

VLIV PODZEMNÍCH VOD NA TVORBU EFLORESCENTŮ V MINORITSKÉM KLÁŠTEŘE VE ZNOJMĚ

Influence of underground waters on making efflorescences in the Minorites monastery in Znojmo

Miroslava Gregerová, Ludmila Kurdiková

Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: mirka@sci.muni.cz

(34-11 Znojmo)

Key words: *Minorite monastery, degradation, salination, efflorescence*

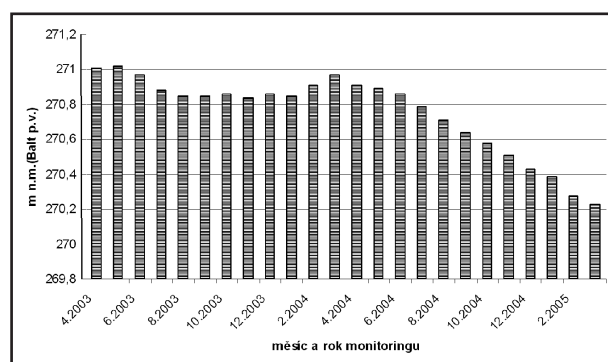
Abstract

The paper contains summary of causes and impacts of degradation factors of building stone in the historical building. Efflorescences assemblage has been determined and on its basis a chemical degradation of studied materials has been considered. Underground water takes a share significantly in degradation processes of Minorite monastery structural elements, namely first of all of its cellar. Efflorescences monitoring are illustrate salination of masonry. Identified water-soluble salts are - sulphates, nitrates and carbonates form mineral paragenesis of efflorescence. A number of them have hygroscopic characteristics which influence whole moistening of building materials. Nitrates presence in basement masonry indicates anthropogenic pollution of Jesuit underground water system which rises from the building footwall into its masonry.

Úvod

Minoritský klášter spolu se znojemským hradem a zbytky dochovaných částí opevnění patří mezi nejvýznamnější národní kulturní památky ve Znojmě. Existence kláštera je datována od první poloviny 13. století a od roku 1949 je sídlem Jihomoravského muzea ve Znojmě. V objektu byla provedena celá řada stavebních zásahů, které postihly i historické stavební fáze. Analytické práce byly orientovány na identifikaci stavebních kamenů, určení jejich provenience a podchycení příčin a následků degradace.

Hlavním degradačním faktorem stavebních kamenů Minoritského kláštera ve Znojmě je voda. Zvodněné systémy a jejich vlastnosti jsou doloženy na obr. 1.



Obr. 1: Trend vývoje hladiny podzemní vody v monitorovacím objektu XI, během roku 2004 – studna na nádvoří Minoritského kláštera (Fůrych et al. 2005).

Fig. 1: Development trend of water-level in monitoring object XI, during 2004 year – well in court of Minorite's monastery (Fůrych et al. 2005).

Na území historického centra města Znojma můžeme podle Čtyrokého – Batíka (1990) vyčlenit celkem 4 hydrogeologické celky: granitoidní horniny dyjského masivu (systém hydrogeologického masivu); zvětralinový

plášť krystalických hornin (systém hydrogeologického masivu); terciérní písky (ottnang) a terasové sedimenty „staršího šterkopískového pokryvu“ (pleistocén).

Granitoidní horniny mají příznivé vlastnosti pro akumulaci a oběh podzemních vod. Puklinové vody jsou soustředěné ve zvětralých partiích a zónách tektonických dislokací. Pro oběh podzemní vody jsou nejvýznamnější příčné tahové pukliny s rovnými, hladkými stěnami, které jsou průběžné na velké vzdálenosti (Šráček – Kuchovský 2003). Propustnost granitoidů vyznívá s hloubkou. Z hydrogeologického hlediska jsou nejpříznivější podmínky pro akumulaci podzemních vod v zóně podpovrchového rozvolnění granitů.

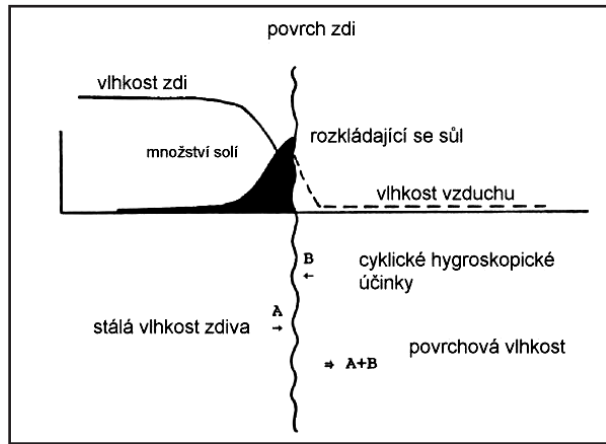
Produkty zvětrávání tvoří prūlinové propustný sedimentární systém hlinitopísčité až písčitolhinitých zemín s příměsí šterku a různým podílem jemnozrné složky. Pokud jsou terciérní písky stmelené, vzrůstá v nich podíl puklinové propustnosti na úkor propustnosti prūlinové. Terasové sedimenty „staršího šterkopískového pokryvu“ (pleistocén) jsou hrubozrné a značně propustné. Všechny terasy jsou zčásti zvodnělé, pokud nejsou příliš zahliněné, anebo zcela zakryty sprašemi a sprašovými hlínami.

Hladina podzemní vody je zaklesnuta do skalního podloží. V eluviích nebyla podzemní voda nikde identifikována a všechny monitorovací body vykazovaly hladinu podzemní vody v hlubkových úrovních odpovídajících skalnímu masivu.

Migrace vody do poréznych materiálů umožňuje transport nebo i vznik solí v těchto hmotách. Nashromáždění solí v určitých místech nebo zónách stavebních konstrukcí (viz obr. 2) může vést k jejich degradaci (Trojanová 2006, Gregerová – Trojanová 2006, Balík et al. 2008).

Destruktivní vliv vodorozpustných solí souvisí s procesy jejich krystalizace a hydratace. Krystalizace nebo hydratace solí v pórech, dutinách, v prasklinách nebo pod

nátěry je hlavním destruktivním mechanismem, kterým se soli podílejí na poškození poréznych materiálů. V praxi lze následky pozorovat v podobě odpadávání vrstev nátěrů, rozpadu omítkových vrstev, oddělování omítkových vrstev, ztráty soudržnosti povrchu spárových malt, cihlářských výrobků, kamene až po rozsáhlejší destrukce celého zdiva. Roztoky solí pronikají do pórů, trhlin nebo dutin. Během



Obr. 2: Základy zvětrávání budov solemi (upraveno podle Tennikatové 1992).

Fig. 2: Principles of building weathering by salts (setting up by Tennikat 1992).

odpařování vody se zvyšují jejich koncentrace. Krystalizují v momentě, kdy koncentrace roztoku přesáhne hodnotu rozpustnosti soli při dané teplotě. Jejich krystaly postupně narůstají a vyplňují stěny pórů a prasklin a současně může jejich krystalizační tlak vyvolávat ruptury pórů a kapilár. Velikost krystalizačních tlaků závisí na stavu přesycení roztoků a teplotě (Balík et al. 2008). Vedle krystalizace se může uplatnit i hygroskopicitá solí. Hygroskopické látky jsou schopny přijímat vodu ze vzdušné vlhkosti a zadržovat ji v kapalné formě. U stavebních materiálů je tato vlastnost označována jako hygroskopická nasákavost (Balík et al. 2008). Hygroskopicitá solí může přispívat k celkovému zavlhčení materiálu. V závislosti na klimatických podmínkách vznikají na povrchu zdiva vlhké mapy. Po jejich vyschnutí, při poklesu relativní vzdušné vlhkosti pod úroveň rovnovážné vlhkosti zasoleného materiálu, se tvoří eflorescenty (Balík et al. 2008).

Metodika

V brusírně ÚGV byly zhotoveny leštěné a klasické výbrusové preparáty. Mikropetrografické rozbory byly provedeny pomocí petrografického mikroskopu Olympus BX 51. Fotodokumentace byla provedena za použití digitálního fotoaparátu Olympus C-5060. Identifikace a fotodokumentace eflorescentů byla provedena na elektronovém rastrovacím mikroskopu JEOL JSM – 6490 LV

v laboratořích elektronové mikroskopie a mikroanalýzy PŘF MU v Brně, analyzoval P. Gadas. Chemické silikátové analýzy byly provedeny v chemické laboratoři ÚGV, PŘF MU Brno, analyzoval P. Kadlec.

Výsledky

V okrajové části karpatské předhlubně převládají hydrogenkarbonátové vody s převahou kalcia nebo magnezia, v oblasti Znojma v neogenních uloženinách převládá vápník. Ryze neogenní vody obsahují vyšší podíl sulfátové složky (Fürych et al. 2005). Z výsledků hydrochemických analýz 12 vzorků podzemních vod je zřejmé, že podzemní vody jsou většinou kalcium-hydrogenkarbonátového typu, který bývá často modifikován přítomností dalších složek, podmíněnou zpravidla antropogenní kontaminací. Z kationtů vápník téměř vždy ve svém zastoupení převažuje nad hořčíkem. Antropogenní kontaminaci vody indikuje v základním chemismu zejména koncentrace draselných iontů (max. 120 mg.l⁻¹) a těž amonných iontů. Z aniontů jsou v převaze výlučně hydrogenkarbonáty nad chloridy a sírany. Dusičnany se v podzemních vodách z monitorovacích bodů v historickém jádru města Znojma objevují v koncentracích od 5,6 do 180 mg.l⁻¹ a poměrně významně tak vstupují do celkového chemismu podzemní vody (Fürych et al. 2005). Podzemní voda v areálu historického jádra města vykazuje neutrální až zásaditou reakci (max. pH 9,49). Mineralizace podzemní vody se pohybuje mezi 402–970 mg.l⁻¹, zpravidla hodnota překračuje 0,5 g.l⁻¹ a vody lze tedy obecně charakterizovat jako prosté (Fürych et al. 2005). Na základě klasifikace typu podzemních vod

Vzorek	Lokalizace v objektu	Výška odběru	Forma výskytu eflorescentu	Identifikace eflorescentu
1	Erb na podlaze vstupní chodby – vpravo	podlaha	bez eflorescentů	–
2	Erb na podlaze vstupní chodby – vpravo	podlaha	bez eflorescentů	–
3	Erb na podlaze vstupní chodby vpravo v rohu	podlaha	krystalky	sádrovec
4	Křížová chodba – omítka na kamenných kvádrech (běžová barva výkvětu)	ca 15 cm nad podlahou	jemný prášek	sádrovec
5	Křížová chodba – omítka na kamenných kvádrech (bílá barva)	ca 10 cm nad podlahou	jemný prášek	epsomit
6	Sklep kláštera	100 cm nad podlahou	povlaky	uhličitan sodný (trona)
7	Sklep kláštera – vchod do sklepení	0,50 cm nad schody	jehličky	dusičnan sodný
8	Schody do sklepení	0,50 cm nad schody	jehličky	dusičnan sodný
9	Ostění vyhořelého kostela – levá strana	100 cm nad zemí	krystalky	síran draselný
10	Ostění vyhořelého kostela – pravá strana	100 cm nad zemí	krusta	sádrovec

Tab. 2: Identifikace eflorescentů.

Tab. 2: Identification of efflorescences.

K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁺	F ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	PO ₄ ³⁻	pH
20	42	0,06	140	36	0,03	0,07	92	150	80	0,05	0,2	343	-	1,2	7,76

Tab. 1: Chemické složení vody ze studny č. XI (Fürych et al. 2005).

Tab. 1: Chemical composition of water in the well XI (Fürych et al. 2005).

(podle Waltona 1970) byla např. studna č. XI (viz tab. 1) určena jako sodný nebo draselno-sodný typ (Fürých et al. 2005).

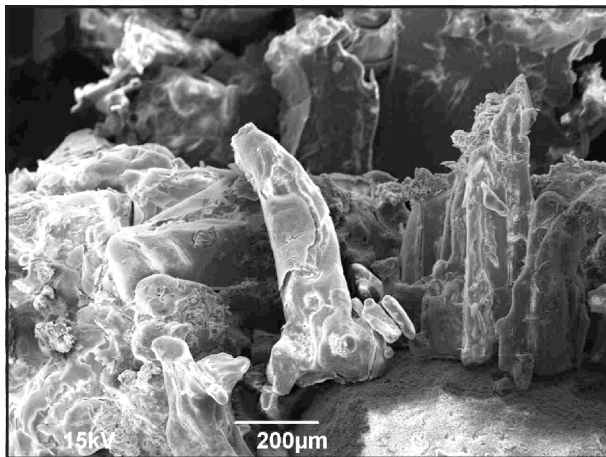
Podzemní voda nemá dostatečně vysokou alkalinitu potřebnou k rozpouštění křemene v granitoidních stavebních kvádrech z kláštera. Voda, která se dostává do zdíva Minoritského kláštera má, podle analýz vody z monitorovacího objektu č. XI ze studny na nádvoří, pH 7,76. Při takto nízkém pH se křemen nerozpouští.

Z ostatních studovaných stavebních kamenů Minoritského kláštera jsou nejvíce poškozeny pískovce. Degradace pískovců je patrná makroskopicky. Dochází k postupnému vydrolování minerálních zrn. Spolu s tím jsou patrné i neestetické mapy. Vznikají světlé, bílé nebo žluté skvrny eflorescentů na povrchu pískovcových kvádrů. Eflorescenty mohou vznikat v interiéru i exteriéru. Při detailním mikroskopickém studiu pozorujeme další projevy. Zvyšuje se porozita, karbonáty a sírany prostupují do jádra pískovcového kvádrů.

V osmi z deseti odebraných vzorků z povrchu pískovcových, popřípadě pískovcovo – drobových kvádrů byly zachyceny eflorescenty solných krust. Jejich identifikace je shrnuta v tab. 2, jejich morfologii dokládají obr. 3–6.

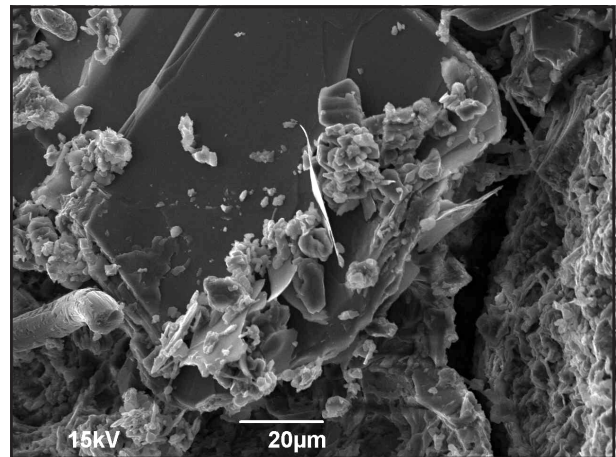
Povrchové eflorescenty tvoří bílé až nažloutlé krusty celistvého i jehličkovitého vzhledu. Na zdívu zhotoveném z pískovcových, popřípadě pískovcovo-drobových kvádrů byly nalezeny eflorescenty sádrovce. Spolu se sádrovcem byl rastrovací elektronovou mikroskopií a EDX analýzou identifikován také síran hořečnatý (epsomit $MgSO_4 \cdot 7H_2O$), dusičnan sodný ($NaNO_3$) a draselný (KNO_3) (projevil se v chemických analýzách) a z karbonátů hydratovaný karbonát trona $Na_3H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$.

Měkké a snadno otíratelné práškové povlaky se vytvořily na omítkách v křížové chodbě. Celistvé, plošně rozsáhlé krusty křehkých eflorescentů vystupovaly na erbech a na ostění bývalého vyhořelého kostela na nádvoří kláštera. Zde byla na eflorescentech sádrovce zpozorována i koroze.



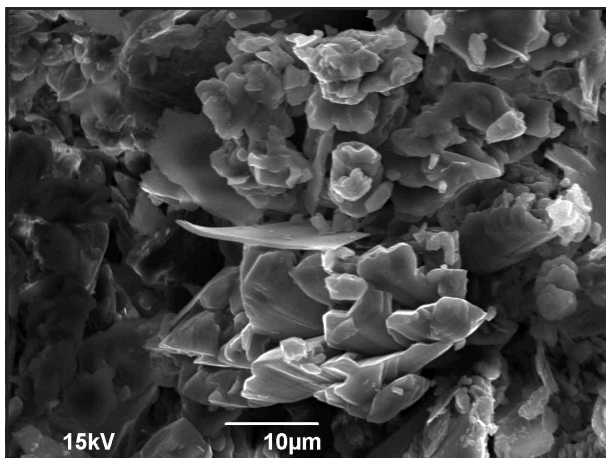
Obr. 3: Fotodokumentace eflorescentů, vzorek č. 6 – sklep kláštera. Výkvět dusičnanu sodného.

Fig. 3: Photodocumentation of efflorescences, sample 6 – cellar of monastery. Efflorescence of sodium nitrate.



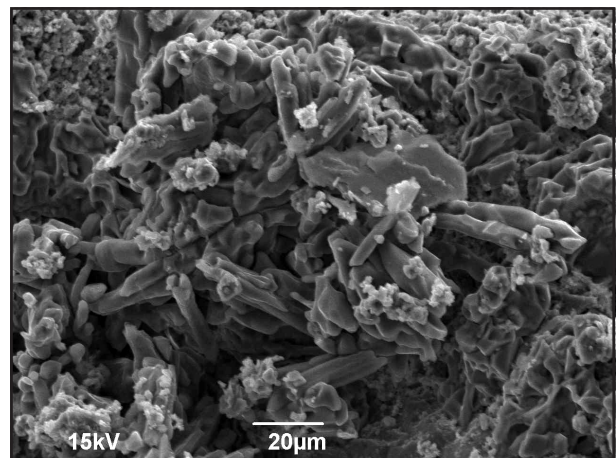
Obr. 4: Fotodokumentace eflorescentů, vzorek č. 3 – erb na podlaze. Krystalky sádrovce.

Fig. 4: Photodocumentation of efflorescences, sample 3 – heraldy on the floor. Crystals of gypsum.



Obr. 5: Fotodokumentace eflorescentů, vzorek č. 3 – erb na podlaze. Krystalky sádrovce – detail.

Fig. 5: Photodocumentation of efflorescences, sample 3 – heraldy on the floor. Crystals of gypsum – detail.



Obr. 6: Fotodokumentace eflorescentů, vzorek č. 5 – křížová chodba kláštera – bílý výkvět. Krystalky síranu hořečnatého s klasty karbonátů.

Fig. 6: Photodocumentation of efflorescence, sample 5 – cloisters of monastery – white efflorescence. Crystals of magnesium sulphate with fragment of carbonate.

Souhrn

1/ Z hlediska vlhkosti jsou nejvíce namáhány suterénní konstrukce objektů s nefunkčním nebo neexistujícím hydroizolačním systémem, do kterého se vlhkost dostává vztlínáním nebo difuzí vodní páry z podzákladů.

2/ Nejvíce poškozenými horninami Minoritského kláštera ve Znojmě jsou pískovce až drobové pískovce. Naopak minimální známky poškození pozorujeme u granitoidních hornin. Degradace má charakter fyzikálního a fyzikálně chemického zvětrávání. To je ovlivněno působením vody v jejich systému pórů.

3/ Hlavními vizuálními projevy degradace stavebních materiálů jsou ztráta soudržnosti, výskyt eflorescentů a zvýšení vlhkosti materiálu, které se projeví vyšší úrovní zavlhlé zóny zdiva.

4/ Asociace identifikovaných eflorescentů dokládá zvýšené obsahy vodorozpustných a hygroskopických solí ve stavebním materiálu. Potvrzena byla přítomnost sádrovce $[\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$, epsomitu $[\text{Mg}(\text{SO}_4) \cdot 7(\text{H}_2\text{O})]$, trony $\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, vodorozpustných dusičnanů [niter $\text{K}(\text{NO}_3)$, nitratin $\text{Na}(\text{NO}_3)$]. Chloridy zastiženy nebyly.

Poděkování

Studie byla vypracována s přispěním a pro potřeby záměru MSM 0021622418 „DYNAMICKÁ GEOVIZUALIZACE V KRIZOVÉM MANAGEMENTU“ a grantového projektu GAČR 103/06/1801 „Analýza spolehlivosti vlastností stavebních materiálů a konstrukcí s přihlédnutím k časově proměnným vlivům“.

Literatura

- Balík, M. – Balík, L. – Bayer, K. – Blaha, M. – Burgetová, E. – Hoskovec, T. – Kočí, J. – Kolísko, J. – Novotný, M. – Solař, J. – Šťastný, P. (2008): Odvlhčování staveb. – Grada publishing. Praha, 306 str.
- Čtyřoký, P. – Batík, P. (1990): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 34–131 Šatov. – ÚÚG Praha.
- Fürych, V. – Veselý, M. – Veleba, B. – Půža, J. – Kincl, P. – Žáček, M. (2005): Znojmo – historické jádro – inženýrsko geologické a hydrogeologické poměry a vliv podzemních prostor na povrchové stavby. – Jihlava, 107 str.
- Gregerová, M. – Trojanová, Z. (2006): Změna parageneze eflorescentů stavebních materiálů v průběhu roku. – Geol. Výzk. Mor. Slez. v roce 2005, Brno, XIII, 115–119.
- Šrámek, O. – Kuchovský, T. (2003): Základy hydrogeologie. – Masarykova univerzita. Brno, 177 str.
- Tennikat, M. (1992): Wandmalereischäden durch salzkristallisation. REM – Untersuchungen and Laborexperimente zu Salzausscheidungen in romanischen Kirchen. Polangen, 161 str.
- Trojanová, Z. (2006): Degradace stavebních materiálů hradu Veveří. – MS, diplomová práce, PřF MU Brno. 54 str.
- Walton, W. C. (1970): Groundwater Resource Evaluation, McGraw-Hill Book Company, pp. 664.