

# OVLIVNĚNÍ FYZIKÁLNÍCH FAKTORŮ MIKROVLNNÝM ZÁŘENÍM

AFFECTING OF PHYSICAL FACTORS BY MICROWAVE RADIATION

Ing. Procházka Martin; Ing. Sobotka Jindřich

## ABSTRAKT

Vysoušení stavebních konstrukcí pomocí vysokofrekvenčního elektromagnetického záření (EMW), neboli mikrovlnné technologie (MW), se začíná v praxi stále více uplatňovat. Jedná se o metodu, pomocí které lze nejrychlejším způsobem eliminovat nežádoucí obsah vody ve stavební konstrukci (stěna, stropní konstrukce, atd.). Mikrovlnami je nazývána část elektromagnetického záření o frekvenci 300 MHz až 300 GHz s vlnovou délkou 122 mm. Díky působení MW záření se zobrazí rozdílná homogenita teplotního pole u různých stavebních materiálů.

Článek pojednává o změnách fyzikálních faktorů v závislosti na objemu vody a tím i na velikosti hmotnostní vlhkosti daného materiálu (plynosilikát). Dalším z faktorů bude šíření teplotního pole. Šíření bude zobrazováno pomocí termokamery. Měření probíhalo vždy po určitých časových cyklech ozařování.

**Klíčová slova:** Mikrovlnné záření, vysoušení zdiva, transport vlhkosti, vlhkost, teplotní pole.

## ABSTRACT

Building construction drying using high-frequency electromagnetic radiation (EMW), or microwave technology (MW), is gaining more usage in practise. It is the quickest way of eliminating water content in construction (wall, ceiling, etc.). Microwave is a term for a part of the electromagnetic radiation of 300 MHz to 300 GHz frequency with a wavelength from 1 mm to 1 m. The frequency of 2,45 GHz and 122 mm wavelength is used for technical practice. Due to the effect of MW radiation a different homogeneity of temperature field can be observed.

This article deals with physical factors changes depending on the water content as well as on mass humidity of the material (silica fume). Another factor is the spreading of the temperature field, which is monitored with thermal imaging. Measurement was carried out after a certain time cycles of irradiation.

**Key words:** Microwave radiation, microwave drying, moisture transport, humidity, temperature field.

## 1 ÚVOD

Při řešení sanacích stavebních konstrukcí je velmi často nutné snížení vlhkosti, která byla zvýšena vzhledem k vadě či poruše ve stavbě. Se zvýšenou vlhkostí na stavbě vzniká možnost výskytu biotických škůdců, kteří mohou následně ovlivňovat jednak životnost stavebních konstrukcí a objektu ale i kvalitu vnitřního prostředí budovy.

Tyto příčiny nadměrného zvýšení obsahu vody v konstrukci může být:

- Likvidace následků povodní;

- Havárie TZB;
- Pronikání vlhkosti z vnějšího prostředí.

Po odeznění či odstranění příčin, tak zůstává ve zdivu nemalé množství vody, které je nutné odstranit. Tedy prostor rychle a efektivně vysušit, aby mohl být opět plnohodnotně využíván. [1]

Hodnocení vlhkosti	Vlhkost zdiva [% hm.]
Velmi nízká	<3
Nízká	3-5
Zvýšená	5-7,5
Vysoká	7,5-10
Velmi vysoká	>10

Tab. 1 Hodnocení vlhkosti zdiva dle ČSN 73 0610

V současné době je spousta způsobů jak snížit zvýšený obsah vody v konstrukci rychlejším způsobem, než přirozenou cestou. Mezi možnosti urychleného vysoušení patří například kondenzační a absorpční vysoušení, teplo a horkovzdušné vysoušení, topné tyče a mikrovlnný ohřev.

Vysoušení pomocí mikrovlnného záření je v současnosti nejrychlejší, nejefektivnější a nejlevnější postup. To snižuje obsah vody v materiálu na základě zahřívání molekul vody. Tím se v konstrukci rozšiřuje teplotní pole, které napomáhá rychlejšímu vysušování konstrukce.

Vzorky budou ozařovány MW přístroji o výkonu 1100W určitou dobu, přičemž bude snímáno termokamerou FLIR i7 šíření teplotního pole. Vlhkost jednotlivých prvků bude měřena vlhkoměrem MOIST 210B.

## 2 VEDENÍ TEPLA VE STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍCH

Vedení tepla je definováno jako přenos tepla z jedné látky (pevné, kapalné nebo plynné) na druhou látku, která je s ní v kontaktu, aniž by došlo ke zdatnému přemístění částic (atomů, molekul nebo iontů) tvořících dané látky. Přičemž charakter tepelného pohybu látky záleží na skupenství látky.

Na vedení tepla, má ovšem vliv i vlhkost daného materiálu. V praxi se používají tři typy analytické závislosti součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  na vlhkosti  $w$ . Jsou to lineární, kvadratická a kubická závislost.

$$\lambda = \lambda_0 + b \times w$$

$$\lambda = \lambda_0 + b \times w + c \times w^2$$

$$\lambda = \lambda_0 + b \times w + c \times w^2 + d \times w^3$$

Kde  $\lambda_0$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  jsou optimalizovány na experimentální data (např. metodou nejmenších čtverců). Vlhkost  $w$  se v těchto vztazích vyjadřuje buď v hmotnostních  $w_m$  nebo objemových  $w_v$  procentech. [2]

### Voda a vlhkost v konstrukcích

Určité procento vlhkosti obsahuje každá pevná látka. Její množství je závislé na teplotě, vlhkosti okolního vzduchu, daných atmosférických poměrech, pórovitosti, na průměru pórů a tvaru jejich stěn, na množství hygroskopických solí v zavlhhlém zdivu atd.

**Vlhkost.** Vlhkost materiálu je množství vody obsažené v pórovitém prostředí materiálu. Vyjadřuje se objemovým, nebo hmotnostním poměrem vody k pevné fázi materiálu.

Vlhkosti rozdělujeme na:

Hmotnostní vlhkost:

$$w_h = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} = \frac{m_k}{m_d}$$

Kde je:  $m_w$  hmotnost suchého materiálu [g];

$m_d$	hmotnost suchého materiálu	[g];
$m_k$	hmotnost kapaliny	[g];
$w_h$	hmotnostní vlhkost	[ - , % hmotnostní].

Vlhkost objemová:

$$w_w = \frac{V_v}{V_d} = \frac{(m_w - m_d)}{(q_k \times V_d)} = \frac{(w_h \times q_d)}{1000}$$

Kde je:	$V_v$	objem volné vody	[m <sup>3</sup> ];
	$V_d$	objem suchého materiálu	[m <sup>3</sup> ];
	$q_k$	hustota vody	[kg/ m <sup>3</sup> ];
	$w_v$	objemová hmotnost suchého materiálu	[kg/ m <sup>3</sup> ];
	$w_v$	objemová vlhkost	[ - , % objemová].

**Transport vody a vlhkosti v porézních materiálech.** Vlhkost se vyskytuje prakticky ve všech stavebních materiálech a tudíž z nich vytvářených konstrukcích.

Šíření vlhkosti stavebními materiály probíhá jak v plynné, tak i v kapalně fázi. Vedení obvykle dělíme na mechanismy difuze pro vodní páru a kapilární vedení pro kapaliny.

Jednou z podmínek pro všechny vlhkostní pochody v konstrukci je přítomnost pórů ve stavebních materiálech. Jedná se zejména o póry otevřené, protože látky s uzavřenými póry nepodléhají transportním procesům.

**Difuze.** V každém objektu se vytváří mikroklima, které je nezávislé na klimatu v exteriéru. Tímto dochází k rozdílům mezi vlhkostí a teploty vzduchu v exteriéru a interiéru. Vyrovnáváním rozdílů těchto veličin vzniká tok vlhkosti a tepla obalovými konstrukcemi. Směr difuzního toku směřuje z místa s vyšším parciálním tlakem vodní páry do místa s tlakem nižším. Tento vlhkostní transport se nazývá difuze.

**Kapilární vedení vlhkosti.** Kapilární vedení vlhkosti je charakteristické pro vodou nasávkové materiály, čemuž odpovídá většina stavebních látek. Při kontaktu materiálu s vodou dochází k intenzivnímu nasávání vody, které nezávisí na sklonu pórů.

Výška kapilárního vztlínání je ovlivněna velikostí pórů. Materiál s většími póry nasává vodu sice rychle, ale výška vztlínání je nižší. Oproti tomu materiál s menšími póry saje vodu pomaleji, ale výška vztlínání je vyšší.

Takové nasycení vodou je u stavebních konstrukcí vlivem kapilárnímu vedení vody v praxi nepřijatelné. Kapilární vztlínání vlhkosti je nejčastějším způsobem zavlhání konstrukcí vystavených působení zemní vlhkosti.

Kapilární elevace je charakterizována rozdílem výšky hladiny kapaliny v kapiláře proti úrovni hladiny v okolí. Tento jev je vyvoláván kapilárními silami mezi molekulami kapaliny a povrchem pevné látky. Povrchové napětí způsobuje, že se sloupec kapaliny pohybuje v kapiláře ve směru výslednice sil. V kapiláře s kruhovým průřezem působí povrchové napětí na stykové ploše v oblasti odpovídající obvodu pórů.

Maximální výška vztlínání vlhkosti v kapilárách se vyjádří:

$$h = \frac{(2 \times \delta \times \cos \Theta)}{(r \times \rho \times g)}$$

Kde je:	$\delta$	povrchové napětí kapaliny	[Nm <sup>-1</sup> ];
	$\Theta$	úhel smáčení mezi kapalinou a stěnou kapaliny	[°];
	$r$	poloměr kapiláry	[m];
	$\rho$	měrná hmotnost kapaliny	[kg m <sup>-3</sup> ];
	$g$	tíhové zrychlení 9,81 ms <sup>-2</sup> .	

Je potřeba vzít na vědomí, že skutečná výška vztlínání bývá menší než výška stanovená výpočtem, neboť současně probíhá i odpařování vlhkosti z materiálu. [3]

### 3 MIKROVLNNÉ ZÁŘENÍ

Mikrovlny jsou klasickým elektromagnetickým vlněním o frekvenci nižší, než je sluneční záření a proto nezanechávají žádné zbytkové záření škodlivé pro zdraví. Práce se zařízením je zcela bezpečná, k poškození zdraví může dojít jen přímým ozářením z několika cm po dobu více minut a to buď záměrně, nebo neopatrným zacházením se stroji. Zařízení, které se používá i námi při mikrovlnném záření je určeno pro sušení nekovových materiálů a nejen to, také k likvidaci plísní, hub, mikroorganismů a hmyzu.

Sestava používaná k ozařování se skládá z napájecího zdroje, výkonového generátoru, trychtýřové antény a indikátoru intenzity mikrovlnného záření.

Většina nejčastěji používaných materiálů je pro mikrovlnné elektromagnetické záření transparentních. Jedná se především o keramiku, kámen, beton, dřevo a podobně. Některé materiály zabudované v konstrukcích mikrovlny odrážejí – kovy. A některé ji pohlcují. Zde se jedná především o vodu a některé další bipolární materiály. [1,4,5]

Rychlost vysoušení stavebních konstrukcí a materiálů, při využití mikrovlnné technologie, výrazně ovlivňují dva faktory:

- Zvýšení teploty vody na povrchu vysoušeného materiálu. Úměrně s tím se zvýší počet molekul, jejichž energie je dostatečná k překonání kohezních sil,
- Zvýšení teploty vody uvnitř vysoušeného materiálu působí nárůst jejího objemu. Ohřátím vody o 1°C se zvětší její objem o 0,18%. V běžných případech, kdy působením mikrovlnné energie dojde k nárůstu teploty vody v hloubce ohřívaného tělesa o 50°C (z 15°C na 65°C) se zvětší její objem o 9%.

### 4 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Ozařování mikrovlnnému záření byly vystaveny celkem 3 vzorky o různé vlhkosti. Materiálně se jednalo o plynosilikát. První vysoušení bylo aplikováno na vzorky, které byly dlouhodobě uskladněny v místnosti o relativní vlhkosti vzduchu 51% a teplotě 20,5°C.



Obr. 1 Fotografie zobrazující mikrovlnné generátory a ozařované stavební prvky

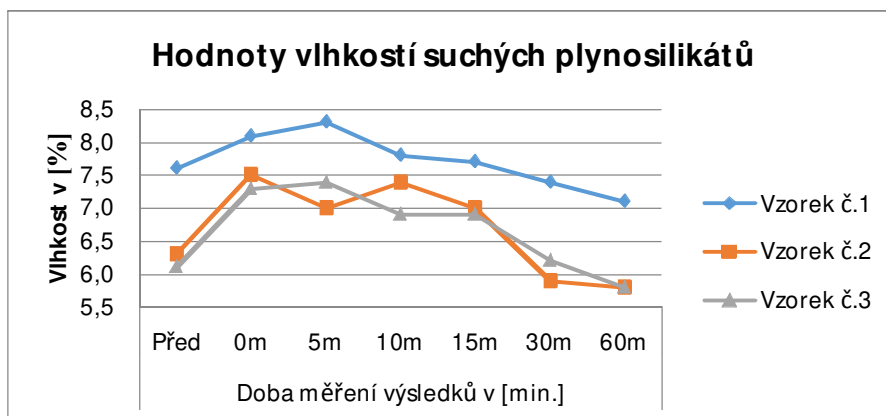
Vzorek	Materiál	Rozměry vzorku		
		Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]
V1	plynosilikát	400	300	250
V2	plynosilikát	600	150	250
V3	plynosilikát	600	300	250

Tab. 2 Specifikace vzorků

Ozařování probíhalo po dobu jedné hodiny. Následně probíhalo měření vlhkosti materiálu přístrojem MOIST v hloubce 40 mm (viz Obr. 3) a další snímání teplot termokamerou.

	Doba měření výsledků v [min.]						
	Před	0m	5m	10m	15m	30m	60m
Vzorek č.1	7,6	8,1	8,3	7,8	7,7	7,4	7,1
Vzorek č.2	6,3	7,5	7,0	7,4	7,0	5,9	5,8
Vzorek č.3	6,1	7,3	7,4	6,9	6,9	6,2	5,8

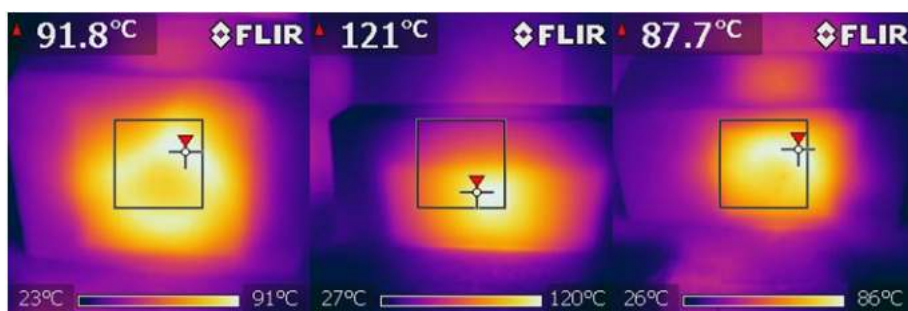
Tab. 3 Vlhkost vzorků [%] v závislosti na čase



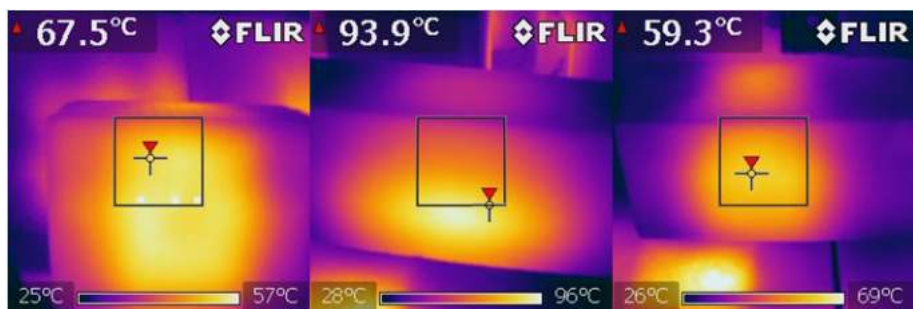
Obr. 2 Znárodnění úbytku vlhkosti na čase



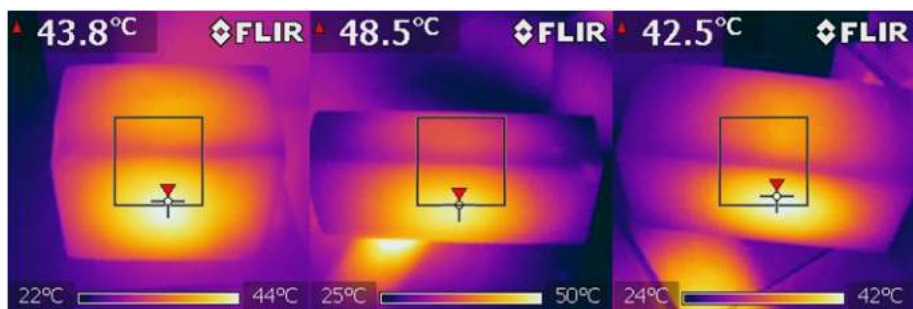
Obr. 3 Snímky termokamery na začátku ozařování (V1, V2, V3)



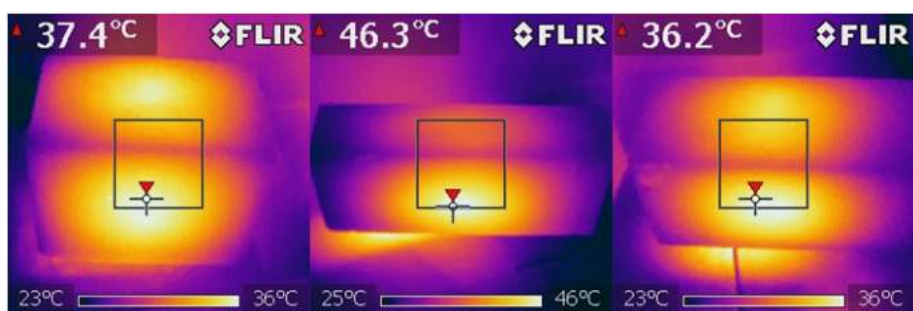
Obr. 4 Snímky termokamery na konci ozařování – přední strana (V1, V2, V3)



Obr. 5 Snímky termokamery na konci ozařování – zadní strana (V1, V2, V3)



Obr. 6 Snímky termokamery - chlazení 60 minut – přední strana strana (V1, V2, V3)



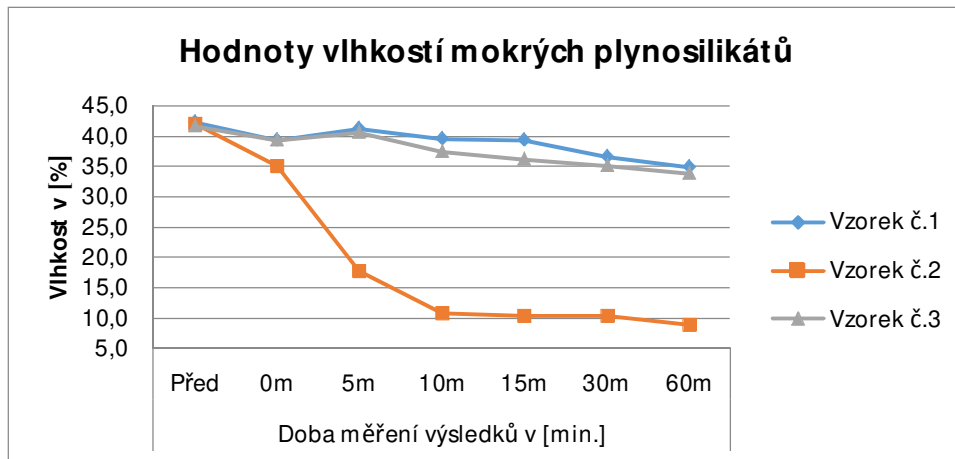
Obr. 7 Snímky termokamery - chlazení 60 minut – zadní strana strana (V1, V2, V3)

Po ozařování vzorky byly namáčeny po dobu 24 hodin, následně se nechali okapat po dobu 18 hodin.

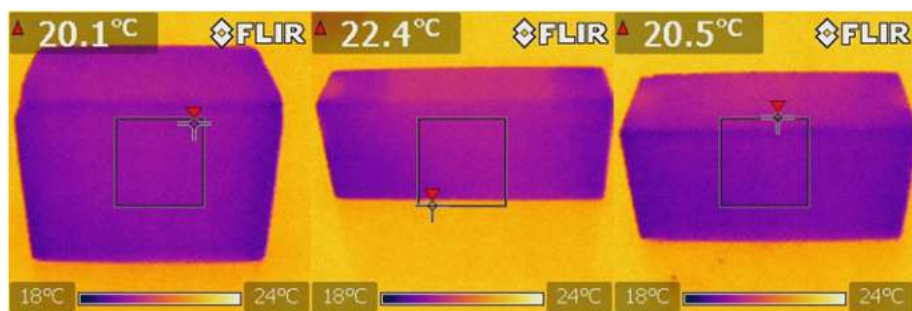
	Doba měření výsledků v [min.]						
	Před	0m	5m	10m	15m	30m	60m
Vzorek č.1	42,3	39,2	41,3	39,6	39,2	36,5	34,8
Vzorek č.2	42,1	35,0	17,8	10,9	10,4	10,3	8,8
Vzorek č.3	41,6	39,4	40,6	37,4	36,2	35,0	33,9

Tab. 4 Vlhkost vzorků [%] po časových intervalech ohřevu

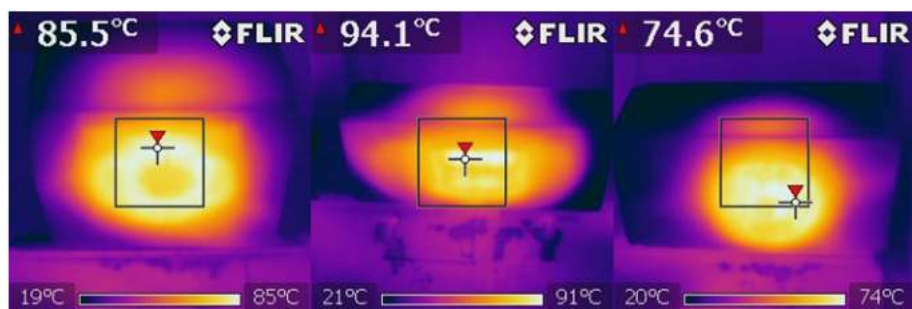




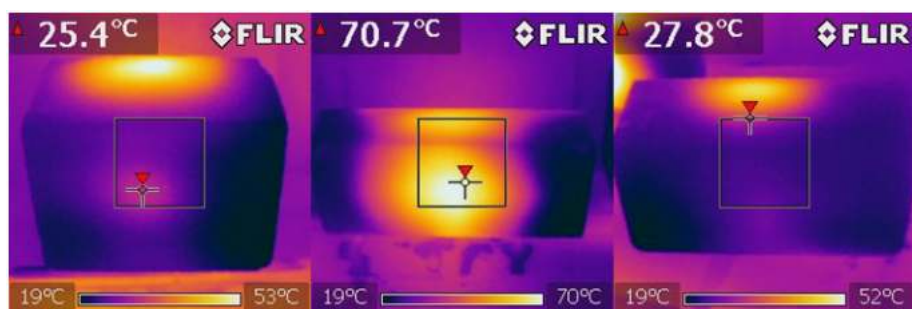
Obr. 8 Znárodnění úbytku vlhkosti na čase



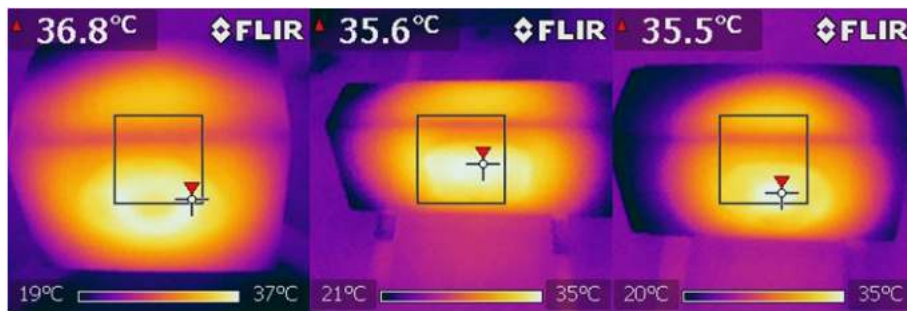
Obr. 9 Snímky termokamery na začátku ozařování (V1, V2, V3)



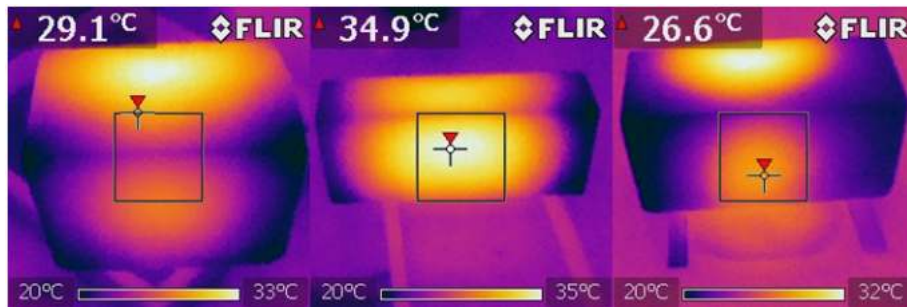
Obr. 10 Snímky termokamery na konci ozařování – přední strana (V1, V2, V3)



Obr. 11 Snímky termokamery na konci ozařování – zadní strana (V1, V2, V3)



Obr. 12 Snímky termokamery - chladnutí 60 minut – přední strana strana (V1, V2, V3)



Obr. 13 Snímky termokamery - chladnutí 60 minut – zadní strana strana (V1, V2, V3)

## 5 ZÁVĚR

Závěrem můžeme říct, že se současnými výsledky experimentálního měření bylo zjištěno, že je velký rozdíl ve zvýšení teploty při ozařování materiálu s různou vlhkostí pomocí mikrovlnného záření. Vzhledem k rychlosti úbytku hmotnosti, lze považovat vysoušení pomocí mikrovlnného záření za nejrychlejší metodu. Čas potřebný k vysoušení zdiva, se z doby několika roků snížil na dobu v řádu několika týdnů. Dle zjištěných teplot, je možné efektivně využít mikrovlnného záření i na likvidaci biotických škůdců.

### Použitá literatura

- [1] SOBOTKA, J., FYZIKÁLNÍ HODNOTY PŘI TECHNOLOGII VYSOUŠENÍ ZDĚNÝCH STAVEB, příspěvek na konferenci *Juniorstav 2015*, ISBN 978-80-214-5091-2, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veverí 331/95, 602 00 Brno, Brno, 2015
- [2] FICKER, Tomáš. *Aplikovaná fyzika (S): Vedení tepla ve stavebních konstrukcích*. Brno, 2008. Studijní opory. VUT FAST.
- [3] BALÍK, Michael. *Odvhlčování staveb. 2.*, přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008, 307 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [4] ŠUHAJDA, K.; NOVOTNÝ, M.; ŠKRAMLÍK, J.; TICHOMIROV, V., Sterilization of biotic pests by microwave radiation, článek v *Procedia Engineering*, ISSN 1877-7058, Vilnius Gediminas Tech Univ, Fac Civil Engn, Vilnius, LITHUANIA, 2013
- [5] NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; SOBOTKA, J.; GINTAR, J., USE OF EMW RADIATION IN THE BUILDING INDUSTRY, článek v *Advanced Materials Research*, ISSN 1022-6680, Scientific.NET, Advanced Materials Research, Switzerland, 2014