



HYPERSPEKTRÁLNÍ SNÍMKOVÁNÍ V PAMÁTKOVÉ PÉČI

Eva Matoušková¹ and Kateřina Kovářová²

1. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky, Praha 6, Thákurova 7, 166 29, eva.matouskova@fsv.cvut.cz
2. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra geotechniky, Praha 6, Thákurova 7, 166 29, katerina.kovarova@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Údržba historických kamenných objektů vyžaduje aplikování multidisciplinárního systematického přístupu, který by měl být založen na spolupráci mezi specialisty humanitních, přírodních a technických věd. Hlavním cílem předkládaného příspěvku je představení výhod spočívajících ve spolupráci mezi geology a stavebními inženýry a sdílení průběžných výsledků projektu NAKI č. DG20P02OVV021 s názvem „Topografie povrchu kamene a její aplikace v oblasti restaurování kamenných prvků“. Povrch historických kamenných objektů často nese původní stopy kamenického opracování a tvoří tak neodmyslitelnou část hodnoty dané památky. Studium a ochrana odkazu starých mistrů je proto velmi důležitá. V rámci našeho projektu provádíme terénní a laboratorní výzkum historických kamenných povrchů nesoucích původní stopy opracování. Předmětem studia jsou památkové objekty Pražské památkové rezervace od románských dob až do současnosti. V první řadě jsou povrchy kamenného zdiva podrobeny geologickému průzkumu v úzké součinnosti s archeology. Jsou zdokumentovány stopy kamenických nástrojů a zároveň je popsán stav kamene. S ohledem na negativní vliv zvětrávacích procesů na trvanlivost kamene, resp. na stopy po opracování, byl zahájen monitoring vybraného povrchu historického kamenného kvádrů pomocí hyperspektrálního snímání. Na základě analýzy získaných výsledků budeme schopni lépe porozumět změnám horninového povrchu a stop po opracování v průběhu roku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Památky z kamene, stopy opracování, zvětrávání, hyperspektrální analýzy

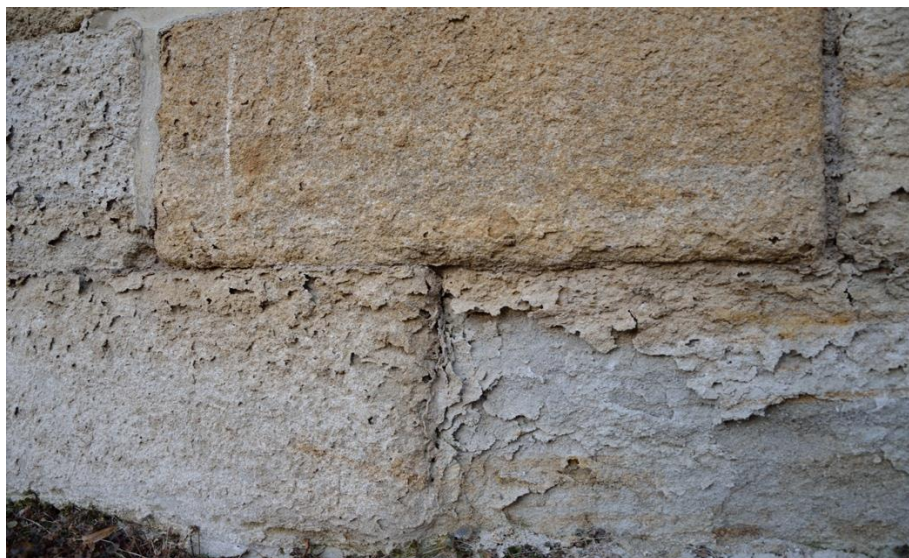
ÚVOD

Hodnota historického objektu, jehož zdivo či části jsou z přírodního kamene, se skládá z mnoha proměnných, mezi něž patří stopy po kamenickém opracování. Tyto stopy by měly být vzaty v potaz během restaurátorských a rekonstrukčních zásahů. Stopy po kamenickém opracování jsou nedílnou součástí výrazu a integrity daného historického objektu. Navíc jsme schopni díky jejich studiu rekonstruovat a pochopit pracovní praktiky starých mistrů a vývoj tohoto krásného řemesla v čase. Z výše uvedeného vyplývá důležitost studia a ochrany stop po kamenických nástrojích na povrchu historických objektů. Předkládaný příspěvek je výtahem výzkumu, který systematicky mapuje opracování kamene v prostředí Pražské památkové rezervace od románského období až po současnost.

Údržba památek z přírodního kamene vyžaduje systematický přístup, který by měl být založen na spolupráci odborníků napříč více obory, zejména humanitních, přírodních a technických věd. Hlavním cílem tohoto příspěvku je proto představit přínos spolupráce mezi geology a stavebními inženýry. Pokud mluvíme o údržbě a průzkumu kamenného zdiva, je nejprve nutná charakteristika stavebního kamene včetně petrografického rozboru a vyhodnocení stupně degradace působením zvětrávacích procesů. Logickým a nepochybným krokem při průzkumu zdiva je proto zapojení geologů.

Pražská památková rezervace je bohatá na památky z přírodního kamene. Využití přírodního kamene v minulosti ovlivnila dostupnost jeho zdrojů současně s dopravními možnostmi a technickým rozvojem jeho těžby a zpracování. Sedimentární horniny byly široce používány jako stavební materiál na mnoha památkách od románské doby až po baroko, zatímco magmatické horniny, zejména pak žuly, se pro tyto účely používají v architektuře od 2. poloviny 19. století. Hlavním stavebním kamenem románské doby byla převážně opuka. Pískovce byly používány hlavně jako stavební kámen od gotiky až do doby, kdy byly místo nich v pozdějších obdobích používány žuly či jiné horniny jako např. travertin. Další sedimentární horniny, zejména vápence, našly své uplatnění v pražské architektuře v gotice, ale jejich masivní využití spolu s mramory bylo především v baroku. Vzhledem k vysoké poptávce po mramoru v tomto období nebyly jeho dostupné zdroje dostatečné, a proto byl hojně využíván umělý mramor [1].

Jako každý jiný stavební materiál i kameny podléhají zvětrávání a dochází tak k jejich poškození. Ztrácejí své původní kvalitativní vlastnosti, jako je např. pevnost v tlaku a trvanlivost. Přítomnost vody v kapalném stavu s rozpuštěnými chemickými sloučeninami je nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím trvanlivost přírodního kamene. Například krystalizace ledu a soli může způsobit tlaky od desítek do stovek MPa [2], což obvykle převyšuje pevnost v tahu většiny hornin. Vztah mezi mrazem a působením solí je popisován např. v práci Williamse a Robinsona [3]. Míra poškození závisí na kombinaci solí, která se podílí v procesu zvětrávání. Krystalizující soli v pórovém prostoru vytvářejí soubor několika procesů působících společně. Nejdůležitější roli hrají fyzikální procesy [2], které mohou být doprovázeny chemickými procesy a působením organismů [4]. Tento proces může způsobit drolení nebo delaminaci povrchu [2], a proto dochází i k poškození stop po kamenických nástrojích (obr. 1).



Obr. 1: Zpuchýřování povrchu pískovcového kvádrů s jeho následným odprýskáním se silně poškozenými stopami po kamenickém opracování, kostel. Sv. Jakuba, Srbeč [převzato z 21].

Z mnoha používaných druhů přírodního stavebního kamene, jsou klastické sedimentární horniny vůči působení zvětrávacích procesů nejvíce citlivé. Důvod lze mj. spatřovat v uspořádání jejich vnitřní struktury, zejména hojné přítomnosti propojených pórů. Obecně lze



řící, že způsob vzniku hornin určuje charakter jejich vnitřní struktury. Přítomnost vody v pórovém systému může také způsobit rozpouštění a vyplavování pojiva a tím negativně ovlivnit soudržnost kamene. Abychom mohli lépe porozumět chování povrchu kamene a stop na něm v průběhu času, rozhodli jsme se sledovat vybraný historický kamenný povrch pomocí hyperspektrálního snímkování.

Hyperspektrální snímkování

Hyperspektrální snímkování je v minulých desetiletích oblastí intenzivního výzkumu a vývoje v různých oborech a jeho obrovský potenciál je s technickým rozvojem stále viditelnější. V poslední době se data hyperspektrálního snímkování začala široce využívat mezi veřejností v široké škále aplikací. Tomuto oboru byly dány různé názvy, jako je hyperspektrální snímkování, zobrazovací spektrometrie nebo zobrazovací spektroskopie, ale výstup je podobný – křivka spektrální odrazivosti zkoumaného materiálu v definovaném spektrálním rozsahu. Na rozdíl od multispektrálního senzoru, který pracuje v relativně nízkém počtu širokých spektrálních pásem, poskytují hyperspektrální skenery plnou informaci napříč elektromagnetickým spektrem v daném spektrálním rozsahu. To se provádí sběrem mnoha (desítek až stovek) úzkých, těsně přiléhajících spektrálních pásem a výsledná spektra jsou spojitými křivkami. Pomocí těchto dat lze získat křivky odrazivosti na úrovni jednotlivých pixelů, které lze přímo porovnat se spektry naměřenými v terénu nebo v laboratoři a určit tak spektrálně nejpodobnější materiál. Ačkoli většina hyperspektrálních senzorů měří stovky vlnových délek, není to počet naměřených vlnových délek, které definují senzor jako hyperspektrální, jedná se spíše o šířku pásem a souvislost měření.

Zvětrávání a s tím související změny povrchu mohou být způsobeny různými faktory. Jsou to faktory fyzikální jako je působení slunečního záření, působení mrazu či růst krystalů solí, faktory chemické např. reakce s dešťovou vodou a sněhem, vlhkostí uvnitř samotné horniny a také faktory biologické. První skupina způsobuje fyzikální desintegraci horninového materiálu, zatímco druhá skupina vede ke změnám chemického, potažmo minerálního složení horninotvorných součástí (např. chloritizace biotitu). Většinou však fyzikální, chemické a biologické činitele působí společně [5]. Biologická degradace stavebního kamene je převážně způsobena růstem a vývojem mikroorganismů či makroorganismů na jeho povrchu. V tomto případě se často potýkáme s řasami, bakteriemi, mechy, lišejníky a plísněmi. Samotná biologická degradace se podílí jak procesy fyzikálního zvětrávání, tak procesy zvětrávání chemického. Tato práce je příkladem toho, jak lze využít hyperspektrální snímkování při zkoumání kamene ovlivněného biologickou degradací.

Biologické napadení povrchu pískovců je velmi časté a mnohdy je tvořeno vrstvou řas spolu s prachovými částicemi, sazemi, vlákny hub a bakteriemi. Tento povlak vytváří na spodní části sliz, který obsahuje malé částičky kamene. Při mrazech, a tudíž přeměně vody v led, se částice kamenů, které jsou pokryty řasami, drobí. Tato krusta brání kameni „dýchat“, ucpává póry a přispívá k rozpadu povrchu zdiva. Roztažnost takové krusty bývá při jejím opakovaném vysychání a vlhnutí jiná než roztažnost horninového materiálu. Podobné drobení lze pozorovat, když je viditelný růst sinic [6]. Biologická kontaminace kamene, její vývoj, minimalizace a metody ošetření jsou zkoumány různými autory po celém světě, více viz [7-14].

METODIKA PRÁCE

Pro účely našeho výzkumu provádíme hyperspektrální monitoring opracovaného povrchu kamene, který je negativně ovlivněn povětrnostními vlivy. Vybrali jsme kamenný kvádr opěrného zdiva Křížovnického náměstí (obr. 2), který je datován do roku 1848 [15]. Kvádrové zdivo je postaveno převážně z jemnozrnného až středně zrnitého pískovce, který vykazuje více či méně viditelné známky povrchové degradace. Zvolený kamenný blok je dostatečně

velký a na jeho povrchu je patrné více činitelů a projevů zvětrávání, jako je např. přítomnost organismů (mech a lišejník), známky mrznutí a tání vody a také působení solí (viz obr. 4). Výběr tohoto kamenného kvádru umožňuje studium a pochopení synergie zvětrávacích procesů, které přirozeně neprobíhají odděleně, ale často společně. Studovaný kamenný kvádr je navíc výhodně situován v blízkosti řeky Vltavy v bezprostřední blízkosti Karlova mostu a je tedy ovlivněn stejným sezónním kolísáním.



Obr. 2: Poloha vybraného pískovcového kvádru v opěrné zdi Křížovnického náměstí a probíhající měření [převzato z 21].

Hyperspektrální analýza

Pro pořízení hyperspektrálních dat bylo použito unikátní přenosné hyperspektrální zobrazovací zařízení skládající se z hyperspektrálního senzoru, jednotky Pan&Tilt, stativu, zdroje osvětlení a řídicí jednotky. Použita byla hyperspektrální VNIR kamera Hyperspec VNIR řady A vyrobená společností Headwall Photonics Inc. [16]. Kamera je vybavena objektivem C-mount 35 mm a 18 mm dlouhou a 60um širokou štěrbinou. Rozsah měřených vlnových délek je 400 až 1000 nm a lze najednou pořídit pro 1004 prostorových pixelů 810 spektrálních pásem. Aby byl systém mobilní, a bylo možné nastavovat výšku kamery, bylo vlastní zařízení (hyperspektrální kamera, Pan&Tilt jednotka a osvětlovací platforma) umístěno na silném stativu Callidus CINE 2000. Pro uchycení jednotky Pan&Tilt bylo nutné vytvořit speciální hlavu stativu. Řízení systému je prováděno pomocí HDPU (Hyperspec Data Processing Unit) a pomocí softwaru Hyperspec III. vyvinutého společností Headwall Photonics, Inc. Hyperspektrální data jsou běžně prezentována ve formě tzv. 3D datové krychle. Zmíněné informace se podobají datům odrazového spektrometru – vlnová délka a odpovídající hodnota signálu v měřených spektrálních pásmech. Z tohoto souboru dat může uživatel odvodit křivku spektrální odrazivosti pro určitý pixel nebo analyzovat a pracovat s každým pásmem zvlášť.

Pořízení a zpracování dat

Ve druhé fázi projektu Ministerstva kultury ČR DG20P02OVV021 „Topografie povrchu kamene a jeho aplikace v oblasti restaurování kamenných prvků“ byl v terénu spektrálně analyzován vzorek historického pískovce za účelem zjištění změny jeho biologické kontaminace v čase. Tento příspěvek ukazuje předběžné výsledky srovnávací letní (srpen



2021, obr. 5 a 6) a podzimní (listopad 2021, obr. 7 a 8) měření. Skenovací vzdálenost 2 m (viz obr. 3) zajišťuje, že objekt zájmu (obr. 4) je nasnímán a uložen v jednom souboru s velikostí pixelu přibližně 4 mm. Pro kalibraci byl použit referenční odrazivostní terč typu Zenith, který zajišťuje opakovatelnost měření. Pro předzpracování a analýzu dat byl použit software ENVI 5.5.



Obr. 3: Měřicí sestava [převzato z 21].



Obr. 4: Fotografie zkoumaného kamene [převzato z 21].

Pro porovnání výsledků z různých období musí být získaná data mezi sebou registrována a je nutné upravit jejich velikost. Aby se ukázal rozdíl mezi letní a podzimní vegetací byl ke sledování biologické kontaminace kamene použit Normalizovaný rozdílový vegetační index (NDVI) [17]. NDVI je jedním z nejstarších, nejznámějších a nejčastěji používaných vegetačních indexů. Normalizovaný rozdíl a využití oblastí s vysokou a nízkou odrazivostí chlorofylu jej činí robustním v širokém rozsahu podmínek. NDVI je definováno rovnicí:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}),$$

kde NIR jsou pásma v infračervené oblasti (800 – 2500nm) spektra, RED (625 – 750nm) pásma v červené oblasti spektra a hodnota je bezrozměrná.

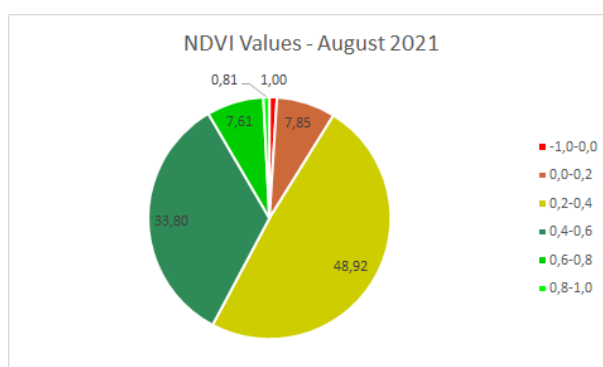
Hodnota tohoto indexu se pohybuje od -1 do 1. Běžné rozmezí pro zelenou vegetaci je 0,2 až 0,8, přičemž čím je porost hustší, tím je NDVI vyšší. Číslo NDVI je jedním z indexů širokopásmové vegetace zahrnutých do softwaru ENVI 5.5. Tyto vegetační indexy jsou navrženy tak, aby poskytovaly měření celkového množství a kvality fotosyntetického materiálu ve vegetaci, což je nezbytné pro pochopení stavu vegetace pro jakýkoli účel. Širokopásmové zelené vegetační indexy porovnávají maximální odrazivost vegetace v blízkém infračerveném pásmu s měřením v pásmu červeném, kde chlorofyl absorbuje fotony a ukládá je do energie prostřednictvím fotosyntézy [18]. Hodnoty NDVI jsou vysvětleny v Tabulce 1.

Tab. 1 – Vysvětlení hodnot indexu NDVI

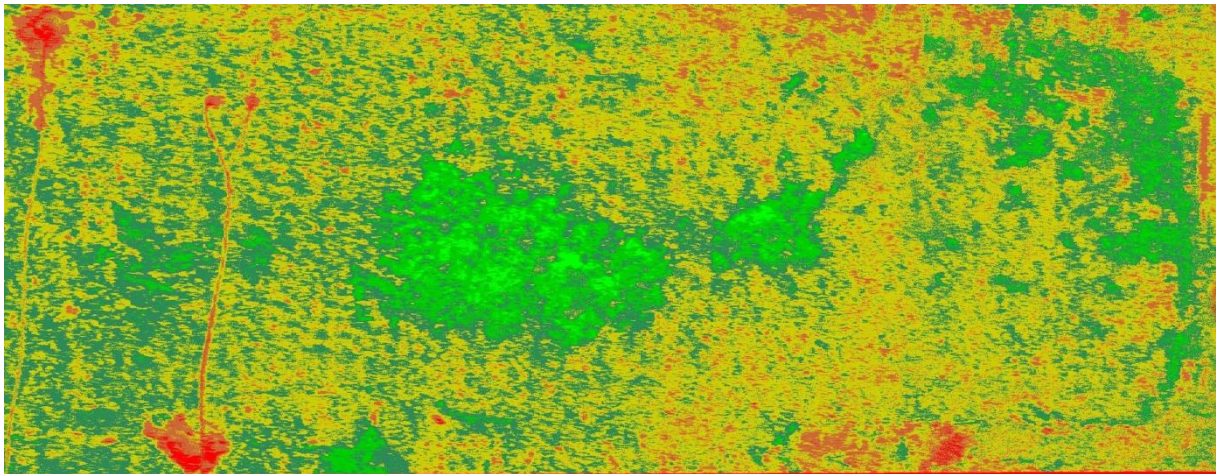
NDVI	INTERPRETACE	BARVA
-1,0 – 0,0	Holá půda	Červená
0,0 - 0,2	Holá půda téměř bez vegetace	Hnědá
0,2 - 0,4	Nízká hustota vegetace	Žlutá
0,4 - 0,6	Střední hustota vegetace	Tmavě zelená
0,6 - 0,8	Vysoká hustota vegetace	Zelená1
0,8 - 1,0	Velmi vysoká hustota vegetace	Zelená2

VÝSLEDKY

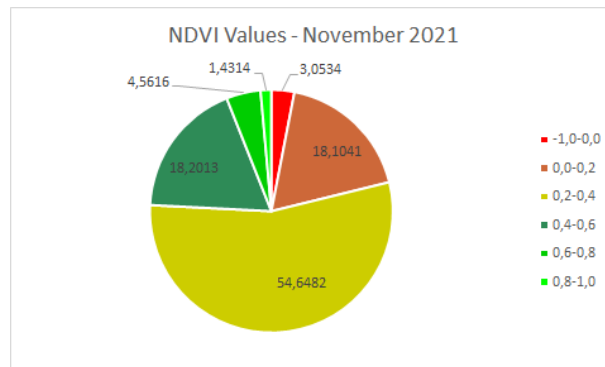
Obrázky 5 a 7 ukazují grafy s hodnotami NDVI a jejich zastoupením v procentech s krokem stupnice 0,2. První třída (zobrazená červeně) pokrývá záporné hodnoty NDVI, a proto představuje oblast zcela bez vegetace. Barvy ve výsledných obrázcích (obr. 6 a 8) odpovídají legendě grafu. Průměrné křivky spektrální odrazivosti tříd odvozených z hodnot NDVI jsou zobrazeny na obrázku 9.



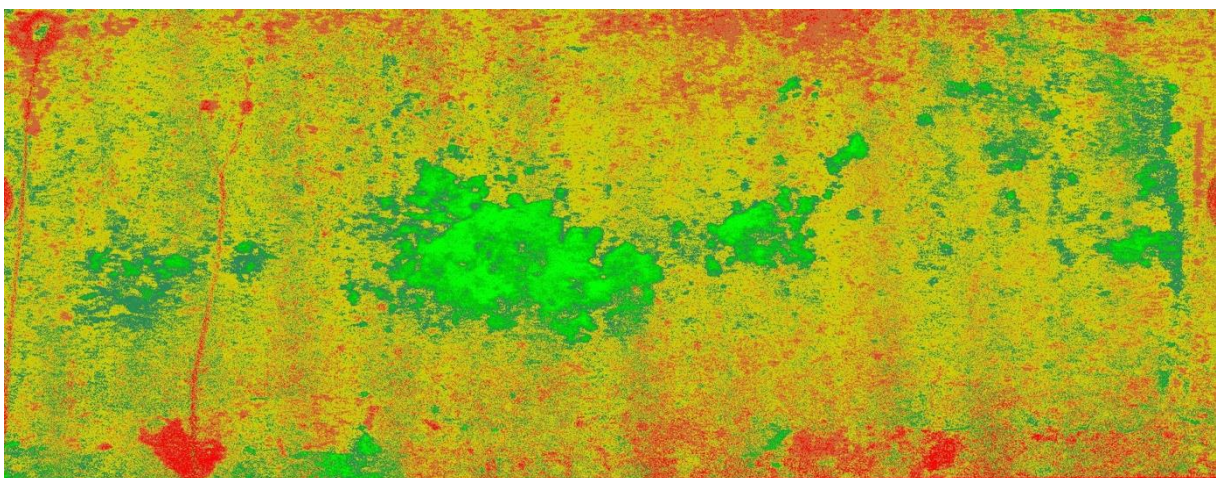
Obr. 5 – Hodnoty NDVI rozdělené do šesti tříd a jejich procentuální zastoupení [převzato z 21].



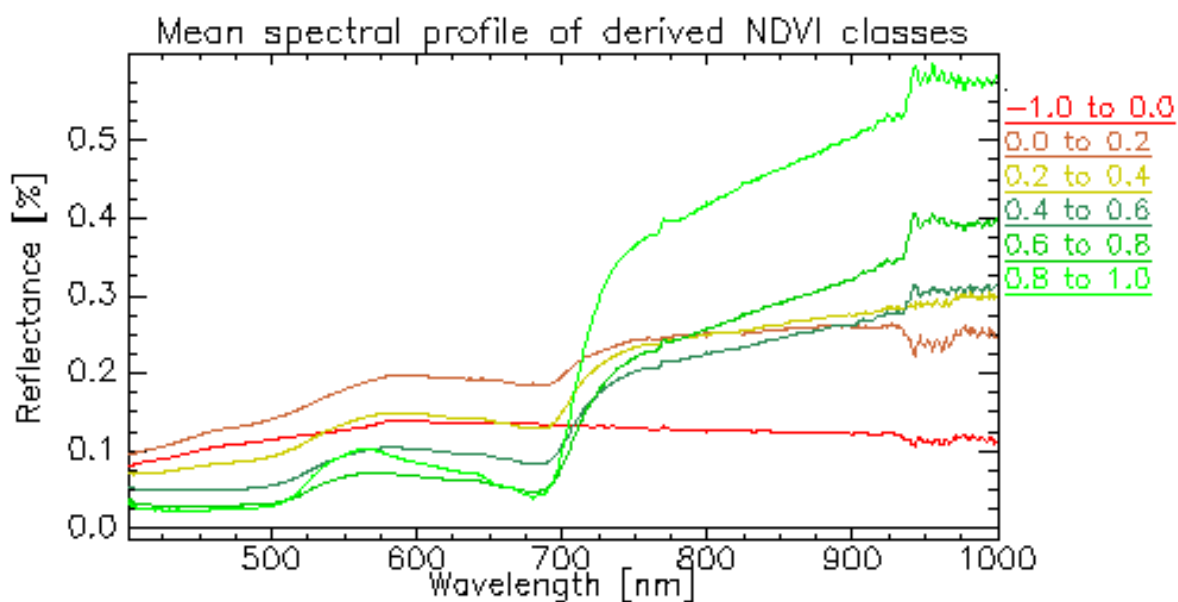
Obr. 6: Snímek NDVI se šesti třídami, legenda viz Obr. 5 [převzato z 21].



Obr. 7: Hodnoty NDVI rozdělené do šesti tříd a jejich procentuální zastoupení [převzato z 21].



Obr. 8: Snímek NDVI se šesti třídami, legenda viz Obr. 7 [převzato z 21].



Obr. 9 – Průměrné křivky spektrální odrazivosti pro jednotlivé třídy získané z hodnot NDVI [převzato z 21].

ZÁVĚR

Za účelem analýzy zvětrávacích procesů v průběhu času byl vybrán konkrétní historický pískovcový kvádr. Významné změny lze nalézt při srovnání letního (srpnového) a podzimního (listopadového) měření (viz obr. 5 až 8). Změny hodnot NDVI mezi měřeními jsou shrnuty v tabulce 2.

Tab. 2: Změna hodnot NDVI mezi listopadem a srpnem

Hodnota NDVI – třída	Změna [%]
-1,0-0,0	2,06
0,0-0,2	10,25
0,2-0,4	5,72
0,4-0,6	-15,60
0,6-0,8	-3,05
0,8-1,0	0,62

Podle předpokladu autorů příspěvku se záporné hodnoty indexu NDVI (červená barva) zvýšily z 1 % na 3 % a třída s hodnotami 0 až 0,2 vzrostla ze 7,8 % na 18 %, z čehož vyplývá, že je na podzim vidět více holého povrchu kamene. Zároveň však data ukazují přibližně o 6 % více vegetace na listopadovém snímku ve třídě 0,2 až 0,4 s nízkou hustotou vegetace, která pokrývá téměř polovinu zájmového území. Středně hustá vegetace (hodnota NDVI 0,4 – 0,6) se snížila o 15,6 % a porosty s vysokou hustotou (0,6 – 0,8) o více než 3 %. To ukazuje na očekávané snížení množství biologického pokryvu během chladné části roku. Zvýšení zastoupení velmi husté vegetace (0,8 – 1,0) je velmi zajímavé. Předpokládáme, že tato skutečnost může být způsobena rostoucí homogenitou mechu během zimního období. Podle některých autorů lze nalézt vztah mezi hustotou listů mechu a působení stresu. Např.



podle Malenovského et al. [19], během optimálních růstových podmínek rostou převážně méně husté a větší listy mechu, zatímco horší růstové podmínky vedou k menším listům s vyšší hustotou.

Mechy mohou zároveň díky vyschnutí listů hibernovat, dokud se nevrátí vhodnější vegetační podmínky. Buněčné struktury mechu mohou zůstat neporušené, i když v buňce nezůstává žádná tekutina. Listy mechu mají obvykle tloušťku pouze jedné buňky, což umožňuje jejich rychlé ochlazení a dehydrataci. Tento proces snižuje bod mrznutí ledu uvnitř buněk a pomáhá tak předcházet tvorbě vnitřních krystalů, které mohou poškodit jemné buněčné stěny [20].

Vzhledem k povaze získaných dat existuje mnoho možností jejich zpracování. S probíhajícím projektem budou tyto testovány a konečné výsledky budou zveřejněny. Na závěr bude také ohodnocena synergie působení různých zvětrávacích procesů, nicméně možnosti laboratorních analýz jsou silně ovlivněny nemožností destruktivního vzorkování z důvodů památkové ochrany zdiva.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu NAKI podporovaného Ministerstvem kultury České republiky s názvem Topografie povrchu kamene a její aplikace v oblasti restaurování kamenných prvků (č. DG20P02OVV021).

REFERENCE

- [1] Březinová D., Bukovanská M., Dudková I., Rybařík V., Praha kamenná, Přírodní kameny v pražských stavbách a uměleckých dílech, Praha, 287 p., 1996.
- [2] Goodman R., Introduction to rock mechanics, New York, 562 p., 1989.
- [3] R.B.G. Williams, D.A. Robinson, Experimental frost weathering of sandstones by various combinations of salts, Earth Surface Processes and Landforms, 26 (2001) 811-818.
- [4] A. Goudie, H. Viles, Salt weathering hazards, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1997.
- [5] WARSCHEID, Th. a J. BRAAMS. Biodeterioration of stone: a review. International Biodeterioration & Biodegradation [online]. 2000, 46(4), 343-368 [cit. 2020-08-18]. ISSN 09648305. Dostupné z: doi:10.1016/S0964-8305(00)00109-8
- [6] Biologické napadení stavebních materiálů. Izolace.cz [online]. Praha: A.W.A.L. - PRO, s.r.o., 2006 [cit. 2020-08-18]. Dostupné z: <https://www.izolace.cz/clanky/biologicke-napadeni-stavebnich-materialu/>
- [7] ADAN, Olf a Robert SAMSON. Fundamentals of Mold Growth in Indoor Environments and Strategies for Healthy Living. 1. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2011. ISBN 978-90-8686-722-6.
- [8] CANEVA, Giulia a Salvador ORNELLA. Biodeterioration of Stone. The Deterioration and Conservation of Stone: Notes from the International Venetian Courses on Stone Restoration. 1988, , 182-234.
- [9] GRIFFIN, P.S., N. INDICTOR a R.J. KOESTLER. The Biodeterioration of Stone: a Review of Deterioration Mechanisms, Conservation Case Histories, and Treatment. International Biodeterioration [online]. 1991, 28(1), 187-207 [cit. 2020-08-18]. Dostupné z: doi:10.1016/0265-3036(91)90042-P

- [10] MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, Javier, David BENAVENTE, Miguel GOMEZ-HERAS, Luz MARCO-CASTAÑO a M. GARCÍA-DEL-CURA. Non-linear decay of building stones during freeze–thaw weathering processes. *Construction and Building Materials* [online]. 2013, 38, 443-454 [cit. 2020-08-18]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.059
- [11] MCNAMARA, Christopher a Ralph MITCHELL. Microbial deterioration of historic stone. *Frontiers in Ecology and the Environment* [online]. 2005, 3(8), 445-451 [cit. 2020-08-18]. ISSN 1540-9295. Dostupné z: doi:10.1890/1540-9295(2005)003[0445:MDOHS]2.0.CO;2
- [12] SCHEERER, Stefanie, Otto ORTEGA-MORALES a Christine GAYLARDE. Chapter 5 Microbial Deterioration of Stone Monuments—An Updated Overview [online]. Elsevier, 2009, , 97-139 [cit. 2020-08-18]. *Advances in Applied Microbiology*. ISBN 9780123747884. Dostupné z: doi:10.1016/S0065-2164(08)00805-8
- [13] SMITH, B.J., M. GOMEZ-HERAS a S. MCCABE. Understanding the decay of stone-built cultural heritage. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* [online]. 2008, 32(4), 439-461 [cit. 2020-08-18]. ISSN 0309-1333. Dostupné z: doi:10.1177/0309133308098119
- [14] WELTON, , RYAN G, Simon CUTHBERT, Roger MCLEAN, Andrew HURSTHOUSE a John HUGES. A Preliminary Study of the Phycological Degradation of Natural Stone Masonry. *Environmental Geochemistry and Health*. 2003, 25(1), 139-45.
- [15] PODLIŠKA J., SEMERÁD M. Nové poznatky o konstrukci Juditina mostu v Praze. *Staletá Praha*, 28(2), 2012, dostupné: http://www.staletapraha.cz/media/2012_2/clanky-cele/sp-2-2012-08-podliska-semerad.pdf
- [16] Hyperspectral sensors. *Headwall Photonics* [online]. USA: Headwall Photonics, 2020 [cit. 2020-08-25]. Dostupné z: <https://www.headwallphotonics.com/hyperspectral-sensors>
- [17] HUETE, A.R. a R.D. JACKSON. Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies. *Remote Sensing of Environment* [online]. 1988, 25(1), 89-105 [cit. 2021-12-17]. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/0034-4257(88)90043-0
- [18] ENVI Classic. ENVI Classic help [online]. Harris Geospatial Solutions, 2019 [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: file:///C:/Program%20Files/Harris/ENVI55/classic/help/ENVI3WHelp.htm#ENVI3WHome.htm%3FTocPath%3DGetting%2520Started%7C_____0
- [19] MALENOVSKY Z., TURNBULL JD., LUCIEER A., ROBINSON SA. Antarctic moss stress assessment based on chlorophyll content and leaf density retrieved from imaging spectroscopy data. *New phytologist*. 2015, 208(2), 608-624, ISSN 0028-646X.
- [20] ILLERBRUN K. Antifreeze and sunblock: How mosses survive an Alberta winter, 2021, available online: <http://blog.abmi.ca/2021/11/29/antifreeze-and-sunblock-how-mosses-survive-an-alberta-winter/>
- [21] MATOUŠKOVÁ, Eva a Kateřina KOVÁŘOVÁ. THE ROLE OF TECHNICAL AND NATURAL SCIENCES IN STONE MONUMENTS CARE. *Stavební obzor - Civil Engineering Journal* [online]. 2021, 30(4) [cit. 2022-01-25]. ISSN 1805-2576. Dostupné z: doi:10.14311/CEJ.2021.04.0070