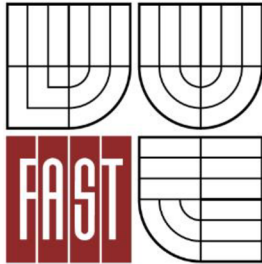




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND  
COMPONENTS

**STUDIUM MOŽNOSTÍ HYDROFOBIZACE**  
**CIHELNÝCH TVAROVEK PRO SOKLOVÉ ZDIVO**  
STUDY OF POSSIBILITIES OF HYDROPHOBIC OF MASONRY CLAY BLOCK FOR PLINTH  
WALLS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Iveta Jirásková

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Iveta Jirásková
<b>Název</b>	Studium možností hydrofobizace cihelných tvarovek pro soklové zdivo
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Jiří Zach, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2012
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

- [1] Sokolář, R., Současné pálené zdicí prvky pro vnější obvodové zdivo a jejich použití, Realizace staveb, ISSN 1802-0631, Jaga Media, s.r.o., Praha, 2011
- [2] Pytlík, P, Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM, Brno 1998
- [3] Matoušek, M., Lehké stavební látky II, SNTL, Praha 1985
- [4] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002
- [5] Svoboda, Luboš a kolektiv. Stavební hmoty. Bratislava: Jagamedia, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [6] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení
- [7] ČSN P 73 0600 Hydroizolace staveb - Základní ustanovení

## **Zásady pro vypracování**

Bakalářská práce se bude věnovat návrhu způsobu hydrofobizace cihelných dutinových tvarovek určených pro výstavbu soklového zdiva a obvodových konstrukcí zatížených zvýšeným účinkem vlhkosti. Cílem práce bude nalezení optimálního způsobu snížení nasákavosti (hydrofobizace) prvků, a to jednak z pohledu výsledných užitných vlastností, tak i z pohledu ekonomického. V rámci práce bude provedena rešerše v oblasti dostupných hydrofobizačních prostředků, vhodných pro danou aplikaci, na trhu v ČR. Bude provedeno teoretické vyhodnocení jejich ekonomické vhodnosti, a dále praktické ověření účinnosti vybraných hydrofobizerů na cihelných tvarovkách.

## **Předepsané přílohy**

.....

Ing. Jiří Zach, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Práce se věnuje návrhu způsobu hydrofobizace cihelných dutinových tvarovek určených pro výstavbu zděných konstrukcí, především soklového zdiva a dalších obvodových konstrukcí zatížených zvýšeným účinkem vlhkosti. Náplní práce je provedení literární rešerše v oblasti hydrofobizačních přípravků a metod, které by zajistily snížení nasákavosti zdicích tvarovek. Součástí práce je pak také praktické ověření účinnosti vybraných hydrofobizerů na cihelných tvarovkách. Cílem práce je nalezení optimálního způsobu snížení nasákavosti zdicích prvků, a to jednak z pohledu výsledných užitných vlastností, tak i z pohledu ekonomického.

## **ABSTRACT**

The work is focused on the design method of hydrophobic cavity brick fittings for the construction of masonry structures, especially plinth masonry and other external structures subjected to elevated moisture. The scope of work is to undertake a literature review of hydrophobic products and methods for reducing absorption of masonry blocks. The work is also practical verification of the effectiveness of selected hydrofobics the brick fittings. The target is to find the optimal method of reducing the absorption of masonry elements, both in terms of the resulting utility properties and economic viewpoint.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

VLHKOST, HYDROFOBIZACE, NASÁKAVOST, SOKLOVÉ ZDIVO, ZDÍCÍ PRVKY

## **KEY WORDS**

MOISTURE, HYDROPHOBIC, WATER ABSORPTION, PLINTH WALLS, MASONRY UNITS



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

JIRÁSKOVÁ, Iveta. *Studium možností hydrofobizace cihelných tvarovek pro soklové zdivo*. Brno, 2013. 55s., 6s příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych vyjádřila své poděkování vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Zachovi Ph.D., za odborné vedení práce, poskytování rad a cenné připomínky, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce.

# OBSAH

ÚVOD.....	12
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST</b>	
<b>1 Vlhkost ve stavebních konstrukcích.....</b>	<b>13</b>
1.1 Důležité vlhkostní veličiny.....	14
1.1.1 <i>Objemová vlhkost</i> .....	14
1.1.2 <i>Hmotnostní vlhkost</i> .....	14
1.1.3 <i>Nasákavost</i> .....	15
1.1.4 <i>Stupeň hydrofobizace</i> .....	16
1.2 Mechanismy transportu.....	16
1.2.1 <i>Difúze vodní páry</i> .....	17
1.2.2 <i>Vzlínavost, kapilární vedení</i> .....	18
1.2.3 <i>Sorpce vodní páry</i> .....	20
1.2.4 <i>Vysychání</i> .....	21
1.3 Zdroje vlhkosti.....	24
<b>2 Vliv vlhkosti na stavební konstrukce a materiály.....</b>	<b>24</b>
2.1 Degradace stavebních materiálů.....	24
2.1.1 <i>Degradační změny vratné</i> .....	25
2.1.2 <i>Degradační změny nevratné</i> .....	27
<b>3 Ochrana stavební konstrukce před vlhkostí.....</b>	<b>28</b>
3.1 Základní typy hydrofobizačních prostředků.....	30
3.1.1 <i>Silikonové hydrofobizační prostředky</i> .....	30
3.1.2 <i>Vodní polymerní disperze</i> .....	33
3.1.3 <i>Isokyanátové a fluorované polymery</i> .....	33
3.1.4 <i>Emulze a roztoky vosků</i> .....	34
3.1.5 <i>Roztoky hlinitých solí mastných kyselin</i> .....	34
3.2 Způsoby aplikace hydrofobizačních prostředků.....	34

3.3 Rizika provádění hydrofobizace.....	35
3.4 Hodnocení hydrofobizace.....	37
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST</b>	
<b>1 Cíl práce.....</b>	<b>38</b>
<b>2 Metodika.....</b>	<b>38</b>
2.1 Použité pomůcky.....	38
2.2 Zkoušené hydrofobizéry.....	39
2.3 Pracovní postup.....	39
<b>3 Vyhodnocení jednotlivých experimentů.....</b>	<b>42</b>
<b>4 Diskuze výsledků.....</b>	<b>50</b>
<b>Závěr.....</b>	<b>52</b>
<b>Použitá literatura.....</b>	<b>53</b>

## SEZNAM ILUSTRACÍ

### I. TEORETICKÁ ČÁST

Obr. 1-1 Možné vlhkostní namáhání konstrukcí a vznik nadměrné vlhkosti v konstrukcích[8]..... 13

Obr. 1 - 2 Typický průběh sorpční izotermy hygroskopické porézní látky [12]  
.....21

Obr. 3 - 1 Příklad řetězce polydimethylsiloxanu [13] .....30

Obr. 3 - 2 Reakce methylsilanolátu draselného se vzdušným CO<sub>2</sub> [19]..... 32

### II. PRAKTICKÁ ČÁST

Obr. 2 – 1 Schéma experimentální práce.....39

## SEZNAM TABULEK

### I. TEORETICKÁ ČÁST

Tab. 1 - 1 Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 [3].....15

Tab. 1 - 2 Nasákavost (hmotnostní, objemová) vybraných materiálů [2].....15

### III. PRAKTICKÁ ČÁST

Tab. 2 - 1 Druhy vybraných hydrofobizérů použitých pro experimentální řešení.....39

Tab.3 - 1 Přehled nasákavosti [%] za čas.....41

Tab.3 - 2 Přehled kapilární nasákavosti [kg/m<sup>2</sup>] za čas.....42

Tab. 3 – 3 Přehled množství vsáknutého hydrofobizačního přípravku na jeden kus tvarovky.....43

## SEZNAM GRAFŮ

### II. PRAKTICKÁ ČÁST

Graf 3 - 1 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (IMESTA IW 550, 1:30).....44

Graf 3 - 2 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (IMESTA IW 550, 1:20).....44

Graf 3 - 3 Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ] v závislosti na čase [h], (LUKOF OB 39, 1:25).....	45
Graf 3 - 4 Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ] v závislosti na čase [h], (LUKOF OB 39, 1:10).....	45
Graf 3 - 5 Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ] v závislosti na čase [h], (DICOSIL 100, 1:2).....	46
Graf 3 - 6 Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ] v závislosti na čase [h], (HG 305 + referenční vzorek).....	46
Graf 3 - 7 Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ] v závislosti na čase [h], (DICOSIL 305, 1:30).....	47
Graf 3 - 8 Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ] v závislosti na čase [h], (DICOSIL 305, 1:15).....	47
Graf 3 - 9 Porovnání výsledků jednotlivých experimentů.....	48
Graf 3 - 10 Celkové vyhodnocení dle účinnosti a ekonomické vhodnosti .....	49

## ÚVOD

Stavební materiály jako cihly, beton, omítky, střešní tašky, pískovec aj., mají díky své pórovité struktuře schopnost přijímat a vydávat vodu. Ta v materiálech především snižuje tepelně izolační vlastnosti, podporuje růst řas a bývá často příčinou vážných vlhkostních a mechanických poruch.

Ochrana před vzlínající vodou bývá řešena vhodnou izolací podzemních částí stavební konstrukce. Nadzemní části konstrukcí z nasákových stavebních materiálů je možno chránit před pronikáním vody uzavřením porézního systému – aspoň v povrchové vrstvě - tzv. hydrofobizací. Ta potlačuje pouze pronikání kapalně vody do porézního systému.

Na trhu se v průběhu let objevila celá řada přípravků vyvinutých za účelem ochrany stavebních materiálů před působením vody. Jedná se o emulze akrylátových, styrenových nebo polyvinylacetátových pryskyřic, vosků, olejů či mýdel. Mechanismus ochrany této skupiny látek před vodou spočívá ve vytvoření nejen vodě ale i parám nepropustného filmu. Tímto způsobem nemohou ošetřené plochy volně dýchat a zbytková vlhkost pod neprodyšným nátěrem způsobuje jeho odlupování. Dnes se pro hydrofobizaci stavebních materiálů používají především syntetické polymery, kde zvláštní skupinu tvoří silikony.

Cílem této práce je praktické ověření účinnosti některých vybraných hydrofobizerů, které jsou na silikonové bázi, na cihelných tvarovkách a posouzení jejich ekonomické vhodnosti.



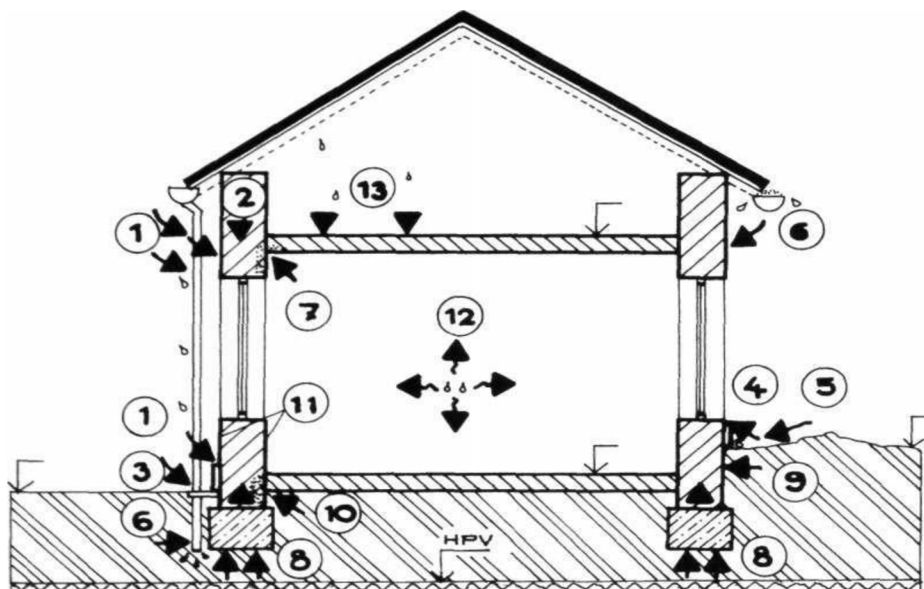
# I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 Vlhkost ve stavebních konstrukcích

Vlhkost je voda vázaná na póry či kapiláry stavebních materiálů, zemin a ostatních pórovitých látek, případně voda ve vzduchu. Za běžných atmosférických podmínek obsahuje vodu každá pórovitá látka, která má otevřenou pórovou strukturu. Její množství vlhkosti je závislé na:

- vlastnostech materiálu (na pórovitosti, na velikosti, otevřenosti a tvaru pórů, množství hygroskopických vázaných solí)
- vlastnostech prostředí v němž (mezi nimiž) se materiál nachází (teplotě, vzdušné vlhkosti, vlhkostním zatížením z přiléhajících konstrukcí a vnějšího prostředí).

Příčin vlhnutí zdiva může být velká řada. Voda se dostává do stavební konstrukce jako kapalina (ve skupenství tekutém) nebo jako vodní pára (ve skupenství plynném) různými cestami a formami (viz. Obr. 1 - 1). Důvodem vlhnutí stavebních konstrukcí je vlhkostní zatížení.



Obr. 1-1 Možné vlhkostní namáhání konstrukcí a vznik nadměrné vlhkosti v konstrukcích [8]; 1 - dešťová voda pronikající z boku, stékající po povrchu zdiva; 2 - volná voda pronikající stavebními vadami; 3 - volná voda vnikající do

zdiva špatným stavebním detailem; 4 - voda odstříkující; 5 - voda stékající volně po povrchu; 6 - špatný stav instalací, deškových svodů; 7 – kondenzace v místech nedostatečné tepelné izolace, 8 - voda vzlínající z podzákladí; 9 - voda vnikající do zdiva z boků; 10 - s vodou do konstrukce pronikají i rozpustné soli; 11 - voda hygroskopická; 12 - zvyšování vlhkosti v interiéru; 13 - stavební vlhkost vnášená mokkými procesy

## 1.1 Důležité vlhkostní veličiny stavební fyziky

Vlhkostní veličiny, vlastnosti a hodnoty vyjadřují šíření vlhkosti stavebním materiálem, výrobkem nebo konstrukcí. Terminologie vlhkostních veličin popisuje norma ČSN 73 0540-1 [4].

### 1.1.1 Objemová vlhkost

Objemová vlhkost  $\psi$  [%], vyjadřuje objem volné vlhkosti obsažené v materiálu/výrobku v procentech objemu materiálu a je definována vztahy:

$$\psi = 100 \cdot \frac{V_w}{V}, \text{ popř. } \psi = 100 \cdot \frac{u \cdot \rho_0}{\rho_w}$$

Kde:  $V_w$  je objem volné vlhkosti v materiálu zjištěné sušením [ $\text{m}^3$ ];  
 $V$  objem materiálu [ $\text{m}^3$ ];  
 $\rho_0$  objemová hmotnost materiálu v suchém stavu [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];  
 $\rho_w$  hustota vody ( $\rho_w = 997,6 \text{ kg}/\text{m}^3$  při  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ );  
 $u$  hmotnostní vlhkost materiálu [%], viz 1.1.2

### 1.1.2 Hmotnostní vlhkost

Hmotnostní vlhkost  $u$  [%], vyjadřuje obsah volné vlhkosti obsažené v materiálu/výrobku v procentech hmotnosti materiálu/výrobku v suchém stavu a je definována vztahem:

$$u = 100 \cdot \frac{(m - m_o)}{m_o}$$

Kde:  $m$  je hmotnost materiálu ve vlhkém stavu [g]  
 $m_o$  hmotnost materiálu v suchém stavu [g]

Množství hmotnostní vlhkosti ve zdivu je uváděno v ČSN P 73 0610 [3]. Klasifikační tabulka (viz tab. 2.) uvedená v předpisu rozlišuje 5 základních stupňů vlhkostí a týká se zásadně konstrukcí vyzděných z plných pálených cihel na vápennou, vápenocementovou nebo cementovou.

Tab. 1 - 1 Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 [3]

Stupeň vlhkosti	Vlhkost zdiva $w$ [%] hmotnosti
velmi nízká	$w < 3$
nízká	$3 \leq w < 5$
zvýšená	$5 \leq w < 7,5$
vysoká	$7,5 \leq w \leq 10$
velmi vysoká	$w > 10$

Pozn.: Norma ČSN P 73 0610 [3] značí objemovou vlhkost  $w$ , zatímco norma ČSN 73 0540-1 [4] značí objemovou vlhkost  $u$ .

### 1.1.3 Nasákavost

Nasákavost se dle uvedené normy dělí na krátkodobou  $W_p$  [g/m<sup>2</sup>] a dlouhodobou  $W_{lp}$  [g/m<sup>2</sup>]. Vyjadřuje množství vody na m<sup>2</sup> nasáklé materiálem (zkušebním vzorkem, výrobkem) definované vlhkosti za definovanou dobu při jeho částečném ponoření do vody a je definována vztahem:

$$W_p = \frac{m_{24} - m_0}{A_p}; W_{lp} = \frac{m_{28} - m_0}{A_p}$$

Kde:  $m_{24}$  je hmotnost materiálu po 24 hodinách krátkodobého částečného ponoření do vody [g];

$m_{28}$  hmotnost materiálu po 28 hodinách dlouhodobého částečného ponoření do vody [g];

$m_0$  počáteční hmotnost materiálu, ustálená za dobu nejméně 6 hodin při laboratorní teplotě [g];

$A_p$  plocha spodního povrchu materiálu [m<sup>2</sup>]

Tab. 1 - 2 Nasákavost (hmotnostní, objemová) vybraných materiálů [2]

Materiál	Hmotnostní nasákavost [%]	Objemová nasákavost [%]
Dřevo	140 - 170	55 - 70
Ocel	~ 0	~ 0
Cihly plné pálené	20 - 25	36 - 55
Beton hutný	6 - 13	13 - 30
Pórobeton	40 - 90	35 - 40
Pěnový polystyrén	70 - 500	do 7

#### 1.1.4 Stupeň hydrofobizace

Stupeň hydrofobizace udává, kolikrát se zmenší nasákavost hydrofobizovaného materiálu proti výchozímu stavu. [8]

### 1.2 Mechanismy transportu vlhkosti

Vlhkost se šíří porézními stavebními materiály jak v plynné fázi, tak i v kapalně. Přitom se uplatňuje řada průvodních jevů, jako jsou fázové změny, absorpce vody na stěnách pórového systému a kapilární efekty. Vlastní vedení se obvykle dělí na mechanismy difúze pro vodní páru a kapilární vedení pro kapaliny.

Problematiku šíření vlhkosti ve formě vodní páry, zásady navrhování stavebních konstrukcí z tepelně technického hlediska a požadavky kladené na stavební konstrukce z pohledu šíření tepla a vlhkosti definuje v souladu s vyhláškou MMR č. 268/2009 Sb. a vyhláškou MPO č. 78/2013 Sb. norma ČSN 73 0540-2 [20].

Z hlediska transportních procesů jsou pórovité látky klasifikovány podle velikosti pórů, která ovlivňuje zaplňování pórů vodou absorpčními a kapilárními silami. Póry se dělí do těchto základních skupin: [8]

- **submikroskopické (ultrkapilární) póry** - mají poloměr  $< 10^{-9}$  m, rozměry těchto pórů jsou porovnatelné s rozměry molekul. V těchto pórech se mohou vytvářet řetězce vody a voda se v těchto pórech nemůže pohybovat.
- **kapilární póry** – v pórech o velikosti v rozmezí  $10^{-9} - 10^{-3}$  m se voda chová jako v soustavě kapilár, pohyb vody je vyvolán povrchovým napětím, tedy kapilárními silami. Kapilární póry lze dále dělit na:
  - kapilární mikropóry ( $2 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-6}$  m)
  - kapilární přechodové póry ( $2 \cdot 10^{-6} - 60 \cdot 10^{-6}$  m)
  - kapilární makropóry ( $60 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-3}$  m)
- **makropóry a vzdušné póry** – ve větších pórech se kapilární síly neuplatňují, neboť dutiny jdou již tak rozsáhlé, že v nich převládá vliv gravitace.

### 1.2.1 Difúze vodní páry

Jestliže konstrukce odděluje dvě prostředí, mezi nimiž je rozdíl částečných tlaků vodní páry, dochází k difúzi z prostředí, kde je částečný tlak vodní páry vyšší. Vodní pára nebo plyn difundují každou látkou, která má mezimolekulární prostory větší než jejich střední volná dráha. K difúzi dochází v makrokapilárách (viz 1.2), jejichž průměr pórů je větší než volná dráha molekul vodní páry ( $2,78 \cdot 10^{-10}$  m). [10]

#### Hustota difuzního toku vodní páry dle ČSN 73 0540-1

- vyjadřuje množství vodní páry v kg, které se šíří plochou  $1 \text{ m}^2$  difuzí za jednotku času z místa s vyšším částečným tlakem vodní páry (absolutní vlhkostí vzduchu) rozhraním do místa s nižším částečným tlakem vodní páry (absolutní vlhkostí vzduchu) a je definována vztahem:

$$\vec{g} = -\delta_p \cdot \text{grad}(\rho_v) \text{ popř. } \vec{g} = -\delta_v \cdot \text{grad}(v)$$

Kde:  $\delta_p$  je součinitel difuzní vodivosti vztažený k částečnému tlaku vodní páry [kg/(m.s.Pa)];

$\delta_v$  součinitel difuzní vodivosti vztažený k absolutní vlhkosti vzduchu [ $\text{m}^2/\text{s}$ ];

$\text{grad}(\rho_v)$  gradient částečného tlaku vodní páry [Pa/m];

$\text{grad}(v)$  gradient absolutní vlhkosti vzduchu v pórech [ $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$ ]

Výpočtově se stanoví hustota difuzního toku vodní páry při znalosti k částečnému tlaku vodní páry ze vztahů:

$$g = \frac{G}{A} \text{ popř. } g = W_p \cdot \Delta\rho_v \text{ popř. } g = \frac{\Delta\rho_v}{Z_p} \text{ popř. } g = \delta_a \frac{\Delta\rho_v}{s_d}$$

Kde:  $G$  je difuzní tok [kg/s];

$A$  plocha kolmá na difuzní tok [ $\text{m}^2$ ];

$W_p$  propustnost vodní páry vztažená k částečnému tlaku vodní páry [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ] = [s/m];

$\Delta\rho_v$  rozdíl částečných tlaků vodní páry mezi prostředími oddělenými vrstvou materiálu [Pa];

$Z_p$  difuzní odpor vztažený k částečnému tlaku vodní páry [ $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$ ] = [m/s];

$\delta_a$  součinitel difuzní vodivosti vzduchu [ $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ ] = [s];

$s_d$  ekvivalentní difuzní tloušťka [m];

Výpočtově se stanoví hustota difuzního toku vodní páry při znalosti veličin vztahených k absolutní vlhkosti vzduchu ze vztahů:

$$g = W_v \cdot \Delta v \text{ popř. } g = \frac{\Delta v}{Z_v}$$

Kde:  $W_v$  je propustnost vodní páry vztahená k absolutní vlhkosti vzduchu [m/s];

$\Delta v$  rozdíl absolutní vlhkosti vzduchu [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$Z_v$  difuzní odpor vztahený k absolutní vlhkosti vzduchu [s/m];

### 1.2.2 Kapilární vedení vlhkosti

Vlhkost v podobě kapalné vody se šíří v konstrukci nebo do konstrukce z jiných částí případně ze základové zeminy kapilárním vedením, které je udáno především vlhkostním spádem  $\frac{\partial w}{\partial x}$  nebo také v menší míře teplotním spádem  $\frac{\partial T}{\partial x}$ , přičemž hustota hmotnostního toku kapalné vody  $q_{mw}$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ] při vlhkostním gradientu je určena vztahem:

$$q_{mw} = -\kappa_m \rho_s \frac{dw}{dx}$$

kde:  $\kappa_m$  je součinitel vlhkostní vodivosti při vlhkostním spádu [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$\frac{\partial w}{\partial x}$  vlhkostní gradient [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ].

Hustotu hmotnostního toku  $q_{mt}$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ] při teplotním spádu je možné určit dle vztahu:

$$q_{mt} = -\kappa_m \rho_s \kappa_t \frac{dT}{dx}$$

kde:  $\kappa_t$  je součinitel vlhkostní vodivosti při teplotním spádu [K],

$\frac{\partial T}{\partial x}$  teplotní gradient [ $\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$ ].

Pohyb vlhkosti v kapilárním systému stavebních materiálů je tedy dán všeobecně souhrnem výše zmíněných dějů a lze zapsat pro hodnotu hustoty vlhkostního transportu vztah ve tvaru:

$$q_m = q_{md} \pm q_{mw} \pm q_{mt}$$

Při šíření vlhkosti ze základové půdy do stavební konstrukce dochází ke vztlínání vlhkosti důsledkem kapilární elevace. Ta je charakterizována rozdílem výšky hladiny kapaliny v kapiláře proti úrovni hladiny v okolí. Tento jev vyvolávají kapilární síly mezi molekulami kapaliny a povrchem pevné látky. Povrchové napětí způsobuje, že se sloupec kapaliny v kapiláře pohybuje ve směru výslednice sil. V kapiláře s kruhovým průřezem působí povrchové napětí na stykové ploše v oblasti odpovídající obvodu póru. [8]

Hodnotu parciálního tlaku nasycené vodní páry nad zakřiveným povrchem v kapiláře je možné vyjádřit z Thompsonova vztahu:

$$\ln \frac{p_o''}{p_p''} = \frac{2 \gamma \cdot \cos \alpha}{r R_p \rho T}$$

kde:  $p_o''$  je parciální tlak nasycené vodní páry okolí [Pa],  
 $p_p''$  parciální tlak nasycené vodní páry nad zakřivenou plochou [Pa],  
 $\gamma$  povrchové napětí kapaliny [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ],  
 $\alpha$  úhel smáčení pevné látky kapalinou,  
 $r$  poloměr zakřivení vodního sloupce v kapiláře [m],  
 $\rho$  hustota kapaliny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Pro maximální výšku vztlnutí vodního sloupce  $h_{max}$  [m] v kapiláře lze zapsat vztah:

$$h_{max} = \frac{2 \gamma \cos \alpha}{\rho \cdot g r}$$

kde:  $g$  je gravitační zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ],

Vázání vodní páry probíhá adsorpcí na povrch stavebního materiálu vlivem van der Waalových sil. Zaplňování pórů probíhá postupně a to tak, že



nejprve vodní pára zaplňuje póry difuzí páry a na stěny póru se absorbují molekuly vody. Postupně se na stěnách začne tvořit monomolekulární vrstva naabsorbované vody. S přibývajícím množstvím naabsorbované vody se vrstvy vody v jednotlivých částech začnou spojovat a začíná docházet ke kapilární kondenzaci. Dále pokračuje zaplňování póru kapilárním vedením a v nezaplňených částech se tvoří kapilární obal. Při dalším nasycování se mocnost kapilárního obalu zvětšuje a můžeme mluvit o nenasyceném vlhkostním proudění. Nakonec je kapilára zcela naplněna vodou a další vlhkostní šíření se uskutečňuje nasyceným prouděním. [24]

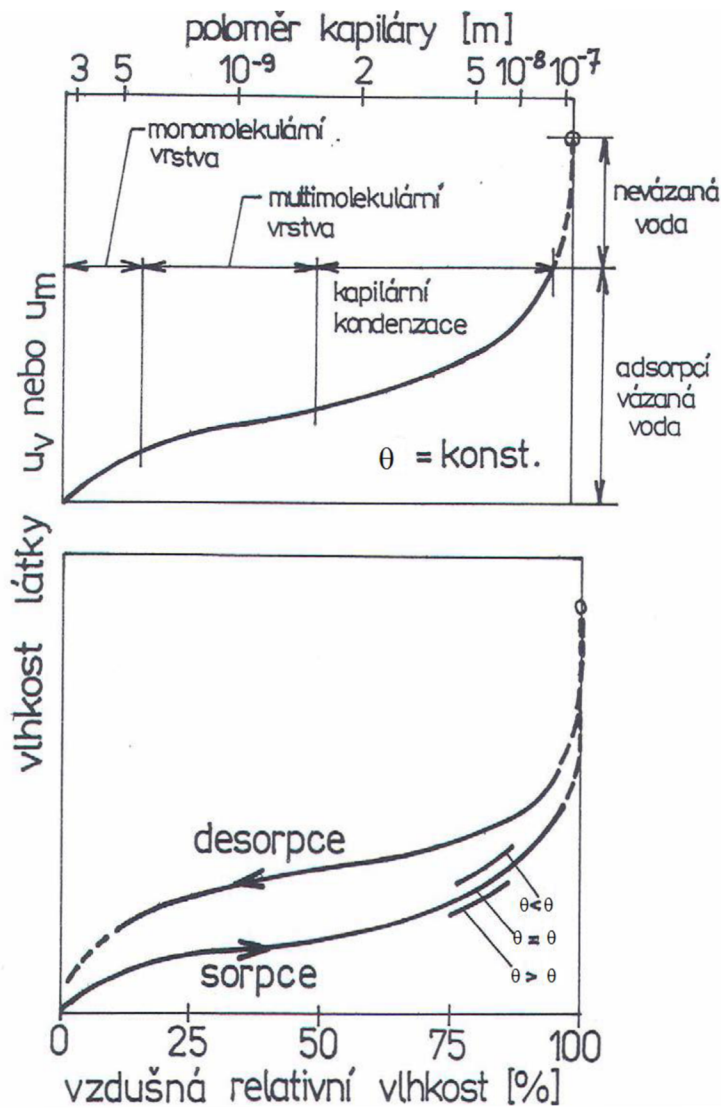
### **1.2.3 Sorpce vodní páry**

Stavební materiály v konstrukci pohlcují vodní páry z ovzduší až do dosažení rovnovážného stavu, případně je-li parciální tlak vodní páry ve zdivu vyšší než parciální tlak vodní páry v okolním prostředí, uvolňují se vodní páry až do vyrovnání v ovzduší. Rovnovážný stav závisí ovšem na teplotě prostředí a parciálním tlaku vodní páry. Tyto jevy se nazývají sorpce a desorpce vodní páry. Při takovém procesu se molekuly vody na povrchu pevné fáze silně zhušťují, až vytvoří kompaktní vodní film. Množství takto vázané vody činí 1-2 % hmotnostních jednotek celé pórovité hmoty, a to podle specifického povrchu kapilár a pórů.

Tzv. sorpční izotermy ukazují jednotlivé hodnoty rovnovážné vlhkosti materiálu za určité teploty v závislosti na relativní vlhkosti vnějšího prostředí.

Ze sorpčních a desorpčních izoterm vyplývá, že jisté množství vlhkosti ve zdivu přítomné prakticky za všech reálných podmínek.[8]





Obr. 1 - 2 Typický průběh sorpční izotermy hygroskopické porézní látky [12]

### 1.2.4 Vysychání

V počáteční fázi vysychání stavby jde o volné vypařování do okolního prostředí, po určité době se vypařovací zóna posune do nitra konstrukce, volné vypařování již nemůže pokračovat a vodní pára se nejprve musí dostat difúzí k povrchu prvku a teprve odtud se odpaří do vnějšího prostředí. Tento proces závisí na teplotě a parciálním tlaku vodních par, rychlosti proudění vzduchu, jeho teplotě a vlhkosti, ale také je vysychání ovlivňováno hustotou, distribucí průměrů a tvarem pórů.

Podle Cadierguese je doba pro vysušení neomítnutého zdiva dána vzorcem:

$$t = S \cdot d^2$$

Kde:  $t$  je doba vysušení [dny]  
 $d$  tloušťka zdiva [cm]  
 $S$  faktor závisející na druhu stavebního materiálu [ $\text{dny}/\text{cm}^{-1}$ ]

Podle tohoto vzorce trvá například vysušení cihelného zdiva o tloušťce 45 cm 567 dní, což odpovídá hodnotám dosahovaným ve stavební praxi. [8]

### 1.3 Zdroje vlhkosti

Stavby jsou namáhány vodou, vyskytující se v různých formách v přírodě i ve stavbě, v míře závislé na situování objektů v krajině, osazení v terénu, provozu uvnitř i vně objektů i způsobu realizace staveb apod.

Zásady ochrany staveb proti účinkům vody a vlhkosti popisuje ČSN P 73 0600 [5], která také definuje základy navrhování hydroizolací staveb, problematice hodnocení zavlhčení konstrukce a sanaci vlhkého zdiva se dále věnuje ČSN P 73 0610 [3].

Podle způsobu a místa vnikání do stavebních konstrukcí rozlišujeme vlhkost dle ČSN P 73 0600 [5]:

- **Atmosférická vlhkost**
  - vlhkost vnějšího vzduchu
  - kapalné a tuhé srážky
- **Povrchová voda**
  - voda stékající po povrchu území
  - voda v tocích a nádržích
- **Podpovrchová voda**
  - Zemní vlhkost
  - Prosakující voda
- **Provozní voda/vlhkost**
  - vlhkost vnitřního vzduchu
  - voda stékající po povrchu mokrým provozem smáčených nebo skrápěných konstrukcí
  - voda v nádržích, bazénech apod.
- **Technologická vlhkost**
  - vlhkost zabudovaná do konstrukcí při realizaci
- **Kondenzovaná voda**
  - vodní pára kondenzující na povrchu nebo uvnitř konstrukcí

Různé formy výskytu vody v přírodě i ve stavbě charakterizují některé společné prvky hydrofyzikálního namáhání staveb dle ČSN P 73 0600 [5]:

**a) Namáhání vodou v plynném skupenství (vodní parou)**

- vzniká v důsledku koncentrace vodní páry ve vzduchu a projevuje se sorpční vlhkostí materiálu
- vzniká v důsledků různých parciálních tlaků vodní páry na površích konstrukcí, následkem toho dochází k difúzi a může vést k následné kondenzaci vodní páry v konstrukcích
- vzniká v důsledku výparu vlhkosti z povrchu vlhkých stavebních konstrukcí, v uzavřených prostorách budov dochází ke zvýšení vlhkosti vnitřního vzduchu
- vzniká působením tlaku vodní páry v důsledku vzestupu teploty vlhkých stavebních materiálů v uzavřené materiálové struktuře nebo v konstrukci

**b) Namáhání vlhkostí**

- vzniká, působí-li na stavební konstrukci voda, šířící se v přilehlém pórovitém horninovém prostředí nebo ve stavebních materiálech, nebo šířící se z povrchu konstrukcí, působením kapilárních sil, vypařováním a kondenzací v kapilárních systémech, a to všemi směry i proti směru gravitace a přes rozhraní vrstev
- vzniká v důsledku poklesu povrchové teploty konstrukcí pod rosný bod

**c) Namáhání vodou stékající po povrchu konstrukcí**

- vzniká, působí-li na svislé nebo sklonité konstrukce voda v kapalném skupenství, stékající vlivem gravitace po jejich povrchu, aniž by se kdekoliv v kontaktu se stavební konstrukcí hromadila a vytvářela spojitou hladinu

**d) Namáhání vodou prosakující přilehlým pórovitým prostředím**

- vzniká, působí-li na stavební konstrukce voda, prosakující vlivem gravitace okolním pórovitým prostředím nebo částí stavební konstrukce, např. ochrannými souvrstvími povlakových hydroizolací střešních teras, podlah a obkladů v mokřích provozech apod., v okolí hydroizolačních konstrukcí se může voda dočasně místně hromadit a působit na ně malým hydrostatickým tlakem

### **e) Namáhání tlakovou vodou**

- vzniká, působí-li na stavební konstrukci voda v kapalném skupenství definovatelným hydrostatickým nebo hydrodynamickým tlakem, pod úrovní hladiny se tlak ve vodě šíří všemi směry, v pórovitých strukturách se vytváří hydraulicky spojitá hladina

### **f) Namáhání vodou v pevném skupenství**

- vzniká, působí-li na konstrukci voda ve formě sněhu, ledu nebo námrazy, nebo se v konstrukci, popř. v jejím okolí, mění její skupenství z kapalného nebo plynného na pevné

## **2 Vliv vlhkosti na stavební konstrukce a materiály**

O negativním vlivu vlhkosti na stavební konstrukce a stavební materiály se lze přesvědčit na řadě objektů, jsou to především rozpadající se soklové, případně štítové části domů, na které prší nebo jsou vystaveny vzlínající vlhkosti. Dále se může také jednat o poruchy zděných plotových staveb i zděných venkovních opěrných stěn. Vlhkost působící v kombinaci s mrazem a případně i s obsahem vodou rozpustných solí vede k dlouhodobým degradačním procesům, které vedou k rozpadu materiálů, ke statickým poruchám a k narušení bezpečnosti a spolehlivosti konstrukcí. [8]

### **2.1 Degradace stavebních materiálů**

Vlhkost má velmi vysoký degradační účinek jak na stavební materiál, tak i na stavební konstrukci jako celek. Dochází k narušení struktury konstrukce a ke změně některých důležitých vlastností stavebních materiálů. Degradální procesy, způsobené agresivními látkami transportovanými do nitra stavebních materiálů samotnou vlhkostí, lze rozdělit na chemické a fyzikální degradační procesy, přičemž mohou působit současně. Jsou charakteristické postupnou degradací a rozpadem kusového staviva a malty ve spárách, uvolňováním kusového staviva, postupným rozrušováním a dezintegrací zdiva, následným snížením únosnosti a ztrátou funkční způsobilosti zděné konstrukce. [9]

Degradální změny způsobené vlhkostí, lze rozdělit na vratné (reverzibilní) a nevratné (ireverzibilní). U vratných degradačních změn dochází

po snížení vlhkosti k obnovení původních vlastností materiálu (konstrukce) a u nevratných dochází vlivem vody a vlhkosti k poškození stavební konstrukce, a to i po následném snížení vlhkosti.

### **2.1.1 Degradční změny vratné**

Jsou to změny některých vlastností stavebních materiálů, způsobené vlivem vlhkosti, kdy po vysušení dochází ve většině případů k obnovení původních vlastností stavebního materiálu.

Mezi materiálové vlastnosti, které jsou nejvíce závislé na vlhkosti, patří především:

- Tepelně-technické vlastnosti – součinitel tepelné vodivosti, tepelná kapacita,
- Mechanické vlastnosti – pevnost, tuhost.

#### *a) Změna součinitele tepelné vodivosti*

Vlhkost látky má velký vliv na praktickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ . Zvyšováním vlhkosti látky se zvyšuje její součinitel tepelné vodivosti.

Růst součinitele tepelné vodivosti se vzrůstem vlhkosti látky se částečně vysvětluje tím, že součinitel tepelné vodivosti vody, která je v pórech látky, má hodnotu přibližně  $0,58 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , teda asi 25 – krát větší jak vzduch. Z praktických zkušeností je známé, že součinitel tepelné vodivosti vlhké látky je často podstatně vyšší, jak vyplývá z uvedené závislosti. Z důsledku přítomnosti vody v pórech se zvětšují kontaktní plochy v pórech, což může mít výrazný vliv na růst součinitele tepelné vodivosti vlhké látky.

Velký vliv na součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  má vlhkost konstrukce tehdy, jestliže vlhkost v konstrukci zamrzá. Součinitel tepelné vodivosti ledu je  $\lambda = 2,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Voda v pórech látky zamrzá však při nižší teplotě a to při  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  (záleží na velikosti pórů). Jednotnou matematickou závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti pro všechny látky není možno určit, protože různé látky mají různou formu a stavbu pórů a v důsledku toho různé vlastnosti, a tedy i různého součinitele tepelné vodivosti. Vliv vlhkosti na součinitele tepelné vodivosti není zpravidla přímo úměrný množství vlhkosti, neboť  $\lambda$  roste při menších vlhkostech rychleji jak u větších. **[10]**

### b) Změna tepelné kapacity

Voda s tepelnou kapacitou  $c = 4200 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  je obecně materiálem s nevyšší hodnotou měrné tepelné kapacity. Z porézních materiálů vykazuje nejvyšší hodnotu měrné tepelné kapacity dřevo, u kterého dosahuje hodnoty  $c = 2560 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . U ostatních materiálů je hodnota měrné tepelné kapacity  $c < 1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Proto pokud zaplňuje voda pórovou strukturu libovolného materiálu, musí jeho tepelná kapacita úměrně růst podle vztahu:

$$c = \frac{c' m + c_w (m_w - m)}{m_w}$$

Kde:  $c$  je tepelná kapacita vlhkého materiálu [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ],

$c'$  tepelná kapacita výchozího materiálu [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ],

$m$  hmotnost materiálu v suchém stavu [kg],

$m_w$  hmotnost vlhkého materiálu [kg].

### c) Změna mechanických vlastností

Nejvíce se vliv vlhkosti projevuje u materiálů s jemně pórovitou strukturou a vysokým stupněm pórovitosti. Po odstranění vlhkosti se vlastnosti materiálů zpravidla vrací zpět do původního stavu. Pokud však během doby, kdy byl materiál vystaven vlhkosti došlo při zatížení k mechanickému poškození vlivem přechodně snížené pevnosti, pak dojde k trvalému snížení jeho mechanických vlastností.

Ke změně mechanických vlastností stavebních materiálů vlivem vlhkosti dochází především u dřeva, kde vlivem zvýšené vlhkosti dochází ke snížení tuhosti a k výrazným objemovým změnám. Snížená tuhost dřeva může mít v některých případech i využití v praxi, a to zejména při výrobě tvarovaných dřevěných dílů za zvýšené teploty (tvarování napařováním).

Mezi další materiály, u nichž dochází vlivem vlhkosti ke změnám mechanických vlastností, patří plynosilikáty. Molekuly vody se dostávají do struktury minerálního pojiva a způsobují tak při vyšší vlhkosti značné snížení pevnosti. Velmi podobně je tomu také u sádrových materiálů, kde vlhkost výrazně snižuje pevnost.

### 2.1.2 Degradální změny nevratné

Velká část degradačních změn způsobena vlhkostí je nevratných a často vede až k úplnému znehodnocení celé stavební konstrukce. Mezi nevratné degradační změny patří především:

- Biologická koroze
- Koroze vlivem agresivních solí

#### a) Biologická koroze

Problematika biokoroze ve stavebnictví nás v současné době zajímá hlavně ze dvou důvodů: diagnostika a likvidace dřevokazných hub a na likvidace plísní v bytových prostorách. Další skupiny organismů (bakterie, řasy, lišejníky, synantropní členovci, hlodavci, popřípadě vyšší rostliny) způsobují na stavebním díle přibližně stejné škody, ovšem v současné době jim není věnována taková pozornost jako výše zmíněným houbám a plísním..

Základní podmínkou pro vznik biologické koroze je vysoká relativní vlhkost prostředí, v němž se stavební materiál, popřípadě konstrukce, nachází. Dále je třeba zdůraznit, že kromě vzlínání půdní vlhkosti a průniku deště je kondenzace základním zdrojem vlhkosti ve stavebních konstrukcích (tepelné mosty). Jedná se především o napadení těmito organismy:

- Bakterie** – kromě plastů a kovů jsou schopny napadat prakticky všechny druhy stavebních materiálů a to v podmínkách, kdy je relativní vlhkost již kolem  $\varphi = 30 \%$ .
- Plísně** – jejich výskyt ve stavební konstrukci je nežádoucí jak z hlediska estetického tak hygienického, ale především plísně způsobují trvalé degradační změny. Plísně se velmi často vyskytují tam, kde dochází ke kondenzaci vzdušné vodní páry na povrchu stavební konstrukce. Vzniku plísním lze předejít účinnou prevencí proti plísním avšak pokud je již materiál napaden je nutné provést sanační opatření.
- Houby** - nejčastěji napadají dřevěné konstrukce, ale mohou napadat a výrazně degradovat také sklo a keramiku. Mezi nejvíce se vyskytující houby patří Dřevomorka domácí, které stačí pro své žití relativní vlhkost vzduchu již kolem 18 %. Postup rozkladu dřevní hmoty je buď z povrchu dřeva dovnitř nebo z vnitřku k povrchu.

- d. **Řasy**- vyžadují k růstu světlo, minerální látky a vzdušnou vlhkost. Velmi dobře rostou tam, kde je nějaký čas zadržována voda (římsy, parapety oken, balkóny atd.) a kde pH vlivem karbonátů klesne na pH 9. Řasy působí převážně na stavební kámen a to nejen esteticky, ale mohou vnikat i do štěrbin, kde vlivem navlhání rozšiřují svůj objem a dochází tak k narušení materiálu.
- e. **Ostatní** – patří sem především mechy, lišejníky a dřevokazní hmyz.

b) Koroze vlivem agresivních solí

Voda pronikající do stavební konstrukce obsahuje velké množství solí, které mohou na stavební konstrukci působit negativně. Spolu s transportem vlhkosti dochází i k šíření solí v konstrukci, a to z míst s vyšší koncentrací do míst s koncentrací nižší. Obecně lze agresivní soli rozdělit do dvou skupin:

- a. **Soli nereagující s materiálem** – ohrožují stavební konstrukce v malé míře. Tyto soli chemicky nereagují s materiálem stavební konstrukce. Jejich degradační účinek se projevuje při jejich krystalizaci, kdy krystalické novotvary solí zaplňují pórový systém materiálu a navozují vyšší tlak, než je pevnost materiálu. K odstranění těchto solí je nutné zvolit vhodnou sanační metodu, která při konstantní vlhkosti odstraní soli obsažené v konstrukci. Jedná se především o metody elektrochemické nebo o metodu falešného líce, kdy se snažíme uměle navodit migraci solí z konstrukce do sanačního materiálu, který soli zachytí a po odsolení konstrukce se z ní odstraní.
- b. **Soli reagující s materiálem** – jsou to soli, které chemicky reagují s materiálem ve stavební konstrukci, modifikují jejich vlastnosti a chemickými reakcemi vytváří produkty (novotvary) odlišného objemu od původních reaktantů, čímž vznikají v konstrukci napětí převyšující její pevnost. Mezi hlavní zástupce těchto solí patří sírany a chloridy alkalických kovů a kovů alkalických zemin.

### 3 Ochrana stavební konstrukce před vlhkostí

Navrhování ochrany staveb proti nežádoucímu působení vody pomocí povlakových hydroizolací popisuje norma ČSN P 73 0606 [4].



Návrh hydroizolací staveb vychází z hydrofyzikálního namáhání. Hydrofyzikální namáhání se stanoví průzkumem prostředí, do kterého má být stavba umístěna, hydroizolační analýzou provozu i vlastní konstrukce stavby (inženýrskogeologický průzkum, rozbor klimatických podmínek v místě stavby, osazení stavby do terénu, tvar stavby, poloha hydroizolačních vrstev a konstrukcí ve stavbě, vlhkostní vlivy provozu uvnitř i vně objektu a další faktory).

Hydroizolace zajišťují ochranu staveb i chráněného nebo vnitřního prostředí proti nežádoucímu působení vody. Hydroizolace se navrhují tak, aby bránily pronikání vody v kapalném nebo tuhém skupenství do chráněných konstrukcí nebo na jejich chráněný povrch, pokud speciálními předpisy nebo požadavky objednatele není stanoveno jinak.

Podle způsobu ochrany stavební konstrukce proti vodě dělíme hydroizolační principy na přímé a nepřímé. [4]

- **Přímé hydroizolační principy:**

- jednoúčelové hydroizolační materiály,
- víceúčelové materiály s hydroizolační funkcí,
- injektáže,
- penetrace a impregnace povrchů těsnícími látkami,
- hydrofobizace povrchů nebo struktury materiálů,
- vzduchové vrstvy hydroakumulační efekt konstrukcí,
- elektrokinetické metody,
- tvarové řešení styků,
- těsnění styků

- **Nepřímé hydroizolační principy:**

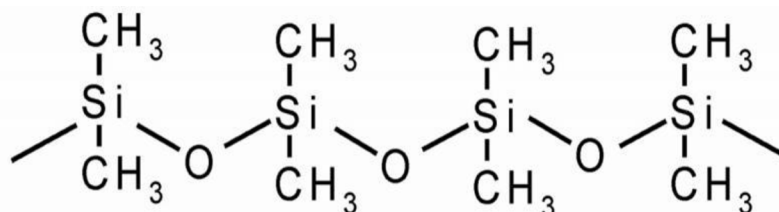
- výběr prostředí (staveniště),
- tvar objektu nebo konstrukce,
- umístění objektu nebo jeho částí v prostředí,
- odvodnění prostředí,
- úprava prostředí (úprava teplotních a vlhkostních parametrů, vnitřního vzduchu),
- dispoziční řešení prostor,
- poloha materiálů v konstrukcích,
- zvýšení povrchové teploty konstrukcí,
- změna provozního režimu konstrukcí

### 3.1 Základní typy hydrofobizačních prostředků

Podle směrnice WTA Merkblatt 1-84 3-2, 84 [11] je hlavním cílem hydrofobizace snížení kapilární nasákavosti, případně určité zpevnění ošetřovaného materiálu (vyvolané dodáním náhradního pojiva z hydrofobizačního prostředku). Hydrofobizační prostředek je považován za účinný, pokud obsahuje minimálně 4 % aktivní látky, která by měla být na povětrnosti stálá a měla by odolávat i alkalickému prostředí. Po odpaření rozpouštědla by neměla zůstat lepivá. Prostředek by neměl obsahovat škodlivé látky pro ošetřovaný materiál a ani by neměl vyvolávat jejich vznik např. vlivem prostředí, teploty apod.

Látky, které mohou sloužit jako hydrofobizační činidla, je možno rozdělit do několika skupin. Především se jedná o sloučeniny nepolární, zpravidla obsahující delší uhlíkaté řetězce. Nejběžnějšími historickými zástupci jsou vosky a oleje. Používaly se a někdy dosud používají ve formě roztoků či past v organických rozpouštědlech, nebo jako vodné disperze či emulze. Používají se především jako hydrofobizační přísady do suchých maltových směsí.

Dnes se pro hydrofobizaci stavebních materiálů používají v první řadě syntetické polymery. Zvláštní skupinu tvoří silikony. Hydrofobita jejich siloxanových řetězců je vyvolána zpravidla velkým množstvím byť krátkých uhlovodíkových zbytků – např. methylů, ethylů ( $\text{CH}_3$ -,  $\text{C}_2\text{H}_5$ -) apod. – na základním siloxanovém řetězci. Příklad takového řetězce je na obr. 3 - 1.



Obr. 3 - 1 Příklad řetězce polydimethylsiloxanu [13]

#### 3.1.1 Silikonové hydrofobizační prostředky

Řada hydrofobizačních prostředků jsou **roztoky siloxanových pryskyřic** v organických rozpouštědlech, nejčastěji v lakovém nebo technickém

benzínu. Obsah pryskyřice se obvykle pohybuje od 3 – 8 %. Jsou jednosložkové, většinou bezbarvé nebo slabě nažloutlé, transparentní a hydrofobní efekt vzniká okamžitě po odpaření rozpouštědla. Takovéto prostředky není možno použít na vlhké povrchy, naopak je možno jimi hydrofobizovat již dříve hydrofobizované materiály. Přítomnost rozpouštědla je nevýhodná z hlediska požárního, ekologického i možného zdravotního ohrožení.

Příbuznou skupinou jsou **roztoky polysiloxanových pryskyřic** následně převedené do vodní emulze, které jsou vodou ředitelné (nejčastěji bývá jednosložková), obsahuje však samozřejmě určité množství organického mléčně zbarveného rozpouštědla. Hydrofobní efekt vzniká po odpaření vody a rozpouštědla, je jím možno hydrofobizovat vlhké podklady, zpravidla však ne povrchy již dříve hydrofobní. Protože pro přípravu emulze roztoku pryskyřice ve vodě je nutná přítomnost dostatečného množství emulgátoru – smáčedla, který zůstává i po odpaření vody a rozpouštědla ve vzniklém polymerním filmu, je prvotní vodoodpudivost takto ošetřených povrchů zpravidla nižší než při použití pravých roztoků. Časem je však část emulgátorů odplavena srážkovou vodou a hydrofobní účinek mírně roste. Chování samotné pryskyřice v těchto emulzích je stejné jako u roztokových typů.

Dalším druhem roztokových silikonových hydrofobizačních prostředků jsou nízkomolekulární sloučeniny – **oligomery**, které po aplikaci vlivem vzdušné vlhkosti samovolně polymerují za vzniku požadovaného polymeru. Jsou obvykle jednosložkové, průsvitné a bezbarvé. Oproti roztokům vysokomolekulárních pryskyřic mají přednost v tom, že jsou schopny vázat se chemicky na povrch křemenných zrn ošetřovaného materiálu (jsou-li přítomna) a tím roste jejich odolnost vůči oděru. Někdy jsou dodávány jako koncentrát a potřebný prostředek si připraví uživatel sám, smícháním s vhodným rozpouštědlem. Další výhodou je i lepší schopnost těchto látek penetrovat do porézního materiálu.

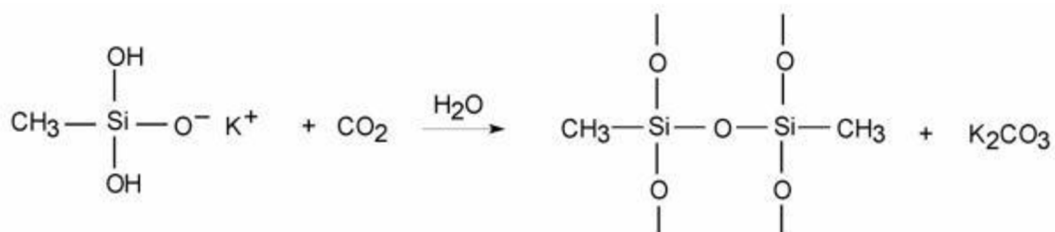
Zvláštní skupinu tvoří **silikonové mikroemulze**. Jsou to opět relativně nízkomolekulární silikonové sloučeniny, které jsou díky stavbě svých molekul schopny po smíchání s vodou vytvořit emulzi s velice malými částicemi. Pomalou reakcí s vodou potom vzniká požadovaný hydrofobní polymer. Jejich výhodou je právě mísitelnost s vodou, která dovoluje vyhnout se organickým rozpouštědlům, a dobrá penetrační schopnost.

Hydrofobizační prostředky na bázi **siloxanových oligomerů** mohou mít i formu **pasty či krému**. Výhodou tohoto systému je snadnější dávkování

prostředku a především delší doba kontaktu „zdroje“ s ošetřovaným povrchem. Po nanesení krému na povrch stavebního materiálu aktivní složka pomalu samovolně proniká do porézního systému, což zvyšuje účinnost zásahu (množství vodoodpudivého prostředku, které do pórů pronikne, i hloubku průniku). Ty materiály, které bývají určeny pro ochrany silně alkalických povrchů (čerstvého betonu apod.), obsahují aktivní látky odolné vůči tomuto prostředí. Nevýhodou tohoto typu hydrofobizačních prostředků bývá vyšší cena ve srovnání s ostatními prostředky.

Při hydrofobizaci je možno dosáhnout zároveň i zpevnění ošetřovaného materiálu. Pro tento účel se používají **estery kyseliny křemičité (silany)** většinou ve směsi s alkoholy nebo ketonickými rozpouštědly (acetone, methylethylketone apod.). Jedná se zpravidla o transparentní bezbarvé kapaliny s různým obsahem aktivní složky, většinou dodávané ve formě „ready for use“, tedy k okamžitému použití, někdy i v koncentrované formě vyžadující před aplikací dodatečně ředění vhodným rozpouštědlem. Dnes jsou většinou jednosložkové. Estery reagují s vlhkostí ze vzduchu a z ošetřovaného materiálu a tvoří hydrofobní modifikovaný gel kyseliny křemičité, který zároveň slouží ke zpevnění. Díky dobré penetrační schopnosti hydrofobní efekt nevzniká pouze na povrchu, ale i ve hmotě materiálu. Jsou schopny se chemicky vázat na povrch křemenných zrn (pískovec, omítka, apod.) a jsou z materiálu neodstranitelné.

Mezi silikonové hydrofobizační prostředky patří i **methylosilanoláty (methylosilikonáty) – sodné nebo draselné**. Tyto látky jsou jakousi hydrofobizující variantou vodního skla. Ve styku s oxidem uhličitým přecházejí, podobně jako vodní sklo, na modifikovaný gel kyseliny křemičité, v tomto případě hydrofobní. Bohužel při této chemické reakci se uvolňuje i hydroxid příslušného kovu (sodný nebo draselný), později přecházející na uhličitán (sodu  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , resp. potaš  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , viz obr. 3 - 2).



Obr. 3 - 2 Reakce methylosilanolátu draselného se vzdušným  $\text{CO}_2$  [19]

Tím se do struktury ošetřovaného materiálu zanášejí nežádoucí, ve vodě rozpustné výkvětovné soli. Jejich přítomnost představuje riziko tvorby

bělavých výkvětů, v horším případě i degradace ošetřeného materiálu vlivem krystalizačních tlaků. Výhodou silikonátů je dobrá rozpustnost ve vodě (tedy možnost aplikace na vlhké povrchy) a ve srovnání s ostatními silikonovými prostředky podstatně nižší cena. Vzniklý gel je nerozpustný, a tedy prakticky neodstranitelný. Silanoláty jsou díky své dobré rozpustnosti a nízké ceně doporučovány pro ochranu památkových objektů.

### **3.1.2 Vodní polymerní disperze**

Pro hydrofobizaci povrchů stavebních materiálů jsou také někdy používány prostředky obsahující polymer (nejčastěji některý z typů polyakrylátů) ve formě vodné disperze. Takovýto systém je vodou ředitelný, je možno jej proto nanášet i na vlhké podklady. Platí pro něj však to, co bylo řečeno pro vodné emulze siloxanových pryskyřic, tedy že přítomné povrchově aktivní látky – smáčedla – poněkud snižují vodoodpudivý efekt. Velmi důležitý je charakter vlastního polymeru. Kdysi dávno používaný **polyvinylacetát** nesplňuje jednu ze základních podmínek – stabilitu v alkalickém prostředí a odolnost vůči stárnutí v kyselé atmosféře. Dnes vyráběné „stavařské“ vodní polymerní disperze – **akrylátové nebo styrenakrylátové** (např. známý Sokrat 2802) jsou v tomto ohledu kvalitnější, avšak pro povrchovou hydrofobizaci je možno je doporučit pouze výjimečně. Jsou totiž filmotvorné a při jejich aplikaci se objevuje nebezpečí vzniku souvislého, pro plyny a vodní páru jen omezeně propustného filmu.

### **3.1.3 Isokyanátové a fluorované polymery**

Pro úplnost je třeba se ještě zmínit o isokyanátových polymerech a polymerech obsahujících fluor, používaných jako hydrofobizační prostředky. V prvním případě se jedná o oligomerní látky, které reagují se vzdušnou vlhkostí za vzniku vysokomolekulárního polymeru. Jsou většinou velmi odolné vůči stárnutí a jako hydrofobizační prostředky velmi účinné. Nabízeny jsou lae pouze jenom ve světě, např. pod obchodní značkou Fomblin. Tyto vysokomolekulární polymery jsou velmi účinné hydrofobizační i „antigrffiti“ nátěry. Jelikož jsou rozpustné pouze v rozpouštědlech, které obsahují halogenované uhlovodíky, jsou z ekologického hlediska zcela nevhodné. Dnes jsou nabízeny vodou ředitelné prostředky obsahující vodnou emulzi fluorovaného

polymeru. Oba tyto uvedené polymery jsou ve srovnání se silikonovými prostředky výrazně dražší.

### **3.1.4 Emulze a roztoky vosků**

Další skupinu hydrofobizačních prostředků tvoří roztoky nebo emulze vosků. Používají se hlavně na povrchy materiálů s nižší porózitou, i když je jimi možno úspěšně ošetřovat i materiály porézní. Vodou ředitelná varianta voskových emulzí má opět nevýhody vyplývající z nutné přítomnosti smáčedel. Podstatný vliv na kvalitu ošetření těmito materiály má chemická stabilita vosku. Obvykle se uvádí, že nejvhodnější je **včelí vosk**. Bohužel, jeho stálost není neomezená (jak se někdy tvrdí) a má díky mírné lepivosti určitý sklon ke špinění. Dnes se pro tento účel používají tvrdší a houževnatější vosky vznikající při zpracování ropy – **ceresinu** tzn. **mikrokrystalický vosk**. Tyto vosky bývají ve formě voskových emulzí nebo past.

### **3.1.5 Roztoky hlinitých solí mastných kyselin**

V praxi jsou pro hydrofobizaci povrchů stavebních materiálů používány i roztoky hlinitých solí mastných kyselin – nejčastěji **stearát hlinitý**. Je to látka cenově výhodnější než organokřemičité hydrofobizační látky, relativně odolná vůči alkalickému prostředí i stárnutí. Silikonovým prostředkům se však ve stálosti a účinnosti nevyrovná.

## **3.2 Způsoby aplikace hydrofobizačních prostředků**

U většiny prostředků musí být ošetřovaný povrch suchý, v případě obvodového zdiva několik dní chráněný před deštěm. Doporučená teplota pro aplikaci hydrofobizačních prostředků je většinou mezi +10 až +25 °C. Při vyšších teplotách, než je teplota doporučená, může docházet ke zvýšenému odpařování rozpouštědla a tím nepříznivě ovlivnit pronikání prostředku do materiálu. Před slunečním zářením je vhodné ošetřovaný povrch chránit zastíněním. Naopak při příliš nízkých teplotách i nízké vlhkosti vzduchu (pod 30%) může být odpařování rozpouštědla a případně i chemická reakce, při níž vzniká účinná látka, významně zpomalena. Silný vítr může urychlit odpařování rozpouštědla se stejným účinkem jako vysoká teplota aplikace. Čerstvě ošetřený povrch by měl být podle citované směrnice WTA [14] minimálně 5

hodin chráněn před deštěm, ovšem někteří výrobci doporučují ve svých technických listech ještě delší dobu.

Aplikace hydrofobizérů bývá **nátěrem, postříkem, volným smáčením povrchu**, u menších předmětů i **ponořením nebo vzlínáním**. Spotřeba je silně závislá na porositě ošetřovaného materiálu, obvykle leží v rozmezí 0,1 - 1,0 l/m<sup>2</sup>. U velmi porézních materiálů může být dokonce ještě vyšší. Směrnice WTA [14] uvádí, že při aplikaci nátěrem by měla impregnační kapalina stékat asi 30 až 50 cm po povrchu než se vsákne do porézní struktury, aby bylo docíleno dostatečného nasycení porézního systému hydrofobizačním prostředkem. Na množství naneseného prostředku závisí nejen samotná vodoodpudivost povrchu, ale i hloubka, do které se prostředek dostal. Většina aktivních látek hydrofobizačních prostředků vlivem UV složky slunečního záření postupně degraduje a ztrácí účinnost. Toto záření však do hmoty stavebního materiálu prakticky nepronikne, proto je chemický prostředek ve hmotě pod povrchem proti účinkům UV paprsků chráněn. Je tedy zřejmé, že určitá hloubka penetrace prostředku podporuje životnost zásahu.[18]

### 3.3 Rizika při provádění hydrofobizace

Nejčastější chybou, kterou lze při hydrofobizaci udělat, je ošetření materiálu obsahujícího vodorozpustné soli. Někdy je hydrofobizace pokládána za ochranu před výkvěty solí na povrchu zdiva mohou-li se však roztoky solí pohybovat za vodoodpudivou vrstvou materiálu, může docházet k tzv. vnitřní korozi. Odpařováním vody ošetřenou vrstvou dochází ke zvyšování koncentrace solí v porézním systému pod touto vrstvou, vznikající krystaly se zde hromadí a hrozí odtrhnutí celé vodoodpudivé vrstvy. Děj je o to nebezpečnější, že se vnitřní koroze na vodoodpudivém povrchu dlouhou dobu neprojevuje, její účinek je viditelný až v okamžiku, kdy napadený materiál se začne odlupovat.

U některých prostředků může být nežádoucím důsledkem jejich aplikace i podstatné zvýšení odporu proti průchodu plynů včetně vodní páry (např. vosky a oleje). Zpravidla zcela bezpečné jsou v tomto směru silikonové prostředky, jsou-li správně aplikovány.

Jiným, spíše estetickým nedostatkem může být charakteristický způsob špinění hydrofobizovaných povrchů. Na hydrofobizovaném povrchu nečistoty spolu s vodou stékají po povrchu v úzkých pramíncích vytvářejí charakteristické svislé, prakticky rovnoběžné „šmouhy“. Z technologického hlediska se nejedná o závadu, avšak vzhled takovéto fasády je nepěkný. Proto je vhodné pečlivě zvážit rozsah hydrofobizace i její stupeň – množství prostředku použité na jednotku plochy. Vzniku těchto estetických nedostatků lze zcela předejít pravidelným mytím hydrofobizovaného povrchu. [19]

### 3.4 Hodnocení hydrofobizace

Při hodnocení účinnosti hydrofobizačních prostředků se sledují především vlastnosti ošetřeného materiálu hydrofobizací ovlivněné. Měří se obvykle jeho nasákavost destilovanou vodou nebo vodnými roztoky solí či velikost smáčecího úhlu vody na ošetřeném povrchu. Vizualně je hodnocena změna barvy, lesk a zkouší se i lepidlost povrchu po hydrofobizaci. Míra tolerovaných (či naopak požadovaných) změn není obecně přesně definována – s výjimkou citované směrnice WTA. Podle ní by nasákavost ošetřeného kamene ve srovnání s neošetřeným měla poklesnout minimálně o 70 % a propustnost pro vodní páru (měřená podle DIN 52 615, v ČR dle ČSN EN ISO 12572) by se neměla snížit o více než 10 %. Barva ošetřeného povrchu by se měla změnit pouze minimálně, povrch by měl zůstat samozřejmě nelepivý a nelesklý.

Nasákavost hydrofobizovaných zkušebních vzorků vodou se měří zpravidla jejich postupným ponořením (měřená podle ČSN EN 1015-18), na reálných objektech nebo na větších vzorcích se používá pro měření nasákavosti tzv. Karstenových trubic. V obou případech samozřejmě závisí hodnota nasákavosti ve velké míře na spotřebě hydrofobizačního prostředku. Proto, pokud je cílem srovnání několika prostředků, je nezbytně nutné definovat, jak velká byla spotřeba hydrofobizační látky (např. na jednotku zkoumané plochy).

Smáčecí úhel se obvykle měří z tvaru kapky vody na ošetřovaném povrchu. Pomocí speciálního optického zařízení se kapka vyfotografuje a na fotografii se změří požadovaný úhel, který svírá tečna k jejímu povrchu



s podkladem, na němž kapka leží. Opět je třeba definovat množství použitého prostředku např. spotřebou na jednotku plochy. Hodnoty smáčecího úhlu hydrofobizovaného silikátového materiálu bývají vyšší než 70°.

Pokud nás zajímá hloubka, do které hydrofobizační prostředek pronikl, využívá se pro její posouzení změny smáčivosti hmoty s vodooodpudivou úpravou a bez ní pro vodu nebo obecně vodné systémy. Zpravidla se tento rozdíl na příčném řezu zkoumaného materiálu „zviditelňuje a zvýrazňuje“ smočením vodou nebo vodným roztokem vhodného barviva (inkoust apod.). U materiálů, které obsahují uhlíčitan (malty, omítky, vápence a mramory apod.), je možno pro sledování použít zředěný roztok např. kyseliny chlorovodíkové. Nehydrofobní hmota je kyselinou odleptána, vzniklý reliéf ukazuje rozložení hydrofobní látky. Rozložení hydrofobního prostředku nejen v rovině řezu, ale v celé sledované hmotě zkušebního tělíska je možno posoudit použitím neutronografie. Toto měření je založeno na tom, že proud neutronů je průchodem hmoty s dostatečným počtem „lehkých“ atomů zeslaben. Je možno tedy sledovat rozložení samotného prostředku obsahujícího uhlovodíkové řetězce s vázanými atomy vodíku, nebo naopak rozložení vody v nehdrofobní hmotě po předešlém ponoření zkoumaného tělesa do vody.

Životnost hydrofobní úpravy je možno do určité míry posuzovat z výsledků zkoušek urychleného stárnutí ve vhodné komoře. Přenos takto získaných údajů do skutečné životnosti však je velice nejistý. Zkušenost však ukazuje, že kvalitní silikonové prostředky neztrácejí svoji účinnost ani po 20 letech vystavení vlivu povětrnosti. **[18-19]**

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

### 1 CÍL PRÁCE

Bakalářská práce se bude věnovat návrhu způsobu hydrofobizace cihelných dutinových tvarovek určených pro výstavbu soklového zdiva a obvodových konstrukcí zatížených zvýšeným účinkem vlhkosti. Cílem práce bude nalezení optimálního způsobu snížení nasákavosti (hydrofobizace) prvků, a to jednak z pohledu výsledných užitných vlastností, tak i z pohledu ekonomického. V rámci práce bude provedena rešerše v oblasti dostupných hydrofobizačních prostředků, vhodných pro danou aplikaci, na trhu v ČR. Teoretické vyhodnocení jejich ekonomické vhodnosti, a dále praktické ověření účinnosti vybraných hydrofobizerů na cihelných tvarovkách.

### 2 METODIKA PRÁCE

Pro ověření možnosti hydrofobizace cihelných tvarovek určených pro soklové zdivo byly vybrány keramické tvarovky PTH 25 EKO+ Profi, a to hlavně z důvodu nízké hmotnosti a menších rozměrů, oproti tvarovkám pro větší tloušťku zdiva. Tvarovky byly namáčeny po určitou dobu do vybraných druhů hydrofobizačních přípravků (IMESTA IW 550, LUKOFOB 39, DICOSIL 305, DICOSIL 100, HG 305), a po vysušení se tvarovky uložily do vodní lázně, kde se po určitých intervalech vyndávaly a vážily. Vážení trvalo 6 dnů. Poté se z jednotlivých měření vypočítala kapilární nasákavost tvarovek a výsledky zanesly do grafů.

#### 2.1 Použité pomůcky

- Plastová nádoba pro namáčení o objemu 30 litrů
- Plastové nádoby pro vodní uložení o objemu 60 litrů

- Váhy s přesností  $\pm 1$  g s váživostí 42 kg
- Stopky
- Odměrný válec o objemu 1 litr
- Konev o objemu 10 litrů

## 2.2 Použité hydrofobizéry

Vybrány byly následující hydrofobizéry:

- Lukofob 39 (vodní báze) - od firmy Lučební závody Kolín a.s.,
- Imesta IW 550 od firmy Imesta, spol. s r.o.
- HG 305 (rozpouštědlová báze),
- Dicosil 100 (vodní báze) od firmy Realsan Group SE,
- Dicosil 305 (vodní báze) od firmy Realsan Group SE.

**Tab. 2 - 1 Druhy vybraných hydrofobizérů použitých pro experimentální řešení**

Hydrofobizér	báze	ředění	aplikace	cena
<b>IMESTA IW 550</b>	silan-siloxanová mikroemulze	vodouředitelný (1:20, 1:30)	máčení	1 900 Kč/kg
<b>LUKOFOB 39</b>	silikonová - methylsilanolát draselný	vodouředitelný (1:10, 1:25)	máčení	187 Kč/kg
<b>DICOSIL 100</b>	hydrofobizované silikonáty	vodouředitelný (1:2)	máčení	70 Kč/l
<b>DICOSIL 305</b>	siloxanová emulze	vodouředitelný (1:15, 1:30)	máčení	1 624 Kč/l
<b>HG 305</b>	siloxanová	bezředění	nástřikem	380 Kč/kg

Pozn.: Podrobnější informace o zkoušených hydrofobizérech viz příloha Technické listy.

## 2.3 Pracovní postup

Keramické tvarovky PTH 25 EKO+ Profi byly poskládány na paletě v laboratoři, kde relativní vlhkost vzduchu byla 50 % a teplota  $+20\pm 2^\circ\text{C}$ .

V první fázi praktických pokusů byly vzorky označeny, zváženy a následně namáčeny do různých koncentrací roztoků hydrofobizérů, kde doba máčení

byla 10, 20 a 30 sekund, přičemž ponořeny byly celkem 70 mm hluboko (hladina roztoku sahala vždy 70 mm nad spodní hranu tvarovky).

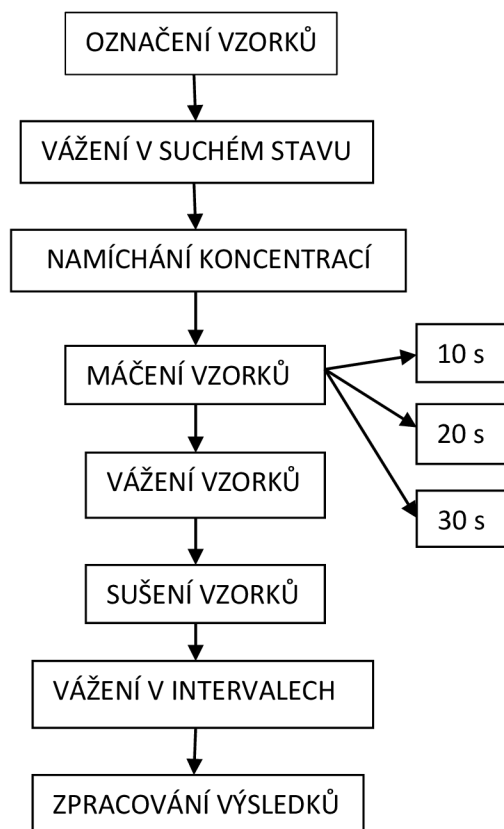
Po aplikaci hydrofobizéru byly tvarovky ponechány jeden týden za běžných laboratorních podmínek, aby došlo k odpaření vody a k pevnému připlnutí silikonové složky k podkladu. Poté se započalo zkoušet.

Tvarovky byly umístěny na dřevěný rošt do vodní lázně za laboratorní teploty  $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$  a zatopeny vodou přesně 50 mm nad spodní hranu. Dále bylo prováděno vážení tvarovek v požadovaných časových intervalech, nejprve po 1 hodině a dále 1x za den. Měření bylo ukončeno po 6 dnech.

Při každém měření byly vzorky vytaženy z roztoku, byly položeny na 3 min na odkapávací podložku, následně byla pomocí savého papíru odstraněna přebytečná voda a tvarovka byla vážena. Po té byla umístěna nazpět do lázně s vodou. Při měření byla voda průběžně kontrolována a doplňována tak, aby zůstala zachovaná konstantní hladiny 50 mm.

Po ukončení měření se výsledky zpracovaly, vypočetla se kapilární nasákavost a poté se výsledky vynesly do grafů.

Přípravek HG 305 se jediný aplikoval nástřikem pomocí stříčky, přičemž další kroky postupu byly stejné.



Obr. 2 -1 Schéma experimentální práce

### 3 Vyhodnocení jednotlivých experimentů

Po ukončení jednotlivých experimentů byla z naměřených hodnot vypočtena nasákavost [%] a kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] dle vzorců uvedených v teoretické části viz 1.1.3. Poté z vypočtených hodnot byly sestaveny následující závislosti:

- Závislost nasákavosti [%] na čase [h]
- Závislost kapilární nasákavosti [kg/m<sup>2</sup>] na čase [h]

**Tab.3 - 1 Přehled nasákavosti [%] za čas**

Nasákavost [%]					
Hydrofobizér	Báze	Koncentrace	Čas	24 h	96 h
IMESTA - IW 550	1	1:20	10	0,42	1,60
			20	0,41	1,39
			30	0,24	0,93
IMESTA - IW 550	1	1:30	10	0,35	0,76
			20	0,36	0,72
			30	0,38	0,67
LUKOFB 39	2	1:25	10	16,38	22,05
			20	15,52	21,51
			30	11,08	20,14
LUKOFB 39	2	1:10	10	10,27	19,77
			20	8,47	19,61
			30	6,54	17,65
DICOSIL 100	3	1:2	10	1,36	2,91
			20	1,26	2,15
			30	1,21	2,11
DICOSIL 305	4	1:30	10	8,58	16,21
			20	7,51	15,42
			30	6,25	15,11
DICOSIL 305	4	1:15	10	6,01	12,65
			20	6,34	12,35
			30	5,52	11,01
HG 305	5	-	-	9,42	17,26
Referenční	Referenční			25,70	27,22

**Tab.3 - 2 Přehled kapilární nasákavosti [kg/m<sup>2</sup>] za čas**

Kapilární nasákavost [kg/m <sup>2</sup> ]					
Hydrofobizér	Báze	Koncentrace	Čas	24 h	96 h
IMESTA - IW 550	1	1:20	10	0,79	3,04
			20	0,77	2,64
			30	0,45	1,77
IMESTA - IW 550	1	1:30	10	0,65	1,44
			20	0,63	1,36
			30	0,60	1,27
LUKOFOB 39	2	1:25	10	32,98	42,31
			20	29,78	40,56
			30	20,65	40,07
LUKOFOB 39	2	1:10	10	20,97	40,03
			20	17,26	38,19
			30	12,63	35,98
DICOSIL 100	3	1:2	10	2,50	5,33
			20	2,44	4,16
			30	2,13	3,89
DICOSIL 305	4	1:30	10	15,69	29,51
			20	11,74	28,19
			30	10,85	26,52
DICOSIL 305	4	1:15	10	12,35	24,64
			20	11,32	23,25
			30	6,28	19,97
HG 305	5	-	-	18,39	33,70
Referenční	Referenční			47,65	50,47

Pozn. Značení jednotlivých bází hydrofobizérů:

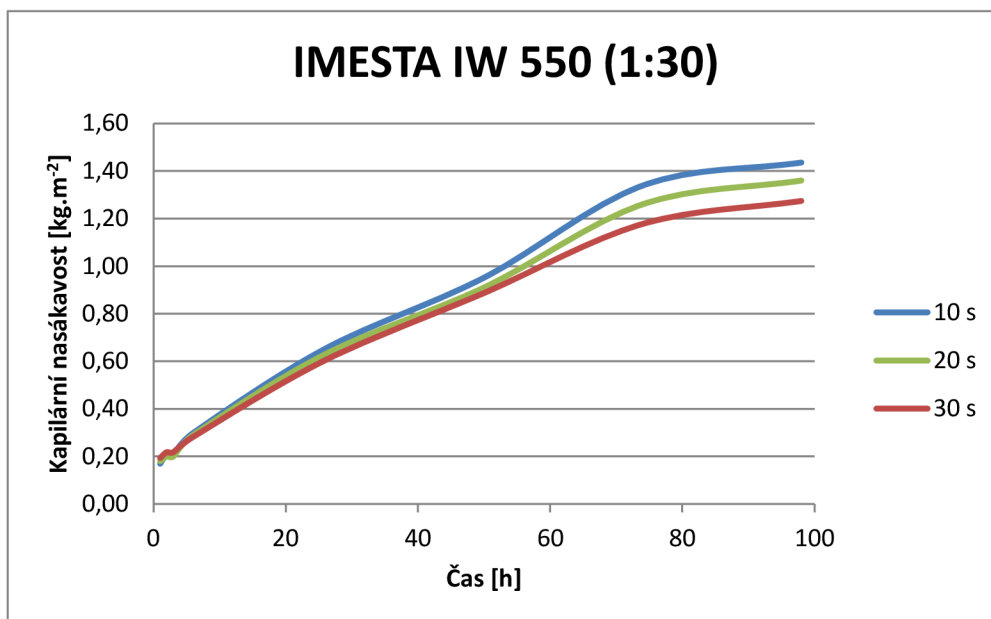
- 1 - silan-siloxanová mikroemulze
- 2 - silikonová - methylsilanolát draselný
- 3 - hydrofobizované silikonáty
- 4 - siloxanová emulze
- 5 - siloxanová

U každého vzorku bylo z naměřených hodnot vypočteno množství vsáknutého přípravku a na základě toho vypočtena cena přípravku spotřebovaného na jeden kus tvarovky viz Tab. 3 – 3.

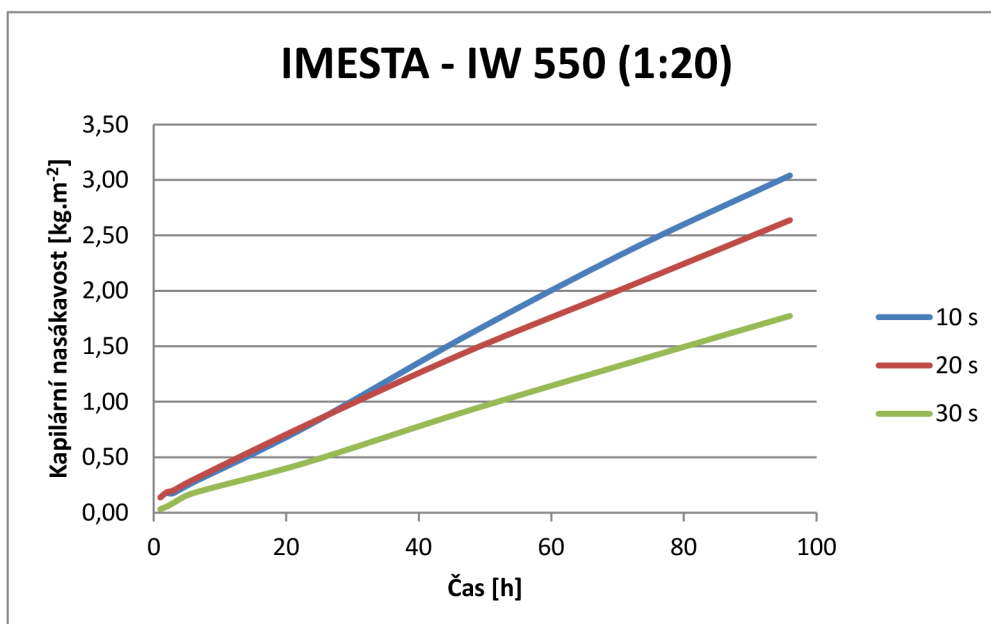
**Tab. 3 – 3 Přehled množství vsáknutého hydrofobizačního přípravku na jeden kus tvarovky**

Hydrofobizér	Koncentrace	Doba máčení	Množství nasáklého přípravku [g]	Cena přípravku [Kč/ks]
<b>IMESTA IW 550</b>	1:20	10 s	17,3	32,9
		20 s	17,5	33,25
		30 s	11,5	21,9
	1:30	10 s	9,6	18,2
		20 s	10,3	21,0
		30 s	11,9	22,7
<b>LUKOFOB 39</b>	1:10	10 s	48,2	9,0
		20 s	55,9	10,5
		30 s	58,6	11,0
	1:25	10 s	21,6	4,0
		20 s	24,8	4,6
		30 s	27,8	5,2
<b>DIKOSIL 100</b>	1:2	10 s	192,2	13,8
		20 s	197,3	14,2
		30 s	214,0	15,4
<b>DICOSIL 305</b>	1:15	10 s	13,8	22,5
		20 s	14,4	23,3
		30 s	18,3	29,7
	1:30	10 s	22,0	35,8
		20 s	23,8	38,6
		30 s	33,5	54,4
<b>HG 305</b>	-	-	248,0	94,2

**Graf 3 - 1 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (IMESTA IW 550, 1:30)**

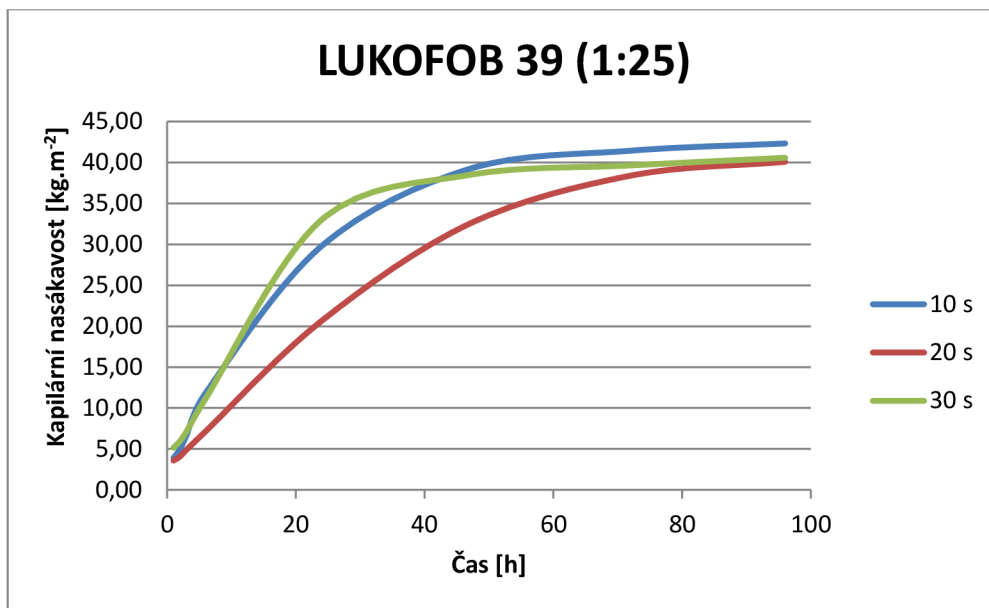


**Graf 3 – 2 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (IMESTA IW 550, 1:20)**

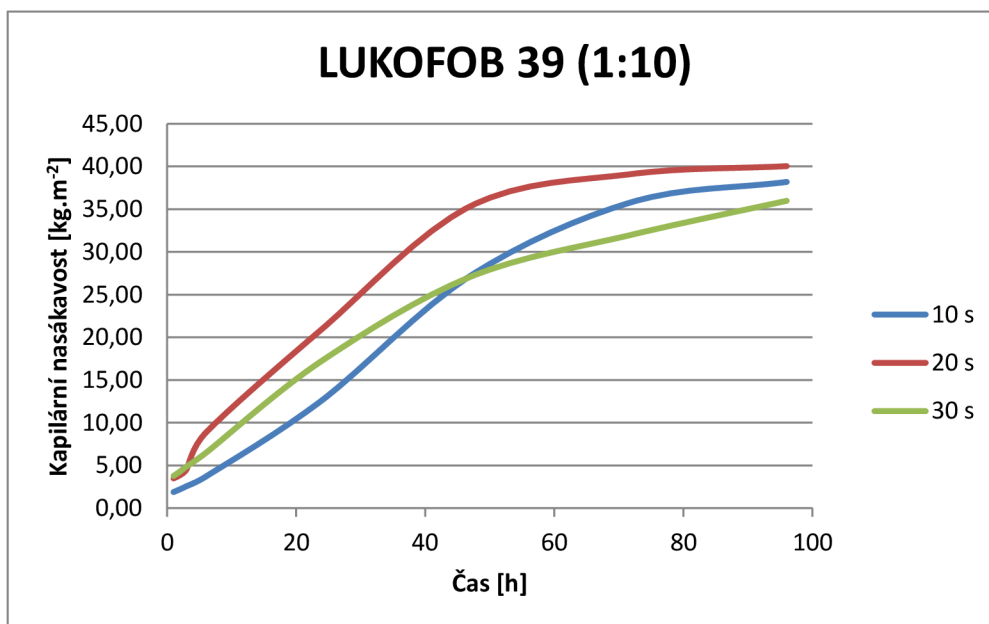




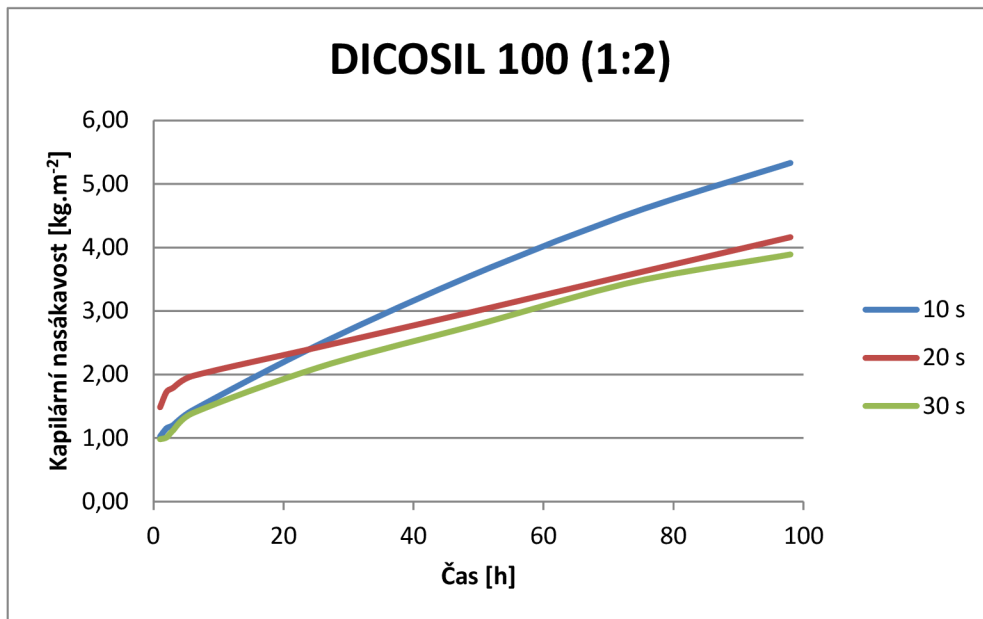
**Graf 3 - 3 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (LUKOFOB 39, 1:25)**



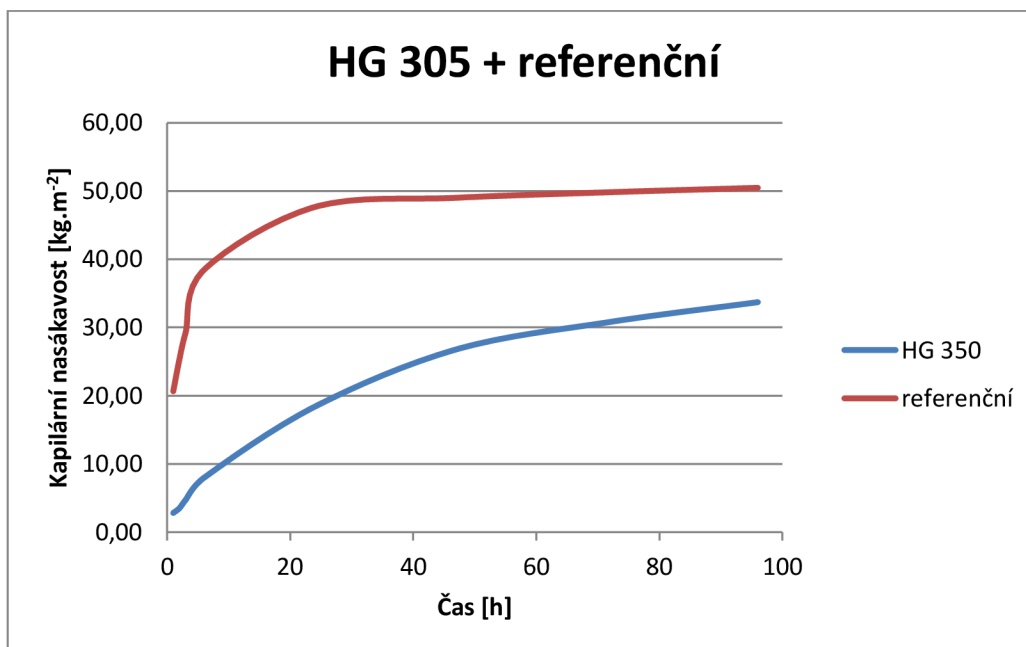
**Graf 3 - 4 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (LUKOFOB 39, 1:10)**



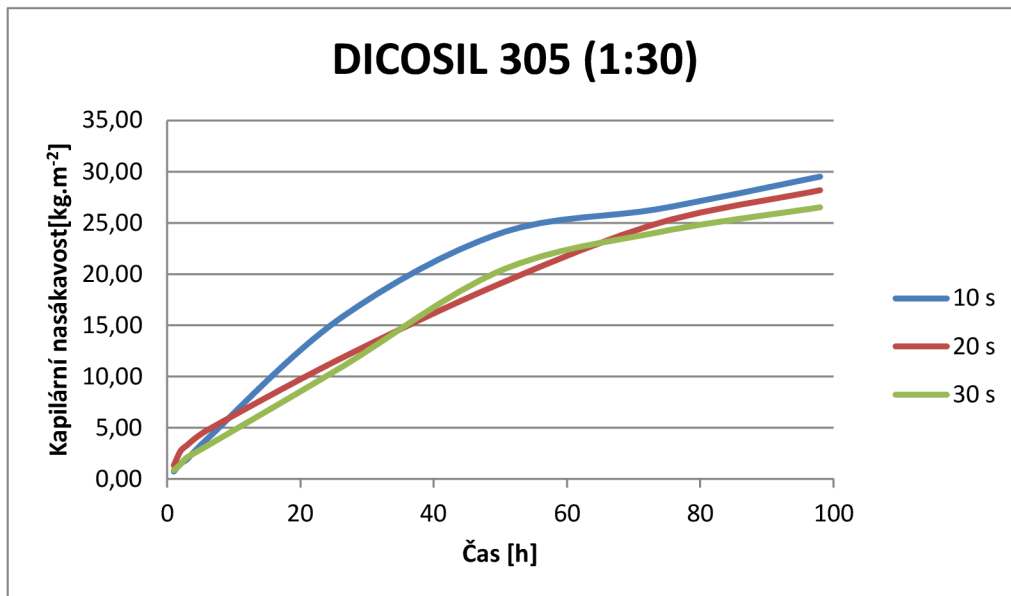
**Graf 3 - 5 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (DICOSIL 100, 1:2)**



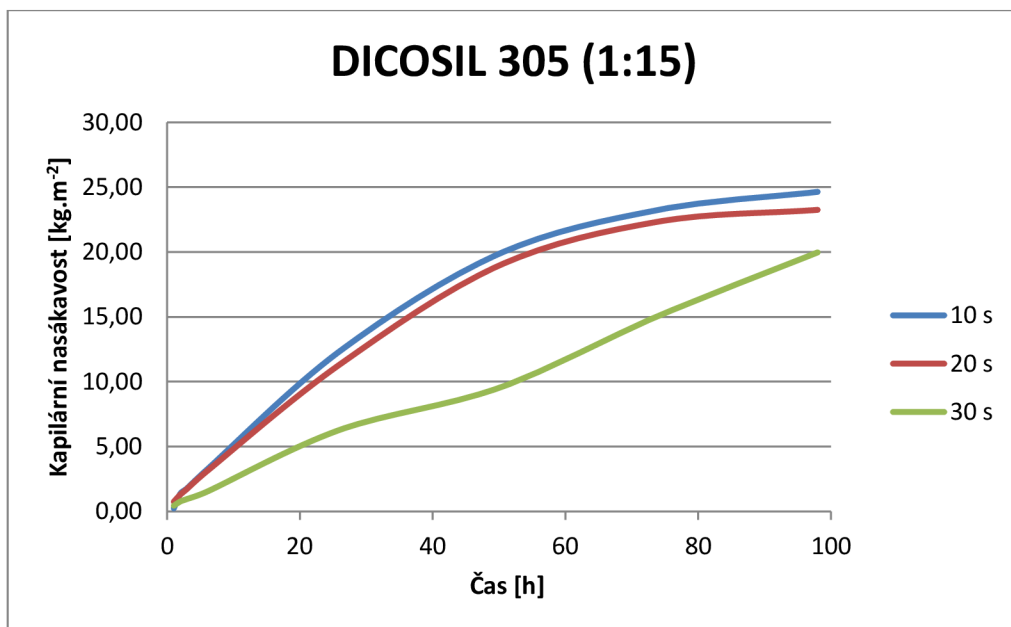
**Graf 3 - 6 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (HG 305 + referenční vzorek)**



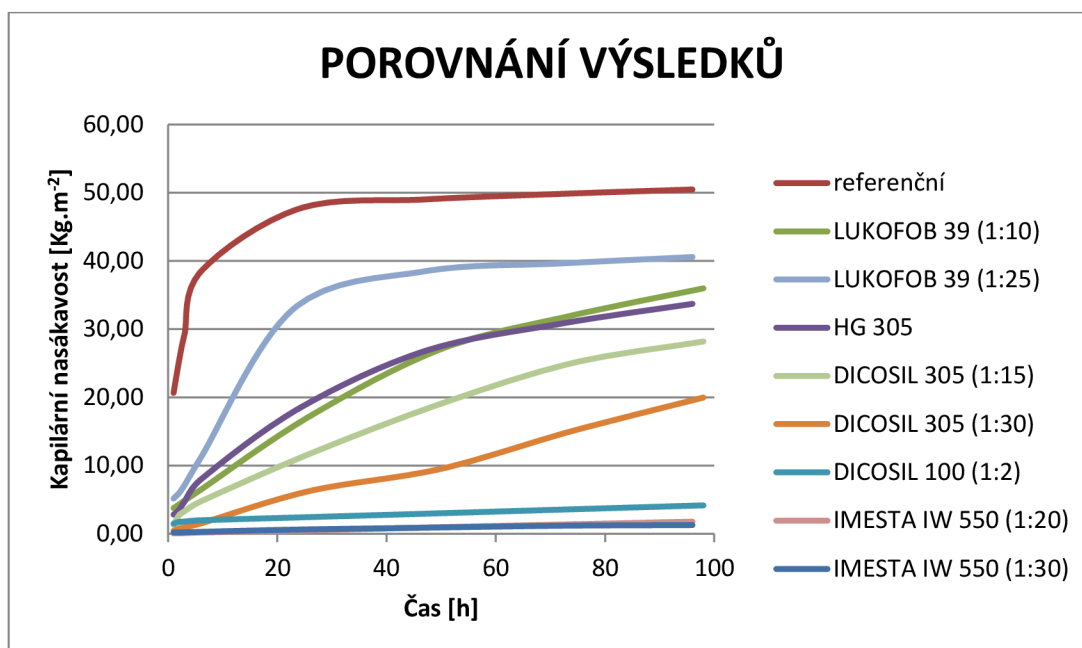
**Graf 3 - 7 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (DICOSIL 305, 1:30)**



**Graf 3 - 8 Kapilární nasákavost [kg/m<sup>2</sup>] v závislosti na čase [h], (DICOSIL 305, 1:15)**



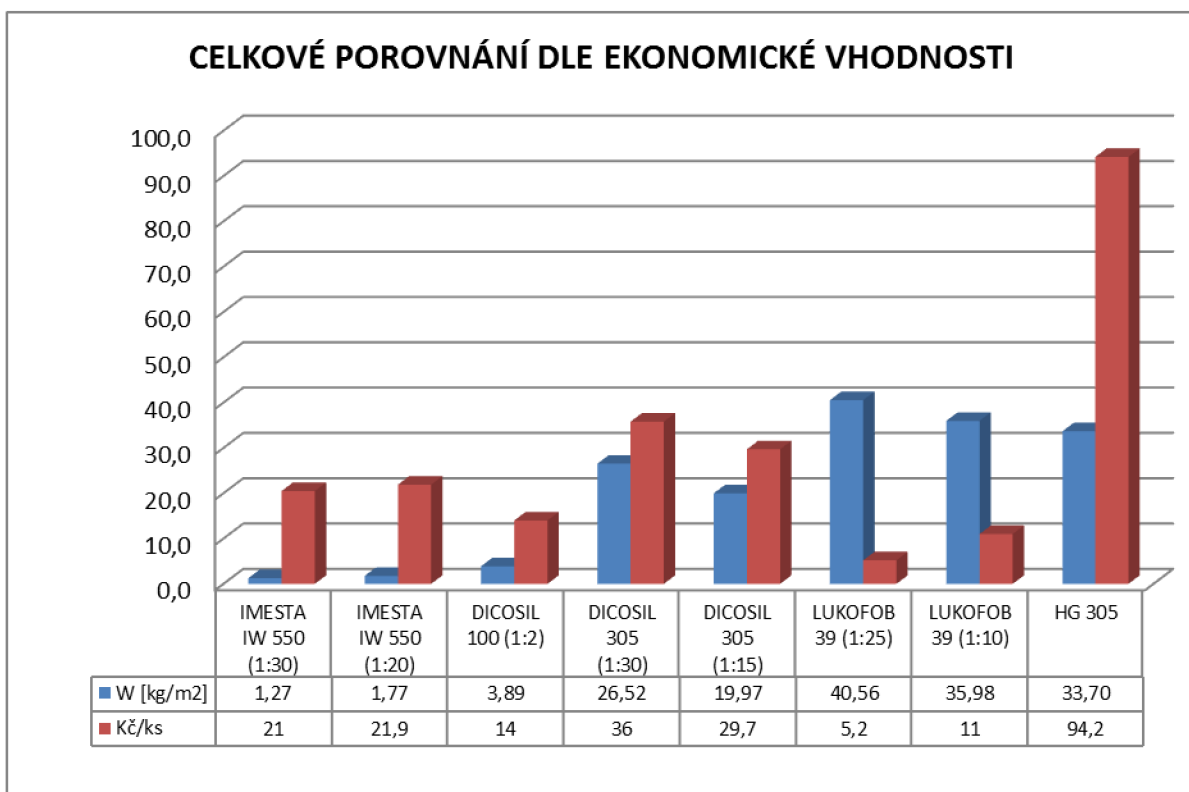
**Graf 3 - 9 Porovnání výsledků jednotlivých experimentů**



Do grafu 3 – 9 byly vyneseny jednotlivé kapilární nasákavosti všech použitých hydrofobizačních přípravků a porovnané z referenční čistou tvarovkou, která byla zkoušena za stejných laboratorních podmínek jako ostatní ošetřené tvarovky. Z grafu lze vidět, že ošetřené tvarovky mají nižší hodnotu kapilární nasákavosti než tvarovka čistá, která dosáhla hodnoty až 50,47 kg/m<sup>2</sup>. Můžeme tedy říci, že všechny zkoušené hydrofobizační přípravky snižují kapilární nasákavost, a proto jsou vhodné k opatření soklového zdiva zatíženého zvýšeným účinkem vlhkosti.

Na základě ceny (viz Tab. 2 – 1) a množství vsáknutého přípravku byla u každého hydrofobizéru a každé koncentrace vypočtena cena spotřebovaného přípravku na jednu tvarovku (viz Tab. 3 – 3). Porovnání jednotlivých zkoušených hydrofobizérů z hlediska účinnosti a ekonomické vhodnosti lze vidět z následujícího grafu 3 -10.

**Graf 3 - 10 Celkové vyhodnocení dle účinnosti a ekonomické vhodnosti**

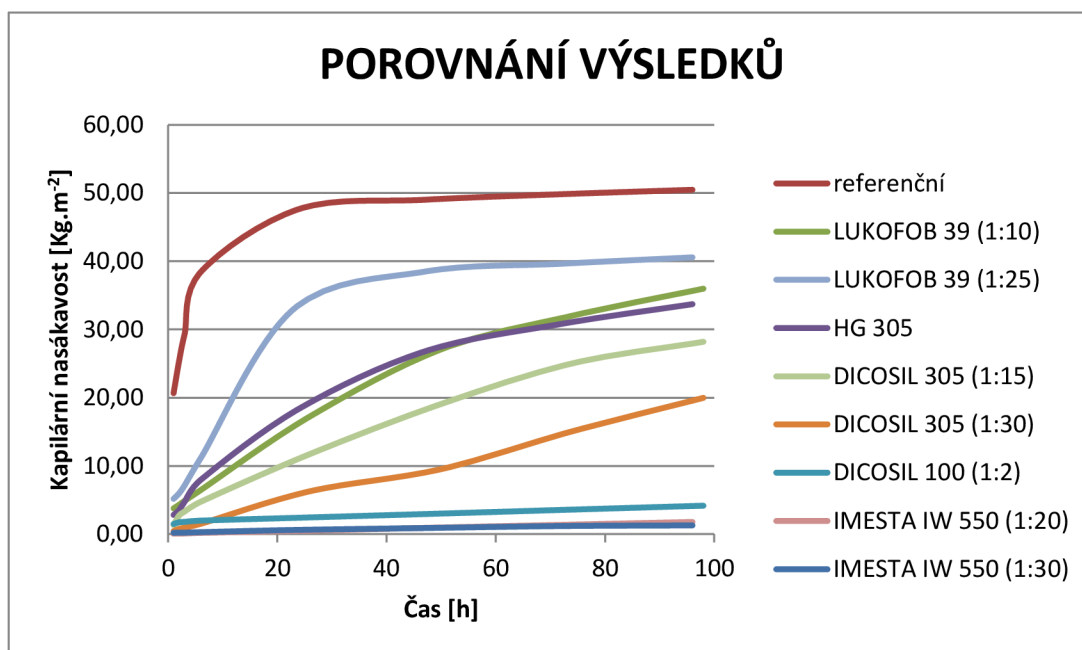


## 4 Diskuze výsledků

Z grafického vyhodnocení (viz graf 3 – 9) lze vyčíst jednotlivé účinnosti zkoušených hydrofobizérů. U ošetřené tvarovky hydrofobizačním přípravkem pod názvem IMESTA IW 550 byla naměřena, při koncentraci 1:30, době máčení 30 vteřin a době uložení 98 hodin, kapilární nasákavost  $1,27 \text{ kg/m}^2$ . U téhož přípravku při koncentraci 1:20 a stejné době máčení je nasákavost nepatrně vyšší. Přípravek DICOSIL 100, ředěn v poměru 1:2 při době máčení 20 s, má ošetřená tvarovka oproti IMESTĚ IW 550 vyšší kapilární nasákavost  $4,16 \text{ kg/m}^2$ . Další zkoušený přípravek byl DICOSIL 305, který při koncentraci 1:30 a době máčení 30 sekund, má tvarovka kapilární nasákavost  $19,97 \text{ kg/m}^2$  a při koncentraci 1:15  $29,51 \text{ kg/m}^2$ . Vzorek ošetřen LUKOFOBEM 39 při koncentraci 1:25 a době máčení 30 vteřin má nasákavost  $40,07 \text{ kg/m}^2$  a při ředění 1:10  $39,09 \text{ kg/m}^2$ . Poslední zkoušený impregnační přípravek byl HG 305, který se jako jediný na tvarovku aplikoval nástřikem. Je možné, že se přípravek při aplikaci zcela nedostal do dutin tvarovky a proto došlo k vysokému nasáknutí.

Lze tedy říci, že hydrofobizační přípravek IMESTA IW 550 a DICOSIL 100 jsou z hlediska účinnosti nevhodnější, zatímco LUKOFOB 39 při koncentraci 1:25 se ukázal velice neúčinný. U všech ošetřených vzorků lze předpokládat, že s postupem času by došlo k úplnému nasáknutí tvarovky vodou.

**Graf 3 - 9 Porovnání výsledků jednotlivých experimentů**



Z hlediska ekonomického je nejvýhodnější přípravek DICOSIL 100, který byl ředěn v poměru 1:2. Cena spotřebovaného přípravku na jednu tvarovku vychází zhruba na 14 Kč. U IMESTY IW 550, při koncentraci 1:30, se pohybuje cena spotřebovaného přípravku na jednu tvarovku okolo 21 Kč. Jako zcela nevýhodný přípravek se jeví HG 305, kde cena spotřebovaného přípravku na jednu tvarovku je až 94 Kč. LUKOFOB 39, při koncentraci 1:30, vychází ze všech přípravků nejlevněji a to 9 Kč za kus. Jeho účinnost je ale velmi nízká, a proto je z ekonomického hlediska nevýhodný.

## ZÁVĚR

Na cihelných tvarovkách PTH 25 EKO+ Profi bylo vyzkoušeno 5 druhů hydrofobizačních přípravků na silikonové bázi. IMESTA IW 550, LUKOFOB 39, DICOSIL 100 A DICOSIL 305 se aplikovaly na tvarovku máčením a HG 305 nástřikem. Tvarovky byly 6 dní ve vodním uložení a průběžně se měřila jejich hmotnost. Poté byla z naměřených hodnot vypočtena kapilární nasákavost ( $\text{kg/m}^2$ ) jednotlivých vzorků a bylo provedeno porovnání s referenční tvarovkou bez hydrofobizačního opatření (viz. Graf 2 – 9).

Jak je patrné z výše uvedených grafů, tak z hlediska účinnosti a ekonomické vhodnosti vyhovuje IMESTA IW 550 na bázi silan-siloxanové mikroemulze a DICOSIL 100 na bázi hydrofobizovaných silikonátů. Přípravky DICOSIL 305 na bázi bezrozpouštědlové siloxanové emulze a LUKOFOB 39 na bázi silikonové, kde hlavní účinnou složku tvoří methylsilanolát draselný, vykazují poměrně malou účinnost, a proto se nehodí do prostředí se zvýšenou vlhkostí. Poslední zkoušený impregnační přípravek na siloxanové bázi byl HG 305. Tento přípravek je zcela nevýhodný k opatření soklového zdiva zatíženého zvýšeným účinkem vlhkosti a to jak z hlediska účinnosti i ekonomické vhodnosti.



## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Doc. Ing. Milan Vlček, CSc., Doc. Ing. Ivan Moudrý, CSc., Ing. Miloslav Novotný, CSc., Ing. Petr Beneš, Poruchy s rekonstrukce v pozemních stavbách II.
- [2] Svoboda, Luboš a kolektiv. Stavební hmoty. Bratislava: Jagamedia, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [3] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení
- [4] ČSN P 73 0606 Hydroizolace staveb – Povlakové hydroizolace – Základní ustanovení stanovení
- [5] ČSN P 73 0600 Hydroizolace staveb – Základní ustanovení
- [6] ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie
- [7] Michael Balík, Vysušování zdiva I, Třetí, upravené vydání, Praha 2002
- [8] Michael Balík, Odvlhčování staveb, Grada Publishing, a.s., 2005
- [9] Witzany, J., Poruchy a rekonstrukce zděných budov. Praha: ŠEL 199. ISBN 80-902697-5-3
- [10] Halahyja M., Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie, Bratislava, 1985
- [11] HOCHMANN, R., SETZER, M. J. *Bauphysikalische Formeln und Tabellen*, Dusseldorf : Werner-Verlag, 1997, 2001
- [12] Šťastník S., Izolační materiály, modul M01, Vlhkost ve stavebních materiálech
- [13] de Vries, J. – Polder, R. B.: Hydrophobic Treatment of Concrete, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 2, 145, 1996
- [14] WTA Merkblatt 1-84 3-2, 84, Hydrofobizační přípravky přírodního kamene

- [15] van Hees, R. P. J.: Test Methods for the Evaluation of the In Situ Performance of Water-repellent Treatments, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 2, 117, 1996
- [16] van Hees R. P. J., Lubelli B., Hacquebord A.: Experimental study of the distribution of chemical products against rising damp in substrates with different water saturation degrees, Construction and Building Materials 40, 891–898, 2013
- [17] Rathouský, J.: Konzervační prostředky pro kámen i jiné stavební materiály, přílohy časopisu Zprávy památkové péče, 6, 1994
- [17] Rathouský, J.: Konzervační prostředky pro kámen i jiné stavební materiály, přílohy časopisu Zprávy památkové péče, 6, 1994
- [18] Kotlík, P. – Zelinger, J.: Stručný prehľad metód použiteľných na sledovanie hĺbky penetrácie polymérnych spevňujúcich látok v porózných kameňoch. Pamiatky príroda, č. 6, 13, 38, 1982
- [19] Kotlík, P.: Stavební materiály historických objektů, 1. vydání, Praha 1999, ISBN 80-7080-347-9
- [20] ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 2 : Požadavky
- [21] Sokolář, R., Současné pálené zdicí prvky pro vnější obvodové zdivo a jejich použití, Realizace staveb, ISSN 1802-0631, Jaga Media, s.r.o., Praha, 2011
- [22] Pytlík, P, Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM, Brno 1998
- [23] Matoušek, M., Lehké stavební látky II, SNTL, Praha 1985
- [24] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002

## **SEZNAM PŘÍLOH**

1. Technický list DICOSIL 100
2. Technický list DICOSIL 305
3. Technický list IMESTA IW 550
4. Technický list LUKOFOB 39