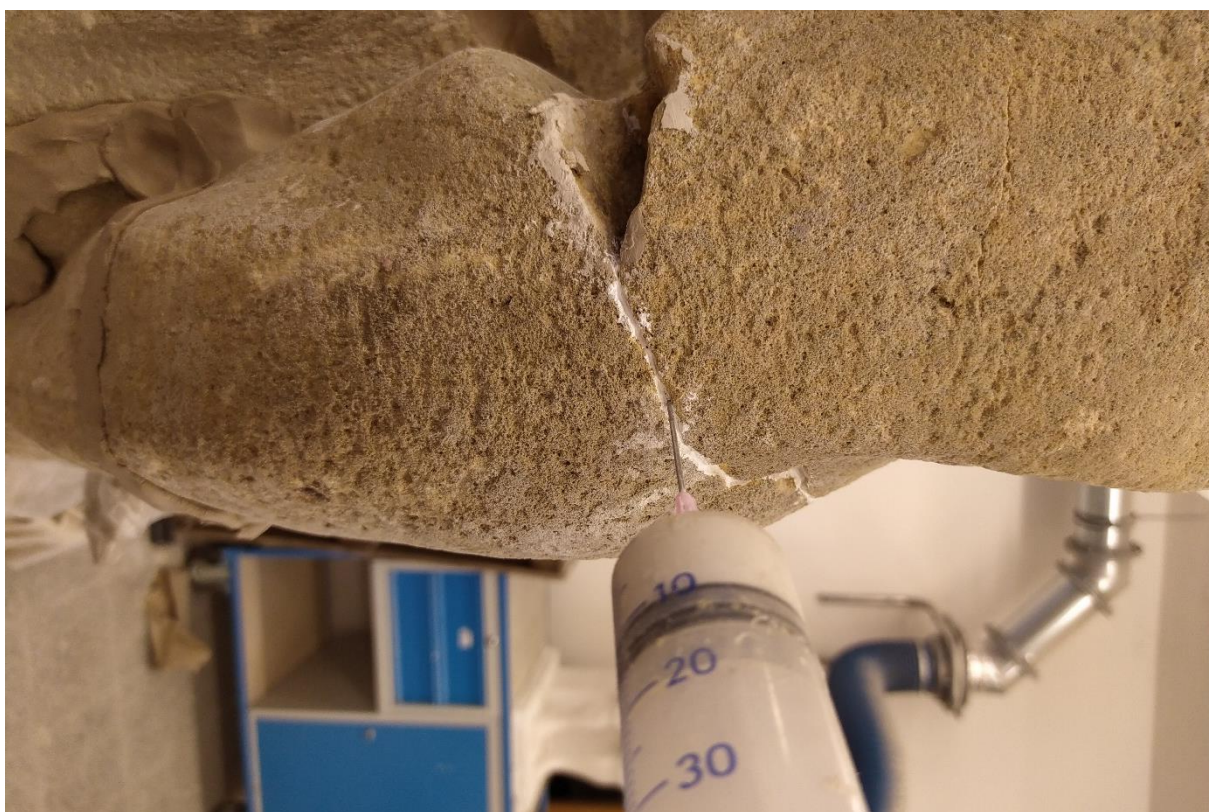
obr. 48 Po odstranění tmelů zadní pohled.



obr. 49 Po odstranění tmelů pravý boční pohled.



obr. 50 Injektáž lomových ploch.



obr. 51 Injektáž lomových ploch 2.



obr. 52 Modelování pravé ruky v hlině.



obr. 53 Modelování pravé ruky v hlině 2.



obr. 54 Tvorba výdusku ruky.



obr. 55 Aplikace směsi umělého pískovce do formy.



obr. 56 Plastická retuše v místě lomových ploch paže.



obr. 57 Plastická retuše lomové plochy hranolové podpory.



obr. 58 Doplnění pokrývky hlavy.



obr. 59 Přední pohled po plastické retuši a osazení výdusku pravé paže.



obr. 60 Levý boční pohled po plastické retuši a osazení výdusku pravé paže.



obr. 61 Zadní pohled po plastické retuši a osazení výdusku pravé paže.



obr. 62 Levý boční pohled po plastické retuši a osazení výdusku pravé paže.



obr. 63 Přední pohled po barevné retuši.



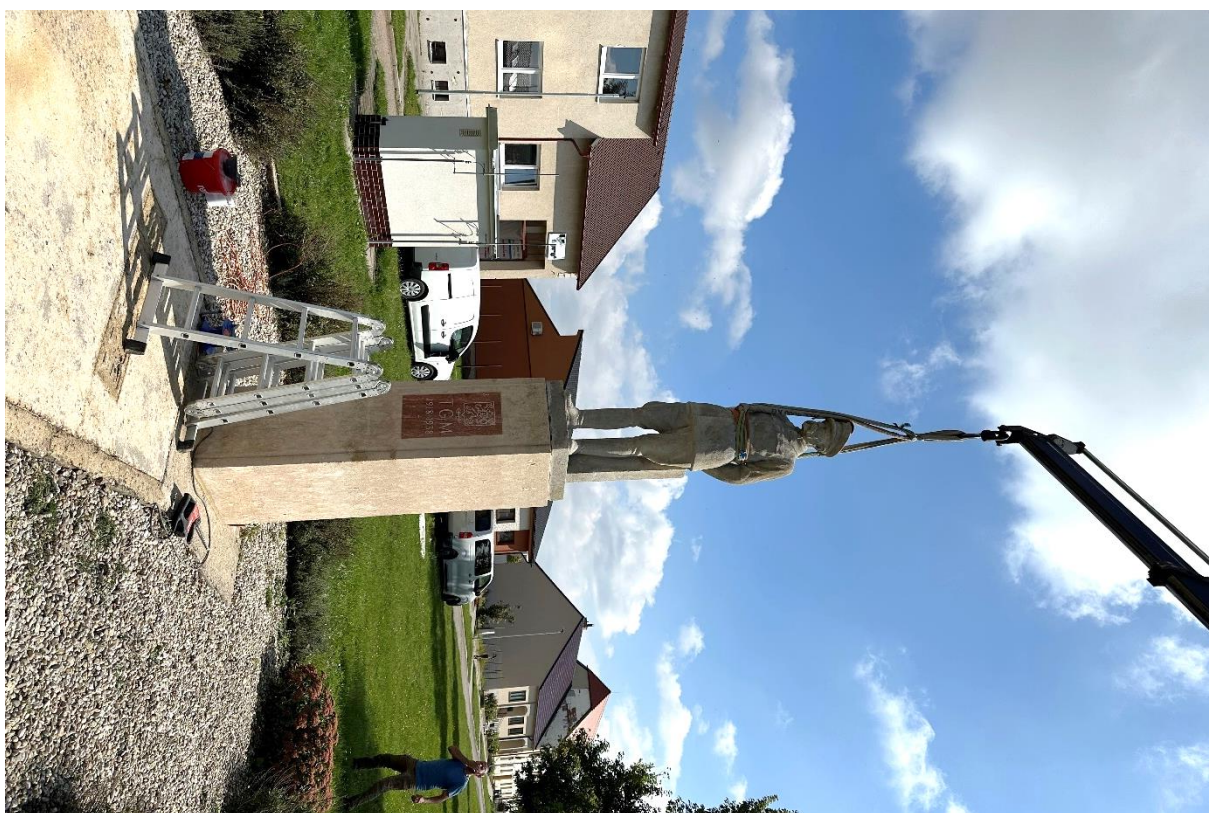
obr. 64 Levý boční pohled po barevné retuši.



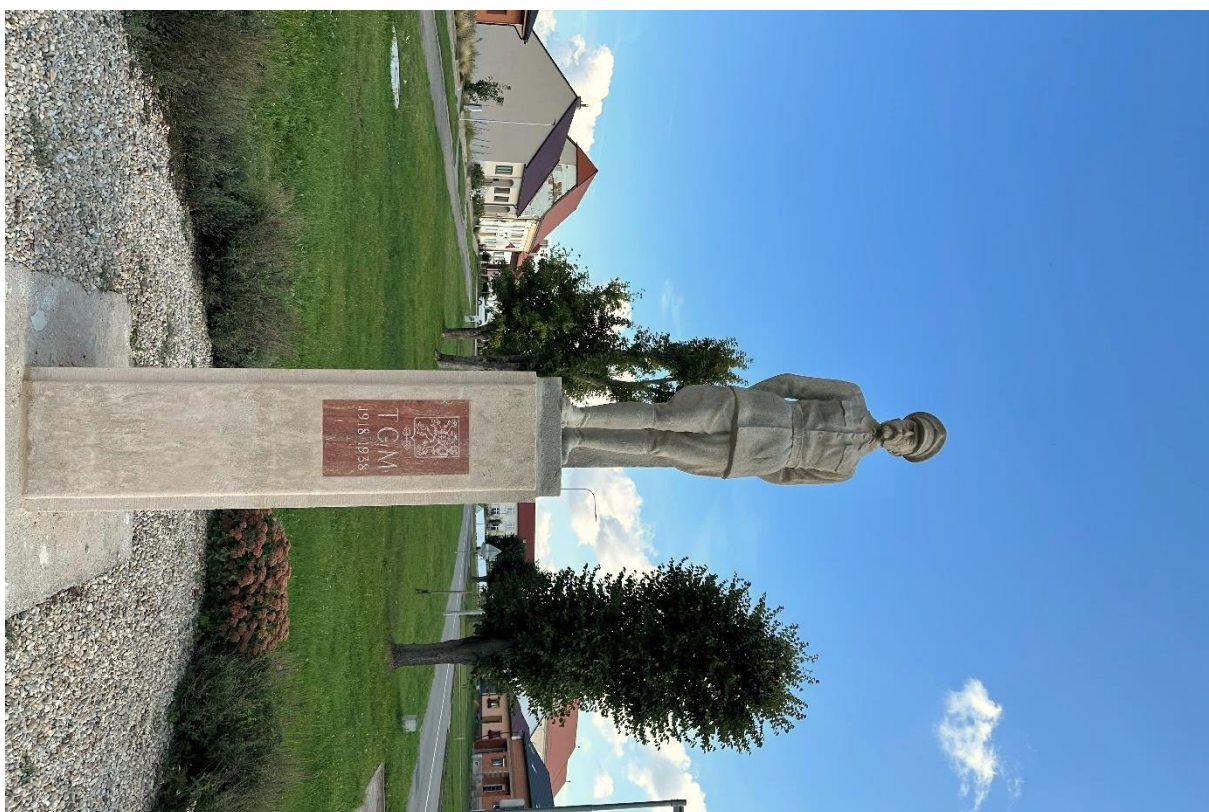
obr. 65 Zadní pohled po barevné retuši.



obr. 66 Pravý boční pohled po barevné retuši.



obr. 67 Osazování sochy zpět na podstavec v Moravské Nové Vsi.



obr. 68 Socha po osazení zpět na podstavec v čele náměstí Moravské Nové Vsi.

11 Přílohy

11.1 Chemicko-technologický průzkum

Petrografická analýza

Zadavatel a kontaktní osoba:

Fakulta restaurování
Univerzita Pardubice
Jiráskova 3
570 01 Litomyšl

Kontaktní osoba: Ing. Renata Tišlová, Ph.D.

Zhotovitel:

Mgr. Dalibor Všíanský, Ph.D.
Karáskovo nám. 17
615 00 Brno
e-mail: daliborv@centrum.cz

Zodpovědný řešitel:

Mgr. Dalibor Všíanský, Ph.D.

Mgr. Dalibor Všíanský, Ph.D.
komplexní analýzy anorganických
materiálů a poradenství
Karáskovo náměstí 17, 615 00 Brno
+420 777 891 934, daliborv@centrum.cz
IČO: 02921928, DIČ: CZ7606253765

Brno 29. 4. 2023

I. Materiál a metodika

Analyzovány byly dva vzorek:

- Masaryk – socha T. G. Masaryka z Moravské Nové Vsi (dále jen „Masaryk“)

Fotodokumentace dodaných vzorků je uvedena na obr. 1.



Obr. 1: Fotodokumentace analyzovaných vzorků

Ze vzorků byly zhotoveny výbrusové preparáty o mocnosti 30 μm , které byly studovány v procházejícím světle pomocí polarizačního mikroskopu Olympus BX 51. Mikrofotodokumentace byla provedena fotoaparátem Canon EOS 60D. Výbrusové preparáty byly dále skenovány pomocí skeneru Canon 9000F Mark II s polarizačními fóliemi. Fotografie i skeny byly editovány v software Adobe Photoshop CS6.

Nad rámec zakázky byla u vzorku Praha provedena i orientační analýza metodou práškové rtg – difraktometrie (XRD) na aparatuře Panalytical X'Pert PRO MPD s Co – anodou ($\lambda K\alpha_1 = 0,178901 \text{ nm}$), RTMS detektorem (X'Celerator) a fixními divergenčními clonami při konvenční reflexní geometrii. Krok: $0,033 \text{ }^\circ 2\theta$, čas na krok: 160 s, úhlová oblast: $4\text{--}60 \text{ }^\circ 2\theta$. Data byla zpracována pomocí software Panalytical HighScore 5. Semikvantitativní fázová analýza byla provedena Rietveldovou metodou. Kvantifikovány byly pouze krystalické fáze.

II. Výsledky

Zkratky použité v obrázcích

PPL = obraz s jedním nikolem (plane polarized light)

XPL = obraz ve zkřížených nikolech (crossed polarized light)

Afs = alkalický živec, Glt = glaukonit, Chl = chlorit, Ms = muskovit, Opq = opákní minerál(-y), Qz = křemen, Tur = turmalín, Zrn = zirkon

II.1. Masaryk

Název horniny: křemenný pískovec (zpevněná klastická sedimentární hornina)

Mikrostruktura: psamitická, bez přednostní orientace

Porozita: <4 %

Objemový poměr klasty: pojivo = cca 6 : 1

Pojivo: jílová matrix, křemitý tmel. Zastoupení pojiva je relativně nízké, mezi klasty pojivo často chybí.

Zrnitost: Středně zrnitý. Vytřídnost je dobrá, velikost klastů se pohybuje převážně v rozmezí 0,1–0,3 mm.

Převažující tvar klastů: nízká sféricita, subangulární až částečně zaoblený

Klasty minerálů: majoritní – křemen, minoritní – muskovit, biotit, alkalický živec, plagioklas, glaukonit, turmalín, opákní minerál(-y), zirkon, rutil

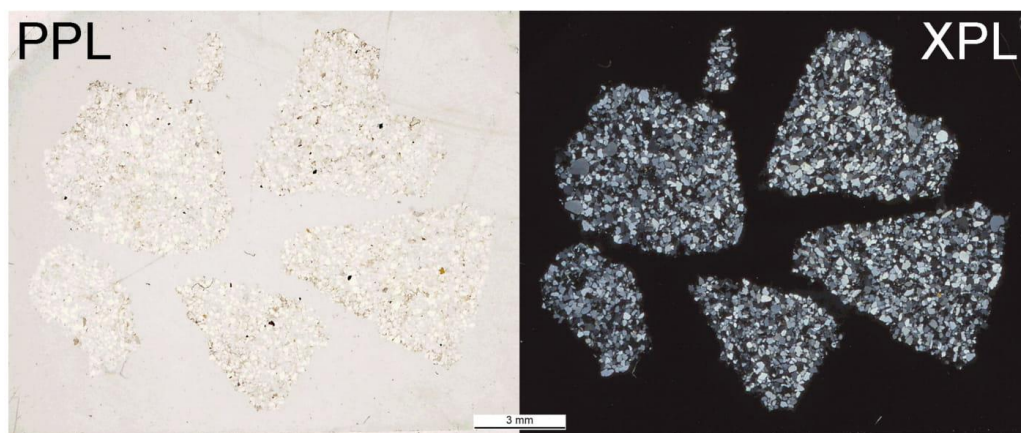
Klasty hornin: majoritní – metakvarcit; minoritní – křemenec (ortokvarcit)

Poznámka: Klasty hornin jsou zastoupeny pouze sporadicky. Výrazně dominantním minerálem klastů je křemen.

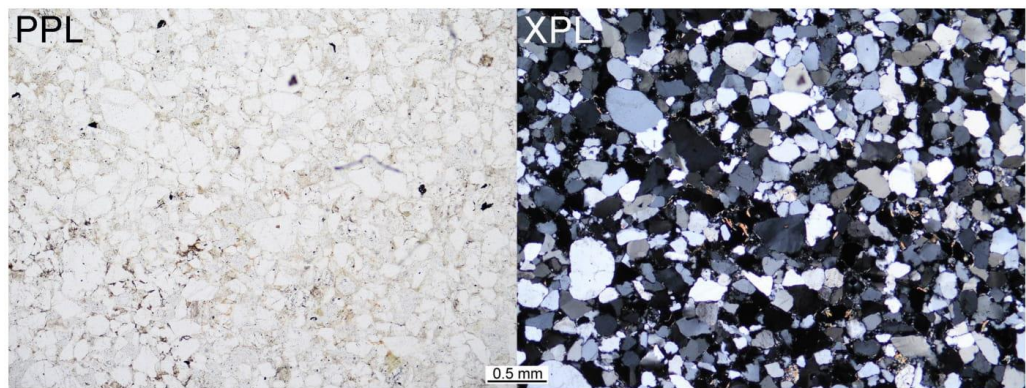
Živce jsou alterované. Křemitý tmel je částečně rekrystalizovaný. V reliktech jílové matrix jsou lokálně přítomny lupínky sericitu (jemně zrnitého muskovitu), drobná individua biotitu a oxyhydroxidy železa.

Zrna křemene v klastech metakvarcitu vykazují undulózni zhašení.

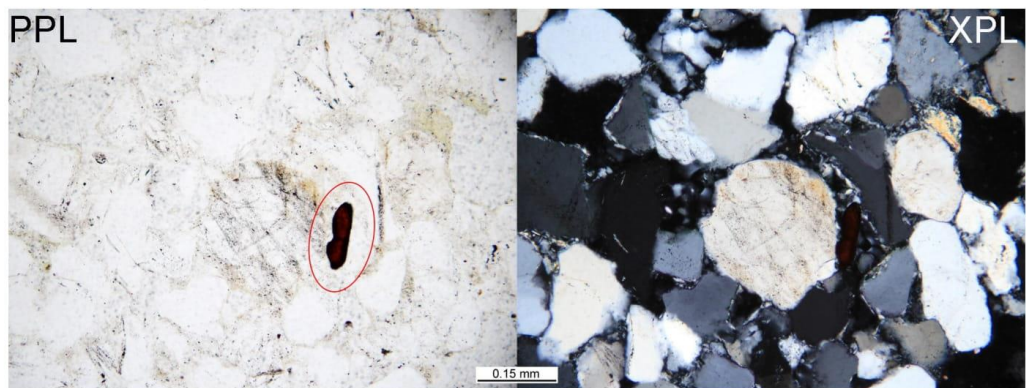
Sken výbrusu a mikrofotodokumentace – viz obr. 2–7.



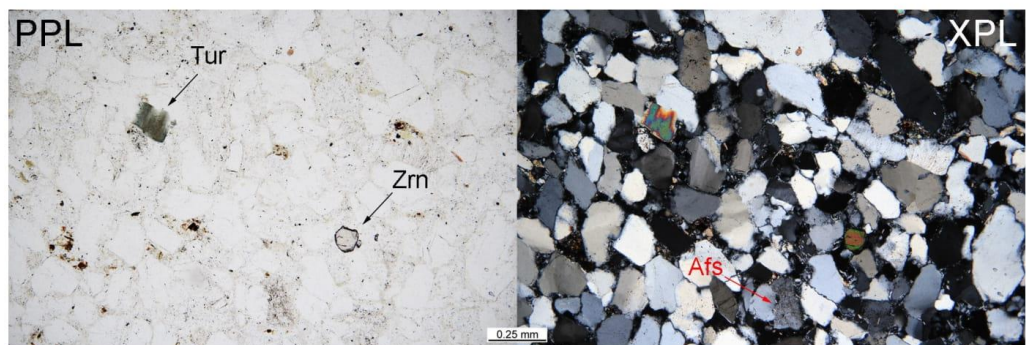
Obr. 2: Vzorek Masaryk – sken výbrusového preparátu



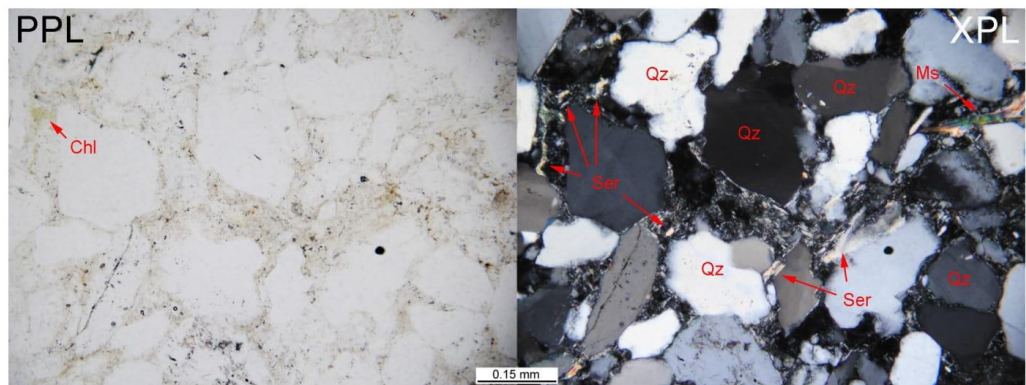
Obr. 3: Vzorek Masaryk – mikrostruktura



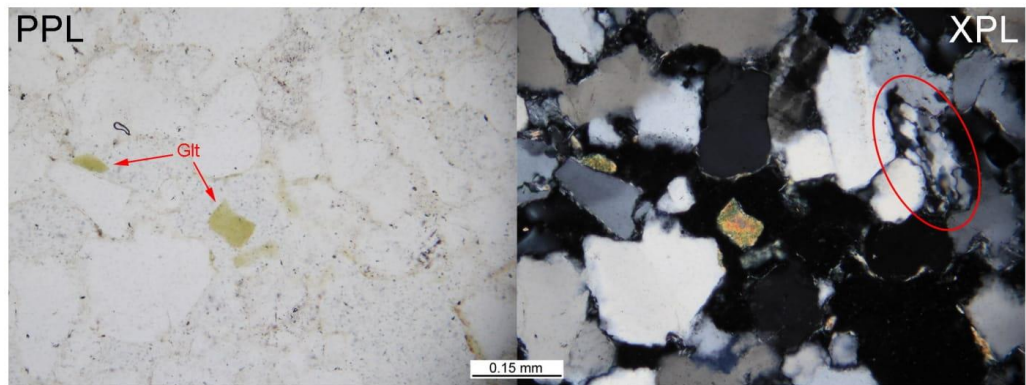
Obr. 4: Vzorek V15 – rutil (ozn. elipsou)



Obr. 5: Vzorek Masaryk – klasty minerálů (většina klastů je tvořena křemenem)



Obr. 6: Vzorek Masaryk – klasty minerálů (křemen, muskovit) a minerály, které jsou součástí jílové matrix – sericit a chlorit



Obr. 7: Vzorek Masaryk – individua glaukonitu a klast metakvarcitu (označeno elipsou)

Převažující tvar klastů: nízká sféricita, částečně zaoblený

Klasty minerálů: majoritní – křemen; sporadicky až vzácně – muskovit, biotit, opákní minerál(-y), turmalín, rutil.

Klasty hornin: majoritní – metakvarcit; minoritní – silicit, křemenec, rula (?)

Poznámka: Klasty minerálů výrazně převažují nad klasty horninovými. Dominantním minerálem je křemen, patrné je dorůstání klastů křemene během diagenese. Zastoupení pojiva je velmi nízké. Křemité tmel je částečně rekrystalizovaný, ale místy má až opticky izotropní charakter. Některá zrna křemene vykazují undulózni zhášení. Na povrchu vzorku pískovce je vrstva obsahující pojivo na bázi portlandského cementu.

Pomník T. G. Masaryka Moravská Nová Ves Chemicko-technologický průzkum



Obr. 1: Socha T. G. Masaryka. Stav před restaurováním 09/2022, Foto: Marek Knot, FR, UPa.

Akce: Restaurování pomníku T. G. Masaryka z Moravské Nové Vsi

Materiál/technika: pískovec, sekaná skulptura

Autor, datace objektu: Josef Soják (sochař), dílo bylo vytvořeno k 20-letému výročí Československé republiky

Umístění památky: nevedeno

Údaje k průzkumu:

Zhotovitel restaurování: Fakulta restaurování (FR), Univerzita Pardubice (UPa), Jiráskova 3, 570 01 Litomyšl, Ateliér restaurování a konzervování kamene a souvisejících materiálů (AK)

Restaurátor: BcA. Marek Knot, student 4. ročníku AK, FR, UPa, odborné vedení: Doc. Mgr. art. Jakub Ďoubal, Ph.D., vedoucí AK, FR, UPa

Chemicko-technologický průzkum: Ing. Renata Tišlová, Ph.D., Katedra chemické technologie (KCHT), FR, UPa

II. ZADÁNÍ a CÍLE PRŮZKUMU

A) Průzkum stavu a poškození plastiky - zahrnuje hodnocení stavu plastiky, jeho poruch a míry zvětrání. Zjištění bude provedeno nedestruktivně *in situ* pomocí měření rychlosti ultrazvukové transmise.

B) Stratigrafie povrchových úprav (pokud jsou přítomny), průzkum složení - na povrchu plastiky se vyskytuje tmavá vrstvička, u které nelze určit, zda se jedná o úpravu povrchu nebo znečištění. Průzkumem má být zjištěn charakter vrstvy a její složení.

C) Vyhodnocení základních vlastností tmelu - průzkum je zaměřen na vyhodnocení kvality dřívě provedených doplňků, které vizuálně vyhovují hornině. Aby se ověřila jejich kompatibilita s materiálem skulptury bude na úlomku tmelu provedeno základní měření vybraných fyzikálních vlastností - celkové nasákavosti a porozity.

III. INSTRUMENTACE, POPIS METOD

a) Ultrazvuková transmise (UZ)

Popis metody: metoda je založena na měření doby průchodu ultrazvukového signálu (ultrazvuk = zvuk s vysokou frekvencí, >20 kHz). V masivnějších materiálech s vyšší mírou stmelení je rychlost ultrazvuku vyšší než v materiálech poréznějších, obvykle méně stmelěných. Tato souvislost platí i mezi zvětralým a nezvětralým substrátem nebo konsolidovaným a nekonsolidovaným vzorkem; v poškozených, korodovaných materiálech, jejich částech nebo vrstvách, je rychlost ultrazvuku nižší než v nepoškozených, „zdravých“ nebo zpevněných objektech resp. jeho částech. Změna ultrazvukového signálu se též projevuje v případě existence nehomogenit a trhlin, v těchto případech je signál zpomalený, deformovaný nebo neprochází vůbec.

Instrumentace a podmínky měření: Měření bylo provedeno před a po zpevnění po odstranění nevhovujících druhotných doplňků, které by měření zkreslovaly. Měření proběhlo na přístroji pro měření ultrazvukové transmise Geotron UKS 14 s externími sondami pro větší vzdálenosti (UNG 46 s měřicí frekvencí 46 kHz, rozlišením 0,1 μ s, zpožděním/kor 2,0 μ s).

Princip měření ultrazvukové transmise (UZ)

Při měření UZ transmise se na povrch objektu přikládají sondy a měří se čas průchodu tzv. p-vlny (longitudinální, podélné). Měřením se zjišťuje čas t přechodu (transmise) UZ-signálu zkoumaným objektem o tloušťce d , který se přepočítává na rychlost v .

zdroj signálu > objekt > příjem signálu

Rychlost ultrazvukové transmise v se vypočítává v km/s dle vztahu:

$$v = d/t, \text{ kde}$$

v - rychlost UZ, m/s příp. km/s, d - měřená vzdálenost, cm, t - čas přechodu signálu, μ s.

b) Optická mikroskopie (OM) nábrusů v odraženém bílém světle a fluorescenci (UV a modrém světle)

Popis analýzy: metoda se užívá pro určení vrstevnaté výstavby vzorků (stratigrafie) a popisu vrstev (podkladu, barevných a jiných povrchových úprav).

Instrumentace a podmínky měření: optický mikroskop Nikon Eclipse LV-100, pozorování bylo prováděno na příčných řezech vzorky (nábrusech) v odraženém bílém světle, UV a modrém světle. Mikroskop je vybaven fluorescenční jednotkou Nikon s UV 365 nm fluorescencí.

c) Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) s mikrosondou (EDX) - prvková analýza

Popis analýzy: Slouží pro prvkovou analýzu materiálů, vrstev, aj. Při průzkumu byla metoda použita k popisu stratigrafie a analýzu prvkového složení povrchových vrstev.

Instrumentace a podmínky měření: skenovací elektronový mikroskop MIRA3-LMU (TESCAN) s EDX analyzátozem v režimu zpětně odražených elektronů (BSE). Vzorky byly analyzovány ve vysokém napětí 20kV, před analýzou pouhličeny. Analyzují se vzorky ve formě izolovaných úlomků nebo nábrusů.

d) Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR) - analýza organických látek

Popis analýzy: Analýza slouží pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin, které jsou přítomny ve vrstvách např. v jeho pojivu. V menší míře se metoda používá pro analýzu anorganických látek nebo jiných materiálů. Složení povrchové vrstvy je možné provádět na separovaných vrstvách/materiálech, z povrchu nebo na úlomcích nebo prášcích.

Instrumentace a podmínky měření: infračervený spektroskop Nicolet 380, Měření bylo provedeno technikou zeslabeného úplného odrazu (attenuated total reflection - ATR). K tomuto účelu je přístroj vybaven Zn-Se krystalem. Spektra byla naměřena v intervalu vlnočtů 400-4000 cm⁻¹, při rozlišení 4 cm⁻¹. Analytickým výstupem měření je infračervené spektrum.

e) Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku a otevřené pórovitosti - stanovení vlastností tmelu a horniny

Popis zkoušky: Zkouška se provádí podle postupu popsaném v normách ČSN EN 13755: *Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku* a ČSN EN 1936: *Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti*.

Podmínky měření: udávají citované normy, oproti normě jsou tělesa nepravidelného tvaru.

IV. VZORKY K ANALÝZE

Popis vzorku a místa odběru sumarizuje Tab. 1, místo odběru je zdokumentováno v *Restaurátorské dokumentaci*, orientačně označeno v Obr. 2.



Obr. 2 a, b: Snímky míst odběru vzorků pro chemicko-technologický průzkum. Vzorky VZa1 a VZc1 byly odebrány ze soklu, vzorek tmelu VZb1 z hlavy, pod čepicí. Foto Marek Knot, FR, UPa.

Vzorky pro chemicko-technologický průzkum:

| Ozn. vzorku | Popis | Místo odběru | Požadovaný průzkum |
|-------------|---------------------------|---------------------|---|
| VZa1/11080 | hornina | sokl, defekt | petrografie horniny (žadáno externě) |
| VZb1/11081 | tmel | hlava, pod čepicí | stanovení fyzikálních vlastností (celková nasákavost vodou, celková porozita) |
| VZc1/11083 | šedo-černý povrch horniny | sokl, okraj defektu | potvrzení přítomnosti povrchové úpravy nebo nečistot, mikroskopické techniky |

Pozn.: Číselné označení vzorků souvisí s evidenčním systémem Katedry chemické technologie, FR, UPa, kde budou vzorky po průzkumu archivovány.

Tab. 1: Vzorky k chemicko-technologickému průzkumu. Popis vzorků a místa odběru. Detail míst odběru a jejich popis je uveden v *Restaurátorské dokumentaci*.

Odběr vzorků: provedl restaurátor ve spolupráci s technologem

Označení a komentář ke vzorkům: Vzorky VZa1 a VZc1 byly odebrány z defektu soklu. Cílem průzkumu vzorku VZa1 byla charakterizace horniny. Tento vzorek byl analyzován externě Mgr. Daliborem Všianským, Ph.D., z Ústavu geologických věd, MU v Brně. Vzorek VZc1 je vzorek povrchové šedé vrstvy, která pokrývá horninu. Cílem analýzy vzorku bylo rozlišit, zda se jedná o povrchovou úpravu nebo vrstvu nečistot. Vzorek VZb1 je vzorek tmelu/doplňku hlavy, u kterého byly stanoveny vybrané fyzikální vlastnosti jako celková nasákavost vodou a celková porozita.

Pro měření UZ transmise se vzorky neodebírají, měření se provádí *in situ* přímo na objektu. Vybraná místa měření jsou zdokumentována kapitole V. VÝSLEDKY PRŮZKUMU (část A. Průzkum stavu a poškození plastiky).

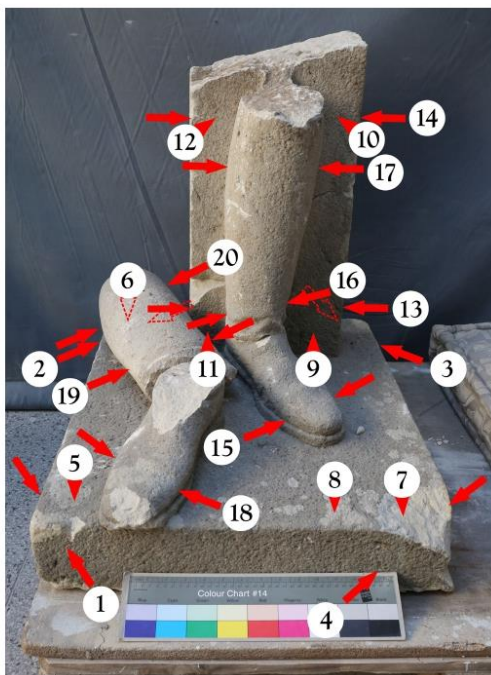
V. VÝSLEDKY PRŮZKUMU

A. Průzkum stavu a poškození plastiky

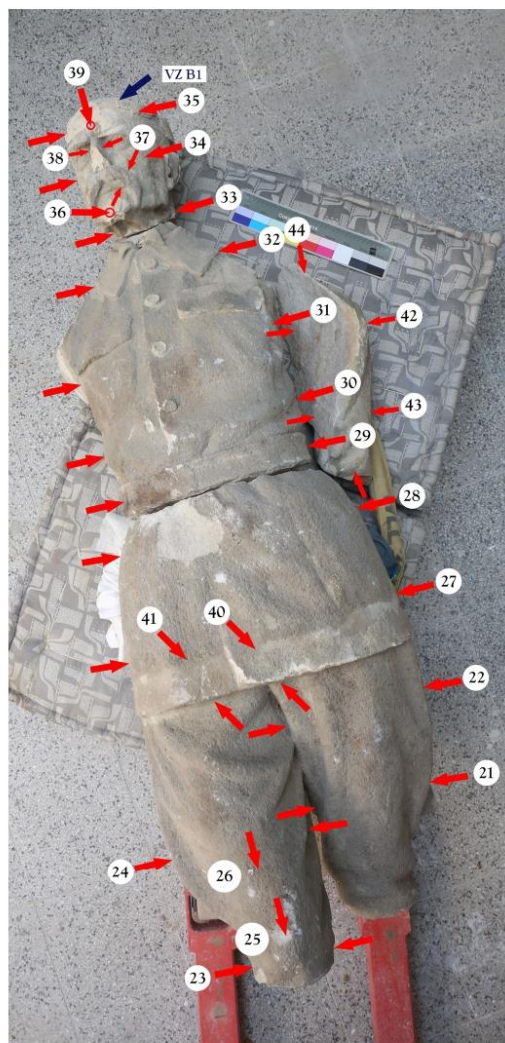
Vyhodnocení UZ transmise

Místa měření ultrazvukové transmise na odlomené části nohou s podstavcem a soše jsou graficky označena na Obr. 3 a 4, výsledky měření rychlosti ultrazvukové transmise udává Tab. 2 a 3.

V tabulkách jsou zaznamenány vypočítané hodnoty rychlosti UZ transmise v (km/s). Kromě nich jsou uvedeny informace o podmínkách měření, tj. např. směru (hodnoceny vůči pohledové straně objektu): -vertikální, p-z - předo-zadní, p-l - pravo-levý, vzdálenosti sond d (cm). V poznámce se uvádí dodatečné informace, které se týkají průchodu signálu. Při nedostatečném nebo nulovém signálu se zaznamenává síla signálu: s - slabý, vss - velmi slabý, ns - neměřitelný nebo ds - deformovaný signál.



Obr. 3: Lokalizace míst měření rychlosti UZ transmise na odlomené části nohou s podstavcem. Hodnoty rychlosti UZ transmise před a po konsolidaci jsou uvedeny v Tab. 2.



Obr. 4: Lokalizace míst měření rychlosti UZ transmise na plastice T.G. Masaryka (druhá odlomená část nohou a soklu). Hodnoty rychlosti UZ transmise před a po konsolidaci jsou uvedeny v Tab. 3.

| č. m. | Popis měření | Směr měření | Vzdálenost sond D (mm) | Stav před restaurováním | |
|-------|---|-------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | | | | v (km/s) | Pozn. |
| 1 | levý přední roh | p-z | 16,0 | 3,49 | II na sedimentační vrstvy |
| 2 | levý zadní roh | p-z | 18,0 | 3,68 | |
| 3 | pravý zadní roh | p-z | 13,7 | 3,55 | |
| 4 | pravý přední roh | p-z | 15,8 | 3,50 | |
| 5 | levý přední roh | v | 13,3 | 3,52 | v místě lomu |
| 6 | levý zadní roh | v | 12,6 | 3,37 | |
| 7 | přední pravý roh | v | 11,1 | 2,80 | - |
| 8 | přední pravý roh | v | 11,2 | 3,00 | mimo lom |
| 9 | blok za levou nohou, vlevo dole | p-z | 13,5 | 3,10 | - |
| 10 | blok za levou nohou, vlevo nahoře | p-z | 13,5 | 3,08 | - |
| 11 | blok za levou nohou, vpravo dole | p-z | 13,5 | 3,05 | - |
| 12 | blok za levou nohou, vpravo nahoře | p-z | 13,5 | 3,10 | - |
| 13 | blok za levou nohou, dole průběžné měření | p-l | 28,0 | 2,94 | - |
| 14 | blok za levou nohou, nahoře průběžné měření | p-l | 28,2 | 2,93 | - |
| 15 | levá bota, nárt | p-l | 12,4 | 3,57 | - |
| 16 | levá bota, nad nártem | p-l | 9,8 | 3,10 | - |
| 17 | levá bota, lýtko | p-l | 12,4 | 2,87 | - |
| 18 | pravá bota, nárt | p-l | 10,1 | 3,17 | - |
| 19 | pravá bota, lýtko | p-l | 10,4 | 3,13 | - |
| 20 | pravá bota, konec konce boty, blízko odlomené části | p-l | 13,3 | 3,17 | - |

Tab. 2: Výsledky měření rychlosti UZ transmise z odlomené části nohou a podstavce. Červené hodnoty označují kriticky snížené hodnoty rychlosti, které je nutné zpevnit.

| č. m. | Popis měření | Směr měření | Vzdálenost sond D (mm) | Stav před restaurováním | |
|-------|-------------------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|-------|
| | | | | v (km/s) | Pozn. |
| 21 | blok za postavou | p-l | 28,5 | 2,97 | - |
| 22 | blok za postavou nahoře | p-l | 28,7 | 3,04 | - |
| 23 | pravá noha, stehno | p-l | 13,2 | 3,08 | - |
| 24 | pravá noha, stehno | p-l | 13,4 | 3,13 | - |
| 25 | pravá noha, stehno | v | 16,2 | 3,05 | - |
| 26 | pravá noha, stehno | v | 16,9 | 2,57 | - |
| 27 | tělo, plášť | p-l | 46,5 | 3,09 | - |
| 28 | tělo, plášť | p-l | 38,3 | 2,93 | - |
| 29 | opasek | p-l | 35,4 | 3,05 | - |
| 30 | trup - výška prvního knoflíku | p-l | 37,1 | 3,20 | - |

| Č. m. | Popis měření | Směr měření | Vzdálenost sond D (mm) | Stav před restaurováním | |
|-------|-----------------------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|-------|
| | | | | v (km/s) | Pozn. |
| 31 | trup, prsa | p-l | 38,3 | 3,14 | - |
| 32 | ramena, přes odlomení | p-l | 31,8 | 3,01 | - |
| 33 | krk | p-l | 15,2 | 3,03 | - |
| 34 | hlava, doplněk, tvář | p-l | 13,0 | 2,88 | - |
| 35 | hlava, spánky | p-l | 16,4 | 2,84 | - |
| 36 | bradka | p-z | 4,0 | 2,29 | - |
| 37 | knír, pravá strana | v | 3,1 | 3,26 | - |
| 38 | nos | p-l | 2,9 | 3,49 | - |
| 39 | hlava, čelo-týl | p-z | 23,1 | 2,84 | - |
| 40 | lem košile | v | 3,7 | 2,20 | - |
| 41 | lem košile | v | 3,3 | 2,64 | - |
| 42 | rukáv, levá strana, odlomená část | p-l | 10,7 | 2,72 | - |
| 43 | rukáv, levá strana, odlomená část | p-l | 12,1 | 3,37 | - |
| 44 | rukáv, podél rukávu | v | 39,6 | 2,91 | ss |

Tab. 3: Výsledky měření UZ transmise naměřené na trupu. Červené hodnoty označují kriticky snížené hodnoty rychlosti, které je nutné zpevnit.

Vyhodnocení: Hodnoty rychlosti transmise naměřené na soše T. G. Masaryka se vyznačují poměrně velkým rozptylem hodnot. Střední hodnoty rychlosti se pohybují od 3,0-3,6 km/s, na některých místech měření však hodnoty rychlosti klesají pod 3,0 km/s až k hodnotám např. 2,2 km/s (měření 36, 40, hodnoty okolo 2,6 km/s byly naměřeny u měření 26, 41, 42). Nižší hodnoty rychlosti poukazují na lokálně horší stav horniny. Nejvíce degradovaná je hornina na místech s defekty nebo na okrajích odlomených částí.

B. Stratigrafie povrchových vrstev a průzkum složení

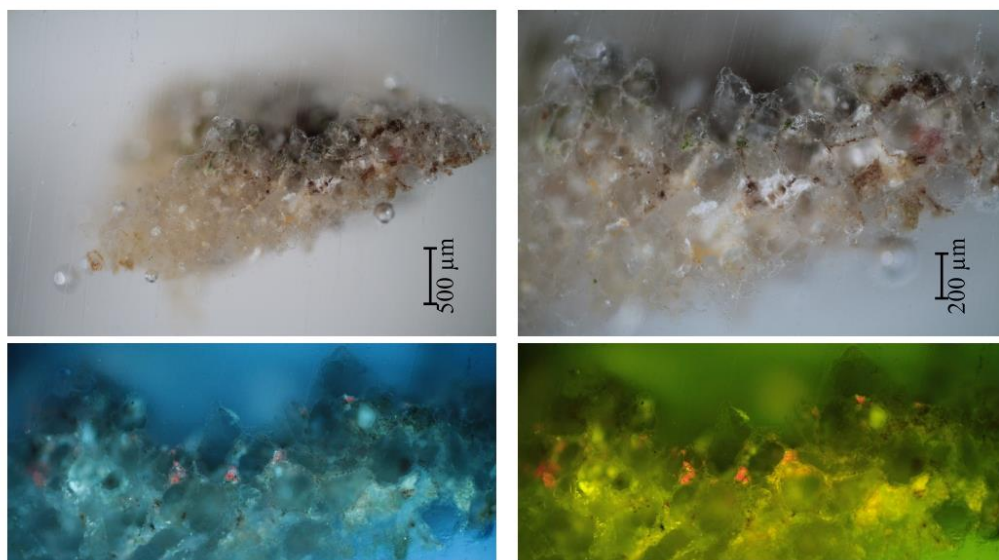
Vzorek: VZc1/1 I083, vzorek tmavého povrchu

Místo odběru: pravý roh plinty

Optická mikroskopie úlomku a výbrusu vzorku:



Obr. 5: Makrosnímky odebraného vzorku ze stereomikroskopu v odraženém světle při zvětšení 20x: (vlevo) líc a (vpravo) rub vzorku. Povrchová vrstva netvoří souvislou překryvnou vrstvu, ale spíše lokální tmavé ostrůvky. Kromě nich jsou na povrchu podobně distribuovány zelené řasy.



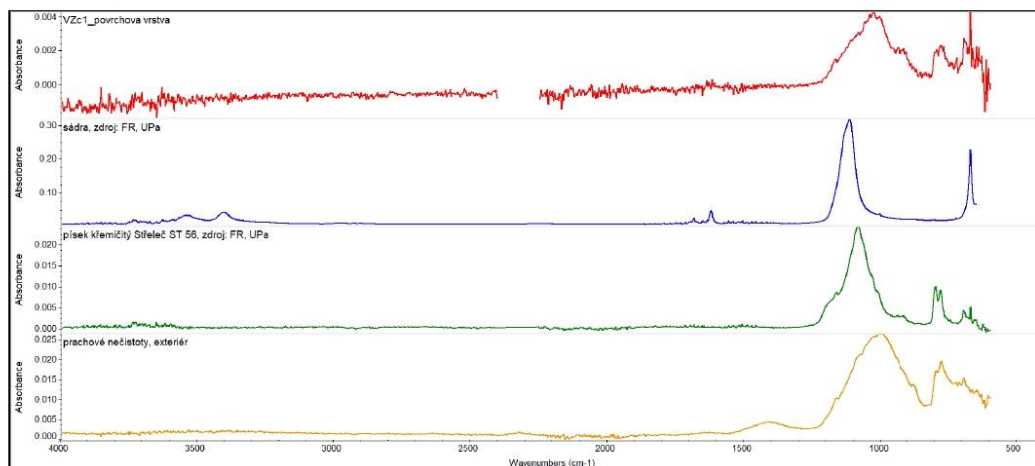
Obr. 6: Snímky nábrusu z optického mikroskopu v odraženém světle a fluorescenci: (nahore) nábrus vzorkem při menším a větším zvětšení, (vlevo dole) snímek v modrém světle a (vpravo) UV fluorescenci. Povrchová vrstva nevytváří souvislou překryvnou vrstvu na povrchu, ale lokální tmavé ostrůvky, příp. penetruje do mezizrného prostoru. Po excitaci UV světlem vykazuje výraznou nažloutlou fluorescenci viditelnou především mezi zrnky křemene.

Vzorek: VZcI/1083, vzorek tmavého povrchu

Místo odběru: pravý roh plinty

FTIR spektroskopie:

FTIR spektrum vzorku VZcI/1083 I je uvedeno na Obr. 7. Pro vyhodnocení jsou umístěna srovnávací spektra vybraných anorganických a organických látek.



Obr. 7: FTIR spektrum vzorku VZcI/1083 I (šedá povrchová vrstva, vrstva I) a srovnávací spektra vybraných látek.

SEM-EDX analýza:

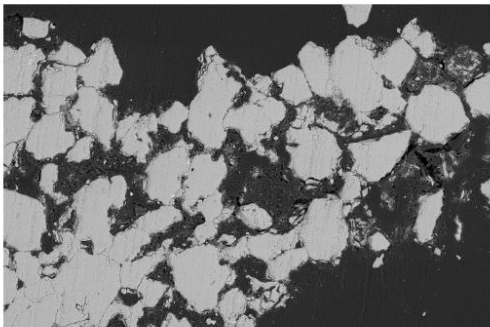
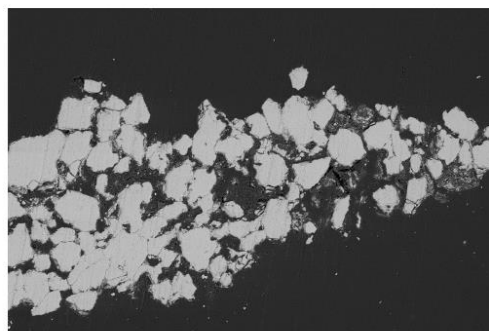
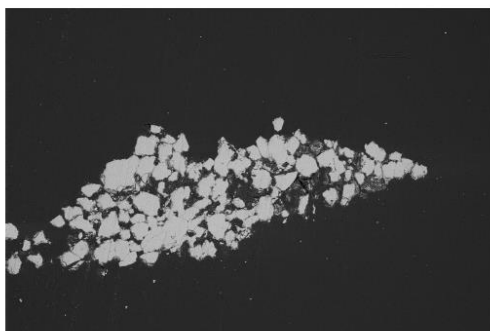
Výsledky SEM-EDX prvkové analýzy povrchové vrstvy vzorku VZcI/1083 I jsou sumarizovány v Tab. 4. Majoritní prvky jsou uváděny v přehledu nejdříve (nejvíce zastoupené prvky jsou označeny podtrženě), minoritní prvky jsou v závorce.

| VZcI/1083 | Popis | složení dle SEM-EDX | Popis |
|-----------|---|---|--|
| 0 | pískovec | zrna: <u>Si</u> , Al, (Na, K, stopy Cl) | pískovec - zrna ; křemičitý pískovec, hlavní složky tvoří křemen a hlinitokřemičitan. Podrobná analýza pískovce byla provedena pomocí petrografické analýzy, která je součástí Restaurátorské dokumentace. |
| I | šedá, lokálně nazeleňalá - mezizrný prostor | celkové spektrum: <u>Si</u> , Al, (Na, K, Fe, Mg, Cl, místy S a Cl) | povrch vzorku s nažloutlou fluorescencí ; nejedná se o samostatnou vrstvu, resp. nanos. Úprava je zapenetrovaná do porézního systému podkladu. Složení úpravy nelze určit - prvkové složení mezizrného prostoru a matrice horniny je podobné. Obsahuje sloučeniny s oxidy křemíku, hliníku a alkálií, lokálně zvýšený je obsah železitých fází. V jednom místě byly identifikovány oblasti se zvýšeným obsahem fosforu (P), lokálně zvýšená je i koncentrace chloridů a síranů. |

Tab. 4: SEM-EDX analýza vzorku VZcI/1083.

Vzorek: VZcl/I 1083, vzorek tmavého povrchu

Místo odběru: pravý roh plinty



Obr. 8: Snímky nábrusu ze skenovacího elektronového mikroskopu MIRA3 TESCAN v režimu zpětně odražených elektronů BSE, HV 20 kV, WD 15 mm.

Vyhodnocení:

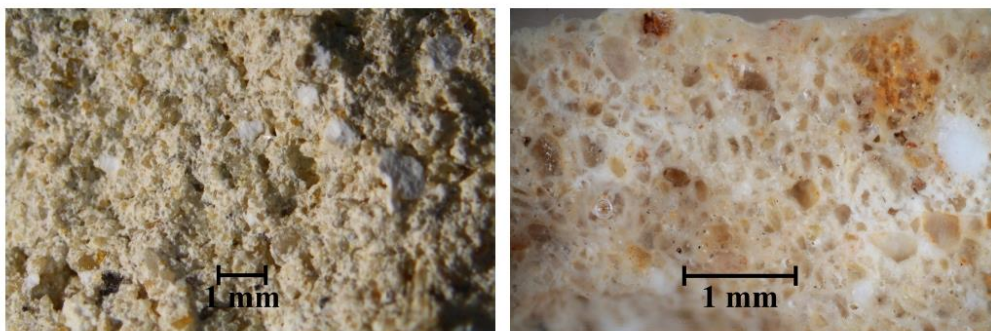
Povrchová vrstva je převážně tvořena vrstvou prachových nečistot, sádrovcem a zelenými řasami. Přítomnost organických látek nelze jednoznačně prokázat - ačkoliv vrstva po excitaci UV světlem nažloutle luminuje, FTIR analýza přítomnost organických látek nepotvrdila.

C. Vyhodnocení vybraných vlastností tmelu

Vzorek: VZb1/11081

Místo odběru: hlava, pod čepicí

Optická mikroskopie úlomku a výbrusu vzorku:



Obr. 8, 9: Makrosnímky lomové plochy vzorku tmelu VZb1/11081 ze stereomikroskopu SMZ800 v odraženém světle při zvětšení 10x (vlevo), (vpravo) nábrus vzorku, zvětšeno 50x. Tmel je jemnozrný, středně homogenní s přítomností oválných makropórů. Složení tmelu nebylo požadováno, jen orientačně - tmel obsahuje vysoký podíl jemnozrného plniva, které tvoří převážně křemen, okrové klasty jsou patrně úlomky pískovce s železitým tmelem. Bílé hrudky by mohly pocházet z vápenného pojiva, šedá matrice naznačuje použití cementu (cemento-vápenný tmel). Z přítomnosti oválných makropórů lze usuzovat na příměs organického aditiva.

Stanovení celkové nasákavosti vodou a porozity:

Na odebraných vzorcích byly stanoveny vybrané fyzikální vlastnosti, které slouží k porovnání horniny a na plastice použitého tmelu. Tmel se vyznačuje výbornými optickými vlastnostmi i vyhovující mikrostrukturou. Kvůli zhodnocení vlastností tmelu se stanovují vybrané charakteristiky - nasákavost vodou a pórovitost.

Vlastnosti tmelu i horniny (Tab. 5) byly stanoveny podle ČSN EN 13755: *Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku* a ČSN EN 1936: *Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti*.

| Vzorek | Nasákavost vodou za atm. tlaku (hm.%) | Otevřená pórovitost (obj.%) |
|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Hornina | 6,6 | 11,6 |
| Tmel - doplněk hlavy, pod čepicí | 13,2 | 23,1 |

Tab. 5: Celková nasákavost vodou a otevřená pórovitost horniny a tmelu použitého na plastice T. G. M. z Moravské Nové Vsi.

Vyhodnocení:

Vlastnosti vzorku horniny se odlišují od vzorku tmelu - tmel se vyznačuje vysokou nasákavostí vodou i póvitostí, která je přístupná vodě. Oproti hornině jsou hodnoty přibližně dvakrát vyšší než dosahují uvedené vlastnosti přírodního kamene. Z hlediska kompatibility fyzikálních vlastností je výsledek přijatelný - doplňky s vyšší nasákavostí a porozitou neblokují výměnu vody v materiálu, ale naopak ji urychlují. Neškodnost doplňků dokladuje jejich výborný stav, ve kterém se na skulptuře dochovaly.

VI. ZÁVĚR

Předmětem chemicko-technologického průzkumu je pískovcová socha T. G. Masaryka z Moravské Nové Vsi. Socha poškozená tornádem je rozlomena na několik částí a kvůli tomu je předmětem restaurování. Restaurování provádí Fakulta restaurování Univerzity Pardubice. Chemicko-technologický průzkum měl odpovědět na tři zadané otázky:

A) Vyhodnotit stav a poškození skulptury - tato část zahrnovala hodnocení stavu skulptury, jejích poruch a míry zvětrání. Zjištění bylo provedeno nedestruktivně *in situ* pomocí měření rychlosti ultrazvukové transmise.

B) Stratigrafie povrchových úprav (pokud jsou přítomny), průzkum složení - na soše jsou přítomny naředlé povrchové vrstvy, u kterých nebylo zřejmé, zda se jedná o úpravu povrchu nebo znečištění. Průzkum měl upřesnit složení povrchové vrstvy.

C) Vyhodnocení základních vlastností tmelu - na plastice se nachází mnoho doplňků z předchozího zásahu. Jemnozrnný okrový tmel opticky vyhovuje hornině, z hlediska poškození nevykazuje žádné známky poškození. Pro finální vyhodnocení, zda tmely odstranit či nikoliv, bylo provedeno měření základních fyzikálních vlastností. Kvůli velikosti vzorku se stanovovaly jen celková nasákavost a porozita otevřená vodě. Kvůli zhodnocení byly stejné vlastnosti stanoveny i na hornině.

Průzkum stavu pomocí ultrazvukové transmise proběhlo *in situ* na skulptuře. Průzkum povrchových úprav byl proveden na odebraném mikrovzorku. Vlastnosti tmelu a horniny byly stanoveny na oddělených úlomcích. Složení povrchové vrstvy bylo studováno pomocí optické (OM) a skenovací elektronové mikroskopie s mikrosoudou (SEM-EDX). Pro identifikaci organického pojiva povrchové vrstvy byla využita infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR). Vlastnosti tmelu - nasákavost vodou za atmosférického tlaku a porozita otevřená vodě byla stanovena podle postupů, které popisují normy ČSN EN 13755 a ČSN EN 1936.

Shrnutí a doporučení:

A) Hodnocení stavu a poškození

Měření rychlosti UZ transmise prokázalo, že celkový stav skulptury je dobrý, až na lokální poruchy, které se projevují snížením rychlosti UZ transmise. Poruchy souvisí se snížením soudržnosti materiálu a jsou lokalizovány zejména na okrajích oddělených kusů nebo v místech defektů. Na těchto místech je nezbytné zlepšit stav horniny konsolidací. Protože se jedná o křemičitý pískovec, doporučujeme provést zpevnění estery kyseliny křemičité, které jsou pro křemičitý typ pískovce velmi účinné. Stav horniny po konsolidaci by bylo vhodné ověřit kontrolními měřeními, kterou není třeba provádět v celém rozsahu, ale jen na vybraných místech s původně nižší rychlostí UZ transmise.

B) Povrchové úpravy

Povrchová vrstva je tvořena vrstvou prachových nečistot, sádrovcem a zelenými řasami. Přítomnost organických látek nelze jednoznačně prokázat - ačkoliv vrstva po excitaci UV světlem nažloutle luminuje, FTIR analýza přítomnost organických látek nepotvrdila.

C) Základní vlastnosti tmelů

Vlastnosti vzorku tmelu použitého při bližší neurčeném opravném zásahu se odlišují od horniny. Tmel se vyznačuje přibližně dvakrát vyšší nasákavostí vodou (13 %) i póvitostí (23 %), která je přístupná vodě. Z hlediska kompatibility je výsledek přijatelný - doplňky s vyšší nasákavostí a porozitou neblokují výměnu vody v materiálu, ale naopak ji urychlují. Problematická může být tato vlastnost snad v zimních měsících, kdy vyšší obsah vody v doplňcích může působit problémy v souvislosti s mrazovými cykly. Vzhledem k tomu, že se tmely do současnosti dochovaly ve výborném stavu, je vyšší nasákavost tmelů zanedbatelným problémem.

Vyhodnotil: Ing. Renata Tišlová, Ph.D., Katedra chemické technologie
Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice

17.7. 2023, Litomyšl

Počet stránek v protokolu: 12

12 Seznam Použité literatury a pramenů

12.1 Seznam Použité literatury

CRAVER, C a CARRAHER, C. Applied Polymer Science: 21st Century. 2000.

ČSN EN 196-1: Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti. Český normalizační institut 2005.

Disponil® (basf.com)

ĎOUBAL, Jakub; NOVOTNÝ, Jiří a ALT, Jaroslav. Restaurátorská zpráva Restaurování Kamenné kašny v Kutné Hoře. 2010. str.30.

DUCHÁČEK, V. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 043. ISBN 80-7080-617-6

EREN, Faruk; GÖDEK, Eren a KESKINATEŞ, Muhammer et al. Effects of latex modification on fresh state consistency, short term strength and long term transport properties of cement mortars, Construction and Building Materials 2017, Volume 133, s. 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.080>

HEIDINGSFELD, Viktor a ZELINGER, Jiří. Polymery – chemie: vlastnosti a zpracování: Sborník vysoké školy chemicko-technologické v Praze. Praha: SPN, 1985. s. 47-68

HOREI a VELSON. Materials for Conservation, Organic consolidants, adhesives and coatings. 2. London and New York: Routledge, 2010. s. 153-155,166-171

HRDLIČKA, Milan. *Moravská Nová Ves. Znojmo: FPO Znojmo*, 2001, 278 s. ISBN 80-902863-5-6.

HRDLIČKA, Milan. *Moravská Nová Ves a její proměny v čase: 1807–2007*. 2007.

KHANLARI, Samaneh a DUBÉ, Marc. Effect of pH on Poly(acrylic acid) Solution Polymerization. Journal of Macromolecular Science, 2015. 52.

10.1080/10601325.2015.1050628.KOLÁŘ, M; MACHOTOVÁ, J a HÁJEK, M. Application of Vegetable Oil-Based Monomers in the Synthesis of Acrylic Latexes via Emulsion Polymerization. Coatings 2023, 13, 262. <https://doi.org/10.3390/coatings13020262>

KOTLÍK, Petr a kol. Stavební materiály historických objektů. Praha: VŠCHT Praha, 1999. ISBN 978-80-7080-347-9. Str.49, 103.

KOUTNÍK, Petr. Dekorační kameny Čech, Moravy a Slezska. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2015. ISBN 978-80-7414-974-0.

LU, Zichen; KONG, Xiangming a ZHANG, Chaoyang. Effect of polymer latexes with varied glass transition temperature on cement hydration. *Journal of Applied Polymer* (2017). *Science*134(36): 45264. DOI:10.1002/app.45264.

MLEZIVA, J a ŠŇUPÁREK, J. *Polymery, výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7. s. 130-138.

OHAMA, Yoshihiko, *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars: Properties and Process Technology*, New Jersey 1995, s. 11-21, 45-156.

Online. ICCROM. Dostupné z: <https://www.iccrom.org/resources/publications?keywords=mortar&categories=All&languages=All&ions=All>. [cit. 2024-08-13].

Parvate, Sumit, Mahanwar, Prakash, *Advances in self-crosslinking of acrylic emulsion: what we know and what we would like to know*. *Journal of Dispersion Science and Technology* 2018, 40, s. 1-18. 10.1080/01932691.2018.1472012.

PROKOPOVÁ, I a CHADIMA, D. *Technologie emulzní polymerace*, Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta chemická 2016. str. 8-26.

https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=124033

PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie*. 2nd ed. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3. Str.49.

Pomník Tomáš Garrigue Masaryk. Online. Dostupné z: <https://www.vets.cz/vpm/mista/obec/610-moravska-nova-ves/n%C3%A1m%C4%9Bst%C3%AD%20Republiky>. [cit.2023-11-19].

Pomník T. G. Masaryka. Online. Dostupné z: <https://www.pamatkovykatolog.cz/pomnik-t-g-masaryka-14817505>. [cit. 2023-11-19].

RAMACHANDRAN, V.S. 9 - Polymer-Modified Mortars and Concretes. In: *Concrete Admixtures Handbook*, 2nd Ed. 2. William Andrew, 1996, s. 558-656. ISBN 0815516541, 9780815516545.

ROZLIVKOVÁ, Rozálie. *Klasicistní váza z ohradní zdi francouzské zahrady Litomyšlského zámku*. Litomyšl 2022. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování.

RYBA, Radim. *Moravská Nová Ves: naše historie*. 2022, 185 s.

ŠKARVADA, Jiří. Restaurování sochy bohyně Ceres (Deméter) z ohradní zdi zámku Litomyšl. Litomyšl 2020. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování.

ŠŇUPÁREK, Jaromír, FORMÁNEK, Leopold, Vodné disperze syntetických polymerů, Praha: Státní nakladatelství technické literatury 1979, s. 86,99-100.

TIŠLOVÁ, Renata, Metodika pro určení mezních intervalů významných materiálových charakteristik opravných materiálů a technologií pro kompatibilní zásah (metodika v rámci projektu NAKI Podmínky a požadavky kompatibilní péče o historické anorganické porézní materiály, id. č. DF12P01OVV018. Fakulta restaurování, Univerzita Pardubice, 2016, str. 19.

VÍTKOVÁ, Eliška, Restaurování podstavce viz. Pískovcový podstavec vázy na ohradní zdi francouzské zahrady zámku Litomyšl. Litomyšl 2022. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování.

ZÁRYBNICKÁ, Lucie, POKORNÝ, Jaroslav, MACHOTOVÁ Jana et al. Study of keto-hydrazide crosslinking effect in acrylic latex applied to Portland cements with respect to physical properties, *Construction and Building Materials* 2023, Volume 375, 130897. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130897>.

ZELINGER, Jiří; ŠIMŮNKOVÁ, Eva a KOTLÍK, Petr. *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. Praha: Academia, 1982.

12.2 Seznam pramenů:

RYBA Radim. *Soukromý archiv fotografií: Moravská Nová Ves*.

Kronika obce Moravská Nová Ves. 1936–1945. (n.d.). Str 38.

13 Seznam použitých symbolů a zkratk

| | |
|--------|--|
| UV | Ultrafialové záření |
| UZ | Ultrazvuk |
| PP | Polypropylen |
| AD | Akrylátová disperze |
| KA | Kyselina Akrylová |
| RO | Řepkový olej |
| PD | Polymerní disperze |
| KA | Kyselina akrylová |
| MMA | Methylmetakrylát |
| BA | Butylakrylát |
| pH | Potencial of hydrogen (potenciál vodíku) |
| MFT | Minimální filmotvorná teplota |
| MPa | Megapascal jednotka tlaku |
| DMP | Dynamický modul pružnosti |
| ČSN | Česká technická norma |
| ČSN EN | Česká technická norma i evropská norma |
| Tg | Teplota skelného přechodu |
| W | Watt jednotka výkonu |

14 Seznam obrazových příloh

| | |
|---|----|
| obr. 1 Vzorec kyseliny akrylové a metakrylové. Zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_akrylov%C3%A1 ; | 20 |
| obr. 2 Výroba suchých prášků z polymerních disperzí. Zdroj: https://www.wacker.com/cms/en-us/products/product-groups/polymer-powders/polymer-powders.html | 23 |
| obr. 3 Zjednodušený model vzniku cement-polymer-plnivo matrice. Zdroj: OHAMA, Y. (1995). | 27 |
| obr. 4 Schéma chemických reakcí mezi polymerem s esterovou skupinou, Portlandským cementem a částicemi plniva. Zdroj: OHAMA, Y. (1995). | 28 |
| obr. 5 Průběh míchání směsi v mixéru Electrolux (model EKM4200). | 34 |
| obr. 6 Plnění forem namíchanou směsí, ilustrativní snímek. | 35 |
| obr. 7 Stanovení rozlivu na strásacím stolku. Rozlití koláče a měření průměru ve dvou kolmých směrech pomocí měřítka. | 41 |
| obr. 8 Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě. Zkouška se provádí na polovinách zkušebních těles po zkoušce pevnosti v ohybu. | 44 |
| obr. 9 Průběh měření dynamického modulu pružnosti a ultrazvukové transmise na vzorkových trámcích. | 45 |
| obr. 10 Ilustrační snímek průběhu zkoušky pevnosti v tahu za ohybu, autor fotografie: Renata Tišlová | 47 |
| obr. 11 Letecký snímek Moravské Nové Vsi, umístění pomníku vyznačeno červeným bodem. zdroj: https://mapy.cz . | 67 |
| obr. 12 Hlavní problematika díla. | 69 |
| obr. 13 Historická fotografie sochy r.1938 soukromý archiv. | 71 |
| obr. 14 Fotografie odhalení památníku TGM rok 1945, foto Křížek Mor. Nová Ves z knihy Moravská Nová Ves Autor Milan Hrdlička, zdroj foto: p. Kolčava, M.N.Ves. | 71 |
| obr. 15 Znovuodhalení sochy rok 1945 soukromý archiv. | 72 |
| obr. 16 Fotografie torza sochy 70-80. léta 20. stol. Zdroj: Radim Ryba, autor knihy: Moravská Nová Ves naše historie. | 72 |
| obr. 17 Historická fotografie z pohlednice 40.l léta 20. století. Zdroj: Radim Ryba. | 73 |
| obr. 18 Historická fotografie po roce 1990 (znovunavrácení podoby sochy). Zdroj: Radim Ryba. | 73 |
| obr. 19 Historická fotografie shromáždění u pomníku T. G. Masaryka roku 1938 zdroj: Kniha Moravská Nová ves. Soukromá sbírka. | 74 |
| obr. 20 Fotografie s místy měření nasákavosti. | 80 |
| obr. 21 Fotografie zkoušek tmelů. | 82 |
| obr. 22 Legenda šrafury. | 90 |
| obr. 23 Grafické zákresy chybějícího a degradovaného materiálu. | 91 |
| obr. 24 Grafické zákresy doplňků a starších vysprávek. | 92 |
| obr. 25 Grafické zákresy nových tmelů, doplňků a čepů. | 93 |
| obr. 26 Fotografie torza díla před restaurováním. | 94 |
| obr. 27 Fotografie fragmentů rukou figury. | 94 |
| obr. 28 Fotografie plintu s nohami a podporou díla. | 95 |
| obr. 29 Lepení spodních partií sochy. | 95 |
| obr. 30 Lepení trupu sochy na epoxidové lepidlo a nerezovou armaturu. | 96 |

| | |
|--|-----|
| obr. 31 Socha po slepení, přední pohled..... | 96 |
| obr. 32 Socha po slepení, zadní pohled..... | 97 |
| obr. 33 Socha po slepení, pravý boční pohled..... | 97 |
| obr. 34 Socha po slepení, levý boční pohled..... | 98 |
| obr. 35 Úbytek materiálu pokrývky hlavy a nosu..... | 98 |
| obr. 36 Chybějící část rukou za zády se zbytky armatury..... | 99 |
| obr. 37 Praskliny v úrovni pasu a levé ruky..... | 99 |
| obr. 38 Detail místa lomové plochy pravé ruky..... | 100 |
| obr. 39 Fotografie po omytí přední pohled..... | 100 |
| obr. 40 Fotografie po omytí pravý boční pohled..... | 101 |
| obr. 41 Fotografie po omytí zadní pohled..... | 101 |
| obr. 42 Fotografie po omytí levý boční pohled..... | 102 |
| obr. 43 Odstraňování tmelu na hranolu..... | 102 |
| obr. 44 Odstraňování tmelu suknice 1..... | 103 |
| obr. 45 Odstraňování tmelu suknice 2..... | 103 |
| obr. 46 Po odstranění tmelů přední pohled..... | 104 |
| obr. 47 Po odstranění tmelů levý boční pohled..... | 104 |
| obr. 48 Po odstranění tmelů zadní pohled..... | 105 |
| obr. 49 Po odstranění tmelů pravý boční pohled..... | 105 |
| obr. 50 Injektáž lomových ploch..... | 106 |
| obr. 51 Injektáž lomových ploch 2..... | 106 |
| obr. 52 Modelování pravé ruky v hlíně..... | 107 |
| obr. 53 Modelování pravé ruky v hlíně 2..... | 107 |
| obr. 54 Tvorba výdusku ruky..... | 108 |
| obr. 55 Aplikace směsi umělého pískovce do formy..... | 108 |
| obr. 56 Plastická retuše v místě lomových ploch paže..... | 109 |
| obr. 57 Plastická retuše lomové plochy hranolové podpory..... | 109 |
| obr. 58 Doplnění pokrývky hlavy..... | 110 |
| obr. 59 Přední pohled po plastické retuši a osazení výdusku pravé paže..... | 110 |
| obr. 60 Levý boční pohled po plastické retuši a osazení výdusku pravé paže..... | 111 |
| obr. 61 Zadní pohled po plastické retuši a osazení výdusku pravé paže..... | 111 |
| obr. 62 Levý boční pohled po plastické retuši a osazení výdusku pravé paže..... | 112 |
| obr. 63 Přední pohled po barevné retuši..... | 112 |
| obr. 64 Levý boční pohled po barevné retuši..... | 113 |
| obr. 65 Zadní pohled po barevné retuši..... | 113 |
| obr. 66 Pravý boční pohled po barevné retuši..... | 114 |
| obr. 67 Osazování sochy zpět na podstavec v Moravské Nové Vsi..... | 114 |
| obr. 68 Socha po osazení zpět na podstavec v čele náměstí Moravské Nové Vsi..... | 115 |

15 Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| tab. 1 Složení tmelící směsi. Pozn: * Sypná váha byla stanovena ze směsi písků Střeleč, Černuc v uvedeném objemovém poměru. | 32 |
| tab. 2 Složení monomerů syntetických latexů a biolatemů. * Sokrat S2802A je komerční styrenakrylátová disperze bez znalosti přesného složení monomerů. Zkratky: MMA – methylmethakrylát, BA – butylakrylát, MAA – kyselina methakrylová, AME_RO – akrylovaný methyl ester řepkového oleje, AME_LO – akrylovaný methyl ester lněného oleje. Zdroj informací: Martin Kolář, Jana Machotová, FCHT, UPCE. | 33 |
| tab. 3 Složení a charakteristika použitých latexů. Zkratky: MMA – methylmethakrylát, BA – butylakrylát, MAA – kyselina methakrylová, AME_RO – akrylovaný methyl ester řepkového oleje, AME_LO – akrylovaný methyl ester lněného oleje, RO20, resp. LO30 označuje hmotnostní koncentraci biosložky v násadě. * pH komerční disperze podle technického listu 8,8–9,0. Zdroj informací, naměřené vlastnosti stanovili: Martin Kolář, Jana Machotová, FCHT, UPCE. | 33 |
| tab. 4 Postup míchání laboratorních vzorků – kroky míchání a podmínky. | 35 |
| tab. 5 Vlastnosti hornin vybraných pískovců. | 37 |
| tab. 6 Receptury testovaných směsí – obsah složek, dávkování disperze. Biolatex označeny zeleně. REF je směs bez obsahu latexu. | 38 |
| tab. 7 Vlastnosti směsí v čerstvém stavu – popis zpracovatelských vlastností, rozliv. | 52 |
| tab. 8 Objemová hmotnost referenční směsi a směsí s latexem. Změna objemové hmotnosti vyjádřená v %..... | 53 |
| tab. 9 Výsledky nasákavosti vodou za atmosférického tlaku a porozity otevřené vodě referenční směsi a směsí s latexem. Průměrné hodnoty a směrodatná odchylka. | 55 |
| tab. 10 Hodnoty koeficientu kapilární nasákavosti vodou referenční směsi a směsí s latexem. | 56 |
| tab. 11 Výsledky dynamického modulu pružnosti a ultrazvukové transmise referenční směsi a směsí s latexem. | 58 |
| tab. 12 Výsledky pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku referenční směsi a směsí s latexem. | 62 |
| tab. 13 Nasákavost voda. | 78 |
| tab. 14 Nasákavost ethanol. | 78 |

16 Seznam grafů

| | |
|---|----|
| graf. 1 Sloupcový graf pevnosti v tahu za ohybu referenční směsi a směsí s obsahem latexů. | 61 |
| graf. 2 Sloupcový graf pevnosti v tlaku referenční směsi a směsí s obsahem latexů. | 61 |
| graf. 3 nasákavosti Z1 V/E. | 79 |
| graf. 4 nasákavosti Z2 V/E. | 79 |