

EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ ÚČINNOSTI A TRVANLIVOSTI INJEKTÁŽNÍCH METOD PRO OCHRANU ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ PROTI VZLÍNAJÍCÍ VLHKOSTI

Uvedené poznání plyne z disertační práce,
kterou zpracoval Ing. Viktor Zwiener na
Fakultě stavební ČVUT v Praze pod vedením
Doc. Ing. Jaroslava Výborného, CSc.
a Prof. Ing. Richarda Wasserbauera, DrSc.

PŘESTOŽE SE INJEKTÁŽNÍ METODY POUŽÍVAJÍ JIŽ NĚKOLIK DESETILETÍ, EXISTUJE PRO NĚ V SOUČASNÉ DOBĚ POUZE JEDEN OBECNÝ PŘEDPIS – SMĚRNICE WTA 4-4-96. Z ROKU 1982 POCHÁZÍ PRVNÍ NÁVRH ČSN UPRAVUJÍCÍ TUTO PROBLEMATIKU. NORMA VŠAK NIKDY NENABYLA PLATNOSTI. OBA PŘEDPISY SE ZABÝVAJÍ SPÍŠE VLASTNÍM PROVÁDĚNÍM INJEKTÁŽNÍCH METOD NEŽ JEJICH ZKOUŠENÍM. V REVIZI SMĚRNICE WTA 4-4-96 OZNAČENÉ WTA 4-4-03/D, KTERÁ PŮVODNÍ SMĚRNICI NAHRAZUJE, JE JIŽ NOVĚ POPSÁN A ZKUŠEBNÍ METODIKA PRO INJEKTÁŽNÍ METODY. PRŮKAZNOST TÉTO ZKOUŠKY SE VŠAK V SOUČASNÉ DOBĚ TEPRVE OVĚŘUJE.

Absence zkušebních předpisů neznamená, že se injektážní metody nezkouší. Zkoušky obvykle probíhají formou laboratorních experimentů. Experimenty se zaměřují na účinnost a hloubku proinjektování při daných okrajových podmínkách. V textech a publikacích se zaměřením na sanační metody se někdy zmiňuje možná biologická odbouratelnost injektážních roztoků. Toto tvrzení patrně vychází z praktických zkušeností autorů, které však nejsou nikde publikovány. Rovněž nelze nalézt laboratorní experimentální hodnocení této problematiky. Z těchto důvodů byl proveden výzkum, jehož průběh shrnujeme v následujícím textu. Nejdůležitější závěry z výzkumu naleznete na konci článku. S ohledem na současný stav poznání, založeném především na uvedeném výzkumu, nezařazuje Atelier stavebních izolací injektáže stavebních konstrukcí do svých řešení.

VÝBĚR INJEKTÁŽNÍCH ROZTOKŮ A BIOCIDNÍCH PROSTŘEDKŮ

Experimenty a zkoušky byly prováděny se třemi injektážními metodami (roztoky) označenými v článku jako roztok AA, BB a CC. Rostoky byly vybrány tak, aby podchycovaly široké spektrum jednoho základního principu působení, kterým je zúžení pórů a hydrofobizace jejich stěn (viz samostatný sloupek). Žádný z roztoků nevyplňuje póry, všechny jsou hydrofobní a mají pronikat do pórů v kapalném skupenství, přičemž technologie aplikace je u každého jiná. Rostok AA se před aplikací mísí ze dvou základních složek, poté se aplikuje beztlakovou injektáží. Rostok BB se rovněž aplikuje beztlakově, ale ve zmraženém stavu a je pouze jednosložkový. Rostok CC je jednosložkový, ale aplikuje se tlakově.

Pro experimenty s ochrannou roztoků proti mikroorganismům byly použity 3 biocidní přípravky společnosti THOR: ACTICIDE SR1056, ACTICIDE FI(N) a ACTICIDE SR5298/1. Použití biocidních přípravků pouze společnosti THOR vychází z jejich

PODSTATA INJEKTÁŽNÍCH CHEMICKÝCH METOD

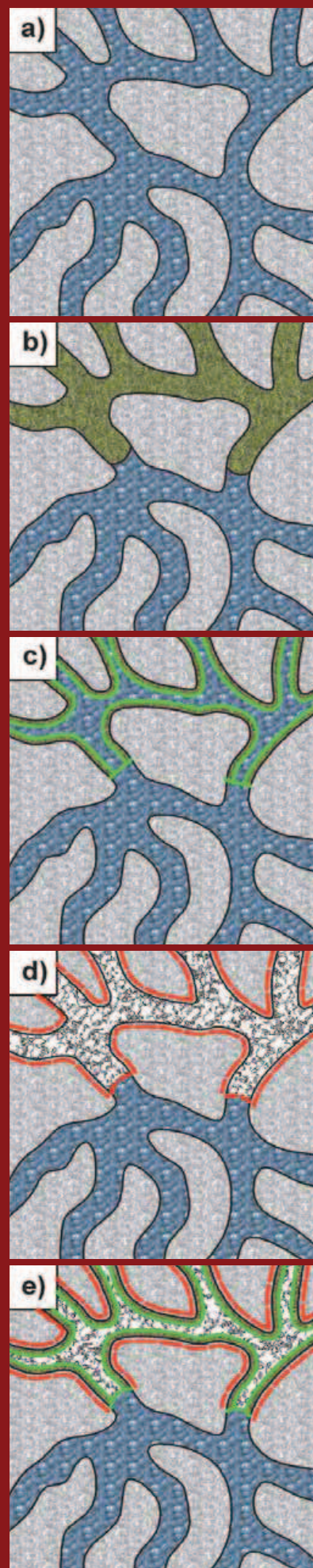
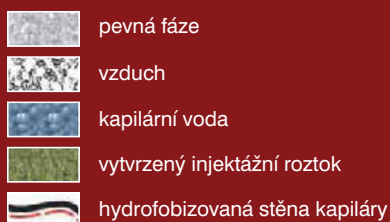
Podstatou injektážních metod je vytvoření hydroizolační clony chemickou látkou, která se napouští do předem vyvrtaných otvorů ve vlhké zděné konstrukci. Injektážní roztok ve vrtech reaguje, např. vytvrdne, zgelovatí, hydrofobizuje stěny pórů apod., čímž se vytvoří hydroizolační clona.

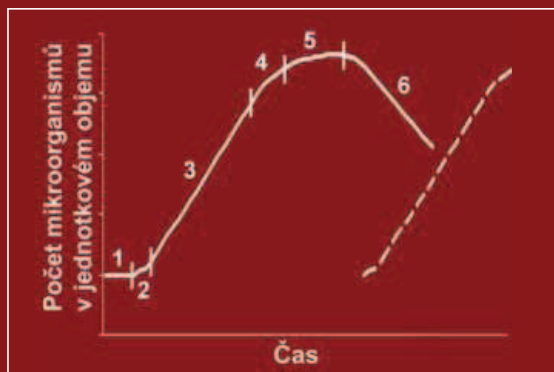
ZÁKLADNÍ SLOŽKY INJEKTÁŽNÍCH MATERIÁLŮ

V současné době se nejčastěji používají injektážní roztoky, jejichž základ tvoří silikony a organokřemičitany (silanoláty, silany, mikroemulze silikonových pryskyřic), alkalické a nealkalické vodní sklo, polyuretany, roztoky přírodních pryskyřic (kaučuky), vysychavé a nevysychavé oleje, roztoky asfaltů v organických rozpouštědlech, parafíny a silikátové nebo aluminosilikátové krystalizační roztoky. Základní principy působení injektážních roztoků jsou na obr. /01/.

01 | PRINCIPY PŮSOBNÍ INJEKTÁŽNÍCH ROZTOKŮ

- Materiál bez injektážního roztoku – póry jsou zaplněny vodou;
- Utěsnění pórů – injektážní roztok penetruje do pórů zdiva, které má po chemické reakci a ztuhnutí do nerozpustného stavu zcela vyplnit;
- Zúžení pórů – injektážní roztok penetruje do pórů zdiva, které má po chemické reakci a ztuhnutí zúžit;
- Hydrofobizace stěn pórů – injektážní roztok penetruje do pórů zdiva, jejichž stěny hydrofobizuje a tím má snížit nebo zcela zamezit kapilární vztlakovost;
- Hydrofobizace a zúžení – kombinace c) a d).





02| RŮST MIKROBIÁLNÍ POPULACE ZA OPTIMÁLNÍCH PODMÍNEK

- 1 PŘÍPRAVNÁ FÁZE, buňky se nerozmnožují, ale zvětšují svůj objem, dochází u nich k aktivaci enzymového systému; délka fáze závisí na druhu mikroorganismu, stavu buněk a složení růstového média.
- 2 FÁZE ZRYCHLENÉHO RŮSTU je období, kdy všechny reakce dosahují mezních konstantních rychlostí a přecházejí do ustáleného stavu.
- 3 EXPONENCIÁLNÍ FÁZE začíná tehdy, kdy rychlost růstu dosahuje konstantní hodnoty, buňky mají nejkratší generační dobu.
- 4 FÁZE ZPOMALUJÍCÍHO RŮSTU je způsobena postupným vyčerpáním živin a hromaděním toxických metabolitů.
- 5 při STACIONÁRNÍ FÁZI se zastavuje přírůstek živých buněk, dochází k pomalému rozmnožování, které je kompenzováno odumíráním buněk.
- 6 FÁZE POSTUPNÉHO ODUMÍRÁNÍ při které se buňky již nerozmnožují, pouze odumírají, dochází k postupnému snižování počtu buněk.

MIKROORGANISMY A MECHANISMY JEJICH PŮSOBNÍ

Z řady mikroorganismů se lze ve stavebnictví setkat převážně s bakteriemi, plísněmi a řasami. Podle /2/ jsou z hlediska získávání energie a nároků na vlhkost pro injektážní roztoky nebezpečné bakterie a plísně. Proto jsou v textu pod pojmem „mikroorganismus“ uvažovány pouze bakterie nebo plísně.

RŮST A MNOŽENÍ MIKROORGANISMŮ

Za optimálních podmínek se mikroorganismy rozmnožují velkou rychlostí a počet buněk se zdvojnásobuje v pravidelných intervalech. V určitém objemu živného média neprobíhá růst stále exponenciálně, ale zpomaluje se v důsledku spotřeby živin nebo tvorby produktů metabolismu. Růst probíhá v několika fázích, viz obr. /02/.

Růst a množení mikroorganismů je do značné míry závislé na podmínkách vnějšího prostředí, ve kterém musí být nejen dostatečný zdroj živin a energie, ale musí být splněny i optimální fyzikální, chemické a biologické podmínky. Nepříznivé vlivy prostředí se v praxi projevují selekcí odolnějších druhů. Z literatury (např. /2/, /6/) jsou známy případy růstu v několika „vlnách“, kdy po odumření jedné mikrobiální populace začne růst jiná, viz čárkovanou křivku na obr. /02/.

TEPLOTA

Teplota ovlivňuje intenzitu téměř všech životních projevů mikroorganismů. Zvyšování teploty vede k urychlování metabolických reakcí, při snižování teploty postupně klesá i rychlost

rozmnožování až k úplnému zastavení růstu. Teplotní rozmezí, v němž mikroorganismus roste, aniž by byl poškozován, je dán třemi základními teplotami, jejichž hodnoty závisí na druhu mikroorganismu:

- Minimální teplota: Nejnižší teplota, při které se sledovaný mikroorganismus rozmnožuje ještě zjistitelnou rychlostí;
- Optimální teplota: Mikroorganismus se rozmnožuje nejvyšší rychlostí (obvykle o cca 30 °C vyšší než minimální teplota);
- Maximální teplota: Nejvyšší teplota, při níž je mikroorganismus ještě schopen se rozmnožovat (obvykle o 5 °C až 10 °C vyšší než optimální teplota).

Optimální teplota růstu mikroorganismů, které patří do druhé skupiny, je pro bakterie cca (25 – 28) °C a plísně cca 30 °C (oboje při výskytu ve stavebních konstrukcích).

pH PROSTŘEDÍ

Růst mikroorganismů je značně citlivý na koncentraci H^+ iontů v prostředí. Většina bakterií nejlépe roste při pH neutrálním nebo mírně alkalickém. Optimální pH pro růst plísní se pohybuje kolem neutrálního bodu, obvykle 5 až 6 (7).

VODA

Voda představuje 80 % až 90 % hmotnosti buňky. Ve vodném prostředí probíhají veškeré reakce v buňce. Dostatečné množství vody musí být i ve vnějším prostředí, aby buňka neztratila vnitrobuněčnou vodu.

VLIV MIKROORGANISMŮ NA KAPILÁRNĚ PORÉZNÍ PROSTŘEDÍ Podle /7/ mohou mikroorganismy

na stavebním materiálu (kde vytváří biofilm) významně ovlivnit jeho kapilární vlastnosti. Na jedné straně mohou mikroorganismy využívat jako zdroj živin i injektážní roztoky, na straně druhé mikroorganismy produkují toxické metabolity, které se hromadí v pórech a kapilárách. V obou případech může dojít jak ke zvýšení, tak také ke snížení kapilárních vlastností materiálu, vždy ale pouze na přechodnou dobu, neboť metabolity podléhají také degradačním procesům.

OMEZOVÁNÍ RŮSTU MIKROORGANISMŮ

Růst mikroorganismů lze omezit změnou okolních podmínek, tedy změnou optimální teploty růstu, změnou pH, omezením přístupu vody, zářením apod. Poměrně velkou účinnost má rovněž použití tzv. antimikrobiálních látek, které mají na mikroorganismy nepříznivý vliv díky svému složení. Tyto látky se dělí na mikrobistatické (zastavují rozmnožování) a mikrobicidní (usmrcují mikroorganismy). Ve velmi nízkých koncentracích má ale většina antimikrobiálních látek naopak účinek stimulační. Příklady antimikrobiálních látek jsou antibiotika, antimetabolity, silná oxidační a redukční činidla, formaldehyd, tensidy, alkylační činidla a další. Pro desinfekci a konzervaci se používají látky souhrnně označované jako biocidy. Biocidy jsou látky, které působí na řadu kritických míst buňky (narozdíl od antibiotik, které zasahují pouze jedno kritické místo). Pro mikroorganismy jsou typické velké rozdíly v citlivosti vůči biocidům. Zatímco jedna skupina mikroorganismů neodolává již nepatrným dávkám, druhá skupina může odolávat i velmi vysokým koncentracím.

poměrně dobré účinnosti, která byla průběžně ověřena /18/. Biocidy byly voleny s ohledem na jejich deklarované použití (baktericid nebo fungicid), optimální pH a aplikační koncentraci, která se pohybuje od 0,05 % do 1,50 %, přičemž při experimentech byla vždy použita výrobcem doporučená maximální koncentrace pro daný biocid.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

OZNAČENÍ VZORKŮ A TĚLES V EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Pro snadnou identifikaci jednotlivých inokulačních roztoků, případně vzorků, sad nebo zkušebních těles ošetřených příslušným inokulačním roztokem a vzorků, sad nebo zkušebních těles bez roztoku byly jednotlivým inokulačním roztokům přiřazeny zkratky a barevná označení, viz tabulka /01/.

PODSTATA PROVEDENÝCH ZKOUŠEK A EXPERIMENTŮ

Vliv inokulace na pevnost v tlaku a rozložení pórů vápenné malty

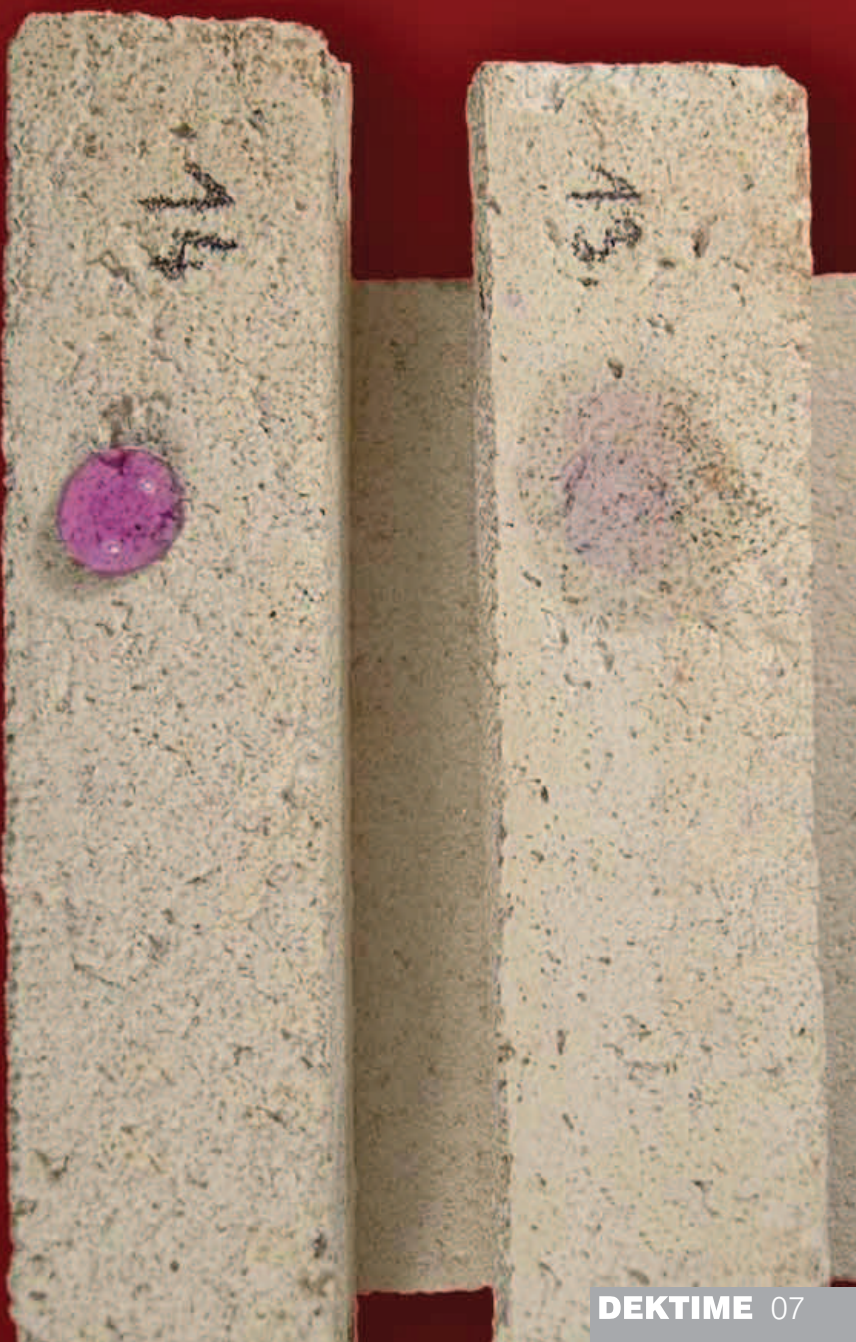
Zkušební tělesa se napustí inokulačním roztokem a po kondicionování se provedou pevnostní zkoušky. Vliv inokulačního roztoku se hodnotí porovnáním pevnosti v tlaku inokulovaných a referenčních zkušebních těles. Pro stanovení rozložení pórů v inokulované maltě se použije rtuťový porozimetr.

Experimentální stanovení účinnosti roztoků – propustnost inokulované vápenné malty

Zkušební tělesa z vápenné malty napuštěná inokulačním roztokem se umístí do upravených plastových kelímků tak, aby jedna polovina byla ve styku s vlhkostí a druhá polovina ve styku se vzduchem. Průběžně se měří množství vlhkosti, které projde za 24 hod účinnou plochou zkušebního tělesa.

Pod pojmy „propustnost“ nebo „propustnost vlhkosti“ se v textu rozumí množství vody v kapalném nebo plynném skupenství, která projde za jednotku času účinnou plochou zkušebního tělesa a na opačné straně je zachycována silikagelem ve formě vodní páry.

03 | Porovnání hydrofobizované (vlevo) a běžné vápenné malty.

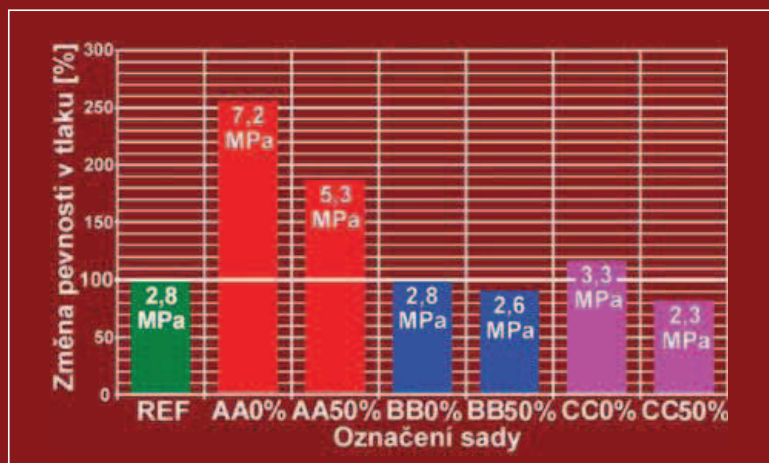


Tabulka 01 – Systém označování injektážních roztoků, vzorků, sad a zkušebních těles

Injektážní roztok	REF	AA	BB	CC
Barevné označení	zelená	červená	modrá	růžová

Tabulka 02 – Fyzikální vlastnosti injektážních roztoků

Vlastnost	Roztok		
	AA	BB	CC
pH	5,0	11,5	5,5
Hustota [kg/m ³]	940	1025	900
Povrchové napětí [N/m]	0,0091	nenaměřeno	0,0144



04| Pevnosti v tlaku vápenné malty v závislosti na použitém injektážním roztoku a stupni zavlhnutí zkušebních těles (REF = zkušební sada bez injektáže)

Experimentální stanovení vlivu mikroorganismů na propustnost injektované malty

Zkušební tělesa z předchozího experimentu se po stanovenou dobu kultivují v suspenzi s mikroorganismy. Následně se tělesa opět vloží do plastových kelímků a průběžně se měří množství vlhkosti prošlé za 24 hod účinnou plochou zkušebního tělesa.

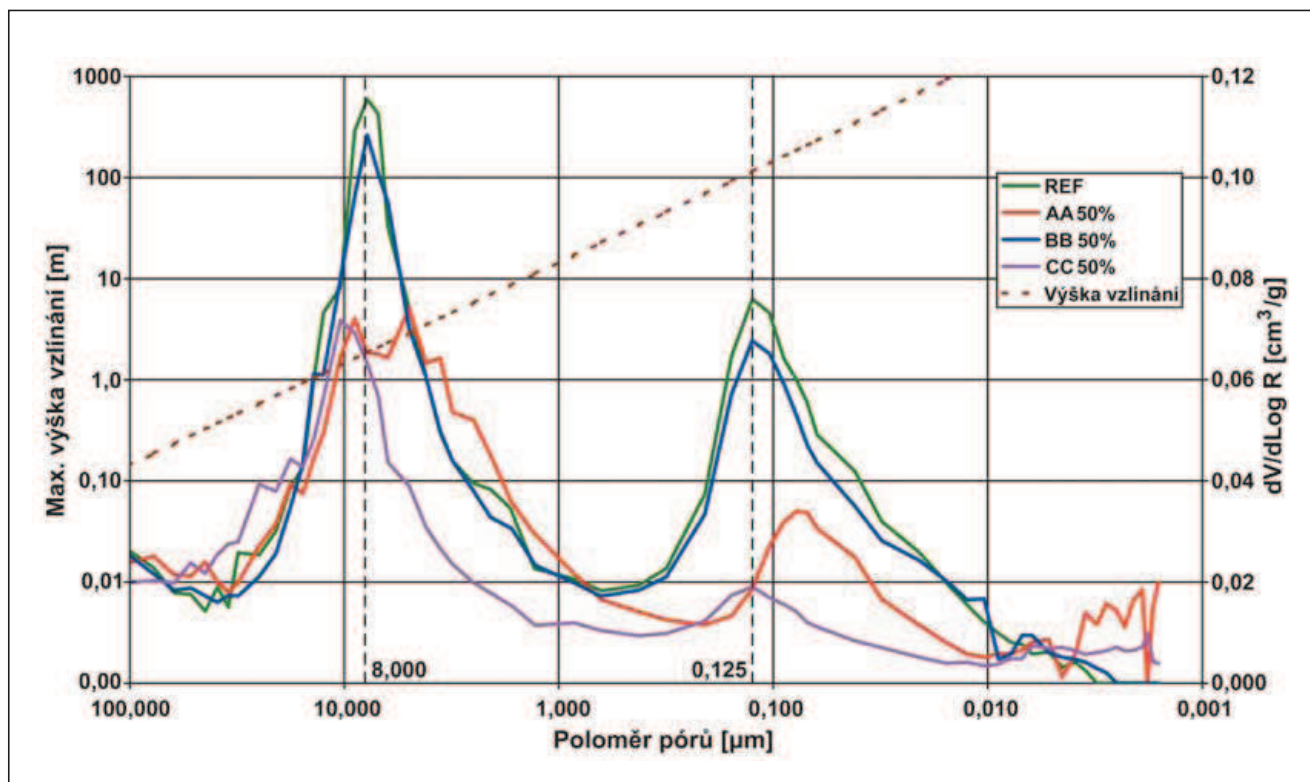
Ochrana injektážních roztoků biocidy

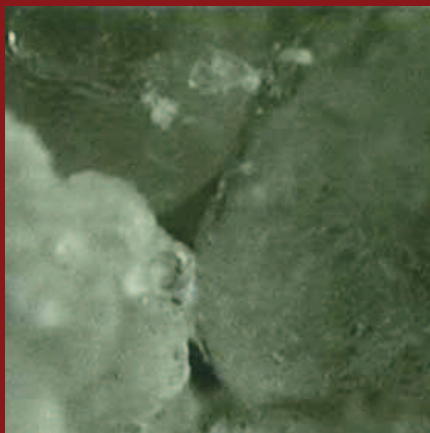
Nosiče nasáklé směsí injektážních roztoků a biocidů v příslušné koncentraci se umístí na živnou půdu (použije se speciální půda pro plísně a speciální půda pro bakterie). Účinnost biocidů (růst bakterií nebo plísní v blízkosti nosiče) se průběžně vizuálně kontroluje a vyhodnotí se u bakterií do cca 2 dnů a u plísní v rozmezí 5 až 10 dnů.

PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES Z VÁPENNÉ MALTY A ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Pro experimenty jsme připravili 60 zkušebních těles z vápenné malty

05| Pórozimetrie: objem pórů dV/dLog R (pravá osa Y) v závislosti na poloměru pórů (osa X) a maximální výška vzlinání (levá osa Y) v závislosti na poloměru pórů (osa X)





06 | Pískovcový kámen (vlevo) a pískovcový kámen napuštěný injektážním roztokem CC (vpravo) pod videomikroskopem při zvětšení 500×. Při porovnání je u napuštěného pískovce dobře patrný infúzní roztok (bílé plochy), který obaluje zrna, ale nevyplňuje póry mezi pískovcovými zrny. Došlo pouze k jejich zúžení. Roztok CC je rovněž hydrofobní, jedná se tedy o působení e) na obr. /01/.

TEORETICKÝ TLAK POTŘEBNÝ PRO VYTLAČENÍ VODY Z PÓRŮ

Injektážní roztok CC se aplikuje do zdiva tlakově. Při injektáži provádějící firmy rády ukazují, jak při tlakovém napouštění vrtu vyteče roztok například 1 m od injektovaného otvoru. Na otázku, jak vlastně roztok funguje a proč se aplikuje tlakově, je poměrně častá odpověď, že roztok vytlačí vodu obsaženou v pórech zdiva. Že to ve skutečnosti úplně není pravda

svědčí i to, že v průběhu injektáže žádná voda odnikud nevytéká. Závislost mezi poloměrem pórů r [m] a vnějším tlakem vyjadřuje Washburnova rovnice:

$$r = \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta}{p_k} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

kde
 p_k tlak působící v kapiláře nad zakřiveným povrchem [Pa]
 σ a θ viz vztah (1)

(kamenivo frakce 0-4, vápenný hydrát a voda v hmotnostním poměru 3:1:1) o rozměrech (100×20×20) mm. Protože jeden z roztoků požaduje aplikaci do alespoň 2 roky starého materiálu, nechali jsme zkušební tělesa uměle zestárnout v zařízení pro simulaci umělého stárnutí (4 týdny při teplotě 20 °C, R.H. 60 % a obsah CO₂ 1 %). Základní fyzikální vlastnosti připravené vápenné malty byly: objemová hmotnost v suchém stavu 1671 kg/m³, otevřená pórovitost 24,95 %, maximální nasákavost 14,93 % a součinitel nasákavosti působením vztlávanosti 500 g/(m²·√s).

Pro kapilární vztlávanost platí následující vztah:

$$h = \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta}{r \times \rho_k \times g} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

kde
 σ povrchové napětí kapaliny [N/m], pro vodu při 20 °C je $\sigma = 0,073$ N/m

θ úhel smáčení kapaliny [°], pro vodu $\theta = 0^\circ$
 r poloměr kapiláry [m]
 ρ_k hustota kapaliny [kg/m³], pro vodu $\rho_k = 1\,000$ kg/m³
 g gravitační zrychlení [m/s²]

Ze vztahu je patrné, že výška vztlínání roztoku v kapiláře o určitém průměru závisí přímo úměrně na povrchovém napětí a nepřímo úměrně na hustotě kapaliny. Poměr obou změřených povrchových napětí injektážních roztoků k příslušným hustotám je výrazně nižší než stejný poměr u vody a výška vztlínání bude u injektážních roztoků výrazně menší. V případě injektážních roztoků je to handicap, neboť z hlediska statiky se požaduje vrtání injektážních otvorů co nejdále od sebe, a na základě uvedeného úvahy má být vzdálenost co nejmenší. Další problém je voda v kapilárách a pórech, která, pokud s ní injektážní roztok přímo nereaguje, opět snižuje vzdálenost průniku injektážních roztoků.

VÝSLEDKY A JEJICH DISKUZE

VLIV INJEKTÁŽE NA PEVNOST V TLAKU A ROZLOŽENÍ PÓRŮ VÁPENNÉ MALTY

Pro zkoušku jsme použili rozpůlená zkušební tělesa, která byla rozdělena do několika sad podle počátečního stupně zavlhnutí před aplikací injektážního roztoku (0 % nebo 50 %) a podle injektážního roztoku (AA, BB nebo CC). Stupeň zavlhnutí je podíl hmotnostní vlhkosti materiálu a jeho otevřené pórovitosti – max nasákavost [hmotnostní %]. Po napuštění injektážními roztoky proběhlo kondicionování po dobu 100 dní (175 dní pro stanovení rozložení pórů) při teplotě (23 ± 5) °C a R.H. (50 ± 20) %. Následně byly provedeny zkoušky pevnosti v tlaku. Výsledky jsou v grafu na obr. /04/.

Pevnost v tlaku materiálu souvisí s jeho pórovitostí (resp. hutností). Průměr kapilár a pórů ve zdivu se pohybuje od 0,01 mm do 100 mm, přičemž pro běžné cihly a maltu

Ze vztahu lze vyjádřit tlak, při jakém se kapalina dostane do póru (kapiláry) o určitém průřezu. Pro další ilustraci předpokládejme, že máme materiál, jehož póry jsou zcela zaplněny vodou (stupeň zavlhnutí $S_p = 100\%$). Pro vytvoření chemické hydroizolační clony použijeme tlakovou injektáž. Předpokládejme ještě injektážní roztok, který s vodou nereaguje. Abychom vůbec roztok do materiálu dostali, je třeba vytlačit nějakou vodu z pórů. Injektážní roztok působí na vodu v pórech stejným tlakem jako voda na injektážní roztok a pro tlaky platí:

$$p_v \leq p_{\text{injekt}} \quad (3)$$

kde

p_v tlak vody [Pa] a

p_{injekt} tlak injektážního roztoku [Pa].

Tlak injektážního roztoku potřebný pro vytlačení vody z póru (kapiláry) o poloměru r [m] musí tedy být:

$$p_{\text{injekt}} \geq \frac{2 \times 0,073 \times \cos 0}{r} = \frac{0,146}{r} \text{ [Pa]}$$

Pro ilustraci jsou v tabulce /03/ uvedeny teoretické tlaky potřebné pro vytlačení vody z pórů o určitém poloměru (stav při ideálních podmínkách).

Nyní si položíme otázku, zda lze roztokem CC, který je určený pro tlakovou injektáž, vytlačit vodu ze zaplněných pórů? Dříve stanovené povrchové napětí je $\sigma_{\text{injekt}} = 0,0144$ N/m a vztah (3) lze rozepsat:

$$\frac{2 \times \sigma_v \times \cos \theta_v}{r} \leq \frac{2 \times \sigma_{\text{injekt}} \times \cos \theta_{\text{injekt}}}{r} \quad (4)$$

po úpravě a dosazení známých hodnot obdržíme $\cos \theta_{\text{injekt}} = 5,07$. Cosinus úhlu nemůže být nikdy větší než 1 a tento roztok by pro vytlačení vody z pórů nešlo použít. Abychom vyvinuli co největší tlak, musí $\cos \theta \rightarrow 1$ a z toho plyne, že úhel smáčení musí $\theta \rightarrow 0^\circ$. Injektážní roztok by měl být co nejvíce smáčivý. Pro případ, že $\theta_v \rightarrow 0^\circ$ a $\theta_{\text{injekt}} \rightarrow 0^\circ$ lze vztah (3) zjednodušit na:

$$\sigma_v \leq \sigma_{\text{injekt}} \quad (0.1)$$

Pokud však povrchové napětí injektážního roztoku bude výrazně větší než povrchové napětí vody, potom bude zapotřebí větší tlak pro proniknutí roztoku do pórů o stejném poloměru. Z těchto úvah vyplývá, že pro případ materiálu se zcela zaplněnými póry vodou je ideální stav $\sigma_v = \sigma_{\text{injekt}}$. Injektážní roztok, který má stejné povrchové napětí a úhel smáčení jako voda neexistuje a vytlačet vodu vodou je hloupost. Proto je lepší nechat materiál vyschnout na přijatelnou míru. Tento fakt lze opět doložit i rovnicí (1), ze které plyne, že pro nejsnazší proniknutí injektážního roztoku do suchého materiálu má být povrchové napětí co nejmenší. Proto dobrý injektážní roztok by měl co nejvíce smáčet, tj. úhel smáčení se blíží 0° a jeho povrchové napětí by mělo být menší než povrchové napětí vody. Uvedený závěr platí pouze pro injektážní roztoky, které jsou s vodou nemísitelné

(nereagují s ní). Ideální roztok je samozřejmě takový, který ke své funkčnosti alespoň část vody z pórů spotřebuje.

Vraťme se nyní k použití tlakové injektáže. Tlaky uvedené v tab. /03/ pro vytlačení vody z pórů jsou poměrně vysoké (jedná se o teoretické hodnoty). Pro zdění se obvykle používá vápenná malta s pevností v tlaku kolem 1 až 2,5 MPa a zdicí prvky s pevností od 5 MPa do 25 MPa. Je ale velice důležité rozlišovat mezi makrostrukturní a mikrostrukturní pevností. V praxi se pevnost běžných stavebních materiálů hodnotí v makrostruktuře, v níž se materiály jeví jako statisticky izotropní. Naproti tomu při injektáži působí roztok lokálně na každou stěnu póru, kapiláry nebo rýhy. V mikrostruktuře se jeví materiál jako anizotropní a lokální pevnost je proměnlivá a těžko měřitelná. Někteří výrobci nebo dodavatelé používají při tlakových injektážích tlak až 1 MPa, který ale již nestačí pro vytlačení vody z nejmenších pórů, které se ještě výraznou měrou podílejí na kapilární vztlínivosti. Vyšší tlak nelze použít, protože hrozí porušení struktury materiálu. Na základě uvedených skutečností lze konstatovat, že tlakové injektážní metody fungují obdobně jako beztlakové s tím rozdílem, že se roztok rozvádí ve zdivu velkými póry. Schopnost pronikat do nejmenších pórů musí být vlastností roztoku a ne důsledkem působení vnějšího tlaku.

Tabulka 03 – Materiál se zcela zaplněnými póry – teoretické tlaky pro vytlačení vody z pórů

Póry (kapiláry)		Poloměr	Max. výška vztlínání	Tlak
Nejmenší mikropóry		0,001 μm	14600 m	146 MPa
Největší mikropóry		0,010 μm	1460 m	14,6 MPa
Kapilární póry	Nejmenší póry a rýhy	0,100 μm	146 m	1,46 MPa
	Nejčastěji se vyskytující póry ve vápenné maltě	0,125 μm	116,8 m	1,17 MPa
	Teoretický účinný poloměr pórů ve vápenné maltě (viz obr. /05/)	0,150 μm	97,3 m	0,97 MPa
	Střední průměr pórů ve zdivu	10 mm	1,46 m	14,6 kPa
	Největší póry, v nichž se ještě uplatňuje kapilární vztlínavost	1000 mm	0,01 m	146 Pa

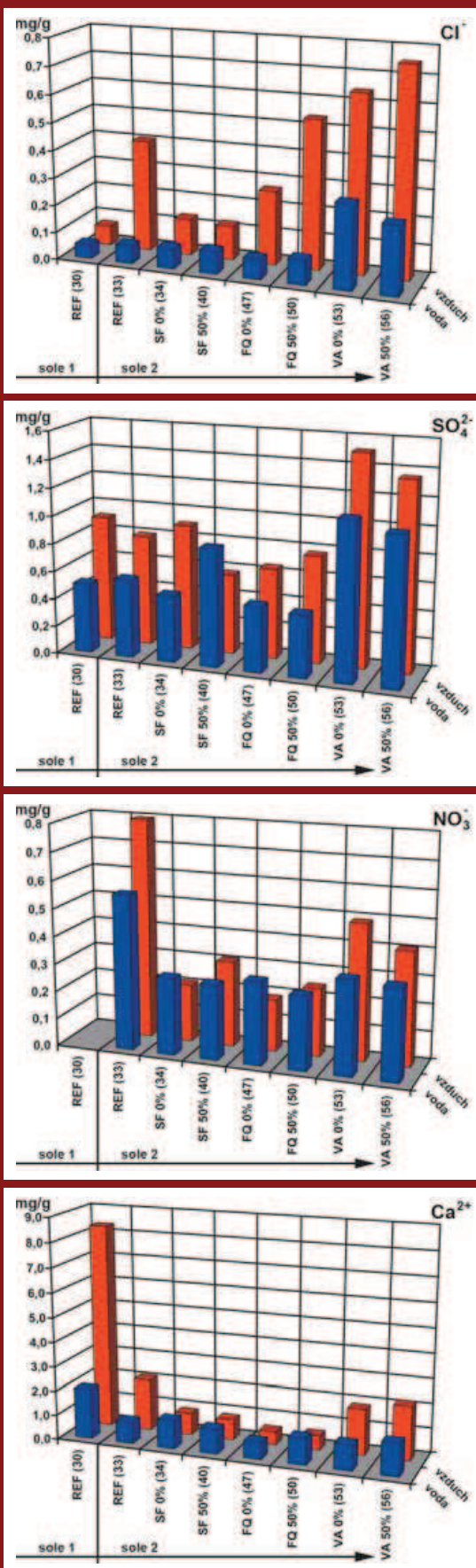
se uvádí střední hodnota 10 mm. Nejmenší póry o průměru 0,1 mm ale mají velký vliv na výšku a dobu vztlínání. Proto jsme se rozhodli provést na referenčním zkušebním tělese a zkušebních tělesech napuštěných injektážními roztoky pórozimetrickou analýzu. Výsledky analýzy jsou v grafu na obr. /05/.

Na křivce pro referenční zkušební těleso (REF) jsou patrné 2 vrcholy odpovídající poloměrům pórů, které se ve vápenné maltě vyskytují nejčastěji. První vrchol je pro poloměr pórů 8,0, který přibližně odpovídá střední hodnotě 10,0 udávanou pro vápennou maltu. Druhý vrchol je pro poloměr pórů 0,125. Pokud se podíváme na křivky pro jednotlivé roztoky, došlo oproti křivce REF u roztoku AA k významnému snížení hodnot v obou vrcholech a celá křivka jakoby se mírně posunula doprava směrem k menším poloměrům pórů. Z tohoto průběhu lze usoudit, že opravdu došlo k zúžení a redistribuci pórů směrem od těch, jež se nejvíce podílejí na kapilárním transportu vlhkosti k menším, méně nebezpečným. Obdobný průběh má i křivka pro roztok CC, zde ale pouze došlo k výraznému snížení všech hodnot, což znamená, že všechny póry byly rovnoměrně zúženy.

Poměrně překvapivý je průběh křivky pro roztok BB, který takřka kopíruje průběh křivky REF. Pokud tento výsledek zkonfrontujeme s výsledkem vlivu injektážního roztoku na pevnost v tlaku, kdy při stejné ošetřené zkušební tělese došlo ke snížení pevnosti o cca 10% lze usoudit na jediné, roztok BB se nedostal v dostatečné míře do struktury vápenné malty. Největší překážkou mu pravděpodobně byla počáteční vlhkost před injektáží, kterou roztok uzavřel a nedokázal ji pustit ven.

EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ ÚČINNOSTI ROZTOKŮ – PROPUSTNOST INJEKTOVANÉ VÁPENNÉ MALTY

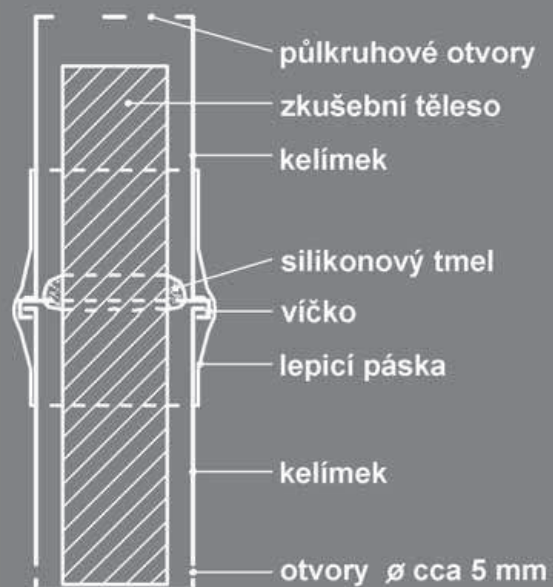
K vytvoření metodiky pro stanovení účinnosti roztoků nás přivedly následující úvahy. Jak již bylo řečeno dříve, neexistuje v České republice pro zkoušení účinnosti injektážních roztoků



07| Obsahy solí a vápníku v dolních třetinách ve vodě (modré kvádry) a horních třetinách na vzduchu (červené kvádry) zkušebních těles při prvním (sole 1) a druhém (sole 2) rozboru.



08



09



10

08 - 10 | Měřicí aparatura

žádný zkušební předpis nebo norma, zkoušení se ale přesto provádí, obvykle s použitím zkoušek uvedených v /10/, /11/ a /12/. Vždy se vyberou vhodné přírodní a umělé zdicí materiály, z nichž se zhotoví zkušební tělesa, která se před zkouškou vysuší do konstantní hmotnosti. Stanoví se jejich nasákavost působením vztlínivosti. Následuje napuštění těles injektážním roztokem a někdy opětovné vysušení do konstantní hmotnosti. Opět se provede zkouška nasákavosti působením vztlínivosti a výsledek se porovná s prvním měřením. Injektážní roztoky jsou takového charakteru (obsahují hydrofobizátory a podobné látky), že zkoušky většinou bez větších problémů splní. Simuluje ale popsaná zkouška skutečný stav při aplikaci roztoku?

Domníváme se, že největší nepřesnost, která má značný vliv na účinnost, je ono vysušování zkušebních těles, ke kterému ve skutečnosti nedochází. I když se používají např. topné tyče, vždy se jedná pouze o snižování obsahu vlhkosti. Proto by měl injektovaný materiál při zkoušení obsahovat tolik vlhkosti, jako může obsahovat ve skutečnosti. Druhá nepřesnost je, že se po injektáži ponechá materiál opět vyschnout v celém objemu. Ve skutečnosti se injektáží vytvoří ve zdivu vrstva o určité výšce, která má zabránit kapilárnímu šíření vody. Z uvedeného vyplývá, že pro zkoušení je ideální stav, kdy je část zkušebního tělesa v kontaktu s vlhkostí a část na vzduchu a stanovuje se množství vlhkosti prošlé jednotkou plochy. Tohoto základního principu jsme využili při stanovení propustnosti vlhkosti injektovaného materiálu. Čím je menší propustnost napuštěného materiálu, tím je lepší účinnost injektážního roztoku.

Pro experiment jsme 22 zkušebních těles rozdělili do 7 sad, z nichž 6 sad po 3 tělesech byly určeny pro napuštění injektážními roztoky a jedna sada po 4 tělesech sloužila

jako referenční (bez injektáže). Stupeň zavlhnutí a použitý injektážní roztok jsou patrné z tabulky /04/.

Po injektáži jsme každé zkušební těleso zatmelili vždy do 2 plastových kelímků (obr. /08/, /09/) a podle injektážního roztoku umístili do 4 plastových nádob s destilovanou vodou. V nádobách jsme udržovali konstantní výšku hladiny (obr. /10/). Pro měření propustnosti vlhkosti jsme použili sáčky se silikagelem, které jsme vložili do prázdného kelímku, nasadili na kelímky se zkušebními tělesy (obr. /10/) a ponechali 24 hodin. Měření jsme opakovali cca jednou za 14 dní po dobu 90 dnů. Mezi jednotlivými měřeními nebyly nasazeny kelímky se sáčky silikagelu.

Množství vlhkosti, která projde u zkušebního tělesa jednotkou plochy za 1 den se vypočítá podle vztahu:

$$P_{it} = \frac{m_{it} - m_{i0}}{t \cdot A_i} \left[\frac{g}{m^2 \times \text{den}} \right] \quad (5)$$

kde

m_{i0} hmotnost [g] i-tého sáčku

silikagelu v čase $t = 0$ dnů

m_{it} hmotnost [g] i-tého sáčku

silikagelu v čase $t = 1$ den

t čas [dny]

A_i účinná plocha průřezu uprostřed i-tého zkušebního tělesa [m^2]

ANALÝZA VÝSLEDKŮ

REFERENČNÍCH TĚLES

Výsledky měření jsou graficky vyjádřeny na obr. /11/ (levá část grafu označena „1 série měření“). Z průběhu křivek je patrné, že k největšímu snížení propustnosti vlhkosti došlo překvapivě u referenční (neinjektované) sady. Proto jsme jedno ze zkušebních těles sady REF vyjmuli, rozlomili na třetiny a v jednotlivých třetinách jsme stanovili obsah solí (sírany, dusičnany a chloridy). Výsledky ukázaly, že v horní třetině je

výrazně větší obsah solí než v dolní třetině. Při pohybu vody neinjektovaným zkušebním tělesem unáší voda rozpustné sole a pravděpodobně další látky, které se v horní části zkušebního tělesa ukládají a snižují tím propustnost. K transportu solí pravděpodobně dochází také u zkušebních těles napuštěných injektážními roztoky, ale v menší míře, protože roztoky mají omezený kapilární pohyb. Pro celkové vyhodnocení účinnosti roztoků by bylo třeba oddělit snížení propustnosti vlivem injektážních roztoků a dalšími vlivy, což lze poměrně těžko, přesto ale lze učinit přibližné vyhodnocení.

ANALÝZA VÝSLEDKŮ ROZTOKU CC

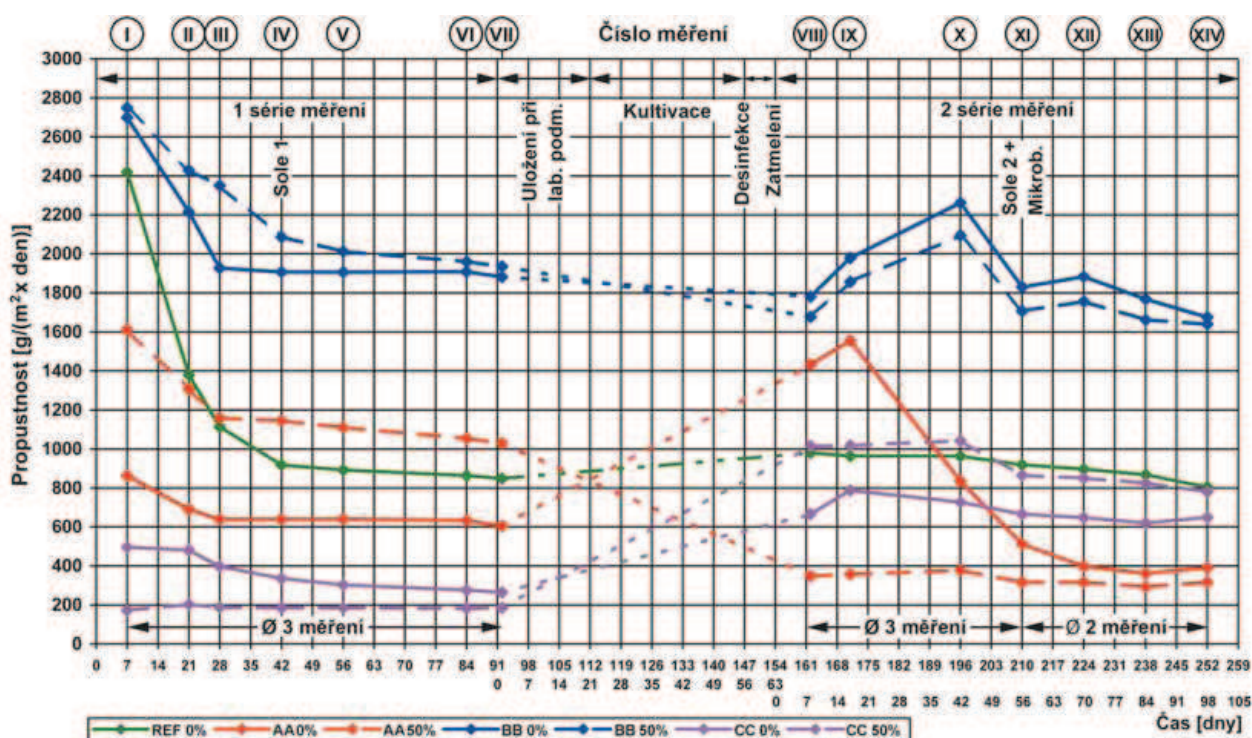
V první řadě je třeba se podívat na propustnosti při prvním měření, ze kterých plyne, že nejlepší účinnost ihned po aplikaci má roztok CC. U tohoto roztoku je rovněž zajímavé, že účinnost je o něco lepší při aplikaci do vlhkého materiálu. V průběhu měření potom nedochází takřka k žádné změně, což znamená, že většina reakcí (ať kladných nebo záporných), které by mohly ovlivnit funkčnost, byly potlačeny. Při napouštění do suchého materiálu byla prvotní účinnost o něco horší, ale z klesající tendence křivky lze usoudit, že účinnost by se v budoucnu vyrovnala účinnosti při aplikaci do mokrého materiálu.

ANALÝZA VÝSLEDKŮ ROZTOKŮ AA A BB

U roztoků AA a BB má vždy lepší účinnost roztok aplikovaný do suchého materiálu. U roztoku AA je rozdíl mezi aplikací do suchého a mokrého materiálu téměř dvojnásobný, a to v průběhu celého měření. Lze ale pozorovat, že se k sobě křivky blíží, takže v budoucnu by pravděpodobně rovněž došlo k vyrovnání účinností. U tohoto roztoku lze rovněž předpokládat, že se na snížení propustnosti částečně podílel také transport a ukládání solí.

Tabulka 04 – Zkušební sady podle stupně zavlhnutí a použitého injektážního roztoku

Injektážní roztok a stupeň zavlhnutí [%]	REF				AA 0%			AA 50%			BB 0%			BB 50%			BB 0%			BB 50%		
Č. zkušebního tělesa	30	31	32	33	34	35	36	39	40	44	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58



11

U roztoku BB jsou počáteční hodnoty propustnosti a hodnoty na konci měření velice podobné a celkově dosti vysoké. Při porovnání počáteční hodnoty sady REF (měření I) a hodnot pro roztok BB na konci 1. série měření (měření VII) lze říct, že se účinnost zlepšila velice málo.

EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ VLIVU MIKROORGANISMŮ NA PROPUSTNOST INJEKTOVANÉ MALTY

Probíhající měření jsme na 9 týdnů přerušili, tj. zkušební tělesa byla odtmelená a uložena při laboratorních podmínkách. Následně jsme na dno plastových nádob umístili podpory a na ně uložili zkušební tělesa, vždy 6 těles napuštěných jedním injektážním roztokem do jedné nádoby. Do nádoby jsme nalili suspenzi mikroorganismů (izolovaných z běžné zeminy) tak, aby výška hladiny byla cca do 1/3 příčného řezu těles. Zkušební tělesa jsme kultivovali v termostatu po dobu 32 dnů při teplotě (26 ± 1) °C a R.H. 75% (obr. /12 - 15/). Referenční zkušební tělesa nebyla kultivována.

Nakonec jsme tělesa vyjmuli, uložili při laboratorních podmínkách a pro desinfekci je postříkali 10% roztokem ajatinu. Dříve uvedeným postupem jsme tělesa opět zatmelili do kelímků, umístili do plastových nádob s destilovanou vodou a opakovali měření propustnosti vlhkosti.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Grafické vyjádření výsledků je na obr. /11/ (pravá část grafu označena „2. série měření“). Při porovnání posledních hodnot naměřených v 1. sérii (měření VII) a prvních hodnot ve 2. sérii (měření VIII) je patrné, že se tečkované úsečky, znázorňující kultivaci mikroorganismy, pro jednotlivé roztoky zkřížily, tj. došlo k „záměně“ účinnosti podle toho, zda byl roztok napouštěn do suché nebo mokré malty (čím je propustnost menší, tím je lepší účinnost a naopak). Dále u roztoku BB došlo k mírnému snížení propustnosti vlhkosti. U roztoku CC došlo v obou případech k výraznému zvýšení propustnosti, u roztoku aplikovaném do suchého materiálu je hodnota cca 2× větší a u roztoku aplikovaném do vlhkého materiálu je

hodnota dokonce 5× větší než před kultivací. Velice zajímavý je výsledek u roztoku AA, neboť v případě aplikace do vlhkého materiálu se propustnost 2,5× snížila, ale při aplikaci do suchého materiálu se propustnost cca 2,5× zvýšila. Z uvedeného porovnání plyne, že mikroorganismy ovlivnily měření.

REFERENČNÍ TĚLESA

Z průběhů propustnosti vlhkosti při dalších měřeních je zřejmé, že u zkušební sady REF, která nebyla v průběhu kultivace uložena v suspenzi s mikroorganismy, ale pouze volně při laboratorních podmínkách, došlo v počátku k velice mírnému nárůstu propustnosti vlhkosti, která se ale v dalším průběhu vrátila k původním hodnotám na konci první série měření.

ROZTOK BB

U roztoku BB byl zaznamenán poměrně prudký nárůst propustnosti, který se nejvíce projevil při desátém měření, tedy cca 6 týdnů od začátku druhé série měření. Po tomto nárůstu potom následuje pokles k původním hodnotám.



12

- 11 | Průměrné propustnosti vlhkosti zkušebních těles napuštěných injektážními roztoky při první a druhé sérii měření.
Pozn. Na ose X jsou dny, horní řada značí dny od začátku celého experimentu, na prostřední řadě jsou dny od přerušení 1. série měření po zatmělení zkušebních těles do plastových kelímků pro 2. sérii měření a na spodní řadě jsou dny od začátku 2. série měření. Na ose Y je průměrná propustnost ze tří nebo dvou zkušebních těles, tato informace je uvedena nad osou X (po měření XI bylo z každé sady odebráno jedno zkušební těleso pro rozbor).

12 - 15 | Zkušební tělesa na konci kultivace



13



14



15



16| Experimentální stanovení aktivity biocidů vůči plísním, fotografie po 7 dnech kultivace

ROZTOK CC

Jak již bylo řečeno výše, u roztoku CC došlo k výraznému nárůstu propustnosti vlhkosti, která se v dalším průběhu měření pouze mírně snížila. Z průběhu křivek a posledních měření lze usoudit, že se propustnost v budoucnu pravděpodobně vyrovnají. U roztoku CC aplikovaném do mokré vápenné malty se snížená propustnost z osmého měření udržela s drobnými výkyvy i v dalším průběhu.

ROZTOK AA

Nejzajímavější je průběh propustnosti pro roztok AA aplikovaném do suchého materiálu, neboť při devátém měření je zaznamenána největší hodnota, která se dokonce blíží propustnosti pro roztok BB, ale v dalším průběhu nastává prudký pokles a hodnota se přibližuje propustnosti při aplikaci roztoku do mokrého materiálu.

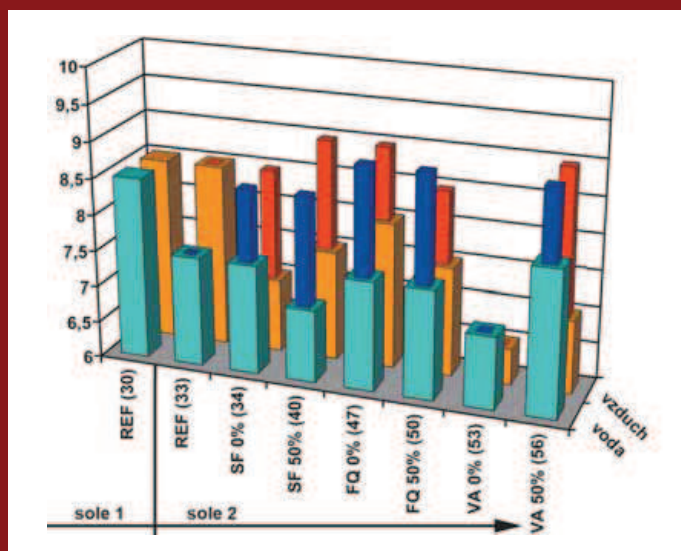
Pro nalezení příčin snižování a zvyšování propustnosti jsme se rozhodli po měření XI provést chemické a biologické rozbor. Z každé sady bylo vyjmuto jedno zkušební těleso a opět rozděleno na třetiny. Po vyjmutí těles z kelímků před chemickými rozbor. jsme zjistili, že na povrchu zkušebních těles č. 53 (CC 0%) a č. 56 (CC 50%) se obnovil růst plísní. Toto zjištění znamenalo, že postřik 10% roztokem ajatinu byl nedostačující. U tělesa č. 40 (AA 50%) k obnovení růstu plísní nedošlo. Obsahy solí a pH v průřezu zkušebních těles (obr. /07/, /17/) byly opět stanoveny v horních a dolních třetinách zkušebních těles. Zjištěné hodnoty nebyly překvapivé.

VYHODNOCENÍ

Pro vyhodnocení celého experimentu se musíme vrátit ke grafu na obr. /11/. Jak již bylo řečeno dříve, mohou mikroorganismy negativně ovlivnit kapilární porézní prostředí materiálu. Při experimentu s propustností zkušebních těles napuštěných injektážními roztoky a kultivovanými mikroorganismy lze předpokládat, že pokud injektážní roztok slouží jako zdroj živin, může docházet ve druhé a třetí fázi k růstu mikroorganismů (viz obr. /02/) a ke zvýšení propustnosti vlhkosti, která může v dalších fázích růstu dále kolísat. Stanovení růstové fáze znesnadňuje fakt, že se nejedná

17| pH na povrchu a ve středu zkušebních těles.

Široké kvádry značí pH na povrchu třetin ponořených ve vodě (světle modrá) nebo na vzduchu (oranžová). Obdobně úzké kvádry značí pH ve středu průřezu zkušebních těles, kde tmavě modrá je pro třetiny ponořené ve vodě a červená pro třetiny na vzduchu.



o monokulturu mikroorganismů. Nicméně pokud došlo po kultivaci a desinfekci ke zvýšení propustnosti vlhkosti zkušebních těles, je to již určitý signál, že mikroorganismy mají vliv na účinné látky injektážního roztoku. Tuto domněnku potvrzují i výsledky pro roztok CC, u kterého došlo po kultivaci k dvojnásobnému, resp. pětinásobnému zvýšení propustnosti, přičemž biologická odbouratelnost roztoku CC již byla experimentálně prokázána při jiném výzkumu.

Roztok BB měl velkou propustnost vlhkosti již před kultivací. Po kultivaci se propustnost významně nezměnila. Došlo pouze k dočasnému zvýšení propustnosti.

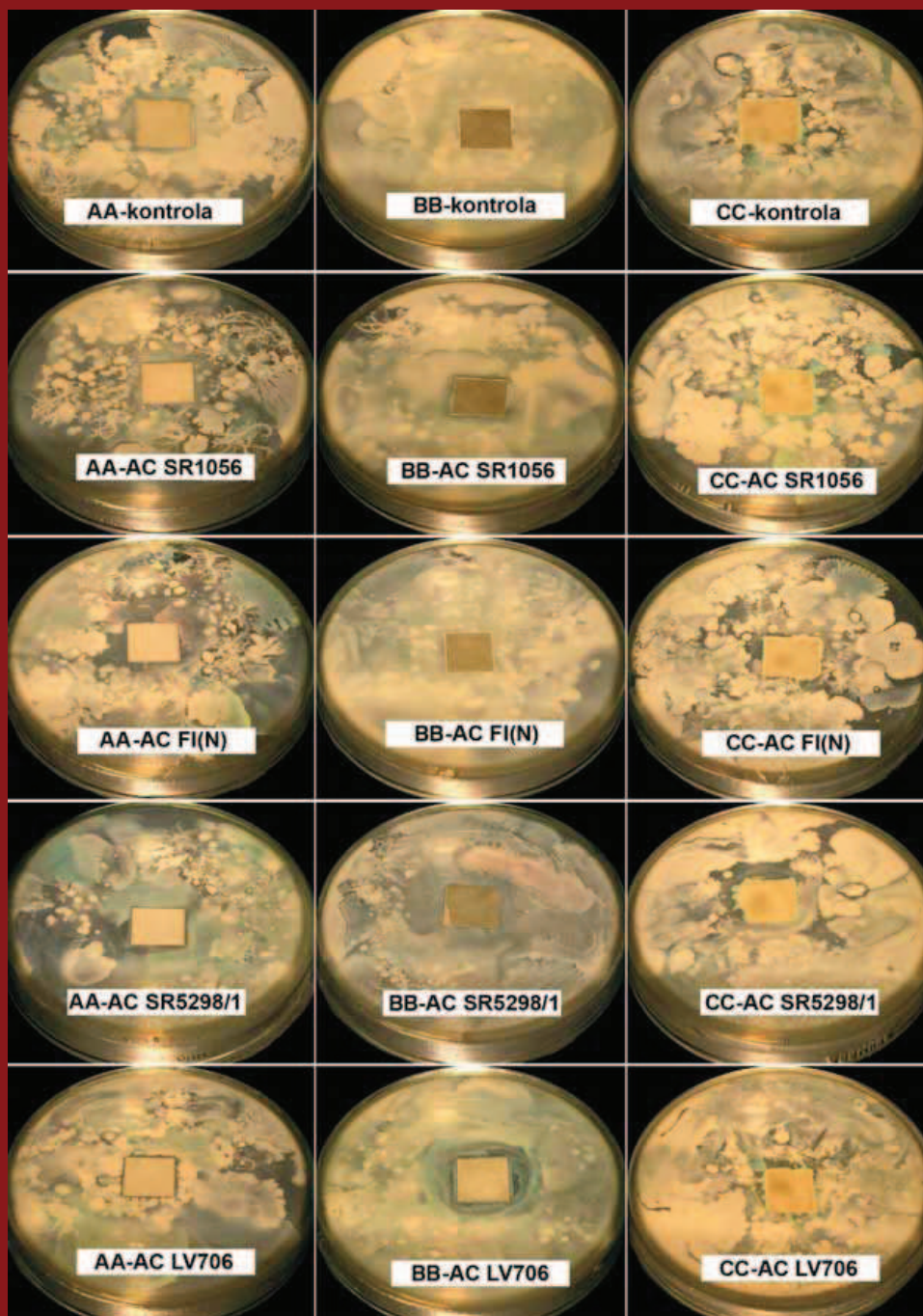
Hodnocení roztoku AA je velice složité, protože se hodnoty po kultivaci poměrně dost liší (v závislosti, zda byl roztok aplikován do suché nebo mokré vápenné malty), aby se po několika měření opět vyrovnaly. Jedinou spojitost lze nalézt u ověření růstu bakterií po měření XI. Z výsledků plyne, že ze všech zkušebních těles napuštěných injektážními roztoky pouze u zkušebního tělesa č. 40 nebyl prokázán obnovený růst bakterií. Těleso č. 40 pochází ze sady AA 50% a pokud se ještě jednou pozorně podíváme na graf na obr. /11/, je sada AA 50% jedinou ze všech, u které došlo k výraznému snížení propustnosti vlhkosti po kultivaci (tečkovaná úsečka mezi měřeními VII a VIII). Z uvedeného výsledku by bylo poměrně jednoduché vyvodit závěr,

že injektážní roztok AA je odolný vůči mikroorganismům a má velice dobrou účinnost, bohužel se stejný výsledek neprokázal u druhé sady zkušebních těles napuštěných stejným roztokem. Tuto zvláštnost nedokážeme v současné době vysvětlit, neboť zkušební tělesa obou sad byla vyrobena z jedné dávky vápenné malty, při umělém stárnutí ležela tělesa vedle sebe, dále byla tělesa napouštěna stejným roztokem, při měření propustnosti v první sérii byla tělesa v jedné plastové nádobě se stejným zdrojem destilované vody, při kultivaci ležela tělesa v jedné plastové nádobě, při postřikování ajatinem byla tělesa opět u sebe v jedné nádobě a při druhé sérii měření byla tělesa opět u jednoho zdroje destilované vody, jediný rozdíl byl, že u sady AA 0% byl roztok aplikován do suché vápenné malty a u sady AA 50% do mokré vápenné malty. Vysvětlení by mohly ukázat další experimenty a rozborů.

OCHRANA INJEKTÁŽNÍCH ROZTOKŮ BIOCIDY

Protože mikroorganismy mohou narušit a snížit účinnost injektážních roztoků, zabývali jsme se také možností jejich ochrany. Jedna z variant je použití biocidů, které se před aplikací přimíchají přímo do injektážního roztoku. Při experimentálním hodnocení účinnosti biocidů jsme se inspirovali [9], kde jsou uvedeny metody hodnocení

působení mikroorganismů na plasty. Jako zdroj mikroorganismů jsme použili přefiltrovaný půdní výluh. Při orientačním stanovení přítomnosti mikroorganismů ve výluhu byly identifikovány zástupci rodů plísní *Aspergillus*, *Penicillium* a *Cladosporium* a rodů bakterií *Bacillus*, *Pseudomonas* a *Micrococcus*. Připravili jsme směs injektážních roztoků a biocidů v maximální koncentraci doporučené výrobcem. Jako nosiče sloužily pásy filtračního papíru nasáknuté jednotlivými směsmi. Připravili jsme dostatečné množství živné půdy podle Czapka-Doxe, která se používá při stanovení růstu plísní a bezuhlíkatého minerálního média podle Illialetdinova s přidavkem glukózy, která se používá při stanovení růstu bakterií. Obě média jsme sterilizovali v autoklávu, rozebrátá nalili na Petriho misky a nechali zatuhnout. Připravenou suspenzi mikroorganismů jsme napipetovali na ztuhlou živnou půdu. Napuštěné nosiče jsme uložili na živnou půdu a vše kultivovali v termostatu. Aktivitu biocidů, tj. růst bakterií lze vizuálně hodnotit nejvýše do 2 dnů od začátku kultivace a plísně v rozmezí cca 5 až 7 dnů. Výsledky hodnocení aktivity biocidů jsou uvedeny v tab. /05/. Fotografie růstu plísní po 7 dnech kultivace jsou na obr. /16/ a růstu bakterií po 2 dnech na obr. /18/. U každého biocidu je vždy jako první fotografie kontroly, tj. nosič



18 | Růst bakterií na otiscích
zkušebních těles v živném
médiu

napuštěný injektážním roztokem, ale bez biocidu. U nosičů s biocidem je důležité srovnání růstu s kontrolou a vzdálenost, do jaké dokáží mikroorganismy k nosiči dorůst, přičemž může vzniknout sterilní zóna, která je úplně bez mikroorganismů nebo difúzní zóna, ve které je růst výrazně potlačen. V obou případech signalizují zóny silnou nebo slabou účinnost biocidu. Pokud je biocid zcela neaktivní, přerostou mikroorganismy přes nosič. V případě kultivace napuštěných nosičů na živné půdě (podle Czapka-Doxe) určené převážně pro plísň se ukázalo, že převládajícími mikroorganismy jsou

bakterie, které se dokázaly prosadit i na této půdě (na obr. /16/ bílé souvislé plochy po obvodu misek).

Jak je z tabulky /05/ patrné, všechny biocidy jsou aktivní při smíchání s roztokem AA, ale i pokud není roztok smíchán s žádným biocidem, prokázal alespoň částečnou aktivitu proti bakteriím. Poměrně zajímavé je hodnocení biocidů smíchaných s roztokem CC, kdy se ukázalo, že všechny biocidy jsou aktivní proti bakteriím, ale pouze biocid ACTICIDE SR5298/1 je současně aktivní i proti plísním. U biocidů smíchaných s roztokem BB jsou výsledky různé, pravděpodobně

zde sehrálo roli vysoké pH roztoku. Biocidy ACTICIDE FI(N) a SR5298/1 jsou určeny do prostředí s pH nejvýše 9 a u obou se ukázala nižší účinnost. Při hodnocení biocidů byl patrný výběrový efekt pro řadu bakteriálních kmenů, *Pseudomonas* sp. je poměrně odolný a v mnoha případech přirůstá až k nosiči, kdežto zástupci rodu *Bacillus* vytvářejí spíše sterilní zónu. Při volbě vhodného biocidu je důležitá především správná koncentrace. Je nutné si uvědomit, že nízké koncentrace mohou mít u některých biocidů zcela opačný efekt a růst mikroorganismů podpořit. Naopak vysoké

koncentrace jsou nebezpečné z hlediska životního prostředí, protože zbytky biocidů se dříve či později dostanou zpět do přírodního koloběhu. Ačkoliv je životnost staveb relativně dlouhá, jsou toxické látky fixovány v materiálech (zdivo, omítky apod.). Z přírodního hlediska dochází u většiny staveb k rekonstrukcím, sanacím nebo jejich odstranění, kdy veškerý odpad končí na skládkách ze kterých je již pouze krok k transportu toxických látek do půdy a spodní vody.

ZÁVĚR

Na základě podrobného studia uvedené problematiky, provedených experimentů a získaných výsledků lze vyvodit následující závěry:

- Oproti obecně rozšířenému názoru o pozitivním vlivu injektážních roztoků na pevnost v tlaku zdicích materiálů výsledky ukázaly, že ve skutečnosti tomu tak být nemusí. Výsledky zkoušek pevnosti jsou v rozporu s obecným názorem, že injektážní roztoky zvyšují pevnost zdiva v tlaku. Tvrzení o zvyšování pevnosti zdiva injektážními roztoky je navíc

velmi sporné z důvodu narušení zdiva vrtanými otvory nutnými pro injektáž. Vliv injektáže (celé technologie vč. vrtání otvorů) na pevnost zdiva si zaslouží samostatný výzkum.

- Některé roztoky proniknou ve vlhkém materiálu do vzdálenosti podstatně menší, než je polovina rozteče otvorů pro injektáž doporučená výrobcem roztoku.
- Ideální je injektážní roztok, který alespoň částečně reaguje s vodou v pórech.
- Na základě výpočtů lze konstatovat, že injektážní roztoky aplikované tlakově fungují obdobně jako roztoky aplikované beztlakově s tím rozdílem, že se roztoky rozvádí ve zdivu velkými póry. Schopnost pronikat do nejmenších pórů musí být vlastnost roztoků, tato schopnost není dána působením vnějšího tlaku. Pokud jsou ve zdivu vodou zcela zaplněny póry, které se největší měrou podílejí na kapilárním transportu vlhkosti, nelze vodu z kapiláry injektážním roztokem vytlačit, protože by muselo být použito tlaků, které jsou za hranicí pevnosti běžných stavebních materiálů.

- Z důvodu nehomogenity zdiva nelze u injektážních roztoků nikdy dosáhnout 100% účinnosti, i pokud roztoky fungují na principu utěsnění pórů. Proto injektážní metody nepatří mezi metody zabraňující, ale pouze omezující kapilární transport vlhkosti. Nejnižší propustnost vlhkosti, které bylo při experimentech dosaženo, byla přibližně 130 [g / (m² × den)]. Pro srovnání, u povlakových hydroizolací, které se používají při podřezávání zdiva, se tato hodnota pohybuje pro asfaltové (oxidované nebo modifikované) pásy o tloušťce 4,5 mm v rozmezí (0,08 – 0,12) [g / (m² × den)] a u plastové polyetylenové fólie o tloušťce 1,5 mm okolo hodnoty 0,3 [g / (m² × den)]. I pokud by se časem propustnost injektážních roztoků snížila 10×, stále bude tato hodnota 50× až 100× větší než u povlakových hydroizolací. Z uvedeného plyne, že se vyplatí používat injektážní metody pouze tam, kde je menší transport vlhkosti ze zeminy do konstrukce nebo pokud je použití jiné metody omezené nebo nemožné.
- Injektážní roztoky jsou živnou půdou pro mikroorganismy, které snižují jejich účinnost.

Tabulka 05 – Hodnocení aktivity vybraných biocidů vůči plísním a bakteriím

Biocid	Koncentrace[%]	Injektážní roztok		
		AA	BB	CC
PLÍSNĚ				
Kontrola	–	neúčinný	neúčinný	neúčinný
obr.		AA-kontrola	BB-kontrola	CC-kontrola
ACTICIDE SR1056	0,3	silně účinný	neúčinný	neúčinný
obr.		AA-AC SR1056	BB-AC SR1056	CC-AC SR1056
ACTICIDE FI(N)	0,4	silně účinný	neúčinný	neúčinný
obr.		AA-AC FI(N)	BB-AC FI(N)	CC-AC FI(N)
ACTICIDE SR5298/1	1,5	silně účinný	nehodnoceno	silně účinný
obr.		AA-AC SR5298/1	BB-AC SR5298/1	CC-AC SR5298/1
BAKTÉRIE				
Kontrola	–	slabě účinný	neúčinný	slabě účinný
obr.		AA-kontrola	BB-kontrola	CC-kontrola
ACTICIDE SR1056	0,3	silně účinný	silně účinný	silně účinný
obr.		AA-AC SR1056	BB-AC SR1056	CC-AC SR1056
ACTICIDE FI(N)	0,4	silně účinný	neúčinný	slabě účinný
obr.		AA-AC FI(N)	BB-AC FI(N)	CC-AC FI(N)
ACTICIDE SR5298/1	1,5	silně účinný	slabě účinný	silně účinný
obr.		AA-AC SR5298/1	BB-AC SR5298/1	CC-AC SR5298/1

Experimentálně bylo prokázáno, že lze roztoky chránit použitím biocidů. Tuto variantu je třeba dále zkoumat a ověřit v praxi. I pokud bude použit vhodný biocidní prostředek, nelze předpokládat, že injektážní roztoky mají nekonečnou životnost. Použitím vhodného biocidu dojde pouze k prodloužení životnosti. Vždy, dříve nebo později, bude nutný opětovný zásah.

- Z hlediska ekologie lze odbouratelnost injektážních roztoků biologickými činiteli považovat za klad, pouze by k tomu nemělo docházet prostřednictvím nejběžnějších mikroorganismů, ale spíše specifických kmenů mikroorganismů.

<VIKTOR ZWIENER>

LITERATURA

Odborné publikace

- [1] Lebeda J.: Sanace zvlhlého zdiva budov. Nakladatelství technické literatury n.p., Praha 1988
- [2] Wasserbauer R.: Biologické znehodnocení staveb. Tiskárna Petr Pošík, Praha 2000
- [3] Pel L.: Moisture transport in porous building materials. Ph.D. thesis, Eindhoven University of Technology, Netherlands 1995
zdroj: <http://www.phys.tue.nl/nfcmr/PhD-Pel-1995.pdf>
- [4] Arendt C., Seele J.: Feuchte und Salze in Gebäuden. Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen 2000
- [5] Lunerová K.: Biotechnologie – 6 – Mikroorganismy jako producenti látek.
zdroj: <http://faf.vfu.cz/biotech>
- [6] Wasserbauer R., Vančurová D., Zapletalová M.: Osidlování pískovcového kamene mikroorganismy v podmínkách cyklické teploty a stálé vlhkosti. 22. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník str. 282-285, WTAcz, Praha 2000
- [7] Warscheid T., Brahms J.: Biodeterioration of stone: a review. International Biodeterioration & Biodegradation, No. 46, p. 343-368, 2000
- [8] Hecht C., Dreyer J.: První poznatky ze zkoušek účinnosti injektážních látek uvedených ve směrnici WTA. 26. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník str. 465-467, WTAcz, Praha 2004
- [9] ČSN EN ISO 846:1998 (64 0780] Plasty – Hodnocení působení mikroorganismů
- [10] ČSN EN 1925:2000 (72 1141) Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení součinitele nasákavosti vodou působením vzlínivosti
- [11] ČSN EN 13755:2002 (72 1149) Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení nasákavosti vodou za atmosférického tlaku
- [12] ČSN 72 1155:1984 (72 1155) Stanovení nasákavosti a zdánlivé pórovitosti přírodního stavebního kamene (platnost ukončena k 2002/12)
- [13] ČSN P 73 0610:2000 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení
- [14] I. návrh ČSN 73 Hydroizolace pozemních staveb – Obvodový plášť. SURPMO, Praha 1982
- [15] Směrnice WTA 4-4-96 Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. WTAcz, Praha 1998
- [16] Entwurf: Merkblatt E 4-4-03/ D Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit. WTA Publications, München 2003
- [17] Zwiener V.: Sanace zděných konstrukcí z hlediska vzlínající vlhkosti se zaměřením na použití infuzní clony na bázi přírodních materiálů. Diplomová práce, ČVUT – Fakulta stavební, Praha 2001
- [18] Wasserbauer, R., Zwiener, V.: Využití impedanční metody pro rychlé stanovení aktivity technických biocidů pro stavebnictví. Tepelná ochrana budov, 2002, ročník. 5, č. 3, str. 25-26.