

**Helena VIČAROVÁ<sup>1</sup>, Jiří ŠČUČKA<sup>2</sup>, Petr MARTINEC<sup>3</sup>, Barbora HANDZELOVÁ<sup>4</sup>**

**VLIV CHEMICKÝCH HYDROFOBIZAČNÍCH PROSTŘEDKŮ NA VÝMĚNU VLHKOSTI  
MEZI PÓRY PÍSKOVCE A OKOLNÍM PROSTŘEDÍM**

**INFLUENCE OF CHEMICAL HYDROPHOBIZING AGENTS ON MOISTURE EXCHANGE  
BETWEEN PORES OF SANDSTONE AND SURROUNDINGS**

**Abstrakt**

V článku je zhodnocen vliv vybraných typů chemických hydrofobizačních prostředků na dynamiku výměny vlhkosti mezi póry pískovce z lokality Božanov a okolním prostředím. Experiment, jehož výsledky jsou v příspěvku prezentovány, byl založen na hodnocení dynamiky nasákání a odparu vody ze vzorků kamene bez ošetření a po aplikaci hydrofobizačního prostředku. Byly zjištěny významné rozdíly v interakci s vodou u horniny ošetřené látkami na bázi siloxanů a látkou na bázi rozpouštědla s obsahem nanočástic.

**Klíčová slova**

Pískovec, póry, nasákavost, odpar, hydrofobizační prostředky.

**Abstract**

The paper deals with influence of selected types of chemical hydrophobizing agents on the dynamics of moisture exchange between pores of sandstone from the locality of Božanov and surroundings. The experiment, whose results are presented, was based on the evaluation of the dynamics of water absorption and evaporation on stone samples without treatment and after application of hydrophobizing agents. Significant differences in interaction between the rock and water were detected for samples treated with agents based on siloxanes and nanoparticles.

**Keywords**

Sandstone, pores, water absorption, evaporation, hydrophobizing agents.

## 1 ÚVOD

Procesy vedoucí k degradaci stavebního nebo dekoračního kamene ve stavebních či uměleckých objektech obecně souvisí převážně s působením vody (rozpuštění, transport roztoků

---

<sup>1</sup> Ing. Helena Vičarová, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 596 979 111, e-mail: vicarova.h@seznam.cz.

<sup>2</sup> Doc. Ing. Jiří Ščučka, Ph.D., Oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů, Ústav geoniky AV ČR, v.v.i. Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin, Ostrava, Studentská 1768, 708 00 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 596 979 334, e-mail: jiri.scucka@vsb.cz.

<sup>3</sup> Prof. Ing. Petr Martinec, CSc., Oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů, Ústav geoniky AV ČR, v.v.i. Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin, Ostrava, Studentská 1768, 708 00 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 596 979 331, e-mail: petr.martinec@ugn.cas.cz.

<sup>4</sup> Ing. Barbora Handzelová, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 725 744 128, e-mail: barborah@post.cz.

solí, agresivní působení škodlivin, růst mikroorganismů, přeměna v led, tvorba hydrátů a krystalizace solí, aj.) [5, 13, 14]. Kromě srážkové vody se zde uplatňuje také kondenzace vzdušné vlhkosti, půdní vlhkost nebo vlhkost z různých umělých zdrojů. Důležitou součástí postupů konzervace stavebního nebo dekoračního kamene, přispívající k omezení jeho degradace, je ošetření povrchu materiálu vhodným hydrofobizačním organickým či anorganickým prostředkem. Hydrofobizátory obvykle povrch kamene nezpevňují, ale mají prodloužit životnost objektu tím, že zvětšují smáčecí úhel pro kapalnou vodu a vodné roztoky solí nad 90°, a tím učiní kámen méně nenasákavým, přičemž by měla zůstat zachována prodyšnost pro vodní páru.

V současnosti jsou k tomuto účelu využívány především látky na bázi akrylových disperzí a oligomerních alkylpolysiloxanů, roztoky silikonových pryskyřic a fluoropolymerů [7, 8, 10]. Jak ukazují výsledky studií, zaměřených na vlastnosti a použití těchto látek, např. [2, 3, 4], nelze vyrobit hydrofobizátor, který by byl univerzální. Vhodnost použití konkrétní chemické látky na různé typy stavebního kamene je nutno experimentálně ověřovat, neboť aplikace nevhodného prostředku může znamenat nejen neúčinnost hydrofobizace, ale může namísto ochrany materiálu způsobit naopak jeho významné poškození. Chemické hydrofobizační nebo konzervační látky mohou ovlivnit adsorpční schopnosti horniny, změnit objem a geometrii pórů [1], utěsnit póry a negativně tak ovlivnit výměnu vlhkosti mezi horninou a okolním prostředím.

V tomto příspěvku je zhodnocen vliv tří běžně dostupných chemických hydrofobizačních prostředků na dynamiku výměny vlhkosti mezi póry vybraného stavebního kamene - pískovce z lokality Božanov - a okolním prostředím. Je zde využito metodického postupu, publikovaného Martincem a kol. [11, 12], který je založen na analýze časového průběhu nasakování vody do pórů horninového zkušebního tělesa a následného odparu vody z pláště tělesa do okolí. Metodika částečně vychází z technické normy ČSN EN 1925: 2000 [6], je však významně modifikována. Norma doporučuje, aby vysoce nasákavé horniny zůstaly ve vodě až 24 hodin a horniny málo nasákavé až 72 hodin. Vzhledem k tomu, že absorpce vody významně závisí na druhu horniny a na jejích fyzikálních i chemických vlastnostech [9], nemusí být 72 hodin nasakování pro některé typy hornin dostačující a v normě navíc není přesněji definováno, co jsou horniny málo nasákavé a vysoce nasákavé. Součástí experimentu je analýza složení a mikrostruktury stavebního kamene a analýza pórového systému horniny na základě výsledků vysokotlaké rtuťové porozimetrie.

## 2 MATERIÁL V EXPERIMENTU

### Stavební kámen

Pro realizaci experimentu byl vybrán pískovec z lokality Božanov. Jedná se o středno- až hrubozrnný, křemenný až arkóзовitý pískovec (stáří: svrchní křída, střední turon), těžený u obce Božanov na Broumovsku. Hornina je převážně světle běložlutá, často až narůžovělá nebo okrově nažloutlá, s masivní texturou bez zřetelného zvrstvení. Hornina vykazuje v suchém stavu průměrnou objemovou hmotnost  $2160 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , pórovitost cca 16 až 20 % a nasákavost cca 6 %.

### Složení a mikrostruktura horniny

Základní kostru horniny tvoří klastická zrna detritického křemene, stabilních složek bohatých křemenem, a to kvarcitů s různou mikrostrukturou kontaktů zrn. Nestabilní složky tvoří úlomky živcových zrn a silně rozložená argilitizovaná zrna primárně sklovitých kyselých vulkanických hornin. Akcesoriemi jsou: apatit v křemeni, zirkon a limonit. Tuto klastickou kostru tvoří těsně uspořádaná zrna vzájemně se dotýkající v plochách. Slabá je silicifikace spojená s dorůstáním křemenných zrn ve velmi úzkých lemech. Na některých klastických zrncích křemene i živců jsou nálepy jílové hmoty. Mezizrnný prostor je minimalizovaný těsným uložením zrn.

Klastická zrna stabilních složek bohatých křemenem jsou zastoupena monominerálním křemenem. Inkluze v křemeni tvoří čirý, sloupečkovitý apatit, uzavřené devitifikované skla a živce. Zaoblení zrn je převážně semiovální až ovální, zakulacení 0,4-0,8. Zrna se vzájemně těsně dotýkají v ploškách, slabě je diagenetické dorůstání křemenných zrn, které redukuje pórový, konfigurační prostor mezi zrn.

V hornině je vysoký obsah kvarcitů různých typů, lišících se strukturou a stupněm deformace křemene.

Živce jsou zastoupeny ortoklasem, mikroklinem a plagioklasem. Draselné živce jsou zastoupeny ortoklasem, mikroklinem a méně častým sanidinem, jehož obsah je nízký a zrna jsou velmi nerovnoměrně rozložena v hornině. Zrna jsou rozpukaná a proměnlivě argilitizovaná. Na povrchu bývají nálepy jílové hmoty. Zaoblení zrn je převážně ovální, zakulacení převážně 0,4-1,0. Plagioklasy jsou podle čirých lamelovaných zrn zastoupeny oligoklas-andesinem (metoda zhášení v symetrické zóně). Jednotlivá zrna jsou proměnlivě a nestejně intenzivně argilitizovaná. Inkluze v plagioklasech tvoří křemen, drobné argilitizované uzavřeniny vulkanických sklovitých hornin, vzácně apatit a limonit na trhlinách. Zaoblení zrn je převážně ovální, zakulacení převážně 0,4-1,0.

Asi 10 % klastů v hornině tvoří tvarově nestálé (avšak rozměrově jen nepatrně menší než je nejčastější velikost klastů křemene) devitrifikované a silně argilitizované (illitizované) jemnozrné vyvřeliny. Jednotlivá zrna se liší texturou, strukturou i složením.

Základní hmota je jílovito-křemenná a je uložena v pórech mezi zrnky. Jílové minerály jsou zastoupeny dominantním illitem. Dále základní hmota obsahuje křemen, velmi málo karbonátu a limonitový pigment.

Kolem některých zrn jsou tenké lemy jílové hmoty, podle optické mikroskopie tvořené illitem. U některých zrn křemene i kvarcitů je náznak tenkého orientovaného nárůstu - lemu novotvořeného authigenního křemene na původním povrchu zrna.

Převládajícím minerálem v božanovském pískovci je monominerální křemen spolu se zrnky kvarcitů a granitoidních agregátů (65-70 %), dále hornina obsahuje muskovit a biotit (2 %) a živce (30 %).



Obr. 1: Mikroskopická stavba pískovce z lokality Božanov (optická mikroskopie horninového výbrusu, procházející světlo)

### **Hydrofobizační prostředky**

V experimentu byly testovány 3 typy komerčně dostupných hydrofobizačních prostředků od dvou výrobců. Prostředky jsou označeny písmeny A, B a C:

**A - fasádní krém na bázi siloxanu** – je hydrofobní prostředek s krémovitou konzistencí určený pro hydrofobní ošetření minerálních stavebních materiálů. Podle údajů od výrobce je prostředek možno, oproti obvyklým kapalným výrobkům, aplikovat pouze v jedné vrstvě. Účinná látka – siloxan-pronikne během krátké doby do podkladu (podle pórovitosti ošetřovaného materiálu) a reaguje za vylučování etanolu na polymerní silikonovou pryskyřici. Během této doby může dojít k zintenzivnění barevného odstínu podkladu, které však postupně vymizí. Jelikož je vlastní účinná látka stejná jako u obvyklých kapalných hydrofobních prostředků, zůstávají póry a kapiláry substrátu otevřené i při hydrofobním ošetření, schopnost difúze vodní páry je zachována. Prostředek je navržen tak, aby pronikl co nehlouběji do pórů minerálního stavebního materiálu a tímto způsobem optimálně chránil proti nasáknutí vody a škodlivých látek ve vodných roztocích, a rovněž proti škodám způsobeným mrazem či posypovou solí. Chemická reakce účinné látky na polysiloxan chránící stavební hmotu má proběhnout, podle teploty, za cca 4 týdny.

**B - oligomerní roztok siloxanu** - je prostředek určený k vodoodpudivé impregnaci minerálních stavebních látek. Podle údajů výrobce má díky své nízkomolekulární struktuře vynikající penetrační schopnost a reaguje uvnitř stavební hmoty se vzdušnou vlhkostí na polysiloxan, který je vodoodpudivý. Výrobek je odolný působení UV záření a povětrnosti. Účinná látka vytvoří na povrchu pórů makromolekulární vrstvu, která významně neovlivní difúzní vlastnosti pórů. Prostředek snižuje absorpci vody a vodou nesených škodlivých látek. Je tím omezeno také napadení takto ošetřených minerálních podkladů mikroorganismy.

**C - hydrofobní impregnace na bázi rozpouštědla s obsahem nanočástic** - vytváří dle výrobce nanovrstvu zabráňující usazování špíny, růstu mechů a plísní a chrání povrch kamene před škodlivými vlivy okolního prostředí, jako jsou kyselá deště, UV záření a námraza. Nanoimpregnace působí jako ochrana proti vodě a zároveň má zvyšovat čistotu podkladu. Umožňuje vzdušnou prodyšnost kamene a zlepšuje jeho tepelnou ochranu. Prostředek zvýrazňuje strukturu a barevnost ošetřeného materiálu. Po uschnutí je látka nelepivá a nevytváří žádný povlak. Tvorba nanovrstvy nastává po 24 hodinách v suchu při laboratorní teplotě.

### 3 POUŽITÉ EXPERIMENTÁLNÍ A ANALYTICKÉ METODY

Realizace experimentu zahrnovala následující analytické práce:

- analýzu složení a mikrostruktury horniny metodou optické mikroskopie a FTIR spektroskopie,
- vyšetření pórovitosti a distribuce velikosti pórů v hornině metodou vysokotlaké rtuťové porozimetrie,
- posouzení průběhu nasákavosti neošetřené a ošetřené horniny pro vodu v závislosti na čase a obdobné posouzení odparu vody z pórů neošetřené a ošetřené horniny do okolního prostředí.

Mikroskopická analýza horniny byla provedena na horninovém výbrusu, technikou procházejícího polarizovaného světla s využitím optického polarizačního mikroskopu NIKON Eclipse 80i. Složení základní hmoty horniny bylo upřesněno metodou infračervené spektroskopie FTIR v spektrometru NICOLET 6700 (Thermo Fisher Scientific).

Měření metodou vysokotlaké rtuťové porozimetrie byla provedena v přístroji AUTOPORE IV 9500 (Micromeritics, Corp.) na 4 vzorcích horniny o objemu cca 2 cm<sup>3</sup>. Vyhodnocena byla nejen standardní výstupní data z měření, ale celkové objemy pórů byly přepočteny pro různé velikostní kategorie pórů. To umožňuje získat nejen informaci o pórovitosti, ale také o členitosti pórového systému horniny.

Hodnocení časového průběhu nasákavosti horniny vodou bylo provedeno na sadě tří zkušebních těles (hranoly o rozměrech 50×50×100 mm) neošetřené horniny metodickým postupem podle [11, 12]. Tělesa byla před začátkem zkoušky vysušena při teplotě 110 °C a poté ponořena do převařené destilované vody v plastových nádobách uzavíratelných víkem. Tělesa byla nejprve nasakována při výšce hladiny vody 2-3 mm a poté postupně při hladině v 1/3, 2/3 a 3/3 výšky tělesa.

Nasakování probíhalo při laboratorní teplotě (20 °C) v uzavřených nádobách. Během nasakování byl průběžně zjišťován přírůstek hmotnosti tělesa. Použité časové intervaly vážení vzorku a časy zvyšování hladiny ponoru (na 1/3, 2/3 a 3/3 výšky tělesa) závisí vždy na konkrétním typu testované horniny a průběhu křivky nasakování. Změna výšky hladiny vody je prováděna po ustálení vlhkosti tělesa (tj. když křivka nasakování přestává narůstat). V tomto případě bylo vážení prováděno nejprve v hodinových intervalech (prvních 12 hodin), poté vždy po 2 hodinách, po 4 hodinách, po dnech, a pokud docházelo i po 240 hodinách měření k nárůstu vlhkosti, pokračovalo měření v týdenních intervalech. Časové úseky, po kterých byla zvyšována hladina vody, jsou uvedeny v tab. 3 a graficky vyznačeny v obr. 3. Uložení zkoušených těles při probíhající experimentu ukazuje obr. 2.

Po ukončení nasakování byl sledován průběh odparu vody z pláště zkušebního tělesa do volného prostoru. Experiment probíhal opět za laboratorní teploty a relativní vlhkosti vzduchu (50-60 %) v nezakrytých nádobách.

Výše popsany postup (pro nasákavost i odpar) byl použit současně pro tělesa ošetřená hydrofobizačními prostředky A, B a C. Látky A a B byly nanášeny na vysušená tělesa štětcem ve dvou vrstvách a nátěr se pak nechal vyžrát po dobu 4 týdnů. Aplikace látky C byla provedena namáčením tělesa do nádoby s látkou po dobu 2 minut. Zrání vrstvy trvalo 24 hodin (dle doporučení výrobce).



Obr. 2: Nasakování zkušebních pískovcových hranolů (50×50×100 mm) při výšce hladiny vody 2-3 mm

## 4 VÝSLEDKY A DISKUZE

### Výsledky vysokotlaké rtuťové porozimetrie

Podle optické mikroskopické analýzy je pórový prostor horniny tvořen vzájemnou konfigurací úlomkovitých zrn křemene a živců. Úlomkovitá zrna křemene jsou druhotně silicifikovaná, živce částečně alterované a v mezizrném prostoru se vyskytuje jak diagenetický kaolinit, tak detritické slídy a jílovina (illit). Jak silicifikace, tak červíkovité agregáty kaolinitu a jílové hmoty s malým podílem diagenetického karbonátu, přispívají k redukci systému primárních konfiguračních pórů a dále se podílejí na vytváření jemného pórového systému na úrovni základní hmoty.

Základní porozimetrické charakteristiky testovaných vzorků božanovského pískovce, získané rtuťovou porozimetrií (4 vzorky s označením a, b, c, d), jsou uvedeny v tabulce 1. Tabulka 2 ukazuje objemové zastoupení pórů ve čtyřech hlavních velikostních kategoriích pórů ve studované hornině.

Výsledky ukazují, že pro všechny měřené vzorky jsou dominantní konfigurativní póry o průměru 88,67 až 9,054  $\mu\text{m}$  (kategorie I – viz tab. 2), zahrnující 80 % z celkového objemu pórů v hornině. Tyto póry se překrývají s póry cementačně-konfigurativního typu v základní hmotě (kategorie II a III) a trhlinovým typem pórů ve velkých klastických zrnech (kategorie III a IV).

Tab. 1: Souhrnné výsledky měření vysokotlakou rtuťovou porozimetrií na testovaném pískovci

Vzorek	a	b	c	d
Hmotnost vzorku [g]	1,72	4,16	2,17	3,95
Celkový intrudovaný objem rtuti (celkový objem pórů $V_{\text{COP}}$ ) [ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ ]	0,08	0,08	0,08	0,08
Celkový povrch pórů [ $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ]	0,82	0,59	1,37	0,35
Medián průměru pórů (podle objemu) [ $\mu\text{m}$ ]	45,99	46,44	37,01	40,28
Medián průměru pórů (podle plochy) [ $\mu\text{m}$ ]	0,01	0,01	0,01	0,02
Střední průměr pórů ( $4V/A$ ) [ $\mu\text{m}$ ]	0,38	0,58	0,22	0,88
Objemová hmotnost při 0.0034 MPa [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]	2,21	2,15	2,13	2,15
Měrná hmotnost [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]	2,66	2,62	2,55	2,58
Celková pórovitost [%]	16,98	18,06	16,37	16,49

Tab. 2: Výsledky měření vysokotlakou rtuťovou porozimetrií - velikostní kategorie pórů v testovaném pískovci

Kategorie pórů	Interval průměru pórů [ $\mu\text{m}$ ]	Objemové zastoupení pórů v intervalu [%]
I	88,70-9,05	80,00
II	9,05-3,89	3,80
III	3,89-1,24	5,10
IV	1,24-0,01	11,10
	Celkem	100,00

### Průběh nasákavosti a odparu

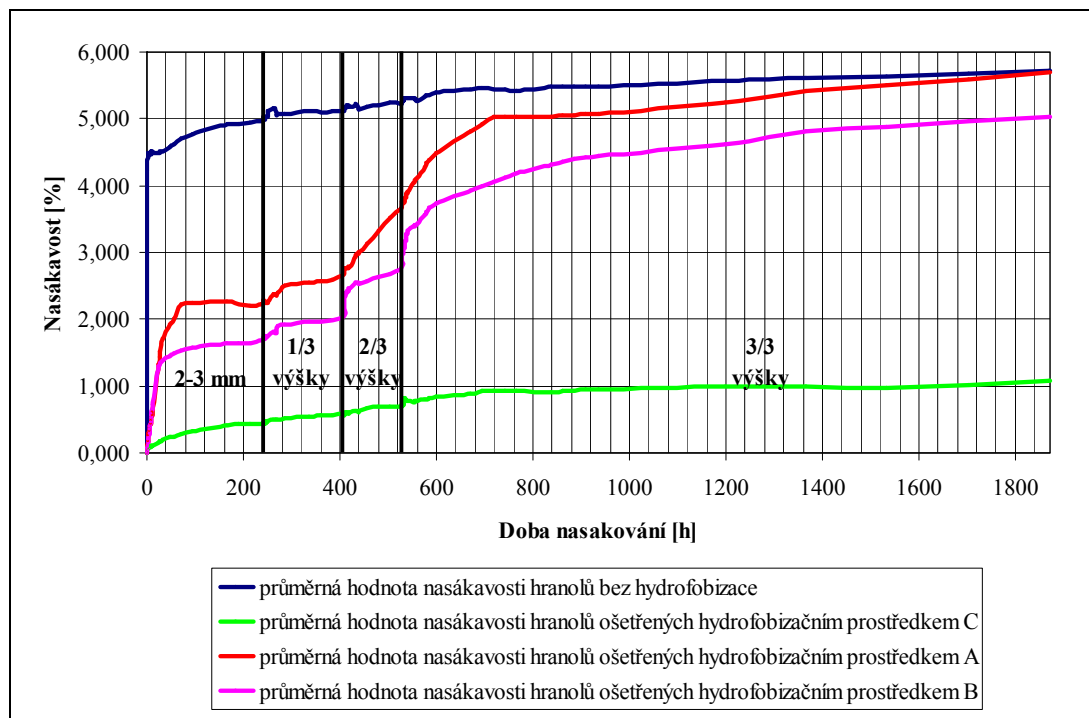
Průběh nasakování vody do pórů horniny je pro božanovský pískovec bez ošetření i s ošetřením třemi zvolenými typy hydrofobizačních prostředků graficky vyjádřen (jako přírůstky hmotnosti zkušebního tělesa vzhledem k hmotnosti suchého tělesa v závislosti na čase) na obr. 3. Každá ze zobrazených křivek byla sestavena z průměrných hodnot získaných testováním 3 zkušebních těles. Srovnání charakteristických dosažených hodnot nasákavosti během experimentu ukazuje tabulka 3.

U **neošetřeného tělesa** dochází již při ponoření na výšku 2-3 mm k relativně rychlému kapilárnímu zaplnění pórů vodou v téměř celém objemu pórového prostoru vzorku. Další postupné zvyšování hladiny vody vede k zaplňování zbývajících pórů vyplněných vzduchem. Konečná nasákavost (vlhkost) dosáhne hodnoty 5,7 % hm.

Průběhy křivek nasakování u **těles ošetřených látkami A a B** jsou si podobné. Nasakování vody do pórů je částečně blokováno po dobu cca 400 hodin. Po této době dosahuje nasákavost u látky A cca 50 % ve srovnání s neošetřeným vzorkem, u látky B je to cca 40 %. Po této době se blokáce uvolní a nasákavost významně narůstá. Aplikace látky A nesnižuje konečnou hodnotu nasákavosti

horniny. Aplikace látky B snižuje konečnou nasákavost horniny pouze nevýznamně (viz tab. 3 a obr. 4).

V případě aplikace **látky C** je situace odlišná. Nasakování vody do pórů horniny je silně potlačeno a blokováno po dobu 700 h (29 dní). Průnik vody do pórů je omezen natolik, že ani úplné ponoření tělesa do vody nezpůsobí další saturaci pórů vodou. Konečná hodnota nasákavosti (vlhkosti) je 1,1 %, což představuje pouhých 19 % nasákavosti neošetřeného vzorku.



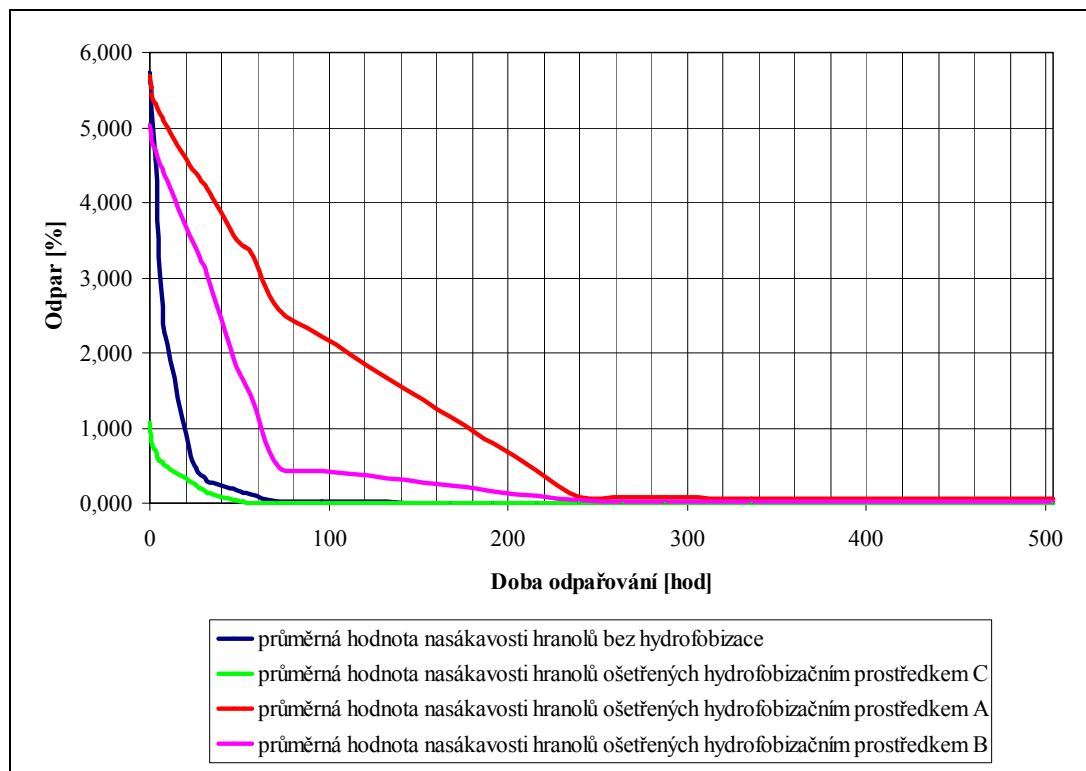
Obr. 3: Průběh nasákavosti při postupném sycení zkušebních těles bez ošetření a s ošetřením hydrofobizačními prostředky A, B a C

Tab. 3: Srovnání dosažených hodnot nasákavosti během experimentu u zkušebních těles bez ošetření a s ošetřením hydrofobizačními prostředky A, B a C

Výška hladiny vody	2-3 mm	1/3 výšky tělesa	2/3 výšky tělesa	3/3 výšky tělesa
Čas nasakování [h]	240,0	408,0	528,0	1872,0
Ošetření tělesa	vlhkost $w_1$ [%]	vlhkost $w_2$ [%]	vlhkost $w_3$ [%]	nasákavost $N_{celk}$ [%]
Neošetřeno	5,0	5,1	5,2	5,7
Látka A	2,2	2,7	3,7	5,7
Látka B	1,7	2,0	2,8	5,0
Látka C	0,4	0,6	0,7	1,1

Každá z křivek odparu na obr. 4 byla rovněž sestrojena z průměrných hodnot získaných testováním 3 zkušebních těles. Na křivkách odparu jsou patrné poměrně výrazné "zlomy", v kterých průběh závislosti mění směr. Časy, po kterých k těmto zlomům dochází, spolu s odpovídajícími hodnotami úrovně odparu (vlhkosti), jsou pro tělesa bez ošetření i s ošetřením látkami A, B a C,

uvedeny v tab. 4. Uvedené hodnoty byly odečítány z grafů zobrazených v přehlednějším a podrobnějším měřítku, než dovoluje tato publikace, a ze získaných datových souborů. Totéž platí i pro výše prezentované hodnoty nasákavosti.



Obr. 4: Průběh odparu vody z povrchu nasycených zkušebních těles bez ošetření a s ošetřením hydrofobizačními prostředky A, B a C

Tab. 4: Změny v průběhu křivky odparu s odpovídajícími hodnotami úrovně odparu (vlhkosti) u zkušebních těles bez ošetření a s ošetřením hydrofobizačními prostředky A, B a C

Ošetření tělesa	Vlhkost při nasycení [%]	změna průběhu křivky odparu					
		čas zlomu [h]	vlhkost [%]	čas zlomu [h]	vlhkost [%]	čas zlomu [h]	vlhkost [%]
Neošetřeno	5,70	12,00	0,57	72,00	0,03	-	-
Látka A	5,70	-	-	72,00	2,58	240,00	0,08
Látka B	5,00	-	-	72,00	0,49	240,00	0,03
Látka C	1,10	7	0,54	30,00	0,16	52,00	0,01

U **neošetřených těles** je odpar vody z pórů horniny poměrně rychlý. Po 12 hodinách dojde k odpaření 90 % přítomné vody (vlhkost horniny klesá z počátečních 5,7 % na 0,57 %, viz tab. 4). V materiálu pak zůstává pouze vlhkost vázaná v jemných pórech v hlubším prostoru vzorku, která se uvolní do dalších 60 hodin.

U **těles ošetřených látkami A a B** je odpar vody pomalejší. Látka A dovoluje pozvolné uvolňování vlhkosti, kdy během 72 hodin uniká z horniny cca 45 % vlhkosti. Po dalších 168 hodinách je z horniny odpařeno celkově cca 98,6 % vody. U látky B je blokáce odparu méně výrazná. Po 72 hodinách je odpařeno již cca 90 % vody a zbytek se uvolní po dalších 168 hodinách.



Z **těles ošetřených látkou C** je již po 7 hodinách odpařeno z horniny cca 50 % vlhkosti, po dalších 23 hodinách je odpařeno již celkem 85 % vlhkosti a zbytek vody se uvolní během dalších 22 hodin. Odpar vody je v tomto případě relativně rychlý.

## 5 ZÁVĚR

V příspěvku byl hodnocen vliv aplikace tří typů hydrofobizačních prostředků na dynamiku nasákavosti a odparu vody ze stavebního kamene - pískovce z lokality Božanov. Pro daný typ horniny lze vliv použitých látek stručně zhodnotit takto:

Hydrofobizační prostředky A a B na bázi siloxanů mají podobný účinek na nasákavost a odpar vody z pórů pískovcového kamene. Částečně blokují rychlost nasakování vody do horniny, nezabrání však při dlouhodobém nasakování plné saturaci pórů vodou. Odpar vody je při aplikaci těchto látek postupný a dlouhodobý. K zásadnímu snížení vlhkosti dochází v podmínkách daného experimentu až po cca 10 dnech.

Hydrofobizační prostředek C na bázi rozpouštědla s obsahem nanočástic vede k výraznému omezení nasákavosti pískovcového kamene. Primární nasákavost horniny se po aplikaci prostředku sníží o cca 80 % (z hodnoty 5,7 % na 1,1 %). Odpar vody z takto redukováného nasyceného pórového prostoru je relativně rychlý (50 % vlhkosti se uvolní do 7 hodin a k odstranění vlhkosti z horniny dochází celkově do cca 2 dnů). Odpar vody z pórů horniny není hydrofobizačním prostředkem blokován.

Použitý metodický postup hodnocení dynamiky nasákavosti a odparu vody z pórů horniny do okolního prostředí se, i přes svoji časovou náročnost, ukazuje jako efektivní nástroj pro posuzování vhodnosti různých typů chemických hydrofobizačních nebo konzervačních prostředků pro konkrétní druh stavebního kamene. Tuto metodu však bude nutno v dalším řešení problematiky doplnit také o analýzu charakteru uložení hydrofobizačního prostředku v pórech horniny, analýzu interakce látky s horninou a posouzení změn v geometrii pórů. Vzhledem k charakteru křivek nasakování u látek na bázi siloxanů bude nutno věnovat pozornost také chování vyzrálého gelu při dlouhodobém kontaktu s vodou. Tyto otázky zde zatím řešeny nebyly.

## PODĚKOVÁNÍ

Článek byl vypracován v rámci projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin, reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0082 podporovaného Operačním programem Výzkum a vývoj pro Inovace, financovaného ze strukturálních fondů EU a ze státního rozpočtu ČR.

## LITERATURA

- [1] ALVAREZ DE BUERGO BALLESTER, M. a R. FORT GONZÁLEZ. Basic methodology for the assessment and selection of water-repellent treatments applied on carbonatic materials. *Progress in Organic Coatings* [online]. roč. 43, 2001, s. 258–266. ISSN 0300-9440. PII: S0300-9440(01)00204-1.
- [2] BOUTIN, F. Comparative study of the efficiency of protective treatments applied to stone. *In Surface Technology with Water Repellent Agents: Proceedings of Hydrophobe III, Third International Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents, Universität Hannover, Germany, September 25th and 26th, 2001.* ed. K. Littman and A. E. Charola, pp 233–244. Freiburg: Aedificatio Verlag. ISBN 3931681602.
- [3] CAMAITI, M., S. BUGANI, E. BERNARDI, L. MORSELLI, and M. MATTEINI. 2007. Effects of atmospheric NO<sub>x</sub> on biocalcarene coated with different conservation products. *Applied Geochemistry*, 22 (6): 1248–54.

- [4] CHAROLA, A. E. Water-repellent treatments for building stones: A practical overview. *APT Bulletin*, 1995. 26 (2–3), pp. 10–17.
- [5] CNUUDE, V., J.P. CNUUDE, C. DUPUIS a P.J.S. JACOBS. X-ray micro-CT used for the localization of water repellents and consolidants inside natural building stones. *Materials Characterization* [online]. roč. 53, 2004, s. 259-271. ISSN 1044-5803. DOI: 10.1016/j.matchar.2004.08.011.
- [6] ČSN EN 1925: 2000. *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení součinitele nasákavosti vodou působením vzlinavosti*. Praha: Český normalizační institut, 2000. 11 s.
- [7] DOEHNE, E. F. a C. A. PRICE. *Stone conservation: an overview of current research*. 2nd ed. Los Angeles, Calif.: Getty Conservation Institute, 2010, xi, 158 p. Research in conservation. ISBN 16-060-6046-5.
- [8] DOMINGO, C., M. ALVAREZ DE BUERGO, S. SÁNCHEZ-CORTÉS, R. FORT, J. V. GARCÍA-RAMOS a M. GOMEZ-HERAS. Possibilities of monitoring the polymerization process of silicon-based water repellents and consolidants in stones through infrared and Raman spectroscopy. *Progress in Organic Coatings* [online]. roč. 63, 2008, s. 5–12. ISSN 0300-9440. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2008.03.002.
- [9] KARACA, Zeki. *Water absorption and dehydration of natural stones versus time*. Construction and Building Materials. 2010, vol. 24, pp 786–790. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.10.029.
- [10] LICCHELLI, M., M. MALAGODI, M. L. WETHTHIMUNI a Ch. ZANCHI. Water-repellent properties of fluoroelastomers on a very porous stone: Effect of the application procedure. *Progress in Organic Coatings* [online]. roč. 76, 2013, s. 495-503. ISSN 0300-9440. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2012.11.005.
- [11] MARTINEC, P., J. ŠČUČKA, L. AUGISTINKOVÁ a M. PEŘINKOVÁ. Pískovce ve fragmentech gotického zdiva ze Staříče - pórovitý systém a interakce hornin s vodou. *Odborný časopis Zpravodaj WTA CZ*, 2010, 3-4, s. 22-25. ISSN 1213-7308.
- [12] MARTINEC, P., VAVRO, M., SCUČKA, J., MASLAN, M. Properties and durability assessment of glauconitic sandstone: A case study on Zamel sandstone from the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic). *Engineering Geology*, 2010, vol.115, No. 3-4, p. 175-181. Elsevier B.V. ISSN 0013-7952.
- [13] MOTTERSHEAD, D., A. GORBUSHINA, G. LUCAS a J. WRIGHT. The influence of marine salts, aspect and microbes in the weathering of sandstone in two historic structures. *Building and Environment* [online]. roč. 38, 9-10, s. 1193-1204. ISSN 03601323. DOI: 10.1016/S0360-1323(03)00071-4.
- [14] RATHOUSKÝ, J. *Zprávy památkové péče: Konzervační prostředky pro kámen i jiné stavební materiály*. Praha: Státní ústav památkové péče, 1994, roč. 54, č. 6. ISSN 1210-5538.

#### **Oponentní posudek vypracoval:**

Prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc., Ústav chemie, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Ing. Eva Vejmelková, Ph.D., Katedra materiálového inženýrství a chemie, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.