



# 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

## DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Vítězslav Novák

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2021

## 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 zdících prvků. Jedná se o návrh a ověření zdícího systému, jehož jednotlivé prvky, součásti a systém jako celek budou svými vlastnostmi předurčeny pro použití do oblastí se zvýšeným rizikem záplav.

## KLÍČOVÁ SLOVA

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

## ABSTRACT

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.

## KEYWORDS

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

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ing. Vítězslav Novák *Vývoj a výzkum prvků keramických zdících systémů pro oblasti se zvýšeným rizikem záplav*. Brno, 2021. 151 s. a 4 s. přílohy. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

A	Úvod .....	7
B	Teoretická část .....	9
	<b>1. Povodně – záplavové oblasti .....</b>	<b>9</b>
	1.1 Míra povodňového ohrožení .....	12
	<b>2. Vlhkostní zatížení stavební konstrukce .....</b>	<b>13</b>
	2.1 Hydrofyzikální namáhání staveb .....	14
	2.2 Mechanické namáhání .....	15
	2.3 Korozní namáhání .....	16
	2.4 Klasifikace vod působících na stavbu .....	16
	<b>3. Ochrana před působením zvýšené vlhkosti .....</b>	<b>18</b>
	3.1 Přímé hydroizolační principy .....	18
	3.2 Nepřímé hydroizolační principy .....	18
	3.3 Hydrofobizace .....	19
	3.3.1 Stanovení povrchové energie .....	20
	<b>4. Zdicí systémy .....</b>	<b>25</b>
	4.1 Pálené zdicí prvky .....	26
	4.2 Vápenopískové zdicí prvky .....	31
	4.3 Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem .....	32
	4.4 Pórobetonové tvárnice .....	32
	4.5 Zdicí prvky z umělého kamene .....	33
	4.6 Zdicí prvky z přírodního kamene .....	33
	<b>5. Mechanismy transportu vlhkosti v pórovém prostředí .....</b>	<b>34</b>
	5.1 Difúze .....	35
	5.2 Šíření kapalně fáze .....	37
C	Cíl práce .....	40
D	Experimentální část .....	41
	<b>6. Metodika prováděných prací .....</b>	<b>41</b>
	6.1 Etapa I. – Vývoj technologie hydrofobizační úpravy pro pálené zdicí prvky .....	42
	6.2 Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdicích prvků .....	43
	6.3 Etapa III. – Studium změny klíčových vlastností zdicích prvků po aplikaci hydrofobizační úpravy .....	44
	6.4 Etapa IV. – Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí .....	45

6.5	Etapa V. – Návrh metodiky zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav .....	46
6.6	Etapa VI. – Návrh metodiky pojení zdících prvků a její ověření .....	46
6.7	Etapa VII. – Poloprovozní ověření navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav .....	47
<b>7.</b>	<b>Přehled prováděných zkoušek.....</b>	<b>48</b>
7.1	Zdící tvarovky .....	48
7.2	Povrchové úpravy .....	54
<b>8.</b>	<b>Přehled použitých materiálů pro jednotlivé práce .....</b>	<b>57</b>
8.1	Pálený zdící prvek.....	57
8.2	Hydrofobizační přípravky určené pro hydrofobizaci páleného zdícího prvku .....	61
8.3	Pigment .....	65
8.4	Povrchová úprava .....	65
8.5	Hydrofobizační přípravek pro hydrofobizaci zvolených maltových směsí povrchové úpravy.....	65
8.6	Materiály zvolené pro pojení pálených zdících tvarovek ve styčných spárách .....	66
<b>9.</b>	<b>Vyhodnocení jednotlivých etap.....</b>	<b>68</b>
9.1	Etapa I. – Vývoj technologie hydrofobizační úpravy pro pálené zdící prvky .....	68
9.1.1	Účinnost zvolených hydrofobizačních přípravků.....	68
9.1.1.1	Hydrofobizační přípravky převzaté z prací na obdobné téma.....	69
9.1.1.2	Vytipované hydrofobizační přípravky .....	72
9.1.1.3	Vyhodnocení účinnosti zvolených hydrofobizačních přípravků .....	82
9.1.2	Použití pigmentu při hydrofobizaci pálených zdících prvků .....	84
9.1.2.1	Vyhodnocení použití pigmentu při hydrofobizaci pálených zdících prvků .....	86
9.1.3	Vliv stáří hydrofobizačního roztoku na kapilární nasákavost .....	86
9.1.3.1	Vyhodnocení stáří hydrofobizačního roztoku na kapilární nasákavost .....	88
9.1.4	Komparace povrchové energie a kapilární absorpce .....	88
9.2	Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdících prvků .....	92
9.2.1	Přirozené stárnutí .....	92
9.2.2	Umělé stárnutí .....	94
9.2.3	Stárnutí vlivem UV záření .....	95
9.2.4	Stárnutí vlivem extrémních teplot a UV zářením .....	97
9.2.5	Vyhodnocení trvanlivosti vybraných hydrofobizačních úprav .....	99
9.2.6	Holoubka hydrofobizačních úprav.....	101

9.3	Etapa III. – Studium změny klíčových vlastností zdících prvků po aplikaci hydrofobizační úpravy.....	104
9.3.1	Změna vlastností střepeu páleného zdícího prvku.....	104
9.3.2	Změna kapilárních vlastností.....	105
9.3.3	Vliv hydrofobizační úpravy na životní prostředí.....	106
9.3.4	Přidržnost maltových směsí na hydrofobizovaný povrch.....	109
9.3.5	Vyhodnocení vybraných vlastností hydrofobizovaných zdících prvků.....	111
9.4	Etapa IV. - Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí.....	111
9.4.1	Vyhodnocení hydrofobizace maltových směsí.....	115
9.5	Etapa V. – Návrh metodiky zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav.....	115
9.6	Etapa VI. – Návrh metodiky pojení zdících prvků a její ověření.....	117
9.6.1	Vyhodnocení pojení zdících tvarovek v oblasti styčné spáry.....	120
9.7	Etapa VII. – Poloprovozní ověření navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav.....	121
9.7.1	Zátopové zkoušky.....	122
E	Souhrn a diskuse výsledků.....	130
	<b>10. Ekonomické zhodnocení použití navrženého zdícího systému.....</b>	<b>133</b>
	<b>11. Přínos pro vědní obor.....</b>	<b>135</b>
	<b>12. Přínos pro praxi.....</b>	<b>135</b>
F	Závěr.....	136
	Použitá literatura.....	139
	Seznam tabulek.....	144
	Seznam obrázků.....	146
	Seznam grafů.....	148

## A Úvod

První cihly v podobě hrud obdobného obdélníkového tvaru z bláta (mazlavé hlíny a vody) sušené na slunci se objevily již před více než 7000 lety př. n. l.. Postupem času se začaly zdící prvky z hlíny formovat do pravidelných tvarů a vypalovat. První průmyslové výroby pálených zdících prvků se začaly objevovat v letech 1800-1900 našeho letopočtu. Z těchto uvedených údajů je patrné, že stavby ze zdících prvků jsou jedny z nejstarších druhů stavebních konstrukcí vůbec. Současné zdící systémy jsou komplexní systémy pro vertikální i horizontální konstrukce, kdy podstatnou část vertikálních systémů představuje využití pálených zdících prvků [1].

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 degradační 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 vyskytnout 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.

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. V případě působení vlhkosti v kapalné fázi se nejčastěji jedná o degradační účinky na fyzikálně technické vlastnosti. Nicméně dlouhodobé působení vlhkosti v kapalné formě může mít za následek i celou řadu významnějších problémů jako je například narušení statiky celé konstrukce nebo změna vnitřního mikroklimatu vlivem vzniku plísní. 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 [2].

V případě povodní je možné se proti jejich účinkům chránit několika základními způsoby. Je možné budovat protipovodňová opatření, tak aby bylo zamezeno vzniku povodní. 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 zdících prvků, je ochrana před účinky záplav poměrně problematická [3]. Dojde-li k zaplavení objektu ze strany interiéru nebo exteriéru, případně obojím, je následný proces vysychání a vysoušení velmi zdoluhavý, nákladný a pracný. Jako efektivní opatření by v tomto případě mohla fungovat hydrofobizace pálených zdících prvků, která by mohla cíleně snížit nasákavost zdících prvků, případně zmírnit vztlínání vlhkosti v konstrukci.



## B Teoretická část

### 1. Povodně – záplavové oblasti

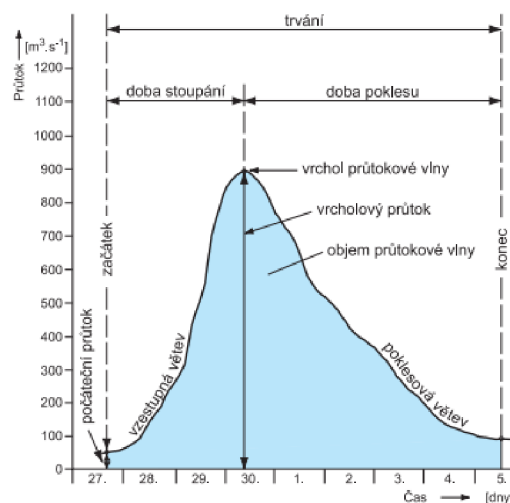
Dojde-li k výraznému zvýšení hladiny vodního toku, vznikají povodně. Pokud se hladina vodního toku zvýší nad úroveň koryta, dojde k rozlíví vody do krajiny a tento jev se označuje jako záplava nebo-li inundace. Průsečík hladiny vylitého vodního toku se zemským povrchem definuje záplavovou čarou. Území, které je ohraničené záplavovou čarou pak označujeme za záplavové území [4].

Povodeň může být způsobena přírodními jevy, jako je tání sněhu, dešťové srážky a chod ledu. Tento typ povodní označujeme za přirozené povodně. Dále rozeznáváme povodně zvláštní, které bývají nejčastěji způsobeny poruchou vodního díla. Povodňovou aktivitu rozlišujeme na první, druhý a třetí stupeň povodňové aktivity. Popis jednotlivých stupňů povodňové aktivity je uveden v následující tabulce.

Tab. 1. Stupně povodňové aktivity [3]

Stupeň povodňové aktivity	Slovní označení	Popis	Akce
První	Stav bělosti	Zvýšená pozornost vodního toku	Zahajuje činnost hlídková služba
Druhý	Stav pohotovosti	Rozlív vody mimo koryto bez významných škod	Aktivuje se povodňový orgán a další účastníci ochrany před povodněmi
Třetí	Stav ohrožení	Bezprostřední nebezpečí vzniku škod a ohrožení života	Provedení povodňových zabezpečovacích prací dle povodňového plánu

Povodně jsou spojeny se specifickou průtokovou vlnou, označovanou jako povodňová vlna. Průtoková vlna je obecně období přechodného zvětšení průtoku bez ohledu na vznik tohoto jevu. Průtoková vlna je charakterizována kulminačním průtokem a svým objemem.

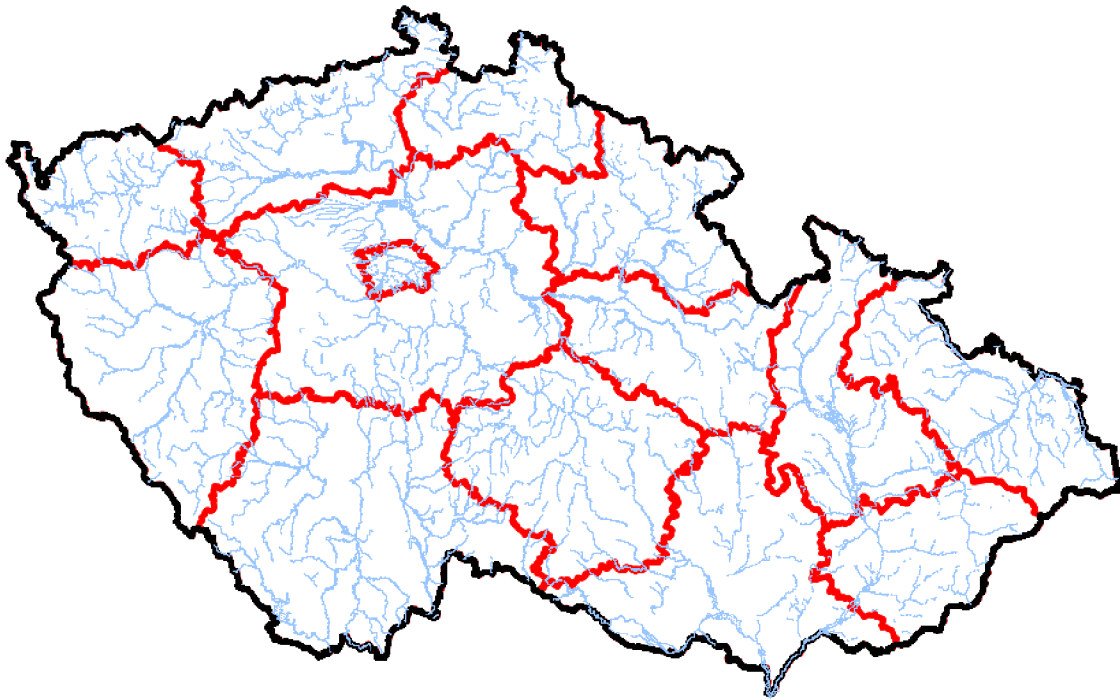


Obr. 1 Hydrogram průtokové vlny [2]

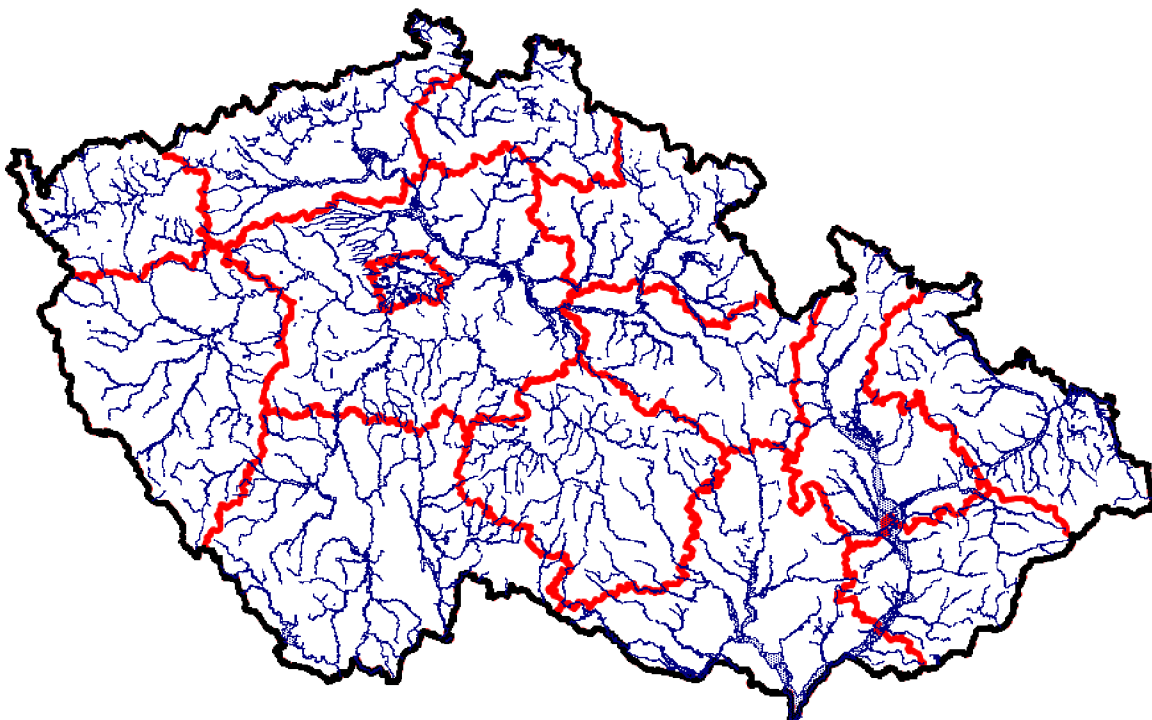
Povodně je možné rozdělit dle jejich vzniku do tří základních skupin. Dešťové povodně jsou vyvolány trvalými nebo přivalovými srážkami. Především v případě přivalových srážek může docházet k zatížení konstrukce, které je vyvoláno kinetickou energií tekoucí vody. Sněhové povodně vznikají v důsledku náhlého tání sněhu. Ledové povodně jsou také spojeny se zimním obdobím a náhlým oteplením. Je charakteristické možným vznikem ledových zácp, v důsledku kterých dochází k vzestupu hladiny vody. Jednotlivé druhy povodní se mohou projevat i současně.

Povodňové opatření dělíme do tří kategorií, přípravná opatření, opatření při nebezpečí povodní a opatření po povodni. Přípravná opatření zahrnují stanovení záplavových území, povodňových plánů, vytváření hmotných rezerv a přípravu účastníků povodňové ochrany. Opatření při povodni jsou činnosti povodňové služby, vyklízení záplavových území, zabezpečovací a záchranné práce. Opatření po povodni se rozumí dokumentace a vyhodnocení vzniklé situace a obnova škod.

V České republice jsou stanoveny záplavové území správci vodních toků dle vyhlášky č. 79/2018 Sb. Záplavová území jsou stanovována pro dobu opakování povodní průměrně jedenkrát za 5, 20, 100 a 500 let. Pro toto označení se vžil pojem pětiletá, dvacetiletá, stoletá a pětisetletá voda. Také je možné se setkat s označením Q5, Q20, Q100 a Q500. Je však nutné si uvědomit, že pokud se bavíme například o pětileté vodě, není dáno, že přichází přesně jednou za 5 let, ale zhruba 10krát za 50 let, či 100krát za 500 let. Jedná se tedy spíše o jakési vyjádření míry zvýšení průtoku objevující se v dané oblasti. Dle údajů Asociace českých pojišťoven je v České republice 100letou vodu ohroženo přibližně 400 tisíc lidí a více než 3000 obcí. V záplavových oblastech jsou pak správcem vodního toku vymezeny aktivní záplavové zóny záplavových území. Tyto zóny zahrnují koryta řek a související vodní toky, území mezi korytem řeky a stavbou vodního díla na ochranu před povodněmi, území s vysokým stupněm ohrožení, a některé specifické oblasti se středním stupněm ohrožení. V těchto aktivních zónách je zakázáno umísťovat, povolovat a provádět stavby s výjimkou vodních děl. Dále se zde nesmí provádět těžba nerostných surovin, skladování odplavitelného materiálu, zřizovat oplocení, kempy, tábory a dočasná ubytovací zařízení [3, 4].



Obr. 2 Mapa 5tiletá voda [5]



Obr. 3 Mapa 100letá voda [5]

## 1.1 Míra povodňového ohrožení

Dle intenzity povodně  $IP$  je možné definovat povodňové ohrožení. Pro určení povodňového ohrožení je nutné nejprve stanovit intenzitu povodně. Intenzita povodně vyjadřuje ničivost povodně a je funkcí hloubky vody  $h$  [m] a rychlosti vody  $v$  [m/s] a je stanovována pro všechny doby opakování [4]:

$$IP_i = \begin{cases} 0 & h = 0 \text{ m} \\ h & h > 0 \text{ m}; v \leq 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ h \cdot v & h > 0 \text{ m}; v \geq 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{cases} \quad (1)$$

$i$  - povodňový scénář odpovídající kulminačnímu průtoku za dobu  $N_i$  let

$h$  - hloubka vody [m]

$v$  - rychlost vody [m/s]

Povodňové ohrožení se pak stanoví ze vztahu:

$$R_i = (0,3 + 1,35 \cdot IP_i) \cdot p_i \quad (2)$$

kde:

Pravděpodobnost  $p_i = 1 - e^{-\frac{1}{N_i}}$ ; resp.  $p_i \approx \frac{1}{N_i}$  pro  $N \geq 5$  (3)

$N_i$  - období [roky]

Dle výsledné hodnoty povodňového ohrožení a intenzity povodně je pro danou dobu  $N_i$  let stanovena míra ohrožení v rozmezí 1-4. Klasifikace míry ohrožení je uvedena v následující tabulce Tab. 2. Pro mapové podklady je definována příslušná barva označující území s danou klasifikací ohrožení [3,4].

Tab. 2. Míra povodňového ohrožení [4]

Klasifikace míry ohrožení	Slovní vyjádření ohrožení	Parametry	Barevné označení
1	Reziduální	$P < 0,0033$ ( $N > 300$ )	Žluté
2	Nízké	$R < 0,01$	Oranžové
3	Střední	$0,01 \leq R < 0,1$	Modré
4	Vysoké	$R \geq 0,1$ nebo $IP \geq 2$	Červené

Z pohledu pojištění majetku je nutné rozlišovat pojem povodně a záplavy. Pojišťovny pohlíží na povodně, jako na zaplavení území vodou vylitou z břehu vodního toku nebo vodního díla. Záplava je pak definována jako vytvoření souvislé voní plochy, která je způsobena z jiných zdrojů, než vodních toků. Jedná se tedy především o jevy spojené s dešťovými srážkami nebo táním sněhu. V souvislosti s těmito skutečnostmi může dojít k zaplavení nemovitostí, jak ze strany exteriéru, tak i ze strany interiéru odpadním potrubím. Pojišťovny vychází ze svých vlastních mapových podkladů, ve kterých rozlišují čtyři zóny nebezpečí výskytu povodně nebo záplavy. Tyto mapové podklady zohledňují přítomnost vodních toků, reliéf terénu a výskyt

protipovodňových opatření. Přehled povodňových zón dle pojišťoven je uveden v následující tabulce Tab. 3. [6].

Tab. 3. Zóny výskytu povodně nebo záplav [6]

Povodňová zóna	popis
Zóna 1	Zóna se <b>zanedbatelným nebezpečím</b> výskytu povodně/záplavy
Zóna 2	Zóna s <b>nízkým nebezpečím</b> výskytu povodně/záplavy
Zóna 3	Zóna se <b>středním nebezpečím</b> výskytu povodně/záplavy
Zóna 4	Zóna s <b>vysokým nebezpečím</b> výskytu povodně/záplavy

Pojišťovny jsou ochotny zohlednit při zřizování pojistných smluv umístění domácnosti ve vyvýšeném patře, stavbu na vyvýšeném místě, vybudování protipovodňových zábran a dalších technických prvků, které snižují riziko škod způsobených povodně. Obecně platí, že při pojištění stavby v zóně 1 nemá povodňové riziko vliv na výši pojistného. Již v zóně 2 u některých pojišťoven vzniká zvýšení pojistného, vlivem rizika povodně. Stavby v zóně 3 jsou u některých společností již nepojistitelné na riziko povodně, případně je pojistné výrazně vyšší. Pro zóny 4 platí, že stavby v této oblasti jsou nepojistitelné [6].

## 2. Vlhkostní zatížení stavební konstrukce

Stavba, či stavební konstrukce je v průběhu celé své životnosti zatížena namáháním vlhkostí. Vlhkost na stavbu může působit ve všech formách skupenství, plynném, kapalném i pevném [7, 8, 9, 10, 11].

V případě použití keramického zdícího systému může vlivem zvýšené vlhkosti docházet k rozpadu a degradaci kusového staviva a zdících pojiv, což vede k postupné degradaci celého zdiva, až může dojít ke ztrátě únosnosti a spolupůsobení konstrukce [3]. Klasifikace zdiva dle vlhkosti je dána normou ČSN 73 0610 [16]. Určení kritické hodnoty vlhkosti zdiva, zásadní pro vznik poruch zdiva, je velmi důležitým krokem k identifikaci zatížení konstrukce vlhkostí [12, 13].

Tab. 4. Klasifikace zdiva dle vlhkosti dle ČSN 73 0610 [14]

Vlhkost zdiva – w [%]	Klasifikace zdiva dle vlhkosti
< 3,0	Velmi nízká vlhkost
3,0 – 5,0	Nízká vlhkost
5,0 – 7,5	Zvýšená vlhkost
7,5 – 10,0	Vysoká vlhkost
> 10,0	Velmi vysoká vlhkost

Vlhkost je jedním z nejčastějších druhů zatížení stavby či stavební konstrukce. Vlhkost může stavební konstrukci namáhat samotná či v kombinaci s dalšími faktory. Vlhkost se velmi často stává také nositelem agresivních látek, v důsledku jejich působení dochází ke změně chemických, mechanických i fyzikálních vlastností [15,16]. Vliv vlhkosti je tedy nutné hodnotit jednak z pohledu degradace konstrukce jako celku, tak z pohledu degradace jednotlivých materiálů v konstrukci. Vliv vlhkosti na stavbu způsobuje dva druhy změn v konstrukci, změny

reverzibilní (vratné) a ireverzibilní (nevratné). Vratnými změnami se rozumí změny, které po konci vlhkostního zatížení nejsou na konstrukci či materiálu pozorovatelné, nevratné změny naopak trvají i po pominutí vlhkostního zatížení [17, 18, 8, 11]. V případě dlouhodobého namáhání zdiva vlhkostí, v důsledku kterého vlhkost zdiva stoupne na úroveň zvýšené až vysoké vlhkosti, dochází zpravidla k hromadění hygroskopické soli na povrchu i ve struktuře – tvorba výkvětů [19,20,21]. Dále je tento proces často doprovázen tvorbou plísní, řas a mechů na povrchu. Náchylnost tvorby výkvětů je dána salinitou zdiva – obsahem solí ve zdivu.

Tab. 5. Klasifikace zatížení zdiva obsahem solí [14]

Stupeň zasolení zdiva	Obsah solí v mg/g vzorku a v procentech hmotnosti					
	Chloridy		Dusičnany		Sířany	
	mg/g	% hmotnosti	mg/g	% hmotnosti	mg/g	% hmotnosti
Nízký	< 0,75	< 0,075	< 1,0	< 0,1	< 5,0	< 0,5
Zvýšený	0,75 až 2,0	0,075 až 0,20	1,0 až 2,5	0,1 až 0,25	5,0 až 20,0	0,5 až 2,0
Vysoký	2,0 až 5,0	0,20 až 0,50	2,5 až 5,0	0,25 až 0,50	20 až 50	2,0 až 5,0
Velmi vysoký	> 5,0	> 0,50	> 5,0	> 0,50	> 50	> 5,0

## 2.1 Hydrofyzikální namáhání staveb

Hydrofyzikální namáhání staveb je rozdílné pro každou stavbu. Určuje se průzkumem prostředí, kde bude stavba umístěna a dále také hydroizolační analýzou provozu a vlastností konstrukce. Dle druhu hydroizolačního namáhání se následně provádí návrh hydroizolace stavby. Hydrofyzikální namáhání lze rozdělit na několik základních druhů [7].

### 2.1.1 Namáhání vodní párou [7]

Namáháním vodní párou se rozumí namáhání konstrukce v souvislosti s kondenzací vodní páry na vnitřním povrchu konstrukcí. S ohledem na to je nutné všechny stavební konstrukce navrhovat tak, aby nedocházelo ke kondenzaci. Toho je možné dosáhnout vhodně zvolenými materiály a jejich tloušťkami, větráním konstrukcí nebo vkládáním parozábran do navrhovaných konstrukcí. Je-li to možné, může se kondenzaci vodní páry předcházet také úpravou teploty a vlhkosti vnitřního vzduchu.

V některých, výjimečných případech je možné připustit kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu konstrukcí. Tato kondenzace však nesmí mít vliv na vlastnosti a trvanlivost konstrukce, ani na hygienickou a estetickou kvalitu vnitřního prostředí.

### 2.1.2 Namáhání vlhkostí přilehlého pórovitého prostředí [7]

V tomto případě je konstrukce namáhána vlhkostí, jež za daných podmínek obsahuje přilehlé pórové prostředí. Jako ochrana proti tomuto způsobu namáhání se nejčastěji využívají vodonepropustné materiály, které přeruší kapilární a difúzní tok vodní páry. Jedná se především o nátěry, pásy, folie, kovové plechy, nebo i elektrokinetické metody. Jako velmi účinnou ochranu před tímto druhem namáhání je možné využít také větranou vzduchovou mezeru.

### 2.1.3 Namáhání vodou stékající po povrchu konstrukcí [7]

Toto namáhání se týká svislých a sklonitých stavebních konstrukcí, na které působí voda v kapalném skupenství, stékající vlivem gravitace po povrchu konstrukce.

V případě namáhání vodou stékající po povrchu konstrukcí se stěnové konstrukce nad terénem ponechávají bez speciální ochrany, případně se chrání kontaktní hydroizolací nebo předsazenými obklady. Druh případného hydroizolačního opatření je volen dle požadované trvanlivosti a dalších okolností přímo souvisejících s konkrétní stavbou. U částí stěn pod terénem je nejčastěji využíváno povlakových hydroizolací, které přechází spojitě z oblasti pod terénem na stěny nad terénem. V oblasti nad terénem se tyto hydroizolace chrání vhodným odolným materiálem – např. obklady.

### 2.1.4 Namáhání vodou prosakující přilehlým pórovitým prostředím [7]

Jedná se o namáhání, které vzniká v souvislosti s prosakující vodou v kapalném skupenství z okolního pórového prostředí nebo okolní stavební konstrukce. V místech hydroizolačních konstrukcí může v důsledku tohoto namáhání dojít také k hromadění vody a následkem toho k malým hydrostatickým tlakům.

### 2.1.5 Namáhá tlakovou vodou [7]

Namáhání tlakovou vodou je vyvoláno vodou v kapalném skupenství, která definovatelným hydrostatickým nebo hydrodynamickým tlakem působí na konstrukci. V oblasti pod hladinou spodní vody se tlak šíří všesměrně. Tlak vody je vždy určen, u vod podzemních, dle nejvyšší předpokládané hladiny vody. Toto namáhání může působit jak z vnitřní strany, tak i z vnější strany konstrukce, s ohledem na tuto skutečnost je nutné navrhnout vhodné opatření.

Navržené hydroizolace musí být v tomto případě spojitě, plně obklopovat konstrukci v oblasti pod hladinou spodní vody. Hydroizolace musí být celistvé a odolné proti stanovenému tlaku vody.

### 2.1.6 Namáhání vodou v pevném skupenství [7]

Jedná se o namáhání, které vzniká, pokud na konstrukci působí voda ve formě sněhu, ledu nebo námrazy. Toto namáhání je možné eliminovat samotným návrhem konstrukcí, tak aby nemohlo dojít k tomuto namáhání. V případě sněhové masy je nutné řešit toto namáhání také z pohledu bezpečného provozu a bezpečnosti osob v těsném okolí konstrukce.

## 2.2 **Mechanické namáhání**

Namáhání vzniká v případě, kdy dochází k působení činitelů, které vytváří v hydroizolačních vrstvách stavy napjatosti. Jedná se především o vlastní hmotnost hydroizolačních konstrukcí a vlastních konstrukcí staveb, tlak hornin, vody a větru. Přetvoření může působit krátkodobě i dlouhodobě. Veškeré hydroizolační opatření stavby musí být odolné proti tomuto možnému namáhání, do té míry, aby nedošlo ke ztrátě funkčnosti.

Eliminace toho namáhání se doporučuje vhodnou volbou dilatačních vrstev a spár, tak aby byl eliminován přenos napětí do hydroizolačních vrstev [7].

## 2.3 Korozní namáhání

Jedná se především o namáhání související s nevratnými změnami hydroizolačních konstrukcí. Jedná se o [7]:

- Chemické vlivy [7]

Jedná se především o působení vody a agresivních látek obsažených ve vodě, v okolním vzduchu, případně v okolních materiálech. Chemické vlivy mají za následek změnu látkového složení hydroizolačních materiálů, především oxidaci.

- Teplotní vlivy [7]

Jedná se o působení jak kladných, tak záporných teplot. Tyto vlivy působí především na termoplastické látky a rozměrovou stálost materiálů, čímž jsou obvykle narušeny mechanické vlastnosti hydroizolačních materiálů. Zvýšené teploty také přispívají k rychlejší chemické korozi a stárnutí materiálů.

- Biologické vlivy [7,22]

Toto namáhání představuje působení živočichů, rostlin a mikroorganismů a jejich produktů. Tedy především hlodavci, kořeny rostlin, plísně, houby a bakterie. Tento vliv může působit současně chemicky, mechanicky i biologicky.

- Elektromagnetické vlivy [7]

Hydroizolační materiály jsou v tomto případě vystaveny působení infračerveného a ultrafialového záření, bleskům, bludným proudům a obdobným faktorům.

- Atmosférické vlivy [7]

Jedná se velmi často o kombinaci chemického, tepelného či elektromagnetického vlivu přírodního původu.

## 2.4 Klasifikace vod působících na stavbu

V rámci své životnosti jsou stavby namáhány vodou, která na ně působí v různých formách. O druhu hydrofyzikálního namáhání působícího na stavbu rozhoduje celá řada faktorů, jako například situování objektu, osazení do terénu, provoz uvnitř a vně objektu. Hydrofyzikální namáhání je možné rozdělit do několika skupin [7].

### 2.4.1 Atmosférická voda [7]

Atmosférickou vodu lze rozdělit na dvě hlavní podskupiny. Jedná se o vodu působící na stavbu prostřednictvím srážek a o vodu působící na stavbu formou vlhkosti vnějšího vzduchu. Voda působící ve formě srážek může na stavbu působit jak ve formě kapalné (déšť), tak ve formě pevné (sníh). Voda ve formě srážek a vlhkosti vnějšího vzduchu netvoří obvykle závažné



zatížení pro stavby, může však dojít k výjimečným stavům, jako jsou například přivalové deště či sněhové kalamity, čímž se zatížení výrazně zvyšuje.

#### 2.4.2 Povrchová voda [7]

Jedná se o stékající povrchovou vodu či vodu nacházející se v přírodních či umělých tocích a nádržích. Za běžných okolností tato voda netvoří žádné nebezpečí pro stavbu, avšak v extrémních situacích, jako jsou povodňové stavy, může mít fatální následky, a to jak v důsledku vlhkostního, tak statického zatížení na stavbu.

#### 2.4.3 Podpovrchová voda [7]

Podpovrchovou vodou rozumíme veškerou vodu obsaženou v horninách a zeminách pod úrovní terénu. Voda se zde vyskytuje ve formě zemní vlhkosti či ve formě podzemní vody. Podzemní voda nejčastěji působí na konstrukce průsakem a je nebezpečná především díky obsahu látek, které se do ní dostávají rozpuštěním hornin a zemin, jimiž prosakuje. V případě podzemní vody může však dojít i k mechanickému namáhání konstrukce takzvanou tlakovou vodou.

#### 2.4.4 Provozní voda [7]

Provozní voda je voda obsažená ve vzduchu uvnitř budovy, ve formě vzdušné vlhkosti, jejíž zdrojem je užívání objektu či technologická zařízení instalovaná v objektu. Dále se může jednat o vodu v kapalné formě taktéž související s užíváním objektu.

#### 2.4.5 Technologická voda [7]

Technologická voda je voda, která je vnášena do objektu v průběhu realizace stavby či její rekonstrukce. Jedná se o vodu související s mokřými technologickými procesy. Tato voda zůstává, při správném technologickém postupu, v konstrukci pouze po krátkou dobu od provedení technologického procesu, následně dojde k jejímu odpaření a konstrukce jí již dále není zatížena.

#### 2.4.6 Kondenzovaná voda [7]

Kondenzovaná voda vzniká jako projev vody, obsažené ve vnitřním či venkovním prostředí ve formě vzdušné vlhkosti, která v závislosti na teplotě a tlaku jednotlivých prostředí a difuzních vlastnostech použitých materiálů zkondenzuje na povrchu či ve struktuře materiálu/konstrukce.

#### 2.4.7 Zemní vlhkost [7]

Jedná se o vodu vázanou v pórové struktuře hornin sorpčními a kapilárními silami.

### 3. Ochrana před působením zvýšené vlhkosti

Jedním z faktorů, který významnou měrou ovlivňuje životnost stavebních konstrukcí je zvýšená vlhkost. Ke zvýšení vlhkosti může docházet vlivem působení vzdušné a kapalné vlhkosti [23,24,25,7].

Pro ochranu staveb před působením vlhkosti na konstrukci lze využít celou škálu opatření. Obecně lze všechny postupy rozdělit do dvou základních skupin: přímé a nepřímé hydroizolační principy.

#### 3.1 Přímé hydroizolační principy

Podstatou použití přímých hydroizolačních principů je zabránění či omezení šíření vody v konstrukci, tedy použití materiálů přímo určených k hydroizolaci [7].

- Jednouúčelové hydroizolační materiály
- Víceúčelové materiály s hydroizolační funkcí
- Injektáž
- Penetrace a impregnace povrchů těsnícími látkami
- Hydrofobizace povrchů nebo struktury materiálů
- Vzduchové vrstvy
- Hydroakumulační efekt konstrukce
- Elektrokinetické metody
- Tvarové řešení styků
- Těsnění styků

#### 3.2 Nepřímé hydroizolační principy

Podstatou nepřímých hydroizolačních principů je snížení či odstranění hydrofyzikálního namáhání konstrukce, tedy předcházení tomu, aby došlo k namáhání konstrukce působením vody [7].

- Výběr prostředí
- Tvar objektu nebo konstrukce
- Umístění objektu nebo části v prostředí
- Odvodnění prostředí
- Úprava prostředí (úprava parametrů vnitřního vzduchu)
- Dispoziční řešení prostoru
- Poloha materiálů v konstrukci
- Zvýšení povrchové teploty konstrukcí
- Změna provozního režimu konstrukcí

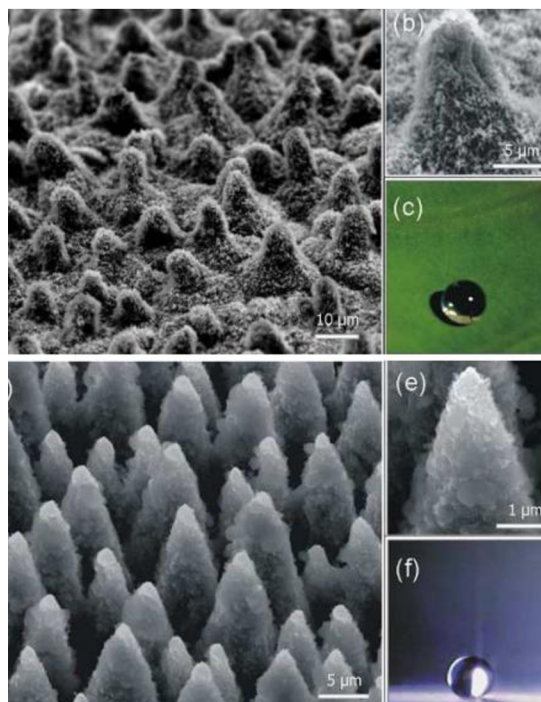
### 3.3 Hydrofobizace

Jedním z přímých hydroizolačních principů je hydrofobizace povrchu. Principem hydrofobizace je vytvoření tenké, vodoodpudivé vrstvy na povrchu stavebních materiálů, díky které dojde ke změně vlastností povrchu. Cílem hydrofobizace povrchu je zabránit pronikání vody v kapalně fázi do pórového systému materiálu, tedy snížení nasákavosti. Tohoto efektu je dosaženo změnou povrchové energie hydrofobizovaného povrchu, tedy zvýšením úhlu smáčivosti pro vodu na rozhraní pevné látky a plynného prostředí. Hydrofobizací nedochází ke změně pórové struktury materiálu, díky čemuž nedochází ke změně difúzních vlastností materiálu. Dle úhlu smáčivosti rozlišujeme povrch na [26,27,28,29]:

- Lyofilní – povrch smáčený kapalinami (povrch smáčený vodou označujeme jako hydrofilní)
- Lyofobní – povrch nesmáčený kapalinami (povrch nesmáčený vodou označujeme jako hydrofobní)

Dle smáčivosti povrchu pro jednotlivé kapaliny je možné rozdělit povrch od velmi dobře smáčivého až po nesmáčivý povrch. Toto rozdělení je definováno dle úhlu smáčivosti, který vytvoří kapka dané tekutiny přisedlá na povrch materiálu [30].

Hydrofobizační činidla jsou zpravidla nepolární sloučeniny, které obsahují delší uhlíkaté řetězce. Tyto řetězce mají za následek změnu vlastností hydrofobizovaného povrchu. Jedná se o hydrofobizační efekt, též označovaný jako lotosový efekt. Toto označení vychází z podobnosti, kdy přirozený povrch lotosového listu vypadá velmi podobně jako hydrofobizovaný povrch materiálu, respektive tento povrch vytváří právě uhlíkaté řetězce směřující od povrchu.



Obr. 4 Lotosový efekt (a) (b) povrch lotosového listu, (c) kapka vody na lotosovém listě, (d) (e) povrchu silanzovaného křemíku, (f) kapka vody na silanzovaném křemíku [31]

### 3.3.1 Stanovení povrchové energie

Atomy a molekuly, které se nachází v povrchové vrstvě, se nachází v odlišném prostředí, než atomy a molekuly v objemové fázi. Molekuly nacházející se v povrchové vrstvě jsou přitahovány molekulami pouze z jedné strany a mají tendence povrchovou vrstvu opouštět, molekuly v objemové fázi jsou přitahovány molekulami ze všech směrů.

V případě kapalin se povrch chová jako pružná blána a snaží se zaujmout co nejmenší velikost, v ideálním případě tvar koule. Tato vlastnost je charakterizována povrchovým napětím.

Pevné látky odolávají působení napětí. Tvar pevných látek je dán spíše mechanickými deformacemi, než povrchovými silami. Pevné látky nemají za běžných podmínek zaujímat nejmenší povrch. Povrchová energie je tedy nejvíce patrná při rozměňování tuhých látek, kdy je nutné vynaložit mechanickou práci [32].

Dojde-li ke zvětšení, vytvoření nového povrchu na fázovém rozhraní, dojde k přechodu molekul z fázového objemu do fázového rozhraní. Tím dojde k vykonání práce, která je úměrná počtu molekul posunutých z objemové fáze k fázovému rozhraní nově vzniklé plochy fázového rozhraní. Jedná se tedy o energii potřebnou ke zvětšení povrchu o jednotkovou plochu. Jedná-li se o fázové rozhraní tuhá látka/plyn mluvíme o povrchové energii, pokud se jedná o fázové rozhraní kapalina/kapalina nebo kapalina/plyn mluvíme o mezifázové energii [32].

Pro stanovení povrchové energie  $\gamma^{total}$  [ $J/m^2$ ] bylo využito nepřímé metody, jejíž princip spočívá v měření kontaktního úhlu přisedlé kapky na sledovaném povrchu. Povrchovou energii je možné stanovit dle acid–base (Lifshitz–Van der Waals) metody. Zároveň dojde ke stanovení parametrů elektron–akceptor a elektron–donor povrchové energie, kdy povrchová energie se skládá právě z apolárních  $\gamma^{LW}$  [ $J/m^2$ ] a polárních  $\gamma^{AB}$  [ $J/m^2$ ] komponent.  $LW$  je celková Lifshitz–Van der Waals interakce a  $AB$  je acid–base nebo elektron–akceptor/elektron–donor interakce [32].

$$\gamma^{total} = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \quad (4)$$

$\gamma^{LW}$  – apolární složka povrchové energie [ $J/m^2$ ]

$\gamma^{AB}$  – Polární složka povrchové energie [ $J/m^2$ ]

Podle Young–Dupr' e rovnice je pak možné vyjádřit acid komponent  $\gamma^+$  [ $J/m^2$ ] (akceptor efekt) a basic komponent  $\gamma^-$  [ $J/m^2$ ] (donor efekt). Kde index  $l$  označuje kapalinu a index  $s$  pevnou látku.

$$(1 + \cos \Theta_l) \gamma_l = 2 \left( \sqrt{\gamma_l^{LW} \gamma_s^{LW}} + \sqrt{\gamma_l^- \gamma_s^+} + \sqrt{\gamma_l^+ \gamma_s^-} \right) \quad (5)$$

$\Theta$  – úhel smáčivosti [ $^\circ$ ]

Z tohoto vztahu je pak možné určit polární komponent  $\gamma^{AB}$  [ $J/m^2$ ] jako:

$$\gamma^{AB} = 2 \sqrt{\gamma_s^+ \gamma_s^-} \quad (6)$$

### 3.3.2 Hydrofobizační přípravky

Nejčastěji se setkáváme s vosky, oleji, syntetickými polymery a silikony. Právě silikony tvoří v současné době nepoužívanější skupinu hydrofobizačních přípravků [33,34,35,36,37,38].

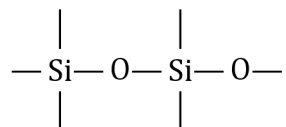
Silikony jsou organokřemičité sloučeniny. Jedná se o křemíkové atomy spojené s atomy kyslíku a zbylé valence jsou obsazeny uhlovodíkovými zbytky – polyorganosiloxany. Výroba silikonů je nejčastěji hydrolyzou alkyl- a arylchlorsilanů, které se získávají přímou syntézou z alkyl- nebo arylchloridů a elementárního křemíku s mědí, která vstupuje jako katalyzátor. Uvedené skupiny mohou být [33]:

- Monofunkční, např. trimethylchlorsilan  $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$
- Difunkční, např. dimethyldichlorsilan  $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$
- Trifunkční, např. methyltrichlorsilan  $\text{CH}_3\text{SiCl}_3$

Tyto akryl- či arylchlorsilany se vodou hydrolyzují na silanoly:

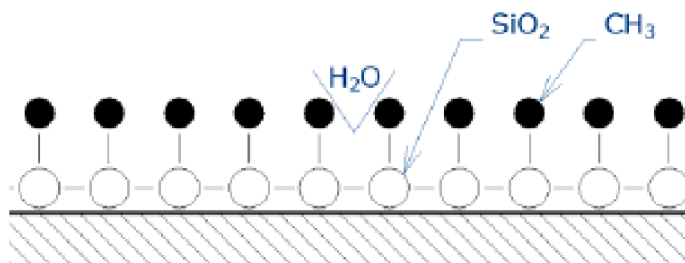
- $\text{R}_3\text{SiCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R}_3\text{SiOH} + \text{HCl}$
- $\text{R}_2\text{SiCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R}_2\text{Si}(\text{OH})_2 + 2 \text{HCl}$
- $\text{RSiCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{RSi}(\text{OH})_3 + 3 \text{HCl}$

Vzniklé silanoly jsou velmi reaktivní a kondenzují se na produkty obsahující siloxanové vazby:

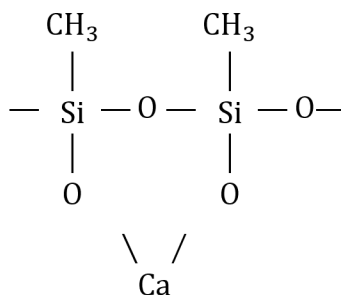


Obr. 5 Schématické znázornění siloxanové vazby [33]

Na zbylé valence jsou navázány uhlovodíkové zbytky – alkyly. Hydrofobita hydrofobizačních přípravků na silikonové bázi je dána především velkým množstvím krátkých uhlíkatých ( $\text{CH}_3$ -,  $\text{C}_2\text{H}_5$ - apod.), orientovaných kolmo k povrchu materiálu a reakcí s ionty vápníku [33,34].



Obr. 6 Grafické znázornění polysiloxanu na povrchu materiálu [34]



Obr. 7 Schématické znázornění polysiloxanu na povrchu materiálu [34]

Vzniklé makromolekulární produkty mohou tvořit lineární řetězce nebo zesíťovanou strukturu. Čím je větší počet uhlovodíkových zbytků, tím se zvyšuje odolnost proti UV záření. Čím jsou řetězce uhlovodíkových zbytků delší, tím se zvyšuje odolnost proti alkáliím. Silikony se vyznačují velkou teplotní odolností v rozmezí - 50 °C až 200 °C, odolností proti náhlým změnám teploty a odolností proti povětrnostním vlivům [34].

Nejběžněji jsou hydrofobizační přípravky vyrobeny na bázích těchto chemických látek:

- Alkoxy silany

Tyto látky je možné též označit jako silany. Jedná se o estery kyseliny křemičité. V případě silanů se používají jako rozpouštědla bezvodé alkoholy (izopropylalkohol) a alifatická rozpouštědla. Ze silanů vzniká na povrchu materiálu gel kyseliny křemičité za přítomnosti vzdušné vlhkosti. Tento gel má za následek mimo jiné také zpevnění povrchu. Silikonové přípravky na této bázi mají velmi dobrou penetrační schopnost a vytváří chemickou vazbu na povrchu křemenných zrn, čímž jsou prakticky neodstranitelné z povrchu materiálu. Přípravky bývají většinou ve formě bezbarvé kapaliny k okamžitému použití nebo jako koncertované roztoky s nutností ředění [39,40].

- Alkoxy siloxany

Tyto látky je možné označit také jako siloxany. Jedná se dnes o nejpoužívanější skupinu silikonových hydrofobizačních přípravků. Rozpouštědlo je nejčastěji lakový benzín, kdy obsah siloxanové pryskyřice je nejčastěji v rozmezí 3-8 %. Jedná se zpravidla o jednosložkové přípravky bezbarvé nebo slabě nažloutlé barvy. Hydrofobizace je dosaženo ihned po odpaření rozpouštědla. Tyto přípravky nemají téměř žádné zpevňující účinky na povrchu. V případě potřeby se dají tyto přípravky odstranit za využití vhodného rozpouštědla. Nevýhodou je přítomnost rozpouštědla, kdy díky němu jsou tyto látky hořlavé a mohou ohrožovat životní prostředí. Při použití těchto přípravků je možné hydrofobizaci obnovovat použitím přípravku na shodné bázi [39,30].

- Vysokomolekulární alkoxy polysiloxany

Jedná se o roztoky polysiloxanových pryskyřic převedené do vodní emulze. Tato skupina silikonových hydrofobizačních přípravků obsahuje stejně jako Alkoxy siloxany určité množství organických rozpouštědel, což může vést k ohrožení životního prostředí. Díky tomu jsou přípravky na této bázi vodou ředitelné, kdy se hydrofobizační efekt dostavuje až po odpaření

vody a rozpouštědla. Díky možnosti ředit tyto přípravky vodou, je možné je nanášet také na vlhké povrchy, zpravidla ne však na již hydrofobizované povrchy. Pro přípravu vodní emulze je zapotřebí dodatečné množství emulgátoru - smáčedla. Tento emulgátor zůstává i po odpaření vody a rozpouštědla na povrchu materiálu, čímž se v první fázi snižuje hydrofobizační efekt oproti Alkoxy siloxanům. Předpokládá se však odplavení emulgátoru například působením srážkové vody, čímž mírně vzroste hydrofobizační efekt. Jedná se zpravidla o kapaliny mléčné barvy [39,30].

Dále je možné použít nízemolekulární polymery. Jedná se pak o dvousložkové přípravky, kdy jedním roztokem je polysiloxan v organickém rozpouštědle (benzín, toluen) a druhým je vhodný katalyzátor [39,30].

- Nízkomolekulární oligomerní alkylalkoxysiloxany

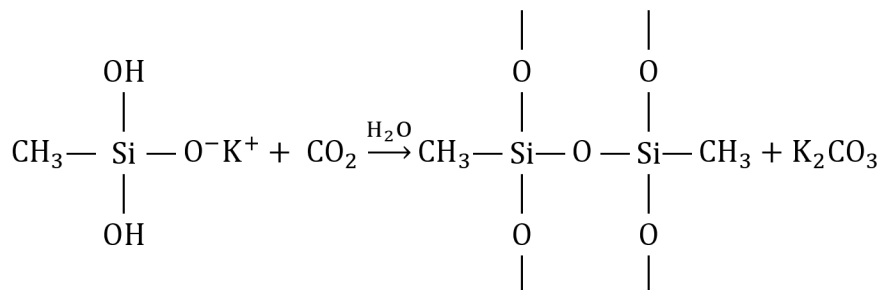
Jedná se o jednosložkové přípravky, reagující samovolně se vzdušnou vlhkostí. Dochází k chemické vazbě na povrchu křemičitých zrn, jsou tedy velmi vhodné k hydrofobizaci silikátových materiálů. Díky chemickému navázání jsou tyto látky velmi odolné mechanickému odstranění. Tyto látky se vyznačují výbornou schopností pronikat do porézních materiálů. Velmi často se vyrábí ve formě past a krému. Použití krémů nebo past je výhodné právě z hlediska hlubší penetrace, kdy nanesený krém nebo pasta postupně proniká do pórové struktury materiálu. Roztoky se vyznačují bezbarvou transparentností. Nevýhodou přípravků na této bázi bývá především jejich vyšší cena [39,30].

- Silikonové mikroemulze

Jedná se o nízkomolekulární silikonové sloučeniny, které při smíchání s vodou vytváří vodní emulzi. Díky tomu, že není nutné využít rozpouštědla pro vytvoření roztoku, nezatěžují životní prostředí a zabezpečují dobrou penetrační schopnost [39,30].

- Silikonáty

Jedná se o hydrofobizující sloučeniny, kdy díky reakci s oxidem uhličitým vzniká gel kyseliny křemičité. Do této skupiny patří především methylsilikonáty – sodné nebo draselné. Tyto látky za přítomnosti vzdušné vlhkosti a CO<sub>2</sub> přechází na gel kyseliny křemičité, kdy v průběhu této reakce vznikají také uhličitany – sodné nebo draselné [39,30].



Obr. 8 Schématické znázornění vzniku gelu kyseliny křemičité [34]

Přítomnost vzniklých uhličitánů může mít za následek vznik výkvětů na povrchu. Předpokládá se však odplavení těchto uhličitánů vlivem působení deště. Výhodou je nízká cena a možnost

aplikace na vlhké povrchy. Jejich hydrofobizační schopnost však není tak významná, jako u následujících skupin [39,30].

Tab. 6. Přehled nejčastěji používaných hydrofobizačních přípravků na organokřemičité bázi [39,30]

Aktivní složka skupiny	Aktivní složka	Použité rozpouštědlo	Doporučený podklad	Nevhodné použití/ poznámka
Silany	Nehydrolyzovaný silan (nízkomolekulární alkylalkoxysiloxan)	Alkohol (isopropanol)	Beton, kámen, omítky, keramické výrobky, sádra	Materiály citlivé na rozpouštědla (polystyrén, asfalt, asfaltové střešní krytiny, polymerové živice)
		Alifatická rozpouštědla	Beton, kámen, omítky, keramické výrobky	
	Octyltrietoxysilan	Vodní emulze	Beton, kámen, omítky, cihly, pórobeton, lehký beton, sádra	
Siloxany	Alkylalkoxysiloxany	Alifatická rozpouštědla	Beton, kámen, omítky, keramické výrobky, sádra (u některých zásadních materiálů lze aplikovat s odstupem několika měsíců)	
Polysiloxany	Alkoxy polysiloxany	Vodní mikroemulze	Beton, cihly, omítky, kámen, sádra	Koncentrát musí být naředěný vodní emulze vodou
		vodní emulze		
Směs oligomerů	Nízkomolekulární oligomerní alkylalkosiloxany	Vodní emulze	Beton, kámen, omítky, cihly, pórobeton, lehký beton, sádra	
Silikonové pryskyřice	Polymerní siloxany	Vodní emulze	Beton, kámen, omítky, cihly, pórobeton, lehký beton, sádra	
Silikonáty	Methylsilikonáty sodné nebo draselné	Vodní roztok	Beton, omítky, cihly, vlhké povrchy	Nátěr je neodstranitelný, není vhodný pro památkové objekty



- Polymery ve formě vodné disperze

Jedná se o prostředky, které obsahují polymer – nejčastěji typy polyakrylátů, ve formě vodní disperze. Jedná se o vodou ředitelné přípravky, díky čemuž je možná aplikace i na vlhké povrchy. Stejně jako u vodných emulzí siloxanových pryskyřic je nutné využití smáčedla, čímž se i v tomto případě snižuje počáteční hydrofobizační efekt. Nejčastější vodní polymerní disperze na akrylátové nebo styrenakrylátové bázi však zanechávají na povrchu film, čímž se může výrazně snížit propustnost pro vodní páry a plyny [39,30].

- Isokyanátové polymery

Jedná se o látky reagující se vzdušnou vlhkostí, za vzniku vysokomolekulárního polymeru. Bývají odolné vůči stárnutí, s vysokým hydrofobizačním efektem. Jsou však velmi drahé a na českém trhu obtížně dostupné [39,30].

- Fluorované polymery

Jedná se o vysokomolekulární polymery s velmi dobrým hydrofobizačním efektem. Jsou rozpustné pouze v rozpouštědlech obsahujících halogenové uhlovodíky. Při jejich použití hrozí riziko ohrožení životního prostředí. Mezi další nevýhodu patří také velmi vysoká cena [39,30].

- Roztoky a emulze vosků

Jsou určeny především na méně porézní materiály a povrchy. Na kvalitu hydrofobizace má vliv především chemická stabilita vosku. Pro tyto účely je možné využít včelí vosk, který však není příliš stálý a vytváří mírně lepivý povrch, čímž přispívá ke zvýšené náchylnosti znečištění povrchu. Tvrdší a houževnatější vosky jsou například vosky na bázi ceresinu [39,30].

## 4. Zdicí systémy

Zdicím systémem se rozumí komplexní nabídka výrobků vzájemně vhodně kombinovatelných, určených pro výstavbu bytových a občanských budov. Základními prvky jednotlivých zdících systémů jsou zdící prvky, na něž jsou dle druhu prvku kladeny specifické požadavky a pro jejich možné použití musí být deklarovány určité vlastnosti. Mimo zdící prvky obsahují zdící systémy zpravidla také maltové směsi pro zdění a omítání.

Dle kvality kontroly výroby je možné zdící prvky rozřadit do kategorie I a kategorie II. Z pohledu pevnosti v tlaku je u zdících prvků deklarována průměrná pevnost v tlaku prvku a normalizovaná pevnost v tlaku prvku. Normalizovanou pevností v tlaku se rozumí pevnost zdícího prvku přepočtená na pevnost v tlaku ekvivalentního zdícího prvku o rozměrech 100 x 100 mm. Dle pevnosti v tlaku prvku se výrobky rozřazují na prvky kategorie I. a kategorie II. Pro výrobky kategorie I. je pravděpodobnost, že nebude dosažena deklarovaná pevnost v tlaku menší než 5 %. Výrobky kategorie II. nespĺňují tuto podmínku. Dle hodnot normalizovaných pevností v tlaku je možné vápenopískové zdící prvky rozřadit do tříd pevnosti v tlaku.

Rozlišujeme následující druhy zdících prvků:

- Pálené zdící prvky
- Vápenopískové zdící prvky
- Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem
- Pórobetonové tvárnice
- Zdící prvky z umělého kamene
- Zdící prvky z přírodního kamene

#### 4.1 Pálené zdící prvky

Proces výroby pálených zdících prvků začíná zpracováním surovin na plastické těsto. Základní složkou při výrobě pálených zdících prvků je cihlářská hlína/cihlářská surovina – zemina s vysokým obsahem jílových minerálů. Do cihlářské suroviny se po jejím odležení přidávají lehčiva, ostřiva, taviva a voda. Zpracování vzniklé směsi se provádí nejčastěji kolovými mlýny a následně protlačením přes protlačovací mísidlo. Z takto zpracovaného plastického těsta je za pomoci vakuového šnekového lisu formován konečný tvar pálených zdících prvků protlačením přes ústí lisu ve formě nekonečného pásu. Tvarovky jsou následně vytvořeny odřezáváním z nekonečného pásu za pomoci ocelových lan. Takto vzniklé meziprodukty se následně řízeně suší a pálí, nejčastěji v komorových a tunelových pecích za vzniku keramické vazby [40].

V dnešní době se nejčastěji používají pro výstavbu tvarovky typu THERM s broušenými ložnými plochami, pro zdění s tloušťkou ložné spáry 1 mm – keramické zdící tvarovky pro přesné zdění. Tento druh pálených zdících prvků výrazně snižuje podíl ložných spár ve zdivu, čímž jsou příznivě ovlivněny výsledné tepelně izolační vlastnosti zdiva [42].

Tyto keramické zdící tvarovky jsou laděny k dosažení maximální tepelně izolační funkce. Toho je dosaženo nízkou objemovou hmotností, která se pohybuje v rozmezí 600 – 800 kg/m<sup>3</sup>, nebo specifickým vnitřním uspořádáním tvaru pálených zdících prvků. Jedná se o děrování úzkými, dlouhými otvory se vzájemným přesazením, které je orientováno do řad kolmo ve směru tepelného toku. V současné době se podíl děrování u pálených zdících prvků pohybuje v rozmezí 50-60 % a na trhu jsou k dostání tvarovky ve variantě bez vyplnění nebo tvarovky s dutinami vyplněnými tepelně izolačním materiálem – minerální vata, polystyren, perlit, ovčí vlna, dřevovláknitá deska. Tento druh pálených zdících prvků s vyplněním tepelně izolačním materiálem je možné rozdělit na tvarovky s velkoformátovými dutinami a tvarovky s maloformátovými dutinami. Zdící tvarovky s velkoformátovými dutinami (vyplněny minerální vatou nebo perlitem) mají tlustší žebra, než tvarovky s maloformátovými dutinami. I přes menší počet žebor je tak celková styčná plocha žebor v jednotlivých vrstvách zdiva vyšší, čímž je dosaženo také lepších mechanických vlastností. Sledované vlastnosti u pálených zdících prvků jsou:

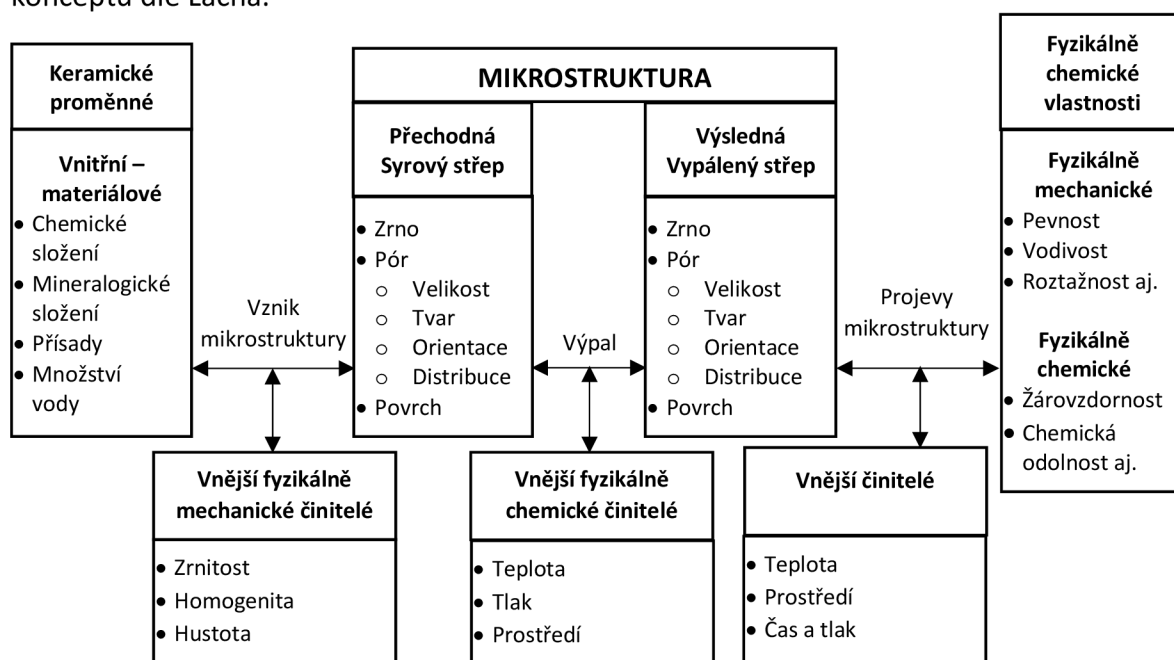
- Rozměry
- Tolerance rozměrů včetně rovinnosti a rovnoběžnosti ložných ploch
- Tvarové uspořádání

- Objemová hmotnost v suchém stavu
- Pevnost v tlaku
- Tepelné vlastnosti
- Mrazuvzdornost
- Nasákavost
- Počáteční rychlost nasákavosti
- Obsah aktivních rozpustných solí
- Vlhkostní roztažnost
- Reakce na oheň
- Přídržnost

#### 4.1.1 Mikrostruktura střepeu pálených zdících prvků

Mikrostruktura keramického střepeu je hlavním parametrem ovlivňujícím jeho výsledné vlastnosti. Pojmem mikrostruktura se rozumí uspořádání heterogenních látek ze zrn stejného nebo různého složení. Tímto uspořádáním mohou a nemusí vznikat póry, které lze charakterizovat velikostí, tvarem, množstvím a rozložením. Plastické těsto, z něhož se vyrábí keramické tvarovky je tříkomponentní systém (pevné skupenství, plynné skupenství a kapalné skupenství). Zpracováním popsaným výše se získává dvoukomponentní systém (pevné skupenství a plynné skupenství) [41].

Pro vytvoření požadované výsledné mikrostruktury keramického střepeu je velmi podstatný přechodný stav tzv. syrový střepeu. Jedná se o stav, kdy dojde vlivem vnějších sil přiblížení zrn jednotlivých vstupních surovin. Tato zrna vytvoří vzájemné kontaktní plochy, čímž je umožněn průběh fyzikálních a chemických reakcí, které probíhají při vzniku novotvarů. Důležitost mikrostruktury keramického střepeu na výsledné vlastnosti je dobře patrný v keramickém konceptu dle Lacha.



Obr. 9 Keramický koncept dle Lacha [41]

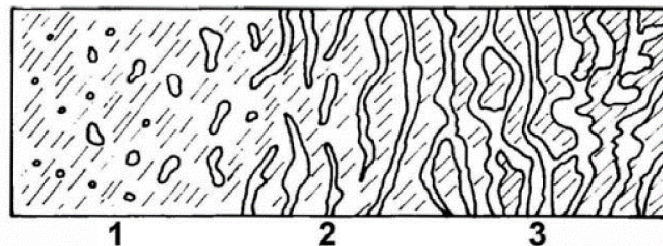
Pro mikrostrukturu keramického střeptu je charakteristická přítomnost pórů. Velikost, rozložení, celkové množství pórů jsou jedny ze základních parametrů mikrostruktury, které mají významný vliv na fyzikálně mechanické vlastnosti střeptu. Vlastnost popisující přítomnost pórové struktury nazýváme pórovitost. Rozeznáváme primární pórovitost, která je dána již ve střeptu v syrovém stavu nebo odstraněním chemicky a mechanicky vázané vody a sekundární pórovitost danou uzavřením plynů vzniklých reakcí látek ve střeptu při výpalu [41].

Základní parametr pórů je jejich velikost/průměr a tvar. Dle velikosti dělíme póry na [41]:

- Dutiny a trhliny; průměr nad 1000  $\mu\text{m}$ .
- Velké póry; průměr nad 15  $\mu\text{m}$ .
- Střední póry; průměr v rozmezí 0,1 – 15  $\mu\text{m}$ .
- Jemné póry; průměr v rozmezí 0,015 – 0,1  $\mu\text{m}$ .
- Mikropóry; průměr pod 0,015  $\mu\text{m}$ .

Z pohledu tvaru hovoříme o:

- Pórech spojených a otevřených – kapiláry.
- Pórech jednostranně otevřených.
- Pórech uzavřených – bubliny.



Obr. 10 Pórový systém v keramickém střeptu; 1 – uzavřené póry; 2 – jednostranně otevřené póry; 3 – otevřené póry

Mezi hlavní znaky mikrostruktury střeptu pálených zdících prvků patří **nasákavost  $NV$  [%]**. Jedná se o schopnost keramického střeptu pojmout kapalinu. Díky jednoduchosti a přesnosti stanovení se z hodnot nasákavosti dají velmi dobře predikovat další vlastnosti keramického střeptu. Nasákavost je pak vyjádřena jako poměr hmotnosti absorbované vody k hmotnosti vysušeného vzorku. Z poměru nasákavosti za studena a nasákavosti varem je možné určit koeficient nasycení vodou KNS. Jedná se o parametr, dle kterého je možné předpokládat mrazuvzdornost, při splnění podmínky  $KNS < 0,85$  [41].

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (7)$$

$m_s$  – hmotnost suchého vzorku [kg]

$m_n$  – hmotnost nasáklého vzorku [kg]

**Objemová hmotnost  $OH$  [ $kg/m^3$ ]** vyjadřuje hmotnost suchého keramického střepu s otevřenými a uzavřenými póry vztahenou na objem vzorku. Vzhledem k časté nepravidelnosti vzorků keramického střepu se stanovuje nejčastěji za využití hydrostatického vážení [41].

$$OH = \frac{m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot 1000 \quad (8)$$

$m_{nv}$  – hmotnost nasáknutého vzorku váženého na hydrostatických váhách [kg]

**Zdánlivá pórovitost  $PZ$  [%]** charakterizuje poměr objemu otevřených pórů keramického střepu k celkovému objemu vzorku včetně všech pórů. Stanovení zdánlivé pórovitosti vychází z hodnot nasákavosti a objemové hmotnosti [41].

$$PZ = \frac{m_n - m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot 100 = NV \cdot \frac{OH}{1000} \quad (9)$$

**Skutečná pórovitost  $PS$  [%]** vyjadřuje vzájemný poměr otevřených a uzavřených pórů k celkovému objemu zkušební vzorku [41].

$$PS = \left(1 - \frac{OH}{\rho}\right) \cdot 100 \quad (10)$$

$OH$  – objemová hmotnost [ $kg/m^3$ ]

$\rho$  – hustota [ $kg/m^3$ ]

**Pórovitost uzavřená  $PU$  [%]** vyjadřuje vzájemný poměr uzavřených pórů k celkovému objemu zkušební vzorku [41].

$$PU = PS - PZ \quad (11)$$

**Zdánlivá hustota  $ZH$  [ $kg/m^3$ ]** je dána z hmotnosti vysušeného střepu vztahenou na objem včetně uzavřených pórů. Pokud by keramický střep neobsahoval uzavřené póry, jednalo by se o měrnou hustotu [41].

$$ZH = \frac{m_s}{m_s - m_{nv}} \cdot 1000 \quad (12)$$

**Měrná hustota  $\rho$  [ $kg/m^3$ ]** představuje poměr hmotnosti vzorku k jeho objemu bez jakýchkoliv pórů. Pro určení hustoty se nejčastěji využívá vážení za pomoci pyknometrů, kdy je pro tuto zkoušku nutné vzorek rozemlít na velikost částic pod 0,063 mm [41].

$$\rho = \frac{m_T}{V_T} = \frac{m_T}{V_p - V'_p} = \frac{m_2 - m_1}{\frac{m_4 - m_1}{\rho_s} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_s}} = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \rho_s}{m_4 - m_3 - m_1 + m_2} \quad (13)$$

$m_T$  – hmotnost zkušební vzorku [kg]

$m_1$  – hmotnost prázdného suchého pyknometru [kg]

$m_2$  – hmotnost prázdného suchého pyknometru se zkušebním vzorkem [kg]

$m_3$  – hmotnost pyknometru se zkušebním vzorkem naplněného kapalinou o známé hustotě [kg]

$m_4$  – hmotnost pyknometru naplněného kapalinou o známé hustotě [kg]

$V_T$  – objem zkušební vzorku [m<sup>3</sup>]

$V_P$  – objem pyknometru [m<sup>3</sup>]

$V'_P$  – objem pyknometru zmenšený o objem zkušební vzorku [m<sup>3</sup>]

$\rho_s$  – hustota srovnávací kapaliny [kg/m<sup>3</sup>]

**Vzlínavost VZ [m]** je vlastnost, kdy při namočení keramického střepu do kapalin, začne kapalina stoupat otevřenými póry i přes gravitační sílu. Parametry, které ovlivňují rychlost vzlínání jsou rozměry pórů, jejich uspořádání a fyzikální vlastnosti kapaliny, do níž je střep namočen. Výšku vzlínání je možné odvodit z rovnovážného vztahu mezi kapilárními silami a gravitační silou [41]. Maximální výška vzlinutí kapaliny v kapiláře je tak vyjádřením rovnováhy tíhy sloupce kapaliny a elevačního úhlu při vzlínání. Výška je také závislá na sklonu kapiláry a jejím průřezu pod meniskem.

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma_p \cdot \cos\theta = \pi \cdot r^2 \cdot h_{max} \cdot \rho_v \cdot g \Rightarrow h_{max} = \frac{2 \cdot \sigma_p \cdot \cos\theta}{r \cdot \rho_v \cdot g} \quad (14)$$

$r$  – poloměr pórů [m]

$\sigma_p$  – povrchové napětí [N/m]

$\rho_v$  – hustota vzlínající kapaliny [kg/m<sup>3</sup>]

$h_{max}$  – maximální výška vzlinutí [m]

$g$  – gravitační konstanta [N/kg]

#### 4.1.2 Ochrana zdiva z pálených zdících prvků proti vlhkosti

Keramické zdící bloky je nutné chránit proti nadměrnému provlhnutí. Jedná se o ochranu před samotnou výstavbou, v průběhu výstavby, tak v době životnosti stavby. Před výstavbou, v době dopravy a skladování, jsou bloky chráněny před vystavením zvýšené vlhkosti balícími fóliemi na paletě. V době výstavby je nutné chránit především horní vodorovné plochy stěn, parapety a ukončení stěn, především před zatečením dešťové vody do dutin pálených zdících prvků, čímž by došlo k naakumulování vody a plavení čerstvé malty. Voda naakumulovaná ve stěně by vysychala po dlouhou dobu a mohla by způsobit nepříjemnosti již na počátku užívání stavby. Pro tuto ochranu je dostačující překrytí vrchních ploch nepropustnými fóliemi či použitím těžkých asfaltových pásů [42].

Také spodní část stěn je nutné v době výstavby chránit před zvýšenou vlhkostí, stojící vodou, v důsledku dešťů či tajícího sněhu, na základové desce či stropní konstrukci. Pro ochranu před tímto zatížením se využívají například speciální tvarovky, tzv. soklové cihly, které jsou ve spodní části naimpregnovány přípravkem zamezujícím nasáknutí vody do cihelného střepe [42].

Pro ochranu zdiva v průběhu životnosti stavby se pod zakládací maltu umísťují asfaltové hydroizolační pásy. Zdivo pod úrovní terénu je nutné vždy chránit použitím vhodné hydroizolace. Nejčastěji se používají asfaltové hydroizolační pásy, které jsou umístěny z vnější strany stěny a jsou před mechanickým poškozením chráněny deskami tepelné izolace. Stěnu nad úrovní terénu je nutné chránit před působením vlhkosti minimálně do výšky 300 mm nad úroveň terénu. Pro tuto ochranu se též používají asfaltové pásy chráněné tepelnou izolací nebo obkladové prvky tvořícími sokl stavby. Ve zbylé části stěny jsou keramické tvarovky chráněny před působením zvýšené vlhkosti pouze použitím povrchové úpravy, nejčastěji omítkami [42].

## 4.2 Vápenopískové zdící prvky

Pro vápenopískové zdící prvky je charakteristické použití vápna a křemičitého materiálu. V současné době je nejpoužívanějším křemičitým zdrojem křemičitý písek. K vytvrzené vápenopískových zdících prvků dochází za pomoci vysokotlaké páry [43].

Pro jednotlivé druhy zdících prvků musí být deklarována minimální a maximální objemová hmotnost v suchém stavu. Dle intervalů objemové hmotnosti v suchém stavu může být deklarována třída objemové hmotnosti v suchém stavu. Je-li použita tato deklarace, nesmí hodnoty jednotlivých zdících prvků vybočit z intervalu platného pro danou třídu o více jak  $100 \text{ kg/m}^3$  při objemové hmotnosti v suchém stavu nad  $900 \text{ kg/m}^3$  ( $50 \text{ kg/m}^3$  při objemové hmotnosti v suchém stavu pod  $900 \text{ kg/m}^3$ ) [43].

Základní sledované vlastnosti jsou:

- Rozměry a tolerance rozměrů
- Tvarové uspořádání
- Objemová hmotnost v suchém stavu
- Objemová hmotnost materiálu v suchém stavu
- Pevnost v tlaku
- Tepelné vlastnosti
- Trvanlivost
- Propustnost vodních par
- Nasákavost
- Přídržnost

### 4.3 Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem

Jedná se o betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem, případně směsí těchto kameniv. Tyto tvárnice mohou být použity pro zdivo omítané, lícové nebo neomítané, v nosných nebo nenosných konstrukcích a inženýrských stavbách. Toto zdivo se využívá pro stěny jednovrstvé, vnější vrstvy komínového zdiva, opěrné zdi a podzemní stěny. Jedná se o zdící prvky, které jsou zhotoveny ze směsi cementového pojiva, kameniva a vody. Dále mohou obsahovat přísady a příměsi. Základními sledovanými parametry betonových tvárnic jsou [44]:

- Rozměry a tolerance
- Tvarové uspořádání
- Objemová hmotnost
- Rovinnost lícových ploch tvárnic (pokud je to vhodné)
- Mechanická pevnost
- Vlhkostní přetvoření
- Nasákavost vlivem kapilarity
- Reakce na oheň
- Trvanlivost
- Tepelné vlastnosti
- Přídržnost
- Propustnost vodních par

### 4.4 Pórobetonové tvárnice

Pórobetonové tvárnice jsou zdící prvky zhotovené z hydraulických pojiv. Jedná se například o cement a/nebo vápno. Pojiva jsou smíchána s jemnými silikátovými materiály, vodou a látkami vytvářejícími póry. Výroba probíhá propařováním pod vysokým tlakem v autoklávu. Mezi sledované vlastnosti pórobetonových tvárnic patří [45]:

- Rozměry a tolerance
- Objemová hmotnost prvku v suchém stavu
- Objemová hmotnost materiálu prvku v suchém stavu
- Pevnost v tlaku
- Vlhkostní přetvoření
- Tepelné vlastnosti
- Přídržnost
- Propustnost vodních par
- Nasákavost
- Reakce na oheň
- Trvanlivost



#### 4.5 Zdicí prvky z umělého kamene

Jedná se o zdicí prvky určené primárně pro lícové zdivo. Zdicí prvky z umělého kamene se tedy vyznačují minimálně jednou nechráněnou lícovou plochou, která má uzavřenou strukturu. Jsou zhotoveny buď z jedné nebo dvou homogenních směsí kameniva. Kamenivo je pojeno cementovým pojivem. Výsledná směs může obsahovat i další materiály. Vytváření probíhá nejčastěji za použití tlaku a/nebo vibrace. Zdicí prvky z umělého kamene se vyrábí za účelem napodobení přírodního kamene a používají se jako alternativa k těmto zdicím prvkům. U zdicích prvků z přírodního kamene se stanovují tyto vlastnosti [46]:

- Rozměry
- Tolerance rozměrů včetně rovinnosti a rovnoběžnosti ložných ploch
- Tvarové uspořádání
- Objemová hmotnost v suchém stavu
- Pevnost v tlaku
- Tepelné vlastnosti
- Trvanlivost
- Nasákavost
- Propustnost vodních par
- Rovinnost povrchů
- Vlhkostní přetvoření
- Reakce na oheň
- přídržnost

#### 4.6 Zdicí prvky z přírodního kamene

Tyto zdicí prvky jsou vyrobeny z přírodního kamene. Jako přírodní kámen se rozumí produkt z těžby v dolech nebo povrchových lomech. Tyto produkty se upravují do podoby požadovaného zdicího prvku. Přírodní kámen je možné dělit dle druhu horniny na [47]:

- Magmatické nebo vyvřelé horniny

Horniny vzniklé ochlazením magmatu (čedič, granit, diorit, porfyr)

- Sedimentární horniny

Tyto horniny vznikají usazováním organických a anorganických částic, nejčastěji ve vodě. (vápenec, pískovec, travertin)

- Metamorfované horniny

Jedná se o přeměněné horniny, které vznikají působením tepla a/nebo tlaku na původní horninu (břidlice, rula, kvarcit, mramor)

U zdících prvků z umělého kamene sledujeme:

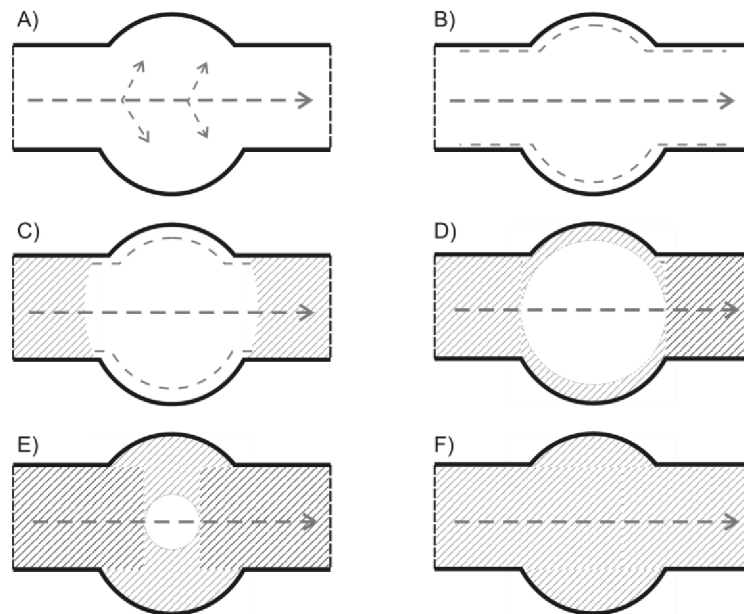
- Rozměry a tolerance
- Tvarové uspořádání
- Objemovou hmotnost
- Pevnost v tlaku
- Pevnost v ohybu
- Přídržnost ve smyku
- Přídržnost v tahu za ohybu
- Otevřenou pórovitost
- Součinitel nasákavosti vlivem kapilarity
- Odolnost proti zmrazování a rozmrazování
- Tepelné vlastnosti
- Reakci na oheň
- Propustnost vodní páry

## 5. Mechanismy transportu vlhkosti v pórovém prostředí

Pohyb vlhkosti, v kapalném i plynném skupenství, je dán potenciálovými veličinami – tlak, teplota a koncentrace. Díky rozdílům potenciálů dochází k ustálení rovnovážného stavu, čímž, dochází k pohybu vlhkosti [49].

Transport vlhkosti v pórovém prostředí pevné látky je komplexní děj, který je složen z několika základních procesů. Jedná se o kapilární transport vody a difúzi vodní páry. Parametry ovlivňující tyto procesy jsou především tvar a velikost pórů, distribuce pórů, teplota a stav nasycení materiálu. Na suchém povrchu materiálu se v prvním kroku projevuje difuze dle prvního Fickova zákona (hustota toku je úměrná gradientu koncentrace) až do chvíle, kdy při úplném nasycení materiálů probíhá v druhém kroku proudění dle Darcyho zákona (rychlost průtoku kapaliny nasycenou oblastí pevného porézního tělesa) [48].

Dle poloměrů je možné rozdělit póry na mikropóry a makropóry. V případě mikropórů, tedy póru s poloměrem  $r < 10^{-7}$  m dochází k zaplnění póru vodou v důsledku kapilární povrchové kondenzace. Pro makropóry, póry s poloměrem  $r > 10^{-7}$  m tento mechanismus zaplnění pórů vodou již neplatí a k zaplnění dochází pouze přímým kontaktem s vodou v kapalném skupenství. V oblasti pórů s poloměrem  $10^{-7} \text{ m} \leq r \leq 10^{-6} \text{ m}$  odpovídá relativní vlhkost hodnotě 99,0 – 99,9 %. U těchto pórů pak může docházet, jak k pohybu kapalně vody, tak k povrchové kondenzaci [48].



Obr. 11 Schéma sorpčních stádií a transportních efektů vlhkosti; [50]

A) Difuze vodní páry, absorpce; B) Difuze vodní páry, monomolekulární a multimolekulární vytváření vrstev; C) Difuze vodní páry, kapilární kondenzace, kapilární vedení; D) Difuze vodní páry, povrchová difuze, kapilární vedení; E) Kapilární vedení, proudění kapaliny (nenasyčené); F) Kapilární vedení, syté proudění kapaliny

## 5.1 Difúze

Difúze je látkový transport, který je založen na vyrovnávání koncentračních spádů plynů a kapalin. Dochází k němu v důsledku vnitřní energie plynů a kapalin. Tento proces je řízen především teplotou, kdy se vnější tlakové účinky vylučují. Z pohledu stavební fyziky je zásadní difúze vodní páry a  $\text{CO}_2$ . Pokud zanedbáme změny teploty je možné vyjádřit hustotu difuzního toku vzduchem  $g$  [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] jako [48]:

$$g = \frac{D}{R \cdot T} \cdot \frac{dp_d}{dx} = \delta_{air} \cdot \frac{dp_d}{dx} \quad (15)$$

$D$  – součinitel difúze vodní páry [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

$R$  – univerzální plynová konstanta (8,314) [ $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ]

$T$  – termodynamická teplota [ $\text{K}$ ]

$P_d$  – parciální tlak vodní páry [ $\text{Pa}$ ]

$\delta_{air}$  – součinitel difúzní vodivosti vzduchu [ $\text{s}$ ]

V případě difúze vodní páry probíhající porézními materiály byl pro stavební fyziku Krischerem zaveden činitel difuzního odporu  $\mu$ . Jedná se o hodnotu, která vyjadřuje, jak moc je difúzní odpor látky větší, než difúzní odpor stejně silné vrstvy vzduchu. Pro difúzní tok materiálem pak platí vztah [48]:

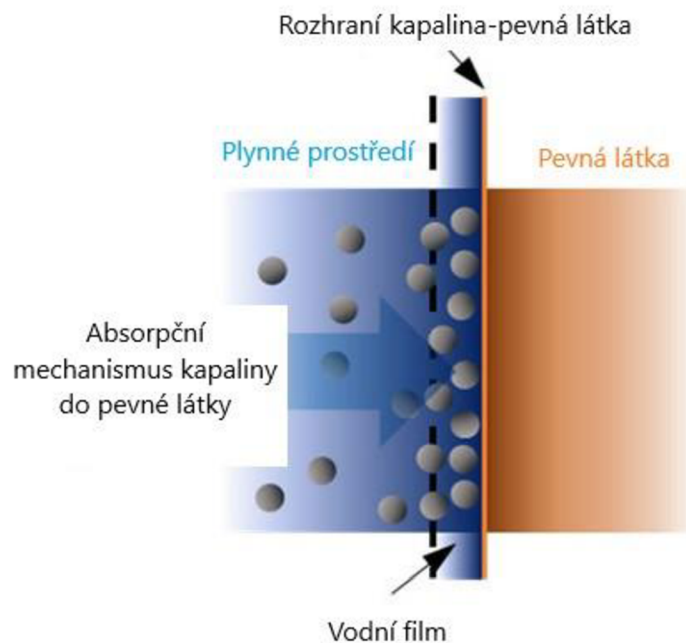
$$g = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{D}{R.T} \cdot \frac{dp_d}{dx} = \frac{\delta_{air}}{\mu} \cdot \frac{dp_d}{dx} = \delta \cdot \frac{dp_d}{dx} \quad (16)$$

$\mu$  - součinitel difuzního odporu [-]

### 5.1.1 Povrchová difúze

Jedná se o navrstvení molekul vody na povrch porézních materiálů. Tento proces vzniká dle teorie BET (Brunauer, Emmeta, Teller). BET teorie vyjadřuje absorpci vlhkosti na povrchu materiálů. Vyjadřuje rovnováhu mezi relativní vlhkostí vzduchu a vrstvami molekul vody na povrchu materiálu. Tento proces může být monomolekulární nebo multimolekulární. V případě makromolekulárního procesu tato teorie vychází z předpokladu, že druhá a následující vrstvy molekul vody jsou vázány stejnou energií. Rovnovážný stav mezi kondenzátem a výparem je dán shodnými poměry, jako na vodní hladině. Teorie BET je potvrzena pro hygroskopickou oblast sorpce porézních materiálů odpovídající relativní vlhkosti vzduchu 0-40 %. Při relativní vlhkosti vzduchu nad 50 % již neprobíhá pouze absorpční proces, ale také například kapilární kondenzace [48].

Již při malé vlhkosti vzduchu dochází k povrchové difúzi, vytvoření sorpčního filmu na povrchu materiálu. Tento proces nastává již při relativní vlhkosti vzduchu 30 %. Za tohoto předpokladu probíhá látkový transport jak mikroporézním, tak i v makroporézním prostoru. Čím je vyšší vlhkost vzduchu, tím vzrůstá tloušťka vodního filmu na povrchu materiálu, tedy mnohavrstvé absorpční vrstvy molekul vody. Čím jsou póry více zaplněny vodou, zmenšuje se předpoklad pro difúzi vodní páry a vedle difúze začne docházet k látkovému transportu v kapalném filmu na povrchu materiálu. Při relativní vlhkosti vzduchu 90 % je hustota difuzního toku povrchovou difúzí 10-100 krát větší, než hustota difúze vodní páry [48].



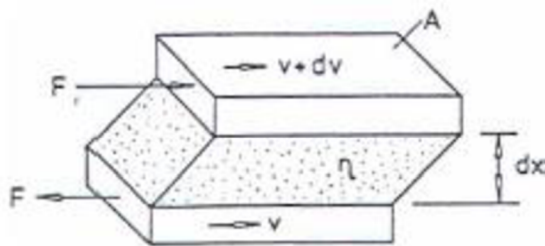
Obr. 12 Znárodnění vodního filmu na povrchu materiálu [51]

## 5.2 Šíření kapalné fáze

K těmto pochodům dochází v pórové struktuře materiálů za předpokladu, že je poloměr pórů výrazně větší, než  $r > 10^{-7}$  m. Pohyb kapalin pak může být zapříčiněn [48]:

- Tlakovým spádem v důsledku gravitace
- Kapilárními silami
- Elektrickým napětím

Rozhodovacím parametrem pro tento druh pohybu vlhkosti je viskozita kapaliny (vody). Viskozita dle Newtonova zákona představuje činitel úměrnosti mezi smykovým (tečným) napětím  $\tau$  [Pa] a gradientem rychlosti ve směru kolmém na směr proudění  $v'$  [m/s] [48].



Obr. 13 Grafické znázornění smykového napětí [48]

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \cdot \frac{dv}{dx}; \frac{dv}{dx} = v' \Rightarrow \eta \cdot v' \quad (17)$$

$F$  – síla [N]

$A$  – plocha [ $m^2$ ]

$\eta$  – viskozita kapaliny [(N.s)/ $m^2$ ]

$v$  – rychlost kapaliny [m/s]

V případě proudění kapaliny ve válcové kapiláře je možné uvažovat dva základní typy proudění: laminární a turbulentní. Druh proudění je možné odvodit dle Reynoldsova čísla  $Re$  [-], kdy pro válcové průřezy platí, že do hodnoty  $Re < 2300$  se jedná o laminární proudění, pro hodnoty vyšší o turbulentní proudění [48].

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\eta} \quad (18)$$

$v_s$  – střední rychlost proudění [m/s]

$d$  – průměr válcového průřezu [m]

V případě porézních materiálů je však možné počítat v důsledku proměnlivosti průřezu pórů s laminárním prouděním pouze pro  $Re < 4$ . Nicméně pro makropóry  $r > 10^{-7}$  m nastává pouze laminární proudění [48].

V případě kapalin je pak možné laminární stacionární proudění  $q$  [ $m^3/s$ ] v přímém kruhovém průřezu při působení vnějšího tlakového spádu charakterizovat dle Hagen-Poiseuillovy rovnice [48]:

$$q = -\frac{d^2 \cdot \rho}{32 \cdot \eta} \cdot v' \quad (19)$$

$\rho$  – hustota kapaliny [ $kg/m^3$ ]

Látkový tok  $q$  [mol/s] je pak možné obecně definovat s využitím specifické propustnosti  $k$ .

$$q = -k \cdot \frac{dp}{dx} \quad (20)$$

$k$  – specifická propustnost

$\frac{dp}{dx}$  – změna tlaku [Pa]

Pro výpočet specifické propustnosti je nutné znát korelační koeficient  $k_1$ , který se pohybuje v rozmezí 1,78 pro čtvercové průřezy až po 3,0 pro štěrbinu. Pro kruhové průřezy platí  $k_1 = 2$ .

$$k = \frac{r_m^2}{k_1 \cdot \eta} \cdot \bar{p} \quad (21)$$

$r_m$  – hydraulický poloměr [m]

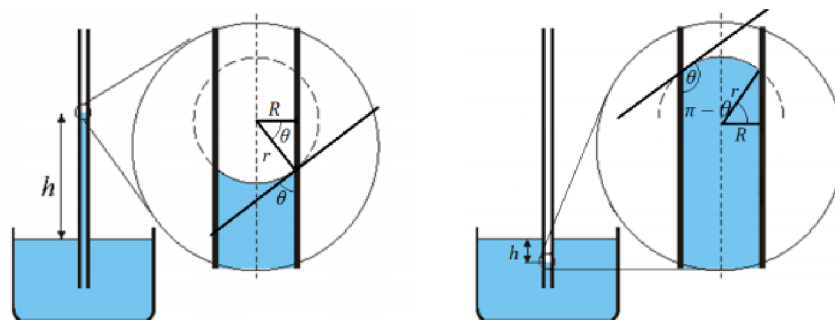
$\bar{p}$  – střední hodnota tlaku v kapiláře [Pa]

Laminární proudění je možné dle Darcyho zákona použít na prosakování vody pevnými látkami. Nicméně tento zákon je možné uplatnit pouze za předpokladu, kdy odpor proti proudění je dán pouze viskozitou vody. Pro jemně pórovité materiály tento stav nastává pouze v případě, kdy dojde k plnému nasycení pórů vodou [48].

### 5.2.1 Kapilární pohyb kapalin

Kapilární pohyb je umožněn díky existenci povrchového napětí kapalin a smáčitelnosti pevných látek. Povrchové napětí kapalin vzniká v důsledku koheze molekul kapaliny. Smáčitelnost je dána silovými účinky mezi kapalinou a pevnou látkou v oblasti kontaktní plochy. V oblasti rozhraní kapalina-plyn jsou kapaliny vystaveny silovému působení. Dle vzájemného působení povrchového a okrajového napětí vytvoří kapaliny na povrchu pevné látky smáčecí úhel. Dokonalá smáčitelnost se vyznačuje smáčecím úhlem  $\Theta = 0^\circ$ , kdy dojde k vytvoření tenkého filmu na povrchu. V případě nesmáčitelnosti je smáčecím úhlem  $\Theta = 180^\circ$  (viz. 3.3) [48].

Popis kapilárního transportu není možné vyjádřit jednoduchým matematickým modelem. To je dáno silně se měnícími parametry v kapilárách a průřezovými tvary pórů. Jednotlivé kapaliny vytváří na základě povrchového napětí konkávní ( $\Theta < 90^\circ$ ) nebo konvexní povrch ( $\Theta > 90^\circ$ ) [48].



Obr. 14 Kapilární elevace a kapilární deprese [52]

Obecné vztahy je možné definovat pouze pro válcovité kapiláry s kulovitým povrchovým uzávěrem. Kapilární tlak  $P_k$  [Pa] je pak možné vyjádřit jako:

$$P_k = \frac{2 \cdot \sigma_p \cdot \cos \Theta}{r} \quad (22)$$

$\sigma_p$  – povrchové napětí [N/m]

$\Theta$  – smáčecím úhlem [°]

$r$  – poloměr kapiláry [m]

## C 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 zdíciemi systémy. Bude se jednat o komplexní zdící systém, který je tvořen pálenými zdíciemi 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 oblastí 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.



## D Experimentální část

### 6. Metodika prováděných prací

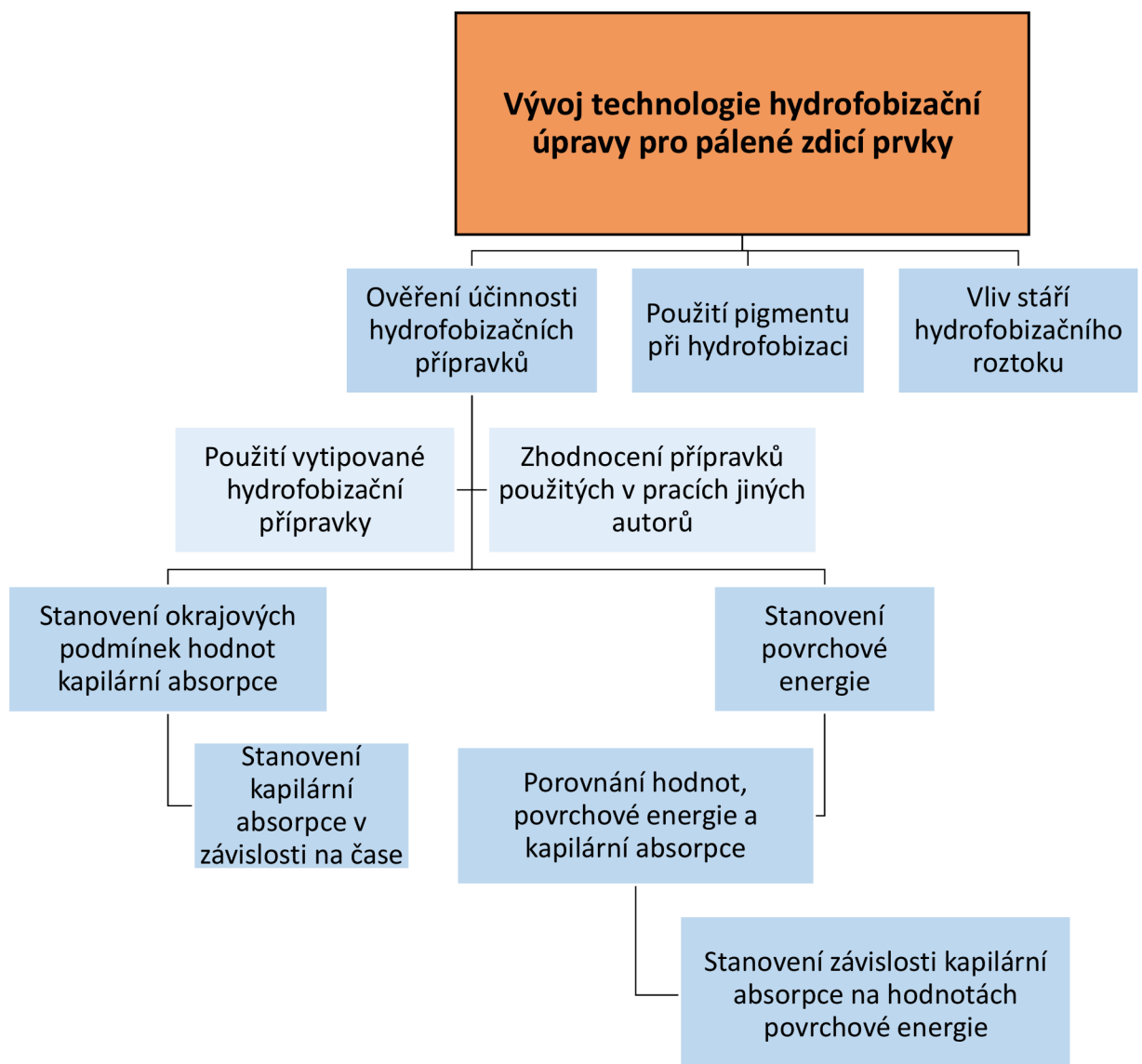
Jednotlivé práce jsou členěny do sedmi etap disertační práce:

- Etapa I. – Vývoj technologie hydrofobizační úpravy pro pálené zdící prvky
- Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdících prvků
- Etapa III. – Studium změny klíčových vlastností zdících prvků po aplikaci hydrofobizační úpravy
- Etapa IV. – Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí
- Etapa V. – Návrh metodiky zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav
- Etapa VI. – Návrh metodiky pojení zdících prvků a její ověření
- Etapa VII. – Poloprovozní ověření navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav

Schématický postup prací je uveden na následujících schématech.

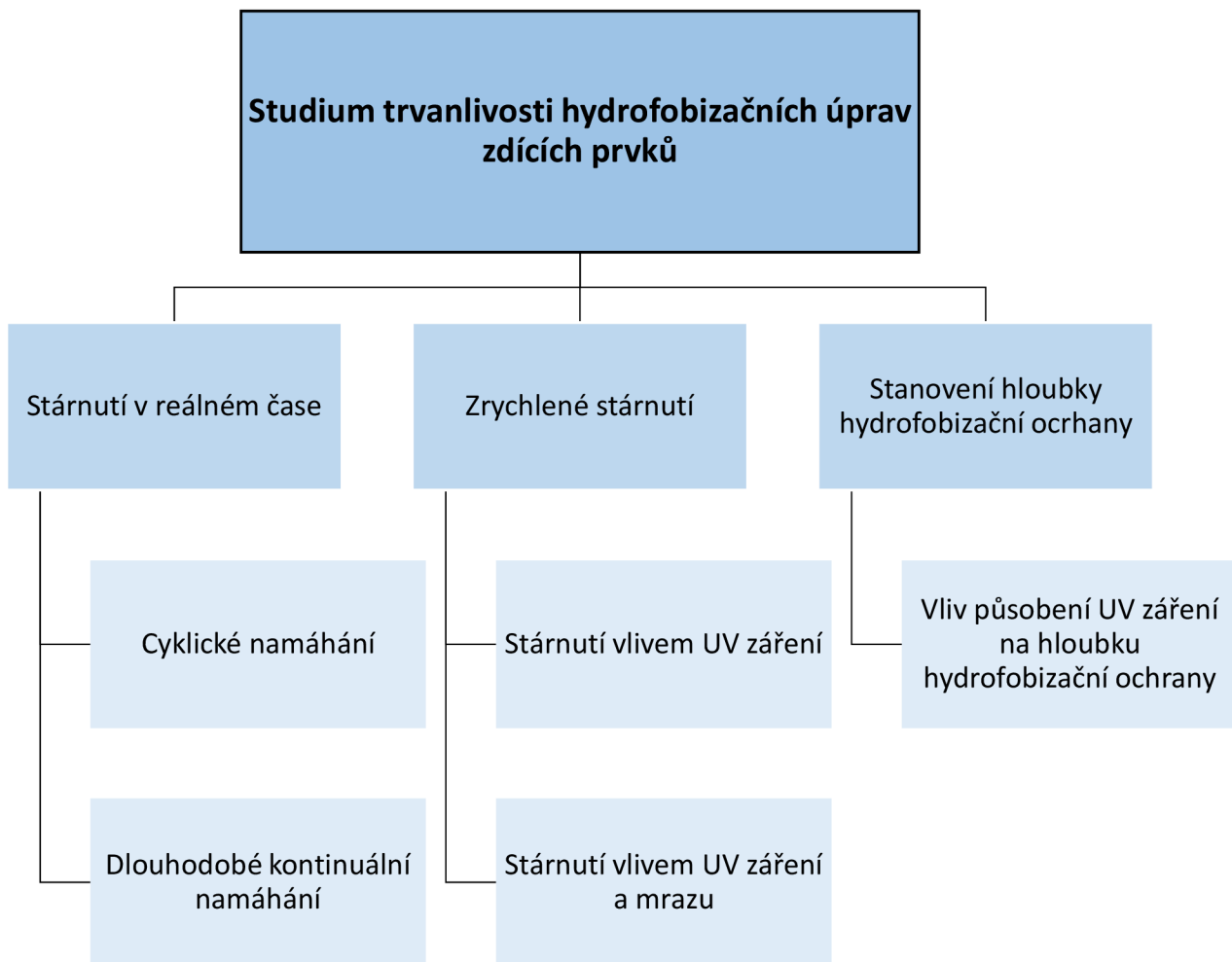
## 6.1 Etapa I. – Vývoj technologie hydrofobizační úpravy pro pálené zdicí prvky

První etapa disertační práce se věnuje hydrofobizaci pálených zdicích prvků. Účinnost hydrofobizačních přípravků byla ověřena prostřednictvím stanovení kapilární absorpce v čase, jak pro hydrofobizační přípravky používané v jiných pracích, tak pro hydrofobizační přípravky vytipované v rámci disertační práce (9.1.2). Pro efektivní vyhodnocení účinnosti prostřednictvím kapilární absorpce byly stanoveny okrajové podmínky (9.1.1). V rámci hodnocení účinnosti hydrofobizačních přípravků bylo využito také stanovení povrchové energie prostřednictvím měření úhlů smáčivosti hydrofobizovaných střeňů. Hodnoty povrchové energie byly komparovány s hodnotami kapilárních absorpcí a stanovena byla vzájemná závislost (9.1.4). V první etapě byl také sledován vliv použití pigmentu (9.1.2) a stáří hydrofobizačního roztoku na kapilární absorpci (9.1.3).



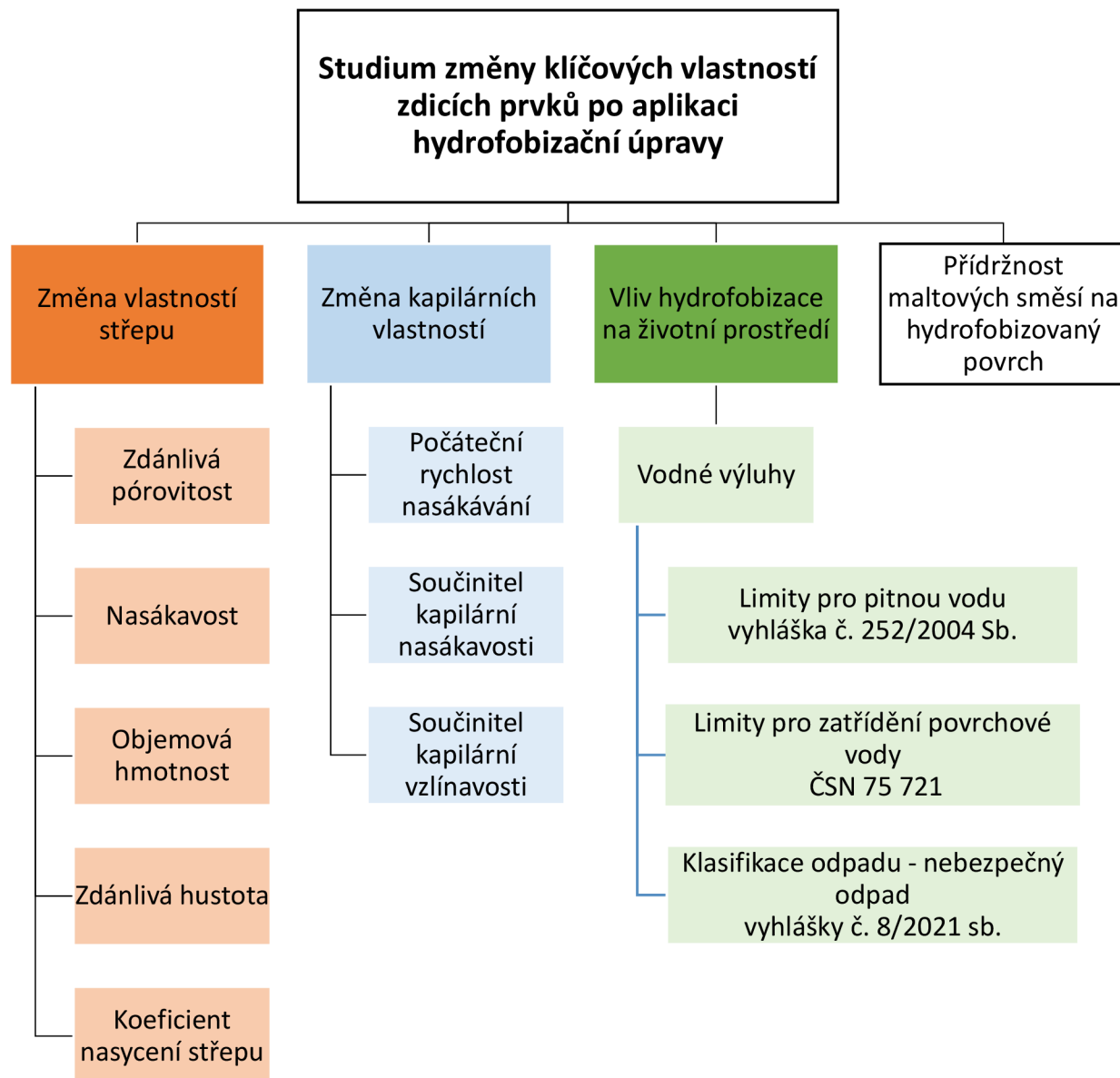
## 6.2 Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdících prvků

Druhá etapa byla zaměřena na sledování trvanlivosti vybraných hydrofobizačních úprav. Trvanlivost byla sledována prostřednictvím provedení experimentů zrychleného stárnutí (9.2.2) a prostřednictvím sledování trvanlivosti hydrofobizačních úprav v reálném čase (9.2.1). V této etapě byla stanovena také hloubka hydrofobizační ochrany a vliv působení UV záření na její změnu (9.2.4).



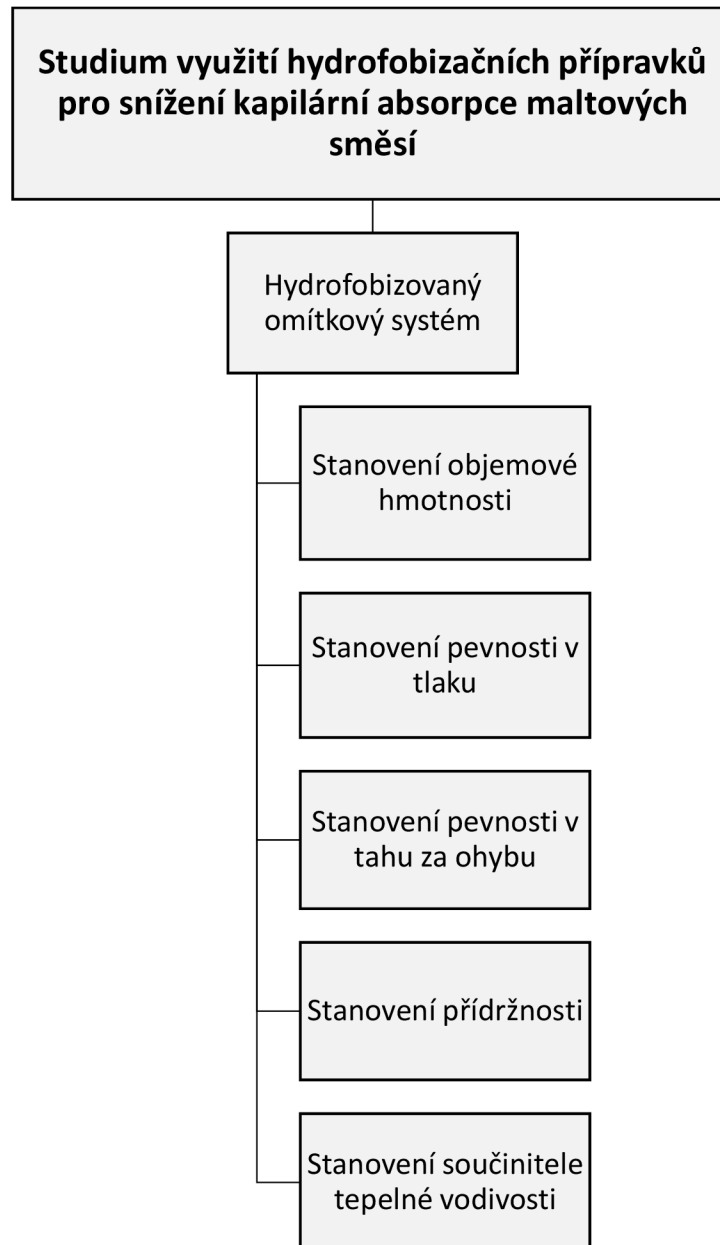
### 6.3 Etapa III. – Studium změny klíčových vlastností zdících prvků po aplikaci hydrofobizační úpravy

V této části práce byly sledovány změny vlastností střepe (9.3.1) a kapilárních vlastností pálených zdících prvků v souvislosti s hydrofobizační úpravou (9.3.2). Byl hodnocen také vliv použití hydrofobizační úpravy na životní prostředí (9.3.3).



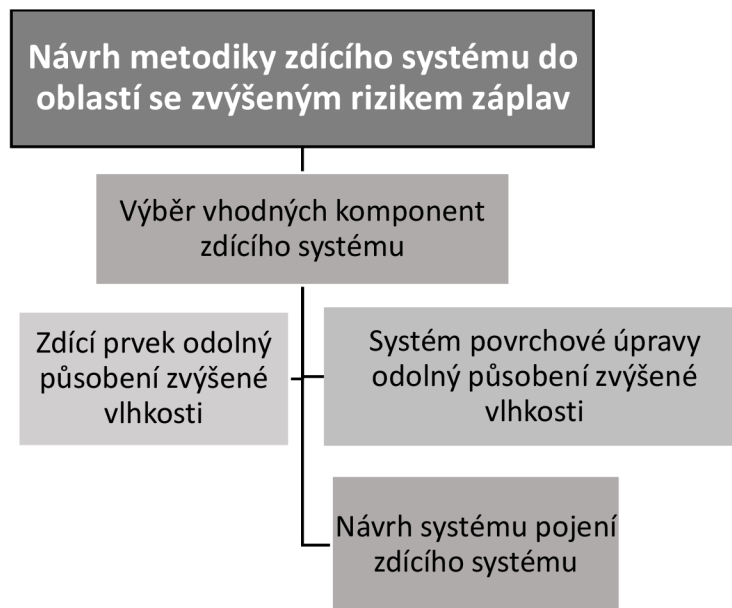
## 6.4 Etapa IV. – Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí

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 (9.4).



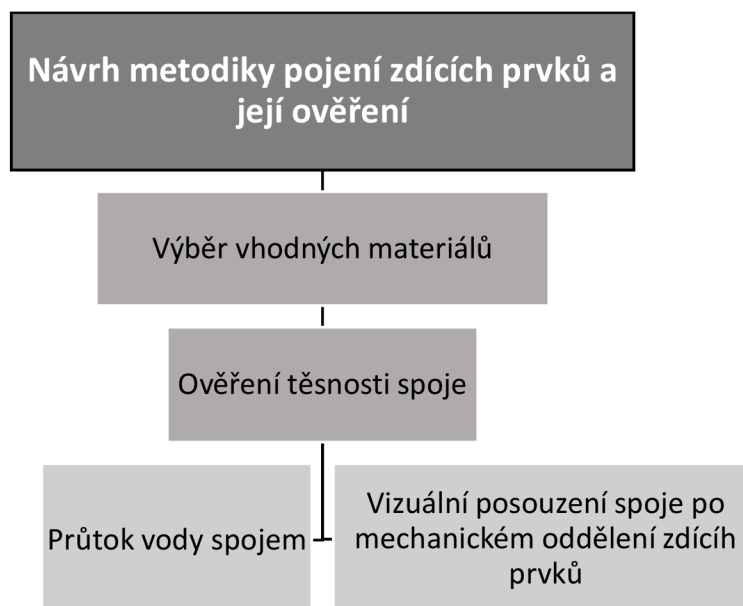
## 6.5 Etapa V. – Návrh metodiky zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav

S využitím výsledků etap, ve kterých byly studovány možnosti využití hydrofobizace pro zvýšení odolnosti zdících prvků (9.1, 9.2 a 9.3) a maltových omítkových směsí (9.4) při působení zvýšené vlhkosti, byl navržen v této etapě komplexní zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav .



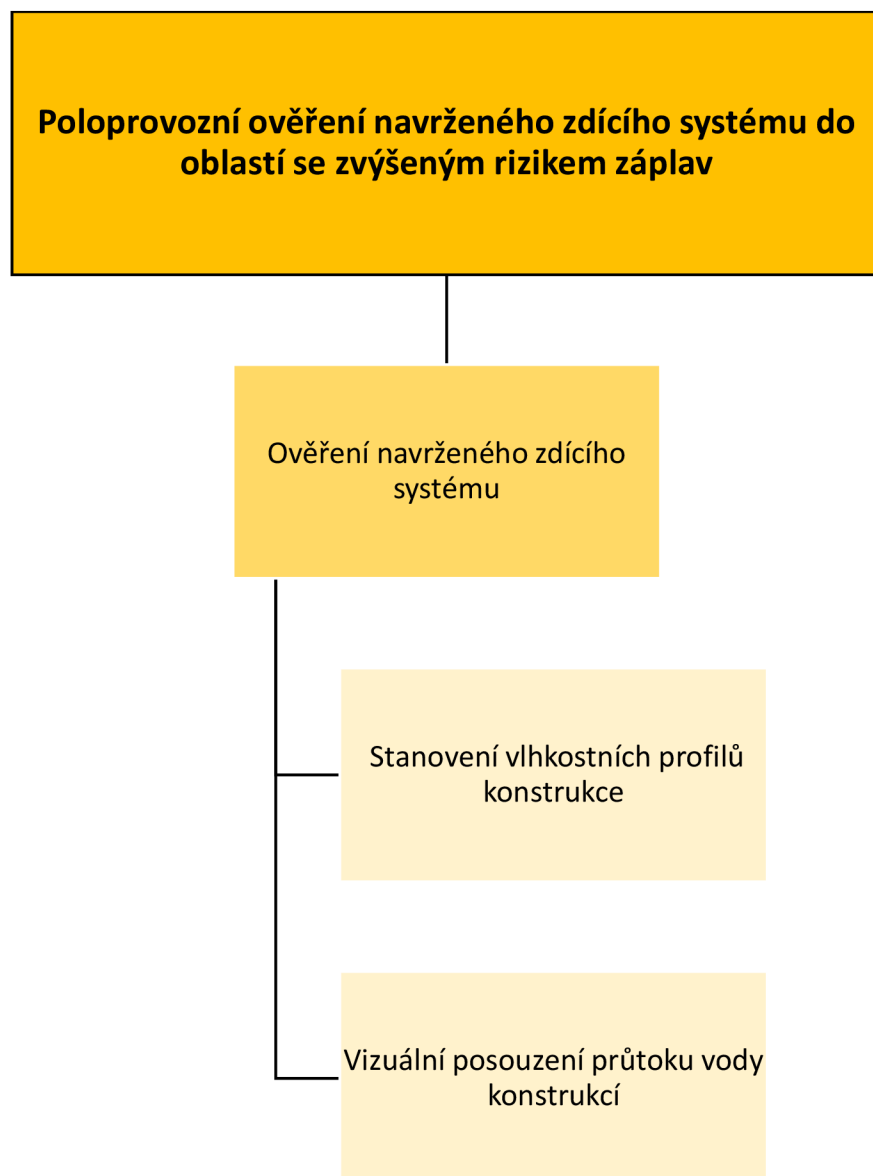
## 6.6 Etapa VI. – Návrh metodiky pojení zdících prvků a její ověření

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 (7.1.7).



## 6.7 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 9.1, hydrofobizované maltové směsi pro povrchové úpravy (9.4) a navržený způsob pojení zdícího systému 9.6). Zdící systém byl ověřen prostřednictvím specifického zkušebního zařízení, ve kterém byly provedeny zátopové zkoušky (7.1.10). Hodnocení zdícího systému bylo provedeno dle stanovení vlhkostních profilů konstrukcí (9.6.1).



## 7. Přehled prováděných zkoušek

### 7.1 Zdicí tvarovky

#### 7.1.1 Počáteční rychlost nasákavosti prvku

Postup stanovení počáteční rychlosti nasákavosti  $C_{w,i}$  [kg/(m<sup>2</sup>·min)] byl proveden dle ČSN EN 772-11 [53] a dle požadavků výrobní normy ČSN EN 771-1 [43]. Počáteční rychlost nasákavosti pálených zdících prvků se stanovuje na vysušených prvcích (105°C), které se zváží a umístí do nádoby na podložku, tak aby byly ponořeny do výšky 5 mm. Po 60 s se vzorky vyjmout, povrchově osušit a opět zváží. Počáteční rychlost je pak dána jako poměr nasáklé vody k celkovým plochám prvku, které byly během zkoušky ponořeny.

$$C_{w,i} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \cdot t} \cdot 10^3 \quad (23)$$

$m_{so,s}$  – hmotnost vzorku po ukončení nasycování po dobu  $t$  [g]

$m_{dry,s}$  – hmotnost vzorku po vysušení [g]

$A_s$  – celková velikost plochy vzorku ponořené do vody [mm<sup>2</sup>]

$t$  – doba nasycování (pro pálení zdících prvky 1 minuta) [s]

#### 7.1.2 Nasákavost vody kapilárním vztlínáním

Stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním spočívá v množství vody vyvzlínané do zkušební vzorku z podkladní savé vrstvy nasycené vodou. Zkouška se provádí dle ČSN EN 15801 [54], kdy se používají zkušební tělesa pravidelného tvaru kvádrů nebo válců. Stanoví se součinitel kapilární nasákavosti vody, který je dán směrnici lineární části křivky změny hmotnosti v závislosti na čase a vypočítá se dle lineární regrese. Dále se stanoví součinitel kapilární vztlínivosti vody, který se vyjádří směrnici křivky získané vynesením výšky vztlínutí vody a vypočítá se pomocí lineární regrese. V rámci praktické části této práce bylo stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním provedeno na zvolených pálených zdících tvarovkách. Tvarovka byla umístěna do nádrže na suchou savou podložku z molitanu. Následně byla do nádrže nalita voda, aby došlo k nasycení savé podložky a hladina vody nebyla výše, než spodní plocha zdící tvarovky. Ve zvolených časových intervalech pak byla vždy tvarovka vyjmuta, povrchově osušena a zvážena. Z přírůstku hmotnosti vztaženého na plochu tvarovky je možné zkonstruovat křivku kapilární nasákavosti jako funkci odmocniny času.

#### 7.1.3 Stanovení kapilární absorpce

Stanovení kapilární absorpce  $C_{Ai}$  [kg/m<sup>2</sup>] u zdících prvků bylo použito jako jedné z klíčových vlastností pro hodnocení účinnosti hydrofobizačních přípravků. Byla stanovována na zdících prvcích jako poměr hmotnosti absorbované vody k ploše vystavené vlhkosti. Jedná se o parametr velmi obdobný jako je koeficient kapilární absorpce maltových směsí. V tomto případě jsou však vzorky vystaveny působení vlhkosti celou plochou ponořeného zkušební tělesa, nikoliv pouze spodní plochou vzorku, jako je tomu u maltových směsí.



Zdící prvky byly postavené na dřevěném roštu do nádrže s vodou, následně byly prvky zality vodou do výšky 50 mm od spodní plochy prvků, nebo byly zdící prvky zatopeny celé (cca 50 mm nad horní plochu prvků). V případě prvků PTH 30 Profi zatížených vodou do výšky 50 mm byla vztažná plocha kapilární absorpce stanovena na 0,4388 m<sup>2</sup> a v případě, kdy byl prvek zatopen celý, byla vztažná plocha stanovena na 2,0750 m<sup>2</sup>. Výsledné hodnoty kapilárních absorpcí jsou vždy průměry minimálně ze dvou hodnot zkušebních vzorků, v pokročilém testování s neefektivnějšími hydrofobizačními přípravky se jedná o průměrné hodnoty stanovené na pěti zkušebních vzorcích pálených zdících prvků.

$$C_A = \frac{m_{1,t} - m_0}{A} \quad (24)$$

$m_{1,t}$  – hmotnost páleného zdícího prvku namáhaného zvýšenou vlhkostí v čase  $t$  [kg]

$m_0$  – hmotnost prvku před namáhání zvýšenou vlhkostí [kg]

$A$  – plocha páleného zdícího prvku namáhaná zvýšenou vlhkostí [m<sup>2</sup>]

Vynesením hodnot kapilární absorpce v jednotlivých časech je možné sestavit křivku závislosti kapilární absorpce na době vystavení vlhkosti. Pro možnost lepšího vzájemného porovnání jednotlivých křivek, především v počátečních oblastech závislosti, byla kapilární absorpce vynášena v závislosti na čase v jednotkách s<sup>0,5</sup>, stejně jako je tomu v případě stanovení parametrů nasákavosti vody kapilárním vztlínáním. Dále je možné pro vzájemné porovnání a hodnocení kapilární absorpce využít stanovení směrnice křivky v počáteční oblasti, jako je tomu také u stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním.



Obr. 15 Stanovení kapilární absorpce

#### **7.1.4 Stanovení hloubky hydrofobizační úpravy**

U neefektivnějšího hydrofobizačního přípravku byla stanovena hloubka průniku hydrofobizačního přípravku do keramického střepe. Keramické tvarovky byly hydrofobizovány běžným způsobem a z hydrofobizované části byla odříznuta 20 mm silná vrstva. Takto připravené vzorky byly celé krátce ponořeny do vodní lázně s pigmentem a následně ponechány k samovolnému vyschnutí za běžných laboratorních podmínek. Vlivem hydrofobizace bylo v průběhu vysychání a vsakování vody viditelné barevné rozhraní, značící hloubku vsáknutí hydrofobizačního přípravku do keramického střepe.

#### **7.1.5 Stanovení trvanlivosti hydrofobizační úpravy**

Stanovení trvanlivosti hydrofobizační úpravy lze rozdělit na dvě základní části – přirozené a zrychlené stárnutí. V rámci přirozeného stárnutí se jednalo o provedení dlouhodobého zatěžování hydrofobizovaných zdících prvků namáhání vlhkostí a cyklické zatěžování namáhání vlhkostí. Ze zrychlených testů byl proveden zrychlený test stárnutí vlivem UV záření za pomoci zařízení Qsun a dále byl proveden test simulující stárnutí vlivem UV záření v kombinaci se zatížením vlhkostí, vysokou teplotou a mrazem – tento test byl proveden ve spolupráci s *Výzkumným ústavem stavebních hmot* na přístroji s názvem "skrápědlo".

#### **Zrychlený test stárnutím UV zářením - Qsun**

Jedná se o sledování trvanlivosti hydrofobizační ochrany při vystavení účinkům UV záření (simulace expozice neomítnutého povrchu tvarovek slunečnímu záření). Podstata spočívá v tom, že se zkušební vzorky exponují v přístroji s fluorescenční UV lampou o intenzitě záření  $45 \text{ W/m}^2$ , při černé teplotě  $60^\circ\text{C}$  a při relativní vlhkosti 11 % (suchá perioda). Intenzita záření z xenonové lampy na povrchu vzorku by se neměla lišit v rovině dvou bodů více než o 10 %. Ve zkušebním zařízení byly vzorky postříkovány demineralizovanou vodou s měrnou vodivostí nejvýše  $500 \mu\text{S/m}$  a při teplotě prostředí  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ . Rozstříkávání bylo rovnoměrné a nepřetržité po dobu 60 minut (mokrý perioda).

Vzorky byly vystaveny stárnutí po dobu 24 dní v předem naprogramovaném cyklu. Vzhledem k tomu, že v současné době neexistuje normativní postup pro sledování stárnutí polymerů aplikovaných na keramický střepe, byl cyklus nastaven dle normy ČSN EN 1297. Jedná se o normu, která se zabývá umělým stárnutím asfaltových, plastových a pryžových pásů a fólií pro hydroizolaci při dlouhodobém vystavení kombinaci UV záření, zvýšené teploty a vody. Cyklus trval 360 minut, z toho 300 minut trvala suchá perioda a 60 minut mokrý perioda, celkově proběhlo 576 hodin.



Obr. 16 Komora Qsun pro simulaci stárnutí vlivem UV záření

### **Zrychlený test stárnutí UV zářením v kombinaci se zatížením vlhkostí, zvýšenou teplotou a mrazem - Skrápědlo**

Při použití skrápědla je možné simulovat vystavení keramických zdících bloků působení vlhkosti, zvýšené teploty v kombinaci s UV zářením a působení mrazu. Jeden simulační cyklus se skládá ze 170 minut skrápění vodou pomocí rozprašovacích trysek, které rozprašují cca 103 litrů vody na 1 m<sup>2</sup> účinné plochy za hodinu. Po 170 minutách skrápění následuje 10minutová pauza. Po pauze následuje ohřev zkoušeného vzorku po dobu 170 minut za pomoci IR lamp o výkonu cca 1300 W na 1 m<sup>2</sup> s doplněním o svit UV světla o výkonu 250 W na 1 m<sup>2</sup>. Teplota sálavé plochy exponovaného materiálu se zvýší na cca 60 – 70 °C. Následuje opět 10 minut pauza. Výše popsaný postup se opakuje 17krát za sebou. Poté jsou vzorky ponechány 2 hodiny ve vodě. Po 2 hodinách nasycení vodou jsou vzorky vloženy do klimatického zařízení na teplotu -20 °C po dobu 2 hodin. Tímto je ukončen jeden simulační cyklus zkoušky trvanlivosti, který odpovídá vystavení vzorků ve venkovním prostředí při extrémních podmínkách pro středoevropskou lokalitu dobu 1 roku.



Obr. 17 Zařízení pro zrychlený test stárnutí - skrápědlo

### 7.1.6 Dlouhodobá zkouška/vysychání

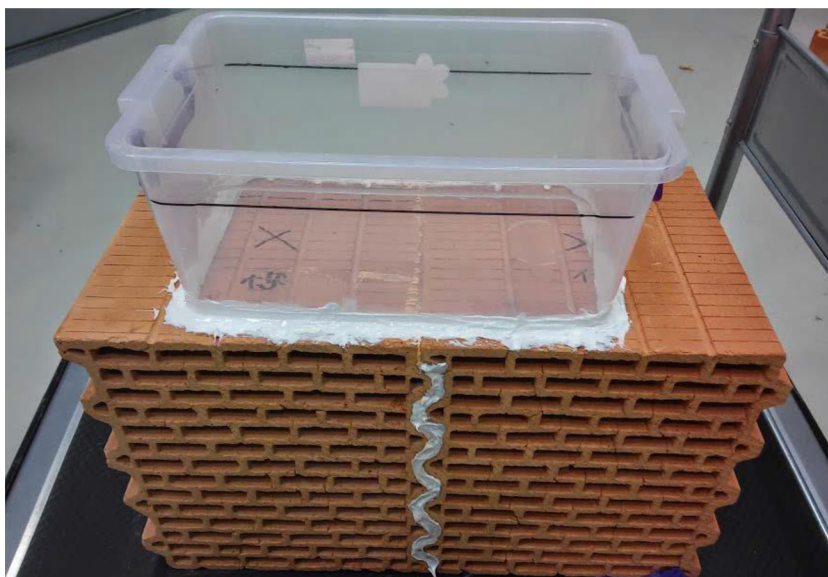
V rámci sledování trvanlivosti hydrofobizačních úprav byly provedeny také nezrychlené zkoušky, které spočívaly v dlouhodobém vystavení hydrofobizovaných zdících prvků zvýšené vlhkosti postavením do nádrže s vodou. V prvním případě se jednalo o kontinuální vystavení zvýšené vlhkosti po dobu dvou let a ve druhém případě se jednalo o cílené cyklické zatěžování. V rámci cyklického zatěžování byly tvarovky namáhány zvýšenou vlhkostí po dobu 35 dní, následně byly vyjmuty z nádrže s vodou a 380 dní ponechány přirozené degradaci vlivu UV záření. Po této době byla opět shodným způsobem sledována kapilární absorpce po dobu 35 dní.

### 7.1.7 Stanovení kvality spoje zdících tvarovek

Před samotným testováním vodotěsnosti styčné spáry pojené zdící pěnou byly u tvarovek hydrofobizovány vnější plochy hydrofobizačním přípravkem Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) v koncentraci 1:40 po dobu 10 s. Díky tomu je zabráněno vsakování vody do keramického střeptu tvarovky a je možné sledovat případný průsak sledovaným spojem.

Na ozuby styčných ploch tvarovky byly nanесeny vybrané materiály pro pojení ve styčných spárách. Ihned po nanесení byla tvarovka spojena s druhou tvarovkou na „péro + drážku“.

Po vyzrání pojících materiálů ve spoji byla na hydrofobizovanou plochu tvarovek silikonem připevněna plastová nádoba bez dna. Spoj mezi tvarovkami byl na ložných plochách také zasílikonován, aby bylo zajištěno protékání vody pouze přes sledovaný spoj. Na nádobě připevněné k tvarovkám, byla vyznačena ryska a do vyznačené výšky byla nalita voda. Nádoba byla přiklopena plastovým víkem a seshora zatížena, tak aby bylo zabráněno odparu vody. Tímto způsobem bylo zajištěno, že voda mohla protékat/prosakovat pouze přes sledovaný spoj. Celé zkušební zařízení je zobrazeno na Obr. 19.

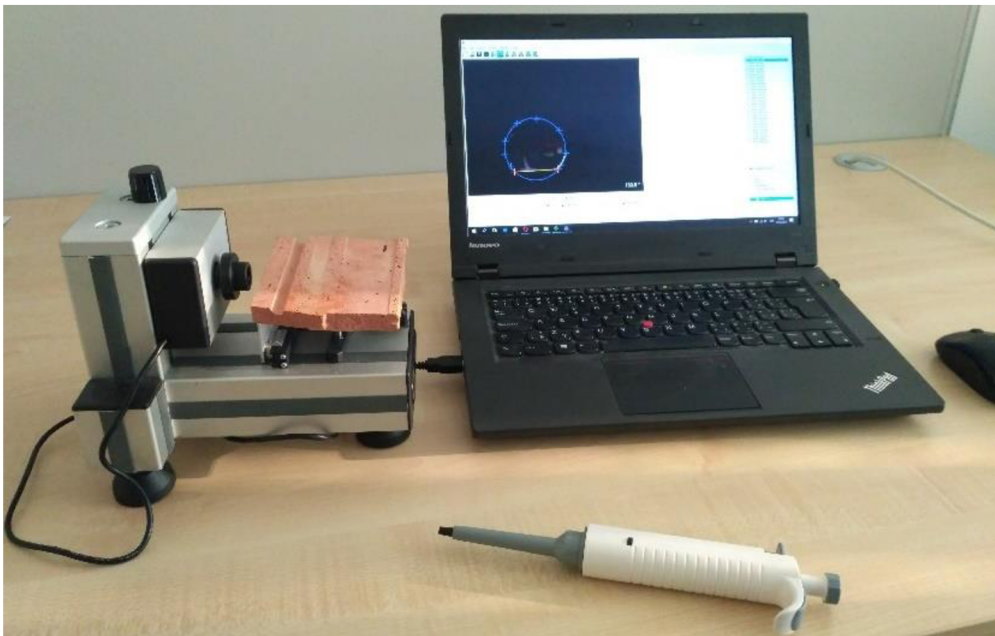


Obr. 18 Ověření vodotěsnosti styčné spáry pojené zdící pěnou

U zkušebního zařízení byla v průběhu času sledována hladina vody dosahující k vyznačené rysce. V případě úbytku vody byla voda do plastové nádoby dolévána a taktéž byl vždy zaznamenán úbytek vody za čas. Míra vodotěsnosti spoje je dána množstvím vody proteklé spojem, tedy vody potřebné pro udržení hladiny po vyznačenou rysku.

### **7.1.8 Stanovení povrchové energie [J.m<sup>-2</sup>] hydrofobizovaného povrchu**

Na povrch hydrofobizovaných vzorků byla vždy usazena odměřená kapka konkrétní kapaliny. Jako kapaliny byla volena voda, glycerol a ethylen glycol. Měření probíhalo na přístroji See System, který pomocí CCD kamery zaznamená snímek vzorku s přisedlou kapkou. Na snímku dojde vždy k přesnému definování trojfázového rozhraní (pevná látka – kapalina – plyn) a ohraničení rozhraní přisedlé kapky a okolního plynného prostředí. Na základě těchto údajů lze stanovit jednotlivé tečny na trojfázovém rozhraní a tím i kontaktní úhel mezi kapalinou a pevnou látkou. Následně je acid–base (Lifshitz–Van der Waals) metodou společně s Young–Dupr' e rovnicí stanovena povrchová energie a její jednotlivé složky.



Obr. 19 Měření kontaktního úhlu na přístroji See System

### **7.1.9 Rozbor vody z výluhu hydrofobizovaného střepu páleného zdícího prvku**

Ve spolupráci s externí laboratoří byla provedena chemická analýza výluhu vod, ve kterých byly umístěny střepy pálených zdících tvarovek opatřených hydrofobizační ochranou. Cílem bylo stanovit, zda-li se z hydrofobizovaných tvarovek neuvolňují škodlivé látky, pokud je zdivo vystaveno dlouhodobému kontinuálnímu působení vody.

### **7.1.10 Zátopová zkouška**

Pro zátopovou zkoušku byla navržena a vyrobena speciální zkušební nádrž o rozměrech 2000x1000x1100 mm. Nádrž je dimenzována tak, aby v ní bylo možné provést testování 1 m<sup>2</sup>

zdiva do tloušťky 500 mm s maximálním zatížením hydrostatického tlaku vyvozeného 1 m<sup>3</sup> vody. V jedné čtvrtině nádrže je umístěn límec, ke kterému je přizděna testovaná zeď. Na zeď je z druhé strany připevněn druhý límec, který je dotlačen rozpěrkami. Na stranu s výpustí/mokrou stranu je načerpána voda do požadované výšky a je sledován průtok, průsak na druhou/suchou stranu zdi. Po ukončení zátopové zkoušky a vypuštění nádrže, dojde k rozebrání stěny na jednotlivé tvarovky a stanovení vlhkostního profilu ve vybraných místech konstrukce.



Obr. 20 Nádrž pro provedení zátopové zkoušky

## 7.2 Povrchové úpravy

### 7.2.1 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost  $\rho_m$  [kg/m<sup>3</sup>] v čerstvém stavu byla stanovena dle ČSN EN 1015-6 [55]. Objemová hmotnost byla stanovována v nádobě o objemu 5 l. Nádoba byla při každém stanovení naplněná přes okraj, umístěna na vibrační stolek, zavibrována a přebytečná malta byla setřena špachtlí. Objemová hmotnost v čerstvém stavu byla stanovena vždy jako průměrná hodnota ze dvou měření dle vztahu:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_V} \quad (25)$$

$m_2$  – celková hmotnost měřicí nádoby naplněné maltou [kg]

$m_1$  – hmotnost prázdné měřicí nádoby [kg]

$V_V$  – objem měřicí nádoby [m<sup>3</sup>]

Objemová hmotnost zatvrdlé malty byla stanovována po 7 a 28 dnech zrání. Každý rozměr byl dvakrát změřen pomocí digitálního posuvného měřidla. Z výsledných rozměrů stanovených aritmetickým průměrem a hmotnosti zkušebních těles (40x40x160 mm) byly stanoveny objemové hmotnosti ve vyzrálém stavu. Na totožných zkušebních tělesech byly následně stanoveny mechanické vlastnosti, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku.

### 7.2.2 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Stanovení pevnosti v tahu za ohybu bylo provedeno na zkušebních tělesech 40x40x160 mm dle ČSN EN 1015-11 [56] ve stáří zkušebních vzorků 7 a 28 dní. Zkušební zařízení je

sestaveno ze dvou podpěrných válců a třetího válce umístěného uprostřed mezi oběma válcovými podpěrami. Zkouška probíhá postupných zatěžování s rovnoměrnou rychlostí 10 – 50 N/s až do porušení zkušební tělesa. Z maximální síly se stanoví pevnost v tahu za ohybu.

$$f = 1,5 \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (26)$$

*F* – maximální zatížení [N]

*l* – vzdálenost mezi podpěrnými válci [mm]

*b* – šířka zkušební tělesa [mm]

*d* – výška zkušební tělesa [mm]

### 7.2.3 Stanovení pevnosti v tlaku

Stanovení pevnosti v tlaku bylo provedeno na zkušebních tělesech 40x40x160 mm po provedení zkoušky pevnosti v tahu za ohybu. Zkoušení bylo provedeno dle ČSN EN 1015-11 [56] ve stáří zkušebních vzorků 7 a 28 dní. Zkušební tělesa s očištěnými plochami byla uložena mezi ocelové destičky o ploše 40x40 mm a plynule zatěžovány do maximálního zatížení.

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (27)$$

*F* – maximální dosažené zatížení [N]

*A* – průřezová plocha tlačných desek (1600 mm<sup>2</sup>) [mm<sup>2</sup>]

### 7.2.4 Stanovení kapilární absorpce

Stanovení kapilární absorpce bylo provedeno dle ČSN EN 1015-18 [57] na trámečcích k tomu určených. Všechny delší plochy je nejprve nutné opatřit hydroizolačním povlakem tak, aby následně voda mohla vzlínat pouze spodní čtvercovou plochou. Každý trámeček byl vysušen, zvážen a postaven na výšku na rošt do plastové nádoby. Trámečky byly zality vodou do výšky 5 až 10 mm od spodní plochy. Po 10 min. a následně po 90 minutách byl každý trámeček nechán 10 s okapat a následně zvážen. Poslední vážení bylo po 24 hodinách od zalití. Po posledním vážení byl každý trámeček podélně rozlomen pomocí kladiva a ocelového sekáče. Na lomové ploše vzorku byla změřena výška vzlinutí vody. Výsledkem je stanovení koeficientu kapilární absorpce *C* [kg/(m<sup>2</sup>·min<sup>0,5</sup>)] a *C<sub>m</sub>* [kg/m<sup>2</sup>] koeficientu kapilární absorpce pro sanační malty.

$$C = 0,1 \cdot (M2 - M1) \quad (28)$$

$$C_m = 0,625 \cdot (M3 - M0) \quad (29)$$

*M0* – hmotnost vysušeného zkušební tělesa před zkouškou [kg]

*M1* – hmotnost zkušební tělesa po 10 minutách namočení do vody [kg]

*M2* – hmotnost zkušební tělesa po 90 minutách namočení do vody [kg]

*M3* – hmotnost zkušební tělesa po 24 hodinách namočení do vody [kg]

### 7.2.5 Stanovení přídržnosti

Stanovení přídržnosti bylo provedeno dle ČSN EN 1015-12 [58]. Přídržností byl sledován vliv hydrofobizačního přípravku na přídržnost jednotlivých receptur, a to jak k referenčnímu povrchu – beton, tak ke keramickým zdícím blokům. V případě přídržnosti k betonovému povrchu byly jednotlivé směsi nanášeny v rovnoměrné vrstvě silné 10 mm na předem navlhčené betonové desky. V případě přídržnosti ke keramickým zdícím tvarovkám byly rovněž jednotlivé směsi nanášeny v síle 10 mm na šířku pálených zdících prvků. V obou případech byly, po 28 dnech zrání, na vzorky přilepeny dvousložkovým lepidlem Sikadur ocelové terče o průměru 50 mm. Po vytvrzení byly terče uhlovou bruskou obřezány způsobem stanoveným příslušnou normou, vždy skrz zkoušenou směs až do podkladu, a následně byla přístrojem DYNA Z 16 stanovena přídržnost.

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (30)$$

$F_u$  – maximální síla při prosušení

$A$  – zatěžovaná plocha

### 7.2.6 Stanovení difuze

Faktor difúzního odporu byl stanoven dle ČSN EN 1015-19 [59] na válečcích vyrobených z jednotlivých směsí a přísadách hydrofobizačního přípravku. Princip stanovení difúzního odporu směsí spočívá v přesném sledování množství vlhkosti, procházející materiálem definovanou plochou a tloušťkou materiálu, při pevně stanovených okrajových podmínkách prostředí. Před započítáním zkoušení byly pro zajištění definované plochy jednotlivé vzorky po celé své výšce zasilikonovány. Takto připravené vzorky byly silikonem připevněny na speciální zkušební nádoby naplněné vysušeným silikagelem. Nádoby byly umístěny do klimatizačních komor s definovaným prostředím + 23 °C a 80% relativní vlhkostí. Přibližně každých 12 hodin byly zkušební nádoby se vzorky váženy a z nárůstu hmotnosti, vlivem procházející vlhkosti do silikagelu, byl stanoven součinitel difúzního odporu.

### 7.2.7 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Vliv hydrofobizace jednotlivých směsí na tepelně izolační vlastnosti byl sledován pomocí součinitele tepelné vodivosti. Součinitel tepelné vodivosti byl stanoven dle ČSN EN 12667 [60] a ISO 8301 [61] na deskách 300x300x50 mm stacionární metodou desky na přístroji Lambda 2300 firmy Holometrix, jehož princip je založen na stacionární metodě desky. Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno v ustáleném stavu při střední teplotě 10 °C a teplotním spádu 10 K. Měření bylo provedeno vždy na třech zkušebních vzorcích (na každém vzorku bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti celkem v 5 po sobě jdoucích intervalech), které byly vysušeny při teplotě +75 °C do konstantní hmotnosti. Uváděný konečný výsledek je aritmetickým průměrem z těchto tří měření. Před provedením měření byla vždy kontrolována rovinnost povrchu každé desky a v případě potřeby byla deska zabroušena.



## 8. Přehled použitých materiálů pro jednotlivé práce

V rámci praktických prací bylo použito několik skupin materiálů, jednalo se především o materiály testované za účelem hydrofobizace zvoleného páleného zdícího prvku. Dále byly sledován vliv hydrofobizace na vybrané materiály pro povrchovou úpravu, a nakonec byly testovány vytipované materiály pro pojení zdících prvků v oblasti styčných spár.

### 8.1 Pálený zdící prvek

Pro zdící systém byl vybrán pálený zdící prvek typu THERM s označením PTH 30 Profi. Jedná se o zdící prvek výrobce Wienerberger, konkrétně byly použity zdící prvky z výrobního závodu Novosedly. Prvek PTH 30 Profi reprezentuje jeden z nejběžnějších výrobků, využívá se jak pro obvodové zdivo pro zateplovací systém, tak pro vnitřní nosné zdivo. Zároveň jeho hmotnost cca 15 kg umožňuje snazší manipulaci při provádění jednotlivých experimentů.



Obr. 21 Zdící prvek PTH 30 Profi [42]

Vzhledem k tomu, že se jedná o broušené zdící prvky, s tloušťkou ložní spáry 1 mm je možné jako pojivo použít malty pro tenké spáry nebo zdící pěnu Dryfix. Založení zdiva se provádí do vyrovnané vrstvy zakládací malty. Vlastnosti deklarované výrobcem v prohlášení o vlastnostech jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tab. 7. Deklarované vlastnosti prvku PTH 30 Profi výrobcem

Vlastnost	Hodnota
Délka [mm]	247
Šířka [mm]	300
Výška [mm]	249
Hmotnost [kg]	15,7
Objemová hmotnost zdícího prvku [kg/m <sup>3</sup> ]	800
Pevnost v tlaku ve svislém směru [N/mm <sup>2</sup> ]	10
Přídržnost [N/mm <sup>2</sup> ]	0,30
Tepelná vodivost (vysušený stav) [W/(m·K)]	0,145
Propustnost vodních par [-]	$\mu=5/10$

Trvanlivost [třída]	F0
Obsah aktivních rozpustných solí [třída]	S0
Reakce na oheň [třída]	A1

Chemická analýza zeminy používaná v cihelně Novosedly je uvedena v následující tabulce.

Tab. 8. Složení zeminy používané pro výrobu hydrofobizovaných pálených zdících prvků

Obsah oxidů [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
Zemina Novosedly	12,4	9,3	4,4	2,9	2,9	0,1	1,3	0,1	53,6	0,8	0,3

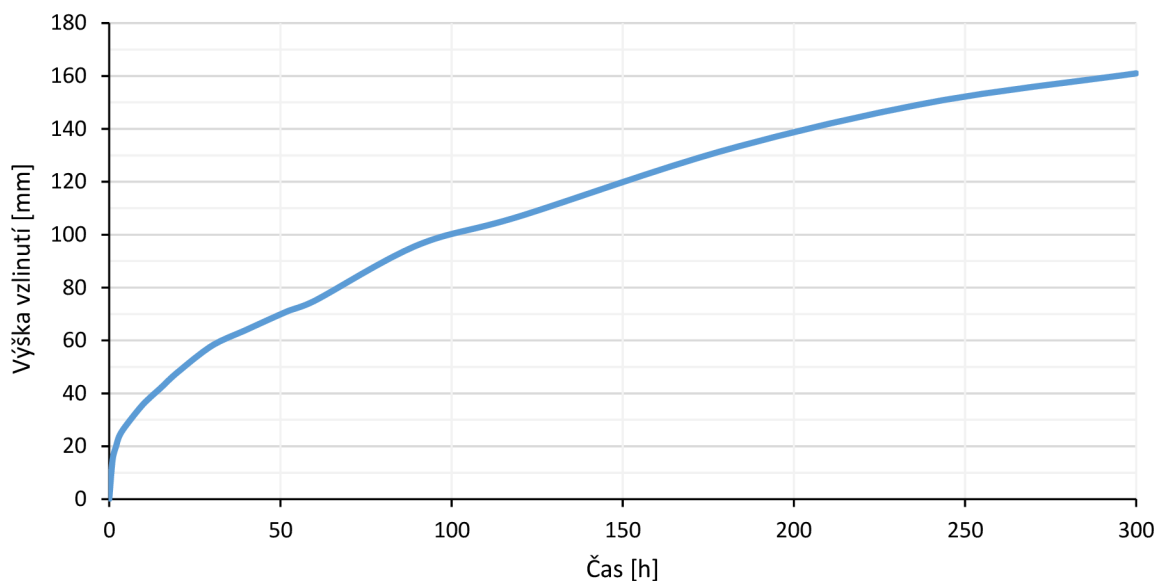
Na zdícím prvku PTH 30 Profi byly mimo deklarované vlastnosti stanoveny vlastnosti popisující, dle odpovídajících norem, chování zdícího prvku při styku s vlhkostí, vodou. U zdících prvků mohou být normou požadovány vlastnosti jako je počáteční rychlost nasákavosti prvku ČSN EN 772-11 [53] nebo nasákavost vody kapilárním vztlínáním ČSN EN 15801 [54]. Počáteční rychlost nasákavosti hodnotí nasákavost pálených zdících prvků ponořených do vody pouze prvních 60 s a nasákavost vody kapilárním vztlínáním hodnotí nasákavost pálených zdících prvků, kdy voda působí pouze na spodní plochu tvarovky a tvarovka není ponořena ve vodě.

Tab. 9. Vlastnosti páleného zdícího prvku PTH 30 Profi

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Počáteční rychlost nasákavosti páleného zdícího prvku $C_{w,i}$	kg/(m <sup>2</sup> ·min)	208
Součinitel kapilární nasákavosti vody	kg/m <sup>2</sup>	2168
Součinitel kapilární vztlínivosti vody	Mm	1,2

Tab. 10. Výška vlnutí vody v páleném zdícím prvku PTH 30 Profi

Čas [min]	1	10	30	60	90	120	180	240	300
REF	15	36	58	75	96	107	132	150	161



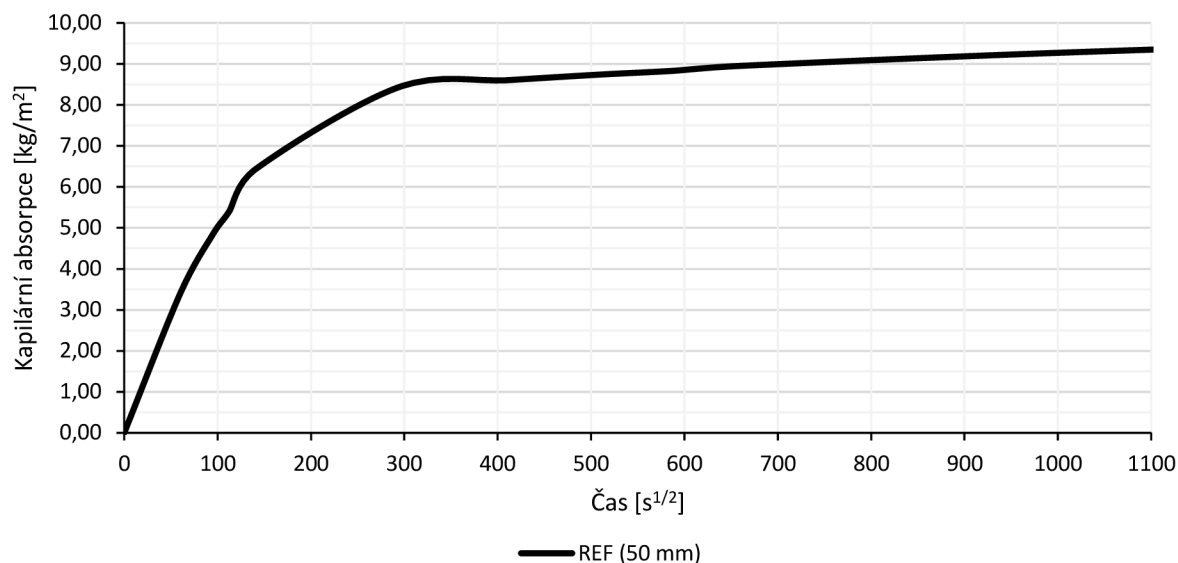
Graf 1 Výška vzlinutí vody v páleném zdícím prvku PTH 30 Profi

Vzhledem k předpokládanému zatížení pálených zdících tvarovek vodu do určité výšky, po delší časový úsek bylo zvoleno hodnocení kvality hydrofobizace dle stanovení kapilární absorpce. Stanovení kapilární absorpce vychází z postupu stanovení počáteční rychlosti nasákavosti (pouze s rozdílnou výškou ponoření prvku 50 mm) a výpočtové a grafické vyhodnocení je provedeno dle nasákavosti kapilárním vzlináním.

V prvním kroku byla stanovena kapilární nasákavost nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku (označení REF – referenční vzorek).

Tab. 11. Hodnoty kapilární absorpce nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku

Čas		CA [kg/m <sup>2</sup> ]
[h]	[s <sup>1/2</sup> ]	
1	60	3,40
3	104	4,84
6	147	6,43
24	294	8,43
48	416	8,60
96	588	8,83
264	975	9,25
480	1315	9,50
672	1555	9,64
840	1739	9,68



Graf 2 Křivka kapilární absorpce nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku PTH 30 Profi

Na základě kapilární absorpce nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku, která je v době 48 h již přes 8,5 kg/m<sup>2</sup> byla zvolena jako míra účinnosti hydrofobizačních přípravků snížení kapilární absorpce pod 1 kg/m<sup>2</sup> s dlouhodobou účinností (14 dní a déle).

Na zdícím prvku PTH 30 Profi byly stanoveny také základní vlastnosti střepe.

Tab. 12. Vlastnosti střepe zdící prvku použitého pro hydrofobizaci

Vlastnost	Hodnota
Barva [-]	Sytě oranžová
Zdánlivá pórovitost ZP [%]	35,1
Nasákavost NV <sub>24</sub> [%]	25,4
Nasákavost NV <sub>var</sub> [%]	26,5
Objemová hmotnost OH [kg/m <sup>3</sup> ]	1530
Zdánlivá hustota ZH [kg/m <sup>3</sup> ]	2570
Koeficient nasycení střepe KNS [-]	0,97

Na střepe z páleného zdícího prvku PTH 30 Profi bylo provedeno také stanovení povrchové energie a úhlů smáčivosti pro jednotlivé zvolené kapaliny.

Tab. 13. Úhel smáčivosti pro jednotlivé kapaliny a povrchová energie střepe referenčního pálených zdících prvků PTH 30 Profi

Vzorek	Úhel smáčivosti [°]			Povrchová energie [mJ.m <sup>-2</sup> ], Acido-bazický model $\gamma^{\text{total}}$
	Voda	Glycerol	Ethylenglykol	
REF	99,9 ± 5,9	115,4 ± 7,2	84,4 ± 7,2	<b>146,09</b>



Obr. 22 Voda na referenčním tvarovce (úhel smáčivosti 103,0 °)



Obr. 23 Glycerol na referenčním tvarovce (úhel smáčivosti 105,3 °)



Obr. 24 Ethyleneglykol na referenčním tvarovce (úhel smáčivosti 81,6 °)

## 8.2 Hydrofobizační přípravky určené pro hydrofobizaci páleného zdícího prvku

V rámci zpracování této práce bylo navázáno na práci Ing. Jiráskové, která v rámci své bakalářské práce testovala čtyři hydrofobizační přípravky uvedené v následujícím přehledu.

Tab. 14. Přehled hydrofobizačních přípravků testovaných v bakalářské práci Ing. Jiráskové [62, 63, 64, 65,66]

Označení	Hydrofobizér/Báze	Výrobce	Informace uváděné výrobcem	Tetované koncentrace
ASSXM	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro vlhké zdivo	IMESTA, spol. s r.o.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vynikající penetrování</li> <li>Vysoká účinnost i ve velmi vlhkém zdivu</li> <li>Vodou ředitelný</li> <li>Neobsahuje rozpouštědla, ani výkvětovné látky</li> </ul>	1:20, 1:30
APSX	alkoxy polysiloxan pro minerální podklady	Realsan Group SE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vodou ředitelný</li> <li>Bezrozpouštědlový</li> <li>Pro minerálních podklady</li> </ul>	1:15, 1:30
MSLD	Methylsilikonát draselný pro chemickou injektáž		<ul style="list-style-type: none"> <li>Vodou ředitelný</li> <li>Bezrozpouštědlový</li> <li>Pro minerálních podklady</li> <li>Použitelný i pro beztlakovou i tlakovou chemickou injektáž</li> </ul>	1:2
MSLD2	Methylsilikonát draselný pro minerální podklady	Lučební závody a.s. Kolín	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vodou ředitelný</li> <li>Pro minerálních podklady</li> </ul>	1:10, 1:25
ASX	Alkoxy siloxan pro minerální podklady	HG international	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pro minerálních podklady</li> </ul>	neředěné

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

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

Konkrétní přípravky byly nejčastěji vybrány na základě konzultací se zástupci zvolených výrobců stavební chemie. Seznam testovaných hydrofobizačních přípravků je uveden v následujícím přehledu (v rámci provedených prací byl testován i nejvhodnější přípravek dle bakalářské práce Ing. Jiráskové, Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro vlhké zdivo (ASSXM)).

Tab. 15. Přehled hydrofobizačních přípravků použitých pro hydrofobizaci páleného zděného prvku PTH 30 Profi [62, 65, 67, 68, 69, 70,71]

Označení	Hydrofobizér/báze	Báze	Informace uváděné výrobcem
AS	Alkoxy silan pro minerální podklady	Evonik Industries AG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Vysoká odolnost proti zásadám</li> <li>• Proniká hluboko do porézních minerálních podkladů</li> <li>• Nevykazuje žádnou tvorbu lepidivých silikonových filmů</li> <li>• Vodou ředitelný</li> </ul>
SM	Silikonová mikroemulze pro minerální podklady		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Vysoká odolnost proti zásadám</li> <li>• Proniká hluboko do porézních minerálních podkladů</li> <li>• Nevykazuje žádnou tvorbu lepidivých silikonových filmů</li> <li>• Účinné na mikrotrhliny až do 0,3 mm</li> <li>• Vodou ředitelný</li> </ul>
APSX2	Alkoxy polysiloxan pro minerální podklady		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Proniká hluboko do porézních minerálních podkladů</li> <li>• Nevykazuje žádnou tvorbu lepidivých silikonových filmů</li> <li>• Účinné na mikrotrhliny až do 0,3 mm</li> <li>• Vodou ředitelný</li> </ul>

ASSXM	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro vlhké zdivo	IMESTA, spol. s r.o.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vynikající penetrování</li> <li>• Vysoká účinnost i ve velmi vlhkém zdivu</li> <li>• Vodou ředitelný</li> <li>• Neobsahuje rozpouštědla, ani výkvětovorné látky</li> </ul>
ASSXM2	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady	Sika AG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Aplikovatelný bez ředění</li> <li>• Přetíratelný nátěry</li> </ul>
APSX3	Alkoxy polysiloxan do nátěrů	Elkem ASA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Vodou ředitelný</li> <li>• Použitelné i do nátěrů</li> </ul>
APSX4	Alkoxy polysiloxany pro minerální podklady		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Vodou ředitelný</li> <li>• Použitelné i do nátěrů</li> </ul>
NSiO	Nano nástřik pro minerální podklady	ANKER technology s.r.o.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Chrání před usazováním nečistot</li> <li>• Bez zápachu a biologicky odbouratelný</li> <li>• Bez nežádoucího matného či lesklého efektu</li> </ul>
ASSXM3	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady	Wacker Chemie AG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Hluboký průnik do porézních podkladů</li> <li>• Odolnost proti zásadám</li> <li>• Poskytuje dobrou přilnavost k barvám</li> <li>• Vodou ředitelný</li> </ul>
ASSXM4	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze odolný proti zásadám		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro minerálních podklady</li> <li>• Hluboký průnik do porézních podkladů</li> <li>• Odolnost proti zásadám</li> <li>• Poskytuje dobrou přilnavost k barvám</li> <li>• Vodou ředitelný</li> <li>• Stabilní i naředěný</li> </ul>
ASSXM5	Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vodou ředitelný</li> <li>• Nutnost použití ihned po naředění</li> <li>• Pro minerálních podklady</li> </ul>
MSLD3	Methylsilikonát draselný pro minerální podklady		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vodou ředitelný</li> <li>• Široká škála použití: minerálních podklady, izolační materiály, lehké kamenivo</li> </ul>

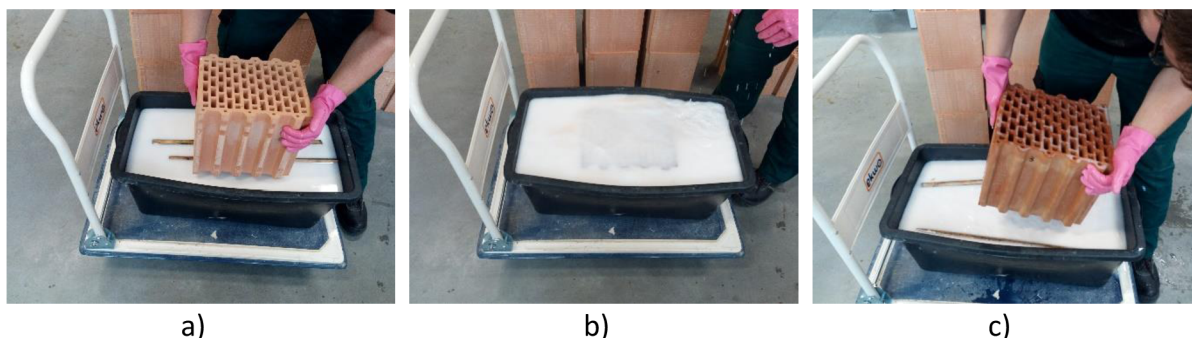
Jednotlivé zdící prvky byly hydrofobizovány vybranými druhy hydrofobizačních přípravků ve zvolených koncentracích. Aplikace probíhala máčením nebo nástřikem přípravku.

Nástřik byl prováděn ručně, s maximální snahou o rovnoměrné pokrytí celé zvolené oblasti pro hydrofobizaci.

Při nanášení máčením byly zdící prvky ponořeny do nádře s připraveným roztokem do zvolené výšky hydrofobizace. Bylo dbáno na to, aby se zdící prvek nedotýkal spodní plochou dna nádoby, ani bočními plochami stěn nádoby. Máčení bylo vždy definováno časovým intervalem, základní doba máčení byla zvolena 10 s. Po vyjmutí z hydrofobizačního roztoku byl každý zdící prvek ponechán odkapat na roštu. Se zkouškami na hydrofobizovaných prvcích bylo započato vždy nejdříve 5 dní po hydrofobizaci prvků.

Tab. 16. 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	



Obr. 25 Aplikace hydrofobizačního přípravku máčením; a) zdící prvek před hydrofobizací; b) zdící prvek v hydrofobizačním roztoku; c) zdící prvek po hydrofobizaci



### 8.3 Pigment

Při použití zvolených hydrofobizačních přípravků většinou není možné po aplikaci přípravků vizuálně odlišit hydrofobizované a nehydrofobizované prvky. Z důvodu jednoznačné identifikace hydrofobizovaných pálených zdících prvků bylo tedy pokročeno k testování použití hydrofobizační ochrany v kombinaci s pigmentem. Po oslovení výrobců hydrofobizačních přípravků byl zvolen tekutý pigment modré barvy na bázi (Ethylendioxy)dimethanol, dodaný společností Imesta s.r.o.[60].

### 8.4 Povrchová úprava

Pro zdící systém byla vybrána také vhodná povrchová úprava pro konečný zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav. Povrchová úprava byla volena ve spolupráci s firmou Baumit a vývojovým oddělením společnosti Wienerberger, tak aby byla zajištěna co nejlepší kompatibilita. Byly zvoleny dva druhy jádrové omítky a jedna finální povrchová úprava.

Tab. 17. Přehled zvolených komponent omítkového systému [72]

Výrobek	Popis	Použití
Baumit Sanova FeinPutz	Průmyslově vyráběná vodoodpudivá suchá omítková směs pro ruční zpracování.	Jemná přírodně bílá sanační omítko pro použití v interiéru i exteriéru. Zvláště vhodná pro sanaci vlhkého a solí zatíženého zdiva starých staveb a památkově chráněných objektů.
Baumit Manu 4	Průmyslově vyráběná suchá omítková směs pro ruční zpracování v exteriéru i interiéru.	Hrubá jádrová omítko pro ruční omítání, použitelná v exteriéru i interiéru.
Baumit Duomalta	Průmyslově vyráběná suchá směs vhodná jako zdící malta i jako univerzální omítko, pro ruční zpracování.	Zdící malta pro všechny druhy obvyklých zdících prvků, pro nosné stěny i příčky. Jádrová omítko pro ruční omítání, použitelná v interiéru i exteriéru.

### 8.5 Hydrofobizační přípravek pro hydrofobizaci zvolených maltových směsí povrchové úpravy

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. 18. Popis zvoleného hydrofobizačního přípravku Imesta s.r.o. Silikonová emulze pro hydrofobizaci maltových směsí povrchové úpravy [60]

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

Dávkování bylo prováděno objemově k množství čerstvé maltové směsi připravené z jednoho standardního pytlomaného balení suché maltové směsi v koncentracích:

- 0,2 %
- 0,6 %
- 1,0 %

## 8.6 Materiály zvolené pro pojení pálených zdících tvarovek ve styčných spárách

Pro vytvoření požadované vodonepropustné konstrukce bylo nutné nalézt systém pojení v oblasti styčných spár zdiva. V současné době je v případě použití tvarovek PTH 30 Profi a jim obdobných řešena styčná spára suchým způsobem, způsobem péro+drážka (P+D). Pro použití do oblasti styčné spáry byly vybrány a testovány materiály uvedené v následujícím přehledu:

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

Tab. 19. Přehled materiálů zvolených pro pojení pálených zdících tvarovek ve styčných spárách [42, 71]

Výrobek	Báze/konzistence	Popis	Použití
SOULDAL T-REX Gold power – lepicí tmel	Hybridní polymer/Pasta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• extrémně vysoká počáteční přilnavost</li> <li>• u většiny aplikací nevyžaduje fixaci lepených předmětů</li> <li>• snadná a efektivní aplikace</li> <li>• výborná přilnavost na běžné porézní i neporézní materiály (mimo PP, PE, PTFE, asfalt)</li> <li>• přilne i na vlhké povrchy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• veškeré běžné montážní lepení v domácnosti a na stavbě</li> <li>• konstrukční lepení a tmelení spár vibrujících a dynamicky namáhaných konstrukcí</li> <li>• lepení v automobilovém průmyslu</li> <li>• lepení podlahových lišt</li> <li>• pružné lepení stavebních prvků na většinu běžných podkladů</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Přetíratelný většinou běžných nátěrů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lepení zrcadel přímo na reflexní vrstvu</li> <li>• lepení dekorativních obkladových nebo izolačních panelů</li> <li>• všechny obvyklé povrchy mimo PP, PE, PTFE a asfalt</li> </ul>
Soudal Stavbařský tmel	Polybuten/ Pasta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jednosložková pěna určena ke zdění zdiva z broušených cihelných bloků velmi snadně použitelný</li> <li>• na povrchu vytváří elastickou a pevnou slupku</li> <li>• Přetíratelný po 24 hodinách</li> <li>• velmi dobrá přilnavost na většinu stavebních materiálů</li> <li>• odolný UV záření a povětrnostním vlivům</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stavební spáry s pohybem do 7%, spárování zdiva</li> <li>• spárování mezi zdivem a rámy oken nebo zárubněmi dveří</li> <li>• zasklívání jednoduchých skel do dřevěných, betonových nebo kovových rámu</li> <li>• tmelení spojů kanalizačních a odpadních řadů</li> <li>• těsnění spojů automobilových karoserií a kontejnerů</li> <li>• všechny savé i nesavé podklady jako dřevo, beton, kámen a ostatní běžné stavební materiály. Není vhodný na PE, PP, teflon a bitumen (asfalt).</li> </ul>
Soudal Izolační tmel	silikonizovaná akrylová disperze/ Stavbilní Pasta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vhodný pro spáry s pohybem.</li> <li>• velmi snadno použitelný</li> <li>• barevně stálý, po vytvrzení vodě odolný</li> <li>• vhodný pro interiér i exteriér</li> <li>• velmi dobrá přilnavost k většině materiálů</li> <li>• po vytvrzení přetíratelný většinou barev</li> <li>• vynikající odolnost proti stárnutí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tmelení spár mezi rámy oken a dveří a zdivem</li> <li>• tmelení spár mezi zdmi a parapety</li> <li>• tmelení spár s nároky na přetírání</li> <li>• oprava prasklin ve zdech a stropech</li> <li>• výše uvedené spoje až do dilatací 15%</li> <li>• většina stavebních materiálů</li> </ul>
Soudal Studnářská montážní pěna	Polyuretan/ Tixotropní stabilní pěnová hmota	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vynikající přilnavost na většinu materiálů (kromě teflonu, PE/PP)</li> <li>• odolná minerálním olejům, vodě, všem půdním bakteriím a kyselinám</li> <li>• částečně odolná ropným produktům</li> <li>• může být překryta tmelem či nátěrem</li> <li>• trvale vodě odolná až do tlaku 0,5 barů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• spojování a tmelení prefabrikovaných betonových odvodňovacích</li> <li>• potrubí a studnářských skruží</li> <li>• vyplňování dutin</li> <li>• utěšňování kanalizačních a kalových trubek</li> <li>• utěšňování stěnových prostupů</li> <li>• vyplňování dutin okolo potrubí, betonových skruží</li> <li>• univerzální použití pro utěšňování proti vlhkosti</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• vynikající stabilita (nesráží se, nehrozí pozdější rozpínání)</li> <li>• bez použití malty</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• všechny materiály kromě PE, PP a teflonu</li> </ul>
Zdicí pěna POROTHERM DRYFIX SYSTÉM	Polyuretan/ Tixotropní stabilní pěnová hmota	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Je na vzdušné vlhkosti tvrdnoucí jednosložková pěna pro zdění, která se smí používat výhradně pro lepení broušených cihel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jednosložková pěna určena ke zdění zdiva z broušených cihelných bloků</li> </ul>

## 9. Vyhodnocení jednotlivých etap

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

#### 9.1.1 Účinnost zvolených hydrofobizačních přípravků

Pro hodnocení účinnosti hydrofobizace bylo použito sledování kapilární absorpce v kombinaci s měřením úhlu smáčivosti a stanovením povrchové energie. Hodnoty kapilární absorpce v jednotlivých časech a povrchové energie byly porovnávány s hodnotami referenčního neupraveného zdicího prvku (8.1).

Pro hodnocení účinnosti hydrofobizace prostřednictvím kapilární absorpce bylo využito okrajových podmínek stanovení prostřednictvím sorpční vlhkosti a nasákavosti zdicích prvků. Sorpční vlhkost (pro běžný stav zabudování, tedy pro teplotu + 23 °C a relativní vlhkosti 80%) tohoto typu pálených zdicích prvků uvádí výrobce v rozmezí 0,75-1 % hm. Při stanovené průměrné hmotnosti zdicího 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 započítáním měření. Sorpční vlhkost, již obsažená ve zdicích prvcích před započítáním zkoušky, se tedy při vyhodnocení kapilární absorpce již neuvažuje.

V případě zdicího prvku je nasákavost za 24 h 25,4 % (8.1), 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<sup>2</sup> (7.1.3), kde pak kapilární absorpce vychází 8,34 kg/m<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>. Nicméně v případě použitých pálených zdicích prvků je možné předpokládat zatažení střepe, tedy jev kdy dochází v důsledku zvýšené vlhkosti ke vzniku Ca(OH)<sub>2</sub> z volného CaO obsaženého ve střepe. Dle literatury je tento jev provázen přírůstkem hmotnosti 1,43 g na 1 000 g střepe před hydratací CaO [74,75]. Tedy hodnota kapilární absorpce v důsledku nárůstu hmotnosti vlivem absorbované vody je 9,63 kg/m<sup>2</sup>.

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  $1,93 \text{ kg/m}^2$ . 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  $0,58 \text{ kg/m}^2$ . 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  **$0,58 \text{ kg/m}^2$** , 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  **$1,93 \text{ kg/m}^2$** , 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  **$9,63 \text{ kg/m}^2$**  došlo k plnému nasycení zdícího prvku.

#### **9.1.1.1 Hydrofobizační přípravky převzaté z prací na obdobné téma**

V první fázi byly převzaty výsledky bakalářské práce Ing. Jiráskové a provedeno bylo vyhodnocení pomocí hodnot kapilární absorpce.

**Hydrofobizační přípravky alkoxy polysiloxan pro minerální podklady (APSX), Methylsilikonát draselný pro chemickou injektáž (MSLD), Methylsilikonát draselný pro minerální podklady (MSLD2) a Alkoxy siloxan pro minerální podklady (ASX).**

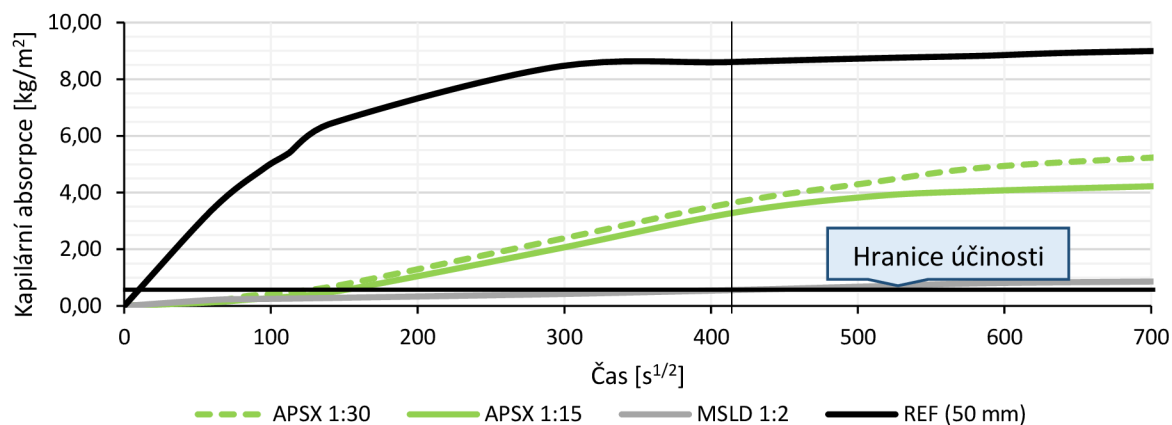
Z řady přípravků od výrobce Realsan Group SE, se jednalo o hydrofobizační přípravky alkoxy polysiloxan pro minerální podklady (APSX) a Methylsilikonát draselný pro chemickou injektáž (MSLD). Přípravky byly aplikovány máčením po dobu 10 s. Hydrofobizační přípravky byly testovány v doporučených koncentracích (pro přípravek APSX se jedná o koncentrace 1:15 až 1:30 a pro přípravek MSLD se jedná o koncentraci 1:2).

Od výrobce Lučební závody Kolín, byl testován pouze jeden hydrofobizační přípravek Methylsilikonát draselný pro minerální podklady (MSLD2). Přípravek se aplikoval máčením v hydrofobizačním roztoku o doporučené koncentraci 1:25 a 1:10 s dobou ponoření 10 s.

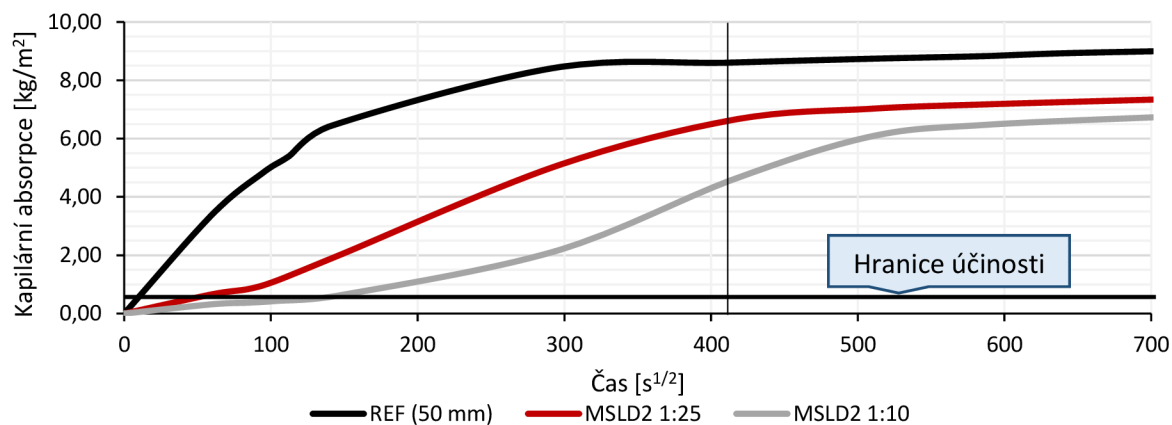
Od výrobce HG international, byl vybrán k otestování účinnosti hydrofobizační přípravek Alkoxy siloxan pro minerální podklady (ASX). Přípravek se aplikuje stříkáním dodávaným rozprašovačem. Stříkání probíhalo ručním způsobem, kdy byla snaha o maximální pokrytí celé spodní oblasti zdícího prvku včetně vnitřního povrchu dutin.

Tab. 20. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků APSX, MSLD, MSLD2 a ASX

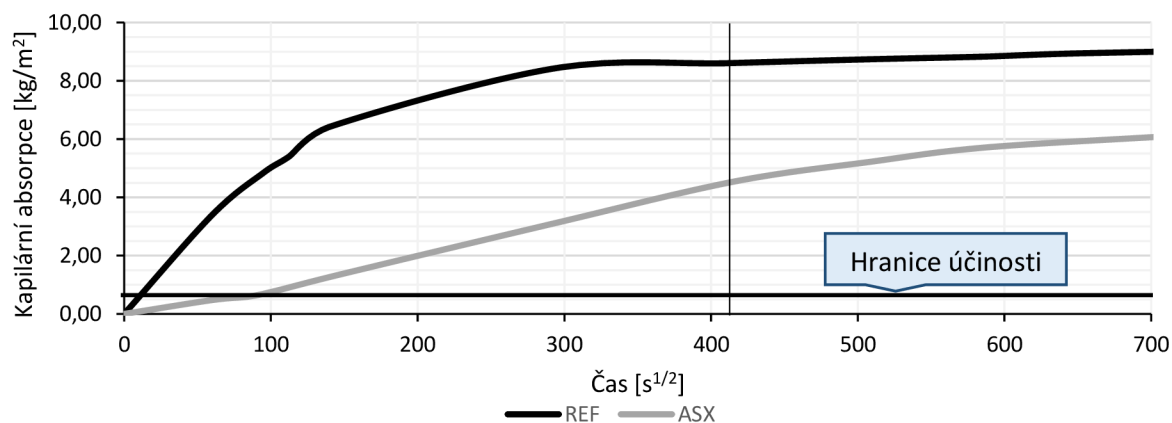
Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
APSX	1:30	0,17	0,44	0,73	2,33	3,65	4,36	4,89	5,29
	1:15	0,13	0,30	0,54	2,01	3,29	3,86	4,06	4,25
MSLD	1:2	0,21	0,25	0,29	0,42	0,56	0,69	0,80	0,87
MSLD2	1:10	0,32	0,43	0,63	2,14	4,61	6,07	6,47	6,77
	1:25	0,66	1,13	2,01	5,05	6,65	7,02	7,17	7,36
ASX	-	0,48	0,80	1,35	3,12	4,54	5,22	5,71	6,12



Graf 3 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků APSX a MSLD v doporučených koncentracích



Graf 4 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku MSLD2



Graf 5 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASX

Z výsledků kapilární nasákavosti je patrné, že přípravek APSX není vhodný jako dodatečná hydrofobizační úprava pálených zdících prvků. Při jeho použití nedošlo k dostatečnému snížení kapilární absorpce. Při použití přípravku MSLD se kapilární absorpce snížila již pod 1 kg/m<sup>2</sup>. Došlo tedy sice ke snížení nasákavosti hydrofobizované části tvarovky, nicméně účinnost hydrofobizace byla vyhodnocena jako nedostatečná, a proto s přípravky Dicosil nebylo v rámci dalších prací pokračováno.

Ze získaných dat se ukázalo, že účinnost hydrofobizačního přípravku MSLD2 není příliš stálá. V případě koncentrace 1:25 byla hranice 0,58 kg/m<sup>2</sup> překročena již v čase 1 h. V případě koncentrace 1:10 byla tato hranice překročena až po 6 h, nicméně při dalším zatěžování hydrofobizovaného zdícího prvku vodou se kapilární absorpce v čase přibližovala kapilární absorpci nehydrofobizovaného prvku, až v čase 96 hodin se ustálila na hodnotě nad 7 kg/m<sup>2</sup>. Z důvodu krátkodobé účinnosti hydrofobizačního přípravku MSLD2 nebylo s tímto přípravkem pokračováno v dalších pracích.

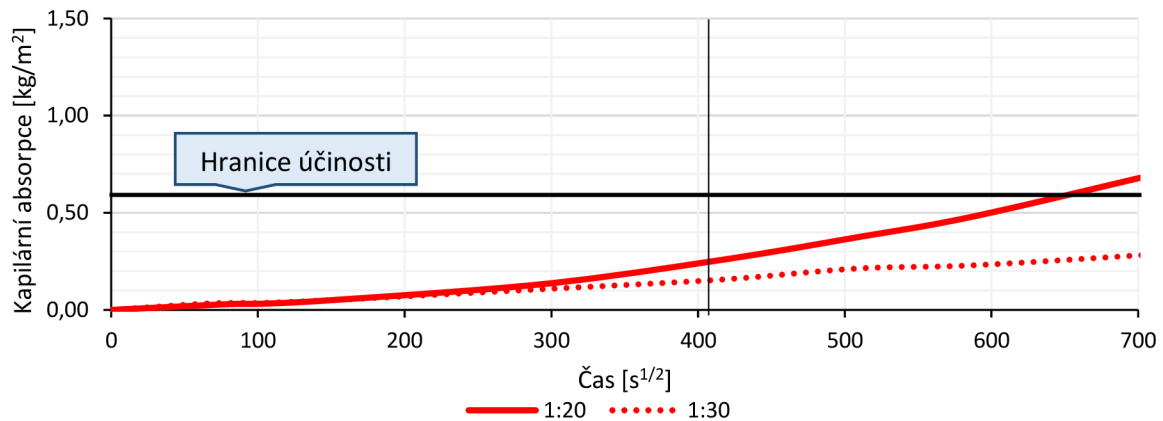
Aplikací nástřiku přípravku ASX byla již kapilární nasákavost zdícího prvku snížena, nicméně v čase tato hydrofobizační ochrana významně ztrácí účinnost. V další části práce již nebylo s přípravkem ASX pracováno.

### Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro vlhké zdivo (ASSXM)

Hydrofobizační přípravek od výrobce Imesta byl vybrán s označením Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro vlhké zdivo (ASSXM). Doporučenéředění roztoku pro máčení je koncentrace roztoku 1:20-1:30 s dobou máčení 10 s.

Tab. 21. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v doporučených koncentracích 1:20-1:30

Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
ASSXM	1:20	0,02	0,03	0,05	0,13	0,26	0,37	0,48	0,71
	1:30	0,03	0,04	0,05	0,11	0,16	0,21	0,23	0,29



Graf 6 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v doporučených koncentracích 1:20-1:30

V případě použití přípravku ASSXM v doporučených koncentracích bylo dosaženo velmi dobrého hydrofobizačního efektu. V případě koncentrace 1:20 byla kapilární absorpce nad hranicí 0,58 kg/m<sup>2</sup> v době 144 h kontinuálního zatížení. V případě aplikace v koncentraci 1:30 byla snížena kapilární absorpce pod hodnotu 0,3 kg/m<sup>2</sup>, což je možné hodnotit jako velmi dobrý hydrofobizační efekt.

### 9.1.1.2 Vytipované hydrofobizační přípravky

Použitím hydrofobizačních přípravků dochází ke změně vlastností povrchu pálených zdících prvků. V důsledku této změny je ovlivněna nasákovost, potažmo kapilární transport vody ve střepe. Změna těchto vlastností je sledována prostřednictvím stanovení průběhů kapilární absorpce v čase. Nicméně tato vlastnost vypovídá o změně vlastností povrchu nepřímo. Pro přímé charakterizování změny vlastností povrchu bylo provedeno stanovení úhlů smáčivosti pro zvolené kapaliny a z těchto hodnot byla vypočtena výsledná povrchová energie, pro jednotlivé hydrofobizační úpravy pálených zdících prvků (7.1.8). Jednalo se o vzorky střepeů ošetřených hydrofobizačními přípravky v doporučených koncentracích.



Obr. 26 Voda na nehydrofobizovaném zdícím prvku



Obr. 27 Voda na hydrofobizovaném zdícím prvku



Tab. 22. Úhel smáčivosti vody a povrchová energie hydrofobizovaných střepe

Přípravek	Aplikace	Koncentrace	Úhel smáčivosti Voda [°]	Povrchová energie [mJ/m <sup>2</sup> ]
REF	-	-	99,9 ± 5,9	146,09
ASSXM	Máčení	1:40	130,1 ± 3,1	6,68
ASSXM2	Máčení	koncentrát	99,57 ± 15,76	112,53
AS	Máčení	1:20	122,23 ± 11,43	5,98
SIM	Máčení	1:20	121,29 ± 10,57	3,15
APSX2	Máčení	1:20	107,85 ± 7,17	39,31
APSX3	Máčení	1:20	103,6 ± 9,8	121,98
APSX4	Máčení	1:10	103,98 ± 5,6	119,87
NSIO	Nástřík	koncentrát	98,5 ± 6,7	145,89
MSLD3	Máčení	1:10	106,87 ± 10,18	33,27
ASSXM3	Máčení	1:5	111,86 ± 11,47	52,52
ASSXM4	Máčení	1:5	115,16 ± 15,87	57,64
ASSXM5	Máčení	1:15	125,34 ± 10,05	3,96

Na základě výsledků měření úhlu smáčivosti a stanovení povrchové energie lze označit čtyři přípravky (vyznačené řádky – Tab. 22), u kterých bylo možné očekávat velmi dobré hydrofobizační účinky. Při použití těchto přípravků došlo ke zvýšení úhlu smáčivosti pro vodu nad hodnotu 120 °, tedy povrch je hůře smáčivý, než v případě neošetřeného střepe (úhel smáčivosti 99,9 °). V případě aplikace těchto přípravků se také výrazně snížila povrchová energie, která u neošetřeného střepe byla 146,09 mJ/m<sup>2</sup>, na hodnoty pod 10 mJ/m<sup>2</sup>.

Následně byla účinnost hydrofobizačních přípravků ověřena prostřednictvím kapilární absorpce. Kapilární absorpce byla pro lepší vyhodnocení u většiny hydrofobizačních přípravků stanovena pro širší škálu ředění, než v případě stanovení povrchové energie.

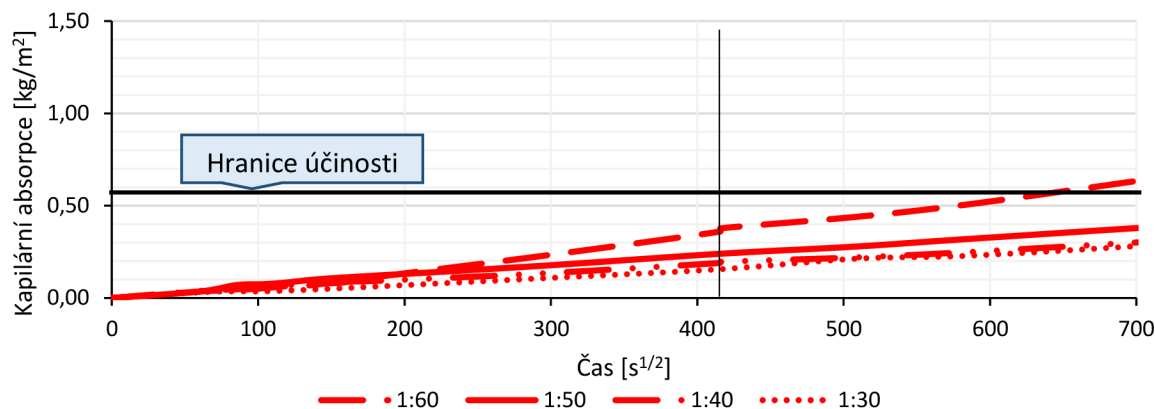
### Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro vlhké zdivo (ASSXM)

Na základě experimentů provedených Ing. Jiráskovou v její bakalářské práci jsem vybral pro další experimenty pouze použití hydrofobizačního přípravku Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM). Vzhledem ke skutečnosti, že se snižující se koncentrací vzrůstala účinnost hydrofobizační ochrany, jsem ověřil účinnost hydrofobizačního přípravku Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro vlhké zdivo (ASSXM) v nižších koncentracích 1:40, 1:50 a 1:60 se zachovalou dobou máčení 10 s.

Tab. 23. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v koncentracích 1:40-1:60

Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
1:40		0,04	0,06	0,09	0,13	0,19	0,22	0,25	0,31

1:50	0,04	0,08	0,11	0,17	0,24	0,28	0,32	0,42
1:60	0,04	0,05	0,08	0,23	0,36	0,44	0,51	0,66



Graf 7 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v koncentracích 1:30-1:60

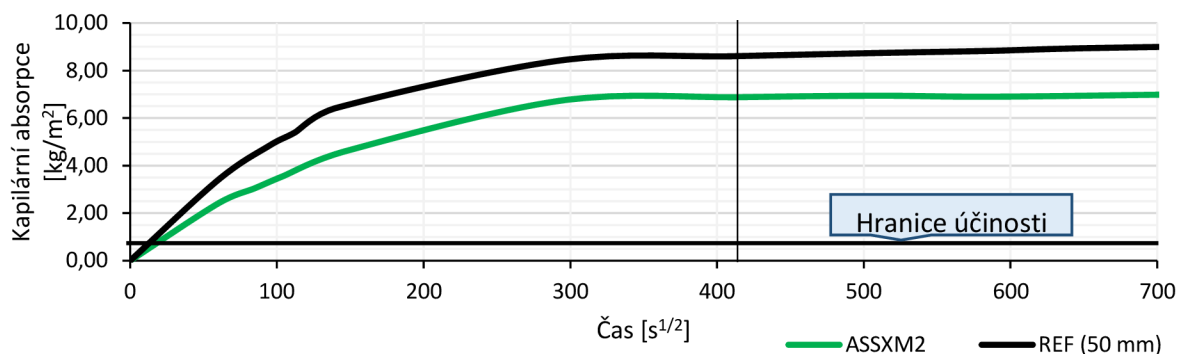
V koncentracích 1:40-1:60 bylo dosaženo snížení kapilární absorpce pod hodnotu 0,58 kg/m<sup>2</sup>. Snižování koncentrace nemá u přípravku ASSXM významný vliv na účinnost hydrofobizační ochrany páleného zdícího prvku. Jako optimální variantu použití přípravku ASSXM bylo vyhodnoceno máčení v roztoku o koncentraci 1:40 po dobu 10 s. Jedná se o ředění mírně vyšší, než je doporučené pro daný přípravek.

### Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady (ASSXM2)

Z hydrofobizačních přípravků od společnosti Sika byl vybrán hydrofobizační přípravek Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady (ASSXM2). Jedná se o vodou ředitelný hydrofobizační přípravek, který je však standardně dodáván již v koncentraci pro aplikaci bez ředění. Máčení zdících prvků bylo tedy prováděno v neředěném přípravku po dobu 10 s.

Tab. 24. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM2

Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
ASSXM2 koncentrát		2,41	3,55	4,61	6,7	6,9	6,9	6,9	7,0



Graf 8 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM2

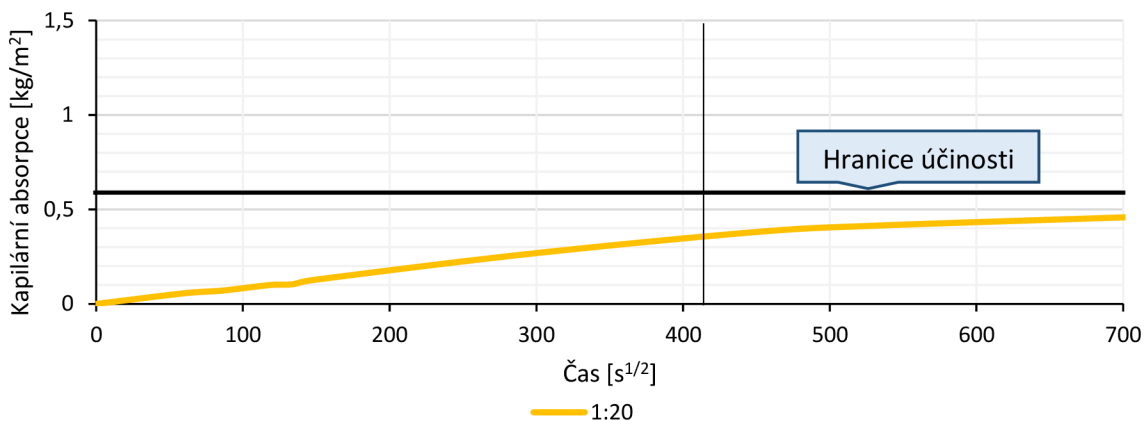
Použitím přípravku ASSXM2 bylo dosaženo mírného snížení kapilární absorpce, nicméně hydrofobizační efekt nebyl tak významný jako u řady předešlých hydrofobizačních přípravků. Kapilární absorpce zdících prvků v čase byla velmi obdobná jako při použití přípravku Lukofob 39, tedy v době 144 h se kapilární absorpce rovnala 7 kg/m<sup>2</sup>. S hydrofobizačním přípravkem ASSXM2 tedy také nebylo v dalších pracích pokračováno.

### Alkoxy silan pro minerální podklady (AS), Silikonová mikroemulze pro minerální podklady (SIM) a alkoxy polysiloxan pro minerální podklady (APSX2)

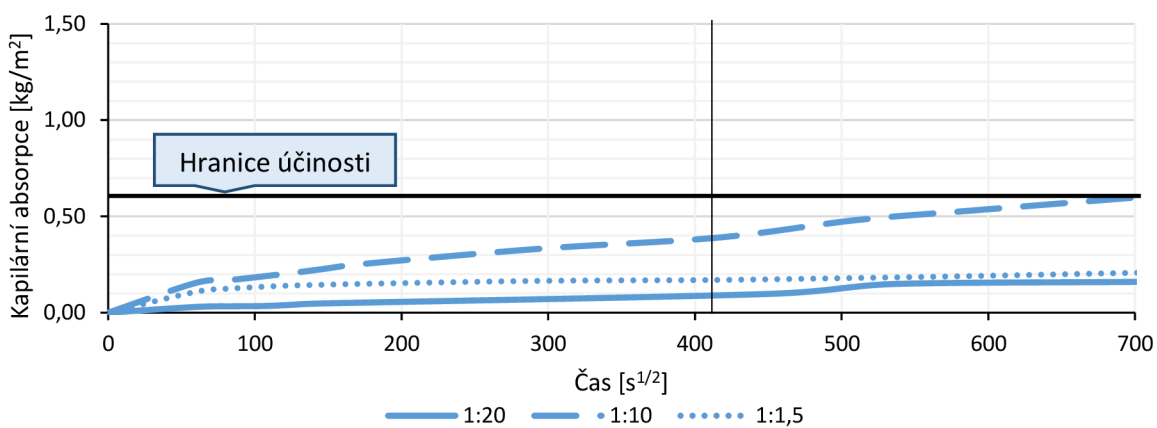
Z hydrofobizačních přípravků od společnosti Evonik byly vybrány přípravky Alkoxy silan pro minerální podklady (AS) aplikovaný máčením v doporučené koncentraci 1:20, přípravek Silikonová mikroemulze pro minerální podklady (SIM) aplikovaný máčením v doporučené koncentraci 1:1,5-1:20 a přípravek alkoxy polysiloxan pro minerální podklady (APSX2) aplikovaný také máčením v doporučené koncentraci 1:1,25-1:20. Pálené zdící prvky byly do hydrofobizačních roztoků máčeny po dobu 10 s.

Tab. 25. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků Evonik v doporučených koncentracích

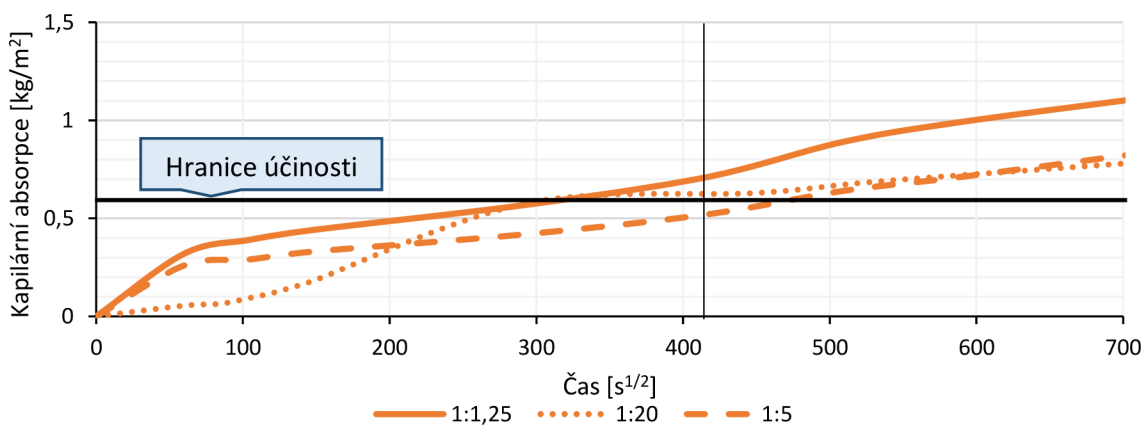
Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
AS	1:20	0,06	0,07	0,09	0,13	0,26	0,41	0,44	0,47
SIM	1:20	0,03	0,03	0,03	0,05	0,10	0,15	0,15	0,16
	1:10	0,15	0,17	0,19	0,23	0,33	0,39	0,48	0,53
	1:1,5	0,11	0,13	0,14	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19
APSX2	1:20	0,05	0,09	0,18	0,58	0,63	0,69	0,72	0,79
	1:5	0,26	0,29	0,33	0,42	0,52	0,64	0,71	0,84
	1:1,25	0,32	0,39	0,44	0,57	0,71	0,89	0,99	1,12



Graf 9 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku AS v doporučených koncentracích



Graf 10 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku SIM v doporučených koncentracích

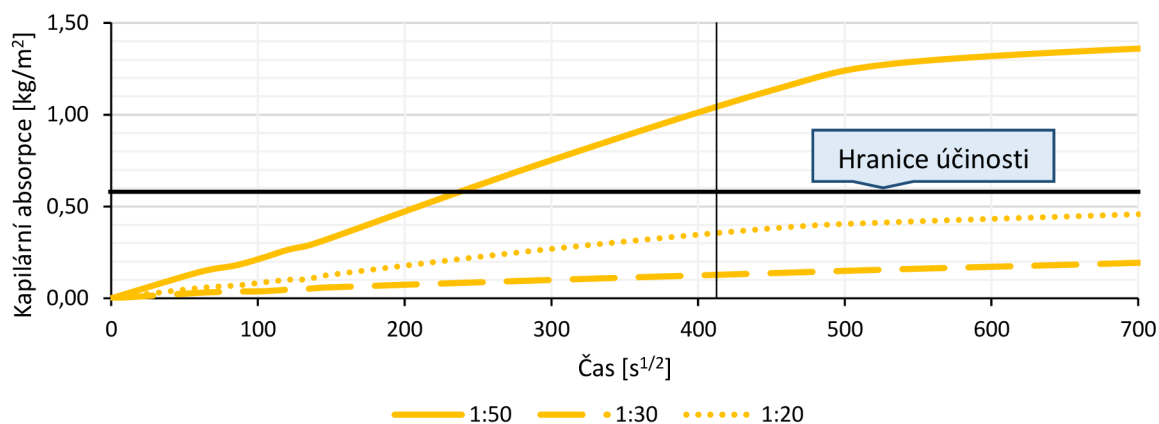


Graf 11 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku APSX2 v doporučených koncentracích

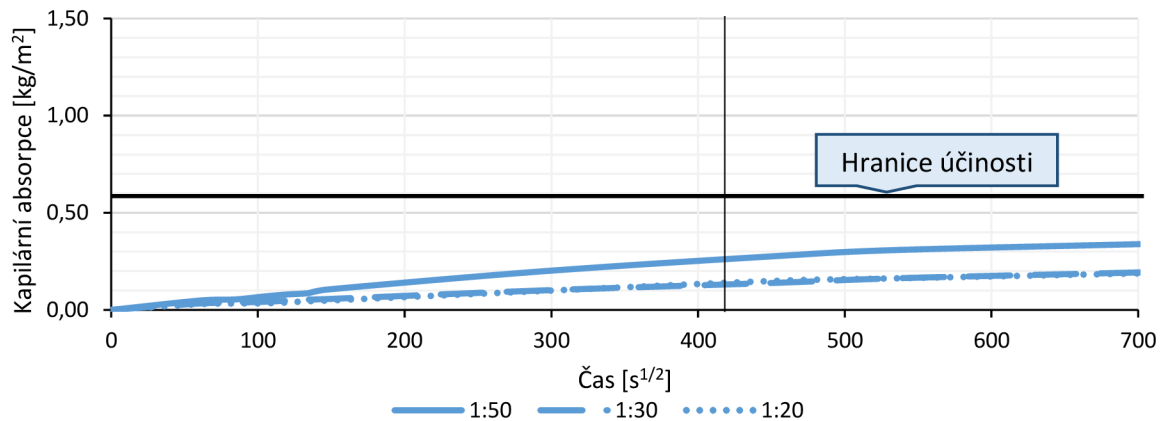
Je patrné, že použitím přípravků Evonik došlo k výraznému snížení kapilární nasákavosti pálených zdících prvků. U všech třech testovaných přípravků bylo nejvyšší účinnosti dosaženo použitím přípravku v koncentraci 1:20. S těmito výsledky byla tedy provedena druhé série testů, kdy byly přípravky aplikovány i v koncentracích 1:30 a 1:50. Aplikace byla opět provedena po dobu 10 s máčením do hydrofobizačních roztoků.

Tab. 26. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků Evonik v nízkých koncentracích

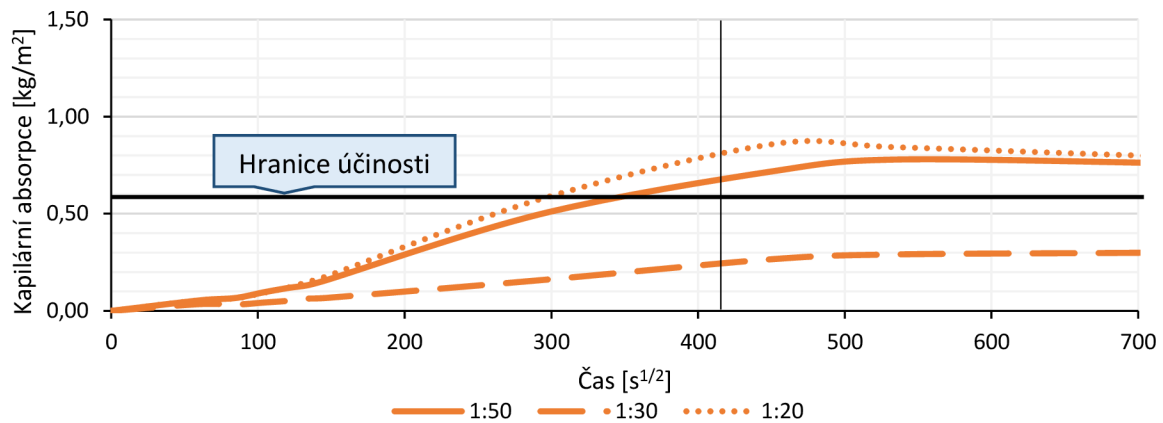
Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
AS	1:50	0,14	0,22	0,32	0,74	1,13	1,28	1,31	1,37
	1:30	0,03	0,04	0,06	0,10	0,14	0,16	0,18	0,20
	1:20	0,06	0,09	0,13	0,26	0,38	0,42	0,57	0,47
SIM	1:50	0,05	0,07	0,10	0,20	0,28	0,31	0,32	0,34
	1:30	0,03	0,04	0,06	0,10	0,14	0,16	0,18	0,20
	1:20	0,03	0,03	0,05	0,10	0,15	0,16	0,17	0,19
APSX2	1:50	0,05	0,10	0,16	0,50	0,72	0,76	0,76	0,76
	1:30	0,03	0,04	0,07	0,16	0,27	0,29	0,29	0,30
	1:20	0,05	0,09	0,18	0,58	0,63	0,69	0,74	0,79



Graf 12 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku AS v nízkých koncentracích



Graf 13 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku SIM v nízkých koncentracích



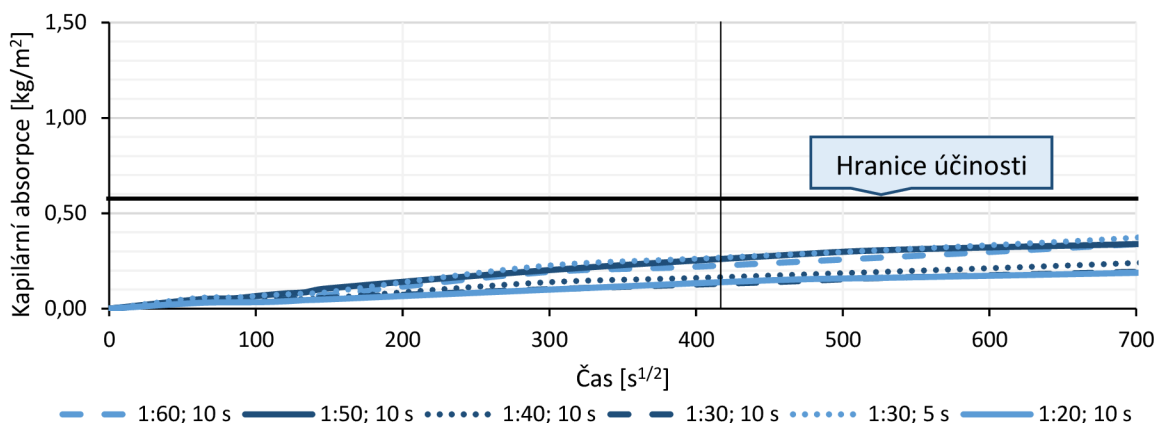
Graf 14 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku APSX2 v nízkých koncentracích

Hydrofobizační přípravky AS a APSX2 dosáhly nejlepší účinnosti hydrofobizace při koncentraci 1:30. Při nižší i vyšší koncentraci se účinnost zhoršovala (1:20 a 1:50). Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití přípravku Silikonová mikroemulze pro minerální podklady (SIM), kdy ve všech sledovaných koncentracích byla snížena kapilární absorpce pod hodnotu 0,35 kg/m<sup>2</sup>, tedy o 40 % nižší hodnoty, než stanovená hranice pro účinnou hydrofobizaci. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při aplikaci hydrofobizačních přípravků v nízkých koncentracích 1:20 a 1:30. Vzhledem k tomu, že při koncentraci 1:20 a 1:30 byla dosažena nejnižších hodnota kapilární absorpce (výsledky jsou téměř totožné) a při snižování koncentrace až na hodnotu 1:50 jsou dosaženy velmi dobré výsledky, lepší než při použití tohoto přípravku ve vysokých koncentracích.

Doplňkově bylo provedeno stanovení kapilární absorpce na zdících prvcích ošetřených přípravkem SIM ředěním v koncentraci 1:40 a 1:60 (doba máčení 10 s). Dále bylo také testováno snížení doby máčení na 5 s při použití přípravku v koncentraci 1:30.

Tab. 27. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku SIM v koncentracích 1:20-1:60

Čas	čas [h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	čas [s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
1:60; 10 s		0,04	0,06	0,07	0,19	0,23	0,27	0,30	0,35
1:50; 10 s		0,05	0,07	0,10	0,20	0,28	0,31	0,32	0,34
1:40; 10 s		0,03	0,04	0,05	0,14	0,16	0,19	0,21	0,25
1:30; 10 s		0,03	0,04	0,06	0,10	0,14	0,16	0,18	0,20
1:30; 5 s		0,06	0,07	0,08	0,22	0,27	0,33	0,35	0,38
1:20; 10 s		0,03	0,03	0,05	0,10	0,15	0,16	0,17	0,19



Graf 15 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků SIM v koncentracích 1:20-1:60

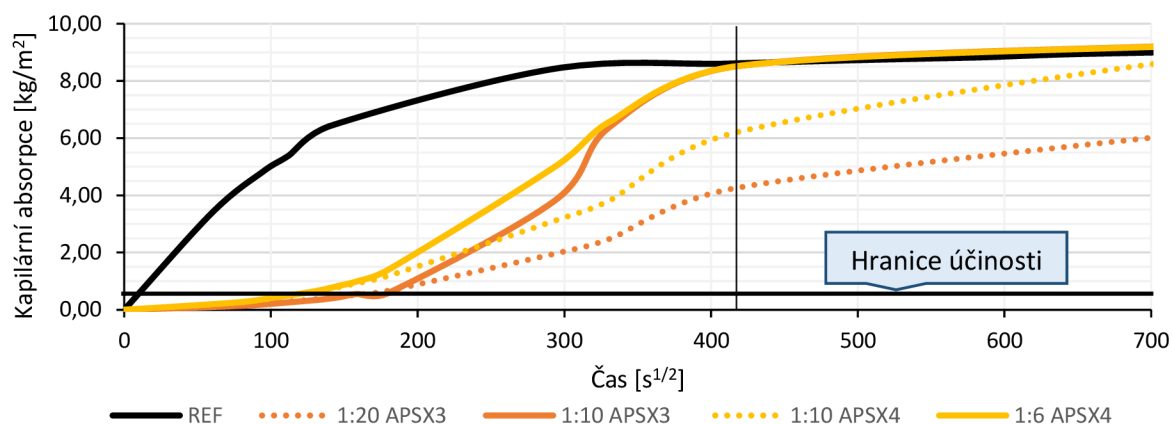
Z výsledků je patrné, že zkrácení doby máčení z 10 s na 5 s při koncentraci 1:30 zapříčinilo značné zhoršení výsledků, téměř o 100 % oproti máčení zdícího prvku v koncentraci 1:30 po dobu 10 s. Tyto hodnoty jsou obdobné jako hodnoty kapilární absorpce při aplikaci přípravku v koncentraci 1:60. Při aplikaci přípravku v koncentraci 1:40 došlo pouze k mírnému zhoršení kapilární absorpce oproti koncentracím 1:20 a 1:30. Pro použití přípravku SIM bylo tedy vyhodnoceno nejvhodnější ředění v rozmezí 1:20-1:40 s dobou máčení 10 s.

### Alkoxy polysiloxan do nátěrů (APSX3) a Alkoxy polysiloxany pro minerální podklady (APSX4)

K ověření účinnosti přípravků od výrobce Elkem ASA, byly vybrány přípravky s Alkoxy polysiloxan do nátěrů (APSX3) a Alkoxy polysiloxany pro minerální podklady (APSX4). Tyto hydrofobizační přípravky je doporučeno aplikovat máčením, přípravek APSX3 v koncentracích 1:20-1:10 a přípravek APSX4 1:10-1:6. Doba máčení byla volena opět 10 s.

Tab. 28. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků APSX3 a APSX4

Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
APSX3	1:20	0,13	0,26	0,46	1,97	4,24	4,89	5,37	6,13
	1:10	0,10	0,22	0,44	3,83	8,50	8,91	9,16	9,23
APSX3	1:6	0,19	0,44	0,84	5,01	8,50	8,93	9,17	9,22
	1:10	0,18	0,42	0,80	3,12	6,18	7,08	7,76	8,71



Graf 16 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků APSX3 a APSX4

Hydrofobizační přípravky od Elkem SAS, vykazovaly při aplikaci na pálené zdící prvky jednu z nejhorších hydrofobizačních ochranných. Při použití přípravků ve vyšších koncentracích byla kapilární nasákavost rovna kapilární nasákavosti referenčního prvku, již po 48 h vystavení vlhkosti. Při nižších koncentracích se účinnost zhoršovala pozvolněji k hodnotám kapilární nasákavosti referenčních prvků. Z toho důvodu nebylo s dalšími zkouškami s přípravky Bruesil APSX3 a APSX4 dále pokračováno.

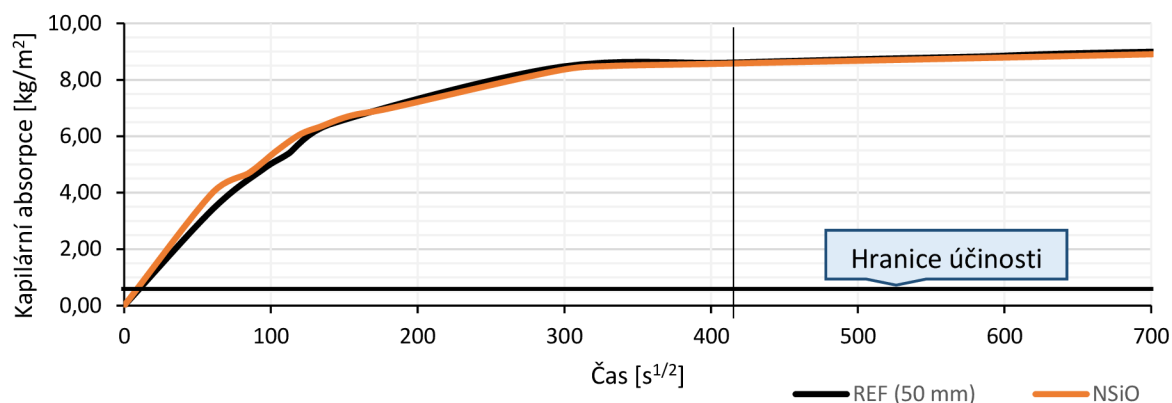
### Nano nástřik pro minerální podklady (NSiO)

Přípravek od ANKER technology s.r.o., byl aplikován stříkáním za pomoci rozprašovače dodaného výrobcem. Stříkání probíhalo ručním způsobem, kdy byla snaha o maximální pokrytí celé spodní oblasti zdícího prvku včetně vnitřního povrchu dutin.

Tab. 29. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku NSiO

Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
NSiO		3,99	5,49	7,15	8,31	8,58	8,63	8,91	8,93





Graf 17 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku a NanoMinerál

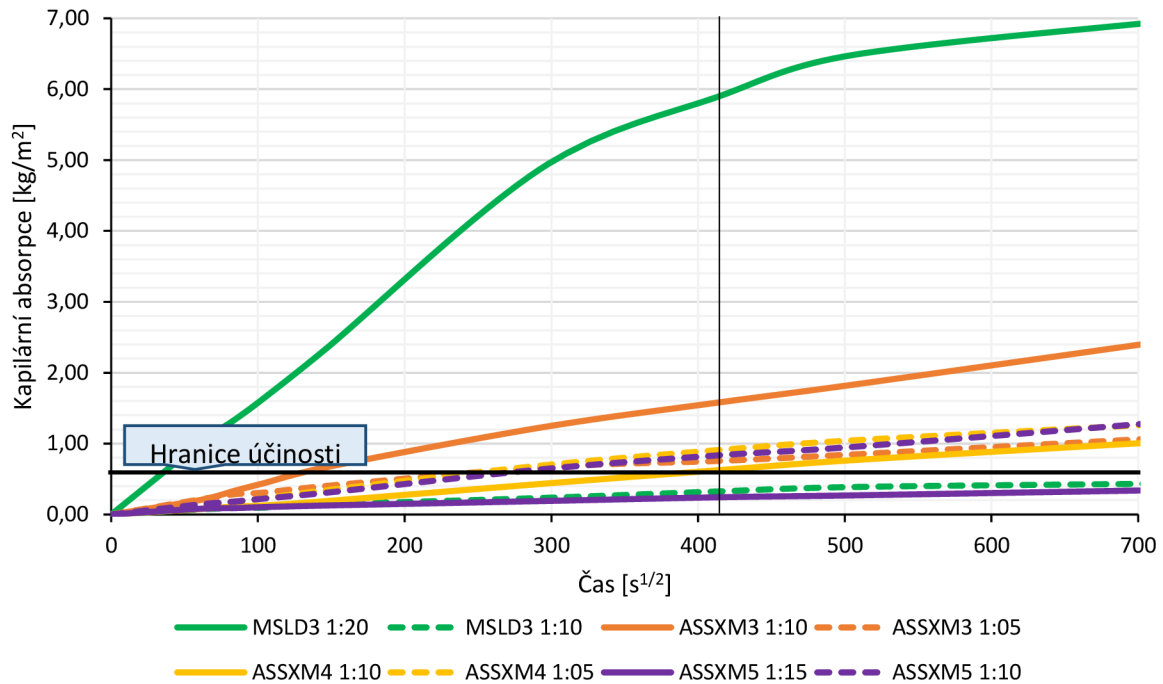
Aplikací přípravku Nano nástřik pro minerální podklady (NSiO) nedošlo ke změně kapilární nasákavosti páleného zdícího prvku. Křivka kapilární nasákavosti prvku ošetřeného nástřikem přípravku NanoMinerál prakticky kopíruje křivku kapilární nasákavosti referenčního prvku. V další části práce již nebylo s přípravkem NanoMinerál pracováno.

### **Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady (ASSXM3), Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze odolná proti zásadám (ASSXM4), Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze pro minerální podklady (ASSXM5) a Methylsilikonát draselný pro minerální podklady (MSLD3)**

Ve spolupráci se zástupci společnosti Wacker, byly vybrány celkem 4 nejvhodnější hydrofobizační přípravky pro dané použití napříč výrobky na sila-siloxanové a silikonátové bázi. Všechny vybrané přípravky jsou vodou ředitelné hydrofobizéry vhodné pro aplikaci máčením. Souhrnně jsou u těchto přípravků doporučené koncentrace pro aplikace v rozmezí 1:5-1:20.

Tab. 30. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků od výrobce Wacker

Čas	[h]	1	3	6	24	48	72	96	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	509	588	720
MSLD3	1:10	0,07	0,10	0,14	0,23	0,33	0,39	0,42	0,43
	1:20	0,99	1,64	2,35	4,89	5,91	6,49	6,73	7,05
ASSXM3	1:05	0,21	0,31	0,40	0,67	0,76	0,85	0,94	1,13
	1:10	0,20	0,44	0,67	1,23	1,59	1,84	2,11	2,6
ASSXM4	1:05	0,13	0,23	0,34	0,69	0,91	1,05	1,15	1,32
	1:10	0,08	0,13	0,19	0,43	0,63	0,77	0,87	1,08
ASSXM5	1:10	0,14	0,22	0,31	0,64	0,84	0,96	1,09	1,38
	1:15	0,08	0,10	0,13	0,19	0,24	0,27	0,31	0,35

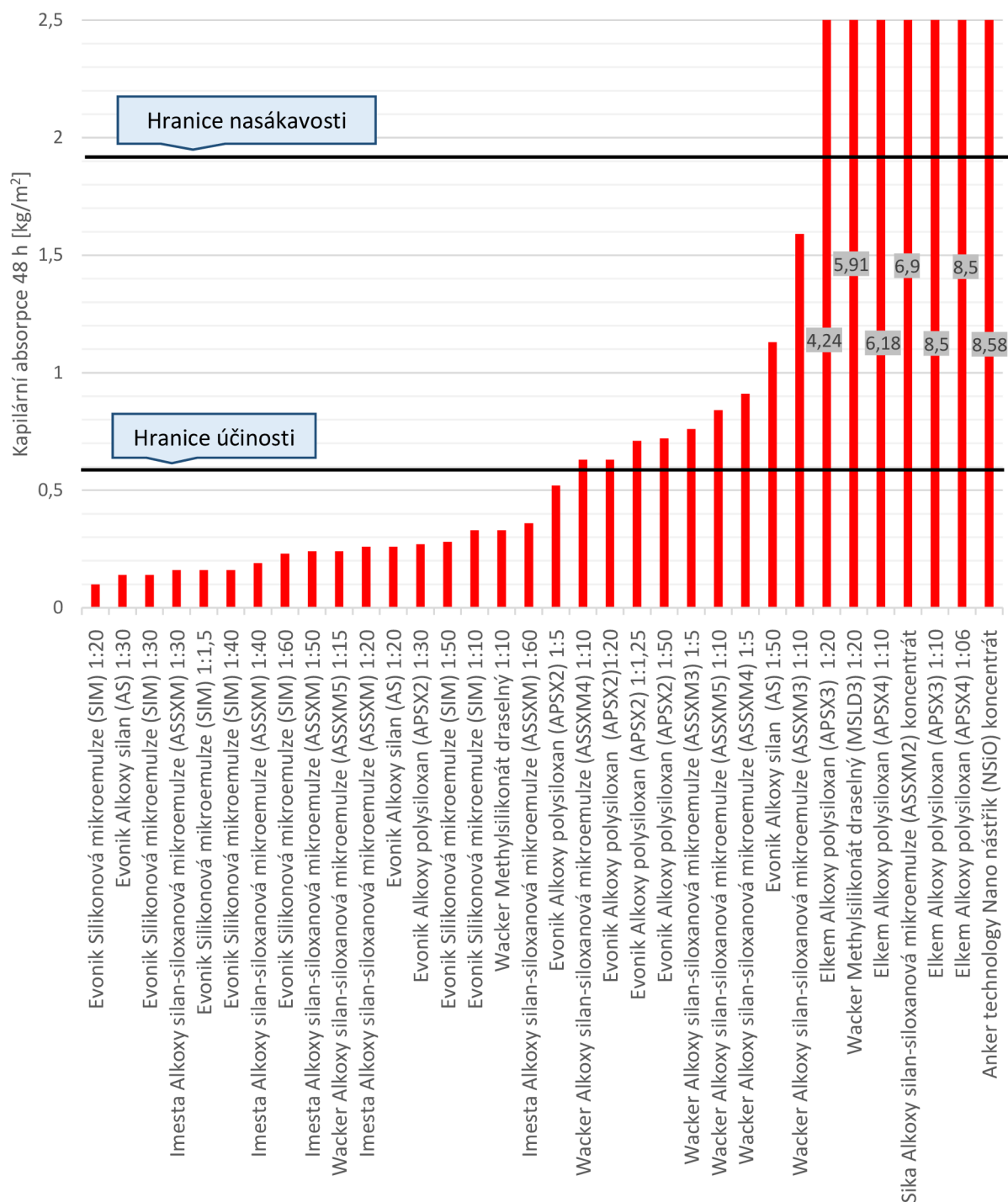


Graf 18 Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků Wacker

Použití hydrofobizačních přípravků od společnosti Wacker, především ASSXM5 v koncentraci 1:15 a ASSXM4 v koncentraci 1:10, přineslo dobré snížení kapilární absorpce pálených zdících prvků. Oba tyto přípravky v uvedených koncentracích je možné označit za účinné. Při použití přípravku ASSXM5 byla kapilární absorpce v čase 24 h 0,19 kg/m<sup>2</sup>. Jedná se o velmi obdobnou hodnotu jako při použití přípravku ASSXM a SIM, nicméně s narůstající dobou zatížení hydrofobizovaných zdících prvků vodou, vzrůstá také kapilární absorpce až na hodnoty vyšší než v případě přípravku ASSXM a SIM. Pro tuto skutečnost nebylo s těmito přípravky pokračováno v dalších pracích.

### 9.1.1.3 Vyhodnocení účinnosti zvolených hydrofobizačních přípravků

Pro vzájemné porovnání účinnosti hydrofobizačních přípravků byla zvolena kapilární absorpce v čase 48 h (416 s<sup>1/2</sup>). 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 19 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

Z uvedeného srovnání kapilárních absorpcí v čase 48 h je patrné, že použitím přípravků Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), Alkoxy silan (AS) a Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) došlo k velmi účinné hydrofobizaci páleného zdícího prvku PTH 30 Profi, kdy hodnota absorbované vlhkosti je na hranici sorpční vlhkosti zdícího prvku. Bylo tedy prakticky

zabráněno absorpci vlhkosti v kapalně formě do střepeu zdícího prvku a značně přerušeno vztlínání nad oblast vystavenou kapalně vlhkosti.

Jako účinné hydrofobizační přípravky je dále možné hodnotit také přípravky Wacker Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM5), Methylsilikonát draselný (MSLD3) a Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM4) a Evonik Alkoxy polysiloxan (APSX2). Použitím těchto přípravků se kapilární absorpce v čase 48 h snížila pod stanovenou hodnotu 0,58 kg/m<sup>2</sup>. Tedy nasákavost zdícího prvku se v oblasti zatížení vlhkostí v kapalně formě snížila o více jak 70 % a bylo značně přerušeno vztlínání nad oblast zatížení vlhkostí v kapalně formě.

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.

### 9.1.2 Použití pigmentu při hydrofobizaci pálených zdících prvků

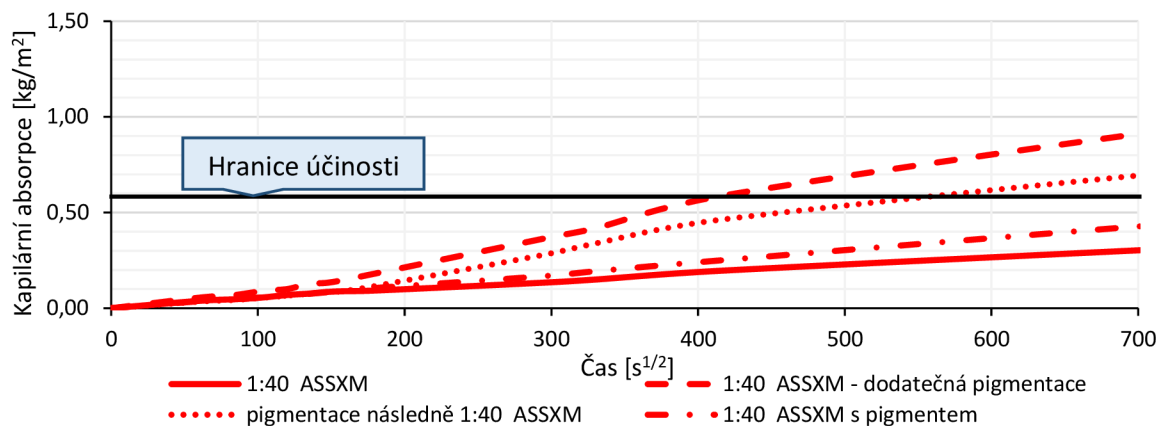
Při použití zvolených hydrofobizačních přípravků není možné po aplikaci přípravků vizuálně odlišit hydrofobizované a nehydrofobizované prvky. Po konzultaci dosažených výsledků s vývojovým oddělením společnosti Wienerberger (výrobce páleného zdícího prvku PTH 30 Profi), bylo z důvodu jednoznačné identifikace hydrofobizovaných pálených zdících prvků, pokročeno k testování použití hydrofobizační ochrany v kombinaci s použitím pigmentu. Po oslovení výrobců hydrofobizačních přípravků byl zvolen tekutý pigment modré barvy dodaný společností Imesta. Aplikace pigmentu byla z důvodu sjednocení procesu hydrofobizace provedena také máčením, kdy byly v prvním kroku testovány jednotlivé možnosti aplikace pigmentu.

Použití pigmentu bylo nejprve testováno s přípravkem Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM), kdy byl dávkován v objemovém poměru 1000:0,75 (voda:pigment) a 1:40:0,03 (Imesta:voda:pigment). Byl sledován vliv posloupnosti aplikace hydrofobizačního přípravku a pigmentu na výslednou kapilární absorpci. Byly zkoušeny tyto varianty aplikace:

- 1. Máčení – hydrofobizace páleného zdícího prvku/2. Máčení – označení hydrofobizované části prvku pigmentem
- 1. Máčení – označení zdícího prvku pigmentem/2. Máčení – hydrofobizace pigmentované části páleného zdícího prvku
- Máčení – hydrofobizace páleného zdícího prvku společně s označením hydrofobizované části pigmentem (ředěný roztok hydrofobizačního přípravku společně s pigmentem)

Tab. 31. Kapilární absorpce při využití přípravku ASSXM v kombinaci s pigmentem

Čas	[h]	1	3	6	24	48	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	104	147	294	416	720
1:40 ASSXM		0,04	0,06	0,09	0,13	0,19	0,31
1:40 ASSXM dodatečná pigmentace		0,06	0,09	0,13	0,36	0,59	0,93
Pigmentace následně 1:40 ASSXM		0,03	0,06	0,08	0,28	0,46	0,71
1:40 ASSXM + pigment		0,04	0,08	0,09	0,19	0,29	0,48

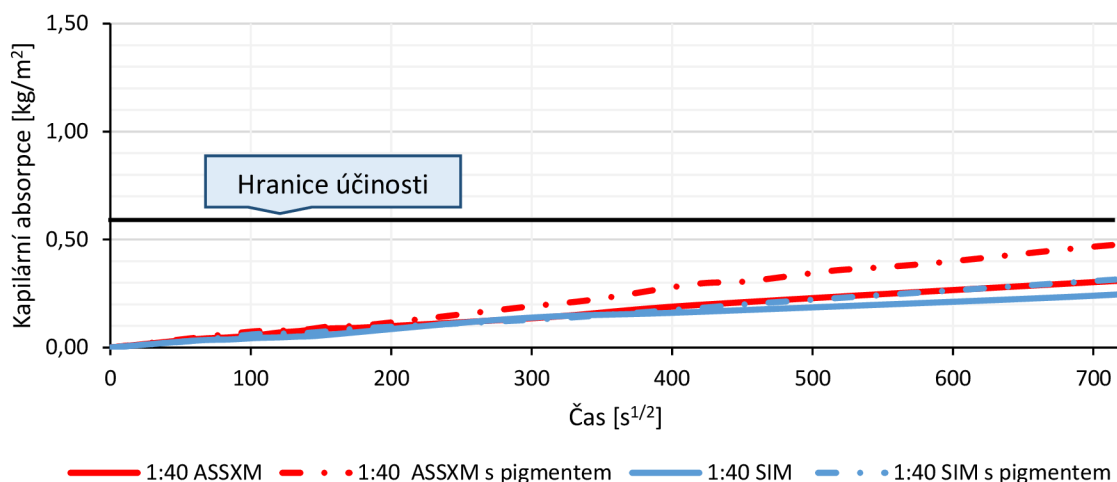


Graf 20 Kapilární absorpce při využití přípravku ASSXM v kombinaci s pigmentem

Použitím pigmentu došlo celkově ke účinnosti hydrofobizační ochrany. V případě dvoukrokové aplikace hydrofobizačního přípravku a pigmentu došlo ke zvýšení kapilární absorpce v čase 144 h nad hranici účinnosti hydrofobizační ochrany 0,58 kg/m<sup>2</sup>. Při aplikaci hydrofobizačního přípravku společně s pigmentem v jednom kroku se kapilární absorpce i v čase 144 h nevyšla nad 0,58 kg/m<sup>2</sup>. Tento postup aplikace je navíc výhodný v případě praktické výroby hydrofobizovaných prvků, kdy se jedním máčením do kombinovaného roztoku vody, pigmentu a hydrofobizéru zefektivňuje výrobní proces. Stejný postup použití pigmentu byl otestován také s výrobkem Evonik Silikonová mikroemulze (SIM).

Tab. 32. Kapilární absorpce při využití přípravku SIM v kombinaci s pigmentem

Čas	[h]	1	2	3	6	24	48	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	85	104	147	294	416	720
1:40 ASSXM		0,04	0,05	0,06	0,09	0,13	0,20	0,31
1:40 ASSXM + pigment		0,04	0,06	0,08	0,09	0,19	0,29	0,48
1:40 SIM		0,03	0,04	0,04	0,05	0,14	0,16	0,25
1:40 SIM s pigment		0,03	0,04	0,05	0,06	0,15	0,19	0,30



Graf 21 Kapilární absorpce při využití přípravku SIM v kombinaci s pigmentem

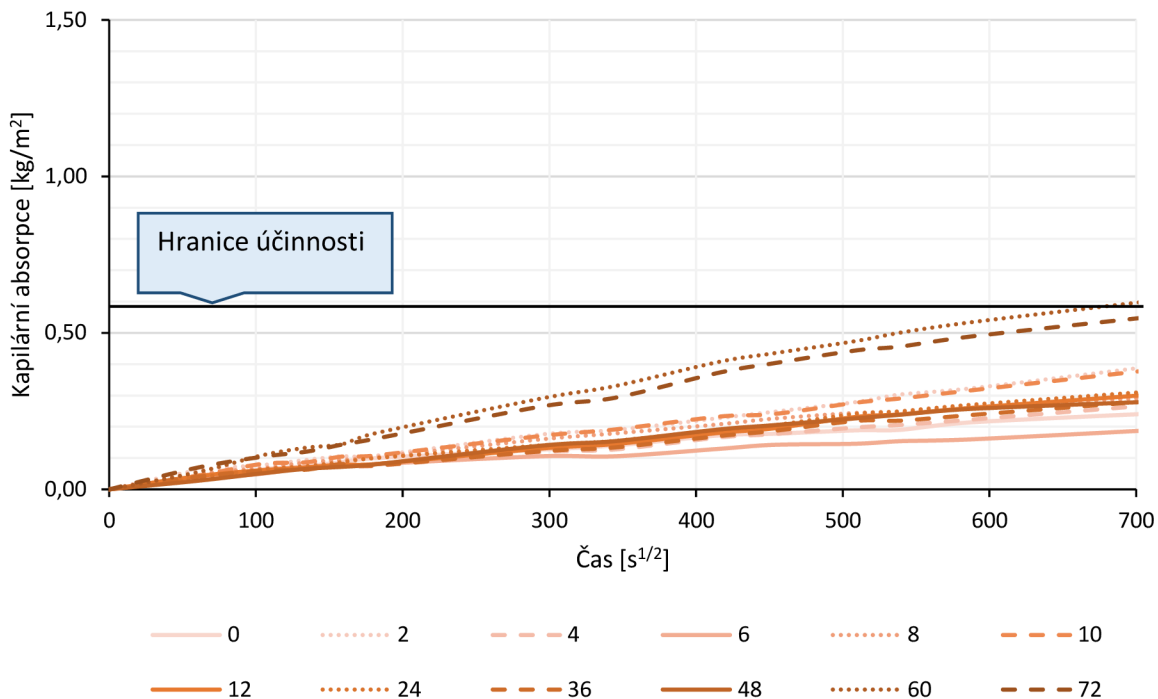
### 9.1.2.1 Vyhodnocení použití pigmentu při hydrofobizaci pálených zdících prvků

Aplikací pigmentu společně s hydrofobizačním přípravkem se mírně zvyšuje kapilární absorpce. Hodnoty kapilární absorpce jsou však ve všech případech pod 0,58 kg/m<sup>2</sup>, tedy hydrofobizační ochranu je možné hodnotit jako účinnou.

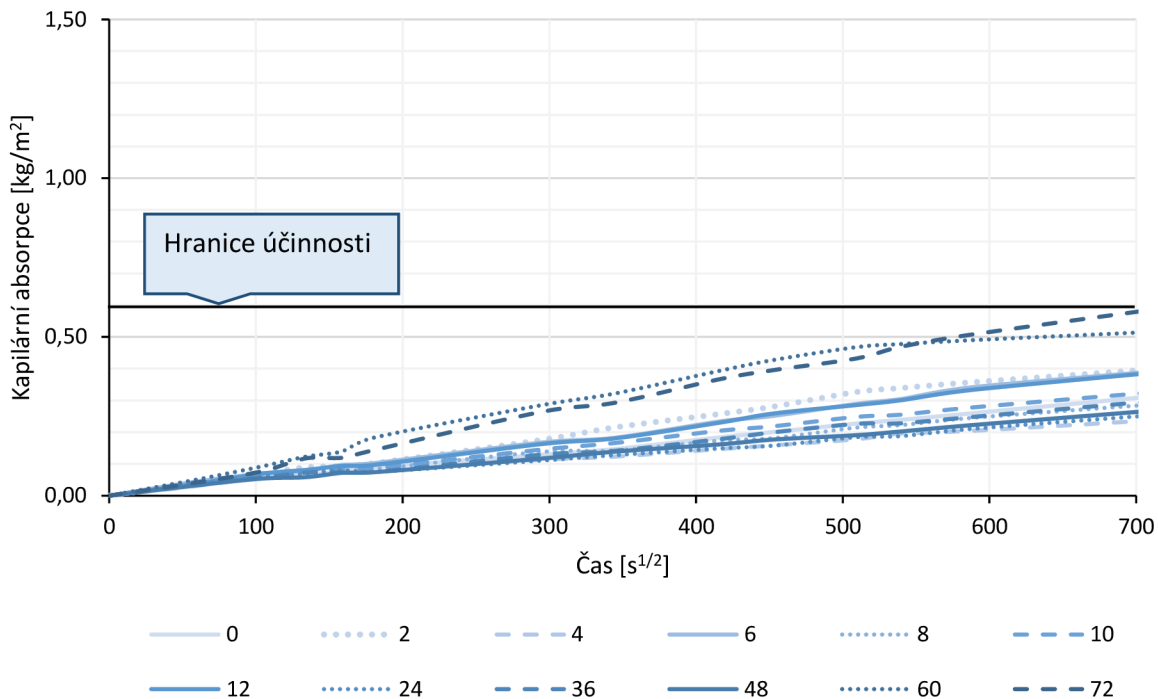
Z výsledků se jasně ukazuje, že nejvhodnější variantou je použití hydrofobizačního přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) aplikovaného máčením společně s pigmentem po dobu 10 s, i přes to, že použitím pigmentu došlo k mírnému zvýšení kapilární absorpce na hodnotu 0,30 kg/m<sup>2</sup> v čase 144 h. Tato varianta úpravy dosahuje obdobných vlastností kapilární absorpce, jako použití hydrofobizéru Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) v koncentraci 1:40 bez použití pigmentu.

### 9.1.3 Vliv stáří hydrofobizačního roztoku na kapilární nasákavost

V rámci hodnocení účinnosti hydrofobizačních přípravků na pálené zdící prvky bylo provedeno také sledování vlivu doby stáří naředěného hydrofobizačního přípravku (včetně pigmentu) na výslednou kapilární absorpci. Hydrofobizační přípravky Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) a Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) připraveny v koncentraci 1:40 byly aplikovány na zdící prvky máčením po dobu 10 s, ve zvoleném stáří hydrofobizačních roztoků v hodinách 0 h – 72 h (čas 0 h je bod smíchání hydrofobizačního přípravku s vodou).



Graf 22 Kapilární absorpce v závislosti na stáří hydrofobizačního roztoku z ASSXM v kombinaci s pigmentem; hranici účinnosti – nasákavost namočené části prvku se sníží o 70 %



Graf 23 Kapilární absorpce v závislosti na stáří hydrofobizačního roztoku z SIM v kombinaci s pigmentem; hranici účinnosti – nasákavost namočené části prvku se sníží o 70 %

### **9.1.3.1 Vyhodnocení stáří hydrofobizačního roztoku na kapilární nasákavost**

V čase 144 h, ve kterém byla v přechozích případech sledována hodnota kapilární absorpce, je možné vyhodnotit hydrofobizační ochranu jako účinnou. V rámci tohoto experimentu bylo provedeno sledování účinnosti hydrofobizační ochrany po dobu 6 dnů (144 h). V případě obou testovaných hydrofobizačních přípravků se při použití hydrofobizačních roztoků, ve stáří 60 h a 72 h, kapilární absorpce v čase 144 h velmi blíží hranici účinnosti hydrofobizační ochrany  $0,58 \text{ kg/m}^2$  (v případě Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) ve stáří roztoku 60 h dokonce dochází k překročení této hranice). Jako optimální se tedy jeví použití hydrofobizačních přípravků Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) a Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) v maximálním stáří 48 hodin, od namíchání zvolené koncentrace.

### **9.1.4 Komparace povrchové energie a kapilární absorpce**

Na vzorcích střeptů hydrofobizovaných přípravky v daných koncentracích, u nichž byla sledována hodnota kapilární absorpce, bylo provedeno stanovení povrchové energie. Jednalo se o rozšíření stanovených hodnot povrchové energie na úvod hodnocení účinnosti hydrofobizační ochrany. Stanovení úhlu smáčivosti bylo provedeno na referenčním vzorku z měření 50 hodnot kontaktního úhlu pro tři různé kapaliny:

- Voda –  $\text{H}_2\text{O}$
- Glycerol –  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
- Ethylenglykol -  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$

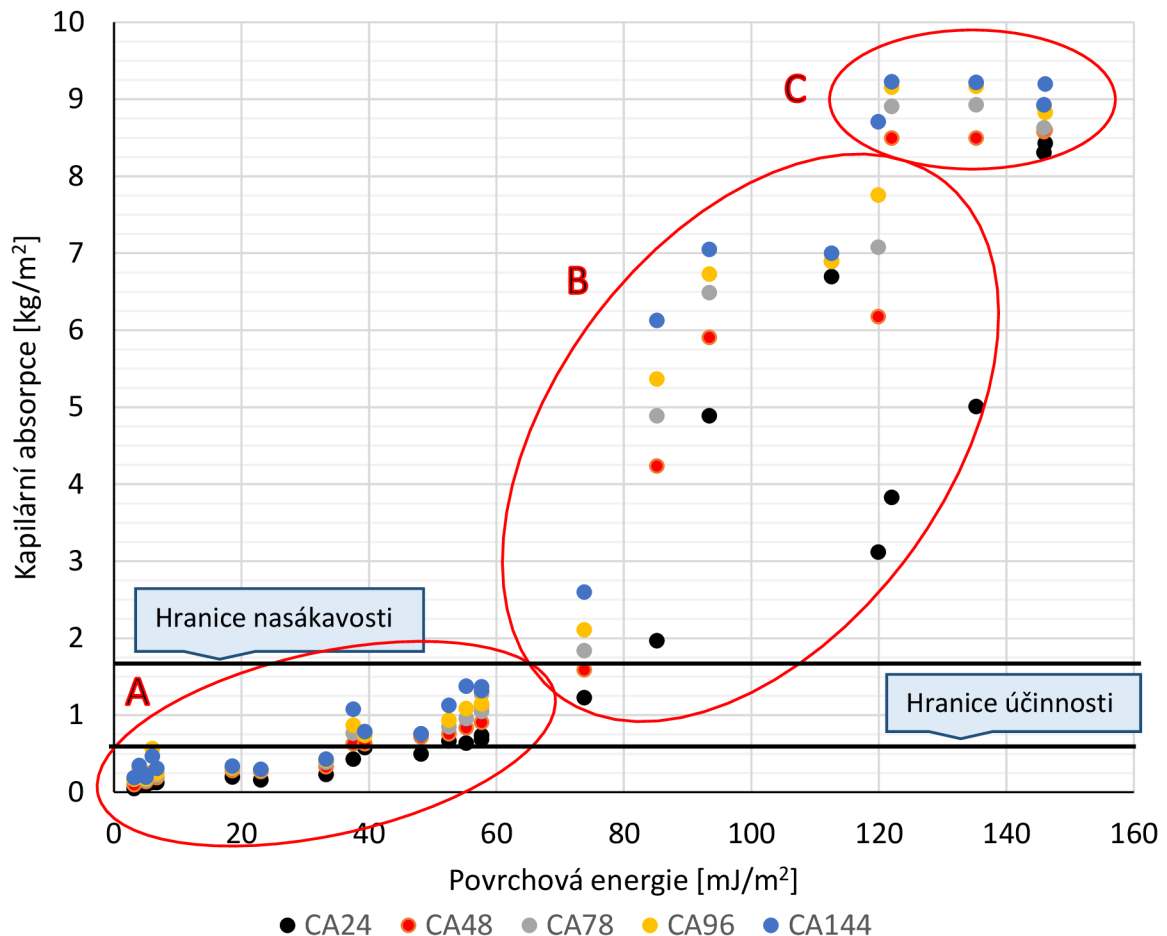
Na hydrofobizovaných vzorcích bylo vždy provedeno měření 15 hodnot kontaktního úhlu pro tři různé kapaliny. Odlišný, vysoký počet měření na referenčním vzorku je zapříčiněn vyšší nehomogenitou povrchu, hydrofobizací totiž dojde k významnému sjednocení vlastností povrchu.

Z hodnot úhlů smáčivosti byla výpočtově stanovena celková povrchová energie. Tato hodnota již přímo vypovídá o změně vlastností povrchu v důsledku jeho hydrofobizace. Hodnoty celkové povrchové energie byly porovnány s hodnotami kapilární nasákavosti v časech 24 h, 48 h, 72 h, 96 h a 144 h.



Tab. 33. Povrchová energie hydrofobizovaných pálených zdících prvků

Přípravek/koncentrace	Kapilární absorpce [kg/m <sup>2</sup> ]					Povrchová energie [mJ.m <sup>-2</sup> ]
	CA <sub>24</sub>	CA <sub>48</sub>	CA <sub>72</sub>	CA <sub>96</sub>	CA <sub>144</sub>	$\gamma^{\text{total}}$
Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) 1:20	0,05	0,1	0,16	0,17	0,19	3,15
Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) 1:30	0,10	0,14	0,16	0,18	0,20	5,00
Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) 1:40	0,14	0,16	0,19	0,21	0,25	4,44
Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) 1:50	0,20	0,28	0,31	0,32	0,34	18,55
Evonik Alkoxy polysiloxan (APSX2) 1:20	0,58	0,63	0,69	0,74	0,79	39,31
Evonik Alkoxy polysiloxan (APSX2) 1:30	0,16	0,27	0,29	0,29	0,3	23,02
Evonik Alkoxy polysiloxan (APSX2) 1:50	0,50	0,72	0,76	0,76	0,76	48,17
Evonik Alkoxy silan (AS) 1:20	0,13	0,26	0,42	0,57	0,47	5,98
Evonik Alkoxy silan (AS) 1:30	0,10	0,14	0,16	0,18	0,2	5,00
Evonik Alkoxy silan (AS) 1:50	0,74	1,13	1,28	1,31	1,37	57,64
Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) 1:40	0,13	0,19	0,22	0,25	0,31	6,68
Elkem Alkoxy polysiloxany (APSX4) 1:10	3,12	6,18	7,08	7,76	8,71	119,87
Elkem Alkoxy polysiloxany (APSX4) 1:6	5,01	8,5	8,93	9,17	9,22	135,23
Elkem Alkoxy polysiloxany (APSX3) 1:10	3,83	8,5	8,91	9,16	9,23	121,98
Elkem Alkoxy polysiloxany (APSX3) 1:20	1,97	4,24	4,89	5,37	6,13	85,13
Sika Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM2) koncentrát	6,70	6,9	6,9	6,9	7,0	112,53
Wacker Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM3) 1:10	1,23	1,59	1,84	2,11	2,6	73,73
Wacker Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM3) 1:5	0,67	0,76	0,85	0,94	1,13	52,52
Wacker Methylsilikonát draselný (MSLD3) 1:10	0,23	0,33	0,39	0,42	0,43	33,27
Wacker Methylsilikonát draselný (MSLD3) 1:20	4,89	5,91	6,49	6,73	7,05	93,36
Wacker Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM4) 1:10	0,43	0,63	0,77	0,87	1,08	37,52
Wacker Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM4) 1:5	0,69	0,91	1,05	1,15	1,32	57,64
Wacker Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM5) 1:10	0,64	0,84	0,96	1,09	1,38	55,24
Wacker Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM5) 1:15	0,19	0,24	0,27	0,31	0,35	3,96
ANKER technology Nano nástřík (NSiO) koncentrát	8,31	8,58	8,63	8,91	8,93	145,89
REF/nehydrofobizováno	8,43	8,6	8,72	8,83	9,20	146,09



Graf 24 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

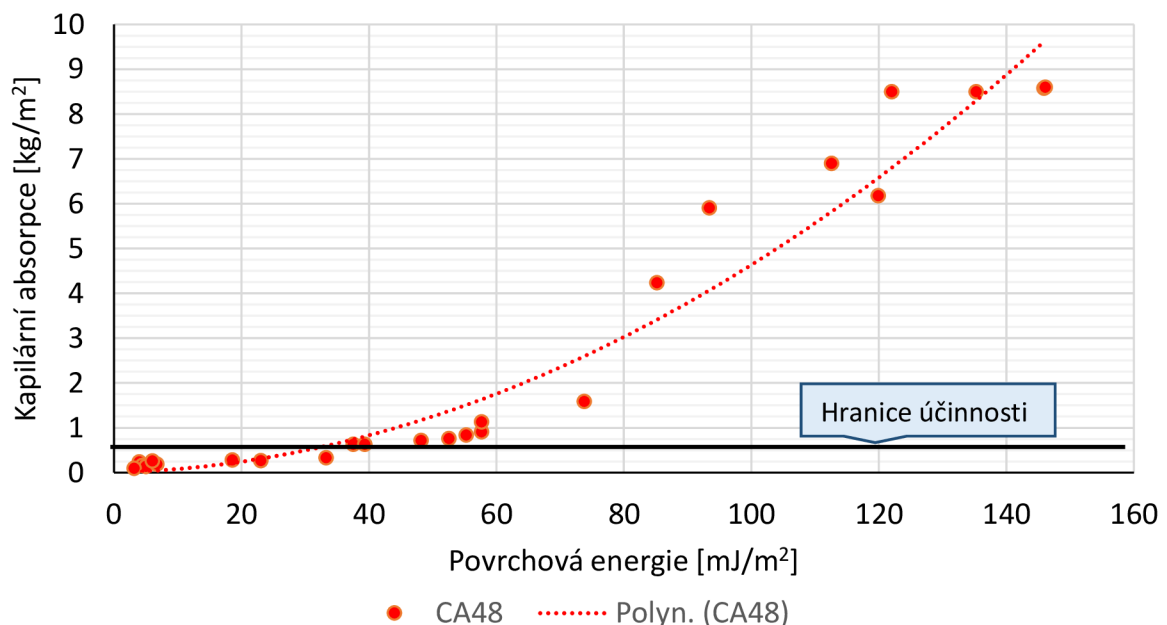
Mezi hodnotami povrchové energie a kapilárních absorpcí je možné pozorovat závislost. Se vzrůstající hodnotou povrchové energie vzrůstá kapilární absorpce zdířého prvku. Z Graf 24 ukazuje, že v případě, kdy je hodnota povrchové energie rovna nebo nižší než  $35 \text{ mJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , lze hydrofobizační přípravek s vysokou jistotou označit za účinný, tedy kapilární absorpce bude i při dlouhodobém zatížení zvýšenou vlhkostí v kapalně formě pod hranicí  $0,58 \text{ kg/m}^2$ .

Celý graf je možné rozdělit do tří základních oblastí:

- Oblast A – jedná se o oblast s povrchovou energií do  $60 \text{ mJ}\cdot\text{m}^{-2}$  a tomu odpovídající hodnotě kapilární absorpce v jednotlivých časech do  $1,5 \text{ kg/m}^2$ . 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  $120 \text{ mJ}\cdot\text{m}^{-2}$  a tomu odpovídající hodnotě kapilární absorpce v jednotlivých časech cca  $1,5$  –  $8,0 \text{ kg/m}^2$ . 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 nasákávají vodu pomaleji.

- Oblast C – jedná se o oblast s povrchovou energií nad  $120 \text{ mJ}\cdot\text{m}^{-2}$  a tomu odpovídající hodnotě kapilární absorpce v jednotlivých časech nad  $8,0 \text{ kg}/\text{m}^2$ . 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  $120 \text{ mJ}\cdot\text{m}^{-2}$  se již nezvyšuje hodnota kapilární absorpce.



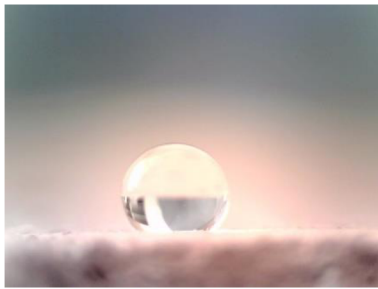
Graf 25 Závislost kapilární absorpce v čase 48 h na povrchové energii, Hranici účinnosti – nasákavost namočené části prvku se sníží o 70 %

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.

$$y = 0,0004x^2 + 0,0038x \quad (31)$$

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.



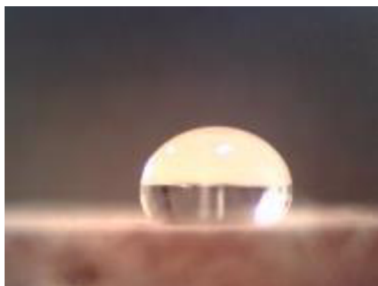
Obr. 28 Voda na tvarovce ošetřené ASSXM 1:40 (úhel smáčivosti 134,2 °)



Obr. 29 Glycerol na tvarovce ošetřené ASSXM 1:40 (úhel smáčivosti 128,5 °)



Obr. 30 Ethyleneglykol na tvarovce ošetřené ASSXM 1:40 (úhel smáčivosti 122,5 °)



Obr. 31 Voda na tvarovce ošetřené SIM 1:40 (úhel smáčivosti 115,1 °)



Obr. 32 Glycerol na tvarovce ošetřené SIM 1:40 (úhel smáčivosti 130,2 °)



Obr. 33 Ethyleneglykol na tvarovce ošetřené SIM 1:40 (úhel smáčivosti 126,7 °)

## 9.2 Etapa II. – Studium trvanlivosti hydrofobizačních úprav zdících prvků

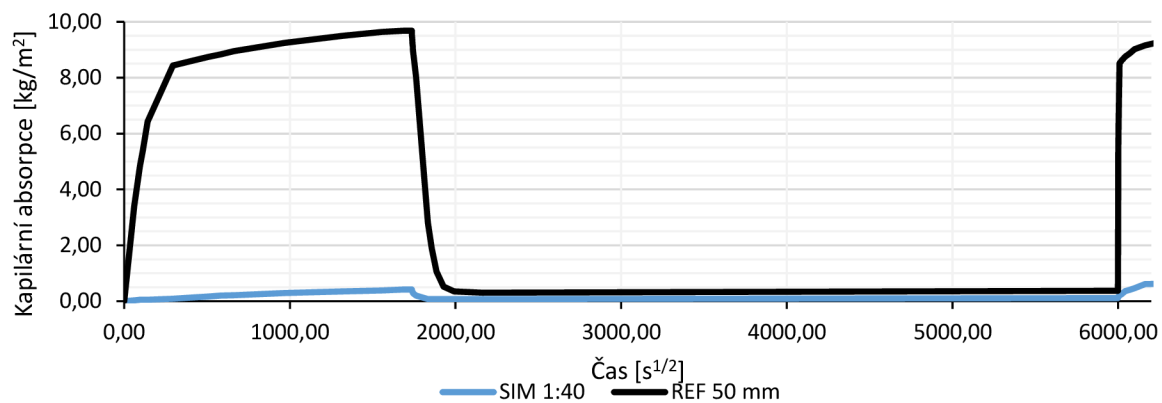
Zvolené hydrofobizační přípravky Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) a Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) jsou mikroemulze na bázi alkoxy silan-siloxanů a silikonů. U těchto druhů povrchových úprav lze předpokládat stárnutí především vlivem působení UV záření. UV záření by na hydrofobizační 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.

### 9.2.1 Přirozené stárnutí

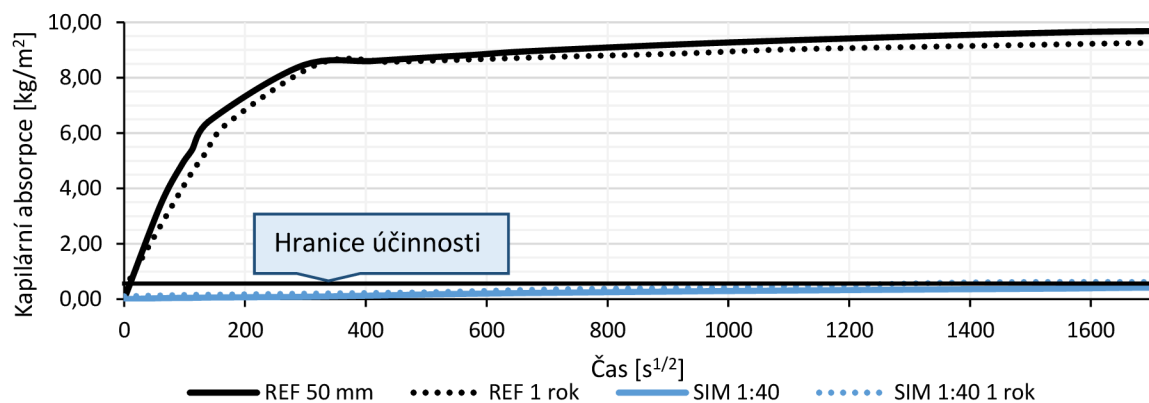
V rámci sledování trvanlivosti hydrofobizační úpravy pálených zdících prvků přirozeným stárnutím byly provedeny dvě dlouhodobé zkoušky. Obě zkoušky byly provedeny na pálených zdících prvcích hydrofobizovaných přípravkem Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) v koncentraci 1:40, doba máčení 10 s.

#### 9.2.1.1 Trvanlivost hydrofobizační ochrany při cyklickém namáhání

První sada zdících prvků byla vystavena zvýšené vlhkosti (ponoření 50 mm) po dobu 35 dní, následně byla vyjmuta z vody a ponechána 12 měsíců působení přirozeného stárnutí vlivem UV záření. Po cca 13 měsících byla opět vystavena zvýšené vlhkosti. Po celou dobu cyklu byla na prvcích sledována kapilární nasákavost. Tento postup byl proveden i s referenčními/nehydrofobizovanými zdícími prvky.



Graf 26 Kapilární nasákavost v průběhu cyklického namáhání zvýšenou vlhkostí (cyklus 1 měsíc zatížení/1 rok přirozené působení UV záření)

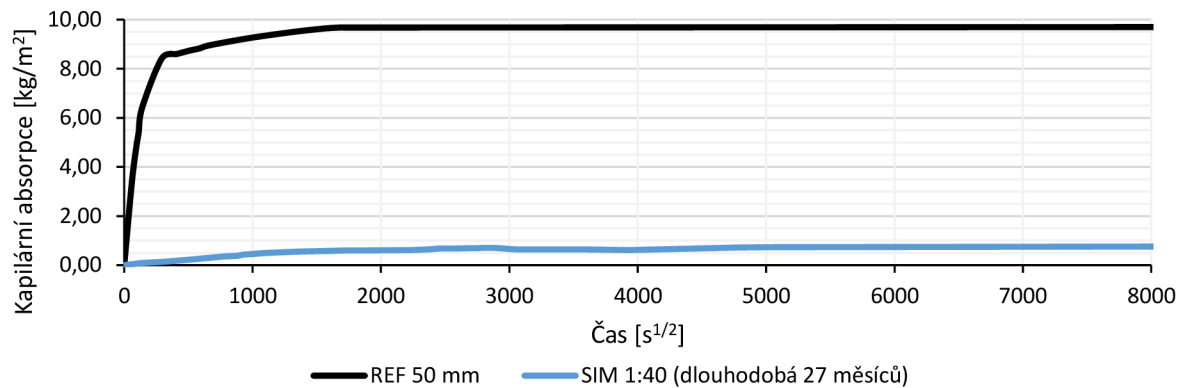


Graf 27 Změna kapilární nasákavosti pálených zdících po cyklickém namáhání (cyklus 1 měsíc zatížení/1 rok přirozené působení UV záření)

Vlivem působení přirozeného UV záření na hydrofobizovaný pálený zdící prvek došlo k mírné degradaci hydrofobizační ochrany. Prvek po provedení hydrofobizace dosahoval kapilární nasákavosti v čase 30 dní  $0,42 \text{ kg/m}^2$ . Po provedení ročního cyklu stárnutí vlivem UV záření byla kapilární nasákavost po opětovném zatížení zvýšenou vlhkostí  $0,62 \text{ kg/m}^2$ . Jedná se tedy o zvýšení kapilární nasákavosti o 48 %, kapilární nasákavost je po degradaci vlivem UV záření těsně nad hodnotou  $0,58 \text{ kg/m}^2$ , tedy hydrofobizační ochranu je možné považovat za účinnou. Dále bylo při provedení tohoto testu zjištěno, že v případě nehydrofobizovaného referenčního prvku byla ustálená hodnota kapilární absorpce po ročním samovolném vysychání na hodnotě  $0,15 \text{ kg/m}^2$  (navýšení hmotnosti tvarovky o 65 g). Rozdíl hmotností je dán zatažením struktury. Jedná se o změnu, kdy u pálených výrobků pod  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  obsahujících volné CaO, dojde k hydrataci a nově vzniklý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  uzavírá pórovou strukturu střepe [74,75].

### 9.2.1.2 Trvanlivost hydrofobizační ochrany při kontinuálním dlouhodobém namáhání

Při druhé zkoušce přirozeného stárnutí byly hydrofobizované zdící prvky vystaveny kontinuálnímu namáhání zvýšenou vlhkostí po dobu 27 měsíců za současné přirozené degradace hydrofobizační ochrany vlivem UV záření.



Graf 28 Kapilární nasákavost hydrofobizovaného zdícího prvku při dlouhodobém namáhání vlhkostí v kapalné formě



Obr. 34 Referenční zdící prvek po 30 dnech namáhání zvýšenou vlhkostí



Obr. 35 Hydrofobizovaný zdící prvek po 27 měsících kontinuálního namáhání zvýšenou vlhkostí

Při druhé dlouhodobé zkoušce přirozené degradace hydrofobizační úpravy zdících prvků se ukázalo, že na rychlost a míru hydrofobizační ochrany nemá vliv, zdali je zdící prvek kontinuálně namáhán zvýšenou vlhkostí. Po dvou letech přirozené degradace hydrofobizační ochrany byla kapilární nasákavost 0,76 kg/m<sup>2</sup>, tedy nad stanovenou hranicí účinné hydrofobizace.

### 9.2.2 Umělé stárnutí

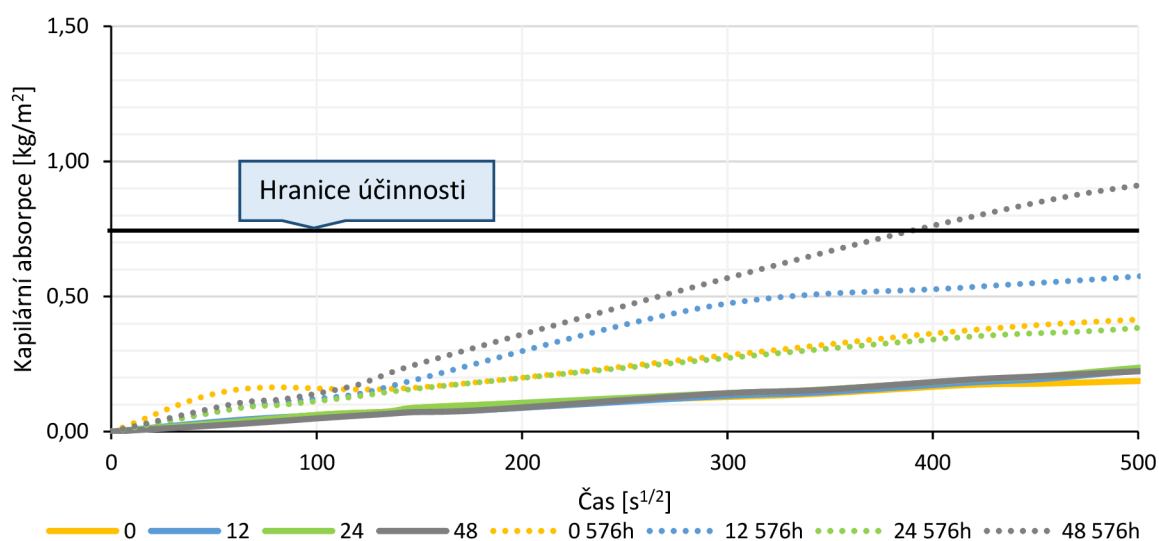
V rámci umělého stárnutí byly provedeny dva základní druhy zkoušek. Jednalo se o vystavení působení UV záření v kombinaci s ostříkující vodou. Druhý experiment umělého stárnutí byl doplněn i o působení mrazu.

### 9.2.3 Stárnutí vlivem UV záření

Stárnutí vlivem UV záření bylo simulováno za pomoci přístroje Qsun u hydrofobizačních přípravků Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) a Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) aplikovaných máčením (10 s) na pálené zdící prvky. Přípravky byly připraveny v koncentracích 1:40. Zrychleným stárnutím bylo simulováno cca 2 roky přirozeného stárnutí ve středoevropských klimatických podmínkách. Degradaci vlivem UV záření byly vystaveny hydrofobizované zdící prvky, na které byly aplikovány přípravky v rozdílném stáří hydrofobizačních přípravků: 0 h, 12 h, 24 h a 48 h. V rámci sledování samotného vlivu stáří hydrofobizačních přípravků se ukázalo, že ve sledovaném časovém rozpětí stáří hydrofobizačních roztoků 0-48 h, je vliv stáří roztoku na účinnost hydrofobizace/kapilární absorpci minimální.

Tab. 34. Změna kapilární absorpce vlivem stárnutí UV záření pro jednotlivé stáří hydrofobizačního roztoku z ASSXM (1:40, 10 s máčení)

Čas	[h]	1	6	24	48	72
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	147	294	416	509
0		0,04	0,09	0,13	0,17	0,19
0 576h		0,15	0,16	0,28	0,37	0,42
<b>Změna (stáří 0 h)</b>		<b>323%</b>	<b>85%</b>	<b>119%</b>	<b>117%</b>	<b>121%</b>
12		0,04	0,08	0,13	0,18	0,23
12 576h		0,08	0,19	0,47	0,53	0,58
<b>Změna (stáří 12 h)</b>		<b>102%</b>	<b>139%</b>	<b>258%</b>	<b>195%</b>	<b>150%</b>
24		0,04	0,09	0,14	0,19	0,24
24 576h		0,08	0,16	0,27	0,35	0,39
<b>Změna (stáří 24 h)</b>		<b>132%</b>	<b>80%</b>	<b>91%</b>	<b>84%</b>	<b>61%</b>
48		0,03	0,07	0,14	0,19	0,23
48 576h		0,10	0,25	0,56	0,79	0,92
<b>Změna (stáří 48 h)</b>		<b>277%</b>	<b>241%</b>	<b>299%</b>	<b>312%</b>	<b>305%</b>

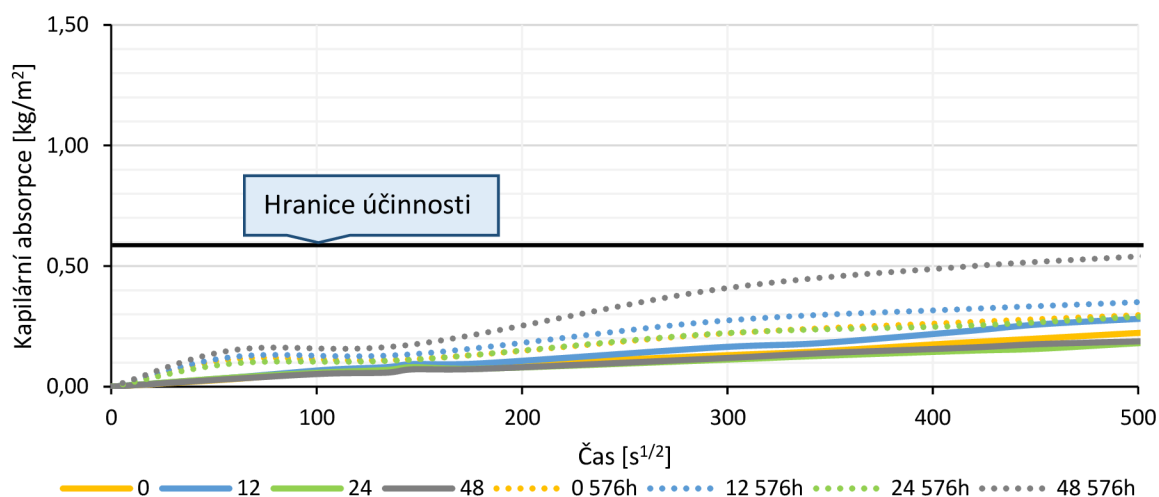


Graf 29 Změna kapilární absorpce vlivem stárnutí UV záření pro jednotlivé stáří hydrofobizačního roztoku z ASSXM (1:40, 10 s máčení)

Při použití hydrofobizačního přípravku Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) se po stárnutí vlivem UV záření kapilární absorpce téměř ve všech sledovaných případech zhoršila o více jak 100 %. Pokud tedy byla kapilární absorpce v čase 72 h do 0,25 kg/m<sup>2</sup>, po degradaci vlivem UV záření se zvýšila nad 0,5 kg/m<sup>2</sup>. Z pohledu stáří hydrofobizačního přípravku se nejhůře choval hydrofobizační přípravek ve stáří 48 h, kdy se při jeho aplikaci kapilární absorpce, po vystavení UV záření, zvýšila o čtyřnásobek, tedy na hodnoty v čase 72 h k hranici 1 kg/m<sup>2</sup>.

Tab. 35. Změna kapilární absorpce vlivem stárnutí UV záření pro jednotlivé stáří hydrofobizačního roztoku z SIM (1:40, 10 s máčení)

Čas	[h]	1	6	24	48	72
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	147	294	416	509
0		0,03	0,08	0,13	0,18	0,23
0 576h		0,11	0,11	0,22	0,27	0,30
<b>Změna (stáří 0 h)</b>		<b>257%</b>	<b>47%</b>	<b>70%</b>	<b>46%</b>	<b>32%</b>
12		0,04	0,09	0,16	0,23	0,29
12 576h		0,12	0,13	0,27	0,32	0,35
<b>Změna (stáří 12 h)</b>		<b>224%</b>	<b>44%</b>	<b>67%</b>	<b>40%</b>	<b>24%</b>
24		0,04	0,08	0,11	0,15	0,18
24 576h		0,10	0,11	0,22	0,25	0,29
<b>Změna (stáří 24 h)</b>		<b>152%</b>	<b>38%</b>	<b>99%</b>	<b>70%</b>	<b>59%</b>
48		0,03	0,07	0,12	0,16	0,19
48 576h		0,15	0,18	0,40	0,50	0,55
<b>Změna (stáří 48 h)</b>		<b>364%</b>	<b>143%</b>	<b>245%</b>	<b>208%</b>	<b>186%</b>



Graf 30 Změna kapilární absorpce vlivem stárnutí UV záření pro jednotlivé stáří hydrofobizačního roztoku z SIM (1:40, 10 s máčení)

Při použití hydrofobizačního přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) byl sledován znatelně menší vliv stárnutí UV zářením, než u přípravku Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM). V případech, kdy byl aplikován hydrofobizační přípravek, ve stáří do 24 h, je zvýšení kapilární absorpce v čase 72 h do 60 %. Tedy kapilární absorpce nebyla vyšší než 0,35 kg/m<sup>2</sup>. Potvrdilo se, že nejhůrší výsledky degradace vlivem působení UV záření jsou

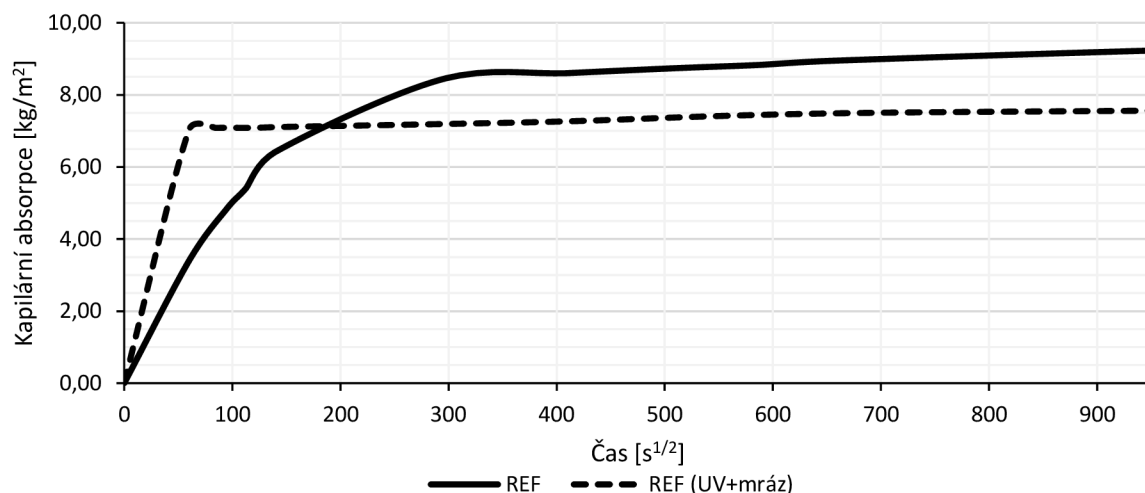


v případě, kdy je aplikován hydrofobizační přípravek ve stáří 48 h. U přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) se kapilární absorpce navýšila cca o 200 %, tedy v čase 72 h lehce nad  $0,5 \text{ kg/m}^2$ . I přes procentuálně významný vliv, je tato degradace v absolutní hodnotě kapilární absorpce velmi nízká.

Celkově se ukázalo, že vliv UV záření není zanedbatelný. Nejvyšší změny jsou v kapilární absorpci v krátkých časech zatížení zvýšenou vlhkostí. Vliv UV záření nebyl ani u jednoho z testovaných hydrofobizačních přípravků významně degradující hydrofobizační ochranu pálených zdících prvků.

#### 9.2.4 Stárnutí vlivem extrémních teplot a UV zářením

Druhý zrychlený test trvanlivosti byl proveden na přístroji s názvem skrápědlo. Jedná se o přístroj, jímž disponuje Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s. Na rozdíl od předchozího zrychleného testu degradace hydrofobizační úpravy, byl při tomto zrychleném testu stárnutí sledován i vliv záporných teplot. Hydrofobizované pálené zdící prvky byly vystaveny zrychlenému stárnutí, simulující dva roky středoevropských klimatických podmínek. Na zdících prvcích byla po zrychleném stárnutí sledována kapilární nasákavost při namáhání zvýšenou vlhkostí.



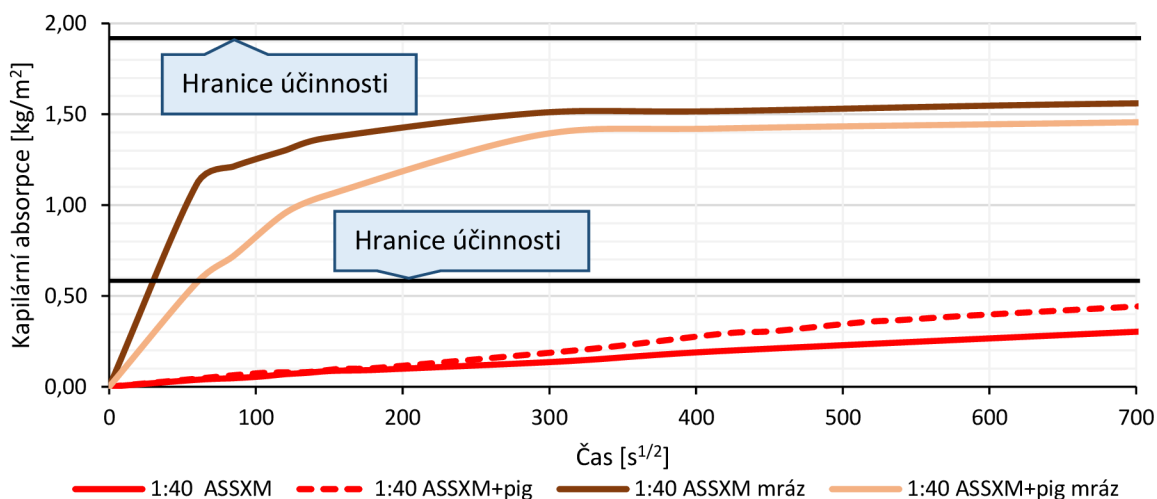
Graf 31 Vliv degradace UV záření v kombinaci s extrémními teplotami na kapilární absorpci nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku

Vlivem působení UV záření a střídání vysoké a nízké teploty se značně změnil průběh kapilární absorpce v čase. Jedná se především o změnu směrnice počáteční lineární oblasti přímky, kdy se u průběhu kapilární absorpce zdících prvků po stárnutí směrnice zvyšuje. To má za následek, že je téměř ustálené hodnoty kapilární absorpce dosaženo již v čase cca 1 h. Oproti tomu se průběh kapilární absorpce nedegradovaných zdících prvků ustálí cca v čase 24 h. Tento jev je dán změnou pórové struktury pálených zdících prvků v důsledku rozpínání vody v pórech vlivem mrazu. Druhou významnou změnou v průběhu kapilární absorpce u nehydrofobizovaných pálených zdících prvků vystavených stárnutí je celkové snížení ustálené hodnoty kapilární absorpce. Jedná se o snížení cca 15 %. Tato změna je dána zatažením, kdy u

pálených výrobků pod 900 °C obsahujících volné CaO, CaO hydratuje a nově vzniklý Ca(OH)<sub>2</sub> uzavírá pórovou strukturu střepe [74,75].

Tab. 36. Kapilární absorpce hydrofobizovaných zdících prvků přípravkem ASSXM po zrychleném stárnutí vlivem extrémních teplot a UV záření

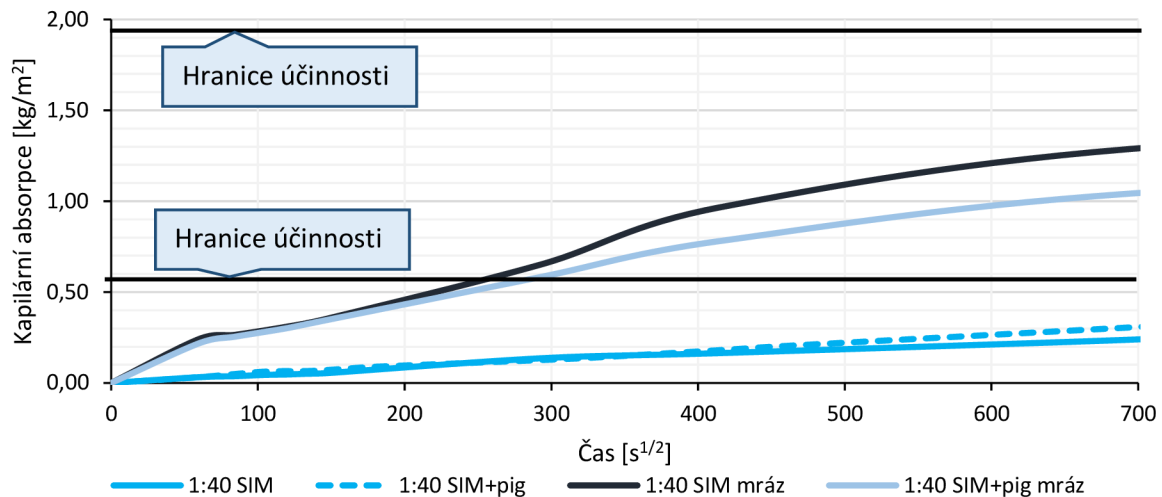
Čas	[h]	1	6	24	48	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	147	294	416	720
1:40 ASSXM		0,04	0,09	0,13	0,2	0,31
1:40 ASSXM (UV+mráz)		1,12	1,37	1,51	1,52	1,56
<b>Změna</b>		2700%	1422%	1062%	660%	403%
1:40 ASSXM+pig		0,04	0,09	0,19	0,29	0,48
1:40 ASSXM+pig (UV+mráz)		0,58	1,05	1,39	1,42	1,46
<b>Změna</b>		1350%	1067%	632%	390%	204%



Graf 32 Kapilární absorpce hydrofobizovaných zdících prvků přípravkem ASSXM po zrychleném stárnutí vlivem extrémních teplot a UV záření

Tab. 37. Kapilární absorpce hydrofobizovaných zdících prvků přípravkem SIM po zrychleném stárnutí vlivem extrémních teplot a UV záření

Čas	[h]	1	6	24	48	144
	[s <sup>1/2</sup> ]	60	147	294	416	720
1:40 SIM		0,03	0,05	0,14	0,16	0,25
1:40 SIM (UV+mráz)		0,24	0,35	0,65	0,97	1,3
<b>Změna</b>		700%	600%	364%	506%	420%
1:40 SIM+pig		0,03	0,06	0,15	0,19	0,3
1:40 SIM+pig (UV+mráz)		0,22	0,35	0,59	0,78	1,06
<b>Změna</b>		633%	483%	293%	311%	253%



Graf 33 Kapilární absorpce hydrofobizovaných zdících prvků přípravkem SIM po zrychleném stárnutí vlivem extrémních teplot a UV záření

V případě hydrofobizovaných pálených zdících prvků došlo také k významné změně kapilárních absorpcí vlivem stárnutí UV zářením a střídáním extrémních teplot. Ve všech případech došlo ke zvýšení hodnot kapilární absorpce, tedy zhoršení hydrofobizačního efektu. Při použití hydrofobizačního přípravku Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM) se vlivem stárnutí kapilární absorpce (s i bez použití pigmentu) zvýšila na hodnoty 1,5 kg/m<sup>2</sup>. Zároveň došlo také k navýšení směrnice křivek průběhů, kdy se kapilární absorpce zvýšila až o 2700 %. Po ustálení hodnot kapilárních absorpcí se konečné změny pohybují v rozmezí 200 - 600 %. Při použití hydrofobizačního přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), nejsou změny tak významné. Kapilární absorpce se navýšila pouze na hodnoty mezi 1-1,3 kg/m<sup>2</sup> a ani navýšení směrnice křivek průběhů kapilárních absorpcí není tak významné. Po ustálení průběhů kapilárních absorpcí jsou konečné změny v rozmezí 250 - 400 %. I přes významné změny jsou však hodnoty kapilárních absorpcí do 1,5 kg/m<sup>2</sup> velmi uspokojivé a i přes znatelný vliv mrazu při stárnutí (v porovnání s předchozím testem stárnutí pouze působení UV záření), je zachován dostatečný hydrofobizační efekt, při použití obou hydrofobizačních přípravků aplikovaných máčením po dobu 10 s v roztocích o koncentraci 1:40.

### 9.2.5 Vyhodnocení trvanlivosti vybraných hydrofobizačních úprav

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 ostříkující 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<sup>2</sup>.

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<sup>2</sup>, tedy hydrofobizační ochranu není možné pokládat za účinnou. Nicméně, vizuálně nebyla na těchto prvcích pozorována vztlínající vlhkost a kapilární absorpce je pod hodnotou 1,93 kg/m<sup>2</sup>. Tedy oblast vystavená působení vlhkosti v kapalně formě není zcela nasycena vodou a je omezeno vztlínání 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)<sub>2</sub> [74,75]. Pro potvrzení tohoto jevu byla na střepech z tvarovek po zkouškách trvanlivosti stanovena rtuťová porozimetrie.

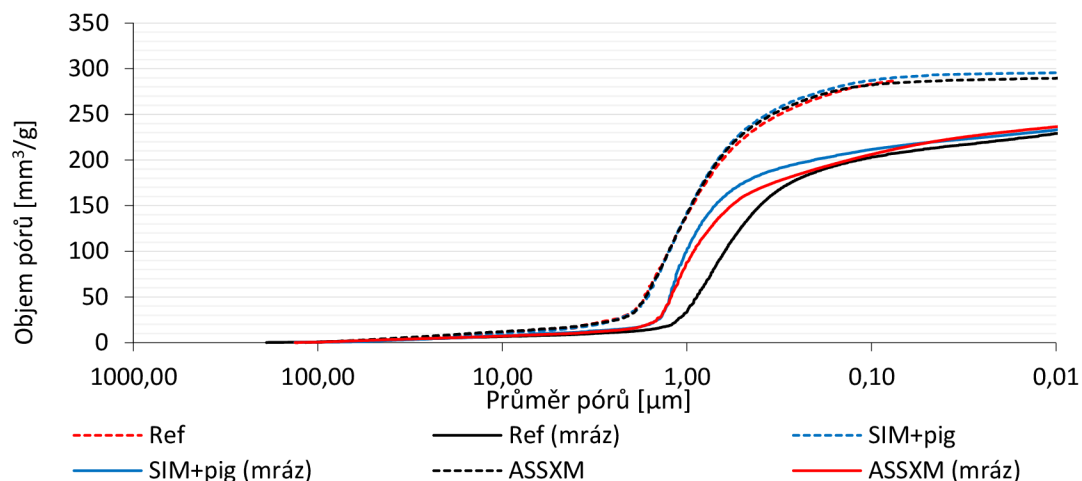
### 9.2.5.1 Vliv zatížení zdících prvků kapalnou vodou na změnu pórové struktury

Rtuťová porozimetrie byla provedena na střepech z nehydrofobizovaného zdícího prvku a na prvcích hydrofobizovaných. Z hydrofobizovaných zdících prvků byly vybrány střepey 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). Porozimetrií byly stanoveny následující parametry pórového systému:

- Objemová hmotnost
- Zdánlivá hustota
- Zdánlivá pórovitost
- Střední hodnota poloměrů pórů
- Distribuce velikosti pórů

Tab. 38. Vlastnosti hydrofobizovaných a nehydrofobizovaných střepeů stanovení rtuťovou porozimetrií

Veličina	Ref	Ref (mráz)	SIM + pig	SIM + pig (mráz)	ASSXM	ASSXM (mráz)
Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	1523	1615	1543	1647	1634	1608
Zdánlivá hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	2704	2564	2836	2673	3105	2598
Zdánlivá pórovitost [%]	43,7	37,0	45,6	38,4	47,4	38,1
Střední hodnota poloměrů pórů [μm]	1,4	0,8	1,2	1,2	1,2	1,0



Graf 34 Distribuce pórů nehydrofobizovaného a hydrofobizovaného střeptu

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 střeptu o více jak 40 %. Potvrdil se tedy předpoklad zatažení struktury, hydratace volného CaO na Ca(OH)<sub>2</sub>, v důsledku kterého došlo ke změně parametrů pórového systému střeptu [74,75]. 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.

### 9.2.6 Holoubka hydrofobizačních úprav

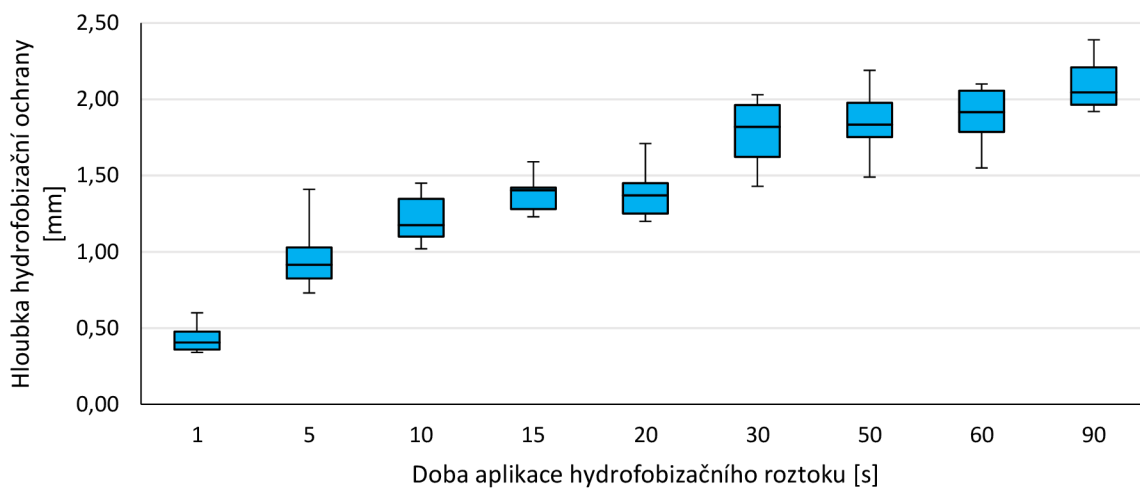
Stanovení hloubky hydrofobizační úpravy bylo provedeno pro hydrofobizační přípravky Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) a Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM), aplikované v koncentraci 1:40 a máčením v kombinaci se zvoleným pigmentem. Zkušební vzorky zdících prvků byly do hydrofobizačních roztoků máčeny po stanovenou dobu 1-90 s. Na řezech ze zkušebních vzorků byla vždy pro každou dobu máčení stanovena hloubka hydrofobizační ochrany na 10 místech.

Tab. 39. Hloubka hydrofobizační ochrany v závislosti na době aplikace

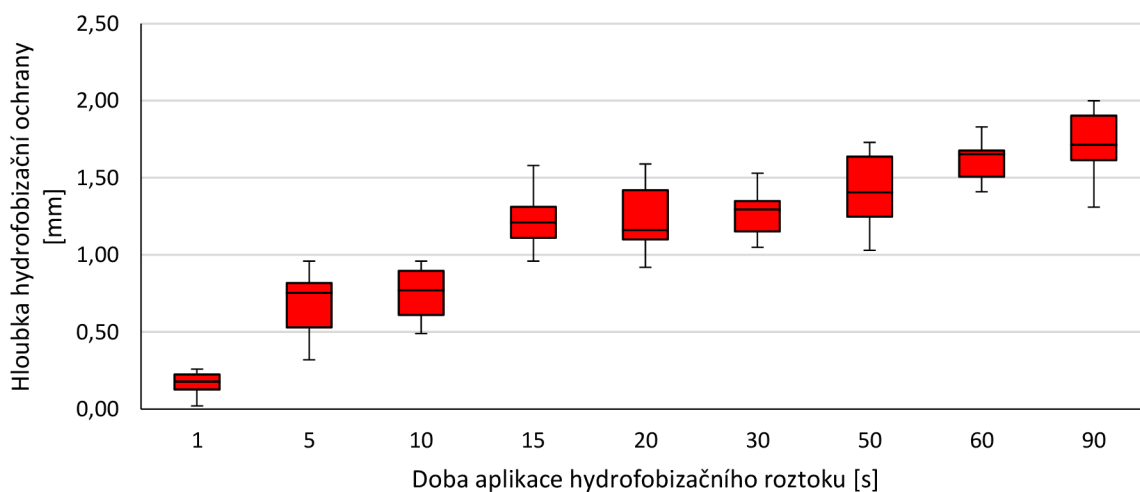
Doba aplikace hydrofobizačního přípravku máčením [s]	Hloubka hydrofobizační ochrany [mm]	
	ASSXM + pig	SIM + pig
1	0,17	0,42
5	0,69	0,95
10	0,75	1,22
15	1,22	1,37
20	1,23	1,38
30	1,28	1,77
50	1,42	1,86
60	1,61	1,89
90	1,71	2,09



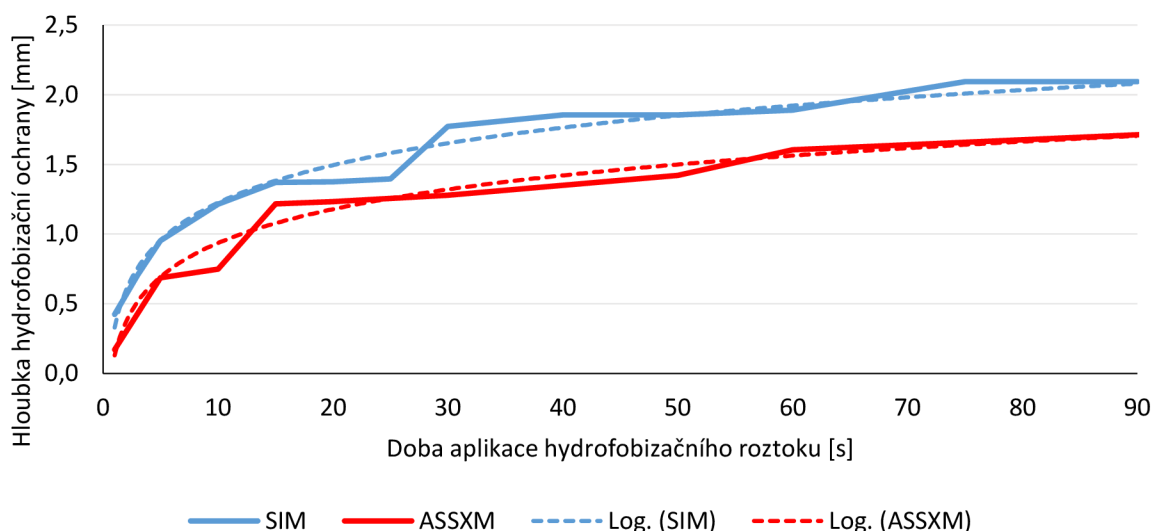
Obr. 36 Stanovení hloubky hydrofobizační ochrany



Graf 35 Hloubka hydrofobizační ochrany v závislosti na době aplikace při použití přípravku SIM



Graf 36 Hloubka hydrofobizační ochrany v závislosti na době aplikace při použití přípravku ASSXM



Graf 37 Závislost hloubky hydrofobizační ochrany na době aplikace při použití přípravků SIM a ASSXM

Potvrdila se jasná závislost mezi dobou aplikace hydrofobizačního přípravku máčením a hloubkou hydrofobizační ochrany. Se vzrůstající dobou máčení zdícího prvku vzrůstá hloubka hydrofobizační ochrany. Jedná se o logaritmickou závislost. Rovnice pro jednotlivé hydrofobizační přípravky jsou:

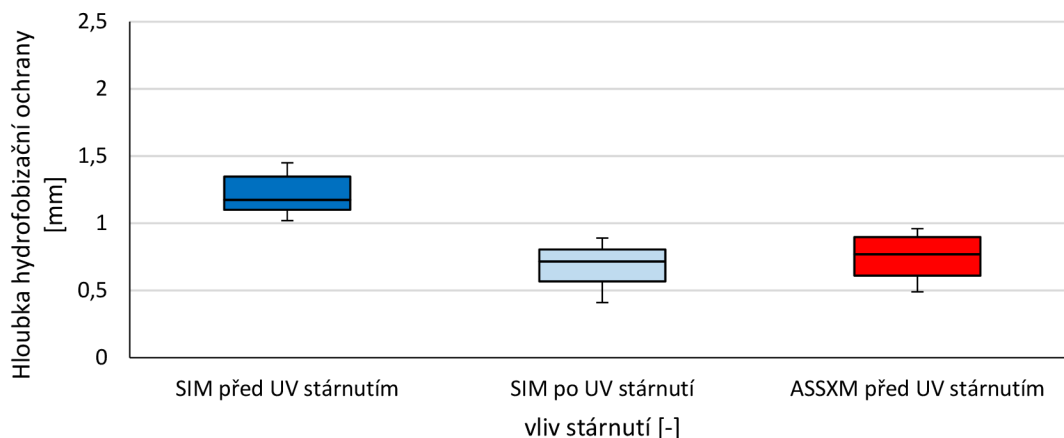
- Evonik Silikonová mikroemulze (SIM)  $y=0,3887\ln(x)+0,3298$  (32)
- Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM)  $Y=0,3499\ln(x)+0,1304$  (33)

Z pohledu hloubky hydrofobizační ochrany se jako efektivnější ukázalo použití přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM). Již mžikovým namočením zdícího prvku do hydrofobizačního přípravku po dobu 1 s je průměrná hloubka 0,4 mm. Při době máčení 90 s se průměrná hloubka zvedne na 2,1 mm. Jako optimální doba máčení se potvrdilo 10 s. Při aplikaci přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) je hloubka hydrofobizační ochrany při této době máčení 1 - 1,5 mm s průměrnou hloubkou 1,2 mm.

Zdící prvky hydrofobizované přípravkem Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), po dobu 10 s máčením v roztoku o koncentraci 1:40 určené pro stanovení hloubky hydrofobizační ochrany, byly také vystaveny zrychlenému testu stárnutí s využitím zařízení Qsun (9.2.2.2) (zatížení zvýšenou teplotou, srážkovou vodou a UV zářením odpovídající cca 2 letům stárnutí ve středoevropských klimatických podmínkách). Na těchto zdících prvcích byla po simulaci stárnutí stejným způsobem stanovena hloubka hydrofobizační ochrany.

Tab. 40. Změna hloubky hydrofobizační ochrany vlivem stárnutí UV zářením (čas máčení 10 s)

	min	medián	max	průměr
SIM před UV stárnutím	1,02	1,18	1,45	1,22
SIM po UV stárnutí	0,41	0,72	0,89	0,68
<b>Změna hloubky vlivem stárnutí (SIM)</b>	<b>60 %</b>	<b>39 %</b>	<b>39 %</b>	<b>44 %</b>
ASSXM před UV stárnutím	0,49	0,77	0,96	0,75



Graf 38 Změna hloubky hydrofobizační ochrany vlivem stárnutí UV zářením (čas máčení 10 s)

Vlivem působení UV záření se prokázala změna hloubky hydrofobizační ochrany. Hloubka hydrofobizační ochrany se po působení UV záření, při použití přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), pohybuje v rozmezí 0,41-0,68 mm, tedy cca o 40 % menší hloubka ochrany. Tato hodnota je srovnatelná jako hloubka hydrofobizační ochrany bez degradace UV zářením při použití přípravku Imesta Alkoxy silan-siloxanová mikroemulze (ASSXM). Změna hloubky hydrofobizační ochrany cca o 40 % odpovídá změně/zvýšení kapilární absorpce, při použití přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), za stejných podmínek aplikace.

### 9.3 Etapa III. – Studium změny klíčových vlastností zdících prvků po aplikaci hydrofobizační úpravy

#### 9.3.1 Změna vlastností střepeu páleného zdícího prvku

Na střepeu hydrofobizovaného páleného zdícího prvku PTH 30 Profi byly stanoveny základní vlastnosti, které byly porovnány s vlastnostmi nehydrofobizovaného střepeu. Stanovení vlastností pro porovnání změny bylo provedeno na střepeu hydrofobizovaném přípravkem Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), v koncentraci 1:40 a máčení 10 s v kombinaci s pigmentem.

Tab. 41. Změna vlastností střepeu vlivem hydrofobizační úpravy

Vlastnost střepeu	Nehydrofobizovaný střepeu	Hydrofobizovaný střepeu (SIM 1:40 + pig.)
Barva [-]	Sytě oranžová	Modrá
Zdánlivá pórovitost ZP [%]	35,1	15,39
Nasákavost $NV_{24}$ [%]	25,4	8,06
Nasákavost $NV_{var}$ [%]	26,5	23,35
Objemová hmotnost OH [ $kg/m^3$ ]	1530	1614
Zdánlivá hustota ZH [ $kg/m^3$ ]	2570	2550
Koeficient nasycení střepeu KNS [-]	0,97	0,35

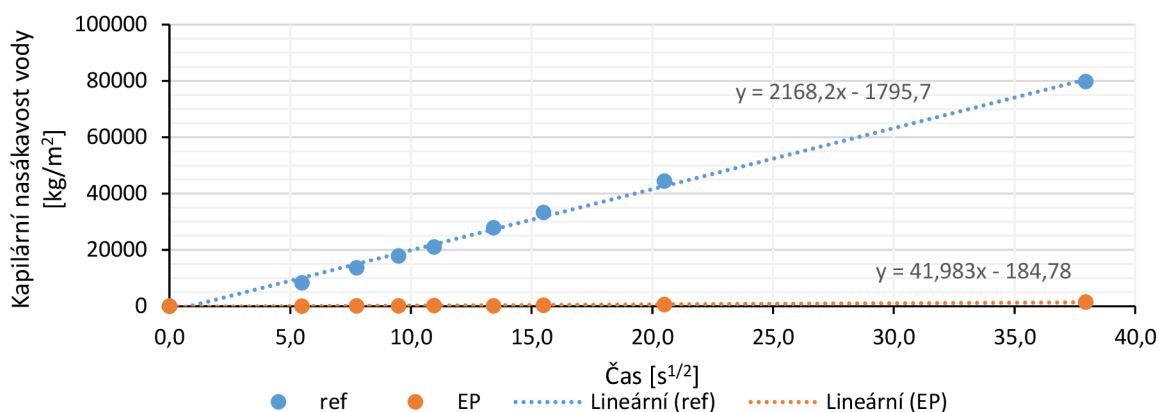


### 9.3.2 Změna kapilárních vlastností

Sledovanými kapilárními vlastnostmi byly počáteční rychlost nasákavosti páleného zdícího prvku, součinitel kapilární nasákavosti a vzlínivosti vody.

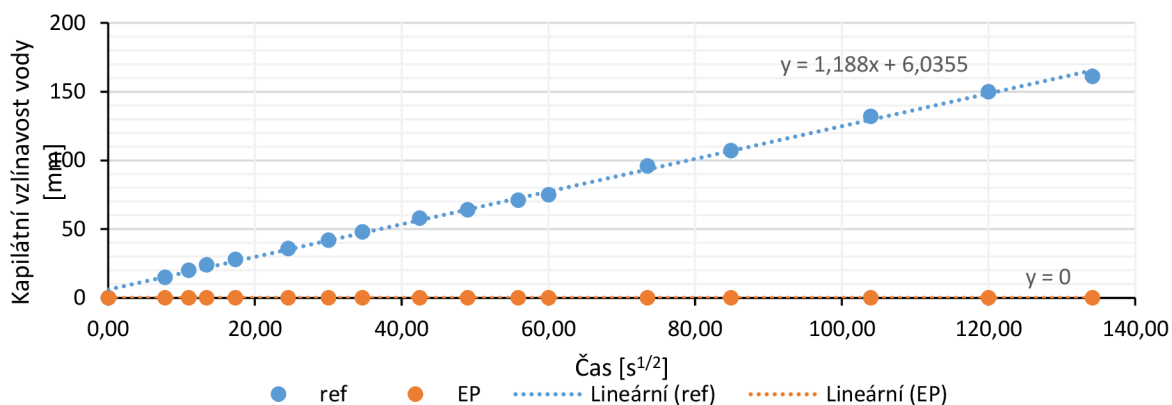
Počáteční rychlost nasákavosti páleného zdícího prvku bez ošetření hydrofobizací byla v čase 1 minuta 208 kg/(m<sup>2</sup>·min). Použitím zvolené hydrofobizační úpravy došlo ke snížení počáteční rychlosti nasákavosti na 10 kg/(m<sup>2</sup>·min), tedy snížení o 95 %.

V případě součinitele kapilární nasákavosti vody bylo také dosaženo výrazného snížení, a to z hodnoty 2168 kg/m<sup>2</sup> na 42 kg/m<sup>2</sup>, tedy snížení o 98 %. Změna vlastností je viditelná i ze samotného průběhu kapilární nasákavosti vody.



Graf 39 Kapilární nasákavost vody hydrofobizovaného a nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku

Bylo stanoveno, že použitím zvolené hydrofobizační ochrany je dosaženo výrazného snížení vzlínání vody (vyvzlínaná voda je odpařována z povrchu a není možné vizuálně pozorovat zvýšení vlhkosti). Díky této skutečnosti je součinitel kapilární vzlínivosti vody nulový, oproti původní hodnotě součinitele kapilárního vzlínání vody 1,2 mm, nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku.



Graf 40 Kapilární vzlínavost vody hydrofobizovaného a nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku

### 9.3.3 Vliv hydrofobizační úpravy na životní prostředí

Výluhy byly prováděny v destilované vodě po dobu 21 dnů, jelikož se v případě potřeby předpokládá zatopení interiéru budovy vodou tak, aby byl u vodonepropustné konstrukce vytvořen protitlak vodě působící na zdivo ze strany exteriéru.

Konkrétně se jednalo o rozbor vody z výluhu střepeů ošetřených Evonik Silikonová mikroemulze (střep E) v kombinaci s pigmentem. Pro porovnání byl zadán také rozbor výluhu nehydrofobizovaného střepeu jako srovnávací vzorek (střep R). Rozbory byly zadány do zkušební laboratoře. Hodnoty stanovené z výluhů jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 42).

Bylo provedeno porovnání s hodnotami pro pitnou vodou danými vyhláškou Ministerstva Zdravotnictví č. 252/2004 Sb. [76], limitní hodnotou pro zatřídění povrchové vody dle ČSN 75 7221 [77] a limitními hodnotami pro klasifikaci odpadů dle katalogu odpadů dle vyhlášky č. 8/2021 Sb. [78].

Při porovnání hodnot stanovovaných na výluhu z keramického střepeu a hydrofobizovaného keramickém střepeu (Tab. 42) je patrné, že výluh z nehydrofobizovaného i hydrofobizovaného střepeu nesplňuje parametry pH a fluoridů po pitnou vodu. Při porovnání hodnot s hodnotami jednotlivých tříd povrchové vody, jsou oba výluhy klasifikovány jako Třída IV povrchové vody, tedy jako *silně znečištěná voda*. V případě porovnání limitů pro povrchové vody jsou určujícími parametry pro dané hodnocení hodnoty fluoridů a boru ve výluzích, které překračují u obou výluhů limitní hodnoty.

Tab. 42. Porovnání parametrů z výluhů s limitními hodnotami pro pitnou vodu, povrchovou vodu a nebezpečný odpad

Parametr	Zkratka	Jednotka	Výluh střepeu R	Výluh střepeu E	Pitná voda dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.	Nebezpečný odpad dle vyhlášky č. 8/2021 Sb.	Povrchová voda dle ČSN 75 7221				
							Třída				
							I	II	III	IV	V
PH	pH	-	10,1	10,5	6,5 - 9,5	5,5-13	-	-	-	-	-
Chemická spotřeba kyslíku (manganistanem)	CHSK -Mn	mg/l	0,04	0,33	3	-	< 6	< 9	< 14	< 20	≥ 20
Amonné ionty	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,02	0,02	0,5	-	-	-	-	-	-
Dusitany	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,11	0,17	0,5	-	< 0,05	< 0,15	< 0,25	< 0,4	≥ 0,4
Dusičnany	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,1	0,1	50	-	< 2,5	< 5	< 8	< 12	≥ 12
Chloridy	Cl <sup>-</sup>	mg/l	0,6	0,8	100	-	< 100	< 200	< 300	< 450	≥ 450
Fluoridy	F <sup>-</sup>	mg/l	2,14	1,59	1,5	30	< 0,3	< 0,6	< 1,3	< 2	≥ 2
Sírany	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	119,8	121,6	250	-	< 80	< 150	< 250	< 400	≥ 400
Vápník	Ca	mg/l	22,4	31,6	40-80 * <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-
Hořčík	Mg	mg/l	3,66	0,83	10	-	-	-	-	-	-
Hliník	Al	mg/l	0,034	0,066	0,2	-	< 0,6	< 1,2	< 2,5	< 5	≥ 5
Sodík	Na	mg/l	3,26	3,66	200	-	-	-	-	-	-
Arsen	As	μg/l	10,6	7,49	10	2500	< 1	< 10	< 20	< 50	≥ 50
Bor	B	mg/l	0,553	0,567	1	90	< 0,1	< 0,25	< 0,5	< 1	≥ 1
Antimon	Sb	μg/l	0,29	0,28	5	500	-	-	-	-	-
Selen	Se	μg/l	0,67	2,38	10	700	< 1	< 2	< 3	< 5	≥ 5
Tvrdost		mmol/l	2,59	2,71	2 – 3,5	-	-	-	-	-	-

Tab. 42. (Pokračování)

Parametr	Zkratka	Jednotka	Výluh střepeu R	Výluh střepeu E	Pitná voda dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.	Nebezpečný odpad dle vyhlášky č. 8/2021 Sb.	Povrchová voda dle ČSN 75 721				
							Třída				
							I	II	III	IV	V
Kyanidy	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,002	0,002	0,05	-	< 0,01	< 0,02	< 0,04	< 0,06	≥ 0,06
Železo	Fe	mg/l	0,05	0,05	0,2	-	< 0,5	< 1	< 2	< 3	≥ 3
Mangan	Mn	mg/l	0,01	0,01	0,05	-	< 0,1	< 0,3	< 0,5	< 0,8	≥ 0,8
Beryllium	Be	μg/l	0,05	0,05	2,0	-	< 0,2	< 0,5	< 1	< 2	≥ 2
Kadmium	Cd	μg/l	< 0,1	< 0,1	5	500	< 0,1	< 0,5	< 1	< 2	≥ 2
Měď	Cu	μg/l	< 5	< 5	1000	10000	< 5	< 15	< 30	< 60	≥ 60
Nikl	Ni	μg/l	1,17	1	20	4000	< 3	< 6	< 12	< 40	≥ 40
Olovo	Pb	μg/l	1	1	10	5000	< 3	< 8	< 15	< 30	≥ 30

## Poznámka:

Jednotlivé limitní hodnoty překročené hodnotami stanovenými na výluhu hydrofobizovaného střepeu jsou vyznačeny červeně.

\*<sup>1</sup> doporučená hodnota dle zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví

V případě limitů pro pitnou vodu jsou pak překročeny limity pro PH a fluoridy. Překročení hodnoty PH nemá přímý zdravotní význam, snižuje účinnost dezinfekce a může dát vodě nepříjemnou chuť. V případě fluoridů byla zjištěná zvýšená hodnota především u výluhu střepe R bez ošetření hydrofobizačním přípravkem. U vzorku ošetřeného hydrofobizačním přípravkem Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), byla u výluhu ze střepe hodnota 1,59 mg/l, kdy nejvyšší mezní hodnota pro pitnou vodu daná vyhláškou Ministerstva Zdravotnictví č. 252/2004 Sb. je 1,5 mg/l [76]. Toto mírné překročení limitní hodnoty nemá vliv na lidské zdraví. Důkazem je zjištění hodnoty až 2,0 mg/l u některých vodovodních řádů v ČR, kdy těmto vodovodům byla udělena výjimka pro limity pitné vody.

V případě zatřídění výluhů do Třídy IV povrchových vod, tak bylo učiněno na základě zvýšených hodnot boru a opět fluoridů.

Na závěr byly hodnoty získané z rozboru výluhů střepe porovnány s limitními hodnotami pro nebezpečný odpad, HP 15 dle vyhlášky č 8/2021 sb., Katalog odpadů. Na základě tohoto porovnání hodnot výluhů je možné konstatovat, že v případě nehydrofobizovaného ani hydrofobizovaného střepe se nejedná o nebezpečný odpad.

### 9.3.4 Přídržnost maltových směsí na hydrofobizovaný povrch

Velmi podstatnou vlastností, na kterou by hydrofobizace povrchu pálených zdících prvku, mohla mít vliv je přídržnost maltových směsí. Z toho důvody byla pro vybrané maltové směsi stanovena přídržnost k hydrofobizovanému povrchu Evonik Silikonová mikroemulze 1:40 (SIM) a porovnána s přídržností na nehydrofobizovaný povrch páleného zdícího prvku. Mimo vytipované maltové směsi, jako jádrová omítka (Baumit Manu 4 a Baumit Duomalta), do navrhovaného zdícího systému, se jednalo se o následující maltové směsi.

Tab. 43. Přehled maltových směsí (mimo navržení jádrové směsi do zdícího systému) pro stanovení přídržnosti na hydrofobizovaný pálených zdících prvcích [72,79,80]

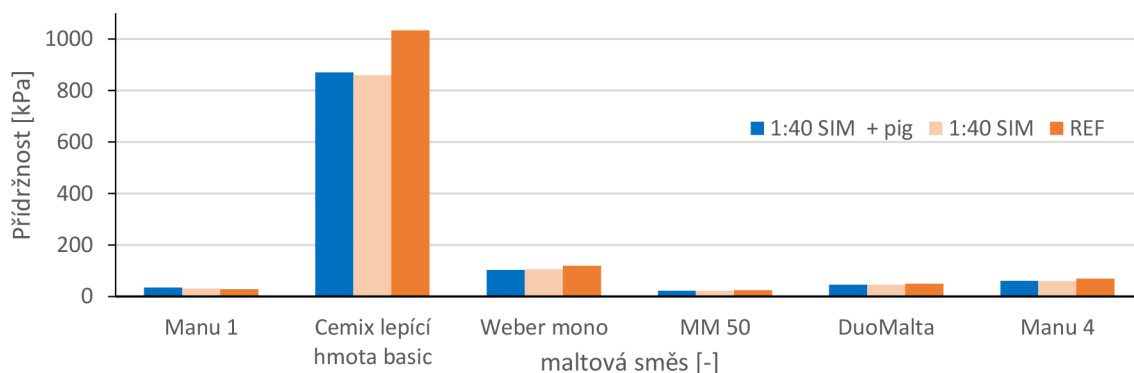
Označení	Popis	Použití
Manu 1 – Baumit	Jádrová vápenocementová omítka zrnitosti 1 mm, ručně zpracovatelná, pro exteriér i interiéru	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jemná jádrová omítka pod finální štuk</li> <li>Pro lokální vyspravení i celoplošné nanášení</li> <li>Vhodná pod obklady</li> </ul>
MM 50 – Baumit	Průmyslově vyráběná suchá maltová směs pro ruční i strojní zpracování	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zdící malta pro všechny druhy zdících prvků, nosné nenosné a komínová tělesa</li> <li>Pro všechny běžné druhy zdiva</li> </ul>
Lepicí a stěrková hmota basic - CEMIX	Mrazuvzdorná lepicí a stěrková hmota pro vnější tepelněizolační systémy ručně i	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lepení tepelně izolačních desek a vytváření výztužné vrstvy v zateplovacím systému</li> <li>Vytváření rovných podkladů pro finální omítky</li> </ul>

	strojně zpracovatelná, pro exteriér i interiér	<ul style="list-style-type: none"> <li>Překrytí problematických míst zdiva či omítek při současném vkládání výztužné tkaniny</li> </ul>
Sanační omítka – Weber mono	Jádrová omítka určená na sanace vlhkého zdiva ručně zpracovatelná, pro exteriér i interiér	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sanační omítka na vlhké a mírně zasolené zdivo z různých stavebních materiálů</li> </ul>

Tyto vybrané materiály byly vždy ručně zpracovány dle doporučení výrobce pro daný materiál a následně byly ručně za pomoci zednické lžice a hladítka nanесeny v rovnoměrné vrstvě 20 mm na povrch tvarovek. Po vyzrání povrchových úprav, 21 dnech, bylo provedeno stanovení přídržností.

Tab. 44. Přídržnosti [kPa] maltových směsí k hydrofobizovanému a nehydrofobizovanému povrchu páleného zdícího prvku

Povrch	REF	SIM + pig	SIM
Manu 1	29	34	31
Cemix lepicí hmota basic	1034	870	859
Weber mono	119	104	105
MM 50	25	22	22
Duomalta	50	47	46
Manu 4	70	61	60



Graf 41 Přídržnosti [kPa] maltových směsí k hydrofobizovanému a nehydrofobizovanému povrchu páleného zdícího prvku

U omítky Manu 1 došlo k mírnému zlepšení přídržnosti povrchových úprav na hydrofobizovaných tvarovkách, oproti přídržnosti na nehydrofobizovaných tvarovkách. U všech ostatních povrchových úprav došlo naopak k mírnému snížení přídržnosti povrchových úprav na hydrofobizovaných tvarovkách.

### **9.3.5 Vyhodnocení vybraných vlastností hydrofobizovaných zdících prvků**

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. Tuto hloubku je možné považovat za dostatečnou hloubku v případě možného mechanického poškození posunem jednotlivých bloků o sebe apod. Vystavením hydrofobizovaného páleného zdícího prvku působení UV záření se hloubka této hydrofobizační ochrany snižuje cca o 40 %.

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 vzlínivosti vody u hydrofobizovaného prvku je nulový, tedy nedochází ke vzlínání vody v pórovém systému střepu.

Použitím hydrofobizační úpravy keramických zdících tvarovek je možné předpokládat zhoršení přídržnosti povrchových vrstev cca do 15 %.

S ohledem vlivu hydrofobizace na životní prostředí je tedy možné konstatovat, na základě rozborů výluhů z hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití hydrofobizačního přípravku Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), že výluh lze zařadit do Třídy IV povrchových vod. Výluh z hydrofobizovaných pálených zdících prvků při použití hydrofobizačních přípravků Evonik Silikonová mikroemulze (SIM), splňuje krom hodnoty pH a fluoridů limity stanovené pro pitnou vodu. Dále je možné konstatovat, že v případě nehydrofobizovaného ani hydrofobizovaného střepu se nejedná o nebezpečný odpad.

## **9.4 Etapa IV. - Studium využití hydrofobizačních přípravků pro snížení kapilární absorpce maltových směsí**

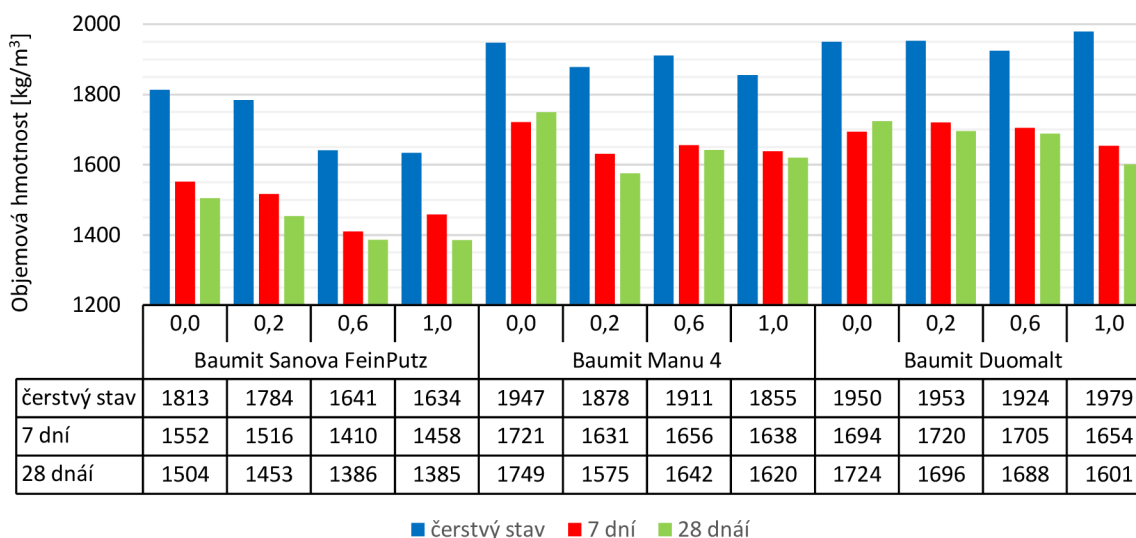
V rámci maltových směsí se účinnost hydrofobizačních přípravků ověřovala pomocí koeficientu kapilární absorpce. Jedná se o jednu vlastnost stanovenou dle ČSN EN 1015-18 [55], požadovanou dle příslušných výrobních norem. Pro hydrofobizaci zvolených maltových směsí omítkového systému byl zvolen přípravek Imesta Silikonová emulze, dávkovaný do čerstvé malty v množství 0,2 %, 0,6 % a 1 % objemově.

Tab. 45. Kapilární absorpce hydrofobizovaného maltových směsí zvoleného omítkového systému

Vlastnost	Přídavek hydrofobizéru	Baumit Manu 4	Baumit Duomalta	Baumit Sanova FeinPutz
Kapilární absorpce C [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$ ]	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 [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ]	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.

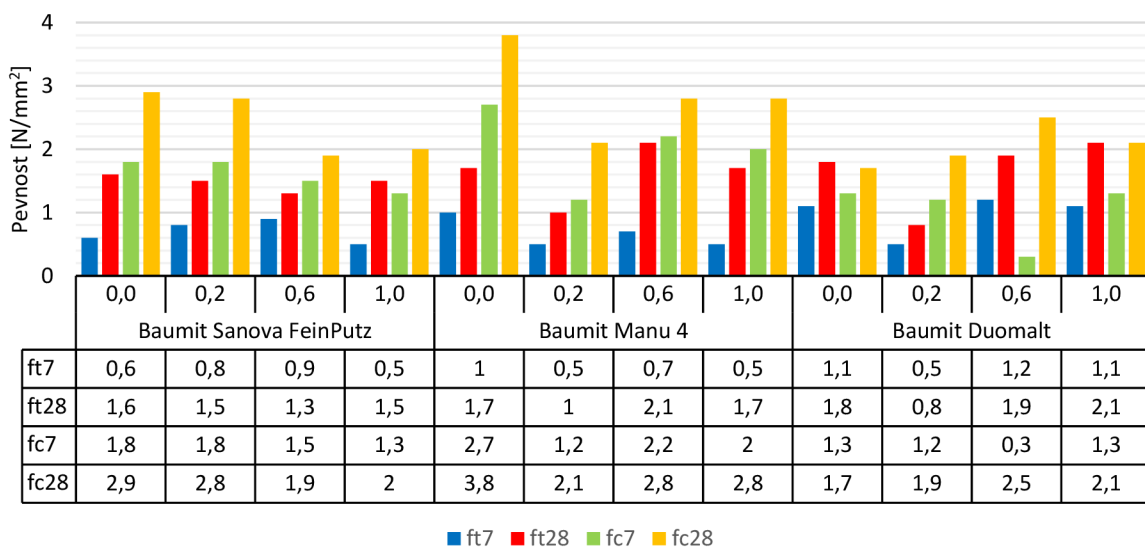
Mimo kapilární nasákavost byl u maltových směsí sledován vliv hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v přídavcích 0,2 %, 0,6 %, 1,0 % obj., na objemové hmotnosti, mechanické vlastnosti, difuzní a tepelně izolační vlastnosti.



Graf 42 Vliv hydrofobizéru na objemovou hmotnost maltových směsí

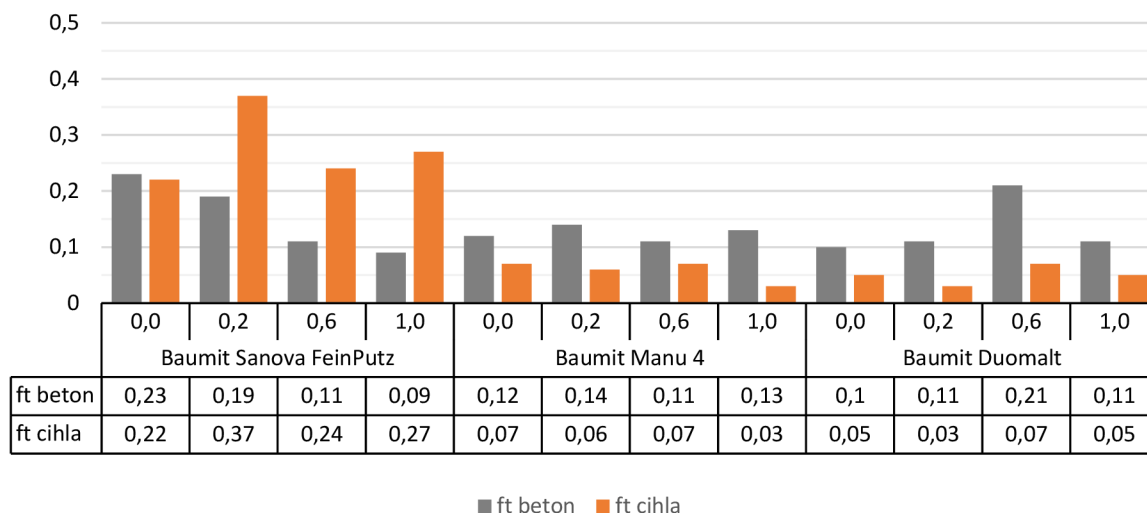


U objemové hmotnosti je možné pozorovat trend snižující se objemové hmotnosti se zvyšující se dávkou hydrofobizačního přípravku. Tento trend je patrný, jak u objemové hmotnosti v čerstvém stavu, tak u objemové hmotnosti v průběhu zrání, až po sledovanou dobu 28 dní. Nejmarkantnější projev snižující se objemové hmotnosti je možné pozorovat u silikonové finální omítky Sanova FeinPutz, kdy již při přípravě omítkové směsi bylo pozorovatelné zvýšené napětění. Snižování objemové hmotnosti má předpokládaný dopad na mechanické vlastnosti. Nejmarkantněji je tento jev možné pozorovat právě u omítky Sanova FeinPutz, kdy přidavkem hydrofobizačního přípravku od 0,6 % obj. dojde ke snížení pevnosti v tlaku ( $f_c$ ) o jednu třetinu. U jádrových omítek je naopak možné pozorovat zvýšení pevnosti v tahu za ohybu ( $f_t$ ) po 28 dnech, se vzrůstající dávkou hydrofobizačního přípravku.



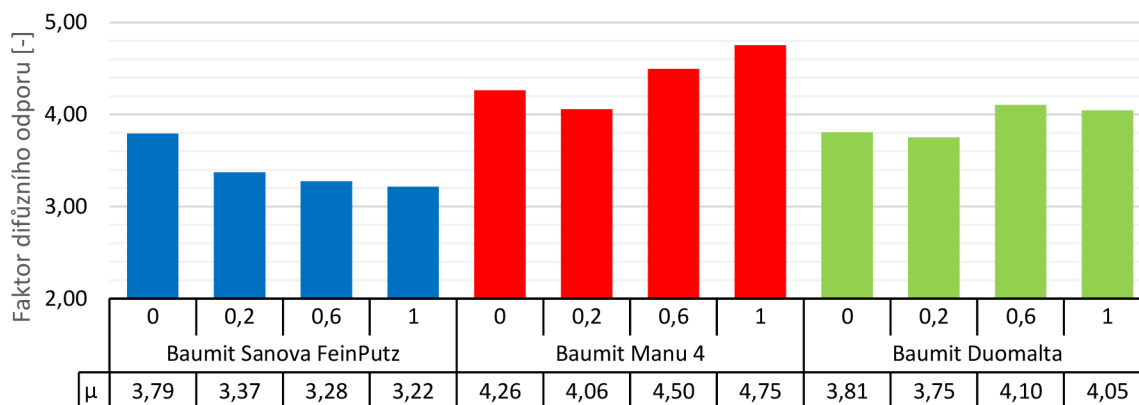
Graf 43 Vliv hydrofobizéru na mechanické vlastnosti maltových směsí

Přidržnost s ohledem na použití hydrofobizačního přípravku byla stanovována na normovém referenčním povrchu – beton a na cihelném povrchu – zdící tvarovky typu THERM. U jádrových omítkových směsí je patrné, že použití hydrofobizéru má pozitivní vliv na přidržnost k betonovému i cihelnému podkladu. V případě silikonové omítkové směsi Sanova FeinPutz, je patrný pokles přidržnosti k betonovému podkladu se vzrůstající dávkou hydrofobizéru, u cihelného podkladu je tomu naopak.



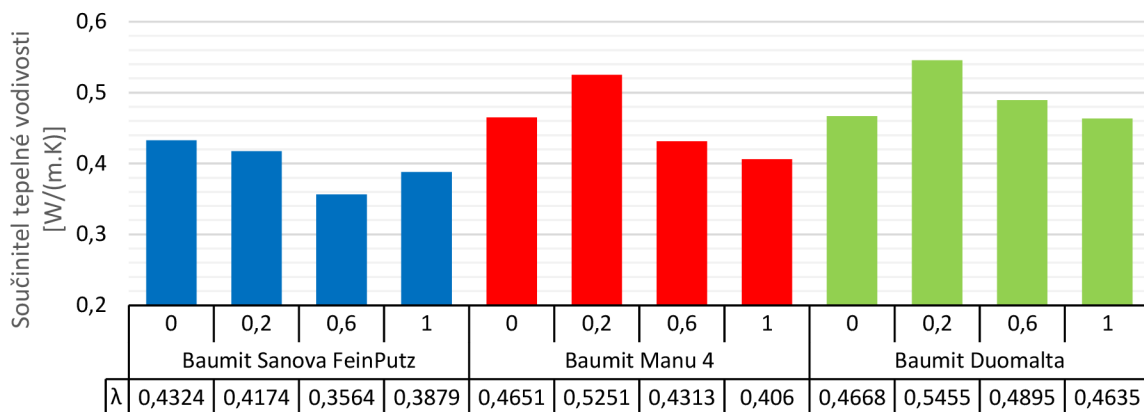
Graf 44 Vliv hydrofobizéru na přídržnost maltových směsí

Z pohledu prodyšnosti je znatelný vliv použití hydrofobizačního přípravku především u finální omítky Sanova FeinPutz, kde se zvyšující dávkou hydrofobizačního přípravku klesá faktor difuzního odporu. Tento trend plynule kopíruje snižující se objemovou hmotnost při vyšší dávce hydrofobizéru, tedy zvyšující se pórovitost výsledné omítkové směsi. V případě jádrových omítkových směsí naopak se zvyšujícím přídatkem hydrofobizačního přípravku vzrůstá faktor difuzního odporu. Především u maltové směsi Duomalta však není tento nárůst nikterak výrazný.



Graf 45 Vliv hydrofobizéru na faktor difuzního odporu maltových směsí

V případě finální povrchové úpravy Sanova FeinPutz, je zřetelný trend snižujícího se součinitele tepelné vodivosti se zvyšujícím se přídatkem hydrofobizačního přípravku. Tato skutečnost souvisí se závislostí objemových hmotností na přídatku hydrofobizačního přípravku, tedy se zvyšující se pórovitostí. V případě maltových směsí cílených jako jádrové vrstvy omítkového systému při přídatku 0,2 % hydrofobizačního přípravku došlo ke zvýšení součinitele tepelné vodivosti. Při zvyšujícím přídatku hydrofobizačního přípravku hodnota součinitele tepelné vodivosti klesá, kdy při přídatcích 1 %, u obou maltových směsí, je nižší, než u maltové směsi bez přídatku hydrofobizačního přípravku.



Graf 46 Vliv hydrofobizéru na součinitel tepelné vodivosti maltových směsí

#### 9.4.1 Vyhodnocení hydrofobizace maltových směsí

Použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze do maltových směsí se snížila kapilární absorpce i výška vzlinutí. V případě maltových směsí určených jako jádrová část povrchové úpravy byl vyhodnocen jako nevhodnější 1% přídavek hydrofobizačního přípravku. U maltové směsi pro finální část povrchové úpravy se jeví jako optimální přídavek pouze 0,2 % hydrofobizačního přípravku. Na další sledované vlastnosti nebyl, přídavek hydrofobizačního přípravku do maltových směsí, pozorován žádný významný dopad.

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

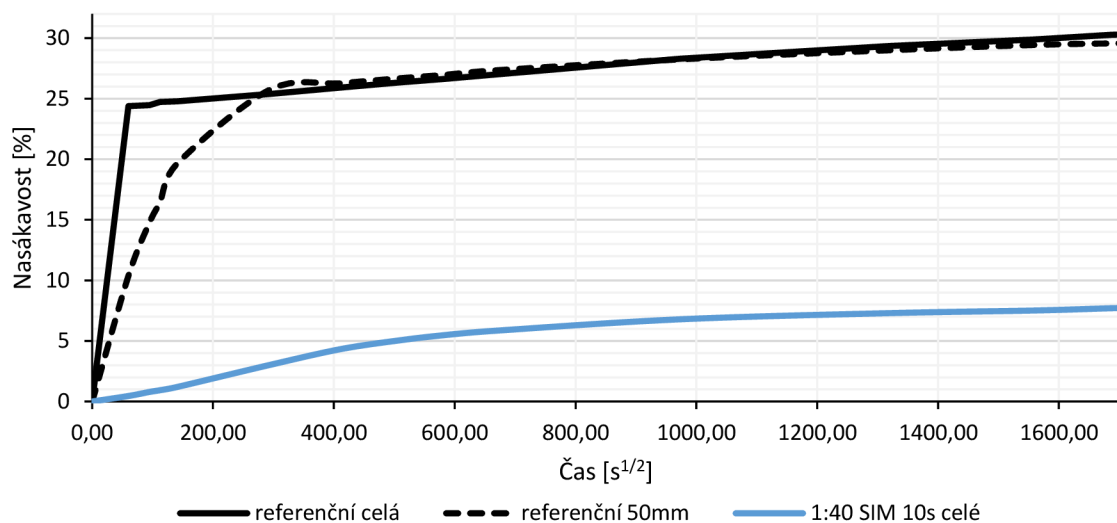
Pro oblasti se zvýšeným rizikem záplav je nutné navrhnout nový zdící systém. Na zdící systém jsou kladeny tyto základní požadavky:

- Nově navržený zdící systém musí být kompatibilní se stávajícím zdícím systémem z pálených zdících prvků.
- Jednotlivé komponenty zdícího systému musí být odolné proti působení zvýšené vlhkosti.
- Použitím zdícího systému musí dojít k vytvoření vodonepropustné bariéry mezi vnějším a vnitřním prostředím.

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 (6.1, 6.2 a 6.3).

Pálený zdící prvek s hydrofobizační úpravou Evonik Silikonová mikroemulze (SIM) máčením v roztoku o koncentraci 1:40 po dobu 10 s byl vybrán především díky výraznému snížení kapilární absorpce, oproti nehydrofobizovanému zdícímu prvku. Tato hydrofobizační úprava navíc prokázala velmi dobrou stálost i při vystavení degradačním vlivům UV záření, vysokých

a nízkých teplot. Hloubka hydrofobizační ochrany je dostačená pro běžné mechanické opotřebení/namáhání v rámci výstavby. Hodnoty kapilární absorpce byly stanovovány při zatížení zvýšenou vlhkostí, kdy zdící prvky byly ponořeny do vody do výšky 50 mm od spodní plochy prvků. Vzhledem k tomu, že při záplavách je možné předpokládat zatopení celého prvku, bylo provedeno i ověření vlivu hydrofobizace v tomto případě. Byly vyrobeny zdící prvky hydrofobizované na celém svém povrchu, které byly ponořeny do vody, tak aby voda byla minimálně 5 mm nad horní plochou prvků. Z principu této zkoušky se již nejedná o kapilární absorpci, ale o nasákavost. Účinnost hydrofobizace byla tedy při této zkoušce hodnocena dle hodnot nasákavosti.



Graf 47 Vliv hydrofobizace pálených zdících prvků na jejich nasákavost

Z porovnání nasákavostí je patrné, že použitím hydrofobizace se nasákavost zdících prvků snížila o 75 %, což znamená, že nehydrofobizovaný zdící prvek PTH 30 Profi, nasákne cca 4,4 kg vody, oproti tomu hydrofobizovaný zdící prvek pouze 1,1 kg. V rámci sledování nasákavosti nehydrofobizovaného zdícího prvku byla porovnána nasákavost prvku ponořeného celou výškou do vody a prvku ponořeného pouze do výšky 50 mm (jedná se tedy o kombinaci nasákavosti a vzlinavosti). Výsledné průběhy nasákavosti v čase v obou případech zatížení nehydrofobizovaného zdícího prvku se od doby 24 h prakticky neliší. Rozdíl je především ve směrnici průběhů, tedy rychlosti absorpce vody v počátečním stádiu, která je dle předpokladu u prvku ponořeného celou výškou výrazně vyšší.

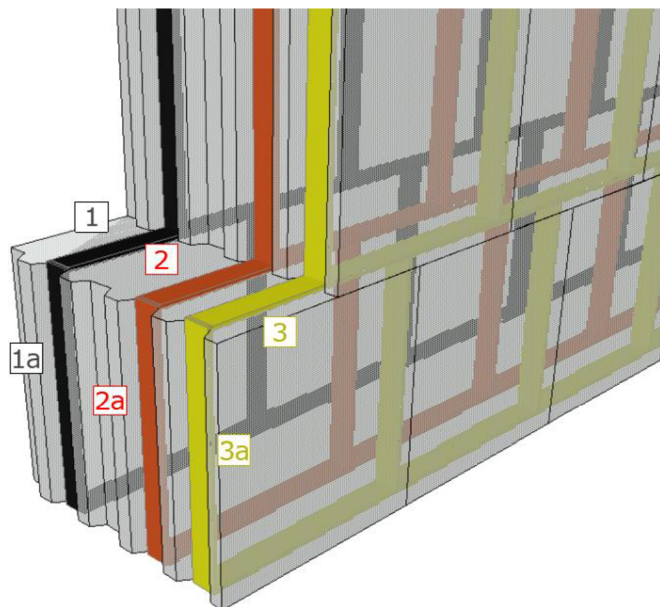
Pro povrchové úpravy bylo navrženo taktéž využití hydrofobizovaných maltových omítkových směsí, které jsou schopny odolávat účinkům zvýšené vlhkosti. Jako jádrová omítka bylo navrženo použití Baumit Duomalta s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 1,0 % obj. Použitím 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. Zvyšující se přídavek hydrofobizačního přípravku od 0,2 % obj., nemá významný vliv na snižování kapilární absorpce ani výšky vzlinutí. Se zvyšující dávkou klesá objemová hmotnost,

k tomu úměrně klesají mechanické vlastnosti, faktor difuzního odporu i součinitel tepelné vodivosti. Přídavek pouze 0,2 % obj. hydrofobizačního přípravku byl vyhodnocen jako nejvhodnější, pro zachování co nejlepších mechanických vlastností, neboť dopad na faktor difuzního odporu a součinitel tepelné vodivosti není tak významný.

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 (9.6).

## 9.6 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 několika 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. 37 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)

V navrženém systému pojení zdících prvků musí být aplikováno pojivo ve styčných i ložných spárách, v souvislých pruzích tak, aby na sebe pojivo vždy navazovalo a byl tedy vytvořen celistvý křížový rastr. Je nutná aplikace minimálně tří řad křížového rastru pojiva, v případě

potřeby může být aplikována čtvrtá řada rastru pojiva. Bylo ověřeno, že z důvodu omezení odpadnutí pojiva vlivem gravitace, musí být pojivo aplikováno ve styčných spárách do drážek zazubení, nikoliv na pera zazubení. Poloha jednotlivých řad pojiva je vždy dána polohou drážek v zazubení styčných spár zdiva. První dvě řady pojiva (Obr. 37 – označeny 1 a 2) musí být aplikovány v polohách drážek zazubení styčné spáry, které odpovídají vždy přibližně třetině tloušťky zdiva, zpravidla se jedná vždy o druhou drážku z každé strany zdiva. Třetí řadu pojiva (Obr. 37 – označena 3) je nutné aplikovat do první drážky styčné spáry u vnějšího líce zdiva. Tato řada pojiva vodotěsně uzavírá konstrukci spolu s omítkou z vnější strany, kde se předpokládá hlavní hydrofyzikální namáhání při zaplavení vodou. V případě potřeby je možné aplikovat obdobným způsobem pojivo i ve čtvrté řadě u vnitřního líce zdiva.

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:

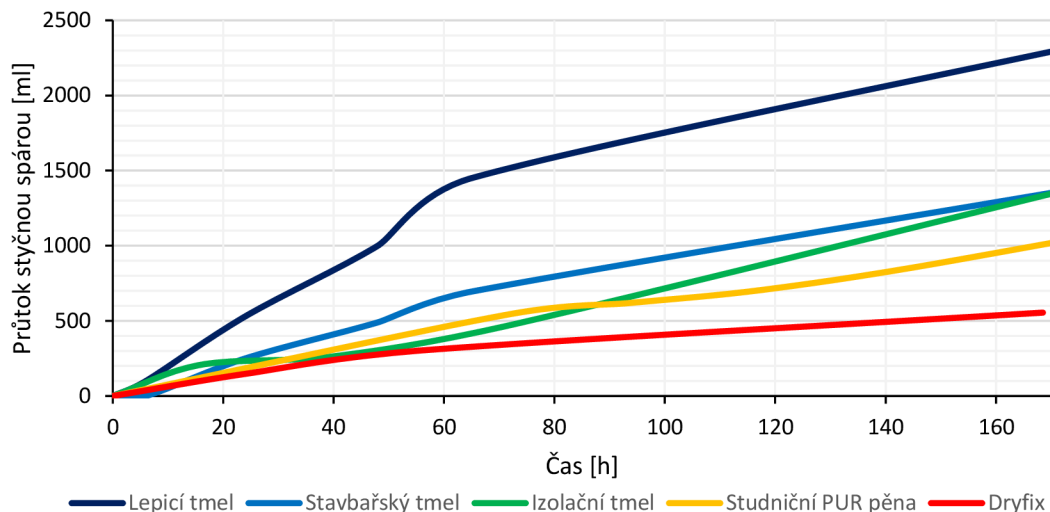
- Lepící tmel
- Stavbařský tmel
- Izolační tmel
- Studniční PUR pěna
- PUR pěna Dryfix

Ihned po nanesení byla tvarovka spojena s druhou tvarovkou na „péro + drážku“. Po vytvrzení příslušné hmoty ve styčné spáře, byla v oblasti spoje přitmelena plastová nádoba s výřezem nad spárou tvarovek a veškeré nežádoucí mezery byly utěsněny.



Obr. 38 Ověření vodotěsnosti styčné spáry pálených zdících prvků

U zkušebního zařízení byla v průběhu času sledována hladina vody dosahující k vyznačené rysce. V případě úbytku vody, byla voda do plastové nádoby dolévána a vždy byl zaznamenán úbytek vody za čas. Míra vodotěsnosti spoje je dána množstvím vody proteklé spojem, tedy vody potřebné pro udržení hladiny po vyznačenou rysku. Na základě protečeného množství vody lze vybrat nejvhodnější materiál pro dané použití.



Graf 48 Průtok styčnou spárou pálených zdících prvků při použití pojiva ve styčné spáře

Po ukončení zkoušky průtoku vody styčnou spárou byly jednotlivé fragmenty mechanicky odděleny a bylo vizuálně hodnoceno vyplnění styčných spár zvolenými přípravky.



Obr. 39 Obr. 20: Styčná spára - Izolační tmel



Obr. 40 Styčná spára - Stavbařský tmel



Obr. 41 Styčná spára - Studniční PUR pěna



Obr. 42 Styčná spára - Lepicí tmel



Obr. 43 Styčná spára - Zdicí PUR pěna Dryfix



Obr. 44 Nanesení zdicí PUR pěny Dryfix

### 9.6.1 Vyhodnocení pojení zdicích tvarovek v oblasti styčné spáry

Na základě výsledků průtoku styčnou spárou, byla jako nejvhodnější přípravek vybrána zdicí pěna Dryfix, což bylo potvrzeno i vizuálním zhodnocením jednotlivých spojů po oddělení tvarovek. Při aplikaci zdicí 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. Navržený systém pojených hydrofobizovaných zdicích tvarovek, za použití zdicí pěny Dryfix, byl tedy vyhodnocen jako funkční. V tomto systému pojení bude PUR pěna ve styčných spárách aplikována ve třech pruzích. Do stejné polohy bude pěna aplikována také v ložných spárách, čímž dojde k vytvoření celistvé sítě ze zdicí PUR pěny, ve všech spárách zdiva.

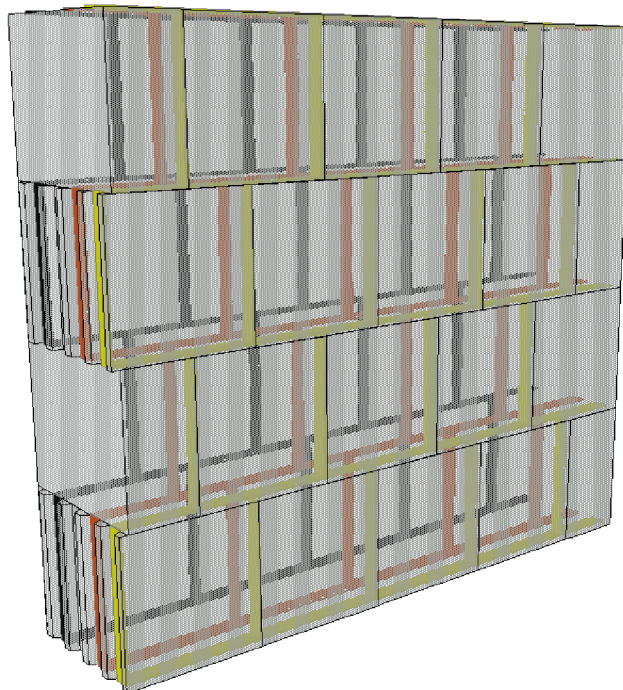


## 9.7 Etapa VII. – Poloprovozní ověření navrženého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav

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.

Pro pojení se jako nejefektivnější ukázala varianta, kdy bylo využito zdící PUR pěny Dryfix. Velkou výhodou použití této pěny je fakt, že pěna je již běžně používána pro pojení v ložných spárách. V navrženém systému vodonepropustné konstrukce je pěna aplikována nejen na ložné, ale i styčné spáry. Aplikací pěny tímto způsobem dojde k vytvoření křížového systému pěny ve zdivu, čímž je dána vodonepropustnost navržené konstrukce.



Obr. 45 Schéma křížového rastru vytvořeného ze zdící PUR pěny Dryfix

Provedení zátopové zkoušky proběhlo ve speciálně navržené zkušební nádrži o rozměrech 2000x1000x1100 mm. V jedné čtvrtině nádrže je límec, ke kterému je přizděna testovaná zeď. Na zeď je z druhé strany připevněn druhý límec. Na stranu s výpustí/mokrou je načerpána voda do požadované výšky a je sledován průtok, resp. průsak na druhou/suchou stranu zdi. Založení konstrukce bylo provedeno na střešní bitumenový tmel, který byl nanesen přímo na dno plastové nádrže ve třech rovnoběžných řadách. Celá konstrukce byla vyzděna ve dvou vrstvách, aby bylo možné sledovat zatížení styčných a ložných spár vodou. Po vyzdění konstrukce byly prostory na stranách konstrukce, mezi konstrukcí a nádrží vyplněny nízkoexpanzní PUR pěnou a na lícovou stranu byl připevněn límec. K nádrži byl límec připevněn střešním bitumenovým tmelem a k testované konstrukci stavbařským bitumenovým tmelem. Veškeré spáry mezi jednotlivými plastovými částmi nádrže a mezi zdívem a nádrží byly utěsněny tmelem AquaFix.

### 9.7.1 Zátopové zkoušky

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.



Obr. 46 Lícová strana konstrukce z mokré strany před zatopením vodou



Obr. 47 Lícová strana konstrukce ze suché strany před zatopením vodou

Konstrukce byla zatopena do výšky do výšky 375 mm, tedy do poloviny druhé řady tvarovek. Celá konstrukce byla vystavena zatížení vodou po dobu 21 dní. Po již cca po 24 h se na suché straně objevilo cca 50 mm vody, tato hladina se ustálila a po celou další dobu zátopové zkoušky hladina na suché straně konstrukce nestoupala. Z tohoto důvodu je možné usuzovat, že voda neprotékala spárami ani přes tvarovky, ale netěsnostmi mezi konstrukcí a nádrží. Konstrukce byla tedy vyhodnocena jako vodotěsná.



Obr. 48 Lícová strana konstrukce z mokré strany po 21 dnech zatopení vodou



Obr. 49 Lícová strana konstrukce z mokré strany po 21 dnech zatopení vodou

Po 21 dnech byla voda z nádrže vyčerpána a konstrukce rozebrána na jednotlivé tvarovky. Odsekáním vzorků z tvarovek byl stanoven vlhkostní profil na mokré a suché straně a to ve výšce

0 mm (založení konstrukce) a 250 mm (ložná spára mezi první a druhou vrstvou tvarovek). Zároveň byl stanoven vlhkostní profil na lícových stranách konstrukce (mokrá i suchá strana).

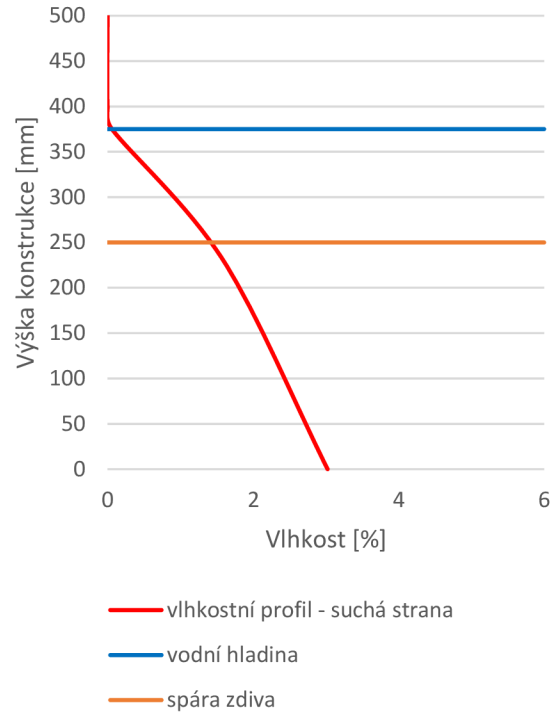
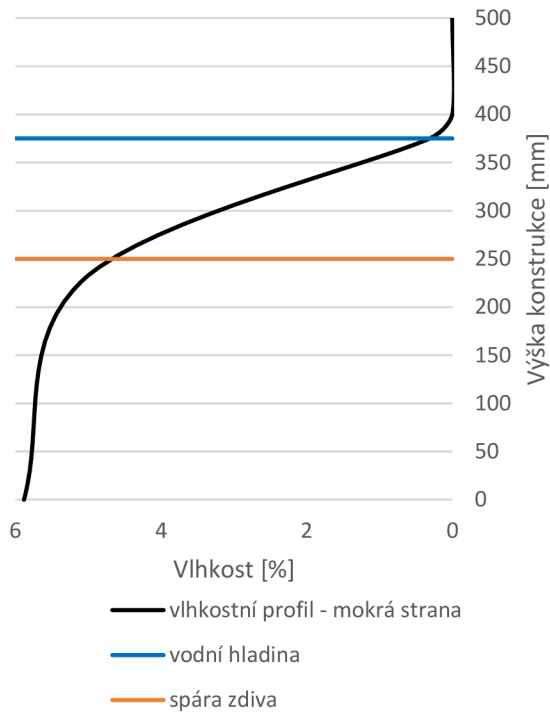
Ihned po odčerpávání vody z nádrže bylo vizuálně patrné, že docházelo k rychlému vysychání zatěžované konstrukce.



Obr. 50 Lícová strana konstrukce z mokré strany po 1 h od vyčerpání strany

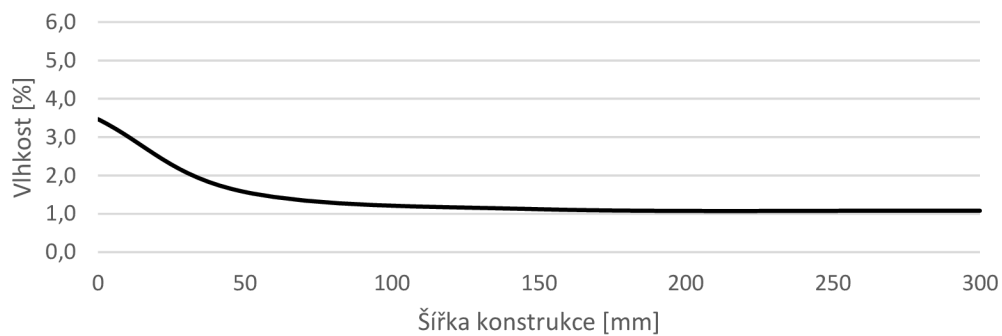


Obr. 51 Tvarovka po odebrání vzorků pro stanovení vlhkostních profilů

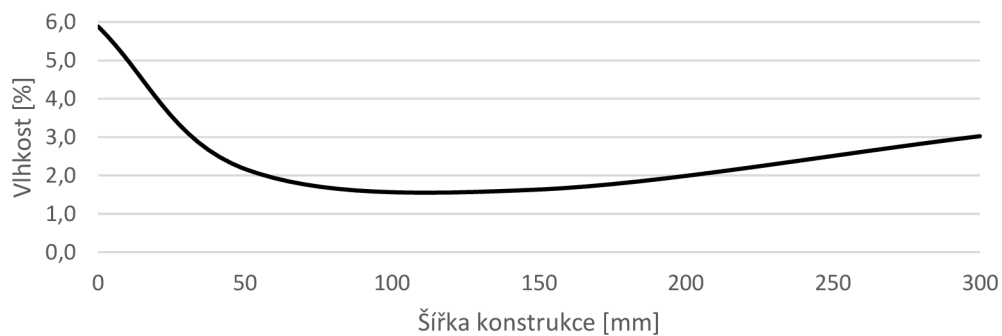


Graf 49 Vlhkostní profil konstrukce po výšce – mokrá strana

Graf 50 Vlhkostní profil konstrukce po výšce – suchá strana



Graf 51 Vlhkostní profil konstrukce po šířce – ložná spára ve výšce 250 mm (šířka konstrukce je 0-300 mm: mokrá strana – suchá strana)



Graf 52 Vlhkostní profil konstrukce po šířce – ložná spára ve výšce 250 mm (šířka konstrukce je 0-300 mm: mokrá strana – suchá strana)

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. V testované technologii výstavby vodonepropustné konstrukce byla pěna nanášena do ložných spár ve třech pruzích. Třetí pruh navíc, oproti běžnému zdicímu systému, byl nanášen v blízkosti lícové strany zdiva, která bude následně namáhána zaplavením vodou. Na konstrukci byla ze strany zatěžované vodu (mokré strany) aplikována zvolená povrchová úprava. Jádrová omítka Baumit Duomalta s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 1,0 % obj. a finální omítka Baumit Sanova FeinPutz, s použitím hydrofobizačního přípravku Imesta Silikonová emulze v množství 0,2 % obj.



Obr. 52 Lícová strana konstrukce z mokré strany po vyzdění konstrukce



Obr. 53 Lícová strana konstrukce ze suché strany po vyzdění konstrukce



Obr. 54 Konstrukce po nanesení jádrové omítky



Obr. 55 Konstrukce po nanesení finální povrchové úpravy

Po vyzrání všech použitých materiálů v rámci výstavby konstrukce byla do nádrže načerpána voda do výšky poloviny druhé řady tvarovek. Voda byla v nádrži ponechána kontinuálně po dobu 14 dní. Po celou dobu byla sledována suchá strana konstrukce, zda nedochází k průtoku vody skrz konstrukci. Vzhledem k tomu, že voda neprotékala spárami zdiva ani přes tvarovky, byla konstrukce vyhodnocena jako vodotěsná. Po vypuštění vody byla konstrukce rozebrána a byly odebrány vzorky pro stanovení vlhkostních profilů konstrukce.



Obr. 56 Lícová strana konstrukce z mokré strany po 14 dnech zatížení vodou



Obr. 57 Lícová strana konstrukce ze suché strany po 14 dnech zatížení vodou

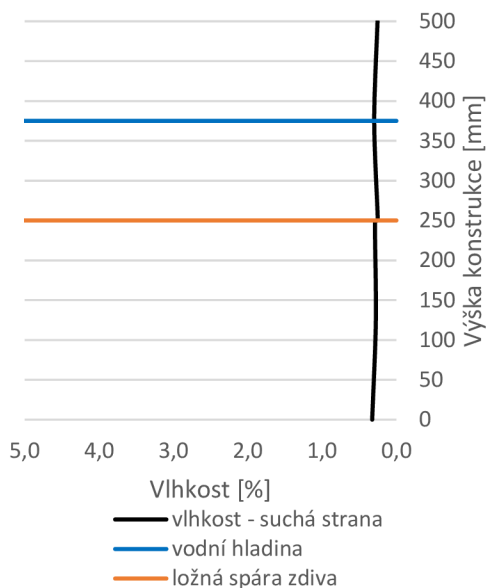


Obr. 58 Lícová strana konstrukce z mokré strany po vypuštění nádrže a odsekání strany po vypuštění nádrže a odsekání povrchové úpravy

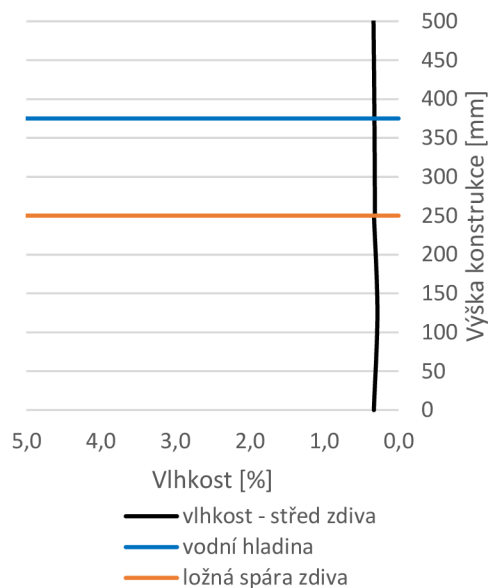


Obr. 59 Stěna po odsekání tvarovky za účelem odebrání vzorků pro stanovení vlhkostních profilů

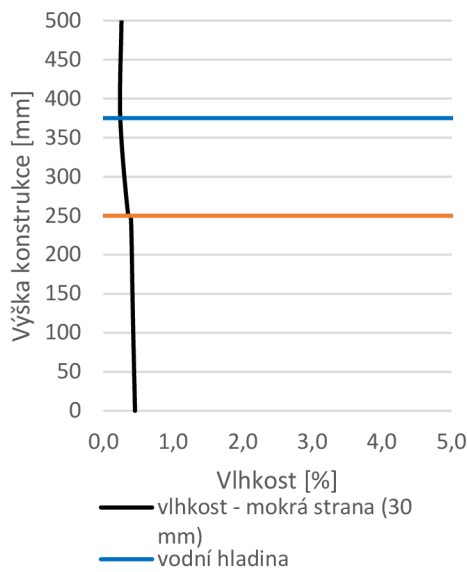
Vlhkostní profily byly stanoveny jak ve svislém směru – po výšce konstrukce, tak ve vodorovném směru. Po výšce konstrukce se jednalo o vlhkostní profily na lících konstrukce (suchá a mokrá strana), ve středu konstrukce a 30 mm od líce konstrukce z mokré strany.



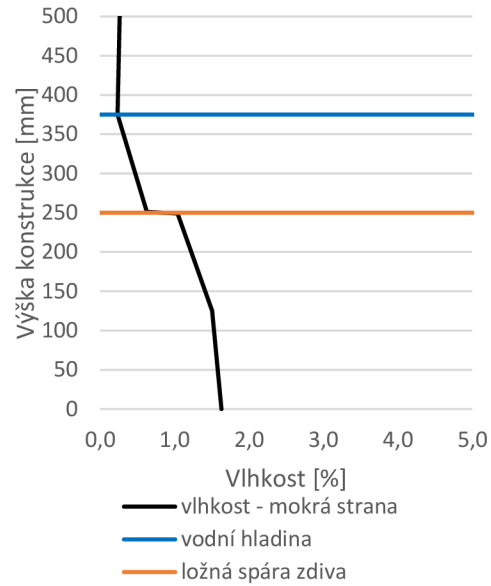
Graf 53 Vlhkostní profil po výšce zdiva, 300 mm od zatížení strany zdiva vodou (suchá strana)



Graf 54 Vlhkostní profil po výšce zdiva, 150 mm od zatížení strany zdiva vodou (střed zdiva)

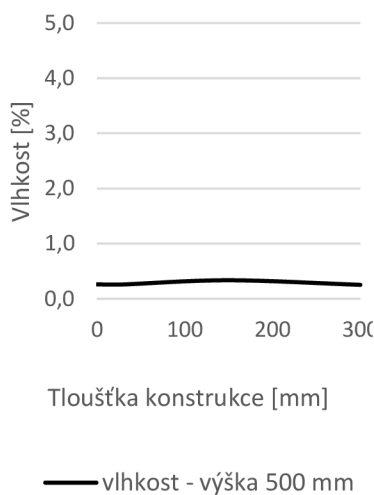


**Graf 55** Vlhkostní profil po výšce zdiva, 30 mm od zatížení strany zdiva vodou (oblast těsně za mokrou stranou)

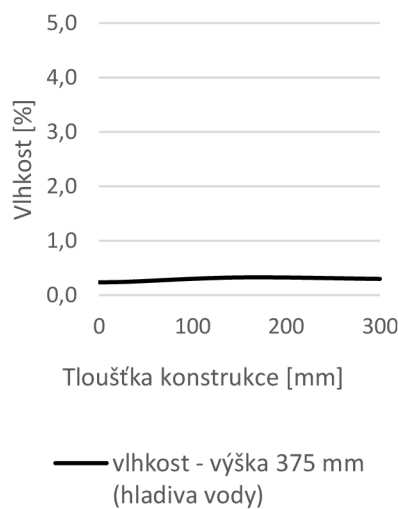


**Graf 56** Vlhkostní profil po výšce zdiva, strana zatížená vodou (mokrý strana)

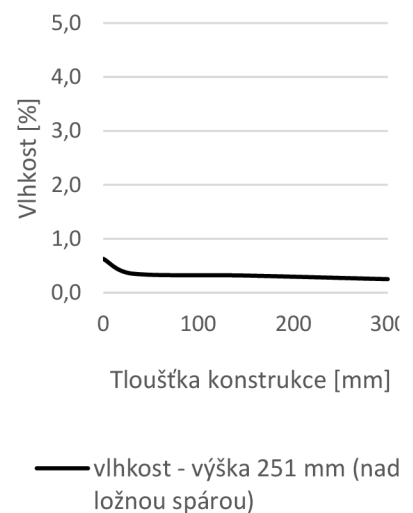
V horizontálních rovinách byl vlhkostní profil stanovován při horní ploše druhé řady tvarovek (výška 500 mm), ve středu jednotlivých řad tvarovek (výška 375 mm a 125 mm), těsně nad a těsně pod ložnou plochou spoje dvou řad tvarovek (výška 249 mm a 251 mm) a u dna nádrže (výška 0 mm).



**Graf 57** Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 500 mm

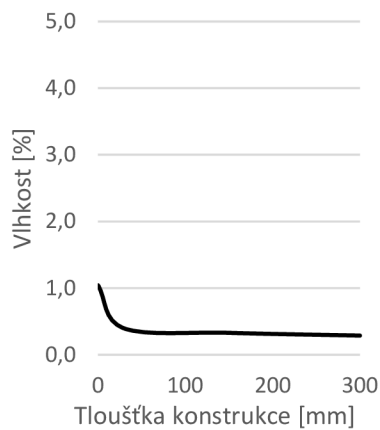


**Graf 58** Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 375 mm (hladina vody)



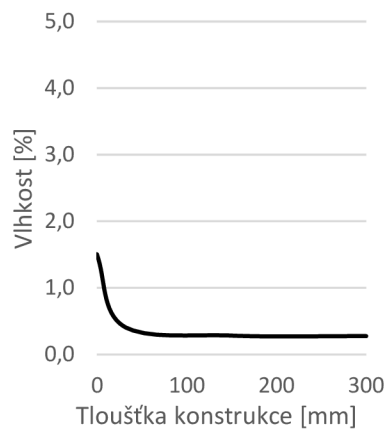
**Graf 59** Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 251 mm (nad ložnou spárou)





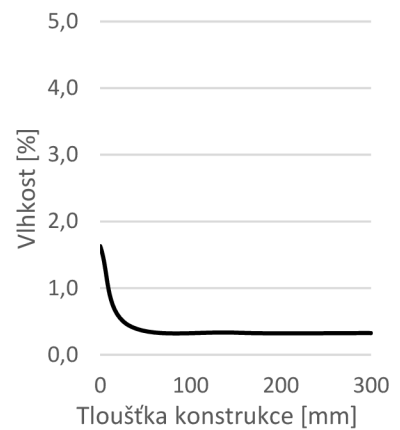
— vlhkost - výška 249 mm  
(pod ložnou spárou)

**Graf 60** Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 249 mm (pod ložnou spárou)



— vlhkost - výška 125 mm

**Graf 61** Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 125 mm



— vlhkost - 0 mm (založení zdiva)

**Graf 62** Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 0 mm (založení zdiva)

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.

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.

## **E Souhrn a diskuse výsledků**

Experimentální část disertační práce byla rozdělena do sedmi etap, kdy naplní těchto etap byl vývoj technologie hydrofobizace zdících prvků a omítkových matových směsí, návrh zdícího systému a jeho ověření (6.). Hydrofobizací zdících prvků bylo dosaženo snížení hodnot nasákavosti a kapilární absorpce o více jak 70 % a bylo omezeno množství vyvzlínané vody ve střepe páleného zdícího prvku (9.1.1.3). Použitím hydrofobizačního přípravku na maltové směsi bylo dosaženo snížení kapilární absorpce o více jak 80 % a také přerušeno vzlínání v pórové struktuře maltových směsí (9.4.1). V oblasti pojení zdících prvků byl navržen systém pojení pálených zdících prvků v oblasti styčných spár (9.5), s jehož využitím byl navržen a úspěšně ověřen zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav (9.7.1).

V rámci hydrofobizace pálených zdících prvků bylo porovnáno celkem 16 hydrofobizačních přípravků na bázi silikonů v různých kombinacích parametrů aplikace (8.2). Byla testována, jak aplikace máčením, tak aplikace nástřikem (8.2.). 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 (9.1.1.3).

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 (9.2.6). Tato hloubka byla vyhodnocena jako dostatečná v případě běžné manipulace se zdíci 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.

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 (9.1.2). 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 nezvyšuje 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 (9.1.2.1). 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.

Oba hydrofobizační roztoky jsou dodávány jako koncentráty a jsou ředěny a míchány s pigmentem až před samotnou aplikací (9.1.3). 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 (9.1.3.1).

Zdící systém je navrhován jako komplexní řešení výstavby včetně povrchové úpravy, která poskytuje ochranu hydrofobizovaných zdících prvků před působením klimatických vlivů, především UV záření (9.7). V průběhu samotné výstavby však nejsou prvky proti tomuto záření chráněny a může docházet k degradaci hydrofobizační. Testováním bylo ověřeno působení UV záření v kombinaci s extrémními teplotními výkyvy a za současného zatížení vlhkostí v podobě ostříku simulujícího déšť. Byly provedeny zrychlené i dlouhodobé testy, kdy při porovnání výsledků odpovídajících stejným časovým úsekům, jsou získané údaje srovnatelné (9.2). 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 (9.2.5). V souvislosti s působením klimatických vlivů bylo také prokázáno, že dochází ke změně pórové struktury vlivem zatažení střepe (9.2.5.1). V porovnání s nehydrofobizovaným páleným zdícím prvkem je však hodnota kapilární absorpce po vystavení UV záření a mrazu stále velmi nízká, zhruba pětina, oproti kapilární absorpci nehydrofobizovaného zdícího prvku. Vliv působení klimatických vlivů se projevuje také na změně hloubky hydrofobizační ochrany (9.2.6), kdy při působení klimatických vlivů, respektive změně pórové struktury dochází ke snížení hloubky efektivní hydrofobizační ochrany, a to zhruba o 40 %.

Použitím hydrofobizace na pálené zdící prvky dojde ke změně vlastností keramického střepe 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 – vlhkostní mapa) (9.3.2). Druhou velmi dobře pozorovatelnou změnou vlastností keramického střepe je změna povrchové energie. Na široké škále hydrofobizovaných keramických střepe 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 (9.1.4).



Obr. 60 Voda na nehydrofobizovaném zdícím prvku



Obr. 61 Voda na hydrofobizovaném zdícím prvku silan-siloxanovou mikroemulzí

Sledován byl i možný vliv použití hydrofobizační ochrany na lidské zdraví, konkrétně uvolnění látek při styku s vodou. Pro porovnání byly použity limitní hodnoty pro pitnou vodu, pro zatřídění povrchové vody a klasifikace odpadů (hodnocení nebezpečného odpadu dle Katalogu odpadů). Z rozborů výluhů hydrofobizovaných keramických střepeň se prokázalo, že se nejedná o nebezpečný odpad (9.3.3).

U zvolených povrchových úprav bylo také ověřeno použití hydrofobizačního přípravku, konkrétně Imesta Silikonová emulze (8.5). 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 přidavek hydrofobizačního přípravku do maltových směsí snižuje objemovou hmotnost, tedy zvyšuje pórovitost, nicméně tento jev nemá zásadní dopad na další fyzikální a mechanické vlastnosti (9.4.1).

Pro vytvoření celistvého zdícího systému, který má sloužit jako vodonepropustná konstrukce bylo navrženo a testováno pojení zdících prvků ve styčných spárách (9.5). 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 (9.6.1).

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 (9.7). Testování proběhlo ve speciálně vyrobené nádrži, která byla uzpůsobena pro zatížení až 1 m<sup>2</sup> zdiva vodou o objemu 1 m<sup>3</sup>. Proběhly celkem dvě zkoušky navrženého zdícího systému, kdy se při obou zkouškách prokázala vodonepropustnost 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 (9.7.1).

## 10. Ekonomické zhodnocení použití navrženého zdícího systému

Při použití uvedeného zdícího systému při výstavbě je z pohledu ekonomického hlediska nutné počítat s určitým navýšením celkové ceny. Pro přibližné stanovení navýšení ceny stavby byl použit vzorový rozpočet rodinného domu ARIE 1 (G SERVIS CZ – příloha č. 2) [82]. Jedná se o dvoupodlažní objekt reprezentující typickou stavbu rodinného domu. Výpočet navýšení ceny v důsledku použití zdícího systému 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 navýšení nákladů na výstavbu je uvažováno s náklady, jak na celohydrofobizované zdící prvky, tak s náklady spojenými se zvýšením pracnosti, v souvislosti s vytvořením křížového rastru.

Tab. 46. Náklady na vyzdění 1 m<sup>2</sup> zdiva Porotherm 44 EKO+ Profi [81, 82]

Položka	Cena bez DPH [CZK]
Ceníková cena zdiva k 1.1. 2021 za m <sup>2</sup>	2 071
Uvažovaná cena zdiva za 1 m <sup>2</sup> po slevě*	1 139
Náklady na 1 m <sup>2</sup> zdiva dle rozpočtu včetně práce	1 469
Náklady práci 1 m <sup>2</sup> zdiva dle rozpočtu	330

\* při výpočtu byla uvažována sleva z ceníkové ceny pro velkoobtěratele 45 %

Tab. 47. Náklady na vyzdění 1 m<sup>2</sup> zdiva Porotherm 24 Profi [81, 82]

Položka	Cena bez DPH [CZK]
Ceníková cena zdiva k 1.1. 2021 za m <sup>2</sup>	935
Uvažovaná cena zdiva za 1 m <sup>2</sup> po slevě*	514
Náklady na 1 m <sup>2</sup> zdiva dle rozpočtu včetně práce	799
Náklady práci 1 m <sup>2</sup> zdiva dle rozpočtu	285

\* při výpočtu byla uvažována sleva z ceníkové ceny pro velkoobtěratele 45 %

Tab. 48. Náklady na vyzdění 1 m<sup>2</sup> zdiva Porotherm 11,5 Profi [81, 82]

Položka	Cena bez DPH [CZK]
Ceníková cena zdiva k 1.1. 2021 za m <sup>2</sup>	512
Uvažovaná cena zdiva za 1 m <sup>2</sup> po slevě*	282
Náklady na 1 m <sup>2</sup> zdiva dle rozpočtu včetně práce	522
Náklady práci 1 m <sup>2</sup> zdiva dle rozpočtu	240

\* při výpočtu byla uvažována sleva z ceníkové ceny pro velkoobtěratele 45 %

Tab. 49. Vyčíslení navýšení ceny stavby při použití zdiva do oblasti se zvýšeným rizikem záplav v prvních 5 řadách 1NP [81, 82]

Položka		Označení položky	Cena bez DPH [CZK]	Podíl nákladů z ceny stavby na klíč [%]
Celková cena stavby na klíč		1	3 840 000	100
Náklady na svislé konstrukce dle položkového rozpočtu (1NP a 2NP)		2	485 401	12,6
Náklady na zdivo Porotherm 44 EKO+ Profi	Celý objekt (158,936 m <sup>2</sup> )	3	233 466	6,1
	Prvních 5 řad zdiva 1NP (52,256 m <sup>2</sup> )	4	76 764	2,0
Náklady na zdivo Porotherm 24 Profi	Celý objekt (98,781 m <sup>2</sup> )	5	78 926	2,1
	Prvních 5 řad zdiva 1NP (23,663 m <sup>2</sup> )	6	18 898	0,5
Náklady na zdivo Porotherm 11,5 Profi	Celý objekt (43,469 m <sup>2</sup> )	7	22 691	0,6
	Prvních 5 řad zdiva 1NP (7,681 m <sup>2</sup> )	8	4 011	0,1
Náklady na výstavbu prvních 5 řad zdiva 1NP		9	99 673	2,6
Navýšení nákladů (o 50 %) na výstavbu prvních 5 řad v případě použití systému zdiva do oblastí se zvýšeným rizikem záplav v 1NP (položka 4+6+8)			<b>49 837</b>	<b>1,3</b>

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. Při rozpočtu stavby domu 3 840 000 CZK bez DPH se tedy 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 navíc by mohl být fakt, že v případě využití tohoto zdícího systému by se mohly změnit i pojistné podmínky pro danou nemovitost.

## 11. 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 účinnosti 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 výrobní normy (nasákavost, vzlínání, součinitel 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 (31). S využitím těchto poznatků je možné efektivně vyhodnotit míru hydrofobizační ochrany.

V rámci práce bylo také provedeno zhodnocení změn v mikrostruktuře cihelného střepeu po zkoušce stárnutí, kdy byl dokladován vliv hydratovaného CaO, který byl obsažen v páleném zdícím prvku. Přičemž byl ověřen efekt tzv. zatažení struktury cihelného střepeu a jeho dopad na změnu pórové struktury cihelného střepeu na reálných výrobcích v podobě pálených zdících 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. Tento zkušební postup je univerzálně aplikovatelný na širokou škálu zdících systémů.

## 12. 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 slouží 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 ochrany 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 Závěr

Cílem disertační práce byl vývoj a výzkum prvku zdícího systému z pálených zdících prvků, určeného do oblastí se zvýšeným rizikem záplav (kap. C). 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 (9.1). 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 (9.1.1.3). Na zdících 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 (9.1.1.3), dlouhodobě stálé hydrofobizační ochrany (9.2.5), která splňuje vytýčené cíle v podobě podstatného snížení nasákavosti (9.3.1, 9.5) a snížení množství vyvzlínané vody ve zdícím prvku (9.3.2). 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) [81]. 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 (kap. E).

V rámci návrhu zdícího systému byl proveden také návrh inovativního způsobu pojení zdících prvků pomocí křížového rastru z nízkoexpanzní PUR pěny (9.5). V rámci vývoje tohoto způsobu pojení zdících prvků, kdy jsou zdící prvky spojeny jak v ložných, tak i styčných spárách byl navržen a odzkoušen nový způsob ověření těsnosti spoje zdících prvků (9.6). Použitím křížového rastru bylo docíleno požadované vodonepropustnosti navrženého zdícího systému (9.6.1, 9.7).

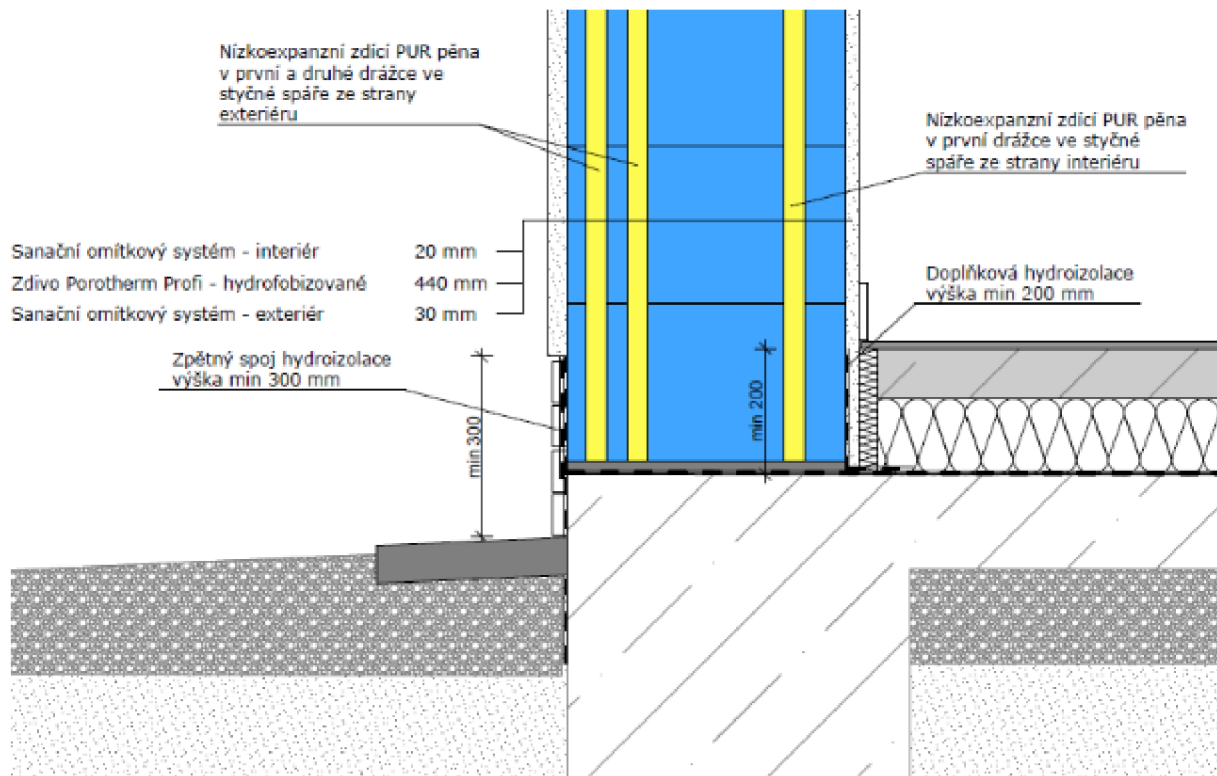
Pro zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav byla vyvinuta a otestována vhodná povrchová úprava (9.4.1, 9.7) skládající se z:

- 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 (9.7). 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 (9.7.1). Detail založení zdiva vyvinutého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 62 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 (9.7.1). 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 vyskytnout bez ohledu na polohu samotného objektu a stavby. Díky tomu může být vystaven 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 krokem z celé řady preventivních opatření. Tato opatření je vhodné aplikovat v celém prvním nadzemní podlaží. V tomto případě je možné doporučit výstavbu celého prvního nadzemního podlaží s využitím hydrofobizovaných zdících prvků. Použitím navrženého zdícího systému se nesnižuje pouze náchylnost zdiva k absorpci vody, tedy výrazné urychlení následného vysoušení objektu, ale

v případě použití vhodných výplní otvorů se vytváří i vodonepropustná bariéra. 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.

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 do výšky cca 1,25 m zdiva. V tomto případě také není nutné doporučovat jiné specifické preventivní opatření.

## Použitá literatura

- [1] Huber, J., *Cihla – od historie po dnešek*, 2016, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/cihla-od-historie-po-dnesek>
- [2] Brazdil, R., *Historical and recent floods in the Czech republic*, Masarykova univerzita v Brně, 2005, s. 370, ISBN 80-210-3864-0
- [3] Zákon č. 254/2001 Sb., *Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*, 2001
- [4] Vyhlášky č. 79/2018 Sb. *Vyhláška o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace*, 2018
- [5] *Hydroekologický informační systém VÚV TGM*, 2021, online: <https://www.heis.vuv.cz/data/webmap>
- [6] *Povodňové mapy: V jaké povodňové zóně bydlíte?*, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.chytryhonza.cz/povodnove-mapy-v-jake-povodnove-zone-bydlite>
- [7] ČSN 73 0600 *Ochrana staveb proti vodě. Hydroizolace. Základní ustanovení*, Český normalizační institut, Praha, 2000
- [8] Balík M., *Vysušování zdiva I*, Grada Publishing, spol. s r.o., Praha, 2002, ISBN: 80-247-0438-2
- [9] Blaha, M., Bukovský, L., *Prevence a odstraňování vlhkosti*, ERA group spol.s.r.o., Brno, 2004, ISBN: 80-86517-48-9
- [10] Balík, M., *Vysušování zdiva II*, Grada Publishing, spol. s r.o., Praha, 1997, ISBN: 80-7169-440-1
- [11] Balík, M. a kolektiv, *Odvhlčování zdiva*, Grada Publishing, spol. s r.o., Praha, 2008, ISBN: 978-80-247-2693-9
- [12] Johansson, P., Svensson, T., Ekstrand-Tobin, A., *Validation of critical moisture conditions for mould growth on building materials*, Building and Environment 62, 2013, s. 201-209, ISSN: 0360-1323, doi:10.1016/j.buildenv.2013.01.012
- [13] Sokolář, J., *Odstraňování vlhkosti*, Grada Publishing, spol. s r.o., Praha, 2013, ISBN: 978-80-247-4708-8
- [14] ČSN 73 0610 *Hydroizolace staveb. Sanace vlhkého zdiva. Základní ustanovení*, Český normalizační institut, Praha, 2000
- [15] 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

- [16] Ritchle, T., *Moisture degradation of masonry walls*, Proceedings of the 1st Canadian masonry Symposium held at the University of Calgary, 1976, s. 66-71
- [17] Kotlík, P., Doubravová, K., *Koroze a degradace stavebních materiálů*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Koroze a degradace materiálů (učební texty pro restaurátory a konzervátory) [online 23. 6. 2016]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze\\_materialu\\_pro\\_restauratory/kadm/pdf/2\\_4.pdf](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/2_4.pdf)
- [18] Witzani, J., *PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce*, ČVUT, Praha, 2010, ISBN: 978-80-01-04488-9
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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
- [22] 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
- [23] Straube, J. F., *Moisture in building*, ASHRAE Journal 44, 2002, s. 15-19, ISSN: 0001-2491
- [24] 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
- [25] 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
- [26] Novák, J., *Fyzikální chemie bakalářský a magisterský kurz*, VŠCHT Praha, 2016

- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Wolf, L., Raupach, M., *Hydrophobation of concrete products*, Betonwerk und Fertigteil-Technik, 69, pp. 12–21, 2003,
- [30] Vetchý, J., *Hydrofobní impregnace betonu*, mct, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/hydrofobni-impregnace/>
- [31] Dolenský, B., *Hydrofobní efekt*, VŠCHT Praha,
- [32] 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
- [33] Mleziva, J., *Polymery výroba, struktura, vlastnosti a použití*, Sobotáles, Praha, 2000
- [34] Drochytka, R., *Plastické látky*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2007
- [35] Hill, R. M., *Silicone surfactants*, Marcel Dekker, New York, 1999, ISBN: 0-8247-0010-4
- [36] 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
- [37] 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
- [38] O'Lenick, J., *Silicone Emulsions and Surfactants – A Review*, Silicone Spectator, s. 1-18, 2000
- [39] Kotlík, P., *Hydrofobizace stavebních materiálů*, iMateriály, 2018, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: [https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/hydrofobizace-stavebnich-materialu\\_41278.html](https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/hydrofobizace-stavebnich-materialu_41278.html)
- [40] ČSN EN 771-1+A1 *Specifikace zdicích prvků - Část 1: Pálené zdicí prvky*, Český normalizační institut, Praha, 2017
- [41] Sokolář, R., *Keramika*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno

- [42] *Podklad pro navrhování POROTHERM č. 14.*, Wienerberger cihlářský průmysl, a. s., 2020
- [43] *ČSN EN 771-2+A1 Specifikace zdicích prvků - Část 2: Vápenopískové zdicí prvky*, Český normalizační institut, Praha, 2017
- [44] *ČSN EN 771-3+A1 Specifikace zdicích prvků - Část 3: Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem*, Český normalizační institut, Praha, 2017
- [45] *ČSN EN 771-4+A1 Specifikace zdicích prvků - Část 4: Pórobetonové tvárnice*, Český normalizační institut, Praha, 2017
- [46] *ČSN EN 771-5+A1 Specifikace zdicích prvků - Část 5: Zdicí prvky z umělého kamene*, Český normalizační institut, Praha, 2017
- [47] *ČSN EN 771-6+A1 Specifikace zdicích prvků - Část 6: Zdicí prvky z přírodního kamene*, Český normalizační institut, Praha, 2017
- [48] HÄUPL, P., *Bauphysik*, Berlin: Ernst und Sohn, 2008. ISBN: 978-3-433-01842-2
- [49] Šťastník, S., *Izolační materiály – vlhkost ve stavebních materiálech*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2005
- [50] Zach, J., *Studium tepelně-izolační schopnosti partikulárních materiálů, diplomová práce*, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2000
- [51] Barauskas, K., Dzikaras, M., Bieliauskas, D., Pelenis, D., Vanagas, G., Viržonis, D., *Selective Ultrasonic Gravimetric Sensors Based on Capacitive Micromachined Ultrasound Transducer Structure*, Sensors 20, s. 1-24, 2020, doi:10.3390/s20123554
- [52] Břízová, L., *Kapilární deprese ve výuce fyziky*, Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové, Veletrh nápadů učitelů fyziky 24, 2019.
- [53] *ČSN EN 772-11 Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 11: Stanovení nasákavosti betonových tvárníc a zdicích prvků z umělého a přírodního kamene vlivem kapilarity a počáteční rychlosti nasákavosti pálených zdicích prvků*, Český normalizační institut, Praha, 2011
- [54] *ČSN EN 15801 Ochrana kulturního dědictví - Metody zkoušení - Stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním*, Český normalizační institut, Praha, 2010
- [55] *ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty*, Český normalizační institut, Praha, 1999

- [56] ČSN EN 1015-11 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*, Český normalizační institut, Praha, 2020
- [57] ČSN EN 1015-18 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě*, Český normalizační institut, Praha, 2003
- [58] ČSN EN 1015-12 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu*, Český normalizační institut, Praha, 2017
- [59] ČSN EN 1015-19 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 19: Stanovení propustnosti vodních par zatvrdlými maltami pro vnitřní a vnější omítky*, Český normalizační institut, Praha, 1999
- [60] ČSN EN 12667 *Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku - Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu*, Český normalizační institut, Praha, 2001
- [61] *ISO 8301 Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Heat flow meter apparatus*, Technical Committee ISO/TC, 1631999
- [62] Jirásková, I., *Studium možností hydrofobizace cihelných tvarovek pro soklové zdivo*, bakalářská práce, 2013
- [63] *Technické listy*, Imesta, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.imesta.com>
- [64] *Technické listy*, Realsan, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://realsan.cz>
- [65] *Technické listy*, Lučební závody Kolín, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.lucebni.cz>
- [66] *Technické listy*, HG international, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://hg.eu>
- [67] *Technické listy*, Evonik, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://corporate.evonik.com/en>
- [68] *Technické listy*, Sika, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.sika.com>
- [69] *Technické listy*, Elkem, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.elkem.com>
- [70] *Technické listy*, Anker technology, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.anker-technology.cz>
- [71] *Technické listy*, Wacker, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.wacker.com>
- [72] *Technické listy*, Baumit, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.baumit.cz>
- [73] *Technické listy*, Soudal, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.soudal.cz>

- [74] 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
- [75] 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
- [76] Vyhláška č. 252/2004 Sb. *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*, 2004
- [77] ČSN 75 7221 *Kvalita vod - Klasifikace kvality povrchových vod*, Český normalizační institut, Praha, 2017
- [78] Vyhláška č. 8/2021 Sb. *Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů)*, 2021
- [79] *Technické listy*, Cemix, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.cemix.cz>
- [80] *Technické listy*, Weber, [online 31. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.cz.weber>
- [81] *Ceník cihelných výrobků a služeb, Platnost od 1. 1. 2021*, Wienerberger cihlářský průmysl, a. s., 2021
- [82] *Arie 1, rodinný dům*, G SERVIS CZ, s.r.o., 2020

## Seznam tabulek

Tab. 1. Stupně povodňové aktivity [3] .....	9
Tab. 2. Míra povodňového ohrožení [4] .....	12
Tab. 3. Zóny výskytu povodně nebo záplav [6] .....	13
Tab. 4. Klasifikace zdiva dle vlhkosti dle ČSN 73 0610 [14] .....	13
Tab. 5. Klasifikace zatížení zdiva obsahem solí [14] .....	14
Tab. 6. Přehled nejčastěji používaných hydrofobizačních přípravků na organokřemičité bázi [39,30] .....	24
Tab. 7. Deklarované vlastnosti prvku PTH 30 Profi výrobcem .....	57
Tab. 8. Složení zeminy používané pro výrobu hydrofobizovaných pálených zdících prvků..	58
Tab. 9. Vlastnosti páleného zdícího prvku PTH 30 Profi .....	58
Tab. 10. Výška vlnutí vody v páleném zdícím prvku PTH 30 Profi .....	58
Tab. 11. Hodnoty kapilární absorpce nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku .....	59
Tab. 12. Vlastnosti střepu zdící prvku použitého pro hydrofobizaci .....	60
Tab. 13. Úhel smáčivosti pro jednotlivé kapaliny a povrchová energie střepu referenčního pálených zdících prvků PTH 30 Profi .....	60
Tab. 14. Přehled hydrofobizačních přípravků testovaných v bakalářské práci Ing. Jiráskové [62, 63, 64, 65,66] .....	61



Tab. 15. Přehled hydrofobizačních přípravků použitých pro hydrofobizaci páleného zdícího prvku PTH 30 Profi [62, 65, 67, 68, 69, 70,71] .....	62
Tab. 16. Přehled testovaných hydrofobizačních přípravků na pálené zdící prvky .....	64
Tab. 17. Přehled zvolených komponent omítkového systému [72] .....	65
Tab. 18. Popis zvoleného hydrofobizačního přípravku Imesta ISB 50 pro hydrofobizaci maltových směsí povrchové úpravy [60] .....	66
Tab. 19. Přehled materiálů zvolených pro pojení pálených zdících tvarovek ve styčných spárách [42, 71] .....	66
Tab. 20. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků APSX, MSLD, MSLD2 a ASX.....	70
Tab. 21. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v doporučených koncentracích 1:20-1:30.....	71
Tab. 22. Úhel smáčivosti vody a povrchová energie hydrofobizovaných střepeň .....	73
Tab. 23. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v koncentracích 1:40-1:60 .....	73
Tab. 24. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM2 .....	74
Tab. 25. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků Evonik v doporučených koncentracích .....	75
Tab. 26. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků Evonik v nízkých koncentracích .....	77
Tab. 27. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku SIM v koncentracích 1:20-1:60 .....	79
Tab. 28. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků APSX3 a APSX4 .....	80
Tab. 29. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku NSiO .....	80
Tab. 30. Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků od výrobce Wacker .....	81
Tab. 31. Kapilární absorpce při využití přípravku ASSXM v kombinaci s pigmentem.....	85
Tab. 32. Kapilární absorpce při využití přípravku SIM v kombinaci s pigmentem.....	85
Tab. 33. Úhel smáčivosti pro jednotlivé kapaliny na hydrofobizovaném povrchu a povrchová energie hydrofobizovaných pálených zdících prvků .....	89
Tab. 34. Změna kapilární absorpce vlivem stárnutí UV záření pro jednotlivé stáří hydrofobizačního roztoku z ASSXM (1:40, 10 s máčení).....	95
Tab. 35. Změna kapilární absorpce vlivem stárnutí UV záření pro jednotlivé stáří hydrofobizačního roztoku z SIM (1:40, 10 s máčení).....	96

Tab. 36.	Kapilární absorpce hydrofobizovaných zdících prvků přípravkem ASSXM po zrychleném stárnutí vlivem extrémních teplot a UV záření.....	98
Tab. 37.	Kapilární absorpce hydrofobizovaných zdících prvků přípravkem SIM po zrychleném stárnutí vlivem extrémních teplot a UV záření.....	98
Tab. 38.	Vlastnosti hydrofobizovaných a nehydrofobizovaných střeťů stanovení rtuťovou porozimetrií.....	100
Tab. 39.	Hloubka hydrofobizační ochrany v závislosti na době aplikace.....	101
Tab. 40.	Změna hloubky hydrofobizační ochrany vlivem stárnutí UV zářením (čas máčení 10 s) .....	103
Tab. 41.	Změna vlastností střepu vlivem hydrofobizační úpravy .....	104
Tab. 42.	Porovnání parametrů z výluhů s limitními hodnotami pro pitnou vodu, povrchovou vodu a nebezpečný odpad .....	107
Tab. 43.	Přehled maltových směsí (mimo navržené jádrové směsi do zdícího systému) pro stanovení přídržnosti na hydrofobizovaný pálených zdících prvcích [72,79,80] .....	109
Tab. 44.	Přídržnosti [kPa] maltových směsí k hydrofobizovanému a nehydrofobizovanému povrchu páleného zdícího prvku .....	110
Tab. 45.	Kapilární absorpce hydrofobizovaného maltových směsí zvoleného omítkového systému .....	112
Tab. 46.	Náklady na vyzdění 1 m <sup>2</sup> zdiva Porotherm 44 EKO+ Profi [81, 82].....	133
Tab. 47.	Náklady na vyzdění 1 m <sup>2</sup> zdiva Porotherm 24 Profi [81, 82] .....	133
Tab. 48.	Náklady na vyzdění 1 m <sup>2</sup> zdiva Porotherm 11,5 Profi [81, 82] .....	133
Tab. 49.	Vyčíslení navýšení ceny stavby při použití zdiva do oblasti se zvýšeným rizikem záplav v prvních 5 řadách 1NP [81, 82] .....	134

## Seznam obrázků

Obr. 1	Hydrogram průtokové vlny [2] .....	9
Obr. 2	Mapa 5tiletá voda [5] .....	11
Obr. 3	Mapa 100letá voda [5].....	11
Obr. 4	Lotosový efekt (a) (b) povrch lotosového listu, (c) kapka vody na lotosovém listě, (d) (e) povrchu silanzovaného křemíku, (f) kapka vody na silanzovaném křemíku [31] .....	19
Obr. 5	Schématické znázornění siloxanové vazby [33] .....	21
Obr. 6	Grafické znázornění polysiloxanu na povrchu materiálu [34].....	21
Obr. 7	Schématické znázornění polysiloxanu na povrchu materiálu [34].....	22
Obr. 8	Schématické znázornění vzniku gelu kyseliny křemičité [34].....	23
Obr. 9	Keramický koncept dle Lacha [41].....	27

Obr. 10	Pórový systém v keramickém střepe; 1 – uzavřené póry; 2 – jednostranně otevřené póry; 3 – otevřené póry.....	28
Obr. 11	Schéma sorpčních stádií a transportních efektů vlhkosti; [50].....	35
Obr. 12	Znázornění vodního filmu na povrchu materiálu [51] .....	36
Obr. 13	Grafické znázornění smykového napětí [48] .....	37
Obr. 14	Kapilární elevace a kapilární deprese [52] .....	39
Obr. 15	Stanovení kapilární absorpce .....	49
Obr. 16	Komora Qsun pro simulaci stárnutí vlivem UV záření .....	51
Obr. 17	Zařízení pro zrychlený test stárnutí - skrápědlo .....	51
Obr. 18	Ověření vodotěsnosti styčné spáry pojené zdící pěnou .....	52
Obr. 19	Měření kontaktního úhlu na přístroji See System .....	53
Obr. 20	Nádrž pro provedení zátopové zkoušky.....	54
Obr. 21	Zdící prvek PTH 30 Profi [42].....	57
Obr. 22	Voda na referenčním tvarovce (úhel smáčivosti 103,0 °).....	61
Obr. 23	Glycerol na referenčním tvarovce (úhel smáčivosti 105,3 °).....	61
Obr. 24	Ethylenglykol na referenčním tvarovce (úhel smáčivosti 81,6 °).....	61
Obr. 25	Aplikace hydrofobizačního přípravku máčením; a) zdící prvek před hydrofobizací; b) zdící prvek v hydrofobizačním roztoku; c) zdící prvek po hydrofobizaci .....	64
Obr. 26	Voda na nehydrofobizovaném zdícím prvku .....	72
Obr. 27	Voda na hydrofobizovaném zdícím prvku .....	72
Obr. 28	Voda na tvarovce ošetřené ASSXM 1:40 (úhel smáčivosti 134,2 °) .....	92
Obr. 29	Glycerol na tvarovce ošetřené ASSXM 1:40 (úhel smáčivosti 128,5 °) .....	92
Obr. 30	Ethylenglykol na tvarovce ošetřené ASSXM 1:40 (úhel smáčivosti 122,5 °).....	92
Obr. 31	Voda na tvarovce ošetřené SIM 1:40 (úhel smáčivosti 115,1 °) .....	92
Obr. 32	Glycerol na tvarovce ošetřené SIM 1:40 (úhel smáčivosti 130,2 °) .....	92
Obr. 33	Ethylenglykol na tvarovce ošetřené SIM 1:40 (úhel smáčivosti 126,7 °) .....	92
Obr. 34	Referenční zdící prvek po 30 dnech namáhání zvýšenou vlhkostí .....	94
Obr. 35	Hydrofobizovaný zdící prvek po 27 měsících kontinuálního namáhání zvýšenou vlhkostí .....	94
Obr. 36	Stanovení hloubky hydrofobizační ochrany.....	102
Obr. 37	Návrh aplikace pojiva pro zdící systém do oblastí se zvýšeným rizikem záplav (pojivo ve třech pruzích v ložných i styčných spárách) .....	117
Obr. 38	Ověření vodotěsnosti styčné spáry pálených zdících prvků .....	118
Obr. 39	Obr. 20: Styčná spára - Izolační tmel .....	119

Obr. 40	Styčná spára – Stavbařský tmel .....	119
Obr. 41	Styčná spára - Studniční PUR pěna .....	119
Obr. 42	Styčná spára – Lepicí tmel.....	119
Obr. 43	Styčná spára – Zdicí PUR pěna Dryfix.....	120
Obr. 44	Nanesení zdicí PUR pěny Dryfix .....	120
Obr. 45	Schéma křížového rastru vytvořeného ze zdicí PUR pěny Dryfix .....	121
Obr. 46	Lícová strana konstrukce z mokré strany před zatopení m vodou .....	122
Obr. 47	Lícová strana konstrukce ze suché strany před zatopením vodou .....	122
Obr. 48	Lícová strana konstrukce z mokré strany po 21 dnech zatopení vodou.....	123
Obr. 49	Lícová strana konstrukce z mokré strany po 21 dnech zatopení vodou.....	123
Obr. 50	Lícová strana konstrukce z mokré strany po 1 h od vyčerpání strany.....	123
Obr. 51	Tvarovka po odebrání vzorků pro stanovení vlhkostních profilů .....	123
Obr. 52	Lícová strana konstrukce z mokré strany po vyzdění konstrukce .....	125
Obr. 53	Lícová strana konstrukce ze suché strany po vyzdění konstrukce .....	125
Obr. 54	Konstrukce po nanesení jádrové omítky .....	126
Obr. 55	Konstrukce po nanesení finální povrchové úpravy.....	126
Obr. 56	Lícová strana konstrukce z mokré strany po 14 dnech zatížení vodou .....	126
Obr. 57	Lícová strana konstrukce ze suché strany po 14 dnech zatížení vodou .....	126
Obr. 58	Lícová strana konstrukce z mokré strany po vypuštění nádrže a odsekání povrchové úpravy .....	127
Obr. 59	Stěna po odsekání tvarovky za účelem odebrání vzorků pro stanovení vlhkostních profilů .....	127
Obr. 60	Voda na nehydrofobizovaném zdícím prvku .....	132
Obr. 61	Voda na hydrofobizovaném zdícím prvku silan-siloxanovou mikroemulzí .....	132
Obr. 62	Detail založení zdiva vyvinutého zdícího systému do oblastí se zvýšeným rizikem záplav	137

## Seznam grafů

Graf 1	Výška vlnutí vody v páleném zdícím prvku PTH 30 Profi.....	59
Graf 2	Křivka kapilární absorpce nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku PTH 30 Profi .....	60
Graf 3	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků APSX a MSLD v doporučených koncentracích.....	70
Graf 4	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku MSLD2 .....	70

Graf 5	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASX .....	71
Graf 6	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v doporučených koncentracích 1:20-1:30 .....	72
Graf 7	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM v koncentracích 1:30-1:60 .....	74
Graf 8	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku ASSXM2 .....	75
Graf 9	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku AS v doporučených koncentracích .....	76
Graf 10	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku SIM v doporučených koncentracích .....	76
Graf 11	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku APSX2 v doporučených koncentracích .....	76
Graf 12	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku AS v nízkých koncentracích .....	77
Graf 13	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku SIM v nízkých koncentracích .....	78
Graf 14	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku APSX2 v nízkých koncentracích .....	78
Graf 15	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků SIM v koncentracích 1:20-1:60 .....	79
Graf 16	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků APSX3 a APSX4 .....	80
Graf 17	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravku a NanoMinerál .....	81
Graf 18	Kapilární absorpce hydrofobizovaného páleného zdícího prvku při použití přípravků Wacker .....	82
Graf 19	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 .....	83
Graf 20	Kapilární absorpce při využití přípravku ASSXM v kombinaci s pigmentem .....	85
Graf 21	Kapilární absorpce při využití přípravku SIM v kombinaci s pigmentem .....	86
Graf 22	Kapilární absorpce v závislosti na stáří hydrofobizačního roztoku z ASSXM v kombinaci s pigmentem .....	87
Graf 23	Kapilární absorpce v závislosti na stáří hydrofobizačního roztoku z SIM v kombinaci s pigmentem; hranici účinnosti .....	87

Graf 24	Závislost kapilární absorpce v jednotlivých časech na povrchové energii Hranici účinnosti .....	90
Graf 25	Závislost kapilární absorpce v čase 48 h na povrchové energii, Hranici účinnosti – nasákavost namočené části prvku se sníží o 70 % .....	91
Graf 26	Kapilární nasákavost v průběhu cyklického namáhání zvýšenou vlhkostí (cyklus 1 měsíc zatížení/1 rok přirozené působení UV záření) .....	93
Graf 27	Změna kapilární nasákavosti pálených zdících po cyklickém namáhání (cyklus 1 měsíc zatížení/1 rok přirozené působení UV záření) .....	93
Graf 28	Kapilární nasákavost hydrofobizovaného zdícího prvku při dlouhodobém namáhání vlhkostí v kapalné formě .....	94
Graf 29	Změna kapilární absorpce vlivem stárnutí UV záření pro jednotlivé stáří hydrofobizačního roztoku z ASSXM (1:40, 10 s máčení) .....	95
Graf 30	Změna kapilární absorpce vlivem stárnutí UV záření pro jednotlivé stáří hydrofobizačního roztoku z SIM (1:40, 10 s máčení) .....	96
Graf 31	Vliv degradace UV záření v kombinaci s extrémními teplotami na kapilární absorpci nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku .....	97
Graf 32	Kapilární absorpce hydrofobizovaných zdících prvků přípravkem ASSXM po zrychleném stárnutí vlivem extrémních teplot a UV záření .....	98
Graf 33	Kapilární absorpce hydrofobizovaných zdících prvků přípravkem SIM po zrychleném stárnutí vlivem extrémních teplot a UV záření .....	99
Graf 34	Distribuce pórů střepe nehydrofobizovaného a hydrofobizovaného střepe .....	101
Graf 35	Hloubka hydrofobizační ochrany v závislosti na době aplikace při použití přípravku SIM .....	102
Graf 36	Hloubka hydrofobizační ochrany v závislosti na době aplikace při použití přípravku ASSXM .....	102
Graf 37	Závislost hloubky hydrofobizační ochrany na době aplikace při použití přípravků SIM a ASSXM .....	103
Graf 38	Změna hloubky hydrofobizační ochrany vlivem stárnutí UV zářením (čas máčení 10 s) .....	104
Graf 39	Kapilární nasákavost vody hydrofobizovaného a nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku .....	105
Graf 40	Kapilární vzlínavost vody hydrofobizovaného a nehydrofobizovaného páleného zdícího prvku .....	105
Graf 41	Přidrženosti [kPa] maltových směsí k hydrofobizovanému a nehydrofobizovanému povrchu páleného zdícího prvku .....	110
Graf 42	Vliv hydrofobizéru na objemovou hmotnost maltových směsí .....	112
Graf 43	Vliv hydrofobizéru na mechanické vlastnosti maltových směsí .....	113
Graf 44	Vliv hydrofobizéru na přidrženost maltových směsí .....	114

Graf 45	Vliv hydrofobizéru na faktor difuzního odporu maltových směsí .....	114
Graf 46	Vliv hydrofobizéru na součinitel tepelné vodivosti maltových směsí.....	115
Graf 47	Vliv hydrofobizace pálených zdících prvků na jejich nasákavost.....	116
Graf 48	Průtok styčnou spárou pálených zdících prvků při použití pojiva ve vztyčné spáře.. .....	119
Graf 49	Vlhkostní profil konstrukce po výšce – mokrá strana.....	124
Graf 50	Vlhkostní profil konstrukce po výšce – suchá strana.....	124
Graf 51	Vlhkostní profil konstrukce po šířce – ložná spára ve výšce 250 mm (šířka konstrukce je 0-300 mm : mokrá strana- suchá strana) .....	124
Graf 52	Vlhkostní profil konstrukce po šířce – ložná spára ve výšce 250 mm (šířka konstrukce je 0-300 mm : mokrá strana- suchá strana) .....	124
Graf 53	Vlhkostní profil po výšce zdiva, 300 mm od zatížení strany zdiva vodou (suchá strana) .....	127
Graf 54	Vlhkostní profil po výšce zdiva, 150 mm od zatížení strany zdiva vodou (střed zdiva) .....	127
Graf 55	Vlhkostní profil po výšce zdiva, 30 mm od zatížení strany zdiva vodou (oblast těsně za mokrou stranou) .....	128
Graf 56	Vlhkostní profil po výšce zdiva, strana zatížená vodou (mokrý strana) .....	128
Graf 57	Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 500 mm.....	128
Graf 58	Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 375 mm (hladina vody).....	128
Graf 59	Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 251 mm (nad ložnou spárou) .....	128
Graf 60	Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 249 mm (pod ložnou spárou) .....	129
Graf 61	Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 125 mm.....	129
Graf 62	Vlhkostní profil po tloušťce zdiva, ve výšce 0 mm (založení zdiva) .....	129

## Příloha č. 1: Ceník Porotherm Profi Dryfix platný k 1.1. 2021 [79]

název výrobku	rozměry cihly d/š/v	třída pevnosti v tlaku	hmotnost cca	U <sup>1)</sup>	spotřeba cihel	cena vč. zdici pěny Porotherm Dryfix bez DPH			cena vč. zdici pěny Porotherm Dryfix s DPH			balení	hmotnost palety s cihlami	
						cihel	m <sup>2</sup> zdiva	m <sup>2</sup> zdiva	cihel	m <sup>2</sup> zdiva	m <sup>2</sup> zdiva			
						Kč/ks	Kč/m <sup>2</sup>	Kč/m <sup>2</sup>	Kč/ks	Kč/m <sup>2</sup>	Kč/m <sup>2</sup>			
<b>44 Profi Dryfix</b>	24,8/44/24,9	P10	20,4	0,22	16	36,4	<b>100,50</b>	1 608,-	3 655,-	121,61	1 946,-	4 423,-	60	1255
<b>44 Profi Dryfix</b>	24,8/44/24,9	P15					<b>102,50</b>	1 640,-	3 728,-	124,03	1 984,-	4 511,-		
<b>44 Profi Dryfix 1/2 K</b>	12,5/44/24,9	P10/P15	11,0	-	-	-	<b>76,90</b>	-	-	93,05	-	-	120	1350
<b>44 Profi Dryfix K</b>	25/44/24,9	P10/P15	21,1	-	-	-	<b>153,80</b>	-	-	186,10	-	-	60	1300
<b>44 Profi Dryfix R</b>	18,7/44/24,9	P10	15,4	-	-	-	<b>140,70</b>	-	-	170,25	-	-	72	1140
<b>38 Profi Dryfix</b>	24,8/38/24,9	P10	17,6	0,25	16	42,1	<b>87,40</b>	1 399,-	3 680,-	105,75	1 693,-	4 453,-	60	1090
<b>38 Profi Dryfix</b>	24,8/38/24,9	P15					<b>90,60</b>	1 450,-	3 815,-	109,63	1 755,-	4 616,-		
<b>30 Profi Dryfix</b>	24,7/30/24,9	P10	15,7	0,50	16	53,3	<b>69,30</b>	1 109,-	3 696,-	83,85	1 342,-	4 472,-	80	1290
<b>30 Profi Dryfix</b>	24,7/30/24,9	P15					<b>72,10</b>	1 154,-	3 846,-	87,24	1 396,-	4 654,-		
<b>30 Profi Dryfix 1/2</b>	12,5/30/24,9	P10/P15	8,4	-	-	-	<b>54,10</b>	-	-	65,46	-	-	160	1375
<b>30 Profi Dryfix R</b>	17,5/30/24,9	P10/P15	10,5	-	-	-	<b>100,90</b>	-	-	122,09	-	-	96	1040
<b>24 Profi Dryfix</b>	37,2/24/24,9	P10	20,0	0,85	10,7	44,4	<b>87,30</b>	935,-	3 893,-	105,63	1 131,-	4 711,-	60	1230
<b>24 Profi Dryfix</b>	37,2/24/24,9	P15					<b>90,70</b>	971,-	4 044,-	109,75	1 175,-	4 893,-		
<b>17,5 Profi Dryfix</b>	37,2/17,5/24,9	P10	13,8	1,05	10,7	61	<b>70,10</b>	751,-	4 287,-	84,82	909,-	5 187,-	84	1190
<b>14 Profi Dryfix</b>	49,7/14/24,9	P10	14,7	1,20	8	57,1	<b>73,60</b>	589,-	4 206,-	89,06	713,-	5 089,-	80	1210
<b>11,5 Profi Dryfix</b>	49,7/11,5/24,9	P10	12,1	1,30	8	-	<b>64,00</b>	512,-	4 453,-	77,44	620,-	5 388,-	100	1240
<b>8 Profi Dryfix</b>	49,7/8/24,9	P10/P12	9,4	1,60	8	-	<b>70,60</b>	565,-	7 080,-	85,43	684,-	8 543,-	120	1235

**Důležité:**  
Cena broušené cihly zahrnuje zdici pěny Porotherm Dryfix. Minimální základní sazba Porotherm Profi AM bude pro danou stavbu kalkulováno individuálně dle projektové dokumentace.  
Uvedené ceny platí pro odběr ucelených palet cihel. **Doprava zdarma** (viz Prodejní a dodací podmínky na [www.wienerberger.cz](http://www.wienerberger.cz)).  
Univerzální rohová cihla 44 Profi Dryfix R v pevnosti P15 k objednání pouze individuálně na zakázku (cena je o 10 % vyšší oproti pevnosti P10).

**Poznámky:**  
Profi Dryfix – cihla broušená pro zdění na zdici pěny, 1/2 K – poloviční koncová cihla, K – koncová cihla, R – rohová cihla  
<sup>1)</sup> Součinitel prostupu tepla U [W/(m<sup>2</sup>·K)] zdívia Porotherm Profi Dryfix vyjádřeno na zdici pěny Porotherm Dryfix, u cihel pro vnější stěny s tepelněizolačními omítkami.  
Hodnoty součinitele prostupu tepla U byly stanoveny výpočtem podle EN 1745.

**24** Doporučený cihlový sortiment pro stavbu Wienerberger e4 domu.



Energy+

Comfort

Classic

AKU

Complete

Special

Ostatní



## Porotherm EKO+ Profi Dryfix

broušené cihly na zdicí pěnu Porotherm Dryfix



název výrobku	rozměry cihly d/š/v cm	třída pevnosti v tlaku MPa	hmotnost oca kg/ks	U <sup>1)</sup> W/(m <sup>2</sup> ·K)	spotřeba cihel ks/m <sup>2</sup> ks/m <sup>3</sup>		cena vč. zdicí pěny Porotherm Dryfix bez DPH			cena vč. zdicí pěny Porotherm Dryfix s DPH			balení ks/pal.	hmotnost palety s cihlami kg
							cihel Kč/ks	m <sup>2</sup> zdíva Kč/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> zdíva Kč/m <sup>3</sup>	cihel Kč/ks	m <sup>2</sup> zdíva Kč/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> zdíva Kč/m <sup>3</sup>		
<b>50 EKO+ Profi Dryfix</b>	24,8/50/24,9	P8	21,0	0,15	16	32	<b>146,90</b>	2 351,-	4 701,-	177,75	2 845,-	5 688,-	40	870
<b>50 EKO+ Profi Dryfix 1/2 K</b>	12,5/50/24,9	P8	10,9	-	-	-	<b>110,20</b>	-	-	133,34	-	-	80	905
<b>50 EKO+ Profi Dryfix K</b>	25/50/24,9	P8	21,3	-	-	-	<b>220,30</b>	-	-	266,56	-	-	40	885
<b>50 EKO+ Profi Dryfix R</b>	12,5/50/24,9	P8	12,6	-	-	-	<b>205,60</b>	-	-	248,78	-	-	80	1050
<b>44 EKO+ Profi Dryfix</b>	24,8/44/24,9	P8	18,5	0,18	16	36,4	<b>129,40</b>	2 071,-	4 706,-	156,57	2 506,-	5 694,-	60	1140
<b>44 EKO+ Profi Dryfix 1/2 K</b>	12,5/44/24,9	P8	8,3	-	-	-	<b>97,10</b>	-	-	117,49	-	-	120	1030
<b>44 EKO+ Profi Dryfix K</b>	25/44/24,9	P8	17,1	-	-	-	<b>194,20</b>	-	-	234,98	-	-	60	1060
<b>44 Profi Dryfix R</b>	18,7/44/24,9	P10	15,4	-	-	-	<b>140,70</b>	-	-	170,25	-	-	72	1140
<b>38 EKO+ Profi Dryfix</b>	24,8/38/24,9	P8	16,0	0,21	16	42,1	<b>115,60</b>	1 850,-	4 204,-	139,88	2 239,-	5 087,-	60	990
<b>38 EKO+ Profi Dryfix 1/2 K</b>	12,5/38/24,9	P8	6,9	-	-	-	<b>86,70</b>	-	-	104,91	-	-	120	860
<b>38 EKO+ Profi Dryfix K</b>	25/38/24,9	P8	15,4	-	-	-	<b>173,40</b>	-	-	209,81	-	-	60	955

## Porotherm EKO+ Profi

broušené cihly na maltu pro tenké spáry Porotherm Profi



název výrobku	rozměry cihly d/š/v cm	třída pevnosti v tlaku MPa	hmotnost oca kg/ks	U <sup>1)</sup> W/(m <sup>2</sup> ·K)	spotřeba cihel ks/m <sup>2</sup> ks/m <sup>3</sup>		cena vč. malty Porotherm Profi bez DPH			cena vč. malty Porotherm Profi s DPH			balení ks/pal.	hmotnost palety s cihlami kg
							cihel Kč/ks	m <sup>2</sup> zdíva Kč/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> zdíva Kč/m <sup>3</sup>	cihel Kč/ks	m <sup>2</sup> zdíva Kč/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> zdíva Kč/m <sup>3</sup>		
<b>50 EKO+ Profi</b>	24,8/50/24,9	P8	21,0	0,16	16	32	<b>146,90</b>	2 351,-	4 701,-	177,75	2 845,-	5 688,-	40	870
<b>50 EKO+ Profi 1/2 K</b>	12,5/50/24,9	P8	10,9	-	-	-	<b>110,20</b>	-	-	133,34	-	-	80	905
<b>50 EKO+ Profi K</b>	25/50/24,9	P8	21,3	-	-	-	<b>220,30</b>	-	-	266,56	-	-	40	885
<b>50 EKO+ Profi R</b>	12,5/50/24,9	P8	12,6	-	-	-	<b>205,60</b>	-	-	248,78	-	-	80	1050
<b>44 EKO+ Profi</b>	24,8/44/24,9	P8	18,5	0,19	16	36,4	<b>129,40</b>	2 071,-	4 706,-	156,57	2 506,-	5 694,-	60	1140
<b>44 EKO+ Profi 1/2 K</b>	12,5/44/24,9	P8	8,3	-	-	-	<b>97,10</b>	-	-	117,49	-	-	120	1030
<b>44 EKO+ Profi K</b>	25/44/24,9	P8	17,1	-	-	-	<b>194,20</b>	-	-	234,98	-	-	60	1060
<b>44 Profi R</b>	18,7/44/24,9	P10	15,4	-	-	-	<b>140,70</b>	-	-	170,25	-	-	72	1140
<b>38 EKO+ Profi</b>	24,8/38/24,9	P8	16,0	0,21	16	42,1	<b>115,60</b>	1 850,-	4 204,-	139,88	2 239,-	5 087,-	60	990
<b>38 EKO+ Profi 1/2 K</b>	12,5/38/24,9	P8	6,9	-	-	-	<b>86,70</b>	-	-	104,91	-	-	120	860
<b>38 EKO+ Profi K</b>	25/38/24,9	P8	15,4	-	-	-	<b>173,40</b>	-	-	209,81	-	-	60	955

### Důležité:

**Cena broušené cihly zahrnuje zdicí pěnu Porotherm Dryfix nebo maltu pro tenké spáry Porotherm Profi.**

U cihel EKO+ Profi / Profi Dryfix bude množství základad malty Porotherm Profi AM pro danou stavbu kalkulováno individuálně dle projektové dokumentace. V případě celoplošného nanášení malty pro tenké spáry je třeba počítat se zvýšenou potřebou malty, proto je nutné přibjednat ke každým dvěma paletám cihel jeden pytel malty Porotherm Profi. Uvedené ceny platí pro obdrž. ucelených palet cihel.

**Doprava zdarma** (viz Prodejní a dodací podmínky na [www.wienerberger.cz](http://www.wienerberger.cz)).

### Poznámky:

EKO+ Profi Dryfix – cihla broušená pro zdicí na zdicí pěnu, EKO+ Profi – cihla broušená pro zdicí na maltu pro tenké spáry, 1/2 K – poloviční koncová cihla, K – koncová cihla, R – rohová cihla

<sup>1)</sup> Součinitel prostupu tepla U [W/(m<sup>2</sup>·K)] zdiva Porotherm EKO+ Profi vyzděného na zdicí pěnu Porotherm Dryfix nebo maltu pro tenké spáry Porotherm Profi, s tepelněizolační omítkou.

**44** Doporučený cihlový sortiment pro stavbu Wienerberger e4 domu.

**N** Novinka K dispozici od 1. 5. 2021.

**Wienerberger**

Energy+

Comfort

Classic

AKU

Complete

Special

Ostatní

Příloha č. 2: Rozpočet rodinného domu ARIE 1 [79]

## Rodinný dům ARIE 1

### Popis domu

Arie 1 je dům střední velikostní kategorie, vhodný pro rovinatý, popř. mírně svažité pozemek, je vhodný do dvoupodlažní okolní zástavby. Projekt rodinného domu Arie 1 je založen na konstrukčním systému Porotherm.

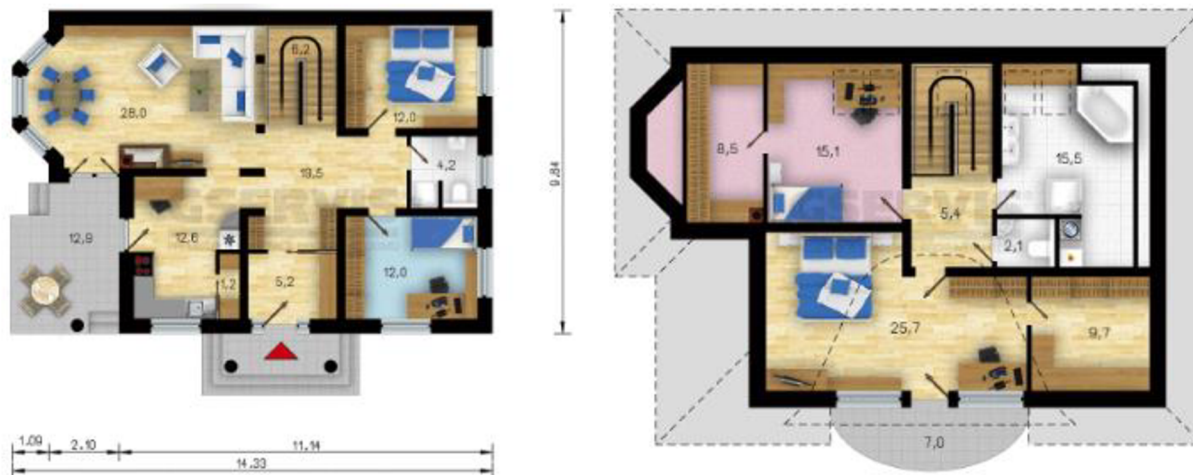
### Základní parametry domu

- dispozice 5+1
- zastavěná plocha 136,2 m<sup>2</sup>
- obestavěný prostor 800,0 m<sup>3</sup>
- celková užitková plocha 202,8 m<sup>2</sup>
- užitková plocha přízemí 113,8 m<sup>2</sup>
- užitková plocha podkroví 89,0 m<sup>2</sup>
- výška hřebene střechy 7,3 m
- sklon střechy 33°

### Cena stavby

Sazba DPH	Základ daně	DPH	Cena s DPH
15 %	3 840 000 CZK	576 000 CZK	4 416 000 CZK

Pozn.: Předpokládaná cena stavby svépomocí 2 832 000 CZK bez DPH



Položka rozpočtu	Základ daně [CZK]	DPH [CZK]	Cena s DPH [CZK]	Podíl nákladů [%]
Společné práce	4 265	640	4 905	0,1
Zemní práce	64 932	9 740	74 672	1,7
Základy	305 408	45 811	351 219	8,0
Svislé konstrukce	485 401	72 810	558 211	12,6
Vodorovné konstrukce	315 757	47 364	363 121	8,2
Komunikace - zámková dlažba	41 004	6 151	47 155	1,1
Úprava povrchů vnitřních	176 014	26 402	202 416	4,6
Úprava povrchů vnějších	142887	21 433	164 320	3,7
Podlahy a podlahové konstrukce	81137	12 171	93 308	2,1
Ostatní konstrukce a práce	13515	2 027	15 542	0,4
Lešení, systémové bednění a stavební výtahy	61540	9 231	70 771	1,6
Ocelové konstrukce	99420	14 913	114 333	2,6
Přesun hmot HSV	92805	13 921	106 726	2,4
Izolace proti vodě	68073	10 211	78 284	1,8
Povlakové krytiny	148501	22 275	170 776	3,9
Izolace tepelné	138 363	20 754	159 117	3,6
Vnitřní kanalizace	31 738	4 761	36 499	0,8
Vnitřní vodovod	66 238	9 936	76 174	1,7
Vnitřní plynovod	14 073	2 111	16 184	0,4
Zařizovací předměty	74 489	11 173	85 662	1,9
Vnitřní vybavení domu	0	0	0	0,0
Ústřední vytápění	133 962	20 094	154 056	3,5
Silnoproud - zemnicí pásek	8 676	1 301	9 977	0,2
Konstrukce sádkartonové	89 011	13 352	102 363	2,3
Konstrukce tesařské	255 317	38 298	293 615	6,6
Konstrukce montované - podhledy	29 116	4 367	33 483	0,8
Konstrukce klempířské	46 486	6 973	53 459	1,2
Konstrukce truhlářské	13 610	2 042	15 652	0,4
Konstrukce truhlářské - schodiště	93 637	14 046	107 683	2,4
Dveře vnitřní	87 896	13 184	101 080	2,3
Konstrukce truhlářské - výplně otvorů	63 439	9 516	72 955	1,7
Konstrukce zámečnické	11 733	1 760	13 493	0,3
Podlahy z dlaždic	68 649	10 297	78 946	1,8
Podlahy plovoucí	102 505	15 376	117 881	2,7
Obklady keramické	41 647	6 247	47 894	1,1
Obklady keramické vnější - fasáda	11 876	1 781	13 657	0,3
Nátěry	23 483	3 522	27 005	0,6
Malby	31 235	4 685	35 920	0,8
Výplně otvorů	157 353	23 603	180 956	4,1
Elektroinstalace a slaboproud	144 808	21 721	166 529	3,8
<b>Celkem</b>	<b>3 840 000</b>	<b>576 000</b>	<b>4 416 000</b>	<b>100</b>