VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

VÝVOJ A VÝZKUM PRVKŮ KERAMICKÝCH ZDÍCÍCH SYSTÉMŮ PRO OBLASTI SE ZVÝŠENÝM RIZIKEM ZÁPLAV
DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ELEMENTS OF CERAMIC MASONRY SYSTEMS FOR AREAS WITH INCREASED RISK OF FLOODS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
PHD THESIS

AUTOR PRÁCE Ing. Vítězslav Novák
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2021

KLÍČOVÁ SLOVA
Pálený zdící prvek, nasákavost, hydrofobizace, zdící systém, záplavy

KEYWORDS
Fired masonry element, absorption, hydrophobization, masonry system, floods

NÁZEV PRACOVIŠTĚ
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců

A Úvod ... 5
B Cíl práce ... 6
C Experimentální část ... 7
1. Metodika prováděných prací ... 7
1.1 Etapa I. – Vývoj technologie hydrofobizační úpravy pro pálené zdicí prvky ... 7
1.2 Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdících prvků ... 7
1.3 Etapa III. – Studium změny klíčových vlastností zdicích prvků po aplikaci hydrofobizační úpravy ... 7
1.4 Etapa IV. – Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí ... 7
1.5 Etapa V. – Návrh metodiky zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav ... 7
1.6 Etapa VI. – Návrh metodiky pojení zdících prvků a její ověření ... 8
1.7 Etapa VII. – Poloprovozní ověření navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav ... 8
2. Přehled použitých hydrofobizačních materiálů ... 8
3. Vyhodnocení jednotlivých etap ... 10
3.1 Etapa I. – Vývoj technologie hydrofobizační úpravy pro pálené zdicí prvky ... 10
3.2 Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdících prvků ... 14
3.4 Etapa IV. - Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí ... 16
3.5 Etapa V. – Návrh metodiky zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav ... 17
3.6 Etapa VI. – Návrh metodiky pojení zdících prvků a její ověření ... 18
3.7 Etapa VII. – Poloprovozní ověření navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav ... 19
E Souhrn a diskuse výsledků ... 22
4. Ekonomický zhodnocení použití navrženého zdícího systému ... 25
5. Přínos pro vědní obor ... 25
6. Přínos pro praxi ... 26
F Závěr ... 26
G Použití literatura ... 28
H Přehled publikační činnosti v souvislosti s disertační prací ... 29
I Curriculum vitae ... 30
J Abstrakt ... 31

A Úvod

Pálené zdící prvky se využívají pro nosné i nenosné konstrukce. V současnosti jsou pálené zdící prvky nejčastěji vyráběny v podobě zdících tvarovek, se skladebnou výškou 250 mm, šířkou a délkou v závislosti na výsledné hmotnosti páleného zdícího prvku. Aby bylo dosaženo požadovaných tepelně izolačních vlastností jsou pálené zdící prvky charakteristické vnitřním uspořádáním, které je tvořeno děrováním až ze 60 %. Pojení jednotlivých pálených zdících prvků je realizováno pouze v ložných spárách za pomoci cementových směsí nebo nízkoexpanzních PUR pěn.

U konstrukce z pálených zdících prvků se předpokládá minimální technická životnost 80 let. Jedná se tedy o dlouhodobé konstrukční systémy, které mají velmi často zásadní vliv na celkovou životnost stavby. Dobu životnosti stavebních konstrukcí zkracuje celá řada faktorů. Faktory zkracující životnost stavby se mohou vyskytnout již ve fázi plánování a přípravy stavby i ve fázi výstavby. Nejdelší časový úsek, ve kterém mohou působit degradující faktory na konstrukce z pálených zdících prvků je fáze samotného užívání stavby. Již samotným užíváním stavby velmi často dochází k procesům, které přispívají ke zrychlení degradace stavby. Mimo tyto běžné děje se v průběhu užívání mohou vyskytnou nepředvídané události, jako například živelné pohromy, které mohou mít velmi významný dopad na celkovou životnost stavby. Jedním z nejběžnějších faktorů, který působí degradačně na stavbu od doby výstavby až do konce její životnosti je zatížení vlhkostí. [1,2,3,4,5,6,7,8].

Vlhkost působí na stavební konstrukce degradačními účinky především ve své kapalné a pevné fázi. V případě pevné fáze je největším rizikem změna objemu spojená s fázovou přeměnou vody, kdy při přeměně vody na led dochází k nárůstu objemu. Vzhledem k značné nasákavosti pálených zdících prvků mohou mít tyto expanzní tlaky za následek významné degradační účinky na stavební konstrukce. Působení vlhkosti v kapalné formě může mít za následek také významné mechanické namáhání na konstrukci, jedná se především o spodní tlakovou vodu či živelné pohromy v podobě povodní a záplav. V letech 1950 – 1999 vzrostl počet přírodních katastrof na zemi asi čtyřikrát, kdy povodně z toho představují asi 25 %. V České republice jsou povodně dominantním typem přírodních katastrof. Nárůst živelných pohrom se velmi často dává do souvislosti s procesem globálního oteplování [9].

V případě povodní je možné se proti jejich účinkům chránit několik základními způsoby. Jedná se o úpravy vodních toků. To je primárně na správě jednotlivých toků. Dále je možné budovat stavby na vodních tocích plnící funkce protipovodňové ochrany. Tyto stavby mohou být budovány také správci územních celků za spolupráce správce vodních toků. V případě záplav je možné cíleně stavět budovy tak, aby použitím vhodných konstrukcí a konstrukčních prvků bylo možné minimalizovat škody způsobené záplavami. V případě pálených zdích prvků, které se zpravidla vyznačují značnou nasákavostí, je ochrana před účinky záplav poměrně problematická [10,11]. Dojde-li k zaplavení objektu ze strany interiéru nebo exteriéru, případně obojí, je následný proces vysychání na vysoušení velmi zdlouhavý, nákladný a pracný. Jako efektivní opatření by v tomto případě mohla fungovat hydrofobizace pálených zdících prvků [12,13,14,15,16,17,18,19], která by mohla cíleně snížit nasákavost zdících prvků, případně zmírnit vzlíná vlhkosti v konstrukci [20].

B Cíl práce

Cílem této práce je vývoj zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav. Jedná se o zdící systém, který je určen pro specifické použití a zároveň by měl být plně kompatibilní se současnými používanými zdícími systémy. Bude se jednat o komplexní zdící systém, který je tvořen pálenými zdícími prvky, povrchovou úpravou a vhodným způsobem pojení jednotlivých zdících prvků. Tento systém nemá za cíl nahrazovat dosud používané hydroizolační postupy, naopak s nimi bude kompatibilní, bude je vhodně doplňovat a bude možné jejich paralelní použití.

Hlavní funkcí navrženého zdícího systému bude snížení míry degradace vlivem působení zvýšené vlhkosti v kapalné formě. Jednotlivé komponenty zdícího systému by měly vykazovat především menší absorpci vody a zároveň by měl být výrazně omezen nebo úplně eliminován kapilární transport. Díky těmto vlastnostem by mělo být zajištěno snížení negativního vlivu záplav na konstrukci. Snížení absorpce vody bude zajištěno použitím vhodných hydrofobizačních přípravků, které nebudou mít podstatný negativní vliv na jiné vlastnosti, jak pálených zdících prvků, tak povrchové úpravy. Cíl práce je spjat s řešením projektu TA04020920 .

Celá praktická část práce je rozdělena do sedmi základních částí. Cílem první části je ověření efektivity hydrofobizace zdícího prvku, tedy snížení nasákavosti zdícího prvku kapilárním systémem. Cílem druhé a třetí části je studium vlastností hydrofobizovaných zdících prvků. Čtvrtá část je zaměřena na možnosti využití hydrofobizace na úpravu kapilárních vlastností maltových směsí. Pátá a šestá část práce má za cíl navržení zdícího systému, včetně návrhu možnosti pojení pálených zdících prvků v navrhované konstrukci, určené do oblasti se zvýšeným rizikem záplav. Cílem je zmapování možnosti pojení nejen v ložných spárách, ale také ve styčných spárách zdiva, tak aby byla zajištěna, pokud možno co nejvyšší vodonepropustnost celé konstrukce při zatížení stojatou vodou. Poslední část práce má za cíl praktické ověření formou poloprovozní zkoušky navrženého zdícího.

C Experimentální část

1. Metodika prováděných prací

Jednotlivé práce jsou členěny do sedmi etap disertační práce:

1.1 Etapa I. – Vývoj technologie hydrofobizační úpravy pro pálené zdicí prvky

První etapa disertační práce se věnuje hydrofobizaci pálených zdících prvků. Účinnost hydrofobizačních přípravků byla ověřena prostřednictvím stanovení kapilární absorpce v čase. Pro efektivní vyhodnocení účinnosti prostřednictvím kapilární absorpce byly stanoveny okrajové podmínky. V rámci hodnocení účinnosti hydrofobizačních přípravků bylo využito také stanovení povrchové energie prostřednictvím měření úhlů smáčivosti hydrofobizovaných střepů. Hodnoty povrchové energie byly komparovány s hodnotami kapilárních absorpcí a stanovena byla vzájemná závislost. V první etapě byl také sledován vliv použití pigmentu a stáří hydrofobizačního roztoku na kapilární absorpci.

1.2 Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdících prvků

Druhá etapa byla zaměřena na sledování trvanlivosti vybraných hydrofobizačních úprav. Trvanlivost byla sledována prostřednictví provedení experimentů zrychleného stárnutí a prostřednictvím sledování trvanlivosti hydrofobizačních úprav v reálném čase. V této etapě byla stanovena také hloubka hydrofobizační ochrany a vliv působení UV záření na její změnu.

1.3 Etapa III. – Studium změny klíčových vlastností zdicích prvků po aplikaci hydrofobizační úpravy

V této části práce byly sledovány změny vlastností střepu a kapilárních vlastností pálených zdících prvků v souvislosti s hydrofobizační úpravou. Byl hodnocen také vliv použití hydrofobizační úpravy na životní prostředí.

1.4 Etapa IV. – Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí

Čtvrtá etapa se věnovala hydrofobizaci maltových směsí zvolených do zdícího systému. Jednalo se o maltové směsi určené jako povrchová úprava zdícího systému, tedy jádrové a finální omítkové směsi. Na hydrofobizovaných maltových směsích byla stanovena především kapilární absorpce a výška vzlinutí, tedy parametry, podle kterých byla hydrofobizace hodnocena. Dále byl stanoven vliv hydrofobizace na další vlastnosti maltových směsí.

1.5 Etapa V. – Návrh metodiky zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav

S využitím výsledků etap, ve kterých byly studovány možnosti využití hydrofobizace pro zvýšení odolnosti zdících prvků a maltových omítkových směsí při působení zvýšené vlhkosti, byl navržen v této etapě komplexní zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav .

1.6 Etapa VI. – Návrh metodiky pojení zdících prvků a její ověření

Pro pojení zdících prvků v navrhovaném zdícím systému byl navržen také systém pojení pálených zdících prvků v oblasti styčných spár. Těsnost spoje byla ověřena pomocí navržené zkoušky Stanovení kvality spoje zdících tvarovek.

1.7 Etapa VII. – Poloprovozní ověření navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav

Poslední etapou disertační práce bylo ověření spolufungování jednotlivých částí navrženého zdícího systému (hydrofobizované pálené zdící prvky, hydrofobizované maltové směsi pro povrchové úpravy a navržený způsob pojení zdícího systému). Zdící systém byl ověřen prostřednictvím specifického zkušebního zařízení, ve kterém byly provedeny zátopové zkoušky. Hodnocení zdícího systému bylo provedeno dle stanovení vlhkostních profilů konstrukcí.

2. Přehled použitých hydrofobizačních materiálů

Pro výběr hydrofobizačních přípravků testovaných v rámci této disertační práce a pro hydrofobizaci pálených zdících prvků byly vytipovány výrobci stavební chemie:

- Evonik Industries AG
- IMESTA, spol. s r.o.
- Sika AG
- Elkem ASA
- ANKER technology s.r.o.
- Wacker Chemie AG

Tab. 1. Přehled hydrofobizačních přípravků použitých pro hydrofobizaci páleného zdícího prvku PTH 30 Profi

Označení	Hydrofobizér/báze	Báze
AS	Alkoxy silan pro minerální podklady	Evonik Industries AG
SM	Silikonová mikroemulze pro minerální podklady	
APSX2	Alkoxy polysiloxan pro minerální podklady	
ASSXM	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro vlhké zdivo	IMESTA, spol. s r.o.
ASSXM2	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady	Sika AG
APSX3	Alkoxy polysiloxan do nátěrů	Elkem ASA
APSX4	Alkoxy polysiloxany pro minerální podklady	
NSiO	Nano nástřik pro minerální podklady	ANKER technology s.r.o.

Tab. 1. (Pokračování)

Označení	Hydrofobizér/báze	Báze
ASSXM3	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady	Wacker Chemie AG
ASSXM4	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze odolný proti zásadám	
ASSXM5	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady	
MSLD3	Methylsilikonát draselný pro minerální podklady	

Jednotlivé zdící prvky byly hydrofobizovány vybranými druhy hydrofobizačních přípravků ve zvolených koncentracích. Aplikace probíhala máčením nebo nástřikem přípravku.

Tab. 2. Přehled testovaných hydrofobizačních přípravků na pálené zdící prvky

Hydrofobizér (Označení)	Doporučené ředění	Testované ředění	Aplikace	Poznámka
AS	1:20	1:20, 1:30, 1:50	Máčení 10 s	
SM	1:1,5-1:20	1:1,5, 1:10, 1:20, 1:30, 1:50, 1:60	Máčení 10 s (1:30 5 i 10 s)	Testováno také v kombinaci s pigmentem
APSX2	1:1,25-1:20	1:1,25, 1:5, 1:20, 1:30, 1:50	Máčení 10 s	
ASSXM	1:20-1:30	1:20, 1:30, 1:40, 1:50, 1:60	Máčení 10 s	Testováno také v kombinaci s pigmentem
ASSXM2	neředěné	neředěné	Máčení 10 s	
APSX3	1:20-1:30	1:20, 1:30	Máčení 10 s	
APSX4	1:6-1:10	1:6, 1:10	Máčení 10 s	
NSiO	neředěné	neředěné	Nástřik	
ASSXM3	1:5-1-10	1:5, 1:10	Máčení 10 s	
ASSXM4	1:5-1:10	1:5, 1:10	Máčení 10 s	
ASSXM5	1:10-1:15	1:10, 1:15	Máčení 10 s	
MSLD3	1:10-1:20	1:10, 1:20	Máčení 10 s	

a) b) c)

Obr. 1 Aplikace hydrofobizačního přípravku máčením; a) zdící prvek před hydrofobizací; b) zdící prvek v hydrofobizačním roztoku; c) zdící prvek po hydrofobizaci

Stejně tak jako v případě páleného zdícího prvku byl i pro zvolenou povrchovou úpravu konzultován nejvhodnější hydrofobizační přípravek. Jednalo se o hydrofobizační přípravek, který by byl dávkován do maltové směsi za účelem snížení kapilární absorpce. Jako nejvhodnější byl zvolen přípravek na bázi silikonové emulze od výrobce Imesta s.r.o.

Tab. 3. Popis zvoleného hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze pro hydrofobizaci maltových směsí povrchové úpravy

Výrobce	Hydrofobizér/báze	Informace uváděné výrobcem	Obsah sušiny	Doporučené dávkování
IMESTA, spol. s r.o.	Silikonová emulze	Zvyšuje konečný objem a množství pórů	50 %	0,5-0,8 % objemu hotové malty

3. Vyhodnocení jednotlivých etap

3.1 Etapa I. – Vývoj technologie hydrofobizační úpravy pro pálené zdicí prvky

3.1.1 Účinnost zvolených hydrofobizačních přípravků

Pro hodnocení účinnosti hydrofobizace bylo použito sledování kapilární absorpce v kombinaci s měřením úhlu smáčivosti a stanovením povrchové energie [21]. Hodnoty kapilární absorpce v jednotlivých časech a povrchové energie byly porovnávány s hodnotami referenčního neupraveného zdícího prvku.

Sorpční vlhkost (pro běžný stav zabudování, tedy pro teplotu + 23 °C a relativní vlhkosti 80%) tohoto typu pálených zdících prvků uvádí výrobce v rozmezí 0,75-1 % hm. Při stanovené průměrné hmotnosti zdícího prvku PTH 30 Profi 14 400 g vychází tedy hmotností přírůstek (z vysušeného stavu) vlivem sorpční vlhkosti 0,75 % na 108 g, v případě sorpční vlhkosti 1 % na 142 g. Nicméně stanovení kapilární absorpce bylo provedeno na tvarovkách, u kterých se počítá, že bylo dosaženo sorpční vlhkosti před započetím měření.

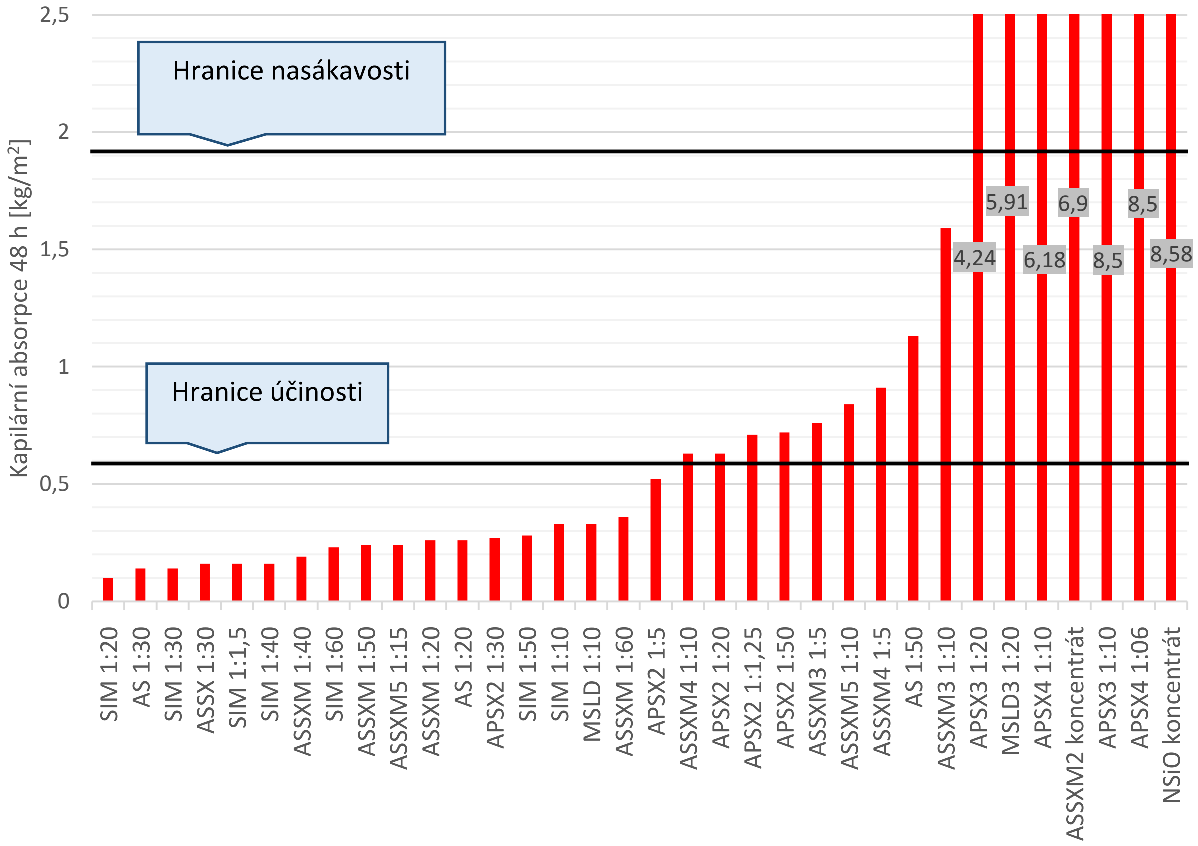
V případě zdícího prvku je nasákavost za 24 h 25,4 %, tedy hmotností přírůstek způsobený absorbovanou vodou 3 658 g. Hodnoty kapilární absorpce v jednotlivých časech jsou stanoveny jako hmotností přírůstky vztažené na zatíženou část prvku vodou, do výšky 50 mm, tomu odpovídající plochou 0,4388 m^2, kde pak kapilární absorpce vychází 8,34 kg/m2. Při delším vystavení zvýšené vlhkosti, celkovém nasycení prvku vodou, byl zjištěný hmotností přírůstek 4 247 g. Při tomto hmotnostním přírůstku by hodnota kapilární absorpce odpovídala hodnotě 9,68 kg/m^2. Nicméně v případě použitých pálených zdících prvků je možné předpokládat zatažení střepu, tedy jev kdy dochází v důsledků zvýšené vlhkosti ke vzniku $Ca(OH)_2$ z volného CaO obsaženého ve střepu. Dle literatury je tento jev provázen přírůstkem hmotnosti 1,43 g na 1 000 g střepu před hydratací CaO [22,23]. Tedy hodnota kapilární absorpce v důsledku nárůstu hmotnosti vlivem absorbované vody je 9,63 kg/m^2.

V případě, kdy by došlo použitím hydrofobizace ke snížení množství vyvzlínané vody, bude absorbovaná voda obsažena v části zdícího prvku o výšce 50 mm (předpokládá se, že množství vyvzlínané vody nad nehydrofobizovanou oblast je odpařeno, tedy není vizuálně pozorovatelné vzlínání vlhkosti). V tomto případě by pak byla kapilární absorpce, při plném nasycení této části, rovna hodnotě 1,93 kg/m^2. Pokud stanovíme, že hydrofobizační ochranu je možné vyhodnotit jako

účinnou, pokud dojde ke snížení nasákavosti o 70 %, je možné označit hydrofobizační přípravek za účinný, pokud bude hodnota kapilární absorpce pod 0,58 kg/m^2. Z uvedené úvahy byly stanoveny následující okrajové podmínky pro hodnocení účinnosti hydrofobizačního prostředku (při vystavení zdícího prvku účinkům kapalné vody do výšky 50 mm):

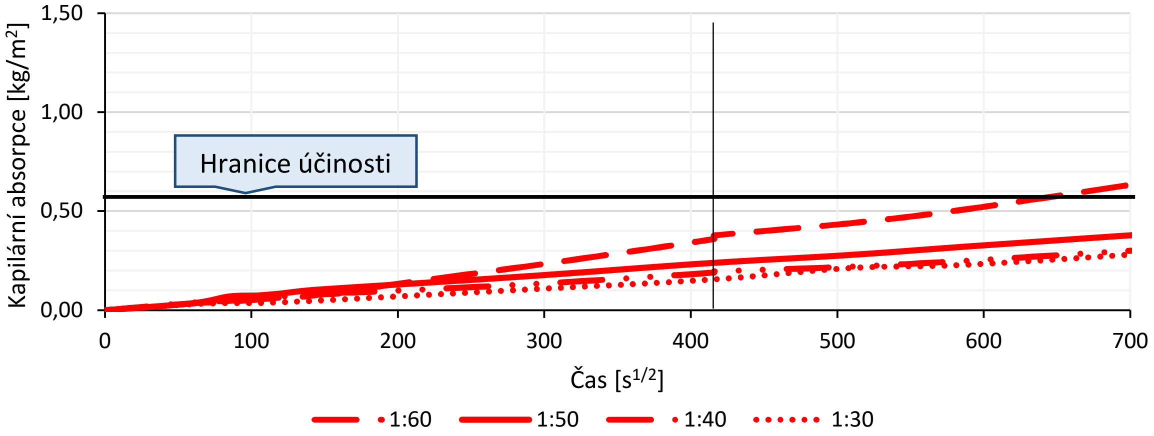
- Pokud není vizuálně pozorováno vzlínání a kapilární absorpce je pod hodnotu **0,58 kg/m^2**, došlo ke snížení množství vyvzlínané vody (vyvzlínaná voda je odpařována z povrchu tvarovky) a hydrofobizační ochranu je možné označit za účinnou.
- Pokud není vizuálně pozorováno vzlínání a kapilární absorpce je **1,93 kg/m^2**, došlo ke snížení vyvzlínané vody (vyvzlínaná voda je odpařována z povrchu tvarovky) a plnému nasycení části prvku vystaveného účinkům kapalné vody.
- Pokud se kapilární absorpce blíží hodnotě **9,63 kg/m^2** došlo k plnému nasycení zdícího prvku.

Pro vzájemné porovnání účinnosti hydrofobizačních přípravků byla zvolena kapilární absorpce v čase 48 h (416 s^{½}). Tyto hodnoty jsou zvýrazněny, jak v jednotlivých tabulkách kapilárních absorpcí, tak v grafech kapilárních absorpcí v závislosti na čase pro jednotlivé přípravky ve zvolených koncentracích.

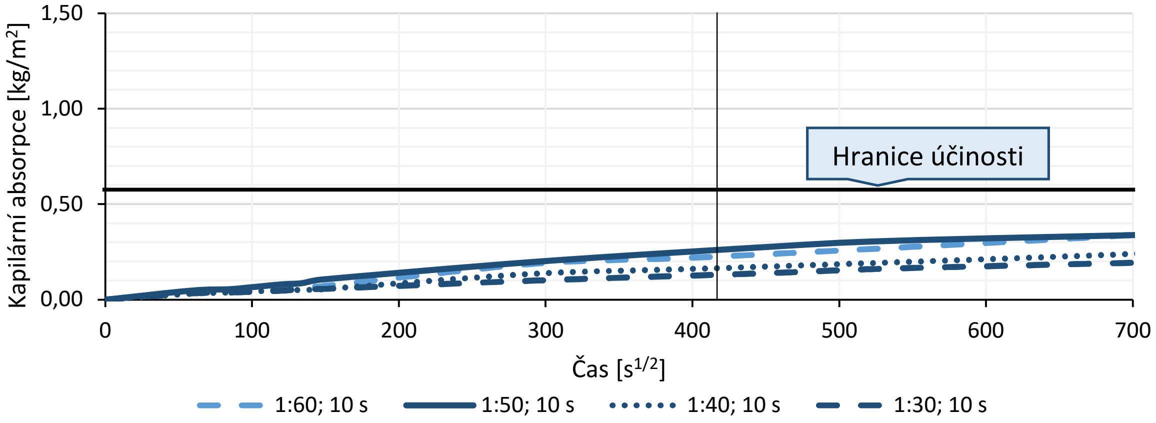


Graf 1 Porovnání kapilární nasákavosti v čase 48 h při použití hydrofobizačních přípravků
Hranici účinnosti – nasákavost namočené části prvku se sníží o 70 %
Hranice nasákavosti – namočená část prvku je plně nasycena

Jako nejvhodnější byly vybrány hydrofobizační přípravky Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) a Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM), kdy s ohledem na ekonomické hledisko byla zvolena nejnižší koncentrace poskytující snížení nasákavosti na hranici sorpční vlhkosti. V dalších pracích bylo pokračováno s přípravkem **Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) v koncentraci 1:40** aplikovaného máčením po dobu 10 s a s přípravkem **Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) v koncentraci 1:40** aplikovaného máčením po dobu 10 s.



Graf 2 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v koncentracích 1:30-1:60

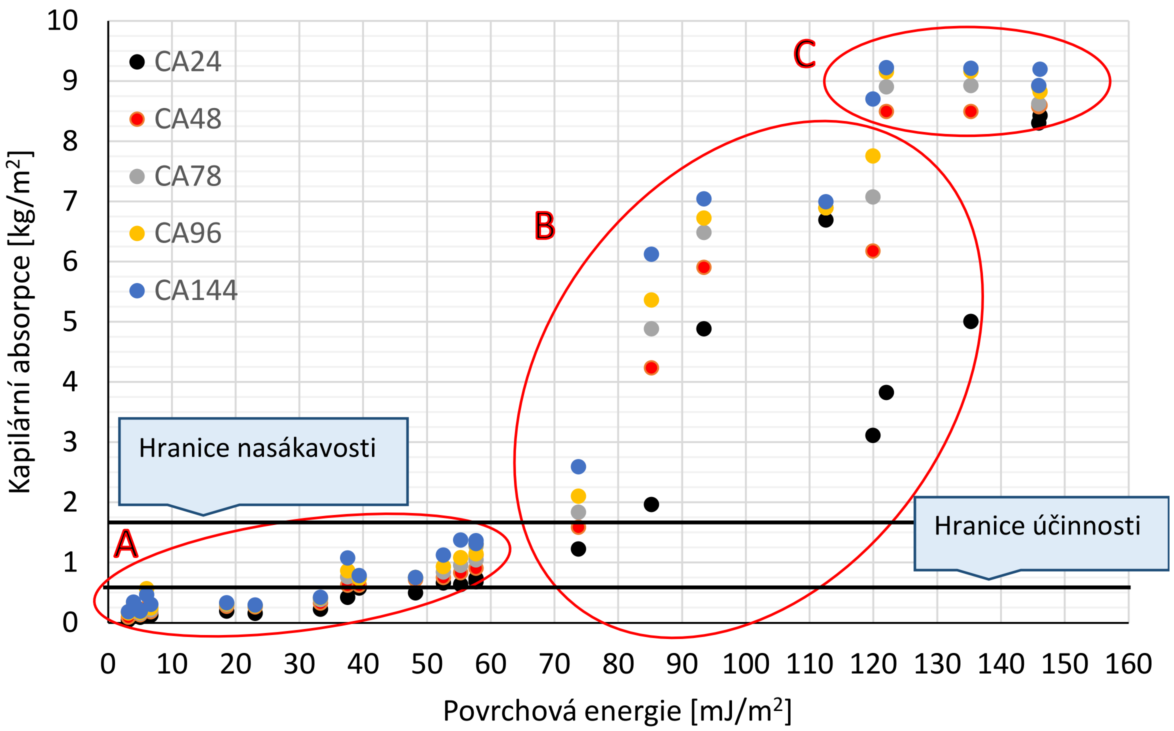


Graf 3 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků SIM v koncentracích 1:20-1:60

3.1.2 Komparace povrchové energie a kapilární absorpce

Na vzorcích střepů hydrofobizovaných přípravky v daných koncentracích, u nichž byla sledována hodnota kapilární absorpce, bylo provedeno stanovení povrchové energie. Stanovení úhlu smáčivosti bylo provedeno na referenčním vzorku z měření 50 hodnot kontaktního úhlu pro tři různé kapaliny:

- Voda – H_2O
- Glycerol – $C_3H_8O_3$
- Ethylenglykol - $C_2H_6O_2$

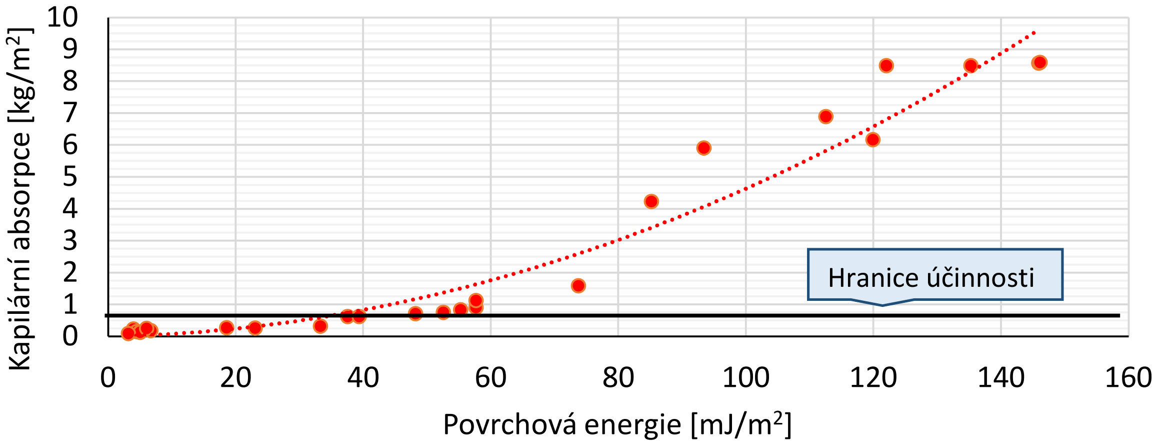


Graf 4 Závislost kapilární absorpce v jednotlivých časech na povrchové energii
Hranici účinnosti – nasákavost namočené části prvku se sníží o 70 %
Hranici nasákavosti – namočená část tvarovky je plně nasycená vodou

Mezi hodnotami povrchové energie a kapilárních absorpcí je množné pozorovat závislost. Se vzrůstající hodnotou povrchové energie vzrůstá kapilární absorpce zdícího prvku. Z Grafu 4 je patrné, že v případě, kdy je hodnota povrchové energie rovna nebo nižší než 35 mJ/m^2, lze hydrofobizační přípravek s vysokou jistotou označit za účinný, tedy kapilární absorpce bude i při dlouhodobém zatížení zvýšenou vlhkostí v kapalné formě pod hranicí 0,58 kg/m^2.

Celý graf je možné rozdělit do tří základních oblastí:

- Oblast A – jedná se o oblast s povrchovou energií do 60 mJ/m^2 a tomu odpovídající hodnotě kapilární absorpce v jednotlivých časech do 1,5 kg/m^2. V této oblasti není značný rozptyl mezi kapilárními absorpcemi v závislosti na čase. V této oblasti lze hydrofobizéry označit za účinné nebo účinné z velké části. Nasákavost je v tomto případě tak nízká, že se v čase mění pouze minimálně.
- Oblast B – jedná se o oblast s povrchovou energií cca 60 až 120 mJ/m^2 a tomu odpovídající hodnotě kapilární absorpce v jednotlivých časech cca 1,5 – 8,0 kg/m^2. V této oblasti je patrný velký rozdíl mezi nasákavostí u jednotlivých hydrofobizérů v čase. Je tedy patrné, že jednotlivé přípravky částečně snižují nasákavost prvků a prvky nasákavají vodu pomaleji.
- Oblast C – jedná se o oblast s povrchovou energií nad 120 mJ/m^2 a tomu odpovídající hodnotě kapilární absorpce v jednotlivých časech nad 8,0 kg/m^2. V této oblasti jsou jednotlivé hydrofobizéry prakticky nefunkční, prvky nasáknou vodu velmi rychle a jsou velmi brzo nasyceny a nasákavost (kapilární absorpce) se pak již v čase významně nezvyšuje.
- Při stanovení hodnot povrchové energie nad 120 mJ/m^2 se již nezvyšuje hodnota kapilární absorpce.



Graf 5 Závislost kapilární absorpce v čase 48 h na povrchové energii, Hranici účinnosti – nasákavost namočené části prvku se sníží o 70 %

Nejvyšší korelace mezi hodnotami povrchové energie a kapilární absorpce byla zjištěna pro kapilární absorpci v čase 48 h. Jedná se o korelaci 0,95 pro polynomickou závislost druhého stupně s hodnotou spolehlivosti R = 0,974.

Měřením se podařilo prokázat a kvantifikovat změnu povrchových vlastností při aplikaci hydrofobizačního přípravku na keramický střep. Ze získaných dat byla stanovena závislost mezi kapilární nasákavostí a povrchovou energií.

$$y = 0{,}0004x^2+0{,}0038x$$

Celkově se potvrdilo, že pro rozřazení vhodnosti hydrofobizačního přípravku je možné využít stanovení povrchové energie. Stanovení povrchové energie přináší oproti sledování kapilární absorpce, či nasákavosti významnou časovou úsporu s velmi dobrou přesností vyhodnocení.

3.2 Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdících prvků

Zvolené hydrofobizační přípravky Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) a Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) jsou mikroemulze na bázi alkoxy silan-siloxanů a silikonů. U těchto druhů povrchový úprav lze předpokládat stárnutí především vlivem působení UV záření. UV záření by na hydrofobizační úpravu působilo v případě, kdy by nebyla provedena povrchová úprava zdiva. Dále byl také, v rámci stanovení trvanlivosti, sledován dopad klimatických vlivů, jako je vysoká a nízká teplota a srážková voda.

Jak při zrychlených, tak přirozených testech stárnutí hydrofobizačních úprav vlivem UV záření se prokázal předpokládaný negativní dopad na hodnoty kapilární absorpce. Lepších výsledků z pohledu trvanlivosti bylo dosaženo při použití hydrofobizačního přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM).

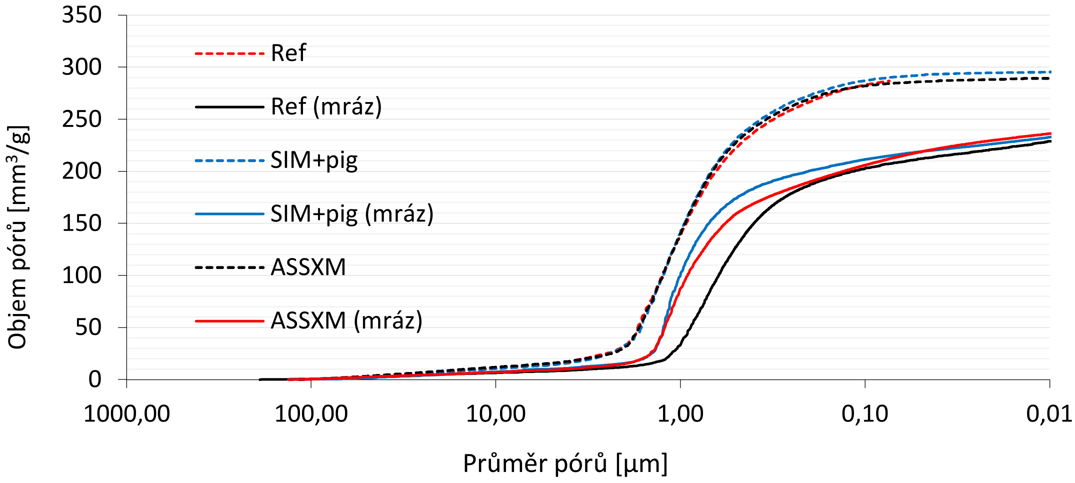
V případě, kdy je hydrofobizovaný (hydrofobizér Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) 1:40) pálený zdící prvek vystaven pouze účinkům UV záření v kombinaci s ostřikující vlhkostí, je možné hydrofobizační ochranu stále pokládat za účinnou i po dvou letech vystavení uvedených vlivům, a to i v případě použití hydrofobizačního přípravku ve stáří 48 h od namíchání požadované koncentrace. Kapilární absorpce nepřekročila hranici 0,58 kg/m^2.

Pokud je hydrofobizovaný zdící prvek vystaven účinkům UV záření v kombinaci s mrazem, je změna kapilární absorpce podstatnější. I v tomto případě je zvýšení kapilární absorpce menší v případě použití přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM). Pokud je hydrofobizovaný prvek vystaven tomuto zatížení po dobu dvou let, je hodnota kapilární absorpce vyšší než 0,58 kg/m^2, tedy hydrofobizační ochranu není možné pokládat za účinnou. Nicméně, vizuálně nebyla na těchto prvcích pozorována vzlínající vlhkost a kapilární absorpce je pod hodnotou 1,93 kg/m^2. Tedy oblast vystavená působení vlhkosti v kapalné formě není zcela nasycena vodou a je omezeno vzlínání vlhkosti vlivem kapilárního systému.

V případě sledování kapilární absorpce u nehydrofobizované tvarovky při zkouškách trvanlivosti byla pozorována změna, pokles kapilární absorpce. Tento jev lze vysvětlit zatažením struktury, hydratací volného CaO na $Ca(OH)_2$ [22,23]. Pro potvrzení tohoto jevu byla na střepech z tvarovek po zkouškách trvanlivosti stanovena rtuťová porozimetrie.

3.2.1 Vliv zatížení zdících prvků kapalnou vodou na změnu pórové struktury

Rtuťová porozimetrie byla provedena na střepech z nehydrofobizovaného zdícího prvku a na prvcích hydrofobizovaných. Z hydrofobizovaných zdících prvků byly vybrány střepy s použitím přípravku Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) (největší změna kapilární absorpce vlivem působení UV záření v kombinaci s mrazem) a Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) s pigmentem (nejmenší změna kapilární absorpce vlivem působení UV záření v kombinaci s mrazem).

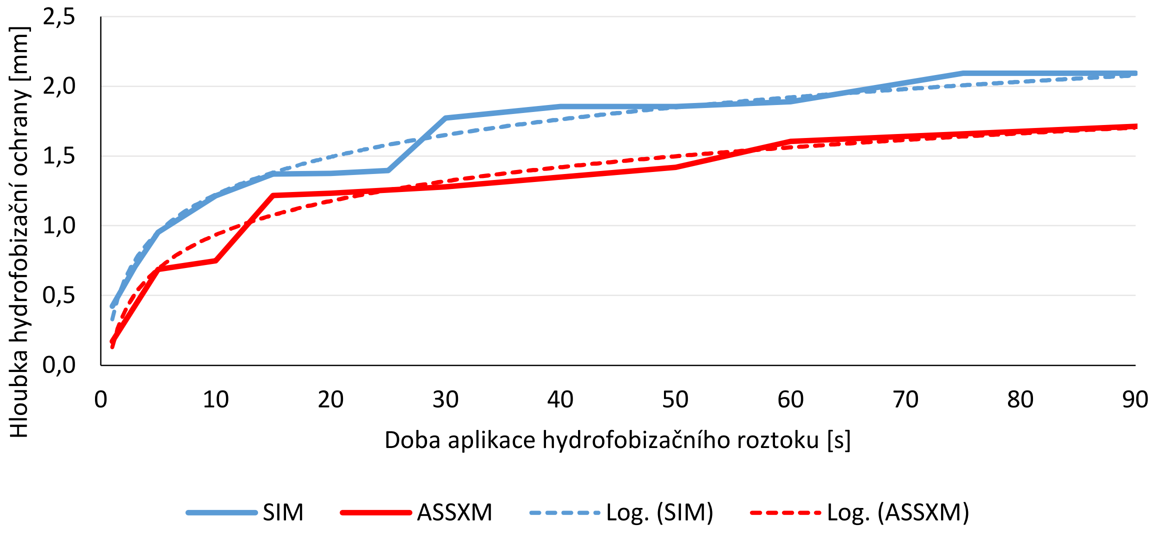


Graf 6 Distribuce pórů střepu nehydrofobizovaného a hydrofobizovaného střepu

Z výsledků rtuťové porozimetrie je patrné, že vlivem vystavení zdících prvků stárnutí účinkům UV záření v kombinaci s mrazem, došlo ke snížení zdánlivé pórovitosti, analogicky zvýšení objemové hmotnosti. Snížila se také střední hodnota poloměrů pórů, v případě nehydrofobizovaného střepu o více jak 40 %. Potvrdil se tedy předpoklad zatažení struktury, hydratace volného CaO na $Ca(OH)_2$, v důsledku kterého došlo ke změně parametrů pórového systému střepu [22,23]. Snížil se celkový objem pórů cca o 17 %, snížení objemu póru jednotlivých průměrů je pozorovatelné do průměru pórů 10 µm, kdy se snižujícím poloměrem póru dochází k výraznějšímu snížení objemu daných pórů. Největší změny jsou v případě mikropórů o průměru 0,1 – 0,01 µm.

3.3 Etapa III. – Studium změny klíčových vlastností zdicích prvků po aplikaci hydrofobizační úpravy

U sledovaných hydrofobizačních úprav přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) a Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM), byla stanovena hloubka hydrofobizační ochrany. Vyšší hloubky hydrofobizační ochrany při srovnatelné době máčení zdících prvků do hydrofobizačního roztoku bylo dosaženo při využití přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM). Z pohledu dostatečné hloubky a co nejkratšího času hydrofobizace byla vyhodnocena jako nejefektivnější doba 10 s. Hydrofobizační ochrana pak dosahuje hloubky 1 - 1,5 mm, s průměrnou hloubkou 1,2 mm.



Graf 7 Závislost hloubky hydrofobizační ochrany na době aplikace při použití přípravků SIM a ASSXM

Použitím hydrofobizace se mění také samotné vlastnosti střepu, kdy asi nejpodstatnější změnou je snížení nasákavosti z 25,4 % na 8,1 %. V případě kapilárních vlastností střepu se výrazně snížila, jak počáteční rychlost nasákavosti páleného zdícího prvku o 95 %, tak součinitel kapilární nasákavosti vody o 98 %, v důsledku použití hydrofobizačního přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM). Součinitel kapilární vzlínavosti vody u hydrofobizovaného prvku je nulový, tedy nedochází ke vzlínání vody v pórovém systému střepu.

3.4 Etapa IV. - Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí

V rámci maltový směsí se účinnost hydrofobizačních přípravků ověřovala pomocí koeficientu kapilární absorpce. Pro hydrofobizaci zvolených maltových směsí omítkového systému byl zvolen přípravek Imesta Silikonová emulze, dávkovaný do čerstvé malty v množství 0,2 %, 0,6 % a 1 % objemově.

Tab. 4. Kapilární absorpce hydrofobizovaného maltových směsí zvoleného omítkového systému

Vlastnost	Přídavek hydrofobizéru	Baumit Manu 4	Baumit Duomalta	Baumit Sanova FeinPutz
Kapilární absorpce C [$kg.m^{-2}.min^{-0,5}$]	0,0	1,26	1,67	0,12
	0,2	0,84	0,83	0,04
	0,6	0,48	0,58	0,08
	1,0	0,13	0,10	0,06
Kapilární absorpce Cm [$kg.m^{-2}$]	0,0	18,24	17,94	2,15
	0,2	17,26	16,05	1,96
	0,6	12,26	13,97	2,21
	1,0	2,83	2,52	0,97
Výška vlinutí [mm]	0,0	160,0	160,0	1,8
	0,2	103,2	132,7	1,0
	0,6	73,8	104,7	1,0
	1,0	19,8	1,0	1,0

U všech součástí zvoleného omítkového systému se prokázal pozitivní efekt použití hydrofobizačního přípravku na snížení kapilární absorpce a výšky vzlinutí, v přímé závislosti na zvyšující se dávce hydrofobizačního přípravku, a to i silikonové finální omítky. Nicméně, v případě finální maltové směsi Sanova FeinPutz, je při zvyšující se dávce hydrofobizačního přípravku nad 0,2 %, obj. efekt minimální. U maltových směsí určených jako jádrová omítka bylo z pohledu kapilární absorpce přesvědčivě nejnižších hodnot dosaženo přídavkem 1 % obj. hydrofobizačního přípravku.

Mimo kapilární nasákavost byl u maltových směsí sledován vliv hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v přídavcích 0,2 %, 0,6 %, 1,0 % obj., na objemové hmotnosti, mechanické vlastnosti, difuzní a tepelně izolační vlastnosti.

3.5 Etapa V. – Návrh metodiky zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav

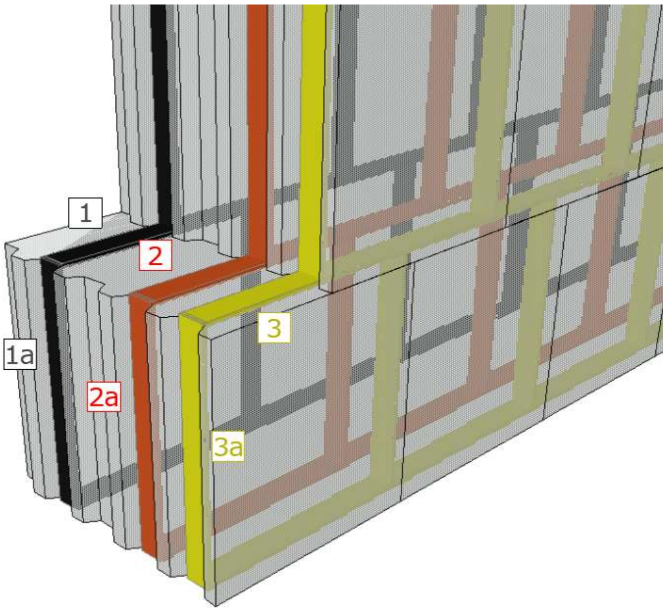
Jako základní prvek zdícího systému bylo navrženo použití hydrofobizovaného páleného zdícího prvku, který splňuje podmínku odolnosti zdícího prvku proti působení zvýšené vlhkosti. Konkrétně se jedná o pálený zdící prvek hydrofobizovaný přípravkem Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), máčením v roztoku o koncentraci 1:40 po dobu 10 s.

Pro povrchové úpravy bylo navrženo taktéž využití hydrofobizovaných maltových omítkových směsí, které jsou schopny odolávat účinkům zvýšené vlhkosti. Jako jádrová omítka bylo navrženo použití Baumit Duomalta s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 1,0 % obj. Použitím hydrofobizačního přípravku se výrazně sníží kapilární absorpce a výška vzlinutí. Na další sledované vlastnosti nebyl pozorován negativní dopad. Jako finální povrchová úprava byla do zdícího systému navržena omítka Baumit Sanova FainPutz s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 0,2 % obj.

Pro vytvoření vodonepropustné konstrukce byl navržen způsob pojení zdících prvků, kdy je navržen způsob pojení zdících prvků v ložných i styčných spárách – vytvoření tzv. křížového rastru.

3.6 Etapa VI. – Návrh metodiky pojení zdících prvků a její ověření

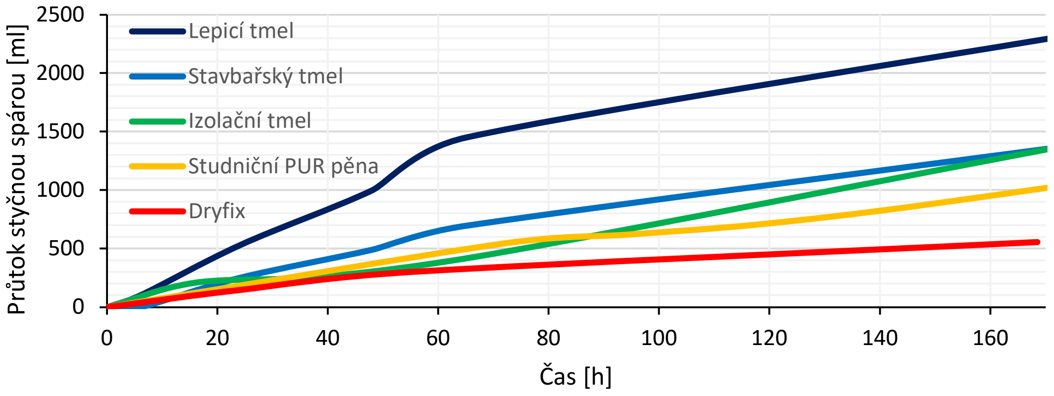
Dalším podstatným prvkem zděných konstrukcí je vzájemné pojení jednotlivých zdících prvků. V oblasti ložných spár se dnes nejčastěji k pojení využívají tenkovrstvé průmyslově vyráběné maltové směsi, nanášené celoplošně a zdící pěny nanášené v několik pruzích rovnoběžně s délkou. U těchto spojů je možné předpokládat určitou vodotěsnost spoje. V oblasti styčných spár se dnes v drtivé většině případů řeší spojení na sucho pomocí takzvaného systému péra a drážky. Spoj je vytvořen ozubem zapadajícím vzájemně do sebe. Takto provedený spoj není vodotěsný a může jím docházet k průsaku vlhkosti. Z tohoto ohledu bylo nutné nalézt řešení pojení zdících tvarovek ve styčných spárách tak, aby byla vytvořena vodotěsná konstrukce.



Obr. 2 Návrh aplikace pojiva pro zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav (pruh pojiva: 1 a 2 – poloha pojiva ložné spáře přibližně ve třetině tloušťky zdiva; 3 – pruh pojiva navíc v místě předpokládaného zvýšeného hydrofyzikálního namáhání; 1a, 2a a 3a – pruh pojiva v oblasti styčné spáry navazující na pojivo v ložných spárách)

Pro testování vodotěsnosti styčné spáry byla navržena metodika. Před samotným testováním vodotěsnosti styčné spáry byly u tvarovek použitých při této zkoušce hydrofobizovány vnější plochy hydrofobizačním přípravkem Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM), v koncentraci 1:40 a máčením po dobu 10 s. Díky tomu bylo zabráněno vsakování vody do keramického střepu tvarovky a bylo možné sledovat případný průsak pouze sledovaným spojem. Následně byly na ozuby styčných ploch zdících prvků naneseny zvolené materiály:

- Lepící tmel
- Stavbařský tmel
- Izolační tmel
- Studniční PUR pěna
- PUR pěna Dryfix



Graf 8 Průtok styčnou spárou pálených zdících prvků při použití pojiva ve vztyčné spáře

Na základě výsledků průtoku styčnou spárou, byla jako nejvhodnější přípravek vybrána zdící pěna Dryfix, což bylo potvrzeno i vizuálním zhodnocením jednotlivých spojů po oddělení tvarovek. Při aplikaci zdící pěny Dryfix byly spoje vyplněny homogenně, bez mezer po celé výšce tvarovek. Výhodou použití zdicí pěny Dryfix je její nízký expanzní tlak, který nezapříčiňuje posun zdicích prvků (roztažení styčné spáry), jako to bylo pozorováno u další testované PUR pěny. Výhodou je mimo jiné i rychlost a snadnost výstavby, kdy by byl použit při aplikaci shodný materiál pro pojení ve styčných i ložných spárách zdiva.

3.7 Etapa VII. – Poloprovozní ověření navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav

V konečné fázi prací byly provedeny zátopové zkoušky pro ověření celého navrženého systému. Zátopová zkouška slouží k ověření funkčnosti celého systému, sledování jeho vodonepropustnosti a dopadu působení kontinuální zvýšené vlhkosti. Z dat získaných zpracováním předchozích etap byl ověřen navržený zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav:

- Pálený zdící prvek hydrofobizovaný přípravkem Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) máčením v roztoku o koncentraci 1:40 po dobu 10 s
- Pojení zdících prvků zdící PUR pěnou Dryfix
- Povrchová úprava
    - Jádrová omítka Baumit Duomalta s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 1,0 % obj.
    - Finální omítka Baumit Sanova FeinPutz s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 0,2 % obj.

Proběhly celkem dvě zátopové zkoušky. Při první zátopové zkoušce byla konstrukce vystavěna z hydrofobizovaných zdících prvků bez použití pigmentu. Konstrukce nebyla opatřena povrchovou úpravou, tak aby byl sledován vliv zatížení vodou pouze na samotné zdící prvky a křížový rastr ve spárách. Jednotlivé spáry byly ze strany zatěžované vodou utěsněny tak, aby bylo simulováno spolupůsobení povrchové úpravy - utěsnění spár. Pro výstavbu konstrukce první zátopové zkoušky byly použity tvarovky, jejichž celý povrch byl hydrofobizován pomocí máčení celých tvarovek v hydrofobizačním roztoku přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) v koncentraci 1:40.

Z výsledků vlhkostních profilů na lícových stranách je patrné, že nedošlo k šíření vlhkosti vzhůru, nad výšku hladiny. Vlhkost v žádném místě na suché straně konstrukce nepřesáhla 3 % hm. Tato maximální vlhkost byla ještě zvýšena proniklou vodou chybným utěsněním konstrukce. Na mokré straně byla maximální vlhkost na konstrukci do 6 % hm.

Z vlhkostních profilů napříč tloušťkou konstrukce v oblasti ložné spáry (250 mm) je patrné, že pronikání vlhkosti do konstrukce je velmi omezeno a již ve vzdálenosti 50 mm od líce zdiva není na vlhkosti zdiva patrné vlhkostní zatížení konstrukce. Ve zbylé části konstrukce je vlhkost téměř konstantní, nezvýšena nad 1 % hm. Vlhkostní profil ve výšce 0 mm je výrazně ovlivněn proniklou vodou a to především na suché straně konstrukce. Ve střední části vlhkostního profilu je však vlhkost velmi blízká vlhkosti ve spáře 250 mm a je tedy možné usuzovat, že pokud by nedošlo k protečení vody v důsledku chybného provedení těsnění, nepřesáhla by vlhkost 50 mm od líce zdiva 2 % hm.

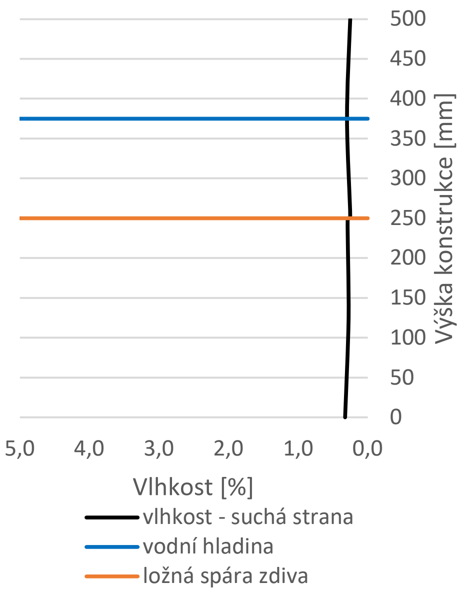
Pro výstavbu konstrukce druhé zátopové zkoušky byly použity tvarovky, jejichž celý povrch byl hydrofobizován pomocí máčení celých tvarovek v hydrofobizačním roztoku přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), v koncentraci 1:40 v kombinaci s pigmentem po dobu 10 s. Pro pojení styčných i ložných spár bylo použito zdicí PUR pěny Dryfix.

Obr. 3 Lícová strana konstrukce z mokré strany po 14 dnech zatížení vodou

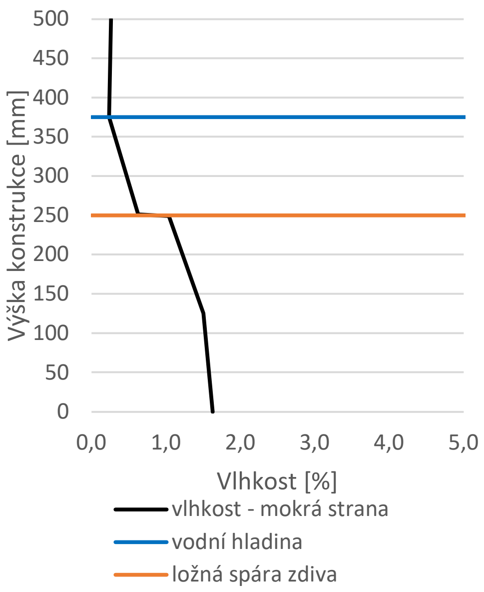
Obr. 4 Lícová strana konstrukce ze suché strany po 14 dnech zatížení vodou

Vlhkostní profily byly stanoveny jak ve svislém směru – po výšce konstrukce, tak ve vodorovném směru. Po výšce konstrukce se jednalo o vlhkostní profily na lících konstrukce (suchá a mokrá strana), ve středu konstrukce a 30 mm od líce konstrukce z mokré strany. V horizontálních rovinách byl vlhkostní profil stanovován při horní ploše druhé řady tvarovek (výška 500 mm), ve středu jednotlivých řad tvarovek (výška 375 mm a 125 mm), těsně nad a těsně pod ložnou plochou spoje dvou řad tvarovek (výška 249 mm a 251 mm) a u dna nádrže (výška 0 mm).

Z výsledků vlhkostních profilů na lícových stranách je patrné, že nedošlo k šíření vlhkosti vzhůru nad výšku hladiny. Vlhkost v žádném místě na suché straně konstrukce nepřesáhla běžnou praktickou vlhkost 0,35 % hm. Na mokré straně byla maximální vlhkost na konstrukci do 1,65 % hm.

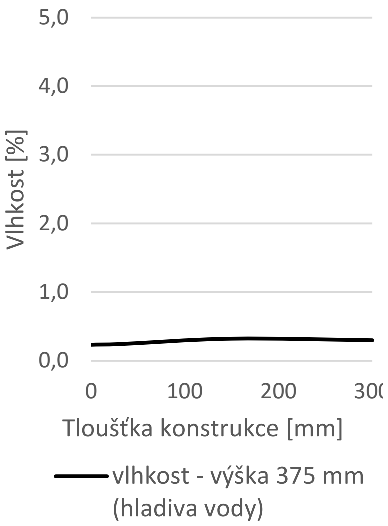


Graf 9 Vlhkostní profil po výšce zdiva, 300 mm od zatížení strany zdiva vodou (suchá strana)

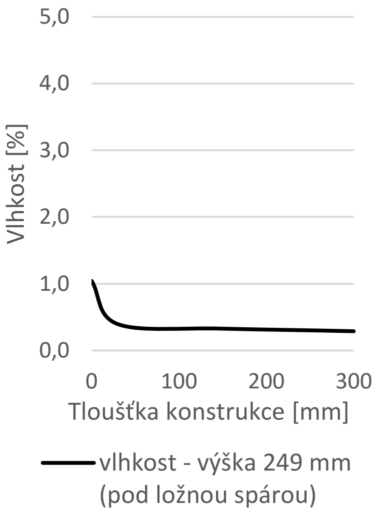


Graf 10 Vlhkostní profil po výšce zdiva, strana zatížená vodou (mokrá strana)

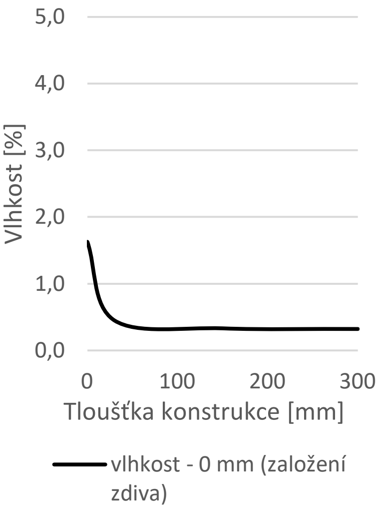
Z vlhkostních profilů napříč tloušťkou konstrukce v oblasti ložné spáry (250 mm) je patrné, že pronikání vlhkosti do konstrukce je velmi omezeno a již ve vzdálenosti 30 mm od líce zdiva není na zdivu patrné vlhkostní zatížení konstrukce. Ve zbylé části konstrukce je vlhkost téměř konstantní, nezvýšená nad 0,5 % hm.



Graf 11 Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 375 mm (hladina vody)



Graf 12 Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 249 mm (pod ložnou spárou)



Graf 13 Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 0 mm (založení zdiva)

E Souhrn a diskuse výsledků

Experimentální část disertační práce byla rozdělena do sedmi etap, kdy náplní těchto etap byl vývoj technologie hydrofobizace zdících prvků a omítkových matových směsí, návrh zdícího systému a jeho ověření.

V rámci hydrofobizace pálených zdících prvků bylo porovnáno celkem 16 hydrofobizačních přípravků na bázi silikonů v různých kombinacích parametrů aplikace. Byla testována, jak aplikace máčením, tak aplikace nástřikem. Aplikace hydrofobizačních přípravků nástřikem se ukázala jako neefektivní, a to z důvodu samotné aplikace, kdy je velmi obtížné efektivně aplikovat nástřik do vnitřních prostor dutin zdícího prvku. Aplikace hydrofobizačních přípravků máčením se naopak ukázala jako velmi efektivní způsob nanášení, kdy došlo k výraznému snížení hodnot kapilární absorpce. Jako nejefektivnější hydrofobizační přípravky byly vyhodnoceny přípravky na bázi silanů a silan-siloxanové mikroemulze. Konkrétně se jednalo o přípravky Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) a Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM). Při použití těchto přípravků se ukázala jako nejefektivnější koncentrace ředění hydrofobizačních roztoků 1:40.

Hloubka hydrofobizační ochrany

U hydrofobizační úpravy se prokázala závislost doby máčení na hloubce hydrofobizační ochrany. Hloubka hydrofobizační ochrany se plynule zvyšuje až do doby 90 s máčení, kdy při delším čase máčení je hloubka hydrofobizační ochrany již téměř neměnná. Celkově lepšího propenetrování, tedy hlubší hydrofobizační ochrany, je docíleno použitím přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), kdy při době máčení 90 s je dosaženo hloubky hydrofobizační ochrany 2,1 mm. Hloubka hydrofobizační ochrany v závislosti na čase aplikace máčením však není lineární. Již v čase aplikace 10 s je hloubka hydrofobizační ochrany 1,2 mm. Tato hloubka byla vyhodnocena jako dostatečná v případě běžné manipulace se zdícími prvky při dopravě a v rámci výstavby (v případě většího mechanického porušení, by bylo nutné prostřednictvím technologického předpisu tyto prvky nedoporučit pro výstavbu konstrukce do oblastí se zvýšeným rizikem záplav). Doba aplikace 10 s je navíc efektivní z pohledu výrobního procesu, spotřeby a potažmo ceny.

Použití pigmentu

Pro jednoznačnou identifikaci hydrofobizovaných tvarovek byl k těmto roztokům přidán pigment. Jako nejefektivnější způsob použití pigmentu ve spojení s hydrofobizační ochranou se ukázal způsob, kdy pigment je aplikován společně s hydrofobizačním přípravkem máčením pálených zdících prvků do hydrofobizační lázně. Jedná se tedy o jednokrokovou aplikaci máčením, což je výhodné i z pohledu optimalizace výrobního taktu. Vlivem přídavku pigmentu dojde ke zvýšení kapilární absorpce jak u přípravku na silanové, tak i silan-siloxanové bázi. Vliv použití pigmentu je menší při použití pigmentu ve spojení se silan-siloxanovou mikroemulzí (přípravek Evonik Silikonová mikroemulze (SIM)), kdy kapilární absorpce se v tomto případě nezvýší nad hodnoty kapilární absorpce při použití silanového přípravku (Evonik Silikonová mikroemulze) bez pigmentu. Hydrofobizační úpravu, je i po přidání pigmentu, možné označit jako účinnou dle stanovených kritérií. V případě použití celohydrofobizovaných zdících prvků by nebylo nutné používat pigment pro označení tvarovek, tedy by nedocházelo ke změně účinnosti hydrofobizéru vlivem pigmentu. Tvarovky by mohly být v tomto případě označeny například vyražením specifického značení nebo reliéfem při výrobě.

Doba použitelnosti hydrofobizačních přípravků

Oba hydrofobizační roztoky jsou dodávány jako koncentráty a jsou ředěny a míchány s pigmentem až před samotnou aplikací. Bylo zjištěno, že při použití ředěných hydrofobizačních roztoků v kombinaci s pigmentem se snižuje hydrofobizační efekt (zvyšuje kapilární absorpce) v případě, kdy jsou namíchané roztoky starší jak 48 h. Pro ekonomickou efektivitu je tedy potřebné volit optimální množství připraveného hydrofobizačního roztoku, který pokryje produkci 48 h výroby. Po 48 h je nutné připravit novou hydrofobizační lázeň.

Trvanlivost hydrofobizačních ochrany

Zdící systém je navrhován jako komplexní řešení výstavby včetně povrchové úpravy, která poskytuje ochranu hydrofobizovaných zdících prvků před působením klimatických vlivů, především UV záření. V průběhu samotné výstavby však nejsou prvky proti tomuto záření chráněny a může docházek k degradaci hydrofobizační. Testováním bylo ověřeno působení UV záření v kombinaci s extrémními teplotními výkyvy a za současného zatížení vlhkostí v podobě ostřiku simulujícího déšť. Byly provedeny zrychlené i dlouhodobé testy, kdy při porovnání výsledků odpovídajících stejným časovým úsekům, jsou získané údaje srovnatelné. Celkově se jako vhodnější hydrofobizační ochrana z pohledu trvanlivosti prokázalo použití přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM).

Při vystavení neomítnutých hydrofobizovaných zdících prvků klimatickým vlivům, včetně působení mrazu, po dobu představující 2 roky (tato doba byla uvažována jako maximální možná, kdy při běžné výstavbě se s takto dlouhou dobou nepočítá) ve středoevropských podmínkách, se hodnota kapilární absorpce zvyšuje 4x. V souvislosti s působením klimatických vlivů bylo také prokázáno, že dochází ke změně pórové struktury vlivem zatažení střepu. V porovnání s nehydrofobizovaným páleným zdícím prvkem je však hodnota kapilární absorpce po vystavení UV záření a mrazu stále velmi nízká, zhruba pětinová, oproti kapilární absorpci nehydrofobizovaného zdícího prvku. Vliv působení klimatických vlivů se projevuje také na změně hloubky hydrofobizační ochrany, kdy při působení klimatických vlivů, respektive změně pórové struktury dochází ke snížení hloubky efektivní hydrofobizační ochrany, a to zhruba o 40 %.

Povrchové energie hydrofobizovaných pálených zdících prvků

Použitím hydrofobizace na pálené zdící prvky dojde ke změně vlastností keramického střepu těchto zdících prvků. Další změnou je snížení množství vyvzlínané vody, v důsledku snížení nasákavosti hydrofobizované části tvarovky, kdy vyvzlínaná voda nad hydrofobizovanou část zdícího prvku je odpařována z povrchu (není možné vizuálně pozorovat zvýšení vlhkosti – vlhkostí mapa). Druhou velmi dobře pozorovatelnou změnou vlastností keramického střepu je změna povrchové energie. Na široké škále hydrofobizovaných keramických střepů bylo provedeno měření úhlu smáčivosti, z nichž byla stanovena povrchová energie. Tyto hodnoty byly porovnány s hodnotami kapilárních absorpcí a ze vzájemných závislostí byla stanovena rovnice, na základě které, je možné velmi efektivně využít stanovení povrchové energie pro hodnocení kvality hydrofobizace.

Obr. 5 Voda na nehydrofobizovaném zdícím prvku

Obr. 6 Voda na hydrofobizovaném zdícím prvku silan-siloxanovou mikroemulzí

Hydrofobizace maltových směsí

U zvolených povrchový úprav bylo také ověřeno použití hydrofobizačního přípravku, konkrétně Imesta Silikonová emulze. Tento přípravek byl aplikován přímo do maltových směsí v době míchání směsi. Přípravek byl aplikován v různých dávkách až do koncentrace 1,0 % obj. U všech testovaných maltových směsí je patrný hydrofobizační efekt již při nízkých dávkách 0,2 % obj. hydrofobizačního přípravku. Hydrofobizační efekt se projevuje snížením koeficientu kapilární absorpce. Bylo také prokázáno, že přídavek hydrofobizačního přípravku do maltových směsí snižuje objemovou hmotnost, tedy zvyšuje pórovitost, nicméně tento jev nemá zásadní dopad na další fyzikální a mechanické vlastnosti.

Systém pojení vodonepropustné kosntrukce

Pro vytvoření celistvého zdícího systému, který má sloužit jako vodonepropustná konstrukce bylo navrženo a testováno pojení zdicích prvků ve styčných spárách. Jako pojivo byly testovány různé druhy tmelů a PUR pěn. Na základě navržené metodiky zkoušení tohoto spoje, byla jako nejvhodnější vybrána nízkoexpanzní PUR pěna Dryfix, která se současně používá i pro pojení v ložných spárách jako náhrada cementových směsí. Při použití této pěny pro ložné i styčné spáry bylo navrženo vytvoření křížového rastru v minimálně třech řadách, čímž je docíleno vodonepropustnosti zdícího systému.

Ověření konstrukce do oblastí ze zvýšeným rizikem záplav

Na závěr byla celá navržená konstrukce, skládající se z hydrofobizovaných pálených zdících prvků, hydrofobizované povrchové úpravy a s využitím navrženého systému pojení při vytvoření křížového rastru, prakticky testována. Testování proběhlo ve speciálně vyrobené nádrži, která byla uzpůsobena pro zatížení až 1 m^2 zdiva vodou o objemu 1 m^3. Proběhly celkem dvě zkoušky navrženého zdícího systému, kdy se při obou zkouškách prokázala vodnonepropustnost konstrukce a výrazné omezení vlivu vody působící na konstrukci. Z vlhkostních profilů stanovených bezprostředně po odčerpání vody, kterou byla konstrukce zatížena, bylo zjištěno, že vlhkost zdících prvků v konstrukci byla ovlivněna zatížením vodou maximálně do 50 mm šířky konstrukce od líce zdiva vystaveného vodě. Dále se také potvrdilo, že použitím hydrofobizovaných pálených zdících prvků a hydrofobizované povrchové úpravy je zamezeno vzlínání vlhkosti nad výšku zatopení konstrukce.

4. Ekonomický zhodnocení použití navrženého zdícího systému

Při použití uvedeného zdícího systému při výstavbě je z pohledu ekonomického hlediska nutné počítat s určitým navýšením celkové ceny stavby v případě využití tohoto systému. Pro přibližné stanovení navýšení ceny stavby byl použit vzorový rozpočet rodinného domu ARIE 1 (G SERVIS CZ – příloha č. 2) [24]. Jedná se o dvoupodlažní objekt přestavující reprezentující typickou stavbu rodinného domu. Výpočet navýšení ceny v důsledku použití zdícího sytému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav je uveden v následujících tabulkách.

Výpočet je proveden pro použití zdiva v prvních 5 řadách, kdy je počítáno navýšení nákladů na výstavbu s využitím navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav o 50 % oproti nákladů na výstavbu při použití nehydrofobizovaného zdiva. Do předpokládaného navýšené nákladů na výstavbu je uvažováno s náklady jak na celohydrofobizované zdící prvky, tak s náklady spojenými s zvýšením pracnosti v souvislosti s vytvořením křížového rastru.

V případě, kdy by byl využit navržený zdící systém pro výstavbu prvních 5 řad zdiva v 1NP, jako preventivní opatření, jednalo by se o navýšení o 1,3 % celkové ceny stavby. Tedy celkové náklady na výstavbu prvních pěti řad zdiva v 1NP tvoří 3,9 % z celkové ceny stavby. Výpočet je proveden při předpokládaném navýšení ceny uvedené části konstrukce o 50 % oproti ceně při použití nehydrofobizovaného zdiva, tedy při rozpočtu stavby domu 3 840 000 CZK bez DPH se jedná o navýšení zhruba o 49 837 CZK bez DPH. V případě použití navrženého zdícího systému pro výstavbu celého 1NP je možné předpokládat navýšení ceny stavby do 3 % z celkové ceny. Přidanou hodnotou by navíc mohl být fakt, že v případě využití tohoto zdícího systému by se mohly změnit i pojistné podmínky pro danou nemovitost.

5. Přínos pro vědní obor

V rámci disertační práce bylo provedeno ověření použití široké škály hydrofobizačních přípravků na silikonové bázi na pálený zdící prvek. Pro ověření účinnost hydrofobizačních přípravků bylo použito primárně parametru kapilární absorpce, který nebyl dosud v oblasti pálených zdících prvků využit a je přejat z oblasti maltových směsí. S pomocí vlastností, které jsou stanovovány u pálených zdících prvků dle výrobkové normy (nasákavost, vzlínání, součinitele kapilárního vzlínání vody, součinitel nasákavosti vody a počáteční rychlost nasákavosti) není možné jedním parametrem kvantifikovat množství vody, které je v prvku obsažené v důsledku nasákavosti ponořené části a současného vzlínání (pokud by prvek nebyl hydrofobizován celý). Použitím parametru kapilární absorpce, sledovaného v průběhu času, je možné charakterizovat společný děj nasákavosti a současného vzlínání vody v pórovém systému zdícího prvku.

Hodnocení účinnosti hydrofobizační ochrany bylo doplněno také o stanovení povrchové energie, kdy byl stanoven vzájemný vztah mezi kapilární absorpcí a povrchovou energií. S využitím těchto poznatků je možné efektivně vyhodnotit mírů hydrofobizační ochrany.

V rámci práce bylo také provedeno zhodnocení změn v mikrostruktuře cihelného střepu po zkoušce stárnutí, kdy byl dokladován vliv hydratovaného CaO, který byl obsažený v páleném zdicím prvku. Přičemž byl ověřen efekt tzv. zatažení struktury cihelného střepu a dopad na změnu pórové struktury cihelného střepu na reálných výrobcích v podobě pálených zdicích prvků typu THERM.

Dále byly navrženy a aplikovány zkušební metody pro posouzení těsnosti svislého spoje pálených zdících prvků – styčná spára. Tento zkušební postup je aplikovatelný na celou škálu zdících prvků jak vodorovných (ložných) tak i svislých (styčných) spár. Byl navržen a testován také způsob

ověření vodotěsnosti konstrukce zhotovené z kusových zdících prvků ve speciální zkušební nádrži. Této zkušební postup je také univerzálně aplikovatelný na širokou škálu zdících systémů.

6. Přínos pro praxi

Výsledkem disertační práce je nalezení vhodné hydrofobizační ochrany páleného zdícího prvku. Takto upravený zdící prvek představuje velmi zajímavý doplněk pro komplexní zdící systém. Poznatky z řešení této disertační práce již byly aplikovány při modifikaci soklového zdícího prvku nabízeného společností Wienerberger. Tento zdící prvek sloužící pro založení zdiva, kde má funkci zamezení vzlínání vlhkosti ze základové desky v době výstavby. V průběhu životnosti stavby plní tento prvek funkci sekundární hydroizolační ochrana doplňující hydroizolační opatření. S využitím hydrofobizovaného zdícího prvku byl navržen a otestován zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav. Tento zdící systém je specifikován prostřednictvím ověřené technologie. Zavedení tohoto zdícího systému je plánováno společností Wienerberger v následujících dvou letech jako doplněk současného systému.

F <u>Závěr</u>

Cílem disertační práce byl vývoj a výzkum prvků zdícího systému z pálených zdících prvků určeného do oblastí se zvýšeným rizikem záplav. S využitím výsledků disertační práce byla zpracována také ověřená technologie na navržený zdící systém.

V rámci vývoje hydrofobizovaného páleného zdícího prvku byla vyvinuta vhodná hydrofobizační ochrana prvku, kdy se jednalo především o volbu vhodného hydrofobizačního prostředku a o vývoj vhodné metodiky jeho aplikace. Jako nejvhodnější hydrofobizační přípravek byl vybrán hydrofobizér na silan-siloxanové bázi od výrobce Evonik, který byl aplikován v kombinaci s pigmentem máčením v ředěném roztoku o koncentraci 1:40 po dobu 10 s. Na zdící prvcích s využitím navržené hydrofobizační úpravy bylo provedeno stanovení klíčových vlastností a na základě dosažených výsledků je možné konstatovat že při použití navrženého postupu hydrofobizace je docíleno velmi efektivní, dlouhodobě stálé hydrofobizační ochrany, která splňuje vytýčené cíle v podobě podstatného snížení nasákavosti a snížení množství vyvzlínané vody ve zdících prvku. V případě aplikace hydrofobizačního přípravku na celý povrch zdícího prvku činí náklady na hydrofobizační přípravek cca 9 % z ceníkové ceny zdícího prvku (k 1.1. 2021 cena PTH 30 Profi 69,30 CZK bez DPH – příloha č. 1) [25]. S přihlédnutím k optimalizaci hydrofobizačního procesu tak, aby byl výrobní krok co nejplynulejší a nejkratší je možné konstatovat, že použitým způsobem hydrofobizace je docíleno nejen efektivní, ale také ekonomicky přijatelné úpravy stávajícího páleného zdícího prvku.

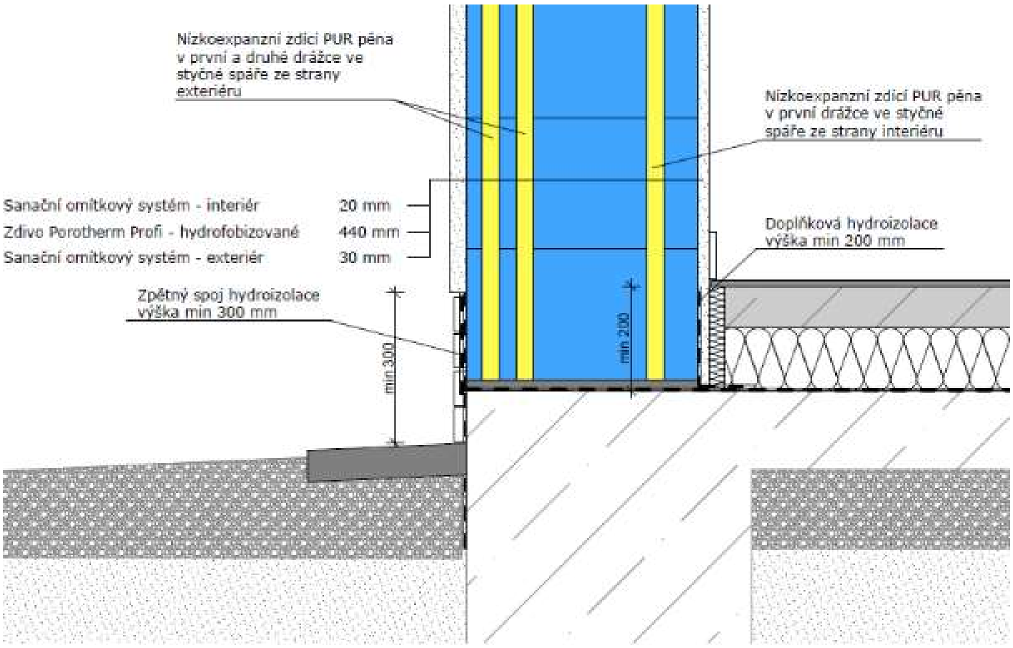
V rámci návrhu zdícího systému byl proveden také návrh inovativního způsobu pojení zdících prvků pomocí křížového rastru z nízkoexpanzní PUR pěny. V rámci vývoje tohoto způsobu pojení zdících prvků, kdy jsou zdící prvky pojeny jak v ložných spárách, tak i styčných spárách byly navržen a odzkoušen nový způsob ověření těsnosti spoje zdících prvků. Použitím křížového rastru bylo docíleno požadované vodonepropustnosti navrženého zdícího systému.

Pro zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav byla vyvinuta a otestována vhodná povrchová úprava skládající se z:

- jádrové omítky Baumit Duomalta s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 1,0 %obj.
- finální jemnozrnné omítky Baumit Sanova FeinPutz s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 0,2 %obj.

Použitím hydrofobizačních přípravků jsou i v případě povrchové úpravy splněny vytýčené cíle dosažení nízké kapilární absorpce. Použitím navržené povrchové úpravy ve spojitosti s hydrofobizovanými zdícími prvky a navrženým systémem pojení bylo docíleno komplexního zdícího systému.

Celý navržený zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav byl prakticky otestován ve speciální zkušební nádrži. Z výsledků je možné konstatovat, že při namáhání zvýšenou vlhkostí došlo k minimálnímu zvýšení vlhkosti pálených zdících prvků a navrženou konstrukci je možné hodnotit jako vodonepropustnou. Detail založení zdiva vyvinutého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 7 Detail založení zdiva vyvinutého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav

Navržený zdící systém prokázal své nesporné výhody při vystavení namáhání zvýšenou vlhkostí oproti současným používaným zdícím systémům ze zdících prvků. Jeho použití je tedy možné doporučit do oblastí se zvýšeným rizikem záplav. Nicméně k zaplavení může docházet nejen v důsledku živelné pohromy, ale také v důsledku poruch a havárií na vodovodních rozvodech či odpadních systémech. Tyto havarijní stavy se mohou vyskytnou bez ohledu na polohu samotného objektu a stavby díky nim může být vystavena zvýšené vlhkosti jak ze strany interiéru, tak exteriéru. Z toho důvodu je možné tento zdící systém doporučit jako preventivní ochranu každé stavby proti působení zvýšené vlhkosti.

V případě, kdy by byl zdící systém použit u stavby kde je možné předpokládat zvýšené riziko záplav, je nutné počítat s tím, že použití zdícího systému je pouze jedním z celé řady preventivních opatření. Tyto opatření je vhodné aplikovat v celém prvním nadzemní podlaží. V tomto případě je možné doporučit výstavbu celého prvního nadzemního podlaží s využití hydrofobizovaných zdících prvků. Použitím navrženého zdícího systému nesnižujeme pouze náchylnost zdiva k absorpci vody, tedy výrazně urychlujeme následné vysoušení objektu, ale v případě použití vhodných výplní otvorů vytváříme i vodonepropustnou bariéru. Tato bariéra funguje jak ze strany interiéru, tak exteriéru. Této skutečnost je možné využít v případě, kdy by bylo nutné objekt cíleně zaplavit neznečistěnou vodu ze strany interiéru. Bylo by tak možné vytvořit protitlak v případě kdy by hrozilo statické namáhání vlivem mechanického zatížení v důsledku záplav ze strany exteriéru.

V případě použití zdícího systému jako preventivního opatření havarijních stavů je možné doporučit využití pouze do omezené výšky prvního nadzemního podlaží, například pro výstavbu prvních pěti řad zdiva, tedy cca do výšky 1,25 m zdiva. V tomto případě také není nutné doporučovat jiné specifické preventivní opatření, jako tomu bylo v přechozím případě, než jsou běžně realizovány při výstavbě.

G **Použití literatura**

[1] Foraboshi, P., Vanin, A., Experimental investigation on bricks from historical Venetian buildings subjected to moisture and salt crystallization, Engineering Failure Analysis 45, 2014, s 185-203, ISSN: 1350-6307, doi:10.1016/j.engfailanal.2014.06.019

[2] Gonçalves, T. D., Pel, L., Rodrigues, J. D., Drying of salt-contaminated masonry: MRI laboratory Monitoring, Environmental Geology 52, 2007, s. 293-302, ISSN: 0943-0105, doi:org/10.1007/s00254-006-0461-4

[3] Gentilini, C., Franzoni, E., Bandini, S., Nobile, L., Effect of salt crystallisation on the shear behaviour of masonry walls: An experimental study, Construction and Building Materials 37, 2012, s. 181-189, ISSN: 0950-0618, doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.086

[4] Bakar, A., Ibrahim, W., Johari, M., A review: Durability of fired clay brick masonry wll due to salt attack, International Journal of Integrated Engineering 1, 2011, s. 111-127, ISSN 1985-854X

[5] Viitanen, H., Salminen, K., Ojanen, T., Paajanen, L., Lähdesmäki, K., Moisture and Bio-deterioration Risk of Building Materials and Structures, Journal of Building Physics 33, 2010, s. 201-224, ISSN: 1744-2591, doi:10.1177/1744259109343511

[6] Straube, J. F., Moisture in building, ASHRAE Journal 44, 2002, s. 15-19, ISSN: 0001-2491

[7] Hall, Ch., Hoff, W. D., Viles, H. A., Eklund, J. A., Moisture dynamics in walls: Response to micro-environment and climate change, Proceedings of The Royal Society A 466, 2010, s. 194-211, ISSN: 1471-2946, doi: 10.1098/rspa.2010.0131

[8] Pasanen, A., L., Kasanen, J. P., Rautiala, S., Ikäheimo, M., Rantamäki, J., Kääriäinen, H., Kalliokoski, P., Fungal growth and survival in building materials under fluctuating moisture and temperature conditions, International Biodeterioration & Biodegradation 46, 2000, s. 117-127, ISSN: 0964-8305, doi:10.1016/S0964-8305(00)00093-7

[9] Brazdil, R., Historical and recent floods in the Czech republic, Masarykova univerzita v Brně, 2005, s. 370, ISBN 80-210-3864-0

[10] Zákon č. 254/2001 Sb., Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), 2001

[11] Vyhlášky č. 79/2018 Sb. Vyhláška o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace, 2018
[12] Beden, D., Manko, Z., Influence of selected hydrophobic agents on some properties of autoclaving cellular concrete (ACC), Construction and Building Materials 25, pp. 282-287, 2011.
[13] Medeiros, M., Helene, P., Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete, Mater Struct 41, pp. 59–71, 2008.
[14] Wolf, L., Raupach, M., Hydrophobation of concrete products, Betonwerk und Fertigteil-Technik, 69, pp. 12–21, 2003,
[15] Mleziva, J., Polymery výroba, struktura, vlastnosti a použití, Sobotáles, Praha, 2000
[16] Hill, R. M., Silicone surfactants, Marcel Dekker, New York, 1999, ISBN: 0-8247-0010-4
[17] Zhao, T., Wittmann, F. H., Jiang, R., Li, W., Application of Silane-based Compounds for the Production of Integral Water Repellent Concrete, Hydrophobe VI, s. 145-154, 2011
[18] Zhang, P., Wittmann, F. H., and Zhao, T., Capillary suction of and chloride penetration into integral water repellent concrete, Int. J. Restoration of Buildings and Monuments 15, s. 187-194, 2009
[19] O´Lenick, J., Silicone Emulsions and Surfactants – A Review, Silicone Spectator, s. 1-18, 2000
[20] ČSN 73 0600 Ochrana staveb proti vodě. Hydroizolace. Základní ustanovení, Český normalizační institut, Praha, 2000
[21] Navrátil, Z., Buršíková, V., Sťahel, P., Šíra, M., Zvěřina, P., On the analysis of surface free energy of DLC coatings deposited in low pressure RF discharge, Czech. J. Phys. 55, 2004
[22] SOKOLÁŘ, R. Vliv kalcitu na zatažení a nevratnou vlhkostní roztažnost cihlářského střepu (díl 1.), Keramický zpravodaj, 2009, vol. 25, no. 1, p. 6-12. ISSN: 1210- 2520
[23] SOKOLÁŘ, R. Vliv kalcitu na zatažení a nevratnou vlhkostní roztažnost cihlářského střepu (díl 2.), Keramický zpravodaj, 2009, vol. 25, no. 2, p. 10-15. ISSN: 1210- 2520
[24] Arie 1, rodinný dům, G SERVIS CZ, s.r.o., 2020
[25] Ceník cihelných výrobků a služeb, Platnost od 1. 1. 2021, Wienerberger cihlářský průmysl, a. s., 2021

H Přehled publikační činnosti v souvislosti s disertační prací

ZACH, J.; NOVÁK, V. The Effect of Hydrophobization on the Properties of Mortar Mixtures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, roč. 385, č. 1, s. 1-6. ISSN: 1757-899X.

NOVÁK, V.; ZACH, J. The Protection of Masonry Blocks with Using Hydrophobization Before Load Due to Increased Moisture. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 2018, roč. 8, č. 6, s. 2435-2442. ISSN: 2088-5334.

NOVÁK, V.; ZACH, J. Study of Hydrophobic Modification of Ceramic Elements. In Rehabilitation and Reconstruction of buildings. Key Engineering Materials (print). 776. Switzerland: Trans Tech Publications, 2018. s. 121-126. ISBN: 978-3-0357-1361-9. ISSN: 1013-9826.

NOVÁK, V.; ZACH, J. Možnosti použití hydrofobizovaného zdiva v oblastech se zvýšeným rizikem lokálních povodní. Materiály pro stavbu, 2017, roč. 2017, č. 8, s. 37-39. ISSN: 1213-0311.

ZACH, J.; NOVÁK, V.; HORSKÝ, A.: Zdící konstrukce - záplavová pásma; Technologie výstavby konstrukcí pro záplavová pásma. VUT Brno. (ověřená technologie)

ZACH, J.; NOVÁK, V.; SEDLMAJER, M.; HROUDOVÁ, J. Application Possibilities of Hydrophobised Ceramic Walling in Areas with Higher Risk of Floods. In Elektronický sborník přednášek ICEBMP 2015 Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky/ Ecology and new building materials and products. Advanced Materials Research. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2015. s. 261-266. ISBN: 978-80-87397-19- 0. ISSN: 1022- 6680.

ZACH, J.; HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M.; NOVÁK, V.; REIF, M. Possibilities of Hydtophobization of Masonry Construction for High-risk Flood Areas. In Proceedings of the Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings. Advanced Materials Research. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2015. s. 70-73. ISBN: 978-80-02-02539- 9. ISSN: 1022- 6680.

ZACH, J.; NOVÁK, V.; SEDLMAJER, M.; HROUDOVÁ, J. Ceramic Masonry Eunits Intended for the Masonry Resistant to High. Materiali in tehnologije, 2015, roč. 2015, č. 49, s. 817-820. ISSN: 1580-2949.

ZACH, J.; HELA, R.; SEDLMAJER, M.; NOVÁK, V.; PETRÁNEK, V. Development of waterproof masonry structures for floods areas. In 19. Internationale Baustofftagung - IBAUSIL. 2. Weimar: F.A. Finger-Institut für Baustofrfkunde, Bauhaus- Universität Weimar, 2015. s. 187-195. ISBN: 978-3-00-050225- 5.

I Curriculum vitae

Osobní údaje:

Jméno a příjmení:	Vítězslav Novák
Datum a místo narození:	21. 04. 1989, Pelhřimov
Stav:	Svobodný
Adresa:	Sokolská 500, 696 32 Ždánice

Dosažené vzdělání:

2004 - 2008	Maturitní zkouška; SPŠ stavební ak. St. Bechyně, Jihlavská 628, 580 01 Havlíčkův Brod; Stavebnictví - Pozemní stavitelství
2008 - 2012	Bc. Stavebně materiálové inženýrství; Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno; Bakalářská práce: Návrh vhodných alternativních surovin pro výrobu super izolačních keramických tvarovek
2013	Systém managementu kvality; Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Centrum manažerstva kvality v stavebnictve; Systém management kvality ve smyslu požadavků ČSN EN ISO 9001:2009
2012 – 2014	Ing. Stavebně materiálové inženýrství; Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno; Diplomová práce: Vývoj pokročilých zdicích prvků pro novodobé obvodové konstrukce

Pracovní zkušenosti:

2008	Odborná stáž; PSJ, a.s., Jiráskova 3960, 586 01 Jihlava; Asistent stavbyvedoucího, kontrolní činnosti, zástup stavbyvedoucího, vedení a kontrola prací; Obor nebo sektor: Pozemní a dopravní stavby
2009 - 2012	Kreslič; Ing. Miloslav Beran, Kamarytova 394, 396 01 Humpolec; dlouhodobá spolupráce - ArchiCAD, projekce RD a průmyslových objektů, zelená úsporám; Obor nebo sektor: Architektonická a inženýrská činnost
2013	Odborná stáž; PRESTA mix, STAPPA mix, Heršpická 993/11b, 639 00 Brno; asistent technologa, zkušebna, řešení reklamací; Obor nebo sektor: Výroba a zpracování stavebních hmot – transport beton
2014 - současnost	Fakulta stavební – Centrum AdMaS; Fakulta stavební – Centrum AdMaS, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno; Obor nebo sektor: Vědeckovýzkumná činnost v oblasti stavební fyziky, tepelná technika

J Abstrakt

Jedním z nejčastějších degradačních vlivů působících na stavební konstrukce je zvýšená vlhkost. V extrémním případě se může jedna až o vystavení konstrukce záplavám. Působení zvýšené vlhkosti na stavební konstrukci má velmi často za následek její degradaci nebo změnu vlastností. Proti nadměrnému zatěžování stavební konstrukce vlhkostí je možné volit celou řadu opatření. Nejběžnějším opatřením proti působení vlhkosti je použití hydroizolace. Nicméně použití hydroizolace je podmíněno bezchybným technologickým provedením. Dalším efektivním způsobem, jak chránit objekt před zatížením nadměrnou vlhkostí je volba vhodného umístění stavby. Stavebních pozemků, které by splňovaly tuto podmínku, však rychle ubývá nebo výrazně stoupá jejich cena. Z těchto důvodů se více a častěji začínají využívat pro stavební účely, především pro výstavbu rodinných domů, pozemky, kde je riziko zatížením vlhkostí předem známé. Disertační práce je zaměřena na vývoj a výzkum nejběžněji používaných zdících systémů z pálených zdích prvků. Jedná se o návrh a ověření zdícího systému, jehož jednotlivé prvky, součásti a systém jako celek budou svými vlastnostmi předurčen pro použití do oblastí se zvýšeným rizikem záplav.

One of the most widespread causes of building deterioration is high moisture, which in extreme cases may even arrive as floods. The action of high moisture in a structure often results in damage or alteration of properties, but it can be mitigated with various protective measures, most commonly waterproofing. However, the efficacy of waterproofing depends of flawless implementation. Another effective form of protection against high moisture is the correct choice of location, but the number of suitable construction plots is rapidly decreasing or their price is too high. This is why new construction, particularly family homes, now occurs even in locations known for the increased risk of high moisture. This doctoral thesis focuses on the research and development of the most common masonry systems with structural clay tiles designed to withstand application in flood areas thanks to the special properties of the individual elements, components, and the system as a whole.