

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

Možnosti nedestruktivního průzkumu přírodního kamene na stavbách

Bakalářská práce

Petr Snížek



Vedoucí bakalářské práce: Doc. Mgr. Richard Přikryl, Dr.

Praha 2009

GEOLOGIE NEROSTNÝCH
ZDROJŮ
PŘÍRODNÍ KÁMEN
ZVĚTRÁVÁNÍ
OPTICKÉ METODY
NEDESTRUKTIVNÍ METODY

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Doc. Mgr. Richardu Přikrylovi, Dr. za cenné rady, podnětné návrhy a čas, který mi věnoval.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

Praha, 2009

Petr Snížek

Podpis:



Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá přístupy používanými v současné době pro hodnocení přírodního kamene na historických stavbách. Hlavním kritériem pro výběr těchto metodických postupů je jejich nedestruktivní charakter na studované objekty a s tím i související aplikovatelnost v místě, kde se zkoumaná historická stavba nachází (in situ). Dle těchto kritérií byly vybrány tři metodické postupy, které pomocí různých způsobů výzkumu zvětrávacích projevů zkoumají stav přírodního kamene na stavbách, zejména míru jeho zvětrání a také naléhavost lidského zásahu pro uchování studované stavby. První z popisovaných metodických postupů je Diagnostické hodnocení zvětrávacích jevů na kamenných památkách, který je velice složitý a skládá se z několika dílčích částí. Druhým je holistický přístup, vycházející z medicínského postupu, který se úspěšně používá pro pacienty s onkologickými potížemi. Tento postup je velmi rychlý a jednoduchý. Poslední částí jsou metody stanovení poškození povrchu stavebního kamene pomocí optických metod, do kterých patří metoda určení odstínů šedi, metoda analýzy digitálních fotografií pomocí programu GIS a analýza digitálních snímků pomocí programu Adobe Photoshop.

Summary

This bachelor work follow up approaches which are in these time used for evaluation of the building stone on historical monuments. The main criterion for the selection of these methodical processes is their non destructive character for studied objects including the use of processes in situ. Along these criteria are selected three methodical processes, which are suitable for studying building stone and its decay. These three methods are based on various types of used methods for studying and classification of weathering on building stones. The first methodical process is Damage diagnosis on stone monuments - weathering forms, damage categories and damage indices. This is a very complicated and time consuming methodical process which includes a few subsections. The second is holistic approach which is very fast and simple. The last are three optical methods where is optical inspection of dark and white points in the image, analysis of digital images by GIS and analysis of digital images by Adobe Photoshop.

OBSAH:

1. ÚVOD.....	1
2. ZVĚTRÁVACÍ PROCES.....	2
3. DETAILNÍ HODNOCENÍ ZVĚTRÁVACÍCH JEVŮ NA KAMENNÝCH PAMÁTKÁCH.....	3
3.1 Mapování památky.....	6
3.2 Klasifikace a mapování horninových druhů.....	7
3.3 Klasifikace a mapování zvětrávacích projevů.....	8
3.4 Hodnocení poškození.....	10
3.4.1 Kategorie poškození.....	10
3.4.2 Výpočet indexů poškození.....	11
4. HOLISTICKÝ PŘÍSTUP.....	11
4.1 Představení lékařské metodiky a úprava pro potřeby geologie.....	12
4.2 Postup.....	13
4.3 Výstupy a hodnocení výsledků.....	15
4.4 Dlouhodobá aplikace holistického přístupu v památkové péči.....	16
5. STANOVENÍ POŠKOZENÍ POVRCHU STAVEBNÍHO KAMENE POMOCÍ OPTICKÝCH METOD.....	16
5.1 Optická kvantifikace poškození povrchu kamene.....	17
5.2 Hodnocení poškození kamene pomocí integrovaných databází a geografického informačního systému (GIS).....	18
5.3 Fotografický monitoring zvětrávání.....	21
6. ZÁVĚR.....	23
7. POUŽITÁ LITERATURA.....	24

1. ÚVOD

Kamenné stavby měly vždy výsadní postavení, mimo jiné proto, že přírodní kámen je pokládán za materiál s výrazně delší životností než jiné stavební hmoty. Třebaže se ochraně, konzervaci a rekonstrukci historických kamenných staveb věnuje pozornost minimálně od 19. století, teprve v posledních desetiletích se začaly používat metodické postupy pro hodnocení památek in situ, které usnadňují a umožňují účinný zásah při jejich záchraně. Cílem průzkumu přírodního kamene na stavbách je zejména určení petrografických typů použitého kamene, stanovení zvětrávacích projevů, které se na něm uplatňují, a stanovení míry zvětrání kamene včetně stanovení náležitosti restaurátorských prací.

V poslední době se objevilo poměrně hojné množství nejrůznějších metodických postupů, jež shrnují znalosti z různých oborů lidské činnosti, které se zabývají historickými památkami a kulturním dědictvím. Jejich společným rysem pak je vytvořit komplexní, efektivní, jednoduchý a levný nástroj pro studium poškození stavebního kamene na památkách.

Cílem této práce je prostudovat několik těchto postupů a srovnat jejich výhody, nevýhody a použitelnost pro danou problematiku. Pro zúžení výběru postupů je ještě přidán požadavek na jejich nedestruktivní charakter. Ten by měl být součástí každé takovéto metody, protože významnou měrou přispívá k zachování památky.

Pro tato kritéria se jako vyhovující objevilo pět hlavních metod, které jsou velmi odlišné použitou technikou i způsobem zjišťování a hodnocení zvětrávacích projevů na historických stavbách. První metodický postup je velmi propracovaný a má přesně daný sled jednotlivých kroků, tak, aby se postihly zvětrávací projevy všech velikostí a typů. Druhý postup je pak modifikací úspěšné lékařské metodiky, která slouží pro zjišťování stavu pacientů s onkologickými onemocněními a pro jejich dlouhodobé sledování a případné předpovědi dalšího vývoje nemoci. Poslední tři metody využívají analýzy optických informací, většinou digitálních. Jedná se za prvé o metodu, která využívá analýzy odstínů šedi k určení míry zvětrání. Dále je to způsob analýzy digitálních fotografií pomocí geografického informačního systému a na závěr jednoduchý způsob analýzy systematicky pořízených fotografií v programu Adobe Photoshop.

2. ZVĚTRÁVACÍ PROCES

Zvětrávání hornin je soubor fyzikálních a chemických procesů, při kterých dochází k mechanickému rozpadu a chemickému rozkladu hornin na zemském povrchu. Horniny a jejich stavební součásti, tedy minerály, reagují během zvětrávacích procesů s atmosférickými a hydrosférickými činiteli a biosférou. Nezbytnou energii těmto procesům dodává zejména sluneční záření. Kromě fyzikálních a chemických procesů se na zvětrávání podílejí, přímo či nepřímo, i organismy. Fyzikální rozpad usnadňuje působení chemicky aktivních látek, a naopak. Mezi hlavní procesy, které způsobují mechanický rozpad, patří zejména objemové změny, rozmrzání a zamrzání pórové vody, krystalizační tlak některých solí, působení gravitace, činnost rostlin a větrná abraze. O dost složitějším procesem je zvětrávání chemické. Dochází nejen k rozpadu původní horniny, ale také k reakcím mezi horninou a roztoky, které jí prostupují, a díky tomu se hornina může značně látkově měnit. Z chemických reakcí se při zvětrávání uplatňují zejména rozpouštění, hydratace a oxidace. Z faktorů, které ovlivňují rychlost zvětrávání, jsou nejdůležitější výchozí složení a struktura horniny, klimatické poměry a morfologie povrchu horniny. Pro vliv klimatických podmínek pak platí, že v teplejších oblastech se uplatňuje především chemické zvětrávání, protože je zde vlhčí a teplejší klima, které usnadňuje chemické procesy, zatímco v chladnějších oblastech má větší vliv zvětrávání mechanické. V poslední době také přispívá významnou měrou ke zvětrávání hornin člověk, který vypouští do ovzduší či do podzemních vod nezanedbatelné množství chemicky agresivních látek, které pak výrazným způsobem erodují horniny; typickým příkladem je vliv kyselých dešťů (Bland a Rolls 1998).

Na stavební kameny působí většinou několik zvětrávacích procesů najednou. Jedním z důvodů, proč stavební kámen zvětrává, jsou změny tlaku na bloky. V přirozeném prostředí byl blok vystaven všesměrnému tlaku, který jeho vyjmutím z horninového masivu přestal působit. Ve stavbě na něj sice tlaky stále působí, ale už zcela jiné a mnohem menší a kámen se jim postupně přizpůsobuje. Vinou těchto procesů vznikají v blocích nejrůznější praskliny nebo dochází k plastickým deformacím. V některých případech může mít na poškození kamene vliv také zemětřesení, při kterém se mohou některé působící tlaky mnohonásobně zvýšit. Dalšími projevy zvětrávání jsou změny barvy kamene, ty už ale nejsou způsobeny tlakem. Změny barvy může způsobit sluneční aktivita, vlhkost, ale také třeba změny v minerálech, jimiž je kámen tvořen. Například když některé minerály ztrácejí železo, které je významným prvkem pro její barvu, hornina vybledne.

Velmi významným faktorem ovlivňujícím zvětrávání stavebního kamene je také vlhkost. Ta ovlivňuje stavební kámen buď tak, že uvnitř mění svůj objem společně s měnící se teplotou, a rozrušuje tak kámen, nebo do kamene přináší soli, které krystalizují a jejich krystalizační tlaky kámen rozrušují (Winkler 1997). Krystalizační tlaky solí jsou jedním z nejčastějších zvětrávacích procesů na stavbách. K dalším faktorům ovlivňujícím zvětrávání patří činnost větru, která unáší drobné abrazivní částice.

Ze vzduchu se také ke kameni dostávají nejrůznější chemické látky, které způsobují chemické zvětrávání. V poslední době k těmto látkám přibývá mnoho antropogenních chemikálií, které rozklad kamene většinou silně podporují.

3. DETAILNÍ HODNOCENÍ ZVĚTRÁVACÍCH JEVŮ NA KAMENNÝCH PAMÁTKÁCH

Detailní hodnocení zvětrávacích jevů bylo vyvinuto skupinou dr. Fitznera pro historické stavby. Může být používáno jak na památky, které jsou vytesány přímo do kamene (Obr. 1) nebo vytvořeny z velkých bloků kamene (příkladem mohou být sochy či velké stavby tesané do skalních stěn), tak i pro památky, které jsou postaveny z několika druhů vzájemně naprosto odlišných druhů kamene (Obr. 2). Navíc se může zabývat stavbou jako celkem nebo jednotlivými částmi, které mohou být poškozeny samostatně (nosné oblouky, sochy, fasády apod.). Velikou výhodou metody je také fakt, že je použitelná přímo v místě, kde je památka umístěna, a vše se odehrává nedestruktivním způsobem, takže památka výzkumem neutrpí žádná další poškození (Fitzner a Heinrichs 2002).



Obr. 1. Socha Gargoyle (převzato z Fitznera a Heinrichse 2002)



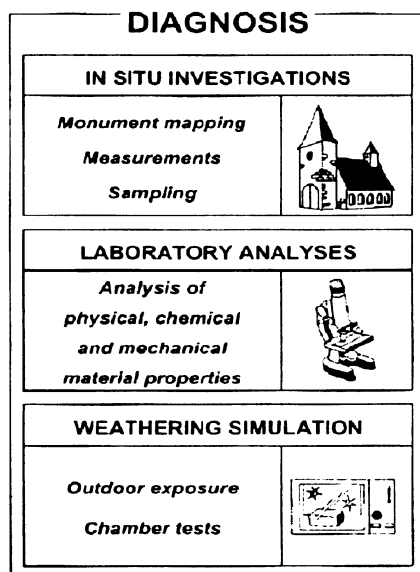
Obr. 2. Cheopsova pyramida a Sfinga, Káhira, Egypt (převzato z Fitznera a Heinrichse 2002)

Vlastní studium kamene na památkách podle této metody je systematicky rozděleno na několik základních částí, jimiž jsou anamnéza, diagnóza a tzv. terapeutické kroky. Diagnóza je základním předpokladem k poznání památky. Diagnózu lze rozdělit do tří dalších částí, které mají ještě několik dílčích bodů (Obr. 3). Pomocí toho schématu lze provést kvalitní diagnózu a získat základní poznatky

pro další studium památky. Diagnóza se skládá z následujících částí (Fitzner a Heinrichs 2002):

- Identifikace a lokalizace památky, která dále zahrnuje: jméno, typ stavby, jméno a informace o staviteli, vlastnictví objektu, případně osoby zodpovědné za objekt, rozměry, geografická pozice, vystavení povětrnostním vlivům a okolnímu prostředí v průběhu času a podloží budovy.
- Historicko-umělecké charakteristiky, které v sobě zahrnují: historii výstavby, stavební techniky a technologie, architektonickou kompozici, umělecké prvky, druh a původ všech použitých stavebních i uměleckých materiálů, historický, kulturní a umělecký význam památky.
- Vyšetření poškození, stanovení prostředí, kterým památka prošla. Tato část do sebe zahrnuje body: využití objektu v průběhu času, předchozí rekonstrukce, opravy a konzervační práce, přírodní a antropogenní dopady (zemětřesení, požáry, války, znečištění vzduchu apod.), vývoj životního prostředí v okolí památky.

Aby mohly být splněny tyto základní požadavky na provedení diagnózy, je nutné použít metody výzkumu památky na místě, laboratorní analýzy a také simulaci v laboratoři, což se nejčastěji využívá pro sledování povětrnostních změn v prostředí (Fitzner a Heinrichs 2002).



Obr. 3. Jednotlivé fáze diagnózy
(převzato z Fitznera a Heinrichse 2002)

Předpokladem pro správnou interpretaci zjištěných dat je sjednocení měřítek a stupnic používaných pro měření a vyjádření rozsahu jednotlivých zvětrávacích projevů. Pro určování rozměrů a stanovování rozsahu poškození na památkách je podle této metody použito rozdělení na jevy viditelné pouhým okem a jevy, které jsou lidským okem nepostihnutelné a jejich pozorování a studium vyžaduje použití speciálních přístrojů a pomůcek od lup až po mikroskopy. Stupnice rozsahu

zvětrávacích projevů se dále rozděluje na čtyři různé stupně, od mikroměřítka po makroměřítka (Tab. 1). Jednotlivá měřítka navíc reprezentují určité typy poškození (Viles et al. 1997).

Tab. 1. Měřítka a parametry poškození kamene. (upraveno podle Fitznera a Heinrichse 2002)

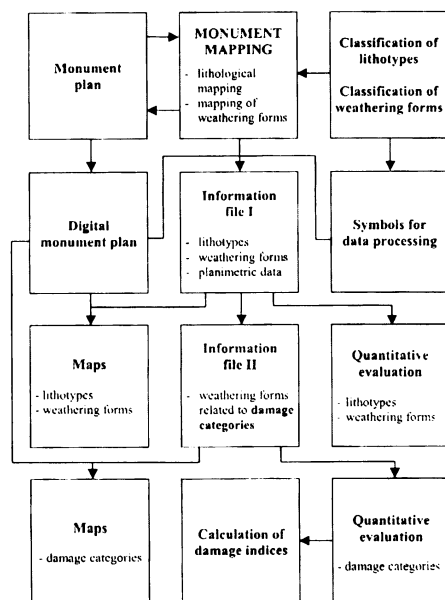
Měřítka a parametry poškození kamene			
MĚŘÍTKA		PARAMETRY	VĚDNÍ OBORY
Okem nepostihnuté poškození	Nanoměřítka <mm	Změny vlastností kamene - složení, textura, porozita, pevnost atd	Geovědy, materiálové studie, chemie, fyzika, mikrobiologie
	Mikroměřítka mm až cm	Ztráta barvy, ztráta hmoty, změny v mikrostruktúře	
Okem viditelné poškození	Střední měřítka cm až m	Zhoršování stavu - zvětrávací projevy	
	Makroměřítka celé fasády staveb	Strukturní stabilita, estetické vystupování	

V návaznosti na toto základní rozdělení již nastupují hlavní části metodického postupu, které se zabývají vlastním zpracováním dat získaných během anamnézy. Tato část se v podstatě skládá ze tří hlavních celků, kterými jsou: a) stanovení zvětrávacích útvarů, ve kterém se detailně popisují zvětrávací útvary podle typu a intenzity; b) rozdělení na kategorie poškození, kdy se podle předem definovaných tabulek kategorizují a sumarizují jednotlivá poškození; c) vypočtení indexů poškození, které zohledňují předchozí kroky a mají za úkol shrnout, kvantifikovat a zhodnotit míru poškození na památce jako celku a zároveň stanovit nutný rozsah oprav.

Z informací uvedených v Tab. 1 je zřejmé, že zde popisovaný postup je nejlépe využitelný pro střední a velké měřítka zvětrávacích projevů (v řádu centimetrů až metrů). Jedná se o pouhým okem pozorovatelné poškození a díky tomu je metodický postup dobře použitelný přímo v terénu bez nutnosti použití složitých přístrojů a technologií. Dalšími výhodami je, že výstupy z tohoto metodického postupu jsou velmi srozumitelné a podávají kvalitní a jednoduše prezentovatelné informace o aktuálním stavu zkoumaného objektu a také o rozsahu oprav. Díky těmto výhodám se metodický postup stal velmi uznávaným nástrojem pro studium památek a byl ve světě použit na mnoho historických staveb (Fitzner a Heinrichs 1998a, 1999; Fitzner et al. 2000, 2003; Heinrichs a Fitzner 1999, 2000). Nevýhodou postupu je jeho časová a finanční náročnost, což je dáno detailností a přesností prováděných prací. Z tohoto důvodu se postup zpravidla aplikuje spíše na velké objekty kulturního dědictví mezinárodního významu, pro které lze lépe získat finanční prostředky na průzkum. Aplikace na menších objektech není samozřejmě vyloučena (Fitzner a Heinrichs 2002).

3.1 Mapování památky

Mapování památky je úvodní částí celého metodického postupu a představuje nejzdlouhavější a nejnáročnější část z celého procesu studia dané historické památky. Mapování je velmi důležité pro dokumentaci a vyhodnocení druhů hornin použitých na konkrétní stavbě a zároveň zjištění základních zvětrávacích útvarů na těchto typech hornin. Proces mapování památek in situ byl odborně popsán v pracích (Fitzner a Heinrichs 1998b; Fitzner et al. 1995, 1997a, b). Postup mapování lze rozdělit na dvě základní části – na mapování jednotlivých druhů stavebního kamene a mapování zvětrávacích projevů. Předlohami pro mapování jsou plány památky, z kterých se postupem mapování získávají a vytvářejí klasifikační schémata použitých hornin a zvětrávacích útvarů. Speciálně k tomuto účelu byl vytvořen i počítačový program nesoucí název VIA (Virtual Image Analyzer). Tento program slouží pro zpracování pořízených ilustrací a systematický kvantitativní popis informací získaných během mapování. Mapování má svůj závazný postup (Obr. 4), který je nutno dodržovat, aby byla získána kvalitní a dostatečně podrobná data a mohlo se přistoupit k dalším krokům metody.



Obr. 4. Schéma průběhu celého postupu při detailním hodnocení kamene a jeho zvětrávacích forem (převzato z Fitznera a Heinrichse 2002)

(Fitzner et al. 1997b) popisují postup mapování následovně: Mapování je úzce spojeno s fotodokumentací horninových typů a zejména zvětrávacích projevů. Pro začátek je důležité zanést a počítat s opracováním kamene před započítáním stavby, významem jednotlivých bloků či kvádrů pro celkovou konstrukci stavby, s předchozími úpravami a opravami památky a také s expozicí vůči povětrnostním vlivům. Zaznamenávání horninových typů, zvětrávacích procesů a počítačem rozšířených dat probíhá pomocí symbolů. Základními kroky v této části postupu tak jsou:

- digitální plány památky obsahující všechna rozlišení rozdílných oblastí (změny reliéfu, barevnost apod.), což může být výsledkem různých typů hornin a nebo odlišných typů, intenzit a kombinací zvětrávacích projevů;
- počítání a planimetrické hodnocení všech oblastí, které se odlišují od neporušeného stavebního kamene (narušení povrchu bloků, změny barevnosti apod.);
- rozdělení těchto získaných mapovacích informací na různé horninové typy a na zvětrávací projevy. Výstupem tohoto postupu je tzv. informační soubor I (na Obr. 4 – Information file I).

Po zpracování tohoto kroku následuje zpracování map, na kterých jsou zvláště zobrazeny typy jednotlivých použitých hornin, a map, v nichž jsou vykresleny plochy a rozmístění zvětrávacích projevů. Tyto mapy se kvantitativně vyhodnocují podle předem daného schématu, které se nazývá „Zvětrávací projevy – kategorie poškození“.

3.2 Klasifikace a mapování horninových druhů

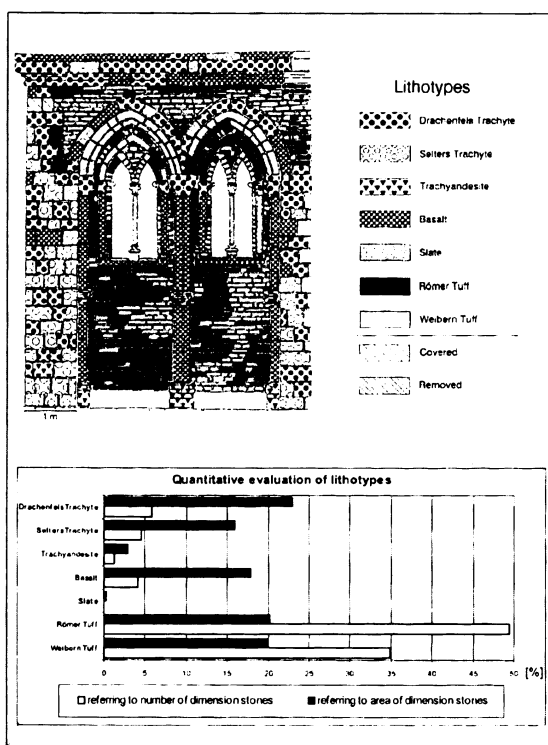
V historických památkách se mohou vyskytnout petrograficky velmi odlišné typy přírodního kamene. Tato rozmanitost je způsobena širokou škálou faktorů, kterými jsou kupříkladu statické (ne každý druh kamene unese klenbu apod.) a umělecké důvody (zejména vzhled kamene), dostupnost materiálu v dané lokalitě a v neposlední řadě také zpracovatelnost materiálu. Dále se pak nesmí zapomínat na stáří památek a do faktorů ovlivňujících použité materiály je také nutno zahrnout vlivy opravování či přestavování památky. Precizní znalost všech použitých druhů kamene je nutná pro korelaci mezi typy kamene a zvětrávacími projevy. Tato znalost do sebe zahrnuje také prostorové proměnlivosti jednotlivých typů kamene.

Mapování horninových druhů je zpracováváno následujícím způsobem podle Fitznera a Heinrichse (2002): Prvním krokem této fáze mapování zahrnuje soupis všech druhů kamene, které je možno na památce objevit. Pro tyto účely se používá dobře propracovaných petrografických klasifikačních schémat. Mimo to se do této části zahrnují také regionální či obchodní názvy použitých materiálů a místa jejich původu, pokud je možno tyto informace zjistit. Během mapování horninových druhů se postupuje systematicky po určené ploše výzkumu, a zjišťuje se tak typ a distribuce druhů kamene. Takto získané informace se zanášejí do map horninových druhů a zároveň se jednotlivé typy kvantitativně vyhodnocují. Toto hodnocení může být buď na základě počtu jednotlivých kamenů, nebo na základě plochy, kterou zabírají.

Tyto dvě metody kvantitativního vyhodnocení mohou přinášet dosti odlišné výsledky, což je dobře vidět z grafu na Obr. 5 dole, kde jsou oba způsoby porovnány. Je zde také možno najít mapu jednotlivých horninových druhů, tak jak vypadá ve skutečnosti.

3.3 Klasifikace a mapování zvětrávacích projevů

Po zmapování památky z hlediska jednotlivých druhů použitého kamene přichází na řadu druhá, detailnější část procesu mapování, a tou je zaznamenání zvětrávacích projevů. Ty se užívají pro precizní popis poškození na památkách v řádech centimetrů až metrů, tedy změny pozorovatelné pouhým okem. Tyto typy poškození jsou způsobeny zvětrávacími faktory. Pro tyto jevy nebyla v minulosti vytvořena žádná klasifikační schémata. Skupina dr. Fitznera navrhla detailní klasifikaci zvětrávacích projevů jako základ pro precizní, cílenou a dobře reprodukovatelnou registraci a dokumentaci těchto jevů (Fitzner et al. 1995).



Obr. 5. Mapa horninových druhů a graf kvantitativního hodnocení horninových druhů (převzato z Fitznera a Heinrichse (2002))

Tato práce vymezuje čtyři základní komponenty pro určování a další kategorizaci zvětrávacích projevů. Těmito základními komponentami jsou: definice zvětrávacích útvarů, symboly pro záznam a zpracování dat, parametry pro klasifikaci intenzity a fotoatlas ukázek pro jednotlivé případy.

Rozdělení zvětrávacích útvarů má pak svoji stanovenou hierarchii: Její první úrovní jsou čtyři skupiny zvětrávacích projevů. Tyto čtyři skupiny jsou nazvány 1. úbytek kamenného materiálu, 2. ztráta barevnosti a doplňky, 3. odpadávání úlomků, 4. deformační jevy a trhliny. V druhé úrovni je členění podrobnější, protože každá z těchto skupin je dále dělena na hlavní zvětrávací projevy. Ve třetí úrovni se pak dále diferencuje na individuální zvětrávací projevy a na úrovni čtvrté se každý individuální zvětrávací projev kategorizuje podle jeho intenzity. Tímto postupným zpřesňováním údajů o daném

zvětrávacím projevu se dosáhne vysoké přesnosti popisu. Pro příklad je uvedeno kompletní členění čtvrté základní skupiny, tedy deformačních jevů a trhlin. Hlavní název skupiny je Deformační jevy a trhliny, do podskupiny hlavních zvětrávacích projevů potom patří Deformace (ohýbání a vybočování hlavních vrstev způsobené plastickou deformací) a Trhliny (individuální trhliny nebo jejich skupiny způsobené přírodními nebo stavebními příčinami). Do podskupiny individuálních zvětrávacích projevů pak patří pro trhliny: Trhliny závislé na struktuře kamene (foliace, páskování apod.) a Trhliny závislé na stavebních příčinách (pohyb materiálu, tlaky na materiál apod.) a pro deformace jsou to Deformace konvexní a Deformace konkávní. V závěrečném upřesnění se sleduje intenzita zjištěných jevů, u trhlin zejména jejich počet, délka, šířka a hloubka a u deformací pak amplituda ohýbání nebo vybočování. Členění ostatních skupin je analogické, pouze popisuje jiné zvětrávací projevy (Fitzner et al. 1995).

Takto uvedená hierarchie však není obecně závazná a měla by být pokaždé přizpůsobována škále působení intenzit zvětrávacích faktorů, které se vyskytují v lokalitě, kde se památka nachází. Vliv na odlišné výsledky klasifikace může mít také velikost stavebních kamenů. Z tohoto důvodu byly navrženy pro doplnění a zpřesnění výsledků ještě třídy intenzity, které umožňují detailnější a přesnější popis studované památky v daných podmínkách, ale zároveň umožňují lépe porovnávat výzkumy z různých památek umístěných v odlišných zvětrávacích podmínkách, a tudíž i v různých třídách intenzity.

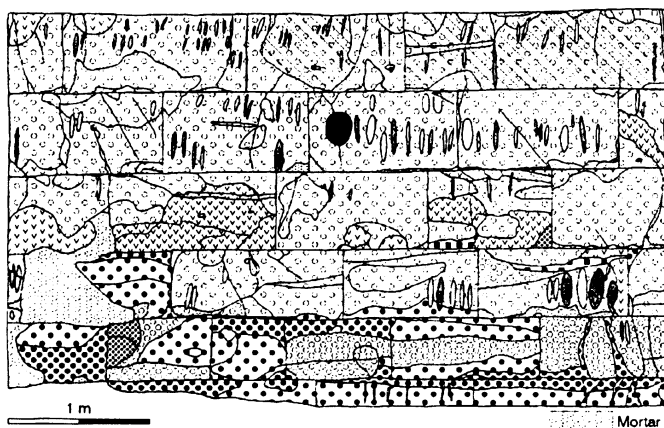
Všechny zvětrávací projevy se systematicky registrují podle několika kategorií, kterými jsou typ, intenzita, kombinace zvětrávání a distribuce jevů. Tyto informace jsou zobrazeny také na zvětrávacích mapách. Každá mapa se pak specializuje na jednu ze skupin zvětrávacích jevů z výše uváděných čtyř. To znamená, že výstupem jsou čtyři mapy, které zobrazují každá jiný druh zvětrávacích procesů. Příklad z praxe je uveden na Obr. 6, kde je vidět zvětrávací mapa, na které je znázorněn odnos materiálu.

Mapy ze stejných částí památky lze kompletně překrývat a korelovat, čímž se získávají kompletní informace o zvětrávacích projevech na památkách, o jejich intenzitě a kombinacích. Ze vzájemného překrývání map lze také vysledovat vzájemné vztahy mezi zvětrávacími projevy a z těch poté stanovit dodatečnou informaci, kterou je posloupnost zvětrávacích projevů. Ta se využívá spíše jako doplňkový výstup, nicméně v některých případech umožňuje například rekonstrukci podmínek, kterými památka během svého vývoje prošla.

Všechny zvětrávací projevy jsou také hodnoceny kvantitativně. Data z tohoto hodnocení jsou zpracována tabelárně a do tabulky se zaznamenávají intenzity a rozsahy různých zvětrávacích projevů.

3.4 Hodnocení poškození

Ačkoliv zvětrávací projevy umožňují poměrně přesný popis zhoršení stavu památky, kategorie poškození byly stanoveny pro zhodnocení, a zejména zjednodušení výstupů výzkumu a lepší orientaci v nich. Indexy poškození byly poté stanoveny jako výsledný nástroj pro celkovou kvantifikaci poškození kamene a také pro jednoduchou prezentaci výsledků celého metodického postupu (Fitzner a Heinrichs 2002). Kombinují v sobě neměnný postup pro charakterizaci, hodnocení, kvantifikaci a posouzení viditelných poškození kamene. Poskytují též cennou informaci pro další obory, zejména pro vyhodnocení rizik a přijetí patřičných záchranných opatření.



Obr. 6. Zvětrávací mapa s vyznačenými oblastmi odnosu materiálu (převzato z Fitznera a Heinrichse 2002)

3.4.1 Kategorie poškození

Kategorie poškození se používají pro hodnocení jevů ze skupiny individuálních poškození. Fitzner a Heinrichs (2002) stanovují šest kategorií od nuly do pěti: 0 – okem nepostihnutelné poškození, 1 – velmi slabé poškození, 2 – slabé poškození, 3 – střední poškození, 4 – těžké poškození, 5 – velmi těžké poškození.

Na základě korelačních schémat jsou všechny zvětrávací projevy rozděleny do těchto zvětrávacích kategorií. Korelační schémata do sebe zahrnují intenzitu zvětrávacích jevů, proporce degradovaných kamenných částí v poměru k celkové velikosti památky, funkci strukturních prvků a také historickou, architektonickou a uměleckou hodnotu památky. Aby se dosáhlo co nejpřesnějších výsledků, mělo by vytvoření korelačních schémat probíhat ve spolupráci se všemi odborníky z nejrůznějších oborů, kteří se na výzkumu a opravách dané památky podílejí.

Jako první krok ve stanovování kategorií poškození se určují kategorie poškození pro každou skupinu zvětrávacích jevů. V dalším kroku se používají přesně daná schémata pro stanovení celkových indexů poškození, které v sobě již zahrnují všechny druhy zvětrávacích jevů. Tyto kategorie poškození se zpětně zanášejí do map a jsou kvantitativně hodnoceny. Kategorie poškození jsou velmi vhodným prostředkem a indikátorem pro stanovení nutnosti opravy památky. Mapy kategorií poškození umožňují přesně se zaměřit na místa, kde je nutnost zásahu nejvyšší.

3.4.2 Výpočet indexů poškození

Indexy poškození byly vytvořeny pro závěrečné hodnocení a kvantifikaci zvětrávacího poškození na památkách. Výpočet těchto indexů je založen na kvantitativním hodnocení kategorií poškození a má svůj závazný postup, který je zobrazen v Tab. 2. Z této tabulky je také patrné, že indexy jsou rozděleny na dva dílčí typy, a sice na index lineární a index progresivní. Oba indexy se udávají v hodnotách od 0 do 5.0. Lineární index koresponduje s průměrnou kategorií poškození, kdežto progresivní index zdůrazňuje míru vyšších kategorií poškození.

Aplikace indexů poškození zajišťuje spolehlivou a dobře reprodukovatelnou kvantifikaci zvětrávacích poškození a poskytuje důležité informace pro nutnost zásahu do památky. Vyrůstající indexy poškození korespondují s větší nutností zásahu. I v případě nízkého lineárního indexu poškození lze objevit velikou míru poškození, což se projeví velikým rozdílem mezi lineárním a progresivním indexem (Fitzner a Heinrichs, 2002).

Tab. 2 Vzorce pro výpočet lineárního a progresivního indexu poškození (upraveno podle Fitznera a Heinrichse 2002)

VZORCE PRO VÝPOČET LINEÁRNÍHO A PROGRESIVNÍHO INDEXU POŠKOZENÍ			
LINEÁRNÍ INDEX POŠKOZENÍ		PROGRESIVNÍ INDEX POŠKOZENÍ	
$DI_{lin} = \frac{(A \cdot 0) + (B \cdot 1) + (C \cdot 2) + (D \cdot 3) + (E \cdot 4) + (F \cdot 5)}{100}$		$DI_{prog} = \sqrt{\frac{(A \cdot 0^2) + (B \cdot 1^2) + (C \cdot 2^2) + (D \cdot 3^2) + (E \cdot 4^2) + (F \cdot 5^2)}{100}}$	
$\frac{B + (C \cdot 2) + (D \cdot 3) + (E \cdot 4) + (F \cdot 5)}{100}$		$\sqrt{\frac{B + (C \cdot 4) + (D \cdot 9) + (E \cdot 16) + (F \cdot 25)}{100}}$	
A = Plocha (%) – Kategorie poškození 0	D = Plocha (%) – Kategorie poškození 3	E = Plocha (%) – Kategorie poškození 4	F = Plocha (%) – Kategorie poškození 5
B = Plocha (%) – Kategorie poškození 1	$\sum_{A}^F = 100$		
C = Plocha (%) – Kategorie poškození 2			
$0 \leq DI_{lin} \leq 5$		$0 \leq DI_{prog} \leq 5$	

4. HOLISTICKÝ PŘÍSTUP

Metodický postup uvedený v předešlé kapitole je bezesporu jedním z nejpřesnějších a nejvíce propracovaných postupů, které v současné době pro hodnocení stavu stavebního kamene existují. Do povědomí se dostal zejména díky úspěšné aplikaci na mezinárodně ceněné památky v Egyptě (Fitzner et al. 2003). Nevýhodou tohoto postupu však jsou jeho nemalé nároky na množství lidí provádějících výzkum, časová náročnost a také poměrně vysoká cena. To je způsobeno velice podrobným a precizním propracováním všech detailů. Trendem dnešních vlastníků historických památek je ale spíše postup, kdy výzkum provádí jedna osoba, a tak vzniká poptávka po vzniku jednoduššího, kratšího a výrazně levnějšího postupu.

Pro sestavení takové metody byly vytvořeny základní předpoklady, kterými jsou: poskytnout hodnocení v obecné a všem srozumitelné terminologii, vytvořit jednoduše zpracovatelný a dobře čitelný výstup, stanovit jednoduchý nástroj pro každodenní použití a zahrnout do procesu stručnou předpověď dalšího vývoje zvětrávání. Velice vhodným postupem, který je založen na podobných požadavcích, se ukázal být lékařský TNM (z anglického Tumor, Node, Metastases), který byl vytvořen pro pacienty s onkologickými potížemi (Warke et al. 2003). Snahou tedy bylo uzpůsobit lékařský postup pro potřeby výzkumu zvětrávání na kamenných stavbách, kde je označován jako holistický (Smith a Přikryl 2007).

4.1 Představení lékařské metodiky a úprava pro potřeby geologie

Lékařský metodický postup TNM je mezinárodně uznávaným nástrojem pro hodnocení, léčbu a plánování léčby pro pacienty s onkologickými onemocněními. Pomocí jednoduchých symbolů, které se jasně přidělují konkrétním vlastnostem onemocnění, lze zjistit závažnost choroby a potřebu operativního zákroku či adekvátní léčby. Každý symbol má svou váhu, a výsledná interpretace tak poskytuje komplexní přehled o stavu pacienta (Hermanek a Sobin 1987).

Přidělování symbolů je vázáno předepsaným postupem a rozděluje se na dva druhy hodnocení. Prvním je klinické hodnocení, které je založeno na zanesení pacientova zdravotního stavu před onemocněním a jeho současného zdravotního stavu, a druhým je patologické hodnocení, které vychází z aktuálních vyšetření. V druhé fázi se navíc ke zjištěným hodnotám připojují váhy jednotlivých příznaků a takzvaný faktor ujištění, který do popisu vnáší míru spolehlivosti zjištěných potíží na základě použitých metod, zejména na základě jejich přesnosti. Tyto hodnoty po vyhodnocení vystihují poměrně efektivně druh a původ onemocnění, jeho rozšíření v organismu a také rychlost šíření, která se zjišťuje na základě šíření rakovinných buněk lymfatickým systémem. Z takto uspořádaných výstupů lze velmi dobře určit způsob léčby, nutnost operativního zákroku, či vyloučení léčby, pokud by již byla zbytečná. Hodnoty se udávají pomocí písmen, která označují, které oblasti se dané hodnocení týká, a číslic od jedné do čtyř. Z těchto hodnot se pak stanovuje celková hodnota, která do sebe zahrnuje informace ze všech předchozích hodnot. Stupnice pro celkovou hodnotu je opět od jedné do čtyř a platí, že čím je stupeň vyšší, tím kritičtější je onemocnění. Samozřejmě je velmi důležité správně zhodnotit a přiřadit danou hodnotu, protože chyba by pro pacienta mohla mít fatální následky. Při podcenění rizika by mohlo dojít, díky nedostatečnému způsobu léčby, k rychlému rozšíření choroby, která by se pak mohla stát zhoubnou, a analogicky při nadhodnocení by naopak u pacienta mohlo dojít k poškozením zdravých tkání kvůli nasazení zbytečně radikálních léčebných metod. V případech, že se pacient nachází na rozhraní dvou skupin, volí se vždy z preventivních důvodů ta vyšší. Jednoduchost a výpovědní hodnota tohoto způsobu zápisu umožňuje snadnou a efektivní komunikaci mezi jednotlivými lékaři, a navíc není vůbec problém přidávat další hodnocení nově zjištěných

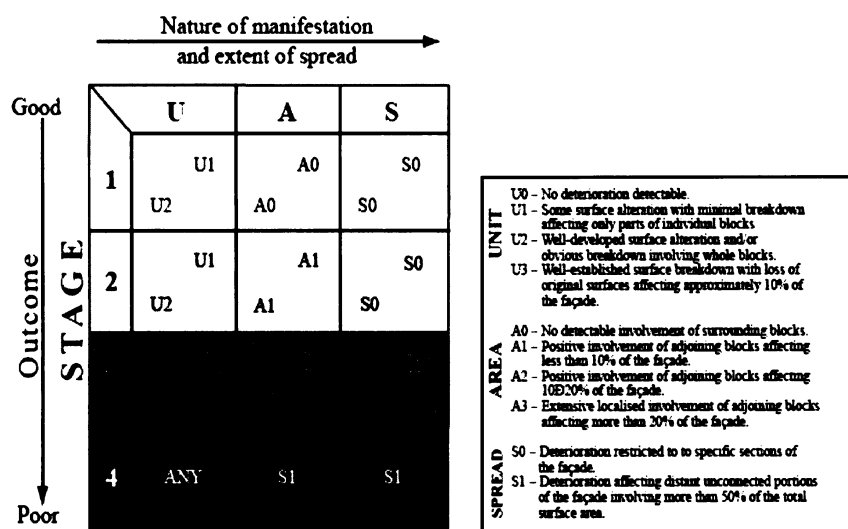
skutečností. Na základě popisu rychlosti šíření choroby a její agresivity se navíc dá i předpovídat, jak se přibližně bude vyvíjet pacientův stav a jaké jsou jeho šance na vyléčení. Případně lze porovnáváním časově seřazených výstupů od pacienta vysledovat, zda se jeho zdravotní stav vylepšuje, či nikoliv.

K přizpůsobení lékařského přístupu pro potřeby památkové péče je nutné zavést změny v terminologii a v tabulce pro vyhodnocování. Lékařská zkratka TNM (Tumour, Node, Metastases) se po uzpůsobení mění na UAS (Unit, Area, Spread). Prvek unit zde představuje hodnocení samostatných bloků stavebního kamene – těch, které jsou nejvíce poškozeny. Prvek area popisuje vedlejší bloky a spread rozšíření zvětrání po celé ploše zkoumané oblasti. Tyto tři prvky umožňují při správném vyhodnocení včas objevit počátky zvětrávání a často je díky tomu umožněno přijmout patřičná opatření dříve, než se poškození rozšíří na větší plochy. Oproti lékařské aplikaci ale není vyhodnocování některých prvků (zejména rozšíření) tak snadné, což lze uvést na příkladu vlhkosti, jejíž výskyt na studované ploše může být čistě náhodný, kdežto rozšíření u případu rakoviny se dá přesně vysledovat na základě pohybu rakovinných buněk lymfatickým systémem. Pro geologickou aplikaci je samozřejmě také použito označení pomocí písmen a čísel od jedné do čtyř a opět platí, že čím vyšší číslo, tím větší poškození. Každý symbol v sobě navíc zahrnuje dvě informace, a sice míru poškození a míru zásahu požadovaného k jejich nápravě. Analogicky s lékařskou metodou se pak stanovují i různé modifikace tabulek pro různé typy hornin a každá hornina má pro různé zvětrávací projevy odpovídající hodnoty míry poškození. To je dáno tím, že každá hornina je jinak odolná vůči zvětrávání. Na závěr se opět stanovuje celkový stupeň poškození vyjádřený od jedné do čtyř. Symboly a jejich popis pro postup UAS jsou zobrazeny na Obr. 7.

Posledním bodem je stanovení míry spolehlivosti jednotlivých údajů, která se musí ověřit. Zde trochu nastává problém, protože se v této části geologická metoda odchyluje od požadavku na to, aby byla nedestruktivní. Ověřování jednotlivých údajů se provádí pomocí laboratorních metod a je nutné pro tyto účely odebrat vzorky z povrchu, a někdy i z hlubších částí stavebních kamenů.

4.2 Postup

Prvním krokem postupu UAS je popis zkoumané památky. Ten by měl obsahovat popis hornin, ze kterých se stavba skládá, polohu památky, její název, letopočet, kdy byla památka postavena a zvětrávací podmínky, ve kterých se stavba nachází. Druhým krokem je hodnocení památky a odůvodnění zhodnocení. K tomu se používá zápisová tabulka, která je zobrazena jako Tab. 3. Je doporučeno, aby památka byla rozdělena na několik částí a každá se popisovala zvlášť. Nejvýhodnější je postupovat po jednotlivých stěnách. V případě komplikovanosti situace lze stěnu rozdělit ještě na několik menších částí.



Obr. 7. Symboly a jejich popis pro postup UAS (převzato z Warke et al. 2003)

Tab. 3. Zápisová tabulka pro postup UAS (upraveno dle Warke et al. 2003)

Zpracovatel:	Datum:
Budova:	
Umístění budovy:	
Popis budovy a stáří:	
Fasáda:	
Předchozí zásahy (pokud jsou známy):	
Druhy kamene:	
Zvětrávací projevy:	
Rozsah zasažení fasády: %	
Biologická kolonizace:	
Rozsah zasažení fasády: %	
Rozsah a povaha povrchového znečištění/obarvení:	
Rozsah zasažení fasády: %	
Jiné zaznamenané změny:	
Rozsah zasažení fasády: %	
Nákres památky může být na druhé straně.	

Další částí je zakreslení celé studované části památky a označení jednotlivých bloků, včetně zakreslení jednotlivých druhů použitých hornin. Nejdůležitějším krokem je pak zakreslení jednotlivých druhů poškození, které se zjišťují pomocí vizuálního hodnocení. I to má dané základní prvky, na které je dobré se zaměřit. Jsou to: a) zřejmá poškození povrchu kvádrů, kam patří hlavně odprsky a drolivý

rozpad, tyto hodnoty se pak ještě škálují podle jejich závažnosti; b) výskyt a míra biologické kolonizace (nejčastější jsou řasy a lišejníky); c) výskyt a míra zbarvení (i antropogenního) a znečištění povrchu bloků; d) výskyt dalších zřejmých poškození bloků jako třeba rozpraskání nebo solný květ. Všechny tyto hodnoty se kromě zakreslení zároveň zaznamenávají do připravené záznamové tabulky, a je tak velmi rychle dosaženo výsledků. Nutno ovšem podotknout, že díky pouhému vizuálnímu hodnocení se dají postihnout pouze změny, které jsou skutečně zřejmé, a může se stát, že se podcení nebezpečí zvětrávání některých vedlejších bloků, které zatím nejsou viditelně poškozeny. Na závěr se do výsledků musí zahrnout ještě faktory, které ovlivňují zvětrávání, ale nesouvisí přímo s podmínkami danými přírodním prostředím. Těmi mohou být například dřívější opravy, které byly špatně provedeny a mohou podporovat zadržování vody v kvádrech, nevhodná volba malty použité pro dřívější opravy nebo i špatný stav okapů a jejich svodů, což může způsobovat zatékání, a tudíž zvlhčování stěn budovy (Warke et al. 2003).

4.3 Výstupy a hodnocení výsledků

Výstupy z výše uvedeného postupu jsou analogicky k lékařské metodě stupně poškození od jedné do čtyř, které, jak známo, značí míru poškození a nutnost provedení záchranných prací. Nejprve dojde k popsání závažnosti jednotlivých prvků UAS. To vypadá tak, že například symbol U1 by znamenal, že některé bloky jsou poškozeny, ale většina jich poškozena není. Tímto symbolem je vlastně vyjádřeno, jak velká část z celé zkoumané stěny (nebo její části) je poškozena. Symbol A1 by vyjadřoval, že rozšíření zvětrání okolo nejvíce poškozených kvádrů je minimální, neboli, že zvětrání je soustředěno jen na viditelně napadené kvádry, a jen občas je rozšířeno i na několik kvádrů v jejich těsném okolí. A konečně symbol například S0 by označoval plochu zvětrávacích projevů vůči ploše celé studované stěny a v tomto případě by znamenal, že rozšíření zvětrání je skutečně malé. Jak bylo uvedeno výše, čím vyšší by byly číselné hodnoty, tím větší a závažnější by bylo poškození nebo jeho rozšíření.

Významnou součástí hodnocení výsledků je také podrobnější sledování zvětrávacích projevů a přibližné vyhodnocení toho, které z nich převládají. To pak umožňuje zaměřit další studium jen určitým směrem, a odhalit tak i jevy, které nejsou při jednoduchém vizuálním hodnocení patrné.

Na závěr by měla být, jak vyplývá z výše uvedených pravidel metodického postupu, stanovena míra spolehlivosti nebo jistoty jednotlivých dosažených výsledků. Zde přichází na řadu vzorkování a využití laboratorních metod, které pomohou ověřit, upřesnit, případně pozměnit výsledky dosažené vizuálním pozorováním. Odebírají se většinou povrchové vzorky, zejména z nejvíce poškozených kvádrů, pak z kvádrů, které jsou mírně zasaženy a jen malý počet vzorků se odebírá z nezvětralých kvádrů.

Na základě dosažených výsledků pak lze zhodnotit nutnost zásahu a případně zvolit vhodný způsob tohoto zásahu, tak aby nepodporoval další šíření nebo zvětšování poškození (Warke et al. 2003).

4.4 Dlouhodobá aplikace holistického přístupu v památkové péči

Často opomíjeným jevem v památkové péči je stárnutí stavebního kamene. Ten je neustále vystaven podmínkám, které působí jeho pomalou degradaci. Vzhledem k dlouhé době trvání zvětrávacích procesů je velmi těžké předpovídat je ze studie provedené za účelem zjištění aktuálního stavu památky. Kvůli vizuálnímu hodnocení je tato možnost ještě snížena, protože zvětrávací procesy jsou z velké většiny způsobovány reakcemi, které se pohybují v oblasti mikroměřítko. Při vizuálním hodnocení se tak stavební kámen může zdát jako zcela nepoškozený, i když jeho vnitřní narušení už může být značné a chybí jen velmi málo k tomu, aby se viditelně projevilo. To pak může nastat i zcela náhle díky nějakému neočekávanému většímu impulzu, který viditelné poškození započne. Z tohoto důvodu je navrhováno, aby se významné historické památky, u nichž není problémem sehnat dostatek finančních prostředků, dlouhodobě monitorovaly. Dlouhodobým monitoringem je totiž možno vysledovat i zmíněné menší projevy poškození. UAS je ideální metodou pro provádění těchto dlouhodobých monitorování, protože nijak nenarušuje památku, je levný a rychlý, jeho data jsou dobře porovnatelná a z dlouhodobého hlediska mohou ukázat i takové změny, které nám dovolí předpovědět či odhadnout, že by mohlo nastat nečekané poškození, které by někdy mohlo mít i velice rozsáhlé následky na celý objekt. Největší význam má dlouhodobé monitorování u těch památek, které se podrobily opravám, a bylo by vhodné sledovat, jaké změny provedené opravy způsobují a zda byly vhodné.

Pro tyto potřeby je nutné stanovit přesné vymezení obecné terminologie pro metodický postup UAS a také ustanovit, například pomocí vzorových fotografií, jaká míra poškození odpovídá dané skupině. Vzhledem k tomu, že metodický postup je poměrně mladý a tyto nástroje zatím nebyly přesně ustanoveny, mělo by se pracovat na jejich rychlém dokončení. Pak by se postup UAS mohl stát nástrojem pro dlouhodobé sledování a mohl by výrazně přispět ke zkvalitnění památkové péče. V medicínské aplikaci se již dlouhodobé pozorování stavu pacienta s přesně vymezenou terminologií a kritérii pro popis používá a funguje s vysokou úspěšností (Warke et al. 2003).

5. STANOVENÍ POŠKOZENÍ POVRCHU STAVEBNÍHO KAMENE POMOCÍ OPTICKÝCH METOD

Optické metody jsou založeny na technice zpracování digitálních snímků. Zejména se využívá vyjmutí informací (oblastí snímků), které představují poškozené části kamene. Ačkoliv je zpracování

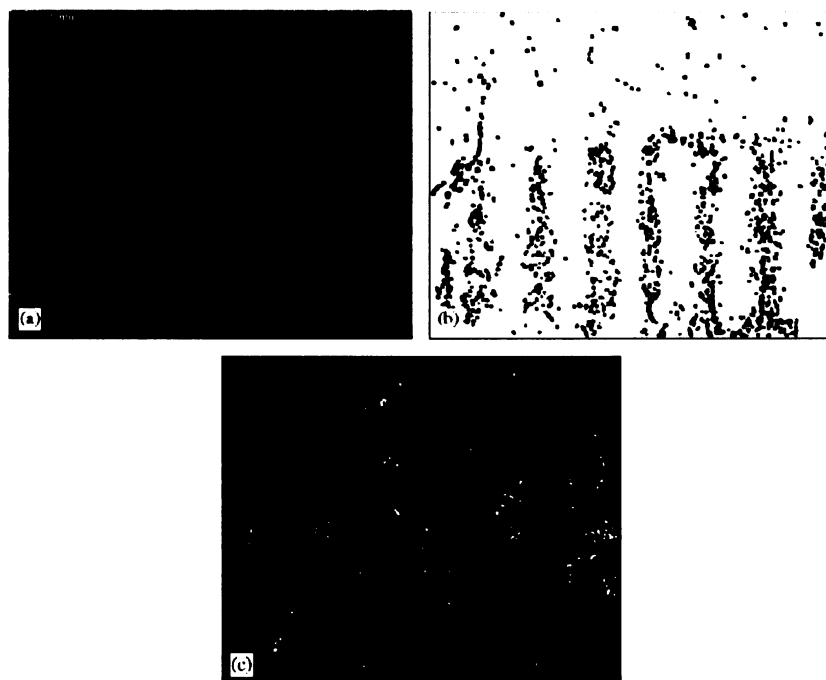
digitálních snímků pro účely zjištění poškození stavebního kamene zatím mladou disciplínou, která se ovšem velmi rychle vyvíjí, bylo již této metody několikrát využito v oborech příbuzných právě studiu zvětrávání na památkách. Pappas a Pitas (1998) využili optických metod k rekonstrukci starých maleb. Jimenez (1993) použil zpracování digitálních snímků ke zjištění organického materiálu na historických stavbách. Zpracování digitálních snímků tak před sebou má velikou budoucnost a je velmi dobře využitelné i pro stanovení míry a rozsahu poškození stavebního kamene vlivem zvětrávání. Pro tyto metody je již ustanoveno několik metodických postupů, které budou krátce představeny v následujících kapitolách.

5.1 Optická kvantifikace poškození povrchu kamene

Jak bylo řečeno, podstatou optických metod je zpracování nejrůznějších snímků pořízených v digitální kvalitě. Pro potřeby studia zvětrání kamene jsou nejdůležitějšími tři základní typy snímků, které se získávají pomocí následujících postupů: digitální fotografie běžným fotoaparátem, reflektografie a mikroskop s optickým vláknem. Zpracování snímků je založeno na metodách, které se běžně využívají ve zdravotnictví, například v mamografii. Zejména se využívá velice podobného algoritmu, pomocí kterého se ze snímku extrahují body různých vlastností. Pro dosažení optimální výkonnosti se využívá vícestupňového algoritmu, který umožňuje hrubě odhadnout lokalizaci míst, kde je kámen poškozen, a poté provádět studium morfologie těchto vybraných oblastí. Podstatou vícestupňového algoritmu je v první řadě Gaussova eliminační metoda, která umožňuje zjištění a lokalizaci oblastí, kde se výrazně projevuje zvětrávání. Gaussova eliminační metoda je prováděna nástrojem zvaným Gaussův detektor. Ten je vlastně pásmovým detektorem, který efektivně odděluje a zjišťuje morfologii povrchu studovaného vzorku, a vytváří tak vlastně první náznak rozložení zvětrávacích projevů na povrchu studovaného materiálu. Dalším stupněm a zároveň nástrojem je takzvané filtrování morfologie povrchu vzorku, při kterém se odvozují přesnější tvary zvětralých oblastí. Tyto tvary jsou mnohem přesnější než ty, které stanovila Gaussova metoda. Filtrování morfologie je založeno na principu takzvaného bot-hat filtru, který zvýrazňuje tmavé části snímku a poté je rozděluje na části, ze kterých vytvoří schéma zvětrávacích projevů. Když se porovnají výstupy z uvedených dvou nástrojů, tak Gaussův detektor je velmi dobře schopný detekovat topologii zvětrávacích projevů, i když trochu narušuje jejich tvar. Kvůli tomu se tímto nástrojem nedosáhne přesného určení hranic zvětrávacích projevů. Naproti tomu filtrování morfologie velice dobře zachovává tvar zvětrávacích jevů, ale zase vytváří větší chybu z hlediska topologie. Výsledky těchto dvou procedur se proto dále vyhodnocují pomocí nástroje zvaného podmíněně zhušťování, který už stanoví s velikou přesností lokalizaci zvětralých částí vzorku. Tento nástroj spojuje výsledky z předchozích dvou kroků, přičemž účinně odstraní jejich nedostatky v nedostatečně ostrých hranicích a v odlišnosti ve výsledku topologie. Jako

závěrečný krok se pak provádí vyznačení a analýza tmavých a světlých bodů, které jsou později vztaženy k míře poškození. Vzhledem k charakteru horniny se vytvářejí různé stupnice, podle kterých se určuje míra zvětrání na základě rozložení tmavých a světlých bodů, jak je znázorněno na Obr. 8.

Podle těchto základních informací je zřejmé, že uvedený algoritmus může být použit na hodnocení poškozených oblastí v širokém rozsahu povrchů a horninových typů. Algoritmus je aplikovatelný na nejrůznější druhy snímků od mikroskopických až po digitální fotografie. Díky tomu lze studovat poškození v řádech mikrometrů až po běžné makroskopicky pozorovatelné zvětrávací projevy. Můžeme tedy získat data, dříve posuzovaná pouze na základě lidského úsudku a pozorování, která jsou díky postupu zpracování snímku dobře reprodukovatelná, objektivní a výborně kvantifikovaná. Dalším výstupem a výhodou zpracování snímku je vyhodnocení nepoškozených částí kamene, což umožňuje porovnat poškozenou a nepoškozenou část, a stanovit tak například i postup zvětrávání. Není nutno dodávat, že z výstupů je možno stanovit i vážnost poškození materiálu (Kapsalas et al. 2007).



Obr. 8. (a) Horninový materiál (snímek pořízen reflektografií), (b) vyznačení tmavých bodů, (c) vyznačení světlých bodů. (převzato z Kapsalase et al. 2007)

5.2 Hodnocení poškození kamene pomocí integrovaných databází a geografického informačního systému (GIS)

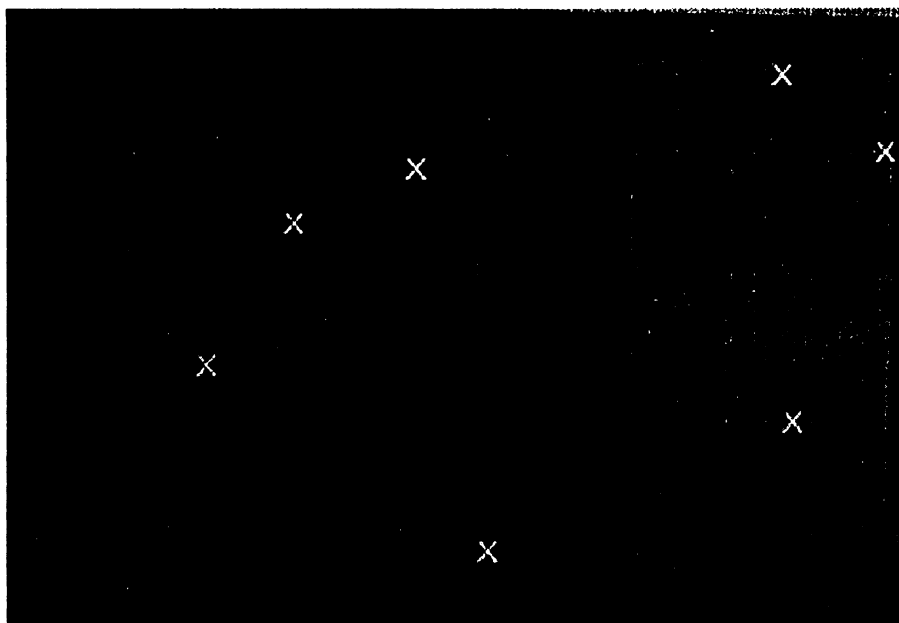
Dalším způsobem jak hodnotit grafické informace je použití geografického informačního systému (GIS). GIS je software, který má velkou výhodu v tom, že je schopen pracovat s několika vrstvami

informací najednou, a navíc je schopen za přispění člověka jednotlivé vrstvy korelovat tak, aby byly vzájemně porovnatelné a propojitelné. Software využívá takzvaný společný prostorový rámec, do kterého se postupně všechny vrstvy vkládají a do něhož se upravují tak, aby byly vzájemně srovnatelné. GIS navíc může obsahovat speciální informace (polohu, časové zařazení, míru poškození a podobně) o každém bodu, které se ukládají do integrované databáze (většinou ve formě tabulky) a jsou dále zpracovatelné i v jiných tabulkových editorech typu Microsoft Excel, ve kterých je možnost díky zpracování tabulek získat další informace o stavu zvětrání.

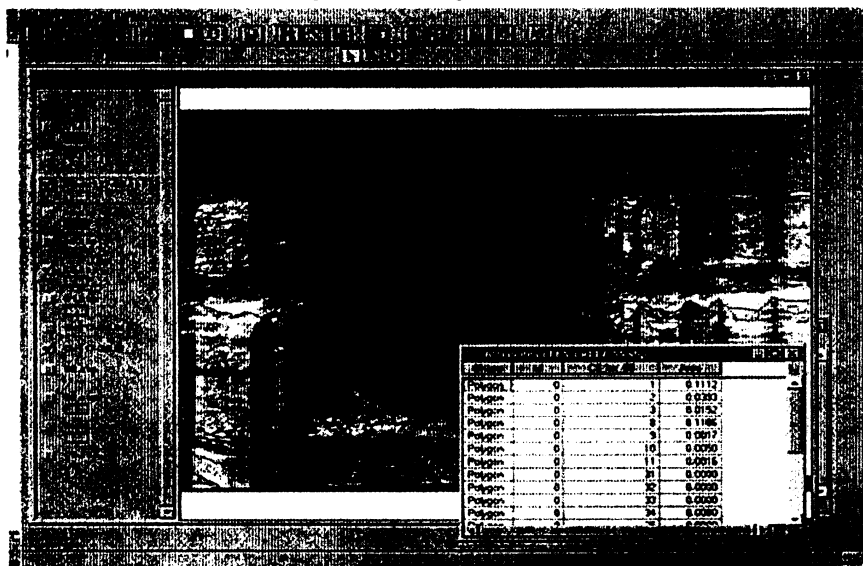
Z výše uvedených informací vyplývá, že software GIS je vhodným prostředkem, zejména pro sledování časových změn v poškození památek, a to pomocí použití fotografií z různých historických období. Je také možno sledovat detailnější změny u fotografií s vysokým rozlišením, ale to je u historických fotografií těžko dosažitelné i nejlepším skenováním. Základním předpokladem je mít fotografie, které zobrazují, alespoň přibližně, stejná místa studované památky. Nespornou výhodou zde je, že se může jednat i o staré fotografie na papíře, které se jednoduše skenováním převedou do digitální podoby. Druhým krokem je pak úprava snímků, aby byly použitelné ve společném prostorovém rámci. Pro tento účel se využívá funkce geokorekce snímků, která má za úkol upravit pomyslný povrch fotografií. Toho se dosahuje matematickým nástrojem polynomiální interpolace, která povrch vyhladí a zpřehlední pro další použití. Poté již následuje vložení vrstev do společného prostorového rámce. Většinou jsou k dispozici fotografie z trochu jiných úhlů, a tak je nutné nastavit ve snímku několik kontrolních bodů (podle velikosti snímku 6 a více), u kterých se nastaví přesné souřadnice. GIS si pak snímky upraví tak, aby se správně překrývaly. Pro kontrolní body je vhodné využít okraje okenních rámců a podobné pevné body (Obr. 9), u kterých se nepředpokládá pohyb v průběhu času.

Nyní již přichází na řadu samotné hledání a stanovování zvětrávacích forem na památce. Nejprve se analyzuje každá použitá vrstva zvlášť. Stanoví se v ní hlavní architektonické prvky a jednoduše se označí hlavní zvětrávací formy. Jsou vyvinuty speciální třídy zvětrávání, které se vloží do GIS, a ten již pak samostatně rozpozná, která zvětrávací forma je kde zastoupena. V každé vrstvě nám ohraničí a určí typ zvětrání a jeho intenzitu. Všechny zvětralé oblasti pak navíc dostanou přiděleno své specifické identifikační číslo (ID), pod kterým jsou i zapsány a uloženy do integrované databáze, která se nazývá tabulka obsahu. Posledním krokem je pak porovnání jednotlivých vrstev a porovnání jejich obsahů, z čehož lze velmi dobře určit vývoj zvětrávání, jeho plošné, a někdy i hloubkové rozšiřování, zvyšování nebo snižování intenzity zvětrávání, porovnání celkové zvětralé plochy a mnoho dalších informací. Díky integrované databázi lze navíc tabelovaná data vynášet do grafů a přehlednějších tabulek, a získat tak velice přehledné výstupy. Podoba integrované databáze a ohraničení zvětrávacích prvků ve snímku je zobrazeno na Obr. 10.

Problémem této metody je výběr správných historických snímků a jejich vzájemné korelace do společného prostorového rámce. Je prakticky nemožné mít natolik totožné fotografie, aby nám poskytly dostatečně přesné zjištění a porovnání zvětrávacích forem. Tento postup je velmi dobře použitelný pro porovnávání dvou vrstev fotografií a s každou přibývajícím vrstvou se výsledky rychle stávají nepřesnými vinou rozdílů mezi fotografiemi. Zde lze využít postupného porovnávání dvou fotografií, kde se dá dosáhnout dobré přesnosti, nebo přijmout větší chybu v provedených operacích s více snímky najednou a výstupní data brát spíše jako orientační (Inkpen et al. 2008).



Obr. 9. Vyznačení kontrolních bodů v GIS (převzato z Inkpena et al. 2008)



Obr. 10. Ohraničení zvětrávacích prvků ve snímku a integrovaná databáze (vpravo dole) (převzato z Inkpena et al., 2008)

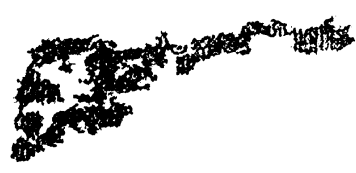


5.3 Fotografický monitoring zvětrávání

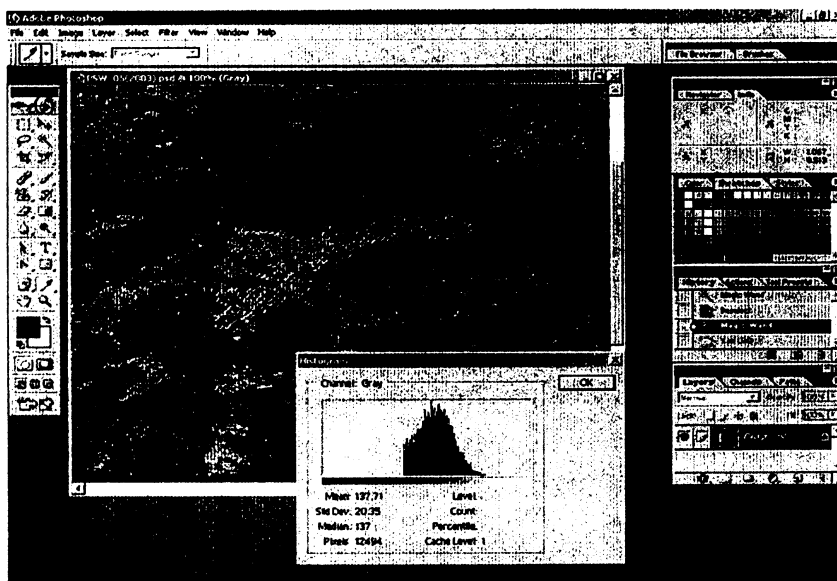
Metoda fotografického monitoringu spočívá ve vyhodnocování fotografií pomocí softwaru Adobe Photoshop, který je speciálně vytvořen pro upravování a práci s digitálními snímky. Oproti předchozímu způsobu zkoumání systémem GIS není v programu Adobe Photoshop možno fotografie vzájemně překrývat a pracovat s nimi jako s jednotlivými vrstvami a není ani možno je korelovat pomocí záchytných bodů. Analýza se tudíž provádí pro každý snímek zvlášť a výsledky je pak nutno porovnat pomocí jiných softwarů nebo vlastním vizuálním zhodnocením.

Základním předpokladem fotografického monitoringu je mít k dispozici fotografie, které budou mít velmi podobné, až takřka totožné parametry. Takovouto fotografickou dokumentaci je pak nutno provádět po pravidelných časových intervalech, abychom získali řadu snímků, ze kterých bude možno vysledovat nějaké závěry. Fotografie by měly být pořizovány ze stejného místa (často se využívá stativu, který je umístěn v určité výšce nad zemí), měly by být ze stejné vzdálenosti, ideálně i ze stejného fotoaparátu a měly by přesně zachycovat studovanou plochu. Důležitým aspektem je pokud možno stejné osvětlení, kterého se dá asi nejlépe docílit tím, že fotografie budou pořizeny ve stejné roční i denní době a za co možná nejvíce podobného počasí. Pro potřeby výzkumu je možno využít jak fotografie v černobílé škále, tak fotografie barevné. Výhodou černobílých fotografií je jejich jednoduchost pro program, ve kterém je zpracováváme. Na druhé straně nevýhodou je, že se pak v černobílé škále těžko odlišují některé zvětrávací projevy typu odprýskávání materiálu od zbarvení povrchu a podobných nedestruktivních jevů. Barevné fotografie toto odlišení umožňují mnohem lépe, ale pro program je na druhou stranu obtížnější vymezit přesné plochy zvětrání, jelikož záleží na odstínech všech použitých barev.

Po pořízení dostatečně přesných snímků přichází fáze jejich analýzy programem Adobe Photoshop. Zde se jak pro černobílé, tak pro barevné snímky používá nástroj Magic Wand Tool, ve kterém je nutno nastavit si parametry citlivosti, tak aby extrahoval ty oblasti, které nás zajímají. Toto nastavení je založeno na vizuálním pozorování člověka, který výzkum provádí a který poté zadá požadované parametry do nastavení programu. Nástroj Magic Wand Tool nám poté vyznačí všechny oblasti, jichž se zadané parametry týkají. Tyto vyznačené oblasti je možno si zobrazit jako zvláštní obrázek, kde není zobrazen další obsah snímku. Po analýze několika dalších snímků lze tyto vyextrahované oblasti porovnávat a je z nich dobře patrné, jak se postižené oblasti rozrůstají. Toto porovnání je usnadněno ještě doplňkovým nástrojem, který je schopen spočítat poměr plochy extrahovaných oblastí k celkové ploše původního snímku. Pro černobílé snímky pak lze použít ještě nástroj Histogram, kde se nastavují odstíny šedé a nástroj zobrazuje četnost těchto odstínů ve snímku. Výstup z obou metod je zobrazen na Obr. 11 a extrahované části pomocí nástroje Magic Wand Tool pak v Tab. 4, kde je vidět i porovnání z několika snímků.

Tab. 4. Extrahované části pomocí nástroje Magic Wand Tool (upraveno podle Thornbush a Viles 2008)

Určení místa výzkumu		
Rok výzkumu	Snímek rozložení zvětrání	% zvětrání
1997		0.74
1999		0.70
2003		1.12



Obr. 11. Vyznačení oblastí pomocí Magic Wand Tool a Histogram (převzato z Thornbush a Viles 2008)

Metoda fotografického monitoringu se zdá být velice jednoduchým a účinným nástrojem, avšak užití v praxi ukazuje, že je velmi citlivá na osvětlení, za kterého byly snímky pořízeny, a to jak v černobílé, tak barevné škále. Výsledky se za různého osvětlení značně liší a chyba je až příliš veliká, než aby mohla tato metoda fungovat s požadovanou přesností. Korekce snímků na podobné osvětlení je takřka nemožná, protože program je schopen pouze upravovat světlost snímků a pořízení snímků za naprosto stejného osvětlení je nemožné.

6. ZÁVĚR

V této práci bylo představeno pět metodických postupů, které slouží pro posuzování a hodnocení zvětrávacích projevů na historických památkách. Prvním metodickým postupem je Diagnostické hodnocení zvětrávacích jevů na kamenných památkách. Tento postup má velice propracovanou a přesně danou strukturu, které je třeba se striktně držet, aby bylo možno postihnout všechny zvětrávací projevy, které se na studovaném objektu vyskytnou. To je bezesporu obrovskou výhodou, protože dosáhneme naprosto přesného a kvalitního popisu zvětrání na památce. Na druhou stranu tento pečlivý postup velmi zvyšuje časovou náročnost prováděných průzkumů včetně jejich zpracování a také pracnost a náročnost metodického postupu na pracovní sílu. Z těchto skutečností pak plyne i náročnost finanční, na kterou je v dnešní době kladen veliký důraz, a je to tedy další nevýhoda tohoto postupu. Poslední nevýhodou je i to, že pro některé zvětrávací projevy metodika postrádá nedestruktivnost, ale to se stává i u dalších postupů a tyto projevy prakticky nejdou postihnout jinak, než odebráním a zkoumáním vzorků. Pro památky velkých rozsahů a velkého historického významu, které jsou dobře financovány a je nutno jim věnovat velkou péči, je tento metodický postup dobrým nástrojem, ale pro menší objekty je prakticky nevyužitelný.

Druhým postupem je holistický přístup, který se vyvinul z lékařské metodiky hodnocení maligních nádorů a byl upraven pro využití v geologii. Jedná se o velice jednoduchý, rychlý, a hlavně levný nástroj, který využívá hodnocení historické stavby pouhým okem. Je to dobře využitelný postup s malou finanční náročností a dobře srovnatelnými daty, který v dlouhodobějším sledování objektu umožňují i velice dobré zhodnocení vývoje zvětrávání na památce a v omezené míře také předpověď vývoje do budoucna. Ani tento metodický postup nevyhovuje ve všech svých bodech požadavkům na nedestruktivní průzkum, protože ve fázi ověřování výsledků je také nutno vycházet z odebraných vzorků, které po laboratorní analýze ukazují, do jaké míry je hodnocení správné. Výhodou tohoto postupu je, že se neodebírají vzorky ze všech částí památky, ale pouze z těch, které jsou výrazně poškozeny. Tento metodický postup je díky své nenáročnosti velice vhodný i pro péči o menší památky a také pro dlouhodobé sledování, které je z hlediska oprav a zásahů důležité.

Poslední částí jsou tři postupy, které jsou založeny na analýze optických informací, nejčastěji digitálních snímků. První způsob, optická kvalifikace povrchu kamene pomocí analýzy tmavých a světlých bodů, není nijak finančně náročný, dá se dobře použít in situ, a to i včetně vyhodnocení, pokud je k dispozici potřebná výpočetní technika. Výhodou také je, že metoda je zcela nedestruktivní. Dalším způsobem je zpracování grafických informací pomocí systému GIS. Tento nástroj je poměrně jednoduchý a rychlý, stoprocentně nedestruktivní a umožňuje studovat i snímky, které jsou velmi staré, za předpokladu, že se zhruba shodují se snímky novějšími. Nevýhodou je špatná korelovatelnost více vrstev snímků, což může zvyšovat časovou náročnost, která ale i tak nebude nikterak vysoká.

Tento přístup má slibné využití zejména pokud dojde k propojení s některými poznatky z následující metody. Pokud bychom do GIS vložili velmi podobné snímky pořízené za podmínek, které popisuje metoda fotografického monitoringu, můžeme dosáhnout velmi přesných výsledků ve sledování vývoje zvětrávání. Navíc je zde opět velká výhoda časové a finanční nenáročnosti.

Poslední popisovanou metodou je fotografický monitoring, který stojí na velmi dobrém základu přesně daného pořizování snímků, ale nevyužívá tak účinného nástroje, jako je třeba GIS, což výrazně snižuje jeho přesnost. Program Adobe Photoshop není dobrým analytickým nástrojem, ale jak již bylo uvedeno výše, propojení posledních svou postupů by mohlo vytvořit velmi přesný, rychlý a levný nástroj pro analýzu zvětrávání na památkách.

7. POUŽITÁ LITERATURA

Bland W., Rolls D., 1998. *Weathering - An introduction to the scientific principles*. Arnold, London, 256 str.

Fitzner B., Heinrichs K., 1998a. Evaluation of weathering damages on monuments carved from bedrocks in Petra/Jordan – a research project 1996 – 1999. In: *Annual of the Department of Antiquities of Jordan*, Amman, 1998, str. 341 – 360.

Fitzner B., Heinrichs K., 1998b. Damage diagnosis at natural stone monuments – mapping and measurements. In: *Proceedings of the 4th International Congress on Restoration of Buildings and Architectural Heritage*, La Habana (Cuba), July 13 – 17, 1998, str. 170 – 172.

Fitzner B., Heinrichs K., 1999. Damage diagnosis and preservation of Petra monuments. In: *Mediterranean Magazin: Science, Training and Technology*. Italian National Research Council-Office for Scientific and Technological Cooperation with Mediterranean Countries, Naples, 1999, str. 13 – 16.

Fitzner B., Heinrichs K., 2002. Damage diagnosis on stone monuments – weathering forms, damage categories and damage indices. In: *Proceeding of the International Conference Stone Weathering and Atmospheric Pollution Network (SWAPNET 2001)*, Prachov rocks (Czech republic), May 7 – 11, 2001, str. 11 – 56.

Fitzner B., Heinrichs K., Kownatzki R., 1995. Weathering forms – classification and mapping. In: *Denkmalpflege und Naturwissenschaft*, Verlag Ernst and Sohn, Berlin, 1995, str. 41 – 88.

Fitzner B., Heinrichs K., Kownatzki R., 1997a. Weathering forms at natural stone monuments – classification, mapping and evaluation. *International Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, 3 (2): str. 105 – 124.

Fitzner B., Heinrichs K., Volker M., 1997b. Monument mapping – a contribution to monument preservation. In: *Proceedings of E.C. Research Workshop "Origin, mechanisms and effects of salts on degradation of monuments in marine and continental environment"*. Bari (Italy), March 25 – 27, 1996, str. 347 – 355.

Fitzner B., Heinrichs K., La Bouchardiere D., 2003. Weathering damage on Pharaonic sandstone monuments in Luxor-Egypt. *Building and Environment*, 38 (9 – 10): 1189 – 1103.

Heinrichs K., Fitzner B., 1999. Comprehensive characterization and rating of weathering state at monuments carved from bedrocks in Petra/Jordan – weathering forms, damage categories and damage index. In: *Annual of the Department of Antiquities of Jordan*, Amman, 1999, str. 321 – 351.

Heinrichs K., Fitzner B., 2000. Deterioration of rock monuments in Petra/Jordan. In: *Proceedings of the 9th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Venice (Italy), June 19 – 24, 2000, str. 53 – 61.

Hermanek P., Sobin L. H. 1987. *TNM classification of malignant tumours*. Berlin.

Inkpen R., Duane B., Burdett J., Yates T., 2008. Assessing stone degradation using an integrated database and geographical information system (GIS). *Environment and Geology* 56: 789 – 801.

Jimenez S. C. 1993. *Deposition of airborne organic pollutants on historic buildings*. Atmospheric Environment: str. 77 – 85.

Kapsalas P., Maravelaki-Kalaitzaki P., Zervakis M., Delegou E.T., Moropoulou A., 2007. Optical inspection for quantification of decay on stone surfaces. *NDT&E International* 40: str. 2 – 11.

Pappas M., Pitas I. *Old painting digital color restoration*. In: Noblesse workshop on non-linear model based image analysis. Scotland: Glasgow; 1998. str. 188-192.

Smith B. J., Přikryl R., 2007. Diagnosing decay: the value of medical analogy in understanding the weathering of building stones. In: Přikryl R., Smith B. J. (eds) *Building Stone Decay from Diagnosis to Conservation*. Geological Society, London, Special Publication, 271, str. 1 – 8.

Thornbush M. J., Viles H. A., 2008. Photographic monitoring of soiling and decay of roadside walls in central Oxford, England. *Environmental Geology* 56: str. 777 – 787.

Viles H.A., Camuffo D., Fitz S., Fitzner B., Lindquist B., Livingston R.A., Maravelaki P.V., Sabbioni C., Warscheid T., 1997. What is the state of our knowledge of the mechanisms of deterioration and how good are our estimates of rate of deterioration. In: *Report of the Dahlem Workshop on „Saving our architectural heritage: the conservation of historical structures“*, Berlin (Germany), March 3 – 8, 1996, str. 95 – 112.

Warke P.A., Curran J.M., Turkington A.V., Smith B.J., 2003. Condition assessment for building stone conservation: a staging system approach. *Building and Environment* 38: str. 1113 – 1123.

Winkler E.M., 1997. *Stone in Architecture*. Springer-Verlag, Berlin, 1997, 313 str.