



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

VYUŽITÍ EMW ZÁŘENÍ PRO LIKVIDACI BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ

POSSIBILITY OF USING EMW RADIATION FOR KILLING BIOTIC PESTS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jan Gintar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL ŠUHAJDA, Ph.D.

BRNO 2020

ABSTRAKT

Sanace stavebních prvků a konstrukcí z hlediska vlhkosti a sterilizace (inaktivace) biotických škůdců, se ve stavební praxi i samotném stavebnictví řeší poměrně často a patří tak k aktuální problematice. Danou problematikou se zabývají specializované firmy, které využívání dostupné techniky známe na trhu, nebo se sami podílejí na vývoji a zdokonalení těchto přístrojů. Metod k odstranění vlhkosti a sterilizaci biotických škůdců je známo několik, přičemž dostatečně kvalitní data o použité technologii, vhodnosti použitých zařízení, podrobnější popis při aplikování samotných metod a samotné výsledky, jsou většinou chráněny samotnými firmami.

Samotné metody, pro odstranění vlhkosti a likvidaci (inaktivaci) biotických škůdců, je nutné volit podle individuálních požadavků, neboť některé metody budou pro daný případ vhodnější (účinnější) a některé méně vhodné. Pro samotnou praxi je však důležité, aby metody byly dostatečně účinné a zároveň dostupné pro širší veřejnost (jejich ekonomická stránka). Ve své disertační práci se zaměřuji na potenciál využití EMW záření nejen pro likvidaci biotických škůdců (plísně, houby, dřevokazný hmyz), ale i eliminaci případně omezení nutných podmínek pro přežití nebo rozvoj těchto biotických škůdců. Proto se ve své práci zaměřuji i na přítomnost vlhkosti, protože vlhkost je společným činitelem převážné většiny problémů spojených s výskytem biotických škůdců. Díky intenzitě se jedná o jednu z časově méně náročnou metodu a tím pádem i o cenově (ekonomicky) dostupnější metodu. Výzkum, který jsem prováděl na VUT FAST, jsem zaměřil na využití mikrovlnného záření při likvidaci biotických škůdců, za podmínek, které se blíží podmínkám na reálných stavbách. Použití mikrovlnné metody pro likvidaci biotických škůdců a zároveň k odstranění vlhkosti, se ukázalo jako výhodné.

ABSTRACT

The remediation of building elements and structures in terms of moisture and sterilization (inactivation) of biotic pests is dealt with quite often in construction practice and in the construction industry itself, and is thus a topical issue. The issue is dealt with by specialized companies that know the use of available technology on the market, or are themselves involved in the development and improvement of these devices. Several methods are known for the removal of moisture and sterilization of biotic pests, with sufficiently high-quality data on the technology used, the suitability of the equipment used, a more detailed description of the

application of the methods themselves and the results themselves.

The methods themselves, for removing moisture and eliminating (inactivating) biotic pests, must be chosen according to individual requirements, as some methods will be more appropriate (more effective) and some less suitable. For the practice itself, however, it is important that the methods are sufficiently effective and at the same time available to the wider public (their economic side).

In my dissertation thesis I focus on the potential of EMW radiation utilization not only for liquidation of biotic pests (fungi, fungi, wood decaying insects), but also elimination or reduction of necessary conditions for survival or development of these biotic pests. Therefore, my work also focuses on the presence of moisture, because moisture is a common factor in the vast majority of problems associated with the occurrence of biotic pests. Due to its intensity, it is one of the less time-consuming method and therefore a more cost-effective (economically) method.

The research I conducted at VUT FAST focused on the use of microwave radiation in the control of biotic pests, under conditions that are close to those on real constructions. The use of a microwave method to eliminate biotic pests and at the same time to remove moisture has proved to be advantageous.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikrovlnné vysoušení, mikrovlny, elektromagnetické vlnění, vlnová délka, vlhkost, dřevo, plynosilikát, zdivo, likvidace, likvidace plísní, ohřev, frekvence, vysoušení, odpařování, biotičtí škůdci, elektromagnetické záření

KEYWORDS

Microwave drying, microwaves, electromagnetic waves, wavelength, moisture, wood, gas silicate, masonry, disposal, mold removal, heating, frequency, drying, evaporation, biotic pests, electromagnetic radiation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ing. Jan Gintar *Využití EMW záření pro likvidaci biotických škůdců*. Brno, 2020. 127 s., 0 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Karel Šuhajda, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem Využití EMW záření pro likvidaci biotických škůdců zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 1. 2020

Ing. Jan Gintar
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat prof. Ing. Miloslavu Novotnému CSc. a doc. Ing. Karlovi Šuhajdovi, Ph.D. za pomoc a odborné vedení v průběhu celého doktorského studia.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za všestrannou pomoc, trpělivost a podporu při zpracování disertační práce.

Obsah

1	ÚVOD	9
2	TEORETICKÉ POZNATKY VZTAHUJÍCÍ SE K TÉMATU	11
2.1	MIKROVLNNÉ ZÁŘENÍ	11
2.1.1	ZÁKLADNÍ TEORIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE	12
2.1.2	ELEKTROMAGNETICKÁ VLNA A JEJÍ VLASTNOSTI.....	12
2.1.3	ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM.....	13
2.1.4	Rychlost elektromagnetické vlny	14
2.1.5	MAXWELLOVY ROVNICE.....	15
2.2	ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ENERGIE	16
2.3	MIKROVLNNÝ OHŘEV.....	16
2.4	INTERAKCE LÁTEK V MIKROVLNNÉM POLI	16
2.4.1	INTERAKCE LÁTEK S ELEKTRICKOU NEBO MAGNETICKOU SLOŽKOU MIKROVLNNÉHO POLE.....	17
2.4.2	VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH LÁTEK EMW (MIKROVLNNÝM) ZÁŘENÍM..	18
2.4.3	BIOLOGICKÉ ÚČINKY MIKROVLN.....	21
2.4.4	EFEKTY VYVOLANÉ MIKROVLNNÝM ZÁŘENÍM	21
2.4.5	BEZPEČNOST PŘI POUŽITÍ EMW ZAŘÍZENÍ	23
3	VÝHODY A NEVÝHODY MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ BĚHEM OZAŘOVÁNÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	25
3.1	VÝHODY MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ PŘI VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A INAKTIVACI BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ	25
3.2	NEVÝHODY MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ PŘI VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A INAKTIVACI BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ	26
3.3	PRŮNIK EMW ZÁŘENÍ DO HLOUBKY PRŮŘEZU.....	26
3.4	PRŮBĚH VYSOUŠENÍ A STERILIZACE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ.....	27
3.5	VÝBĚR MIKROVLNNÉHO GENERÁTORU A MIKROVLNNÁ ENERGIE	27
4	BIOTIČTÍ ŠKŮDCI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ.....	29
4.1	PLÍSNĚ.....	29
4.1.1	PŘÍČINY RŮSTU PLÍSNÍ NA POVRŠÍCH	30
4.2	HOUBY	31
4.2.1	MORFOLOGIE (VNĚJŠÍ VZHLED) DŘEVOKAZNÝCH HUB.....	31
4.2.2	ROZDĚLENÍ DŘEVOKAZNÝCH HUB.....	32
4.2.3	VLIV VLHKOSTI NA ROZVOJ DŘEVOKAZNÝCH HUB	33
4.2.4	VLIV TEPLoty PROSTŘEDÍ NA ROZVOJ DŘEVOKAZNÝCH HUB.....	34
4.2.5	RYCHLOST RŮSTU DŘEVOKAZNÝCH HUB.....	35
4.3	DŘEVOKAZNÝ HMYZ.....	38

5	VLHKOST VE STAVEBNÍCH MATERIÁLECH	44
5.1	ČLENĚNÍ VLHKOSTI	44
5.2	VLHKOST PÓROVITÝCH MATERIÁLŮ	45
5.2.1	FORMY VLHKOSTI V MATERIÁLECH	45
5.2.2	VLHKOST Z POHLEDU JEJÍHO ČASOVÉHO VÝVOJE	46
5.2.3	TRANSPORT VLHKOSTI	47
5.2.4	METODY VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	48
6	VYMEZENÍ A CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	51
6.1	VYMEZENÍ PROBLEMATIKY	51
6.2	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	51
7	STERILIZACE, OHŘEV A VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ MIKROVLNNÝM ZÁŘENÍM	53
7.1	OHŘEV A VYSOUŠENÍ DŘEVĚNÝCH PRVKŮ	54
7.1.1	Experiment č. 1	54
7.1.2	Experiment č. 2	63
7.1.3	Experiment č. 3	68
7.2	OHŘEV A VYSOUŠENÍ PRVKŮ Z PÓROBETONU	78
7.2.1	Experiment č. 4	79
7.2.2	Experiment č. 5	83
7.2.3	Experiment č. 6	98
7.2.4	Experiment č. 7	106
7.3	OHŘEV A VYSOUŠENÍ PRVKŮ Z CIHEL PLNÝCH PÁLENÝCH	113
7.3.1	Experiment č. 8	113
8	ZÁVĚR	118
8.1	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ	118
8.2	MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU A VÝVOJE	119

1 ÚVOD

Sanace stavebních prvků a konstrukcí z hlediska vlhkosti a sterilizace (inaktivace) biotických škůdců, se ve stavební praxi i samotném stavebnictví řeší poměrně často a patří tak k aktuální problematice. Danou problematikou se zabývají specializované firmy, které využívání dostupné techniky známe na trhu, nebo se sami podílejí na vývoji a zdokonalení těchto přístrojů. Metod k odstranění vlhkosti a sterilizaci biotických škůdců je známo několik, přičemž dostatečně kvalitní data o použité technologii, vhodnosti použitých zařízení, podrobnější popis při aplikování samotných metod a samotné výsledky, jsou většinou chráněny samotnými firmami. Kromě specializovaných firem, existují výzkumy, které prováděla stavební fakulta VUT v Brně ať už samostatně jejich zaměstnanci a odborníci, tak v poslední době i ve spolupráci s firmou S.P.UNI, s.r.o. Díky těmto výzkumům existují informace, které popisují některé z metod s konkrétními výsledky ať už v rámci laboratorních podmínek, tak i ze skutečných aplikací na reálných prvcích a konstrukcích.

Samotné metody, pro odstranění vlhkosti a likvidaci (inaktivaci) biotických škůdců, je nutné volit podle individuálních požadavků, neboť některé metody budou pro daný případ vhodnější (účinnější) a některé méně vhodné. Pro samotnou praxi je však důležité, aby metody byly dostatečně účinné a zároveň dostupné pro širší veřejnost (jejich ekonomická stránka). Přítomnost vlhkosti a biotických škůdců ve stavebních prvcích a konstrukcích v důsledku negativně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti materiálů, ze kterých jsou samotné stavební prvky a konstrukce složeny.

Přítomnost vlhkosti a biotických škůdců v převážné většině případů odhalí stavebně technický průzkum při diagnostice samotných stavebních prvků a konstrukcí. Dříve byl problém přítomnosti vlhkosti a biotických škůdců zejména ve starších stavbách a památkách, ovšem v dnešní době se tyto problémy objevují i v mladších stavbách. Vlhkost i biotičtí škůdci nejsou problémem jen dřevěných konstrukcí, ale i konstrukcí zděných.

Ve své disertační práci se zaměřuji na potenciál využití EMW záření nejen pro likvidaci biotických škůdců (plísňe, houby, dřevokazný hmyz), ale i eliminaci případně omezení nutných podmínek pro přežití nebo rozvoj těchto biotických škůdců. Proto se ve své práci zaměřuji i na přítomnost vlhkosti, protože vlhkost je společným činitelem převážné většiny problémů spojených s výskytem biotických škůdců. Do spektra EMW záření spadá i mikrovlnné záření, které bylo použito v rámci experimentů, které jsou popsány v mé disertační práci. Mikrovlnné záření je známo mnoho let, stejně tak metody využití a aplikace ve stavební praxi. Sterilizace

biotických škůdců pomocí mikrovlnného záření patří k nejintenzivnějším metodám sterilizace, neboť mikrovlnné záření vyzařované generátorem, lze usměrnit vlnovodem. Díky intenzitě se jedná o jednu z časově méně náročnou metodu a tím pádem i o cenově (ekonomicky) dostupnější metodu. Zdokonalování metody brání zejména cenová dostupnost mikrovlnné techniky (mikrovlnné generátory) a nedostatek dat z měření, která by pomohla danou techniku vylepšit.

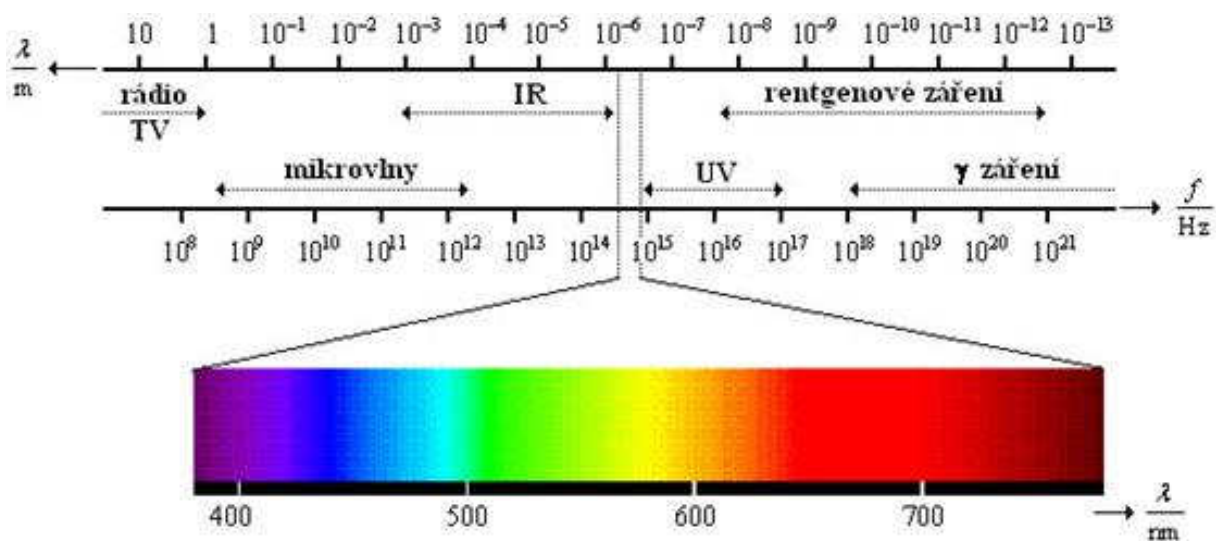
Výzkum, který jsem prováděl na VUT FAST, jsem zaměřil na využití mikrovlnného záření při likvidaci biotických škůdců, za podmínek, které se blíží podmínkám na reálných stavbách. V rámci studie jsem byl řešitelem jednoho grantu, díky kterému byly pořízeny 3 mikrovlnné generátory, které rozšířily přístrojové vybavení na Fakultě stavební. Použití mikrovlnné metody pro likvidaci biotických škůdců a zároveň k odstranění vlhkosti, se ukázalo jako výhodné, neboť při samotné likvidaci, dochází nejen k ohřevu biotických škůdců, ale i k ohřevu průřezu materiálu, který obsahuje vlhkost a je vystaven mikrovlnné radiaci. Ve stavební praxi nelze tyto dvě skutečnosti od sebe oddělit, a proto bylo důležité správně zvolit vhodné časy pro mikrovlnný ohřev.

Disertační práce je rozdělena na dvě části, kdy v té první popisují základní teoretické poznatky mikrovlnného záření a jeho působení na molekuly vody (biotičtí škůdci a vlhkost obsažená ve stavebních materiálech), vlhkost ve stavebních látkách a samotné biotické škůdce a jejich charakteristiky. V druhé části se věnuji samotným výzkumům, které jsou zaměřené na inaktivaci biotických škůdců a eliminaci podmínek k jejich přežití, popřípadě rozvoji. U každého výzkumu jsou uvedené výsledky a vyhodnocení. Na základě všech výzkumů jsou vyvozeny závěry a doporučení pro následný experimentální rozvoj a pro samotnou stavební praxi.

2 TEORETICKÉ POZNATKY VZTAHUJÍCÍ SE K TÉMATU

2.1 MIKROVLNNÉ ZÁŘENÍ

Mikrovlnné záření je neionizující elektromagnetické záření o frekvenci 300 MHz až 300 GHz, které se šíří ve formě vln rychlostí světla a odpovídá vlnovým délkám od 1 mm do 1 m. Elektromagnetické záření se skládá se dvou na sebe kolmých vlnění (složka elektrická a složka magnetická). Mikrovlnná zařízení určená k mikrovlnnému ohřevu, pracují s pevnou frekvencí 2,45 GHz, které odpovídá vlnová délka 12,2 cm.



Obr. 2.1 Spektrum elektromagnetických vln [1]

Z obr. 2.1 je patrné, že mikrovlny leží v elektromagnetickém spektru mezi rádiovými vlnami a infračerveným zářením.

Jako zdroj energie se používá vysokonapěťová elektronka, tzv. magnetron, který představuje úplný vysokofrekvenční oscilátor s vlastním buzením, do kterého jsou soustředěny všechny prvky výkonného vysokofrekvenčního generátoru, kromě napájecího zdroje, ovládacích a jistících prvků a vyzářovacího systému. [2]

Mikrovlnné záření ve formě vln je směřováno vlnovodem na ošetřovaný povrch. Magnetrony obvykle pracují s výkonem okolo 700 W a vyšším, přičemž většina zařízení se skládá z několika zdrojů, čímž lze dosáhnout zvýšení celkového výkonu i větší ozařované plochy. Provedení a tvar antén (vlnovodu) je závislý na způsobu použití.

2.1.1 ZÁKLADNÍ TEORIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE

Základní teorie elektromagnetického pole byla vystavěna na základě mnoha jednotlivých zákonitostí vyvozených z celé řady experimentů a objevů spojených se jmény např. Coulomb, Savart, Ampere, Faraday. Rozhodující význam pro její vybudování měly práce Faradayovy, především objev elektromagnetické indukce (roku 1831) a Maxwellovy, který objevem a zavedením pojmu posuvného proudu vytvořil model elektromagnetického pole. J.C. Maxwell v roce 1873 zobecnil známé poznatky o elektřině a magnetismu a formuloval je v rovnicích, které nazýváme Maxwellovy rovnice [3].

Obecné elektromagnetické pole, ať již přírodní či vytvořené lidskou činností, je nestacionární (je charakterizováno neustálou časovou proměnlivostí). Často je možné považovat proměnlivost pole za bezvýznamnou nebo pomalou. Po tomto zjednodušení je možné pole třídit na:

- statická, kdy uvažujeme všechny náboje (zdroje pole) v klidu.
- stacionární jsou vytvářena náboji, které se pohybují tak, že vytvářejí stacionární proudy.
- kvazistacionární představuje určité zjednodušení obecného nestacionárního pole, které spočívá v zanedbání tzv. posuvného proudu proti proudům volných elektronů.
- nestacionární jsou obecná elektromagnetická pole [3].

2.1.2 ELEKTROMAGNETICKÁ VLNA A JEJÍ VLASTNOSTI

Každá elektromagnetická vlna má dvě neoddělitelné složky: elektrickou a magnetickou. Elektrická složka je charakterizována vektorem elektrické intenzity E , magnetická vektorem magnetické indukce B . Vektory E a B jsou vzájemně kolmé, v postupné elektromagnetické vlně mají souhlasnou fázi a současně jsou kolmé ke směru šíření vlny. Elektromagnetické vlnění je příčné. [4], [5].

Elektromagnetická vlna se šíří ve směru kladné osy x . Elektrické pole kmitá rovnoběžně se směrem osy „ y “, tj. $E = (0, E, 0)$ a magnetické pole rovnoběžně s osou „ z “, tj. $B = (0, 0, B)$. Pak můžeme zapsat obě pole jako sinusové funkce polohy „ x “ a času t :

$$E = E_m \cdot \sin(kx - \omega t)$$

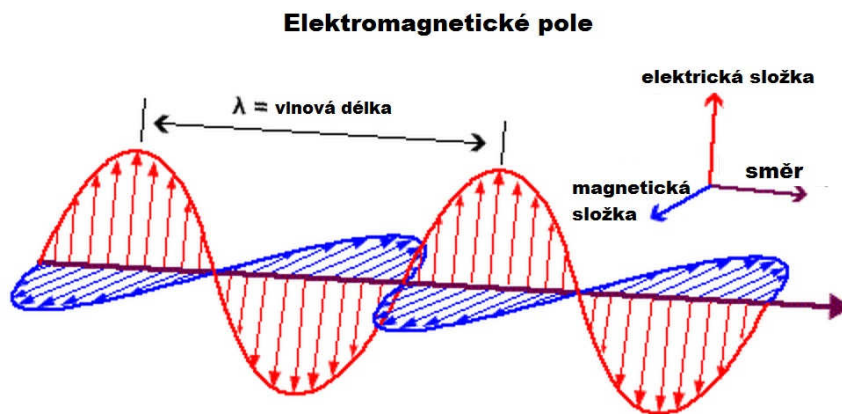
$$B = B_m \cdot \sin(kx - \omega t)$$

kde:

- E_m a B_m jsou amplitudy polí,

- k je úhlový vlnčet a
- ω úhlová frekvence vlny.

Magnetické pole se sinusově mění, indukuje k němu kolmé elektrické pole (elektromagnetická indukce), které se též mění sinusově. Protože se toto pole sinusově mění, indukuje k němu kolmé magnetické pole (magnetoelektrická indukce), a to se též mění sinusově. Tato dvě pole neustále vytvářejí jeden celek díky indukci a výsledné sinusové změny těchto polí se šíří jako elektromagnetická vlna. Elektromagnetická vlna nepotřebuje ke svému šíření žádné hmotné prostředí, může se šířit i vakuem, [6].



Obr. 2.2 Elektromagnetická vlna délky λ [7]

2.1.3 ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM

Zabýváme-li se elektromagnetickým vlněním v souvislosti se zdroji, které ho vyzařují, mluvíme o různých druzích elektromagnetického záření. Elektromagnetické spektrum (někdy zvané Maxwellova duha) zahrnuje elektromagnetické záření všech vlnových délek. Elektromagnetické záření o vlnové délce λ má frekvenci f a jemu připisovaný foton má energii E . Vztah mezi nimi vyjadřují následující rovnice:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

$$E = h \cdot f \quad (2.2)$$

kde λdélka vlny [m],

c je rychlost světla a $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$,
f.....frekvence mikrovlnného záření [Hz] (2450 MHz).

Stupnice vlnových délek (a jí odpovídající stupnice frekvencí) má otevřené konce: vlnové délky elektromagnetických vln nemají žádnou principiální spodní ani horní hranici. V elektromagnetickém spektru nejsou žádné mezery.

Elektromagnetické záření je možné rozdělit na neionizující a ionizující. Neionizující záření je obecný termín pro část elektromagnetického spektra, kde má záření tak nízkou energii fotonů, že nemůže porušit vazby mezi atomy v ozařovaném materiálu, ale stále má velmi silný efekt, kterým je ohřev. Oblast spektra pro neionizující záření zahrnuje ultrafialové a infračervené záření, viditelné světlo a záření vyšších vlnových délek (mikrovlny, rádiové vlny), jejichž účinek je především tepelný.

Hranice přechodu mezi ionizujícím a neionizujícím zářením je stanovena na hodnotu vlnové délky 1nm. Záření o kratších vlnových délkách jsou ionizující a jejich kvanta mají dostatečnou energii postačující k ionizaci molekul nebo atomů ozářené látky [10].

2.1.4 Rychlost elektromagnetické vlny

Rychlost elektromagnetické vlny značíme c nikoliv v (platí pro vakuum). Vidíme, že c má hodnotu:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.3)$$

kde:

- $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$ je permitivita vakua
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ je permeabilita vakua

Výsledná rychlost je rovna $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, z čehož plyne, že všechny elektromagnetické vlny, včetně světla, mají ve vakuu tutéž rychlost c . [6]

Rychlost elektromagnetické vlny v nevodivém homogenním izotropním látkovém prostředí má velikost:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad (2.4)$$

2.1.5 MAXWELLOVY ROVNICE

Maxwellovy rovnice prokazují, že elektrické a magnetické pole tvoří vlastní jediný fyzikální celek, který nazýváme elektromagnetické pole. Hlavní Maxwellovou zásluhou je, že nejen shrnul teorii elektřiny a magnetismu do malého počtu diferenciálních rovnic, ale dal těmto rovnicím i jednoduchý a do té míry obecný tvar, že platí i pro libovolně rychle proměnné elektromagnetické pole, tedy i pro nestacionární elektromagnetické pole.

První Maxwellova rovnice

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \mathbf{i} + \frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t} \quad (2.5)$$

pozn.

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{H} = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}, \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x}, \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) \quad (2.6)$$

říká, že teče-li obvodem proud, vzniká kolem něho magnetické pole. Zde \mathbf{i} je Maxwellův posuvný proud.

Druhá Maxwellova rovnice

$$\operatorname{rot}\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.7)$$

říká, že při časové změně magnetického pole je elektrické pole vírové (siločáry jsou uzavřené) a podél vírů je možné měřit napětí.

Třetí Maxwellova rovnice

$$\operatorname{div}\mathbf{D} = \rho \quad (2.8)$$

pozn.

$$\operatorname{div}\mathbf{D} = \nabla \cdot \mathbf{D} = \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} \quad (2.9)$$

říká, že siločáry elektrického pole začínají a končí v tom místě prostoru, kde je soustředěn elektrický náboj. Zdrojem elektrického pole je tedy náboj. Zde ρ je objemová hustota náboje.

Čtvrtá Maxwellova rovnice

$$\operatorname{div}\mathbf{B} = 0 \quad (2.10)$$

říká, že siločáry magnetického pole nemají počátek ani konec, tj. jsou uzavřené. Neexistují magnetické náboje a magnetické pole je vždy vírové, [8] [9].

2.2 ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ENERGIE

Šíří-li se elektromagnetická vlna prostorem, nese s sebou – jako každé vlnění energii, která postupuje prostorem. Z hlediska Maxwellovy teorie můžeme tok energie (výkonu) v časově proměnném elektrickém poli vysvětlit změnou energie obsažené ve zvolené části objemu elektromagnetického pole, jehož změny se šíří v prostředí rychlostí v , určenou rovnicí. Rychlost přenosu energie na jednotku plochy elektromagnetickou vlnou je popsána vektorem P , s jednotkou W/m^2 , který se nazývá Poyntingův vektor. Vektor P je definován jako:

$$P = E \cdot H, \quad (2.11)$$

Jeho velikost udává plošnou hustotu toku výkonu a směr P elektromagnetické vlny udává v každém bodě směr přenosu energie. Ten v homogenním prostředí udávají směr šíření vlny. P je funkcí času, jelikož vektory E a H jsou také funkcí času, [8],[10].

2.3 MIKROVLNNÝ OHŘEV

Mikrovlnný ohřev je charakterizován jako rychlý a ekonomický a je založen na elektromagnetické indukci. Ohřívání probíhá přímo ve struktuře materiálu, a nikoliv od povrchu. Mechanismus přeměny mikrovlnné energie na teplo je dán vztahem:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot \varepsilon'' \cdot E^2, \quad (2.12)$$

kde P energie absorbovaná v jednotce objemu ve $W \cdot m^{-1}$,

f frekvence mikrovlnného pole, $f=2450$ MHz,

ε' permitivita ve $F \cdot m^{-1}$,

ε'' dielektrický ztrátový faktor materiálu,

E intenzita el. pole uvnitř materiálu ve $V \cdot m^{-1}$. [11] [12]

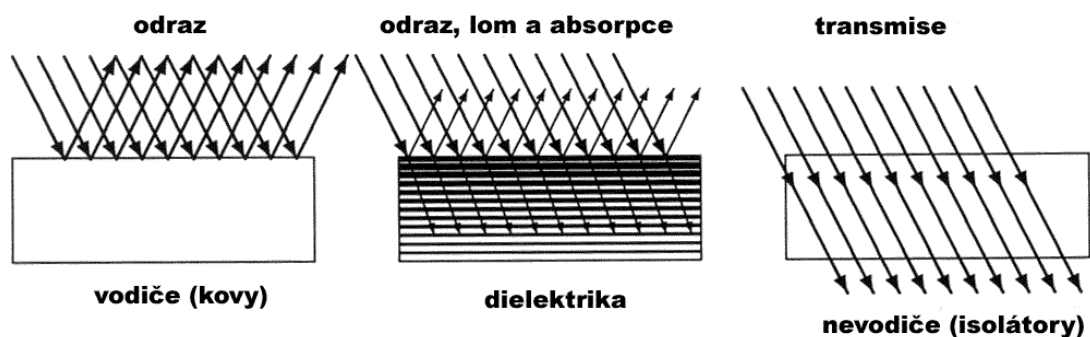
2.4 INTERAKCE LÁTEK V MIKROVLNNÉM POLI

Interakce látek v mikrovlnném poli je obecně poměrně složitá. Nejjednodušší interakce je u plyných látek, které se mikrovlny prakticky nezahřívají. I když jsou některé plyny hodně

polární, jejich molekuly jsou od sebe příliš daleko. U kapalných látek se interakce řídí permitivitou. V kapalných látkách potom probíhají téměř všechny typy polarizací. Obecně platí, že výsledná polarizace je vždy superpozicí všech polarizací, které mohou nastat v kapalně látce. U pevných dielektrik je situace nejsložitější a dnes prakticky neexistuje spolehlivá teorie, která by platila obecně pro všechna pevná dielektrika. U pevných dielektrik závisí interakce mikrovln na teplotě. Například u skla, které je za normální teploty absolutně transparentní, je pro mikrovlny za vyšších teplot (kolem 800 °C) poměrně dobrým absorpčním materiálem. U skla se přednostně projevuje relaxační iontová polarizace.

2.4.1 INTERAKCE LÁTEK S ELEKTRICKOU NEBO MAGNETICKOU SLOŽKOU MIKROVLNNÉHO POLE

Dielektrické látky interagují s elektrickou složkou elektromagnetické vlny. Interakce se řídí permitivitou nebo dielektrickým ztrátovým tangentem. K těmto látkám patří prakticky všechny běžné kapalně polární látky, jako je i voda. U těchto látek je ohřev způsoben (až na výjimky) absorpcí elektrické složky elektromagnetického pole. Pevná dielektrika se zahřívají pomocí magnetické složky elektromagnetického pole. Jiná situace nastává například u kovů. Je obecně známo, že se kovy v mikrovlnách nezahřívají. Je to způsobeno tím, že penetrační hloubka u kovů je jen několik málo mikrometrů. Kovy tedy mikrovlny odrážejí. To, co bylo nyní řečeno o kovech platí, ale pouze pro velké kusy. Kov v podobě prášku se zahřívá, a právě práškové kovy interagují s magnetickou složkou elektromagnetické vlny. Zde se již nelze orientovat permitivitou materiálu, ale musíme se zde zaměřit na tzv. permeabilitu. Permeabilita v magnetickém poli je analogií pro permitivitu v poli elektrickém. [13] [14] [15]



Obr. 2.3 Mikrovlny a jejich interakce s různými typy materiálů [16]

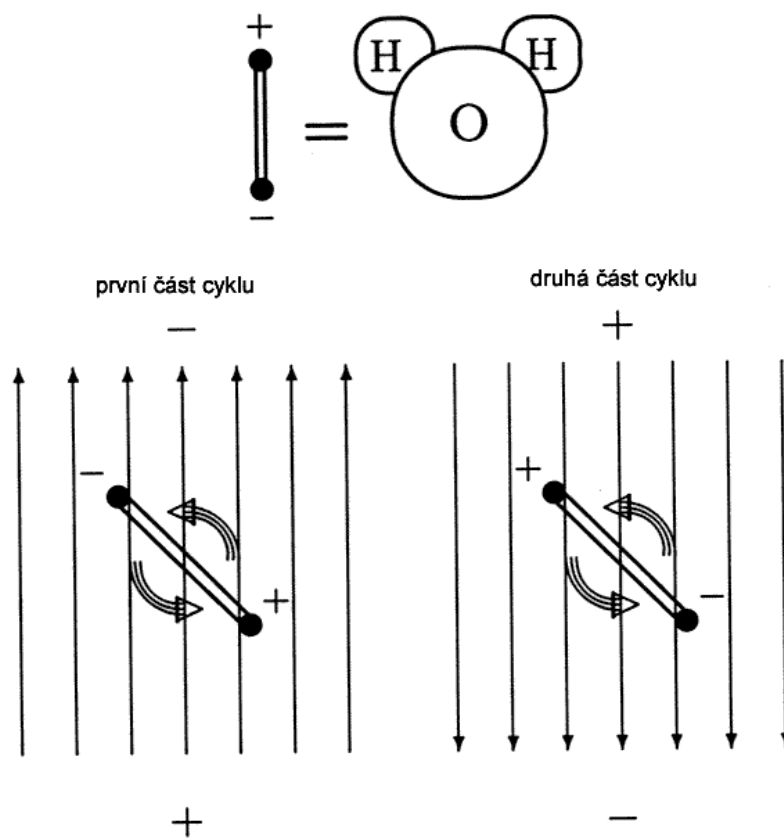
Z textu výše a obrázku 2.3 lze jednoduše říct, že existují 3 základní typy materiálů (látek) a

jejich interakce s mikrovlnami.

- materiály odrážející / např. kovy – vlny díky velmi malé penetrační hloubce jsou odraženy zpět do prostoru
- materiály absorpční (dielektrika) / kapaliny, např. voda – elektrická složka je absorbována a dochází k přeměně na teplo
- materiály transparentní / např. sklo – za běžných teplot projdou vlny materiálem bez reakce

2.4.2 VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH LÁTEK EMW (MIKROVLNNÝM) ZÁŘENÍM

Molekuly vody se v elektrickém poli orientují podle polarity (kladná část k zápornému pólu a záporná část k pólu kladnému), pokud se střídá. Princip mikrovlnného ohřevu je právě tento případ. V elektromagnetickém poli se polarita mění v závislosti na frekvenci F , a to i více než 10^9 krát za sekundu.



Obr. 2.4 Princip mikrovlnného ohřevu [16]

Princip působení mikrovln na stavební materiály spočívá v tom, že tyto materiály obsahují polární látky jako je voda (volná i vázaná), nebo jsou z polárních látek složené jako v případě dřeva, které se skládá z polárních látek jako je voda, celulóza a hemicelulóza. Mikrovlny, šířící se anténou (vlnovodem), se odrážejí od kovového pláště a vytvářejí tak místně i časově proměnné prostorové pole. Vložením materiálu do pole šířících se mikrovln se toto pole zdeformuje na základě vlastností a objemu materiálu. Účinek, prokázaný na materiálech obsahujících molekuly vody, je účinek tepelný. Tento účinek mimo výkonu a frekvence mikrovln závisí na složení materiálu, jeho fyzikálním stavu (obsah volné vody) a v zásadě i na jeho struktuře.

Všechny materiály obsahující volnou vodu, ať už to jsou stavební materiály, potraviny nebo organismy, jsou schopny absorbovat energii mikrovln, což se projeví zvýšením teploty. Tento jev nazýváme polární rotací neboli frikcí. Frikce je pozorovatelná právě u materiálů s dielektricky aktivními složkami, v našem případě molekuly vody. Molekuly vody jsou elektricky neutrální, přičemž mají bipolární charakter. V elektrickém poli se proto orientují podle polarit, pokud se polarita střídá. To nastává v případě mikrovlnného záření. Při vysoké frekvenci záření, tj. časté střídání polarit a následně orientace molekul vody, vzniká tepelná energie třením. Tímto dochází ke změně skupenství, tj. vypařování volně vázané vody z materiálu. [17]

Na rozdíl od jiných metod, které působí jen povrchově, působí mikrovlny hloubkově v celém objemu materiálu přímo na molekuly vody a na organismy vodu obsahující (sterilizace ohřevem). Mikrovlnná technologie nabízí široké uplatnění ve stavební praxi, a přitom nedochází k destruktivním zásahům do ošetřovaného materiálu.

Jak už je popsáno výše, tak stavební materiály jsou z látek obsahující vodu, proto při vložení do mikrovlnného pole dojde k rychlému střídání polarit a změně orientace molekul vody (jedná se o vodu volně vázanou) a tím ke vzniku tepelné energie vlivem tření. Zjednodušeně řečeno dochází k pohybu molekul vody uvnitř materiálu a tím, že do sebe molekuly vody narážejí vzniká teplo. S rostoucí teplotou potom dochází ke změně skupenství vody z kapalného na skupenství plynné. Tím začne docházet k odpařování vody z materiálu a jeho vysoušení. Působení mikrovlnného pole ohřívá vodu a od vody je ohříván samotný materiál. Samotná doba vysoušení materiálu potom závisí přímo na tloušťce materiálu, hustotě materiálu a množství vlhkosti. Mimo vlastnosti materiálu bude doba vysoušení závislá i na výkonu mikrovlnného zářiče (generátoru) a frekvenci mikrovln. Přestup mikrovlnného záření do sušeného materiálu způsobí změnu rychlosti šíření vln a samotnou délku vln, vždy v závislosti na vlastnostech

materiálu.

Interakce mikrovln s molekulami vody

Z fyzikálního hlediska probíhá ohřev látek pomocí elektromagnetického vlnění a interakce tohoto vlnění s molekulami vody s dipólovou charakteristikou. Molekuly volně vázané vody, obsažené v otvorech a dutinách materiálu, se při interakci s mikrovlnami rychle rozkmitají a začnou se o sebe vzájemně třít, čímž vznikne teplo. S rostoucí teplotou dojde ke změně skupenství vody z kapalného na plynné. Vodní pára se začne vlivem tlaku tlačit pórovitou strukturou materiálu směrem k povrchu.

2.4.2.1 VŠEOBECNÉ MATERIÁLOVÉ PODMÍNKY

Mikrovlny se můžou šířit v různých médiích, samozřejmě s nižší rychlostí než ve vakuu. Ve vzduchu je tento rozdíl malý, jiná je situace ve vodě, kde se mikrovlny šíří 9krát nižší rychlostí, a v důsledku toho se i vlnová délka devětkrát zkrátí na 1,36 cm. Při přechodu mikrovln z jednoho prostředí do druhého dochází na rozhraní k odrazovým a lomovým jevům stejně jako u světla a platí pro ně stejné zákony. V podstatě jde o kombinaci tří případů – mikrovlny se odrazí, absorbují nebo projdou, jak je popsáno a zobrazeno výše. Při absorpci mikrovln v materiálu se snižuje amplituda vlny. Míra absorpce je charakterizována pomocí penetrační hloubky, což je vzdálenost, kterou mikrovlnné záření v materiálu musí projít, aby jeho intenzita klesla na 13,53 % původní hodnoty. Penetrační hloubka závisí u materiálů na jejich dielektrických vlastnostech, charakterizovaných relativní permitivitou. K zajímavému jevu dochází při dopadu mikrovln na zakřivené rozhraní vzduch – voda, které je schopné fokusovat mikrovlny. Je to důsledek vysokého indexu lomu, kdy se mikrovlny po vstupu do vodného prostředí lámou ke kolmici. Výsledkem jsou problémy s ohřevem vodných objektů tvaru koule (vajíčka, rajčata, brambory), u kterých dochází k přehřátí středu objektu a jeho následné explozi.

$$PD = \left(\frac{\lambda_0}{2\pi}\right) \cdot \sqrt{\frac{e'}{e''}} \quad (2.13)$$

Kde:

PD – Penetrační hloubka

λ_0 – vlnová délka ve vakuu

e' – reálná část komplexní relativní permitivity

e'' – imaginární část komplexní relativní permitivity

2.4.3 BIOLOGICKÉ ÚČINKY MIKROVLN

EMG záření o vysokých (300 kHz – 300 MHz) a velmi vysokých (300 MHz – 300 GHz) frekvencích kde jsou zdrojem rozhlasové a televizní vysílače, radiotelegrafická zařízení, radiolokátory apod. Penetrační schopnost je vyšší při menších kmitočtech – do tkáně proniká do hloubky odpovídající desetině až setině vlnové délky. Část energie se od povrchu odrazí, část projde a část se absorbuje. Absorpce je vyšší ve tkáních s vyšším obsahem vody. Biologický účinek závisí na vlastnostech mikrovln a tkání i na fyzikálních rozměrech a geometrii.

Vlivem dielektrických ztrát se energie záření mění v teplo, které je hlavním nositelem účinku mikrovln (byly popsány i účinky netermální jako rezonance na molekulové úrovni, uvolňování radikálů nebo ovlivnění polarizace buněčných membrán).

U pracovníků s mikrovlnami dochází ke změnám v EEG (elektroencefalogram), astenovegetativní syndrom + neurastenie, poškození oční čočky vedoucí až k perifernímu zákalu + patrná tendence ke zvýšení krevního tlaku. Tyto účinky mají vesměs přechodný charakter a jsou do značné míry subjektivní.

Posuzování biologického účinku mikrovln je nesnadné pro obtížnost kvantifikace expozice.

Ochrana před účinkem mikrovln spočívá v dokonalém odstínění generátorů, používání oděvů obsahujících kovová vlákna na exponovaných místech a odrazové brýle. [18]

2.4.4 EFEKTY VYVOLANÉ MIKROVLNNÝM ZÁŘENÍM

Mikrovlnné efekty jsou takové efekty, které nelze vyvolat jiným než mikrovlnným ohřevem. Mezi teplotní mikrovlnné efekty patří:

- Superheating effect,
- Hot spots (lokální přehřátí),
- Objemový ohřev,
- Selektivní ohřev,

- Teplotní úlet,

Neteplotní mikrovlnné efekty nebyly zatím prokázány, ovšem některé publikace je mylně uvádějí. Zatím neexistuje důkaz o jejich existenci.

2.4.4.1 SUPERHEATING EFFECT

V mikrovlnném poli probíhá ohřev látek zevnitř směrem ven, na rozdíl od klasického elektrického ohřevu, kde je teplo realizováno pomocí přestupu tepla vedením, sáláním nebo prouděním. Tento klasický ohřev probíhá postupně z vnější části materiálu směrem dovnitř. Díky ohřevu zevnitř směrem ven dochází k přehřátí. Například voda vře v mikrovlnách při 104–109 °C (závislé na podmínkách). Je to způsobeno tím, že se ve středu látky tvoří velké množství tepla, které se nestačí odvést pomocí vedení tepla z látky ven.

2.4.4.2 HOT SPOTS

Hot spots (horká místa) vznikají z důvodu nehomogenity mikrovlnného pole. Tento problém se tedy projevuje tím, že v některých místech je látka přehřátá a někde je téměř studená. Pro zlepšení homogenity mikrovlnného pole se do mikrovlnných trub přidávají otočné talíře. Ovšem zatím neexistuje mikrovlnná trouba nebo pec, která by měla stejně homogenní pole, jako trouba elektrická.

2.4.4.3 OBJEMOVÝ OHŘEV

Objemový ohřev již vyplývá z podstaty mikrovlnného ohřevu materiálu. Mikrovlny pronikají hluboko do materiálu a zahřívají ho v celém objemu, kdežto při konvenčním ohřevu se nejprve ohřívá povrch a teplo postupuje do středu.

K ohřevu materiálu dochází v celém objemu, tj. zevnitř k povrchu, a nikoliv přestupem tepla od povrchu dovnitř, jak je tomu u klasického ohřevu. To může přispívat k rovnoměrnosti ohřevu, avšak záleží na tvaru, velikosti a složení materiálu. Teplotní profil je opačný než u ohřevu klasického. Nejvyšší teplota je uvnitř a klesá směrem k povrchu. Vzhledem k objemovému ohřevu je mikrovlnný ohřev **několika násobně rychlejší** než ohřev klasický a nezávisí na tepelné vodivosti materiálu. To znamená, že materiály s nízkou tepelnou vodivostí lze velmi rychle ohřát v celém objemu, což klasickým ohřevem není možné.

2.4.4.4 SELEKTIVNÍ OHŘEV

Je známo, že mikrovlnným zářením lze ohřívat pouze tu látku, která interaguje pouze s mikrovlnným polem. Například ve směsi vody a toluenu se bude selektivně ohřívat pouze voda. Vrstva toluenu zůstane chladnější. Je to dáno tím, že toluen není polární, proto na něj mikrovlny nepůsobí a nezahřívá se.

K ohřevu u více složkového materiálu dochází jen u složky, která absorbuje mikrovlny. Neabsorbující složka se neohřívá nebo jen vedením od ohřáté složky (např. směsi voda-tuk, voda-olej, voda-chlorid uhličitý atp.). V těchto případech se ohřívá jen voda. To má dalekosáhlý význam pro provádění chemických reakcí a v dalších procesech (sušení, katalýza).

2.4.4.5 TEPLOTNÍ ÚLET

Teplotní úlet je speciální případ mikrovlnného efektu, který lze pozorovat zejména u materiálů pevného skupenství. V podstatě dochází k tomu, že se určité místo jemně přehřeje díky nehomogenitě mikrovlnného pole. Jak již bylo popsáno dříve, permitivita a permeabilita jsou vlastnosti látek, které jsou poměrně hodně závislé na teplotě. V místě jemného přehřátí začne s každým stupněm růst permitivita. Čím víc roste permitivita, tím více roste i absorpce mikrovln. V tomto místě roste permitivita mnohem rychleji než v jiné části materiálu, a protože je absorpce mikrovln spojená s absorpcí mikrovln, toto místo se silně přehřeje i o několik stovek stupňů.

K teplotnímu úletu dochází jen ve výjimečných případech, kdy schopnost absorpce mikrovln prudce stoupá s teplotou (např. u práškových kovů, či oxidů). U vody tento případ nehrozí, neboť absorpce mikrovln vodou s teplotou naopak klesá. Může však dojít k přehřátí vody nad 100 °C. [20]

2.4.5 BEZPEČNOST PŘI POUŽITÍ EMW ZAŘÍZENÍ

V současné době známe široké spektrum elektromagnetických vln. Hlavním zdrojem záření je pro nás slunce, to určujícím způsobem ovlivňuje prostředí, ve kterém jsme se vyvinuli a kterému jsme přizpůsobeni. Jsme též stále skrz naskrz pronikáni radiovými a televizními signály. Jsou zde i elektromagnetické vlny od světelných zdrojů, od elektrických strojů a aut, rentgenových přístrojů, radioaktivních materiálů apod. Některé oblasti v elektromagnetickém spektru jsou označeny známými názvy jako rentgenové záření nebo rádiové vlny. Tyto názvy

označují zhruba definované oblasti vlnových délek, ve kterých se běžně užívají určité druhy zdrojů a detektorů elektromagnetických vln. Mikrovlnami je označována část spektra o vlnové délce od decimetru po desetinu milimetru a odpovídajícím kmitočtu 0,3 - 70 GHz, tj. oblast ve které vysílají radarové systémy, telefonní spoje a mobilní občanské stanice. Vlny s kratší vlnovou délkou jsou označovány jako infračervené (teplené) záření (částečně se s mikrovlnami překrývá). Pro vysoušení dřeva a likvidaci biologických škůdců jsou použity mikrovlny o délce vlny 12,5 cm a kmitočtům 2,45 GHz (jsou blízko jedné z používaných frekvencí současných mobilních telefonů, které je 1,8 GHz a shodné s mikrovlnnou troubou). Pro pohyb v elektromagnetickém poli ve frekvenčním pásmu jsou na základě zkušeností stanoveny přípustné hodnoty ozáření, které jsou rozdílné pro pracovníky a obyvatelstvo (pro obyvatelstvo 7x přísnější) a které jsou vyjádřeny závaznou normou. V ČR je to vyhláška MZ ČR č.408/1990 Sb. Dle této vyhlášky je nejvyšší přípustná hodnota ozáření pro **pracovníky obsluhy zařízení** dána vzorcem.

$$WSP = S (W) \cdot t(h) = 800 \mu W/cm^2$$

při dodržení podmínky že maximální výkonová hustota pole nesmí být větší než $2650 \mu W/cm^2$

a pro **obyvatelstvo**

$$WSO = S(W) \cdot t(h) = 120 \mu W/cm^2$$

3 VÝHODY A NEVÝHODY MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ BĚHEM OZAŘOVÁNÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Během mikrovlnného ohřevu je využíváno selektivního ohřevu, takže u vícesložkových materiálů dochází k ohřevu pouze u složky absorbující mikrovlny (přítomnost bipolárních molekul). Během mikrovlnného ohřevu jsou ohřívána selektivně pouze vlhká místa a samotné sušení je rovnoměrnější, rychlejší a ekonomičtější než při jiných metodách sušení.

3.1 VÝHODY MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ PŘI VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A INAKTIVACI BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ

Mezi výhody mikrovlnného záření řadíme následující:

- ohřev hmoty v celém průřezu (hloubkový ohřev), prostup záření je závislý na vlhkosti,
- selektivní ohřev, kdy u vícesložkových materiálů dojde k ohřevu složky absorbující mikrovlny (molekuly vody), od této složky dochází následně k ohřevu sousedního materiálu,
- relativně snadná dostupnost i zdánlivě nedostupných míst bez nutnosti částečné demontáže stavebních prvků,
- zaměření se na konkrétní část prvku díky směřování mikrovlnné energie pomocí vlnovodu, lokální použití,
- rychlost ozařování, ohřev a současně sterilizace biotických škůdců (dřevokazné houby, dřevokazný hmyz a plísňe),
- menší energetická náročnost ve srovnání s horkovzdušným sušením,
- nižší finanční náročnost oproti běžně užívaným sterilizačním a sušicím metodám,

Za prioritní výhodu MV ohřevu považují zejména mnohonásobně lepší regulace, ve srovnání s ostatními dostupnými způsoby. V jeho případě totiž probíhá regulace neboli schopnost ovlivňovat samotný proces, rovnoměrně v celém jeho objemu. Je jedinou průmyslově široce aplikovanou cestou tzv. objemového ohřevu.

K dalším výhodám lze přiřadit rychlost a dokonalost prohřátí, nicméně za nejpodstatnější považují zejména absorpci téměř veškeré MV energie v ohřívaném materiálu. Tuto schopnost nazýváme vysokou energetickou účinností, která je v procesu sušení velmi efektivní, zejména díky skutečnosti, ze které vyplývá, že až 90 % vstupující mikrovlnné energie se přemění na teplo.

Mikrovlenná technologie je bezkontaktní, což může znamenat výhodu pro různé vakuové procesy. Představuje taky podstatnou časovou úsporu a lepší hygienu pracovního prostředí. V neposlední řadě ještě zmiňme výhodu v podobě úspory energie při vysoké kvalitě vysušeného materiálu.

3.2 NEVÝHODY MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ PŘI VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A INAKTIVACI BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ

Mezi výhody mikrovlenného záření řadíme následující:

- možnost lokálního přehřátí v důsledku nehomogenity mikrovlenného pole i ozařovaného materiálu
- odborná způsobilost obsluhy EMW zařízení
- negativní vliv na lidský organismus, při práci s EMW zářiči je nutné dodržovat bezpečnostní předpisy vztahující se k dané činnosti. Vždy je nutné při ozařování být v bezpečné vzdálenosti od EMW generátoru. Odražené vlny mají vysokou intenzitu a může dojít ozáření a ohřívání tkáně,
- přehřátí ozařovaného materiálu a s tím související změna vlastností

Jako má mikrovlenný ohřev své výhody, má i určité nevýhody. Zásadní nevýhodou je pořizovací cena technologie. Zařízení je technologicky vyspělejší než jiné druhy ohřevu, a to se odráží v jeho ceně. Cena se odvíjí od požadovaného výkonu a velikosti stroje.

S vyspělejší technologií ne vždy přichází usnadnění použití, u mikrovlenného sušení musíme řádně naplánovat celý sušící proces, vyplývá z toho relativně náročnější kontrola procesu sušení.

Lokální přehřívání materiálu (tzv. „hot spots“) je další nevýhodou mikrovlenné technologie. Způsobuje to nehomogenita mikrovlenného pole i materiálu. Do zařízení nesmí vstupovat řezivo, které obsahuje kovové části. V tomto případě se kovové předměty zahřívají rychleji než okolní materiál. Tyto části se začnou žhavit a od nich se v jejich okolí začne rychleji odpařovat voda.

3.3 PRŮNIK EMW ZÁŘENÍ DO HLOUBKY PRŮŘEZU

Při vložení vlhkého materiálu do mikrovlenného pole dochází k deformaci mikrovlenného pole a k interakci molekul vody s mikrovlnami. Dochází k přeměně energie na teplo vlivem tření

molekul vody. Nejdříve je pohlcováno mikrovlnné záření povrchovými vrstvami. Jakmile dojde ke snížení vlhkosti v povrchové vrstvě, proniká mikrovlnné záření hlouběji do průřezu.

3.4 PRŮBĚH VYSOUŠENÍ A STERILIZACE STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Během vysoušení a sterilizace nastávají tyto situace:

- interakce molekul vody s mikrovlnami a ohřev sousedního materiálu,
- vypařování povrchové vody, a s tím spojené pronikání mikrovlnného záření hlouběji do průřezu,
- vytlačování vody směrem k povrchu vlivem tlaku, který je spojený se zvětšením objemu v důsledku nárůstu teploty ohřívání vody, tlak se šíří všemi směry,
- v době chladnutí (vypnutý EMW generátor) dochází k odpařování vody z povrchu materiálu. Uvnitř materiálu dochází k transportu vlhkosti na povrch vlivem parciálních tlaků

Rychlost vysoušení závisí na těchto faktorech:

- teplotní gradient,
- rozložení vlhkosti v materiálu a obsah vlhkosti v povrchové vrstvě
- tepelná vodivost materiálu
- tvar vlnovodu a výkon mikrovlnného generátoru

3.5 VÝBĚR MIKROVLNNÉHO GENERÁTORU A MIKROVLNNÁ ENERGIE

Experimentální měření ukázala že záleží na mnoha faktorech při výběru vhodného EMW generátoru.

- výkon mikrovlnného generátoru,
- tvar vlnovodu
- mobilita zařízení (hmotnost, materiál apod.)

Z experimentálních měření, která byla prováděna, lze usoudit, že tvar vlnovodu je nezbytně důležitý pro samotnou využitelnost mikrovlnného záření.

Působením vysílaného elektromagnetického záření se dipóly polárních molekul nepřetržitě natáčejí dle směru elektromagnetického pole. Takto mění svojí orientaci mnohonásobně za sekundu.

V důsledku dochází:

- nejprve k přeměně energie elektromagnetické na energii kinetickou,
- vlivem mezimolekulárního tření k přeměně energie kinetické na energii tepelnou.

Díky tomu dochází primárně k ohřevu vody a teprve následně od ohřátých molekul vody i k sekundárnímu ohřevu okolního materiálu.

Hloubka průniku mikrovln stavebními materiály je závislá především na dvou faktorech:

- výkonu EMW generátoru,
- rozložení vlhkosti ohřívaného materiálu.

K pohlcování mikrovln dochází okamžitě při jejich interakci s molekulami vody. Při zvýšené vlhkosti povrchových vrstev je tedy naprostá většina mikrovlnné energie pohlcena zde a teprve v průběhu vysoušení dochází k průniku do větší hloubky vlivem poklesu vlhkosti v povrchové vrstvě.

Při aplikaci mikrovlnného záření k vysušování stavebních materiálů dochází k jejich absorpci, prostupu i k odrazu. Jejich vzájemný poměr závisí na mnoha faktorech:

- na druhu vysoušeného materiálu,
- jeho vlhkosti,
- rozložení vlhkosti v jeho průřezu,
- salinitě vody, kterou je např. navlhčen.

Většina mikrovlnné energie je vlhkostí absorbována. Část mikrovln je ale zpětně odrážena do prostoru a část může pronikat ozařovaným materiálem, či konstrukcí. Pronikající a odrážené mikrovlnné záření vytváří v okolí tzv. elektrosmog. A tím i prostředí, které je z hlediska zdravotního rizikové.

4 BIOTIČTÍ ŠKŮDCI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

4.1 PLÍSNĚ

Plísně jsou mikroskopické houby, které rostou všude tam, kde je dostatek vlhkosti. Ve venkovním prostředí rostou nejčastěji na rostlinném odpadu a v půdě. Mohou růst v širokém rozmezí teplot, většinou rostou dobře při teplotě kolem 25 °C. Proto se plísním nejvíce daří v přírodě od jara do podzimu a po celý rok v domech s vlhkými zdi. Na zdech jsou živinami pro plísně mikročástečky organické hmoty z ovzduší.

Plísně však dokáží růst a rozmnožovat se i při teplotách pod 10 °C, známe je rostoucí např. i na potravinách v lednici. Takže mohou růst i na zdech bytů, ve kterých se příliš netopí.

Plísně se rozmnožují rozrůstáním mycelia a sporami. Spory jsou rozmnožovací útvary plísní. Po dopadu spory na vlhké místo s živinami začne spora plísně klíčit, poté roste a vytváří reprodukční orgány. Z nich jsou do okolního prostředí uvolňovány zralé spory. Ty jsou velmi malé a lehké, a tak jsou unášeny vzduchem na velké vzdálenosti. Vysoké koncentrace spor plísní v ovzduší jsou pro zdraví člověka nebezpečné, protože může dojít ke vzniku alergického onemocnění včetně astma bronchiale. Alergie ovlivňuje průběh řady infekčních onemocnění. Obecně lze říci, že alergici jsou k infekcím vnímavější a infekce u nich mohou mít těžší průběh. Plísně mohou poškozovat zdraví člověka i jinými způsoby. Při růstu produkují těkavé organické látky, některé z nich člověk vnímá jako plísňový zápach. Tyto látky mohou poškozovat sliznice dýchacích cest, dráždí oči, v nose a krku, způsobují bolesti hlavy a podráždění pokožky. Některé druhy plísní mohou způsobit i velmi závažná onemocnění, např. po vdechnutí spor patogenních druhů plísní mohou v tělních orgánech spory vyklíčit a růst, což se projeví orgánovými mykózami. Rozvoj těchto patogenních druhů může vyvolávat i na povrchu těla různá kožní onemocnění, záněty oční rohovky a další.

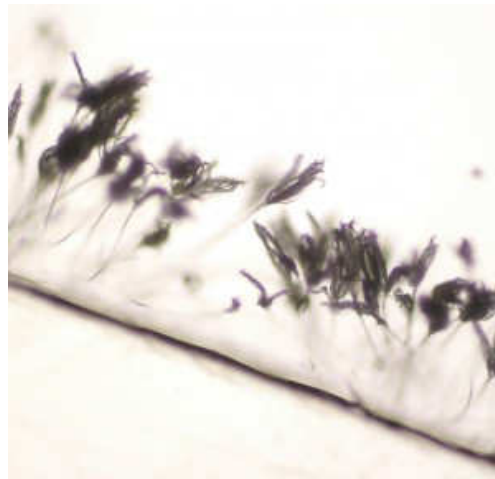
Mycelium je tvořeno pouze na povrchu. Materiál, na kterém se plíseň vyskytne, mechanicky nepoškozují. Pigmentace obsažená v plísních probarvuje povrchovou vrstvu napadeného materiálu. Odolnost mycelia nárůstu teplot je u různých plísní rozdílná. Pro inaktivaci naprosté většiny druhů plísní stačí dosažení teploty okolo 100 °C po dobu několika minut. Podstatně složitější je otázka inaktivace jejích spor. Ty jsou výrazně odolnější a k jejich sterilizaci je potřeba mnohem vyšší teplota (100-120 °C po dobu cca 30 minut).

Dřevozbarvující houby napadají nejčastěji čerstvé řezivo (dřevní hmotu) o vysoké vlhkosti, které nebylo vhodně uloženo. Jsou schopny způsobit hloubkové probarvení dřeva. Mechanické vlastností stejně jako plísně, nepoškozují, protože nezpůsobují rozklad dřevní hmoty. Dřevo je

znehodnoceno pouze opticky. Spory plísni negativně působí na lidský organismus a často způsobují respirační potíže. Jejich výskyt je nežádoucí z hygienického a zdravotního hlediska. Jejich likvidace se provádí různými chemickými, nebo fyzikálními postupy. Výsledkem takového sanačního zásahu může být pouze zastavení dalšího poškozování dřeva. Nikoliv návrat do jeho původního stavu, [21].



Obr. 4.1. klíčící spory plísni, pozorování mikroskopem [21]



Obr. 4.2. plísně rodu *Penicillium* rostoucí na zdi, pozorování mikroskopem [21]

4.1.1 PŘÍČINY RŮSTU PLÍSNÍ NA POVRŠÍCH

Viditelné nárůsty plísni různého zbarvení na zdech nebo i předmětech jsou husté porosty těchto mikroskopických hub a jsou vždy doprovázeny vysokou koncentrací spor plísni v ovzduší, která i mnohonásobně převyšuje jejich koncentrace ve venkovním prostředí.

Vlhkost na površích je základní podmínkou pro růst plísni v interiéru. Zdrojem vlhkosti (obsahu vody) ve stavebních materiálech je voda vniklá do objektů v důsledku stavební závady

(zatékání, vzlínáním půdní vlhkosti) nebo havárie (prasklé vodovodní potrubí, vyplavení sousedy).

V současné době se plísně v bytech vyskytují nejčastěji v důsledku nevhodného užívání bytu (nedostatečné větrání a nedostatečné vytápění) po instalaci nových těsných oken. Nová těsná okna neumožňují výměnu vlhkého vzduchu z místnosti za méně vlhký venkovní vzduch škvírami a netěsnostmi kolem okenních rámců. Neodvětraná vodní pára z ovzduší kondenzuje a vsakuje se do zdí bytů.

Riziko výskytu plísní v bytech se zvyšuje:

- v místech, kde je snižená tepelněizolační schopnost části obvodové konstrukce (tepelný most). K tomu dochází v nezateplených nebo nevhodně zateplených objektech.
- v bytech, ve kterých se suší prádlo či provádějí jiné činnosti spojené s odpařováním vody (pěstování květin, chování rybiček v akváriích atd.).
- v malých bytech, které užívá více osob.

Voda se může vsakovat do porézních materiálů. Tak může dojít i k plesnivění textilií nebo dřevovláknitých desek. Na neporézních nebo málo porézních materiálech zabezpečují kondenzované mikrokapičky vody spolu s drobnými organickými nečistotami z ovzduší také vhodné podmínky pro růst plísní, [21].

4.2 HOUBY

Jsou nejobávanějšími škůdci, kterými jsou ohroženy dřevěné stavební prvky. dřevokazné houby, které napadají jak stojící stromy („živé“ dřevo), tak i čerstvé řezivo a dřevo zabudované ve stavebních konstrukcích („mrtvé“ dřevo).

4.2.1 MORFOLOGIE (VNĚJŠÍ VZHLED) DŘEVOKAZNÝCH HUB

Dřevokazné houby se řadí většinou mezi houby stopkovýtrusné (Basidiomycetes), částečně i vřeckovýtrusné (Ascomycetes). Neobsahují chlorofyl – zeleň listovou, a proto nemohou jako vyšší rostliny asimilovat a musí se živit látkami vytvořenými vyššími rostlinami. Jejich tělo se nazývá stélka, která je vytvořena z vláken (hyf). Hyfy jsou mnohobuněčná vlákna, která rostou do značné délky a silně se větví.

Produkce spor houbou je obrovská. V době plné aktivity (zralosti) houby vytváří jedna plodnice až řádově 10⁸ spor za hodinu. Spory jsou pak snadno roznášeny větrem, hmyzem nebo vodou. Dopadnou-li na vhodný substrát, mohou za příznivých podmínek vyklíčit.

Ze spory nejprve vyklíčí jemné tenké vlákno, které se dále dělí a vzniká tak tzv. primární mycelium. Typické pro něj je, že je složeno pouze z tenkostěnných buněk. Spojováním buněk primárního mycelia a jejich dalším růstem se vytváří tzv. sekundární mycelium. Typické jsou pro něj přezky, které vznikají spojením sousedních buněk a jejich překlenutím příčnou přehrádkou.

Při dalším růstu houby se mycelium dělí na:

- substrátové – rozšiřuje se uvnitř dřeva, stravuje obsah dřevních buněk a zajišťuje tak výživu houby,
- povrchové – rozrůstá se po povrchu dřeva a obvykle se z něj dalším vývojem vytváří plodnice.

Jednotlivé druhy hub mají mycelium typicky zbarvené. Některé houby jsou též schopny vytvářet z povrchového mycelia různé silné a dlouhé provazce nazývané rhizomorfy. Tyto útvary jsou typické zejména pro dřevomorku domácí. Rhizomorfy této houby jsou schopny prorůst i zdívkou a porůstat různé materiály, jejich typickou vlastností je, že nejsou vázány na výživnou hodnotu substrátu. [22]

4.2.2 ROZDĚLENÍ DŘEVOKAZNÝCH HUB

Dřevokazné houby můžeme rozdělit z několika hledisek:

A) Podle způsobu tvorby výtrusů na:

- houby stopkovýtrusné (Basidiomycetes) - výtrusy se vytvářejí na zvláštních buňkách nazývaných basidie. Mezi ně patří většina našich dřevokazných hub.
- houby vřeckovýtrusné (Ascomycetes) - výtrusy se vytvářejí uvnitř kulovitých útvarů nazývaných vřecka.

B) Podle schopnosti napadat „živé“ nebo „mrtvé“ dřevo na:

- houby parazitické – napadají pouze rostoucí stromy nebo keře,
- houby saprofytické – napadají pouze řezivo nebo zabudované dřevěné konstrukce,
- houby sapro-parazitické – jsou schopny vegetovat na „živém“ i „mrtvém“ dřevě, řadí se sem většina druhů dřevokazných hub.

C) Podle zdrojů výživy na:

- houby celulózovorní – stravují pouze celulózu a příbuzné látky (hemicelulózy ap.), (např. Coniophora, Serpula)
- houby ligninovorní – stravují pouze lignin (např. některé druhy rodu Trametes). [22]

Z praktického hlediska je dělení na houby celulózovorní a ligninovorní důležité, protože rozklad dřeva, který způsobují, je od sebe navzájem výrazně odlišný.

Celulózovorní houby způsobují rozkladný proces dřeva nazývaný hnědá hniloba. V počáteční fázi rozkladu je dřevo načervenalé až rezavě červené a postupně hnědne uvolňovaným ligninem. Jeho pevnost je ještě z větší části zachována. Ve střední fázi rozkladu už pevnost dřeva výrazně klesá, dřevo se postupně stává měkkým, křehkým, snadno lámavým, třísky na lomu jsou kratší než u zdravého dřeva.

V pokročilé fázi rozkladu je dřevo již zcela křehké a měkké, lom je zcela hladký, nebo se dřevo drobí a rozpadá na prach. Často je na dřevě zřetelný kostkovitý rozklad, který je způsoben výraznými ztrátami na hmotnosti i objemu.

Ligninovorní houby způsobují rozkladný proces dřeva nazývaný bílá hniloba. Napadené dřevo většinou zesvětlí, i když v první fázi rozkladu se může dočasně vyskytnout tmavší zbarvení. Někdy dřevo bělá rovnoměrně v celé části zasažené houbou, jindy má jen světlé pruhy, nebo se rozkládá tak, že se v něm tvoří nápadné dvůrky (komůrky) naplněné bílou nestrávenou celulózou. Dřevo se postupně stává měkkým až drobivým. Se ztrátou hmotnosti však prakticky neubývá na objemu, a proto nedochází ke kostkovitému rozkladu jako u hnědé hniloby. [22]

4.2.3 VLIV VLHKOSTI NA ROZVOJ DŘEVOKAZNÝCH HUB

Dřevokazné houby potřebují dostatečné množství vody při všech svých životních pochodech. Vlhkost prostředí je nutná pro vyklíčení spor, umožňuje činnost enzymů, rozkládání buněčných stěn a další vnitřní biochemické pochody, jako je trávení apod.

Jednotlivé druhy dřevokazných hub mají svoje specifické požadavky na rozsah vlhkosti dřeva, při kterém ho mohou rozkládat.

Pro každý druh dřevokazné houby tak můžeme stanovit minimální vlhkost dřeva, při které je ještě možný její růst a rozvoj. Při optimální vlhkosti dřeva je růst a rozvoj houby nejrychlejší. Maximální vlhkost dřeva je taková, nad kterou je již růst a rozvoj houby zastaven.

Z hub, které mají nízké nároky na vlhkost dřeva lze uvést jako typický příklad dřevomorku domácí (Serpula lacrymans), (optimální vlhkost dřeva 25–30 %). Z hub které mají střední nároky na vlhkost např. pornatku zprohýbanou (Poria vaporaria) (optimální vlhkost dřeva 35–40 %). Z hub, které mají vysoké nároky na vlhkost, je typickým zástupcem koniofora sklepní (Coniophora puteana) (optimální vlhkost dřeva 50–60 %).

Snížením vlhkosti dřeva pod minimální přestávají veškeré projevy života a houba se dostává do tzv. latentního stadia. Z tohoto pohledu je důležitým mezníkem vlhkost dřeva 20 %.

Při nižší vlhkosti dřeva než 20 % zastavují totiž své životní pochody všechny známé druhy dřevokazných hub a není tak možný jejich růst, rozvoj a destrukční činnost.

Proto také není nutné chemicky chránit proti dřevokazným houbám zakryté dřevěné konstrukce, jejichž vlhkost je trvale nižší než 20 %, za předpokladu, že k nim je zajištěn přístup a je tak možná jejich pravidelná kontrola.

Růst houby a její destrukční činnost ve dřevě je omezena vlhkostí také směrem nahoru. Při velkém obsahu vlhkosti mají houby nedostatek vzduchu a jejich růst je zastaven. Tento stav nastává při poklesu objemu vzduchu ve dřevě pod cca 20 %. Proto nehnije dřevo, které je ponořeno pod vodou. Této skutečnosti se využívá při tzv. „mokrém ochraně dřeva“. [22]

4.2.4 VLIV TEPLoty PROSTŘEDÍ NA ROZVOJ DŘEVOKAZNÝCH HUB

Každý druh houby má jiné nároky na teplotu. Podobně jako u vlhkosti můžeme pro každou houbu stanovit minimální, optimální a maximální teplotu. Minimální teplota je taková, při níž je houba ještě schopna napadnout dřevo a začíná růst jejího mycelia. Při optimální teplotě dosahuje růst houby a její rozkladná činnost maximálních hodnot. Maximální teplota znamená nejvyšší teplotu, kterou houba ještě snáší. Optimální teplota se pohybuje pro většinu našich dřevokazných hub mezi 20–30 °C.

Různí autoři udávají poněkud odlišné optimální teploty pro jednotlivé druhy dřevokazných hub. Např. pro dřevomorku domácí se optimální teplota pohybuje v rozmezí 18–23 °C, pro konioforu sklepní mezi 22–24 °C, pro pornatku zprohýbanou mezi 25–26 °C, pro trámovku plotní dokonce mezi 32–36 °C.

Při nízkých teplotách nebo teplotách vysokých dochází k nevratnému poškození hub. Toto může nastat při velmi nízkých teplotách okolo -30 °C, nebo při zahřátí na teploty vysoké.

Destrukce začíná při teplotách kolem 60 °C. Například pro sterilizaci dřevomorky domácí je zapotřebí teplot okolo 80 °C, u ostatních hub jsou potřebné teploty o zhruba 10 °C nižší. [22]

4.2.5 RYCHLOST RŮSTU DŘEVOKAZNÝCH HUB

Rychlost růstu dřevokazných hub a jejich destrukční schopnost je závislá především na optimalizaci základních faktorů růstu (vlhkosti a teploty). U dřevěných konstrukcí, které jsou vystaveny venkovním teplotám, dochází v důsledku teplotních změn k periodickým výkyvům intenzity růstu.

V zimním období se růst mycelia hub a rozklad dřeva, který způsobují, zpomaluje nebo zcela zastavuje, v jarním a podzimním období je největší, v letním období bývá poněkud pomalejší, protože vlhkost prostředí (a v důsledku toho i dřeva) je nižší než na jaře nebo na podzim. [22]

Nejznámější a nejběžnější druhy dřevokazných hub, které napadají zabudované dřevěné konstrukce. [22]

Dřevomorka domácí (Serpula lacrymans)

Jedná se o nejznámější a nejnebezpečnější dřevokaznou houbu z těch, které se v tuzemsku vyskytují. Nachází se výhradně v domovních objektech (obytných místnostech, na půdách, ve sklepích, kolnách apod.) v přírodě je její výskyt velmi vzácný.

Nebezpečná je pro svůj rychlý růst a šíření a rovněž pro nízké nároky na vlhkost dřeva. Pro její rozvoj postačuje vlhkost dřeva již těsně nad hodnotou 20 %. Dřevomorka je navíc schopna produkovat značné množství vody, rozkladem celulózických složek dřeva a intenzivním dýcháním. Voda se objevuje v drobných kapičkách na plodnicích a zvlhčuje tak živný substrát – dřevo. Optimální vlhkost dřeva pro růst dřevomorky se pohybuje v rozmezí 25–30 %, optimální teplota okolo 20 °C.

Dřevomorka vytváří ploché, polštářovité plodnice, přisedlé na substrát. Plodnice mají různou velikost. Okraj plodnice je bílý, vnitřní části jsou zbarveny v závislosti na stáří plodnice oranžově až rezavě hnědé od vyzrálých výtrusů.

Z podhoubí dřevomorky se mohou vytvářet tzv. rhizomorfy, což jsou provazce silné až několik mm hnědě až šedě zbarvené, po vyschnutí jsou lámavé. Pomocí rhizomorfů se houba může šířit na velkou vzdálenost a porůstat nebo prorůstat i jiné materiály, než je dřevo. Rhizomorfy dřevomorky mohou prorůstat i zdivem a houba se tak může z původního ohniska napadení poměrně rychle rozšířit po celém objektu.

Dřevomorka domácí způsobuje hnědou hnilobu dřeva. Dřevo bývá zpočátku světle okrově zbarveno, později žlutohnědě až tmavohnědě. Většinou bývá poměrně suché. V pokročilé fázi napadení vznikají ve dřevě podélné i příčné trhlinky a dřevo se kostkovitě rozkládá, přičemž kostky jsou poměrně velké. [22]

Koniofora sklepní (Coniophora puteana)

Pro svůj rozvoj tato houba vyžaduje vysokou vlhkost dřeva, proto se s ní v domovních objektech nejčastěji setkáváme ve vlhkých prostorách (ve sklepech, kolnách, na půdách v místech, kde zatéká apod.).

Plodnice koniofory jsou velmi tenké (jen několik mm), dají se snadno odloupnout. Mají pavučinovitě bílý okraj, jinak jsou zbarveny žlutavě, okrově, ve stáří až tmavohnědě. Koniofora je schopna též vytvářet myceliové provazce, které jsou však tenčí než u dřevomorky.

Optimální vlhkost dřeva pro růst a rozkladnou činnost koniofory se pohybuje v rozmezí 50–60 %, optimální teplota okolo 23 °C. Oproti tepelným změnám je odolnější než dřevomorka (maximální teplota okolo 35 °C).

Koniofora sklepní rovněž způsobuje hnědou hnilobu dřeva, příznaky jsou však poněkud odlišné od dřevomorky. Napadené dřevo bývá většinou mokré, zpočátku je zbarveno žlutohnědě, později tmavohnědě. V pokročilé fázi napadení dochází ke kostkovitému rozkladu, kostky jsou však narozdíl od dřevomorky drobné. V konečném stadiu hniloby je dřevo možné rozmělnit na prach. [22]

Pornatka Vaillantova (Poria vaillantii)

Plodnice jsou v mládí bílé, později tmavě šedožluté, dají se snadno odloupnout. Tvar a velikost plodnic je různá, v mládí jsou plodnice měkké, později kožovité. Povrchové mycelium je bílé, vatovité a mohou se z něj též vytvářet tenké bílé provazce. Provazce jsou tenčí než u dřevomorky, trvale bílé i ve stáří a nejsou ani po vyschnutí lámavé.

Optimální vlhkost dřeva pro růst houby se pohybuje v rozmezí 35–40 %, optimální teplota okolo 27°C.

Pornatka Vaillantova způsobuje hnědou hnilobu dřeva, v pokročilém stadiu rozkladu se dřevo kostkovitě rozkládá, a nakonec ho lze rozmělnit až na prach. [22]

Pornatka zprohýbaná (Poria vaporaria)

Vzhled plodnic je podobný jako u pornatky Vaillantovy, jediný podstatný rozdíl je v tom, že se špatně oddělují od dřeva. Nároky na vlhkost a teplotu jsou rovněž podobné. Také rozklad dřeva probíhá podobně, houba působí hnědou hnilobu, dřevo bývá většinou suché. Charakteristickým znakem je, že se dřevo v pokročilé fázi rozkladu lupénkovitě třepí. [22]

Trámovka plotní (Gloeophyllum sepiarium)

Plodnice mají rozmanitý tvar, většinou jsou konzolovité, bokem přirostlé. Povrch klobouku je drsně chlupatý, kruhovitě rýhovaný, žltorezavý až rezavě hnědý. Na spodní straně jsou husté rozvětvené lamely v mládí oranžové, později tmavohnědé.

Charakteristickou vlastností trámovky plotní je malá náročnost na vlhkost a velká odolnost proti vysokým teplotám. Optimální teplota pro růst této houby se pohybuje v rozmezí 32–36 °C, maximální teplota v rozmezí 44–46 °C.

Trámovka plotní je kromě odolnosti k extrémním klimatickým podmínkám nebezpečná především tím, že se jedná o typickou substrátovou houbu, tzn., že hniloba se počíná vyvíjet ve vnitřních částech dřeva. Zatímco vnitřní části dřeva jsou často zcela destruovány, tenká povrchová vrstva zůstává dlouhou dobu neporušena.

Rovněž trámovka způsobuje hnědou hnilobu dřeva. Dřevo postupně tmavne až do červenohnědé barvy. Ztrácí velmi rychle pevnost, stává se křehkým, snadno se láme, lom je hladký a lesklý. V pokročilé fázi hniloby se dřevo kostkovitě rozkládá, přičemž kostky bývají větší než u koniofory, ale menší než u dřevomorky.

Trámovka jedlová (Gloeophyllum abietinum), trámovka trámová (Gloeophyllum trabeum)

Oba tyto druhy hub jsou blízce příbuzné trámovce plotní a mají podobné znaky a vlastnosti jako tato houba. Jediný výraznější rozdíl je v plodnicích. Plodnice trámovky jedlové jsou narozdíl od trámovky plotní olysalé, hladké.

Výše uvedené druhy hub se nejčastěji vyskytují a působí největší škody na zabudovaných dřevěných konstrukcích, ve stavbách. Vzácněji se ve stavbách vyskytují i jiné druhy dřevokazných hub jako outkovka pestrá (*Trametes versicolor*), která je zajímavá tím, že způsobuje bílou hnilobu, houževnatec šupinatý (*Lentinus lepideus*), čechratka sklepní (*Paxilus panuoides*) a další. [22]

4.3 DŘEVOKAZNÝ HMYZ

Dřevokazný hmyz napadá buď živé dřevo (rostoucí stromy) nebo dřevo uskladněné, případně i dřevo zpracované. Většina druhů dřevokazného hmyzu (larev) využívá dřevo jako potravu, jiným slouží jako prostředí pro růst a vývoj larev.

Dřevokazný hmyz se dělí do více čeledí, z nichž pro zabudované dřevěné konstrukce ve stavbách představují největší nebezpečí červotoči a tesařici. Ostatní uvedené čeledi napadají především živé nebo uskladněné – vesměs neodkorněné dřevo.

Dřevokazný hmyz má podstatně nižší nároky na vlhkost dřeva než dřevokazné houby. Pro napadení dřevokazným hmyzem postačuje vlhkost dřeva 10–12 %. [22]

Rozdělení dřevokazného hmyzu

- kůrovci (živé stromy),
- piložítka (živé stromy),
- tesařici (dřevo rostlé i zpracované),
- červotoči (dřevo zpracované),

Životní podmínky

- vlhkost dřeva > 10 %,
- teplota 10–20 °C,
- relativní vlhkost vzduchu (50-55 %),

Vývojový cyklus

- vajíčko (dny – týdny),
- larva (měsíce – roky),

- kukla (týdny),
- dospělec (dny – týdny). [23]

Kůrovci (Scolytidae)

Zástupci této čeledi brouků jsou úzce vázáni na živé dřevo. Jejich larvy se vyvíjejí ve kmenech a větvích různých druhů dřevin.

Velikost našich druhů kůrovců se pohybuje mezi 1–8 mm. Tělo je válcovité, oválné, nebo krátce oválné. Barva těla je obvykle tmavohnědá, černohnědá nebo černošedá. Larvy kůrovců jsou většinou bílé, u některých druhů slabě narůžovělé. Na hlavě je patrný pár krátkých, ale silných kusadel, tykadla jsou složena z jediného krátkého článku.

Vývojový cyklus larev trvá v průměru dva měsíce. Larvy během svého vývoje vykusují pod kůrou chodbičky, které jsou pro každý druh typické a stálé, takže většina druhů se dá určit podle požerků. [22]

Pilořitky (Siricoidea)

Tvar těla dospělých brouků je válcovitý. Samička má hlavu a hrud' převážně černě zbarvenou, zadeček je žlutavý, jen prostřední články jsou fialově černé. Tělo je zakončeno poměrně dlouhým kladélkem. Samička měří 25–45 mm. Sameček je menší a štíhlejší, měří 10–30 mm. Je převážně černě zbarvený.

Larvy jsou válcovité, bělavě zbarvené. Vyvíjejí se z vajíček, které samičky kladou především pod kůru čerstvě poražených neodkorněných kmenů nebo do poraněných stromů. Larvy nejprve hlodají v měkkém letním dřevě, potom pronikají dovnitř kmene. Později se chodby opět vracejí k povrchu a jsou zakončeny kukelnou kolébkou. Vývoj larev trvá 2–3 roky. Výletové otvory dospělých brouků jsou kruhové a velké (4 – 5 mm v průměru). [22]

Škůdci dřeva na stavbách, v dřevěných konstrukcích, nábytku a muzejních exponátech.

Červotoči (Anobiidae)

Červotoči mají protáhlé válcovité méně často oválné, svrchu zploštělé tělo. Jsou to brouci menších nebo středních rozměrů. Tykadla mají 8–11 článková, pilovitá, hřebenitá. Zbarvení těla je nejčastěji tmavohnědé nebo načervenalé. Larvy jsou bílé srpovitě ohnuté.

Téměř všichni červotoči, kteří škodí na dřevě se řadí do podčeledi Anobiidae, která se dále dělí na 8 rodů a ty na několik desítek druhů.

Nejčastěji se vyskytují a největší škody způsobují dva druhy červotoč proužkovaný a červotoč umrlčí. [22]

Červotoč proužkovaný (*Anobium punctatum*)

Napadá především jehličnaté dřevo, méně listnaté. Dospělí brouci jsou velcí 3–4 mm. Tělo je válcovité, přední část štítu překrývá hlavu natolik, že je málo znatelná. Je jednobarevně hnědý až černý, pouze nohy a tykadla jsou poněkud světlejší. Krovky jsou protáhlé, je na nich 10 tečkovaných rýh, odtud pochází jeho název.

Vyskytuje se především v obytných budovách, ale žije i ve volné přírodě. Dospělí brouci vyletují ze dřeva v červnu a červenci. Žijí pouze krátkou dobu (1–4 týdny) a po celou dobu života nepřijímají potravu. Po oplození naklade samička vajíčka do trhlin a skulin dřeva (na drsnější plochy), a to většinou do dřeva, kde se vylíhly předchozí generace.

Larva se vylíhne po 12–20 dnech, zavrtává se do dřeva a hlodá chodbičky, které jsou převážně orientovány podél vláken. Chodbičky za sebou larvy pevně ucpávají výkaly smíchanými s dřevěnými drtinkami.

Larva se po dokončení vývoje zakuklí v blízkosti vnější plochy dřeva, těsně pod povrchem. Výletové otvory dospělých brouků jsou typicky kruhové o průměru 1,5 – 2 mm. Vývojový cyklus trvá od 6 měsíců až do dvou let v závislosti na teplotě, vlhkosti a druhu dřeva.

Poškození červotočem vede často k úplnému zničení předmětu nebo dřevěné konstrukce, ve velkém množství larválních chodeb se dřevo proměňuje v prachovitou drť nazývanou červotočinu. Je to způsobeno hlavně tím, že se ve dřevě vyvíjí celá řada generací.

Aktivní napadení červotočem (tzn., že hmyz je ve dřevě přítomen) se projevuje přítomností žlutých sypkých pilinek v chodbičkách larev i pod výletovými otvory ve dřevě. Přítomnost červotoče se pozná také podle zvuku, který připomíná jemný tikot hodinek. Naproti tomu při starším neaktivním napadení je požerek larev zbarven okrově až dohněda a je celistvější nebo úplně slepený. [22]

Červotoč umrlčí (*Anobium pertinax*)

Dospělí brouci jsou poněkud větší než červotoč proužkovaný (4–5 mm). Celé tělo je černohnědé, jen na štítu jsou zřetelné zlatožluté skvrnky. Jinak se červotoč umrlčí podobá červotoči proužkovanému.

Dospělí brouci vyletují ze dřeva především v květnu a červnu. Vývoj larev je podobný jako u červotoče proužkovaného, trvá však déle – nejčastěji 2–3 roky v závislosti na teplotě, vlhkosti a druhu dřeva.

Výletové otvory dospělých brouků jsou rovněž kruhovitě, ale větší než u červotoče proužkovaného (průměr 2,5 – 3 mm).

Červotoč umrlčí napadá dřevo, které je zabudováno ve stavbách již několik let. Čerstvé dříví nenapadá. [22]

Tesaříci (*Cerambycidae*)

Tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*)

Jedná se o nejvýznamnějšího technického škůdce dřeva, který napadá zabudované dřevěné konstrukce.

Brouk má ploché černé tělo, dlouhé až 25 mm. Na štítu jsou viditelné dvě lesklé skvrny. Na hlavě je poměrně výrazné, více či méně husté tečkování. Narozdíl od jiných tesaříků má poměrně krátká tykadla, která nepřesahují polovinu délky těla. Krovky jsou lehce vypouklé, ke konci se postupně zužují. Samička má štít výrazně širší než sameček, ale je poněkud menší a má kratší tykadla. Liší se rovněž kladélkem umístěným na zadečku.

Dospělí brouci se vyskytují od května do září. Samička žije 3–4 týdny a klade okolo 12 dní celkem 80–200 vajíček. Vajíčka klade do trhlinek dřeva. Z vajíček se vylíhnou larvy. Larva tesaříka krovového je bílá, s hnědavou hlavou, délka larvy postupně roste a před zakuklením činí 19–22 mm. Během svého vývoje larvy vyžírají dřevo a chodbičky za sebou zaplňují drtí a výkaly. Larvy většinou rozežírají povrchové vrstvy dřeva (bělové dřevo), při intenzivnějším napadení jsou však nuceny se zavrtat hlouběji a rozrušují tak i dřevo jádrové.

Vývojový cyklus je značně rozdílný, co se týče jeho délky, závisí na druhu dřeviny, teplotě prostředí, vlhkosti dřeva a dalších faktorech. Larvy v jádrovém dřevě se vyvíjejí mnohem

pomaleji než ve dřevě bělovém, a to vzhledem k jeho odlišnému chemickému složení. Doba vývoje kolísá mezi 2–10 lety.

Po ukončení vývojového cyklu se brouk zakuklí těsně pod povrchem dřeva. Výletové otvory dospělých brouků jsou silně elipsovité o rozměrech 5 - 6 x 3 – 4 mm, mohou však mít šířku až 10 mm.

Vývoj larev může probíhat v krovech, trámech, ve skladovaném dříví, v plotech, v nábytku, podlahách, telegrafních tyčích atd. Tesařík krovový přednostně vyhledává starší neodkorněné dřevo, čerstvě poražené dřevo napadá jen výjimečně. [22]

Tesařík fialový (*Callidium violaceum*)

I v tomto případě se jedná o technického škůdce dřeva, který napadá zabudované dřevěné konstrukce.

Dospělí brouci jsou modře až fialově zbarvení, nohy, zadeček a tykadla jsou hnědá. Tykadla ani u samečků nedosahují délky těla. Brouci se rojí hlavně v květnu a červnu. Z nakladených vajíček se vylíhnou larvy, které vyžírají v povrchové běli celé plochy a později se zavrtávají hluboko do dřeva. Larvy jsou bílé, hlava je rovněž bílá s pigmentovaným černým předním okrajem. Délka dospělé larvy je přibližně 25 mm, šířka 6 mm.

Těsně před zakuklením se chodbičky larev obracejí k povrchu. Výletové otvory dospělých brouků obracejí k povrchu. Výletové otvory dospělých brouků jsou rovněž elipsovité, ale poněkud menší než u tesaříka krovového (4 - 6 x 2 – 3 mm).

Podobně jako tesařík krovový napadá přednostně neodkorněné dřevo, ale narozdíl od něj napadá i čerstvě poražené dřevo. [22]

Tesařík obrovský (*Cerambyx cerdo*)

Tento druh tesaříka nenapadá opracované dřevo, napadá především starší nemocné stromy. Pro zabudované dřevěné konstrukce představuje tedy menší nebezpečí než tesařík krovový a fialový.

Dospělí brouci jsou velcí 25–50 mm. Je celý černý, krovky jsou ke konci červenohnědé, lesklé.

Vyskytuje se od května do července. Z nakladených vajíček se vylíhnou larvy, které nejprve hlodají v odumřelé kůře. V kůře přezimuje a teprve ve druhém roce svého vývoje larva začne

vyžírat lýko i bělové dřevo. Vývojový cyklus většinou 3 roky. Požerkové chodby larev jsou poměrně široké. Tesařík obrovský způsobuje značné technické škody, protože vyžírá dřevo až dovnitř a silně napadené stromy lze využít pouze na palivo. [22]

5 VLHKOST VE STAVEBNÍCH MATERIÁLECH

Vlhkost, jak je popsáno výše, je jedna z podmínek k rozvoji biotických škůdců (plísň, houby, dřevokazný hmyz). Přítomnost vlhkosti ve stavebních konstrukcích má vliv na jejich mechanické vlastnosti, zejména na pevnost, mrazuvzdornost, měrná tepelná kapacita, objemová vlhkost, zpracování a životnost. Zároveň vlhkost ovlivňuje tepelně-technické vlastnosti konstrukcí.

Vlhkost pórovitých materiálů, nasákavost, vzlínavost, sorpční izotermy, retenční křivky vlhkosti, faktor difuzního odporu, ekvivalentní difuzní tloušťka materiálu a propustnost jsou velmi důležité parametry, které mohou být při nesprávném použití materiálů v konstrukcích zdrojem poruch.

5.1 ČLENĚNÍ VLHKOSTI

Přítomnost vlhkosti ve stavebních konstrukcích je předmětem stavebně technického průzkumu, během kterého lze definovat různé druhy vlhkosti.

- povrchová voda – voda stékající po povrchu území, odtékající v tocích i voda v nádržích,
- provozní voda – voda ve všech skupenstvích, vyskytující se ve stavbě v souvislosti s provozem. Rozlišuje se vlhkost vnitřního vzduchu, voda kondenzovaná na vnitřním povrchu i uvnitř stavebních konstrukcí, voda volně stékající po povrchu a voda tlaková v bazénech a nádržích,
- kondenzovaná voda – voda v kapalném skupenství, vznikající na povrchu či uvnitř stavebních konstrukcí v důsledku jejich teplotních a vlhkostních vlastností a vnitřního a vnějšího prostředí.

Vodu způsobující poruchy stavebních konstrukcí lze dále dělit na:

- srážková voda – výsledek kondenzace nebo desublimace vodních par v ovzduší či na povrchu území, předmětů a rostlin; rozlišují se kapalné a tuhé srážky. Na fasády objektů působí přímo nebo jako voda odstříkující po odrazu od terénu či části stavebního objektu, případně jako voda povrchová,
- voda podpovrchová – souhrnné označení pro veškerou vodu pod zemským povrchem,
- zemní vlhkost – voda vázaná v pórovitém horninovém prostředí sorpčními a kapilárními silami.

Druhotně vzniká:

- voda působící hydrostatickým tlakem (tlaková voda podzemní) – voda v tekutém skupenství, která proniká do stavení konstrukce pod hydrostatickým tlakem. Tím se rozumí voda pronikající do zdiva nacházejícího se pod hladinou podzemní vody, jejíž pohyb a statické účinky jsou výsledkem působení gravitace, jako i voda infiltrovaná, která vsakuje pod povrch země účinkem gravitace,
- voda kapilární – voda v tekutém skupenství vzlínající z podzákladí stavebního objektu do nepovrchové části, do zóny odpařovací přes kapiláry a otevřené póry zdiva.

Nedílnou součástí vlivů způsobujících poruchy vlivem vlhkosti je:

- vlhkost vzduchu – voda v plynném skupenství (vodní pára) obsažená ve vzduchu. Rozlišuje se vlhkost vnějšího a vnitřního vzduchu,
- vlhkost provozní – vzniká při využívání objektu, například při mokřích procesech v průmyslových objektech, v koupelnách, kuchyních apod,
- vlhkost sorpční – vlhkost v konstrukcích v důsledku hygroskopických vlastností materiálů. Její obsah v konstrukcích je závislý na teplotě a vlhkosti okolního prostředí. [24]

5.2 VLHKOST PÓROVITÝCH MATERIÁLŮ

Pórovité stavební materiály se prakticky v suchém stavu nevyskytují – i v případě, že jsou trvale zabudovány v konstrukcích

5.2.1 FORMY VLHKOSTI V MATERIÁLECH

- volná voda (vyplňuje velké póry a dutiny),
- fyzikálně vázaná (van der Waalsovy síly),
- kapilární voda (tvoří výplň malých pórů a kapilár),
- adsorbovaná voda (vyplňuje nejmenší póry a pokrývá stěny porézního prostoru)
- chemicky vázaná voda (tvoří součást základní mřížky materiálů, např. jako voda krystalová, sádra – vysoušení, anhydrit)

5.2.2 VLHKOST Z POHLEDU JEJÍHO ČASOVÉHO VÝVOJE

Vlhkost se mění nejen během výroby, ale i po celou dobu životnosti materiálu či konstrukce

- výrobní vlhkost – po krátkém čase (v případě mokrých výrobních procesů) významně klesá,
- skladovací vlhkost – ovlivňuje způsob následného zpracování materiálu,
- trvalá vlhkost – trvalá vlhkost je charakteristická pro materiály zabudované do konstrukce – kritická vlhkost – maximální přípustná vlhkost materiálu zabudovaného do konstrukce, po překročení této hodnoty materiál podstatně mění své vlastnosti (pevnost, objem, tepelnou vodivost, chemické vlastnosti apod.) do té míry, že jeho další použití je nevhodné a nebezpečné. [25]

Obsah vlhkosti ve stavebních konstrukcích lze stanovit:

Hmotnostní vlhkost

$$w_h = \frac{m_w - m_d}{m_d} \cdot 100 = \frac{m_k}{m_d} \cdot 100 \quad (5.1)$$

kde:

w_h – hmotnostní vlhkost [%]

m_w – hmotnost vlhkého materiálu [kg]

m_d – hmotnost suchého materiálu [kg]

m_k – hmotnost vody [kg]

Objemová vlhkost

$$w_v = \frac{V_w}{V_d} \cdot 100 \quad (5.2)$$

kde:

w_v – objemová hmotnost [%]

V_w – objem volné vody [m³]

V_d – objem suchého materiálu [m^3]

5.2.3 TRANSPORT VLHKOSTI

- sorpcí vodní páry
- difúzí vodní páry
- kapilárním vedením – vlhkostní vodivostí

Sorpce vlhkosti

Přijímání vlhkosti pohlcováním vodní páry ze vzduchu

- adsorpce – způsobena mezimolekulárními van der Waalsovými silami, kterými se navzájem přitahují molekuly pevných látek a vodní páry, adsorpce vede ke vzniku molekulárních vrstev vodní páry na stěnách pórů
 - absorpce – kapalná nebo plynná fáze se vstřebává difúzí a vedením vlhkosti dovnitř tuhé fáze
 - chemisorpce – uplatnění chemických vazeb vody a tuhé fáze materiálu
- rovnovážná sorpční vlhkost – materiál nevykazuje v čase přírůstek ani úbytek vlhkosti
- hygroskopická vlhkost – vzniká v materiálu v případě, že okolní vzduch je plně nasycen vodními parami (maximální rovnovážná sorpční vlhkost) [25]

Difúze vodní páry

Mluvíme-li o difúzi vodní páry ve stavebnictví, máme na mysli pouze transport molekul vodní páry ve vzduchu, nebo ve vzduchem vyplněných pórech a kanálcích stavebních materiálů. Při výpočtech většinou nepracujeme s koncentracemi, ale částečnými tlaky vodní páry (tlak, kterým by molekuly páry působily na stěny nádoby, kdyby byly v nádobě samy, bez ostatních atmosférických plynů). Předpokládejme, že spolu sousedí dvě prostředí s různými počátečními částečnými tlaky vodní páry. Většinou nás zajímají případy, kdy jde o vnitřní a venkovní vzduch oddělený obvodovou zdí. Potom molekuly s vyšším částečným tlakem putují do sousedství ve větší míře, než je tomu naopak, dokud se částečné tlaky nevyrovnají. Zeď tomuto pohybu klade tím větší překážku, čím je tlustší a čím menší je její součinitel difúzního prostupu,

což je analogie součinitele prostupu tepla. Přestože molekuly "necítí", že by byly někam hnány a pohybují se zcela nahodile, z makroskopického pohledu vystupuje jako hnací síla pro difúzní transport páry rozdíl částečných tlaků vodní páry (dělený vzdáleností míst s různými částečnými tlaky). Tato síla, a tudíž i difúze zaniknou s vyrováním částečných tlaků. V případě vodní páry – na rozdíl od většiny běžných plynů – může transport zkomplikovat kondenzace vodní páry. [26]

5.2.4 METODY VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

5.2.4.1 PŘIROZENÉ VYSOUŠENÍ

Voda je odstraňována pouze působením okolních klimatických podmínek. Toto je jedna z podmínek. Při vypařování vody z povrchu dochází k ochlazení povrchu vysoušeného materiálu (tedy i vody v něm obsažené) i okolního vzduchu. Bez zajištění dostatečného odvětrávání vlhkého vzduchu se proces vysoušení zpomaluje. Vysoušení celkově probíhá pomalu. Rozdíly vody v různých částech průřezu konstrukce se zmenšují plynule. Nedochozí k žádným teplotním výkyvům, a tím i k nežádoucímu pnutí.

Rychlost vysoušení je ve značné míře závislá na vnějších klimatických podmínkách. Tedy teplotě a relativní vlhkosti vzduchu v exteriéru a interiéru.

Vždy se však jedná o proces dlouhodobý, trvající často i několik roků. Jedinou výhodou jsou pouze minimální finanční náklady.

Negativní vliv na dobu potřebnou k dosažení požadovaného výsledku mívá velmi rozšířený názor, že nejvhodnější doba k vysoušení je letní období a v chladné části roku se má větrat minimálně. Platí to především v případech vysoušení vlhkých suterénních a sklepních prostor. Pravdou je však opačný způsob.

5.2.4.2 KONDENZAČNÍ A ADSORPČNÍ VYSOUŠENÍ

Tato technologie je založena na principu průběžného snižování relativní vlhkosti vzduchu ve vysoušeném prostoru. V důsledku odpařování vody z povrchových vrstev klesá povrchová teplota. Množství tepla, které vzniká při kondenzaci vodních par, tuto skutečnost většinou eliminuje. Rychlost vysoušení je závislá především na schopnosti konstrukce transportovat vodu z hlubších vrstev k povrchu a samozřejmě také na výkonu instalovaného zařízení.

Zrychlené vysoušením povrchových vrstev způsobuje gradient vlhkosti v průřezu konstrukce. K dosažení požadovaného stavu stačí kratší doba, než je tomu u přirozeného vysoušení.

Nejedná se o moc účinnou metodu, a proto je třeba zvážit náklady na pořízení, nebo zapůjčení přístrojového vybavení.

5.2.4.3 TEPLOVZDUŠNÉ VYSOUŠENÍ

Zde se jedná o ohřev povrchu vysoušené konstrukce, při kterém se výrazně zvýší rychlost odpařování vody. Současně s vodou je však ohříván konstrukční materiál. Protože naprostá většina stavebních materiálů má nízkou tepelnou vodivost, dochází k prohřátí pouze povrchových vrstev. Výrazným aspektem, který ovlivňuje dobu potřebnou k vysušení, je i zde schopnost konstrukce transportovat vodu obsaženou v materiálu. Při použití těchto technologií dochází ke značným rozdílům vlhkosti i teplot v jednotlivých vrstvách, což může způsobovat nežádoucí pnutí konstrukcí.

V naprosté většině případů se jedná také o technologii časově a energeticky nákladnou.

5.2.4.4 TOPNÉ TYČE

Jedná se o další variantu urychlení vysoušení s využitím ohřevu konstrukce. Pro instalaci topných tyčí je nutné vyvrtat do zdiva mnoho otvorů, do kterých se topné tyče nasunou. Ohřívány jsou tedy stěny otvorů a jejich těsné okolí. K odpařování tak dochází nejen na povrchu ohřívajícího masivu, ale současně i na površích ohřívajících otvorů v jeho hloubce. Vyvrtané otvory průměru 30–50 mm ale mohou narušovat statiku konstrukcí. K hloubkovému ohřevu většiny stavebních materiálů je ovšem potřeba značné množství dodané energie.

5.2.4.5 MIKROVLNNÝ OHŘEV

Samostatnou kapitolou při využívání mikrovlnné technologie jsou bezpečnostní rizika. Mikrovlnné elektromagnetické záření patří mezi záření neionizující.

Pobyt v prostředí, kde se toto záření vyskytuje, ale může mít negativní vliv na zdraví. Proto se musí při práci se zařízením vysílajícím mikrovlnné záření dodržovat přísná bezpečnostní opatření.

Princip vysoušení využitím mikrovlnné technologie se ode všech předcházejících postupů zásadně liší. Většina nejčastěji používaných stavebních materiálů je pro mikrovlnné elektromagnetické záření transparentní. Jedná se především o keramiku, kámen, beton, dřevo a podobně. Některé materiály zabudované v konstrukcích mikrovlny odrážejí – např. kovy. A některé ji pohlcují. Zde se jedná především o vodu. A některé další bipolární materiály.

Při kontaktu mikrovlnného záření s molekulami vody dochází k přeměně elektromagnetické energie nejprve na energii tepelnou, ve formě zvýšení rychlosti pohybu jednotlivých molekul, a následně, v důsledku tření molekul mezi sebou, k přeměně na energii kinetickou. Dochází k ohřevu vody. Ohřev okolních stavebních materiálů následuje až sekundárně.

Hloubka „prohřevu“ je závislá na mnoha faktorech a na vodě obsažené v povrchových vrstvách a výkonu použitého zařízení.

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, takže projdou povrchovou vrstvou a opustí kapalinu.
- zvýšení teploty vody uvnitř vysoušeného materiálu způsobí nárůst jejího objemu.

6 VYMEZENÍ A CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Práce shrnuje teoretické poznatky z oblasti mikrovlnného záření, jeho využití při vysoušení a inaktivaci biotických škůdců, vlhkost ve stavebních materiálech a metody vysušování a také charakteristiku biotických škůdců. Kromě teoretické části se práce zabývá také experimenty, při kterých byla využita mikrovlnná technologie.

6.1 VYMEZENÍ PROBLEMATIKY

Teoretické poznatky z oblasti EMW včetně samotného mikrovlnného záření a jeho interakce se stavebními materiály, výskyt a podmínky přežití biotických škůdců a vlhkost ve stavebních materiálech jsou oblasti, kterými se zabývám v disertační práci.

V experimentální části se zabývám ověřením postupů mikrovlnného ohřevu celého objemu stavebních materiálů a zjištění vhodných délek cyklů ohřevů a chladnutí k dosažení potřebných teplot v průřezu, ale i na povrchu materiálu, které jsou potřebné ke sterilizaci biotických škůdců. Zároveň byly pozorovány i úbytky hmotnosti v průběhu experimentů za účelem zjištění přibližných počtů cyklů ohřevu i chladnutí k dosažení vlhkosti, při které se zastavuje aktivita biotických škůdců, nebo je zcela zastavena jejich aktivita. Tepelné účinky nemají vliv jen na inaktivaci biotických škůdců a rychlost vysoušení stavebních materiálů, ale taky na mechanické vlastnosti ozařovaného materiálu. V experimentální části této disertační práce jsou výsledky z konkrétních zvolených postupů, které nejsou jediné a lze je modifikovat hlavně z pohledu délek jednotlivých cyklů, ale taky z pohledu použití jiných (výkonnějších) mikrovlnných generátorů a v neposlední řadě i možnost použití jiných vlnodů. Použití mikrovlnné technologie je sice známou metodou, ale z hlediska stavební vědy stále málo prozkoumanou oblastí. V samotné praxi je potom velmi obtížné získat potřebná data k využití této metody, neboť firmy a společnosti zabývající se metodou mikrovlnného ohřevu si svá data z praxe velmi cení.

6.2 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Ve své disertační práci se zabývám využitím EMW záření k likvidaci biotických škůdců. Téma práce je velmi široké. Proto se zaměřuji konkrétně na omezení nebo úplnou eliminaci podmínek, které potřebují tyto biotičtí škůdci ke svému přežití. Vlastní disertační práce si pak klade tyto cíle:

- Stanovení potřebných teplot pro inaktivaci biotických škůdců

počty a délky jednotlivých cyklů ohřevů a chladnutí k dosažení teplot v průřezu, ale i na površích ozařovaných stavebních materiálů a s tím související úbytek vlhkosti, který způsobí zpomalení nebo úplné zastavení rozvoje biotických škůdců,

- Stanovení doby ozařování

ověřit konkrétní zvolený postup ohřevu a jeho zhodnocení z pohledu dosažené teploty, která bude porovnána s potřebnými teplotami pro inaktivaci biotických škůdců,

- Stanovení počtu cyklů, které jsou potřeba k dosažení potřebné teploty pro inaktivaci

vyhodnocení experimentu z pohledu zvolené doby ozařování a chladnutí a doporučení pro další vývoj metody (úprava doby ozařování, chladnutí, využití výkonnějších generátorů, výběr vlnovodu)

7 STERILIZACE, OHŘEV A VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ MIKROVLNNÝM ZÁŘENÍM

V rámci disertační práce je prezentováno několik experimentů prováděných na vybraných stavebních materiálech jako je dřevo, plynosilikátové tvárnice a cihla plná pálená. Cílem bylo zjistit účinnost mikrovlnného záření při inaktivaci biotických škůdců, vysoušení stavebních materiálů a s tím spojená eliminace vlhkosti jakožto podmínky k přežití nebo rozvoji biotických škůdců.

V rámci všech měření jsem se zaměřil hlavně na:

- prohřívání průřezu jednotlivých stavebních materiálů,
- vliv počáteční vlhkosti na průběh ohřevu,
- vhodnost zvolené délky ohřevu a chladnutí,
- úbytky hmotnosti vlivem vypařování vody,

Cílem experimentů bylo:

- dosažení potřebných teplot pro inaktivaci biotických škůdců v průřezu, ale i na površích ozařovaných stavebních materiálů a s ohřevem související úbytky vlhkosti na hodnoty, při kterých se zastavuje nebo je zcela zastaven rozvoj biotických škůdců,
- vyhodnotit zvolenou dobu ozařování, chladnutí a samotný počet cyklů ohřevu a chladnutí z pohledu možnosti dosažení potřebných teplot k inaktivaci biotických škůdců a k eliminaci vlhkosti,
- doporučit další vývoj této metody.

V rámci experimentů byly použity tyto přístroje:

- mikrovlnný generátor s vyzařovaným výkonem 750 W,
- digitální váhy Kern PCB 6000-0,
- termovizní kamera FLIR i7,
- jednobaný teploměr Voltcraft PL-120 T1
- teplotní čidlo typu K
- fotoaparát CANON EOS 600D

7.1 OHŘEV A VYSOUŠENÍ DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

Příprava a popis experimentů

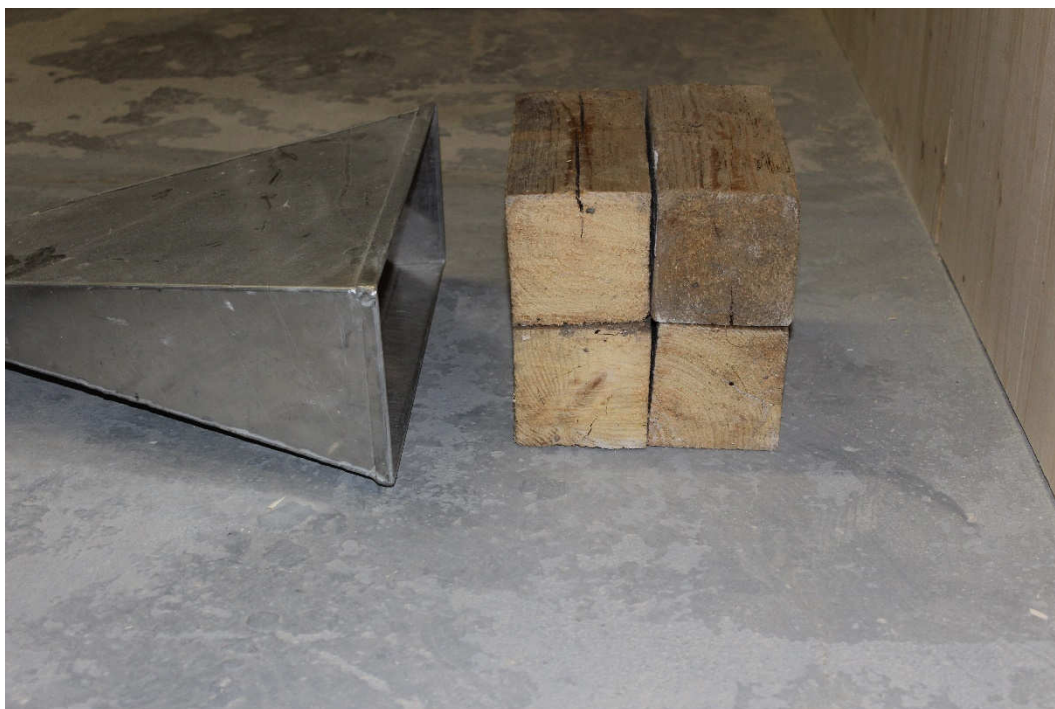
Pro experimenty bylo použito několik hranolů z různého druhu dřeva, s různou velikostí průřezu a různou počáteční vlhkostí. Cílem bylo zjistit optimální délku ohřevu a počet cyklů ohřevů, aby bylo dosaženo potřebných teplot pro inaktivaci dřevokazného hmyzu nejen pár cm za povrchem, ale i uvnitř průřezu. Zároveň byla během experimentů sledována hmotnost a s tím spojená rychlost vysoušení v závislosti na teplotě.

7.1.1 Experiment č. 1

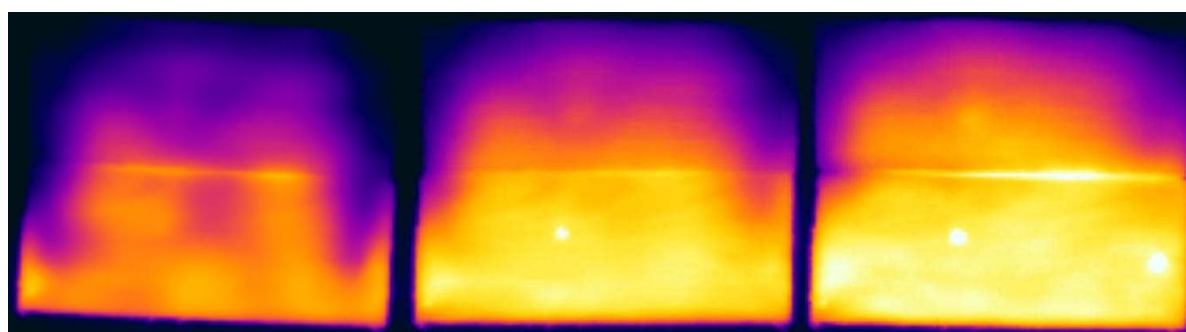
Pro experiment byly nachystány 4 hranoly ze smrkového dřeva s průřezem 100/100 mm a délkou 245 mm. Všechny 4 hranoly byly na začátku zváženy a následně zcela ponořeny do vody na 24 hodin.

Průběh experimentu:

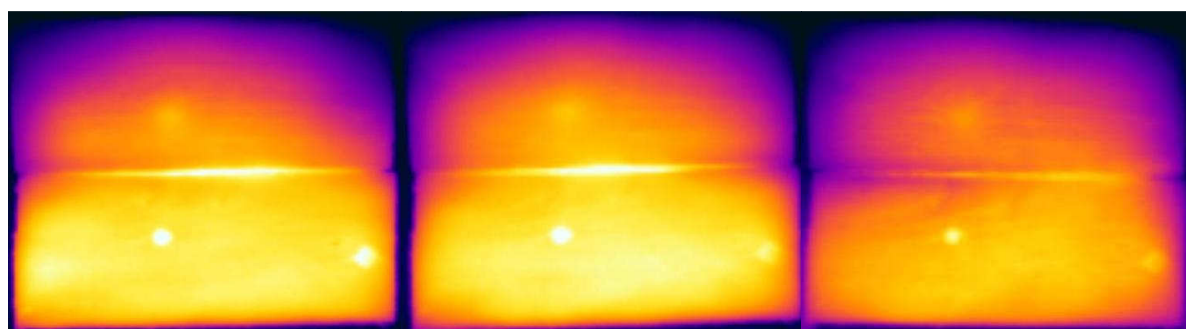
- počáteční vážení dřevěných hranolů před ponořením do vody,
- ponoření dřevěných hranolů do vody na 24 hodin,
- dřevěné prvky vytáhnuty z vody a nechány okapat po dobu 45 minut,
- zvážení dřevěných prvků,
- poskládání složeného průřezu ze 4 prvků (2 dole a 2 nahore) a nachystání k ozařování,
- zvolená délka ozařování 15 minut s tím, že každých 5 minut byl EMW generátor vypnut a byly pořízeny termovizní snímky z čela, průřezu ve směru šíření vln (po odkrytí horních dvou trámků) a z boku,
- po 15 minutách ozařování byly všechny dřevěné prvky zváženy,
- následovalo 15 minut chladnutí s tím, že každých 5 minut byl pořízen termovizní snímek průřezu ve směru šíření vln,
- po 15 minutách chladnutí byly všechny dřevěné prvky zváženy,
- cyklů ohřevů a chladnutí bylo celkem 3,
- 3. cyklus chladnutí trval 45 minut s tím, že každých 15 minut byl pořízen termovizní snímek průřezu ve směru šíření vln.



Obr. 7.1 – složený průřez ze 4 dřevěných trámků před vlnovodem



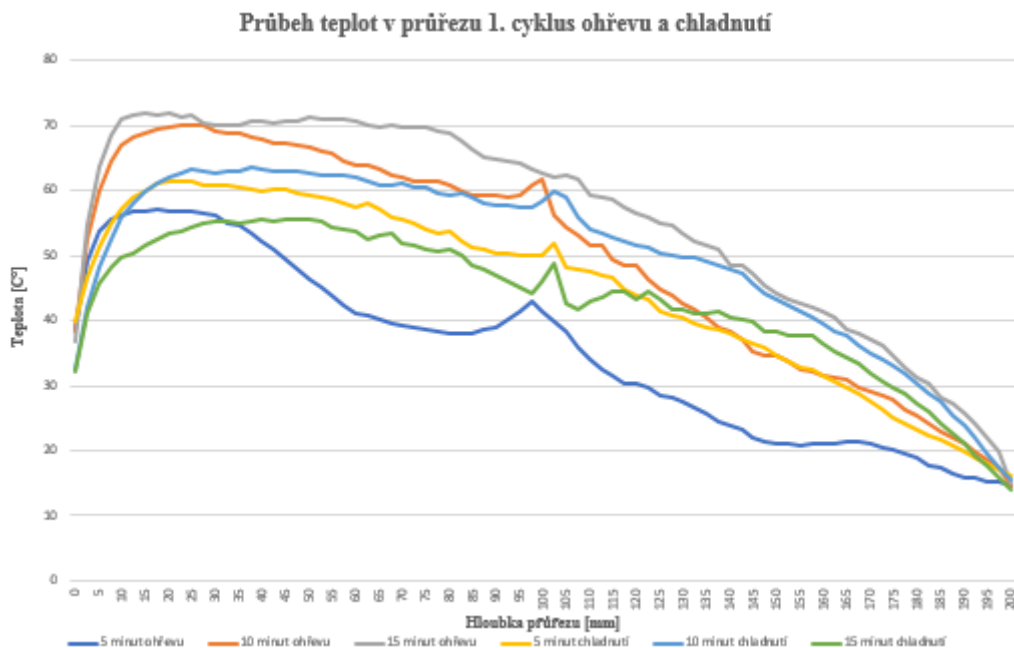
Obr. 7.2 – Termovizní snímky průřezu v čase 5, 10 a 15 minut ozařování (1. cyklus ohřevu)



Obr. 7.3 – Termovizní snímky průřezu v čase 5, 10 a 15 minut chladnutí (1. cyklus chladnutí)

Z termovizních snímků ohřevu (obr 7.2) jde vidět, že při 1. cyklu ohřevu dochází k postupnému prohřívání průřezu s tím, že lze pozorovat jisté nehomogenity materiálu na 3 místech. Prokreslení na termovizním snímku odpovídá nejspíše místu s výskytem suku, nebo vyšším

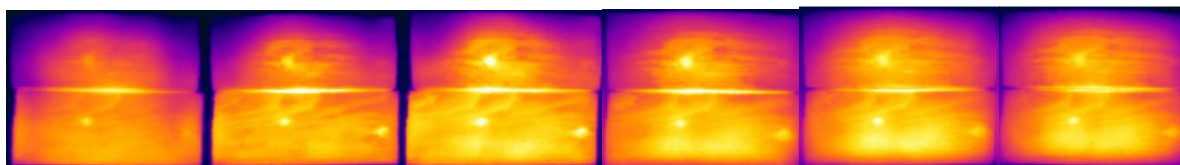
obsahem pryskyřice. U termovizních snímků 1. cyklu chladnutí (obr. 7.3) je pozorovatelná konduktce, kdy dochází k prohřátí předního trámku a od něj se postupně ohřívá trámeček zadní. V případě termovizních snímků pro ohřev i chladnutí je pro každou sérii zvolena jiná škála teplot tak, aby bylo na všech snímcích možnost porovnat nárůst prohřívané oblasti.



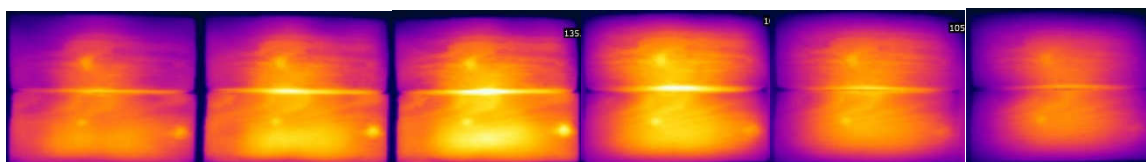
Obr. 7.4 Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní při 15 minutách ohřevu (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut) a 15 minutách chladnutí (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut)

Z obr. 7.4, který zobrazuje průběh teplot napříč průřezem při 1. cyklu ozařování a chladnutí, jde vidět, že při prvním ohřevu v době 5 minut od zapnutí EMW generátoru bylo dosaženo potřebné teploty pro inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) pouze do hloubky cca 3,5 cm od čelní strany. V době 10 minut od zapnutí EMW generátoru bylo dosaženo potřebné teploty v hloubce cca 10 cm a v době 15 minut od zapnutí EMW generátoru v hloubce cca 12,5 cm. Po vypnutí EMW generátoru a uplynutí 5 minut chladnutí, jde vidět, že teplo se v průřezu začíná ustalovat a požadovaná teplota je splněna do hloubky cca 7,5 cm. Po 10 minutách chladnutí je požadovaná teplota splněna cca ve 10,5 cm, ale co je zajímavé, tak křivka průběhu teplot je ve většině případů o několik desetin °C vyšší než v době 5 minut po vypnutí EMW generátoru. Tento jev může být způsoben tím, že horní část průřezu při ustálení teplot předala při chladnutí teplo nižším vrstvám. Po 15 minutách chladnutí je teplota splněna v hloubce cca 5,5 cm.

Obr. 7.4 grafické znázornění průběhu teplot v průřezu, zobrazuje průběh teplot průřezem pouze v jednom konkrétním místě (linie uprostřed), nejde vidět širší teplotní pole v průřezu, a proto je doplněn o sérii termovizních snímků (obr. 7.2 a 7.3), na kterých je zachycen celý průřez v ploše. Na těchto snímcích jdou vidět lokální místa (malé kruhy), které v místech s nižšími teplotami vykazují teploty vyšší. Může se jednat o místa s vyšším obsahem pryskyřice, nebo s největší pravděpodobností s vyšší hustotou dřeva, což jsou místa, kde se nachází suky.

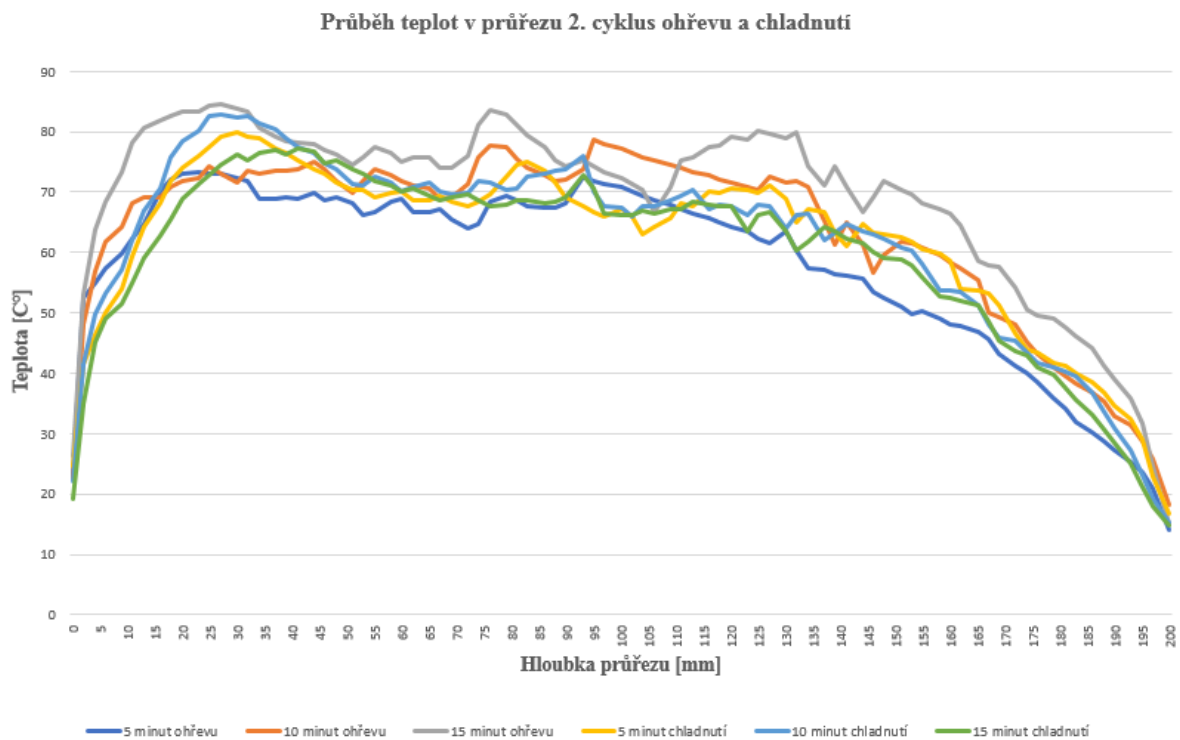


Obr. 7.5 – Termovizní snímky průřezu 2. cyklus ohřevu a chladnutí

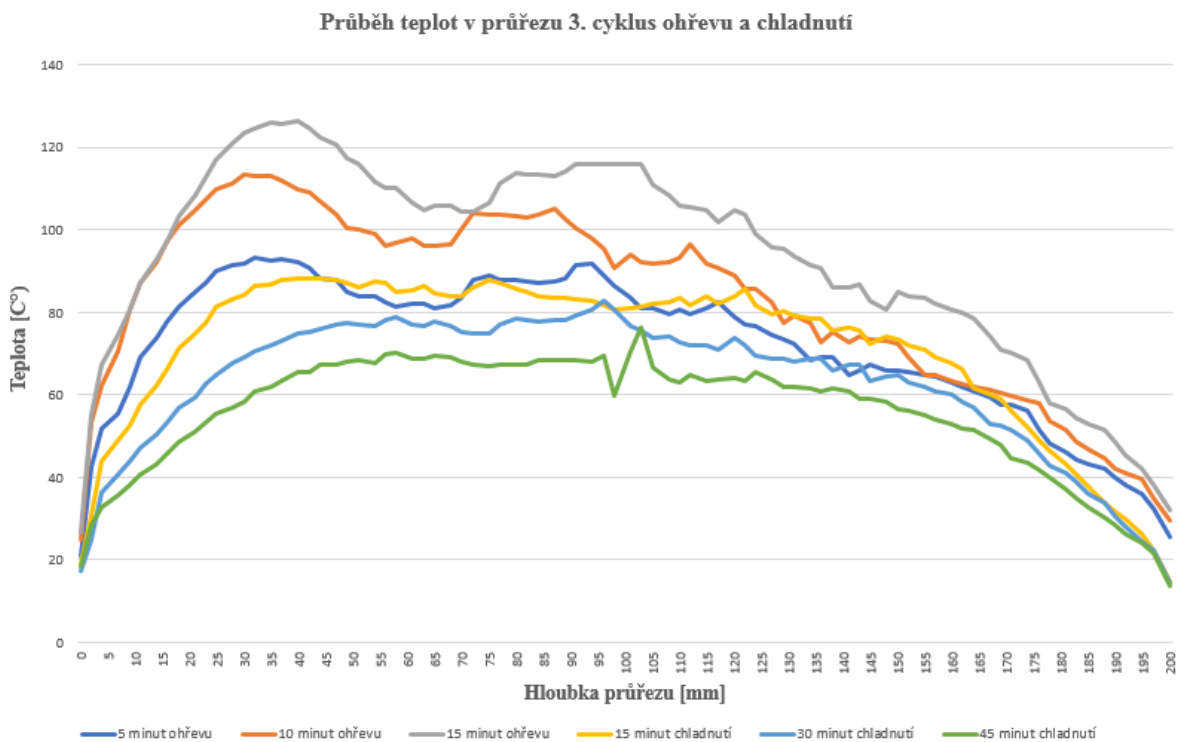


Obr. 7.6 – Termovizní snímky průřezu 3. cyklus ohřevu a chladnutí

Z termovizních snímků 2. a 3. cyklu ohřevu a chladnutí (obr 7.5 a 7.6) je pozorovatelné prohřátí téměř celého průřezu. V době 3. cyklu chladnutí, který byl 3x delší je potom pozorovatelné, že dřevo jako stavební materiál si udržuje poměrně dlouho dobu naakumulované teplo.



Obr. 7.7 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní při 15 minutách ohřevu (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut) a 15 minutách chladnutí (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut)

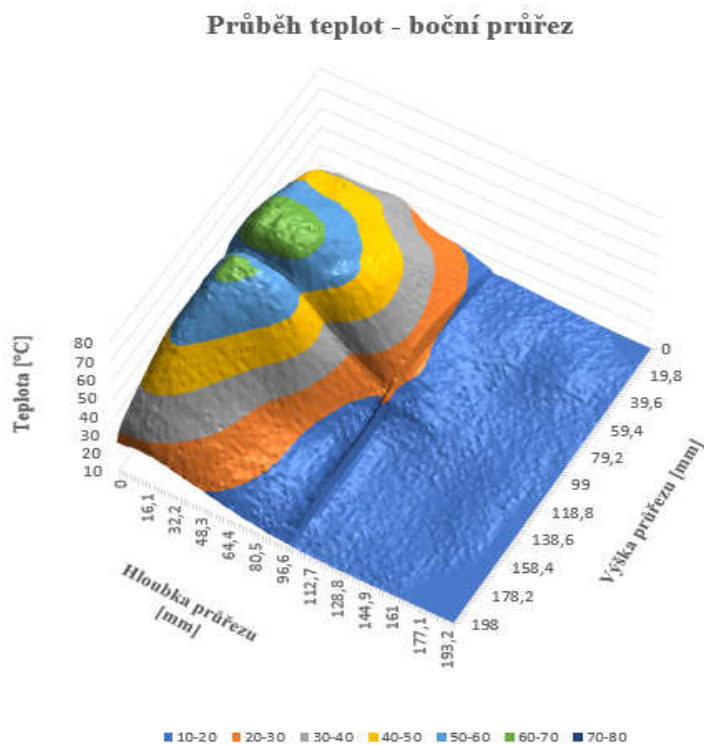


Obr. 7.8 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní při 15 minutách ohřevu (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut) a 45 minutách chladnutí (3x křivka v čase 15, 30 a 45 minut)

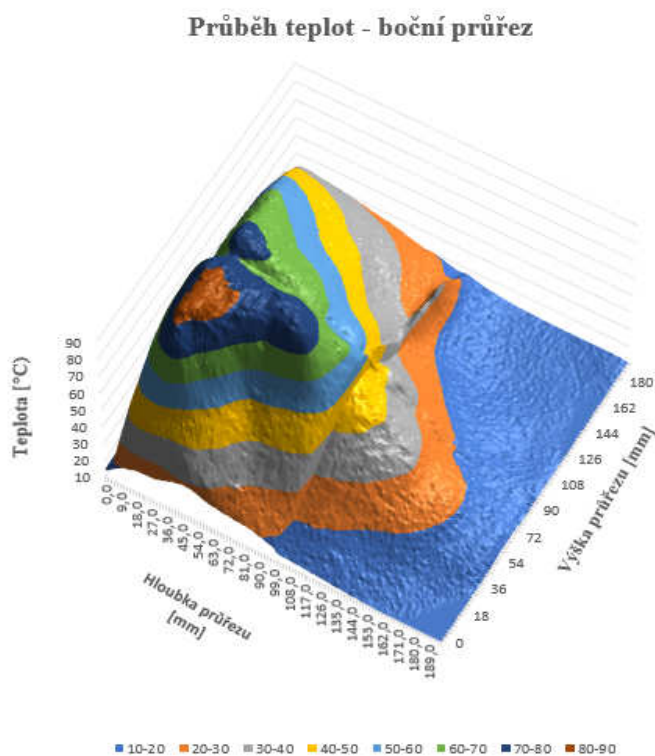
Obr. 7.7 a 7.8 zobrazuje grafický průběh teplot napříč průřezem při 2. a 3. cyklu ozařování a chladnutí. Při 2. cyklu ohřevu bylo dosaženo potřebné teploty pro inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) v hloubkách cca 13,5 cm (5 minut ohřevu), 16,5 cm (10 minut ohřevu) a 17 cm (15 minut ohřevu). Na všech třech křivkách v době ohřevu jsou vidět místa, která vykazují výkyvy v průběhu teplot. Jedním takovým místem je i střed průřezu, který tvoří nepatrná spára mezi dvěma trámky a tato spára umožňuje vyšší únik vodní páry, což se projevuje na termovizním snímku zvýšenou teplotou. Další místa, která vykazují nižší nebo naopak vyšší teploty jsou místa buď s vyšším obsahem pryskyřice, nebo místa s vyšší hustotou dřevní hmoty (suky) nebo také místa s vyšší vlhkostí, kde jsou mikrovlny pohlcovány víc a tím dochází i k vyšším teplotám.

Po vypnutí EMW generátoru v době chladnutí byla dosažena potřebná teploty pro inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) v hloubkách cca 15,5 cm (5 minut chladnutí), 15,3 cm (10 minut chladnutí) a 15,5 cm (15 minut chladnutí). Po druhém cyklu ohřevu a chladnutí lze pozorovat vyšší akumulaci tepla než v případě 1. cyklu ohřevu a chladnutí. Akumulované teplo způsobilo rovnoměrnější rozložení teplot uvnitř celého průřezu, což je způsobeno jak tepelnou kapacitou daného materiálu (dřevní hmota + voda), ale také tím, že při druhém cyklu prostoupilo mikrovlnné záření hlouběji do průřezu, kde molekuly vody v době 1. cyklu neměly možnost podílet se na pohlcování záření. Termovizní snímky (obr. 7.5) dokumentují opět mnohem širší teplotní pole, kde jde vidět, že trámek blíže vlnovodu je prohřátý zcela (10 cm) a trámek za ním do hloubky cca 7 cm, a to odpovídá konečným cca 17 cm.

Při posledním 3. cyklu ohřevu bylo dosaženo potřebné teploty pro inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) v hloubkách cca 17,5 cm (5 minut ohřevu), 17,8 cm (10 minut ohřevu) a 18,0 cm (15 minut ohřevu). Z termovizních snímků (obr. 7.6) jde potom vidět, že se v mnohem větší míře projevuje kondukce (vedení tepla) v průřezu. 3. cyklus chladnutí byl u posledního cyklu zvolen na 3x 15 minut a jak jde vidět z obr. 7.8, tak i při delší době chladnutí bylo potřebných teplot dosaženo v hloubkách cca 17 cm (15 minut chladnutí), 16,3 cm (30 minut chladnutí) a cca 15 cm (45 minut chladnutí). I přesto, že poslední cyklus chladnutí byl 3x delší než u předchozích dvou cyklů, tak díky akumulovanému teplu, byly v průřezu dostatečně vysoké teploty a teplotní pole bylo nejvíce deformováno jen na okrajích. Širší teplotní pole při 3. cyklu chladnutí je zdokumentováno na termovizních snímcích (obr. 7.6).

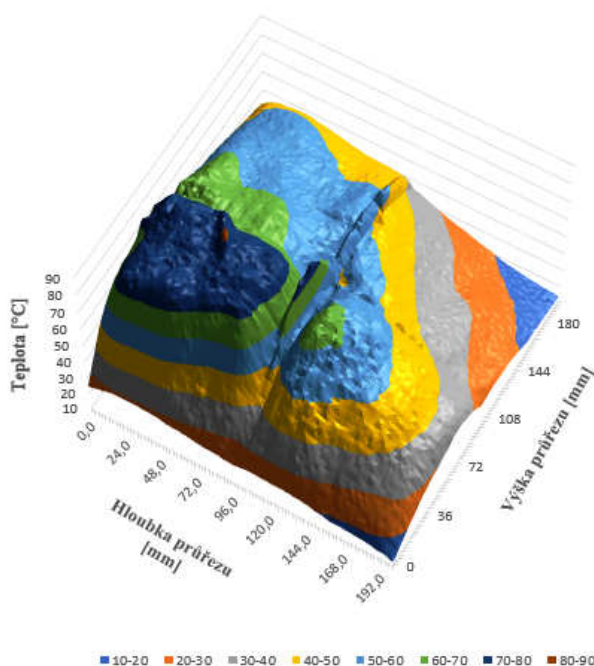


Obr. 7.9 - Povrchový graf zobrazující průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (doba 5 minut od zapnutí EMW generátoru)



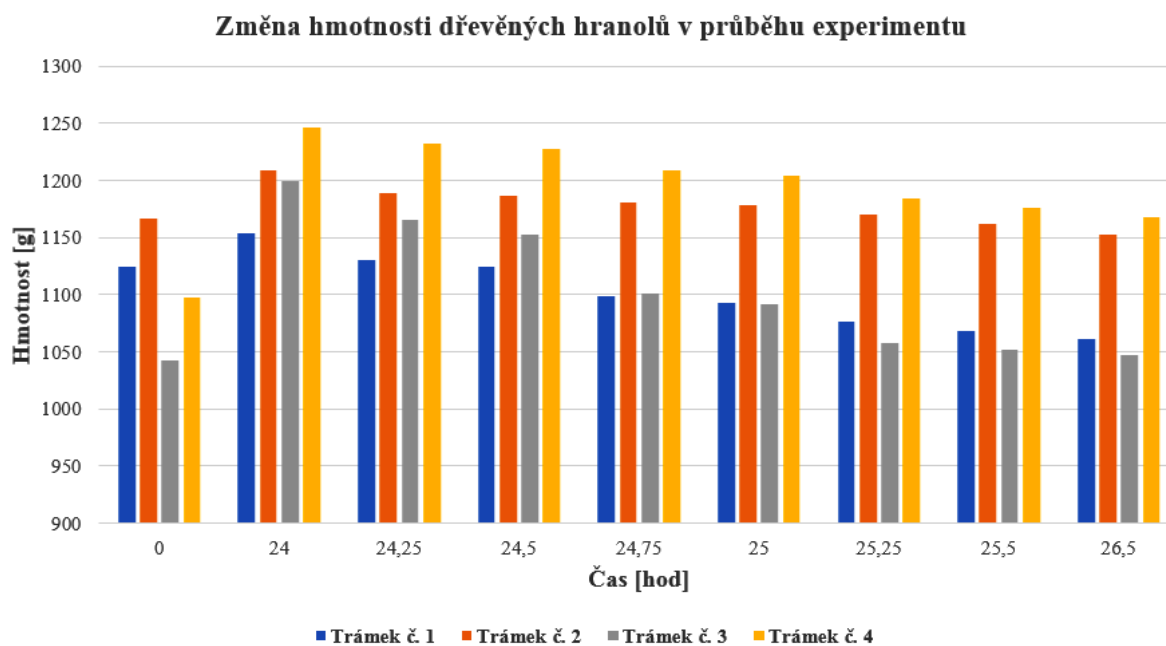
Obr. 7.10 - Povrchový graf zobrazující průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (na konci 1. cyklu ozařování)

Průběh teplot - boční průřez



Obr. 7.11 - Povrchový graf zobrazující průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (na konci 2. cyklu ozařování)

Z povrchových grafů (obr. 7.9 – 7.11) jde vidět, že nejvíce mikrovlnného záření je pohlcováno spodním trámek. Na konci 1. cyklu je spodní trámek z větší části už celý prohřátý, a to i část trámku za ním. Na konci 2. cyklu je prohřátý i zadní trámek, a jde vidět, že nejvíce mikrovlnného záření bylo pohlceno právě spodními trámky. Horní trámky jsou prohřívány minimálně mikrovlnným zářením, za to se zde nejvíce projevuje předávání tepla kondukcí. Horní zadní trámek je po 2 cyklech ohřevu prohřátý úplně minimálně. To, že nejvíce mikrovlnného záření pohlcují spodní trámky je dáno tvarem vlnovodu, který při tomto experimentu byl použit. Tvar vlnovodu je totiž víc široký než vysoký, a právě výška vlnovodu je jen lehce větší, než je výška jednoho trámku. Z pohledu efektivity, je však mikrovlnné záření po celou dobu ohřevu téměř zcela využito.



Obr. 7.12 - Graf zobrazující úbytek hmotnosti v průběhu experimentů u dřevěných prvků

V průběhu sterilizace dřevěných prvků EMW generátorem a sledování teplot, byly jednotlivé dřevěné prvky v průběhu všech cyklů ohřevu i chladnutí pravidelně váženy a sledován úbytek hmotnosti. Na obr. 7.12 jde vidět, že největší úbytky hmotnosti za celou dobu experimentu vykazoval trámeček č. 3. To je způsobeno tím, že výška vlnovodu byla jen nepatrně větší než výška jednoho trámečku a proto trámeček č. 3 absorboval nejvíce mikrovln a tím pádem se nejvíce prohříval. Trámeček č. 1 a č. 4 vykazovali v průběhu přibližně stejné úbytky. V počátcích to byl trámeček č. 1 neboť byl prohříván kondukcí od trámečku č. 3 více než trámeček č. 4 a zároveň byl i částečně v přímém kontaktu s mikrovlnami, ovšem po 3. cyklu ohřevu byly spodní trámečky prohřáté víc než horní trámečky a tady trámeček č. 4 vykazoval větší úbytek než trámeček č. 1. Trámeček č. 2 vykazoval za celou dobu nejmenší úbytky, neboť přenos tepla kondukcí bylo malé a přímá interakce s mikrovlnami také.

7.1.1.1 Vyhodnocení experimentu

V experimentu č. 1 jsem se snažil zjistit, jak hluboko se prohřeje složený dřevěný profil ze 4 přibližně stejných hranolů o průřezu 100/100 mm za 3 cykly ohřevů a 3 cykly chladnutí. Hranol č. 1, který byl nejbližší vlnovodu a nejvíce absorboval mikrovlnné záření, byl na požadované teploty prohřátý v celé své hloubce už v průběhu experimentu. Důležitý okamžik byl 2. cyklus ohřevu i chladnutí, kdy přední prvky vykazaly největší úbytek hmotnosti vlivem odpaření vody. Tím byl umožněn v následujícím 3. cyklu ohřevu hlubší průnik mikrovln do průřezu. Přední vrstvy nepohlcovali takové množství mikrovlnného záření jako v předchozích 2 cyklech.

Z hlediska hmotnosti vzhledem ke zvolenému vlnovodu byl nejvíce ozařován spodní trámek č. 3 a tím pádem mu bylo umožněno prohřátí na nejvyšší teploty a s tím spojený vyšší odpar vody ve formě vodní páry.

7.1.2 Experiment č. 2

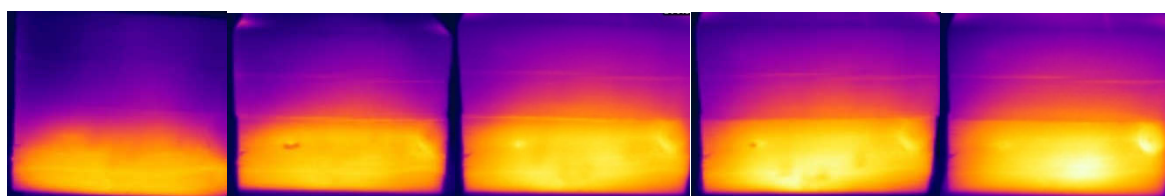
Experiment byl proveden se stejnými 4 hranoly ze smrkového dřeva s průřezem 100/100 mm a délkou 245 mm jako v případě experimentu č. 1. Všechny 4 hranoly byly před experimentem ponořeny do vody na 24 hodin.

Průběh experimentu:

- ponoření dřevěných hranolů do vody na 48 hodin,
- dřevěné prvky vytáhnuty z vody a nechány okapat po dobu 45 minut,
- zvážení dřevěných prvků,
- poskládání složeného průřezu ze 4 prvků (2 dole a 2 nahoře) a nachystání k ozařování, složený průřez byl podložen laťkami výšky 10 mm,
- zvolená délka ozařování 15 minut s tím, že po 15 minutách byl EMW generátor vypnut a byly pořízeny termovizní snímky z čela, bočního průřezu ve směru šíření vln, ze zadní strany a průřezu ve směru šíření vln
- následovalo 15 minut chladnutí s tím, že po 15 minutách byl pořízen termovizní snímek z čela, bočního průřezu ve směru šíření vln, ze zadní strany a průřezu ve směru šíření vln
- cyklů ohřevů a chladnutí bylo celkem 5



Obr. 7.13 – složený průřez ze 4 dřevěných trámek před vlnovodem



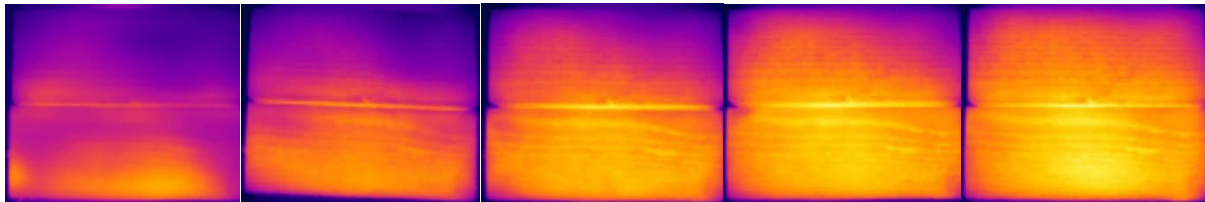
Obr. 7.14 – Termovizní snímky čelní strany, 1. – 5. cyklus ohřevu



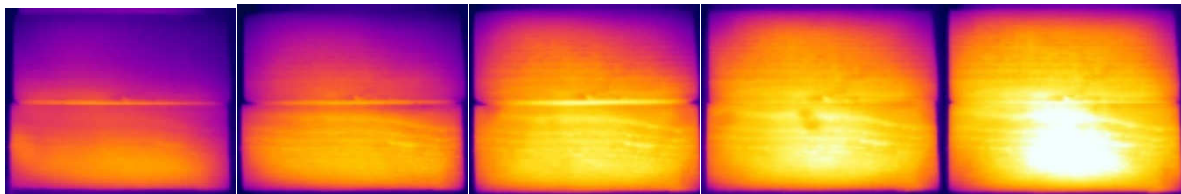
Obr. 7.15 – Termovizní snímky čelní strany, 1. – 5. cyklus chladnutí

Z termovizních snímků ohřevu (obr. 7.14) jde vidět, že při všech 5 cyklech ohřevu, byly mikrovlny pohlceny převážně spodním trámekem a horní trámek je prohříván kondukcí (vedením tepla) spodního trámku. U termovizních snímků chladnutí (obr. 7.15) je u všech cyklů pozorovatelná právě kondukcce, kdy dochází k prohřátí horního trámku. V případě termovizních snímků pro ohřev i chladnutí je pro každou sérii zvolena jiná škála teplot tak, aby bylo na všech

snímcích možnost porovnat nárůst prohřívané oblasti. Zároveň pokud bychom se zaměřili na houby a plísně, které se projevují zejména na povrchích, tak k likvidaci hub potřebujeme teploty okolo 60 °C, kdy dochází k jejich destrukci a u teplot okolo 70 °C potom k jejich inaktivaci. Těchto teplot na povrchu bylo dosaženo na povrchu až během 3. cyklu ohřevu a postupně se tato teplota s dalšími cykly ohřevu a chladnutí projevovovala na větší ploše, přičemž opět jen v rámci spodního trámku. Horní trámek dostatečně vysoké teploty nevykazoval. V případě plísní je potřeba dosáhnout teplot k jejich inaktivaci okolo 100 °C. Těchto teplot na povrchu nebylo za celou dobu 5 cyklů ohřevu dosaženo. U spodního trámku, který se prohřívával nejvíce bylo lokálně dosaženo teplot okolo 95 °C. S teplotou okolo 100 °C je však spojená i trvalá změna způsobena porušením rovnovážně kmitajících molekul a zároveň při této teplotě dochází k degradaci lignino-sacharidového komplexu.

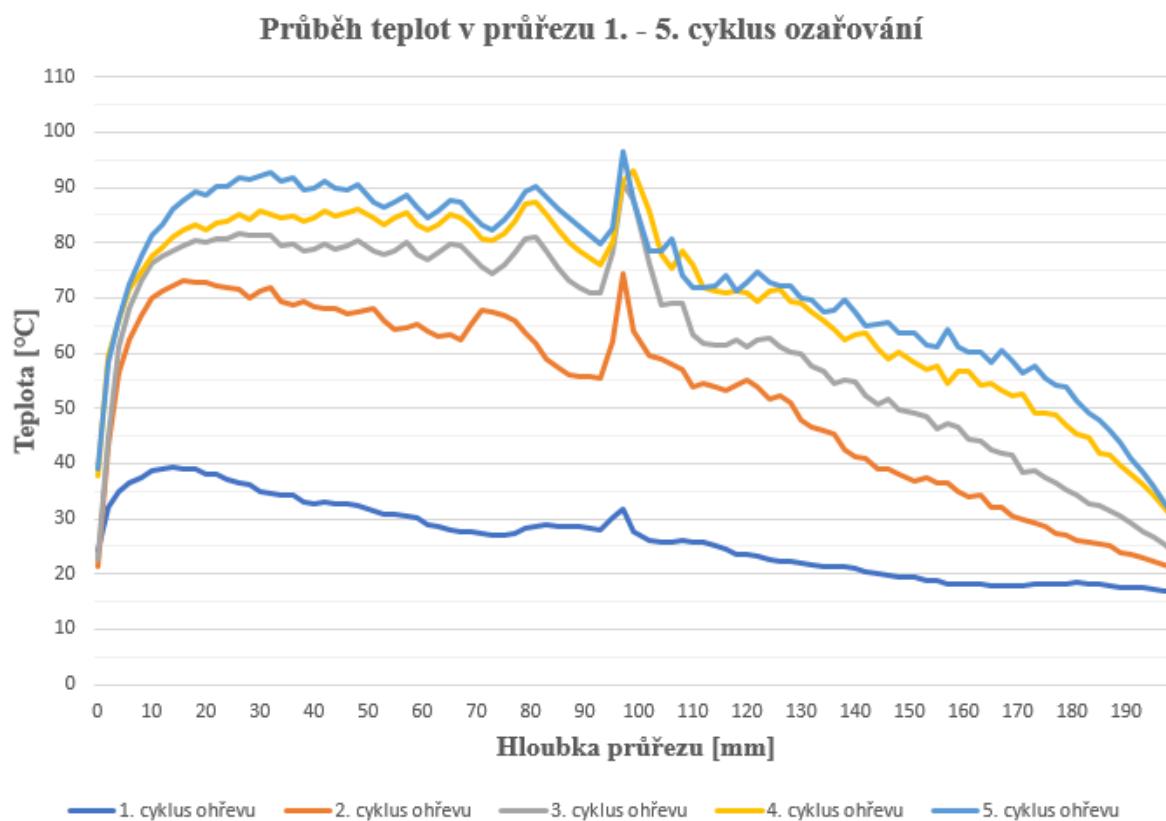


Obr. 7.16 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus ohřevu



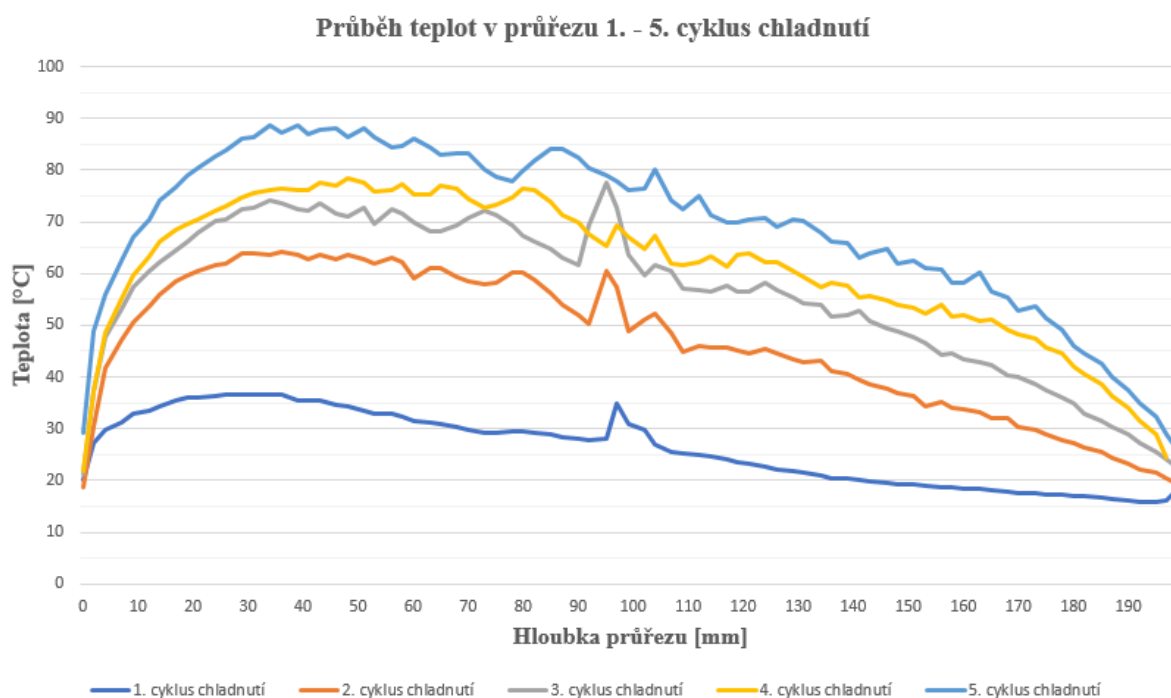
Obr. 7.17 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí

Termovizní snímky ohřevu (obr 7.16), dokumentující prohřívání průřezu, ukazují, že během prvních dvou cyklů ohřevu docházelo převážně k prohřívání spodního trámku, který byl v přímém poli šířících se vln. Teprve od 3. cyklu ohřevu lze pozorovat prohřívání trámku zadního. Jak dokumentují termovizní snímky pořízené z čelní strany, tak horní 2 trámky byly prohřívány působením mikrovlnného pole jen minimálně. Opět pro obě série termovizních snímků (ohřev i chladnutí) byla zvolena jiná škála teplot tak, aby bylo na všech snímcích možnost porovnat nárůst prohřívané oblasti.



Obr. 7.18 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus ohřevu

Na obr. 7.18 jsou znázorněny průběhy teplot ze všech 5 cyklů ohřevu, přičemž potřebných teplot pro inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) bylo dosaženo až při 2. cyklu ohřevu. Při prvním cyklu ohřevu bylo dosaženo v průřezu nejvyšší teploty jen kolem 40 °C, a to v hloubce necelých 20 mm. Při následných cyklech ohřevu bylo dosaženo potřebných teplot v hloubkách cca 12 cm (2. cyklus ohřevu), 13,5 cm (3. cyklus ohřevu), 15,5 cm (4. cyklus ohřevu) a 17,5 cm (5. cyklus ohřevu). Co se týká výkyvu teplot, tak je pozorovatelné zejména jen jedno místo, a to je střed průřezu, kde se dotýkají jednotlivé trámký a je tam nepatrná mezera, která umožňuje větší odpařování vody, a to se na termovizním snímku projevuje zvýšenou teplotou.



Obr. 7.19 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí

Obr. 7.19 potom dokumentuje průběh teplot napříč průřezem při jednotlivých cyklech chladnutí. Potřebné teploty pro inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) jsou pozorovatelné až s druhým cyklem chladnutí, což navazuje na skutečnost, že teprve až s druhým cyklem ohřevu se tato teplota projevila v průřezu. Během chladnutí bylo dosaženo potřebných teplot v hloubkách cca 9 cm (2. cyklus), cca 13 cm (3. cyklus), cca 14,5 cm (4. cyklus) a 16,8 cm (5. cyklus).

Tab. 1 Úbytek hmotnosti dřevěných trámků

	Váha po nasáknutí [g]	Váha po 5 cyklech ohřevů a chladnutí [g]	Úbytek hmotnosti [g]
Trámek č. 1	1236	1124	112
Trámek č. 2	1239	1019	220
Trámek č. 3	1243	1164	79
Trámek č. 4	1261	1094	167

V tab. 1 jsou zaznamenány hmotnosti všech 4 dřevěných trámků v době po 48 hodinách ve vodní lázni a odkapání a na konci celého experimentu, tj. po 5. cyklu ohřevu a chladnutí. Oproti

experimentu č. 1 byla počáteční hmotnost vyšší a jak jde vidět u koncové váhy jednotlivých prvků, tak při zvolení 5 cyklů ohřevů a chladnutí, byla tato váha u všech 4 dřevěných trámek velmi podobná jako u experimentu č. 1, přitom experiment č. 1 byl kratší o celé 2 cykly. Stejně tak postavení trámek vůči vlnovodu opět ukázalo, že největší úbytek měl přední spodní trámek a nejméně horní zadní trámek. Ostatní 2 trámky byly prohřívány buď přímo působením mikrovlnného pole, nebo kondukcí od spodního trámku.

7.1.2.1 Vyhodnocení experimentu

Experiment č. 2 byl prováděn na stejných dřevěných trámcích jako experiment č. 1. Vyšší počáteční hmotnost trámek, způsobena delší dobou ponoření ve vodní lázni, znamenala pomalejší počáteční prohřívání, neboť při stejném vyzařovaném výkonu bylo mnohem více molekul vody, které záření pohlcovalo. K dosažení zhruba stejného konečného prohřátí bylo třeba o 2 cykly ohřevu více než při experimentu č. 1. Zároveň při konečném vážení bylo dosaženo podobných hodnot jako v případě experimentu č. 1, což ale znamená, že v průběhu experimentu došlo k většímu odpařování vody vlivem vyšších teplot než v případě experimentu č. 1. Rozložení úbytků hmotnosti bylo velmi podobné jako v případě experimentu č. 1, neboť největší úbytek byl zaznamenán u spodního předního trámku, následně u trámku za ním a teprve potom vykazoval největší úbytek trámek horní přední a nejméně trámek horní zadní.

7.1.3 Experiment č. 3

Pro experiment byl nachystán trámek z modřínového dřeva s průřezem 180/160 mm. Trámek byl před experimentem rozřezán na 2 kusy s délkami 200 mm a 190 mm a oba kusy zváženy. Před zahájením experimentu byly oba kusy trámku ponořeny na 48 hodin do vody.

Průběh experimentu:

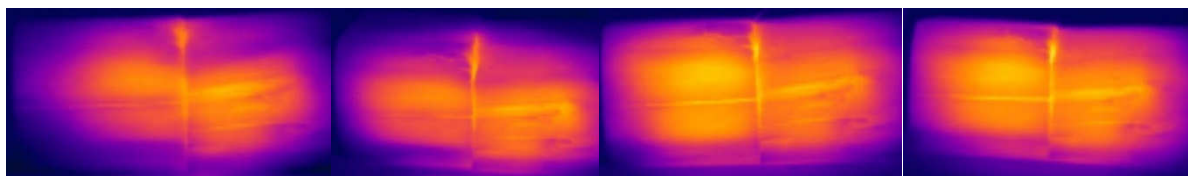
- počáteční vážení dřevěných trámek před ponořením do vody,
- ponoření dřevěných trámek do vody na 48 hodin,
- dřevěné prvky vytáhnuty z vody a nechány okapat po dobu 45 minut,
- zvážení dřevěných prvků,
- přiložení obou kusů trámku k sobě v místě řezu a vložení termočlánku mezi trámky tak, aby termočlánek snímal teplotu uprostřed průřezu,

- zvolená délka ozařování 15 minut s tím, že každých 5 minut byla odečtena teplota z termočlánku,
- po 15 minutách ozařování byly pořízeny termovizní snímky z čela a z průřezu a oba dřevěné trámky byly zváženy,
- následovalo 15 minut chladnutí s tím, že každých 5 minut byla odečtena teplota z termočlánku,
- po 15 minutách chladnutí byly dřevěné trámky zváženy,
- ohřev probíhal v 10 cyklech s tím, že po 5. cyklu ohřevu, následovalo 5 cyklů chladnutí, cyklů chladnutí bylo celkem 14.

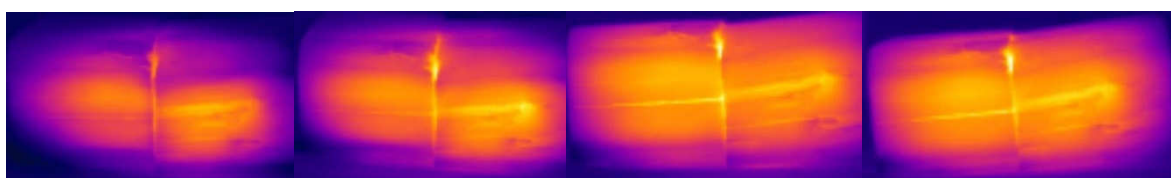


Obr. 7.20 – vzorek trámku z modřínového dřeva položený před vlnovodem

Na obr. 7.20 je vzorek trámku, který byl použit během experimentu. Foto je pořízeno v průběhu experimentu a na fotce jde vidět, že v první polovině průřezu se projevilo vytlačování vodní páry, ale i pryskyřice a dřevo je zde lehce degradováno zčernáním.



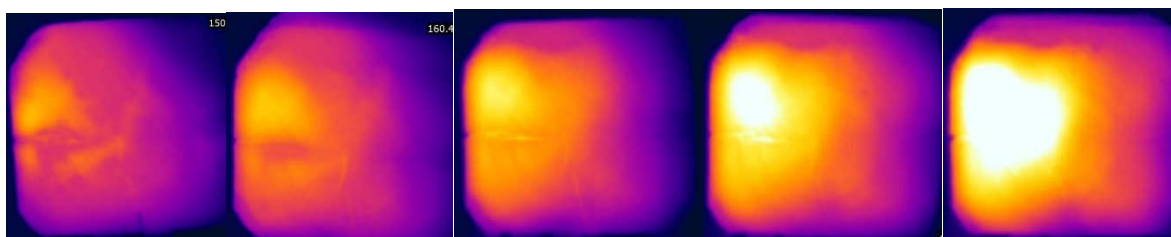
Obr. 7.21 – Termovizní snímky čelní strany, 1. – 4. cyklus ohřevu



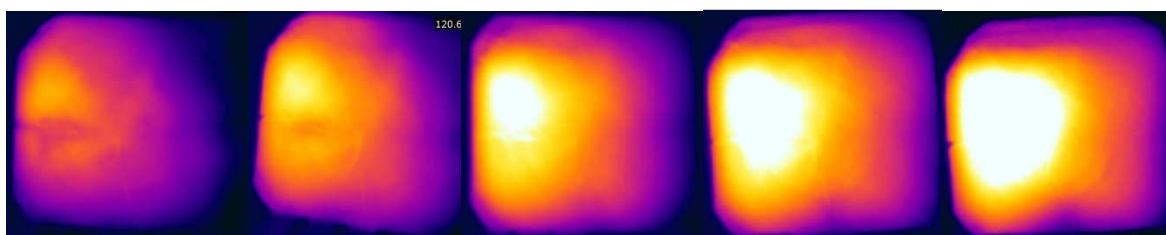
Obr. 7.22 – Termovizní snímky čelní strany, 1. – 4. cyklus chladnutí

Z termovizních snímků ohřevu (obr. 7.21) jde vidět, že při ohřevu, byly mikrovlny pohlcovány celou čelní plochou, neboť se čelní plocha postupně celá prohřívá. Nejdříve se ohřev projevuje uprostřed čelní plochy a dalšími cykly ohřevu se prohřívající oblast zvětšuje. I přesto, že se jedná o čelní plochu, která je nejvíce ovlivněna vnější teplotou, a tudíž je zde největší úbytek tepla, tak i v době, kdy byl EMW generátor vypnutý, termovizní snímky chladnutí (obr. 7.22) docházelo k šíření tepla a zvětšování prohřívající oblasti. Tento jev je způsoben akumulací tepla uvnitř průřezu, kdy v době chladnutí dochází k ustálení teplot. V případě termovizních snímků pro ohřev i chladnutí je pro každou sérii zvolena jiná škála teplot tak, aby bylo na všech snímcích možnost porovnat nárůst prohřívající oblasti.

Z pohledu plísni a hub, které se projevují zejména na površích, by došlo v rámci experimentu k jejich likvidaci i dalšímu rozvoji. Potřebných teplot na čelní ploše bylo dosaženo už v průběhu 2. cyklu ohřevu a během dalších cyklů se tato teplota dále zvyšovala a zároveň se rozšiřovala i prohřívající oblast. Ovšem i zde platí, že došlo k trvalým změnám z důvodu působení teplot vyšších než 100 °C po dobu i několika minut.

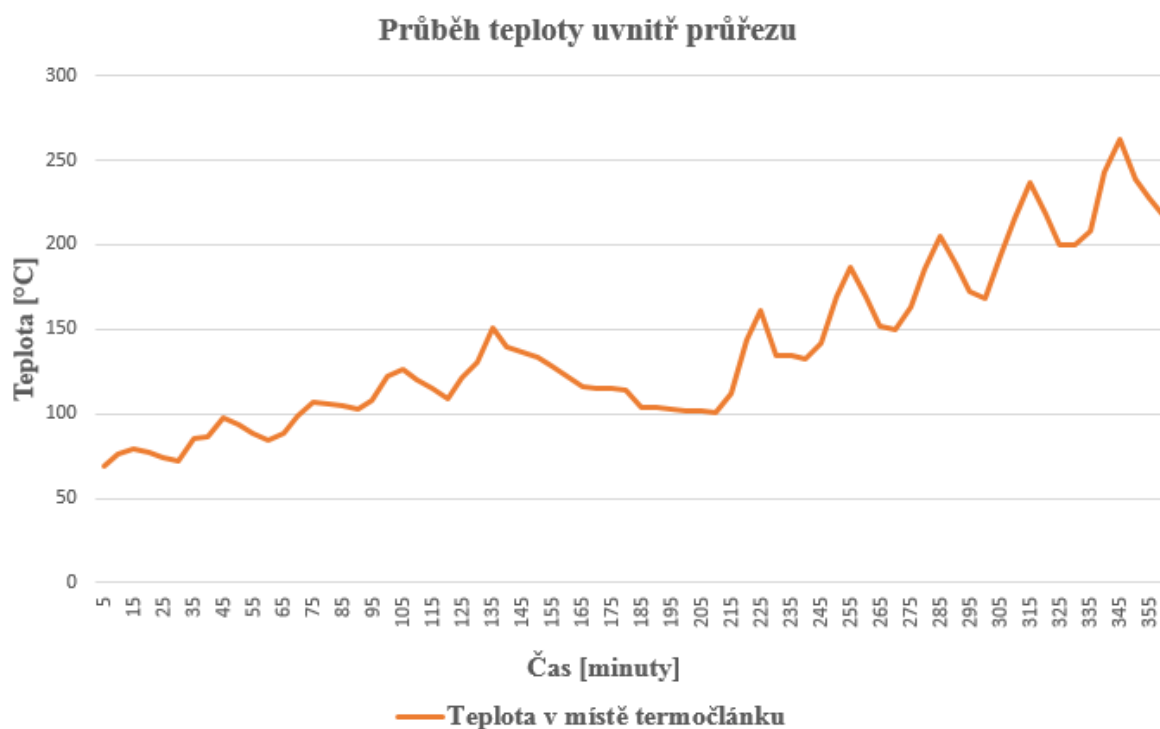


Obr. 7.23 – Termovizní snímky průřezu, 1. – 5. cyklus ohřevu



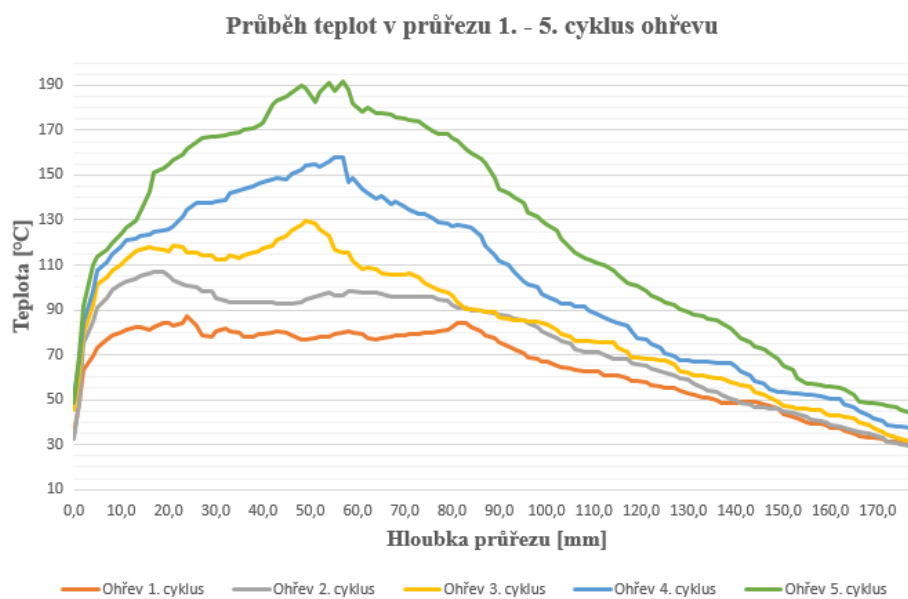
Obr. 7.24 – Termovizní snímky průřezu, 1. – 5. cyklus chladnutí

Termovizní snímky ohřevu (obr 7.23), dokumentující prohřívání průřezu, ukazují, že už během 1. cyklu ohřevu docházelo k prohřátí do hloubky poloviny průřezu. Zároveň během 3. cyklu ohřevu došlo k překročení teploty 100 °C aspoň v některé z části průřezu. Na konci 5. cyklu ohřevu se v průřezu objevovala místa s teplotami kolem 180 °C, což jsou na dřevo už velmi vysoké teploty, které způsobují degradaci materiálu. V době chladnutí je pozorovatelné pouze rozšiřování prohřívané oblasti vlivem postupného ustálení teplot v celém průřezu. Vedení tepla způsobuje prohřívání průřezu v době chladnutí. Chladnutí prvních 5 cyklu dokumentuje obr. 7.24. Z průběhu cyklů ohřevu i chladnutí jde také vidět, že první polovina průřezu se prohřívá více než ta druhá a postupně v průřezu vzniká výrazně teplejší oblast, která se prokreslila až když se sjednotila stupnice na všech termovizních snímcích.



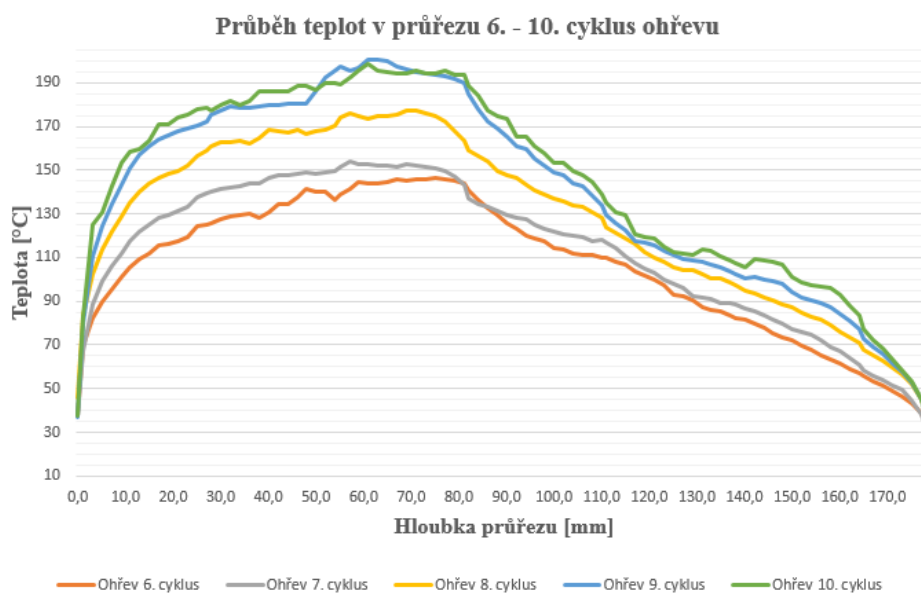
Obr. 7.25 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku

Obr. 7.25 znázorňuje průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku v čase. Termočlánek byl umístěn mezi oba trámky v místě řezu. Hloubka vložení termočlánku odpovídala přibližně polovině šířky a polovině výšky průřezu. Teplota byla sledována po celou dobu ohřevu i chladnutí. Z křivky zobrazující průběh dané teploty jde vidět, že při ohřevu i chladnutí v každém z cyklů je průběh velmi podobný až na místo, kde bylo 5 cyklů chladnutí po sobě. Na konci samotného experimentu se pohybují teploty v průřezu kolem 260-270 °C což už jsou teploty blízké teplotě vzplanutí (nejnižší teplota dřeva, při níž se zahříváním vyvine tolik plynů, že se vzduchem vytvoří směs, která přiblížením plaménku vzplane a opět zhasne).



Obr. 7.26 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus ohřevu

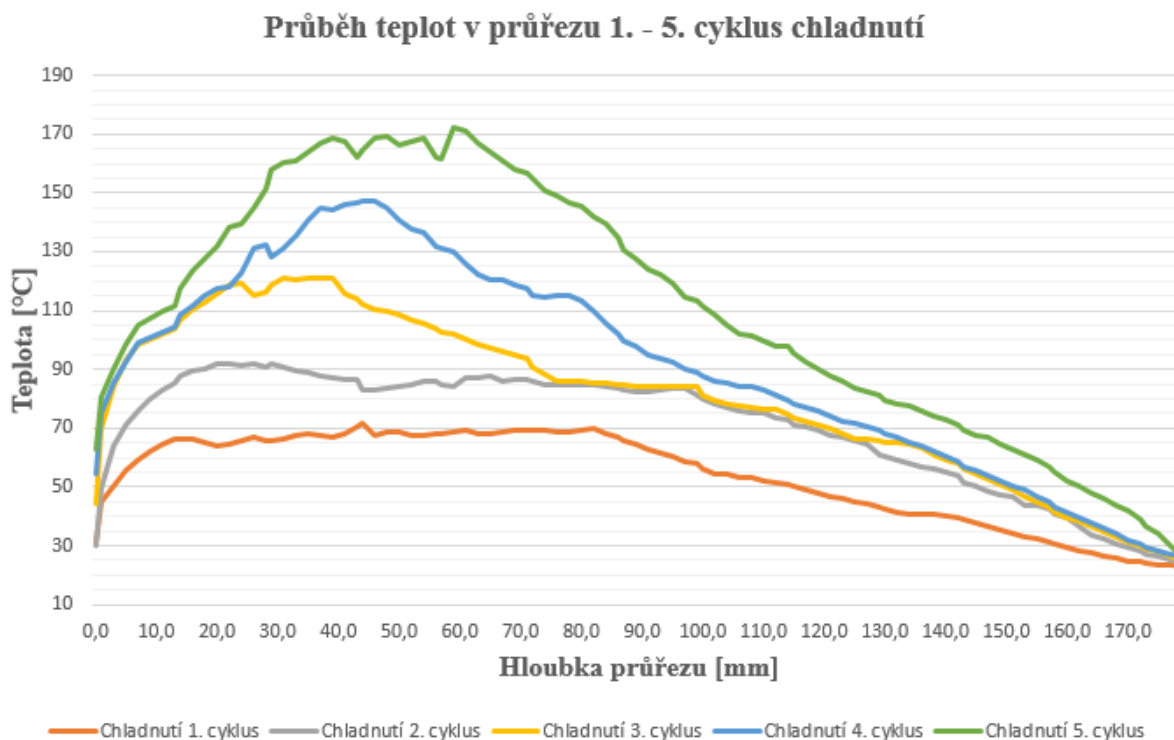
Z obr. 7.26, který zobrazuje průběh teplot v rámci jednotlivých cyklů ohřevu, jde vidět, že potřebné teploty k inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) jsou dosaženy již v prvním cyklu ohřevu a to hlouběji, než je polovina celé šířky průřezu. Kromě zmíněného, lze také pozorovat, že je výrazněji prohřívána první polovina průřezu. To může být způsobeno samotnou vlhkostí, která během prvních cyklů ohřevu způsobila samotný ohřev a protože jí je stále dostatek, aby pohltila většinu mikrovlnného záření dochází k přehřívání oblasti, která sama o sobě méně propouští samotné mikrovlnné záření.



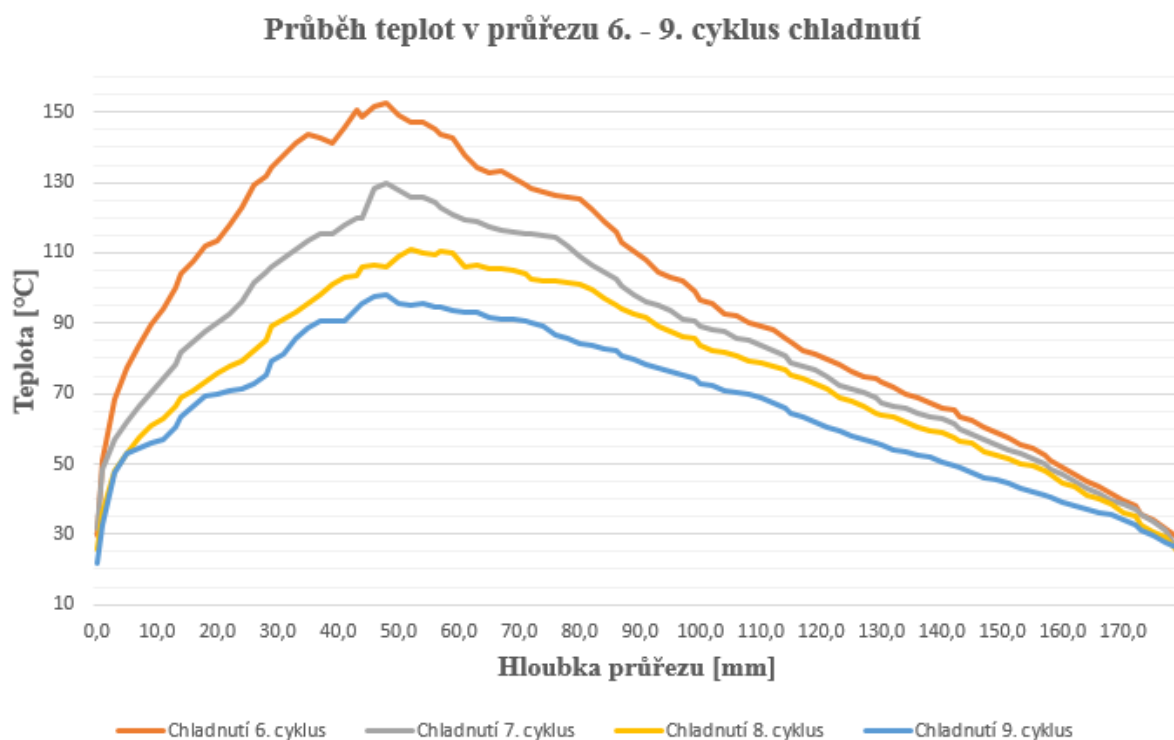
Obr. 7.27 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 10. cyklus ohřevu

I přesto, že mezi prvními 5 cykly ohřevu a druhými 5 cykly ohřevu bylo 5 cyklů chladnutí, jde na obr. 7.27 vidět, že po sérii chladnutí a opětovném ohřevu, je mikrovlnný ohřev opět intenzivnější v první polovině hloubky průřezu a druhá polovina je prohřívána spíše kondukcí. Při tomto experimentu nebyl jediný cíl sledovat potřebné teploty pro inaktivaci biotických škůdců, ale zjistit, jak rychlý úbytek vlhkosti bude při vyšších teplotách a jak vysoké teploty ovlivní rozložení teplot v celém průřezu.

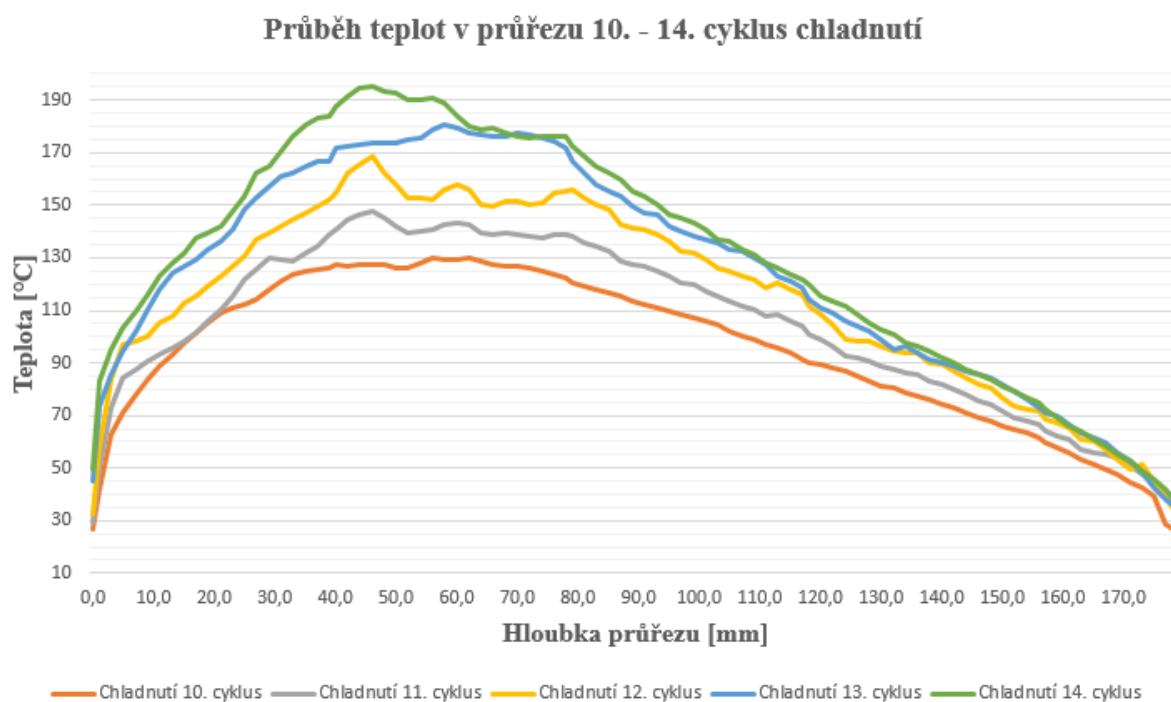
Samotný průběh chladnutí dokumentují obr. 7.28 – 7.30, kdy první z nich zobrazuje 1. – 5. cyklus chladnutí, druhý obrázek zobrazuje 4 vložené cykly chladnutí a poslední zobrazuje 10. – 14. cyklus chladnutí. Na všech obrázcích je opět vidět, že první polovina hloubky průřezu, co se týká rozložení teplot je jiná než polovina druhá. Postupné ustálení teplot je nejlépe pozorovatelné na obr. 7.29, kde jsou si jednotlivé křivky chladnutí velmi podobné svým tvarem, akorát s tím, že každý další cyklus chladnutí vykazuje nižší teploty oproti tomu předchozímu.



Obr. 7.28 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí



Obr. 7.29 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 9. cyklus chladnutí



Obr. 7.30 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 10. – 14. cyklus chladnutí

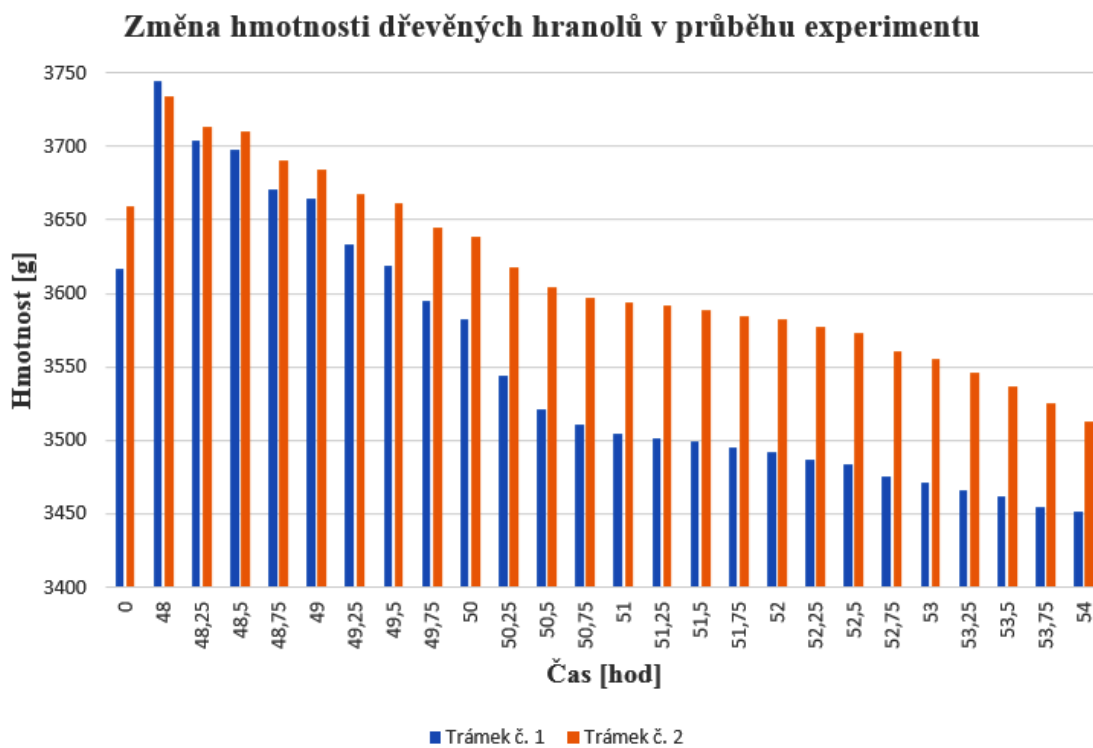
Tab. 2 Úbytek hmotnosti dřevěných trámků

	Trámek č. 1	Trámek č. 2
Počáteční hmotnost [g]	3617	3659
Hmotnost po nasáknutí [g]	3744	3734
Hmotnost po 1. cyklu ohřevu [g]	3704	3713
Hmotnost po 1. cyklu chladnutí [g]	3698	3710
Hmotnost po 2. cyklu ohřevu [g]	3671	3690
Hmotnost po 2. cyklu chladnutí [g]	3664	3684
Hmotnost po 3. cyklu ohřevu [g]	3633	3668
Hmotnost po 3. cyklu chladnutí [g]	3619	3661
Hmotnost po 4. cyklu ohřevu [g]	3595	3645

Hmotnost po 4. cyklu chladnutí [g]	3582	3639
Hmotnost po 5. cyklu ohřevu [g]	3544	3618
Hmotnost po 5. cyklu chladnutí [g]	3521	3604
Hmotnost po 6. cyklu chladnutí [g]	3511	3597
Hmotnost po 7. cyklu chladnutí [g]	3505	3594
Hmotnost po 8. cyklu chladnutí [g]	3501	3592
Hmotnost po 9. cyklu chladnutí [g]	3499	3589
Hmotnost po 6. cyklu ohřevu [g]	3495	3585
Hmotnost po 10. cyklu chladnutí [g]	3492	3582
Hmotnost po 7. cyklu ohřevu [g]	3487	3577
Hmotnost po 11. cyklu chladnutí [g]	3484	3573
Hmotnost po 8. cyklu ohřevu [g]	3475	3561
Hmotnost po 12. cyklu chladnutí [g]	3471	3555
Hmotnost po 9. cyklu ohřevu [g]	3466	3546
Hmotnost po 13. cyklu chladnutí [g]	3462	3537
Hmotnost po 10. cyklu ohřevu [g]	3455	3525
Hmotnost po 14. cyklu chladnutí [g]	3452	3513

V tab. 2 jsou zaznamenány hmotnosti obou dřevěných trámků od doby před nasáknutím, v době nasáknutí a následně po celou dobu experimentu, kdy byly obě části pravidelně váženy. Z tabulky lze vyčíst, že ač počáteční váha po nasáknutí byla rozdílná o 10 g, tak od druhého

cyklu ozařování vykazuje trámek 1 vyšší úbytky než trámek 2 a přitom vlnovod vůči postavení vzorku byl přibližně zarovnan na střed.



Obr. 7.31 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u dřevěných prvků

Na obr. 7.31, kde je pomocí sloupcového grafu a vhodně zvolené stupnice vidět úbytek hmotnosti v čase, je mnohem lépe viditelný postupný nárůst většího úbytku hmotnosti u trámku 1 v porovnání s trámkem 2. Z počáteční hmotnostní vlhkosti, která se pohybovala kolem 15%, jsme se během experimentu dostali na hodnotu kolem 5% hmotnostní vlhkosti.

7.1.3.1 Vyhodnocení experimentu

Experiment č. 3 byl prováděn na trámku z modřínového dřeva, který byl pro experiment rozdělen na 2 trámky. Oproti experimentu 1 a 2 byl eliminován únik tepla vlivem škvír při složeném průřezu. V experimentu 3 byla homogenita vzorku narušena pouze řezem pro rozdělení na dva trámky. Přesto, že byly zvoleny stejně dlouhé cykly ohřevu a chladnutí jako pro experimenty 1 a 2, tak potřebných teplot v průřezu pro inaktivaci dřevokazného hmyzu bylo dosaženo už od 1. cyklu ohřevu v mnohem větší hloubce než u experimentů 1 a 2. Tuto skutečnost přisuzují větší objemové hmotnosti a vyššímu obsahu pryskyřice, která se během

experimentu vlivem tlaku vodní páry vytlačovala z průřezu. Z pohledu teplot jako takových, bylo dosaženo dostatečně vysokých teplot jak v průřezu, tak i na povrchu pro úspěšnou likvidaci biotických škůdců (plísně, houby, dřevokazný hmyz), ovšem teploty byly natolik vysoké, že jejich vlivem došlo k degradaci samotného materiálu a změně jeho mechanických vlastností. Proto je třeba pro samotnou praxi upravit samotný průběh ohřevů a chladnutí a to tak, aby nedocházelo ke zbytečně vysokým teplotám přesahující 100 °C, nebo jen na krátkou dobu. Vysoké teploty nezávisí jen na délce ohřevů a chladnutí, ale také na objemové hmotnosti dřeva, obsahu vody, pryskyřice a dalších faktorech.

7.1.3.1.1 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ PROVÁDĚNÝCH NA DŘEVĚNÝCH TRÁMCÍCH

Všechny 3 experimenty prováděné na dřevěných trámčích, byly prováděny na měkkém dřevě, které má nižší objemovou hmotnost, a proto nelze říct, že by se stejně chovalo i dřevo tvrdé. U tvrdého dřeva je jisté, že by docházelo k větší akumulaci tepla, a proto by bylo vhodnější zvolit jiné délky cyklů ohřevů (kratší) a chladnutí (delší) než u měkkého dřeva. Zároveň se většina dřevěných prvků krovu v praxi vyskytuje tak, že jsou přístupné z více stran, a proto by bylo možné prohřívat průřez střídavě z obou stran. Tento způsob ohřevu nebyl ani v jednom z experimentů vyzkoušen. Pro samotný proces likvidace biotických škůdců a vysušování stavebního materiálu je podstatná vlhkost a její rozložení v materiálu. Pro dřevokazný hmyz je důležité prohřátí hloubky průřezu, kdežto u plísní a hub je důležitá teplota povrchu. Při experimentech bylo použito zdravé dřevo. Je jisté, že v praxi by se samotná plíseň nebo houba prohřívala více než samotný povrch, protože jak plíseň, ale hlavně houba obsahuje mnohem větší množství vody než dřevní hmota.

7.2 OHŘEV A VYSOUŠENÍ PRVKŮ Z PÓROBETONU

Příprava a popis experimentů

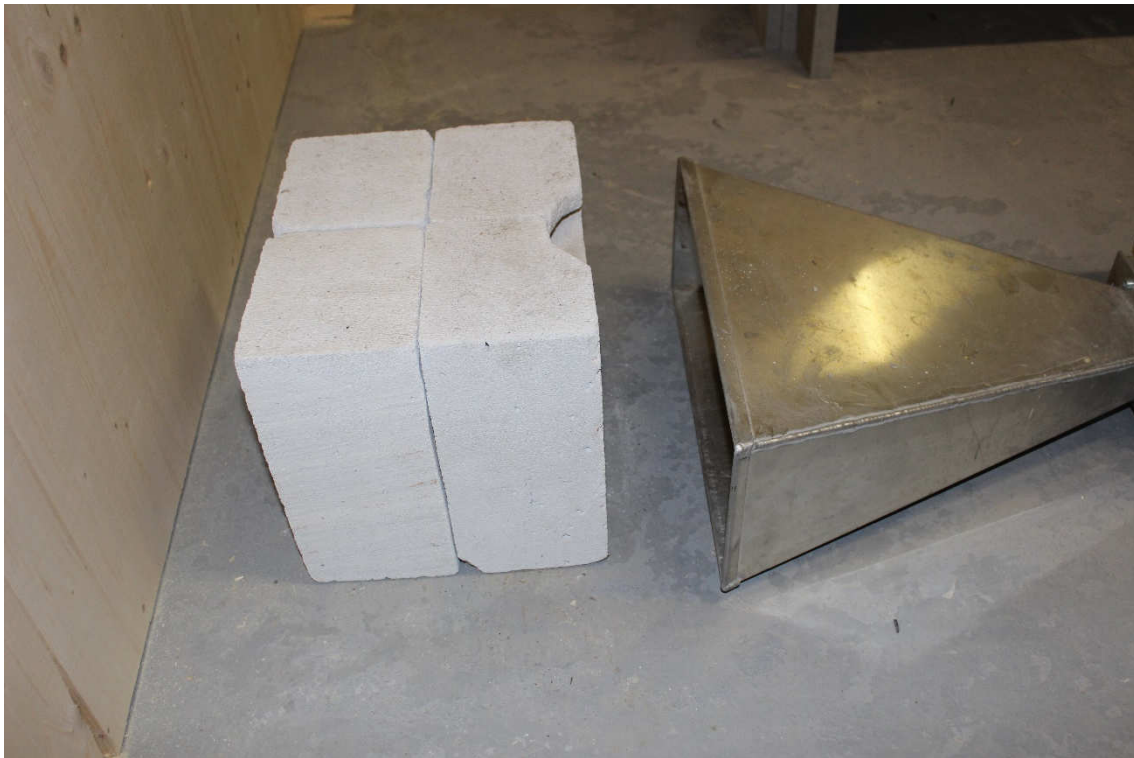
Pro experimenty byly vytvořeny dílce z pórobetonu tak, že se jedna velká tvárnice rozřízla na polovinu a tato polovina se rozřezala na 4 stejné dílce tak, aby dva dílce tvořily zadní polovinu průřezu a dva dílce přední polovinu průřezu. Pro jednotlivé experimenty měly dílce různou počáteční vlhkost. Cílem bylo zjistit optimální délku ohřevu a počet cyklů ohřevů, aby bylo dosaženo potřebných teplot pro inaktivaci případných plísní na povrchu materiálu, a také snížení vlhkosti na úroveň nižší, než je úroveň potřebná pro přežití plísní.

7.2.1 Experiment č. 4

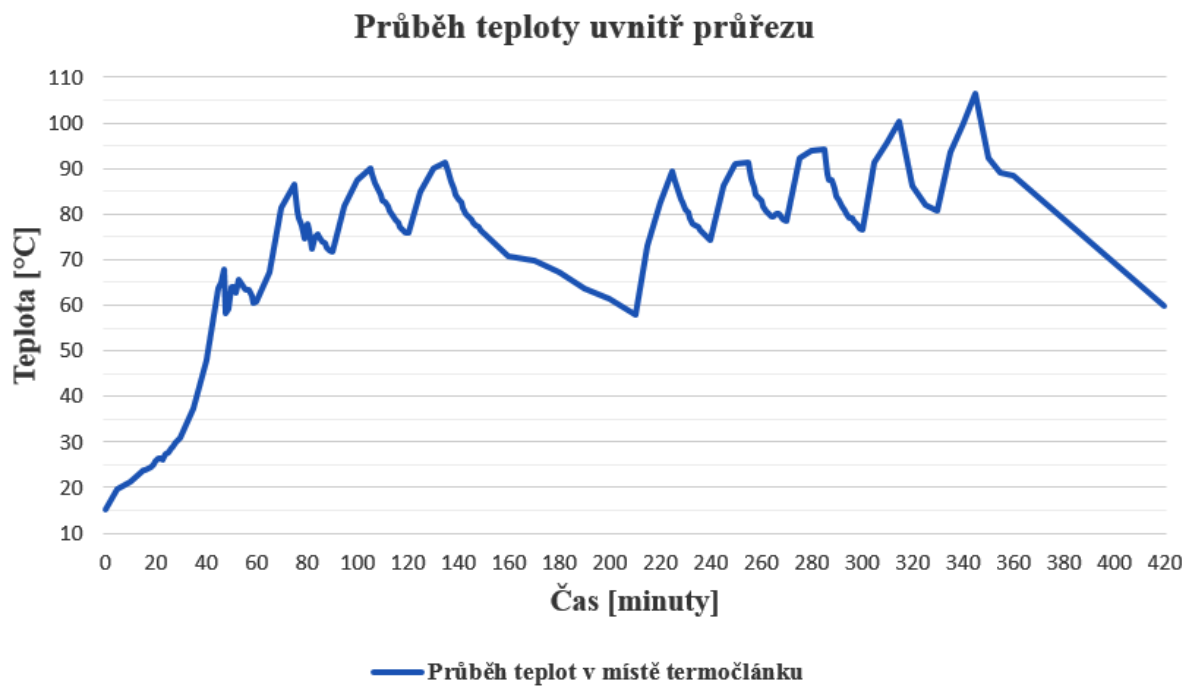
Pro experiment byly nachystány 4 dílce z pórobetonu, 2 dílce o rozměrech 125/150/250 mm a 2 dílce o rozměrech 120/150/250 mm. Všechny 4 dílce byly na začátku zváženy a následně zcela ponořeny do vody na 24 hodin.

Průběh experimentu:

- počáteční vážení dílců z pórobetonu před ponořením do vody,
- ponoření dílců z pórobetonu do vody na 24 hodin,
- pórobetonové dílce vytáhnuté z vody a nechány okapat po dobu 45 minut,
- zvážení pórobetonových dílců,
- poskládání složeného průřezu ze 4 pórobetonových dílců (2 vepředu a 2 vzadu), vložení termočlánku mezi dílce tak, aby termočlánek zaznamenával teplotu přibližně ze středu složeného průřezu,
- zvolená délka ozařování 15 minut s tím, že každých 5 minut byla zaznamenána teplota z termočlánku,
- následovalo 15 minut chladnutí s tím, že každou 1 minutu byla zaznamenána teplota z termočlánku,
- cyklů ohřevů a chladnutí bylo celkem 10,
- po 5. cyklu chladnutí byl složený průřez po dobu dalších 60 minut nechán chladnout a každých 10 minut byla zaznamenána teplota z termočlánku,
- po 10. cyklu chladnutí byly všechny 4 dílce zváženy,
- poskládání zpět celého průřezu a ponecháno ještě 60 minut chladnout,
- po 60 minutách chladnutí zaznamenána teplota z termočlánku a zvážení všech 4 dílců.



Obr. 7.32 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem



Obr. 7.33 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku

Obr. 7.33 znázorňuje průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku v čase. Termočlánek byl umístěn mezi všechny 4 pórobetonové dílce tak, aby zaujímal přibližně střed průřezu. Teplota byla sledována po celou dobu ohřevu i chladnutí. Z křivky zobrazující průběh

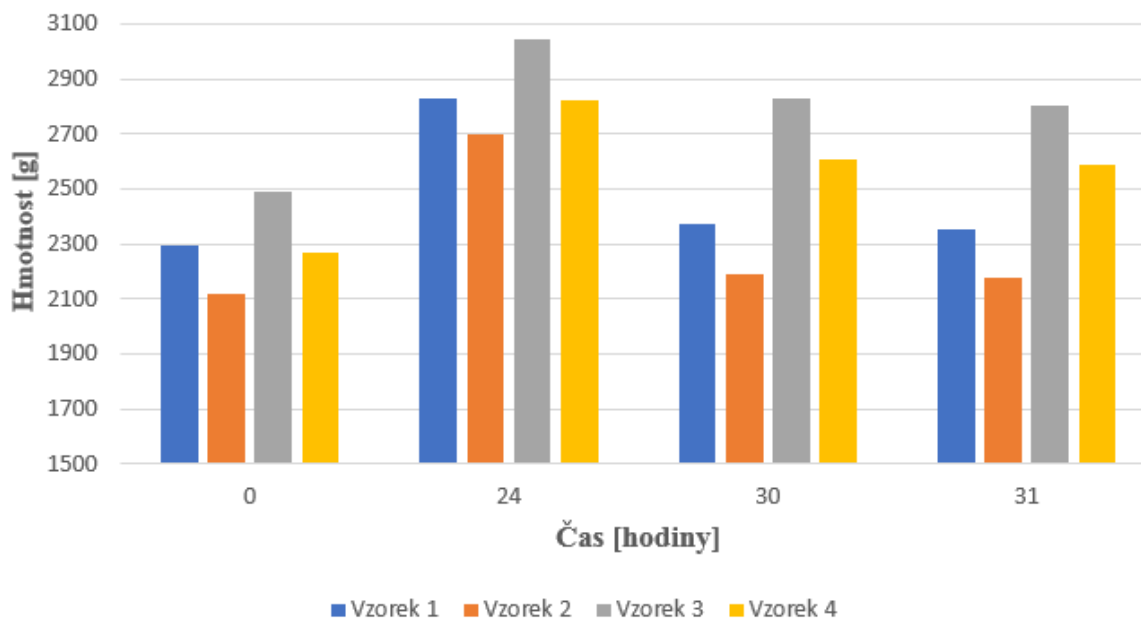
dané teploty jde vidět, že při ohřevu i chladnutí v každém z cyklů je průběh velmi podobný až na 1. a 2. cyklus ohřevu, mezi kterým byl 1. cyklus chladnutí. V době chladnutí totiž teplota uvnitř průřezu nadále rostla. Pokles teploty v době chladnutí lze pozorovat až právě v 2. cyklu chladnutí. Střed průřezu je umístěn dostatečně daleko od okolního prostředí, a proto během 1. cyklu chladnutí nebyl zaznamenán pokles teplot. Z dalšího průběhu teplot jde vidět, že během každého z cyklů ohřevů bylo vždy dosaženo určité maximální teploty v rámci daného cyklu a během chladnutí se vždy teplota vrátila přibližně na stejnou výchozí teplotu před dalším ohřevem. To je dáno rozdílem teplot uvnitř průřezu a vnějšího prostředí, který je natolik velký, že dochází k velkému uniku tepla.

Tab. 3 Úbytek hmotnosti plynosilikátových dílců

	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4
Počáteční hmotnost [g]	2296	2118	2492	2269
Hmotnost po nasáknutí [g]	2828	2702	3047	2825
Hmotnost po 10. cyklu chladnutí [g]	2373	2193	2827	2609
Hmotnost po 60 minutách od konce 10. cyklu chladnutí [g]	2356	2177	2801	2587

V tab. 3 jsou zaznamenány hmotnosti všech 4 plynosilikátových dílců v době před namočením do vody, po 24 hodinách ve vodní lázni a odkapání, po 10. cyklu chladnutí a 60 minut od posledního cyklu chladnutí. Vzorek 1 a 2 jsou dílce s výřezem pro uchycení tvárnice při transportu, takže je jejich počáteční hmotnost nižší než u dalších dvou vzorků. Zároveň vzorek 1 a 2 byly nejbližší vlnovodu, a tedy se nejvíce ohřívaly, takže v průběhu celého experimentu vykazují nejvyšší úbytky hmotnosti. Úbytky hmotnosti potom lépe dokumentuje obr. 7.34, na kterém jsou úbytky vlhkosti zobrazeny pomocí sloupcového grafu.

Změna hmotnosti plynosilikátových vzorků v průběhu experimentu



Obr. 7.34 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců

7.2.1.1 Vyhodnocení experimentu

Experiment č. 4 byl prováděn na složeném průřezu ze 4 plynosilikátových dílců. Během celého experimentu byla sledována pouze teplota uvnitř průřezu pomocí termočlánku. Kromě jediné anomálie, kdy během 1. cyklu chladnutí docházelo uvnitř průřezu k postupnému nárůstu teplot, bylo z průběhu teplotní křivky patrné, kdy probíhal ohřev a kdy chladnutí. Důvod proč během 1. cyklu chladnutí docházelo k ohřevu je, že během 1. cyklu ohřevu bylo dostatek naakumulovaného tepla, které v době vypnutího EMW generátoru a ustálení teplot v průřezu nadále přispívalo k ohřevu uvnitř průřezu. Z pohledu hmotnostní vlhkosti jsme se po nasáknutí pohybovali u plynosilikátových dílců od 30 % do 50 %. Na konci experimentu potom u předních dílců od 6 % do 13 % a u dílců zadních od 25 % do 35 %, takže podmínky k možnému rozvoji nebo zastavení u biotických škůdců jsou splněny pouze u předních dvou dílců.

7.2.2 Experiment č. 5

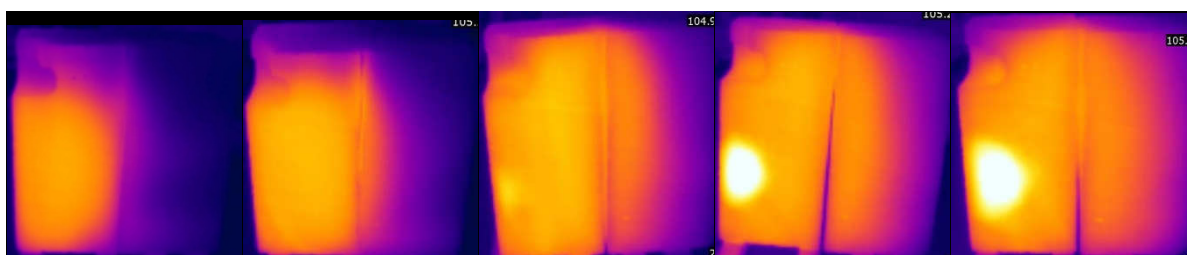
Pro experiment byly použity stejné 4 dílce z pórobetonu jako v experimentu č. 4, tedy 2 dílce o rozměrech 125/150/250 mm a 2 dílce o rozměrech 120/150/250 mm. Všechny 4 dílce byly na začátku zváženy a následně zcela ponořeny do vody na 48 hodin.

Průběh experimentu:

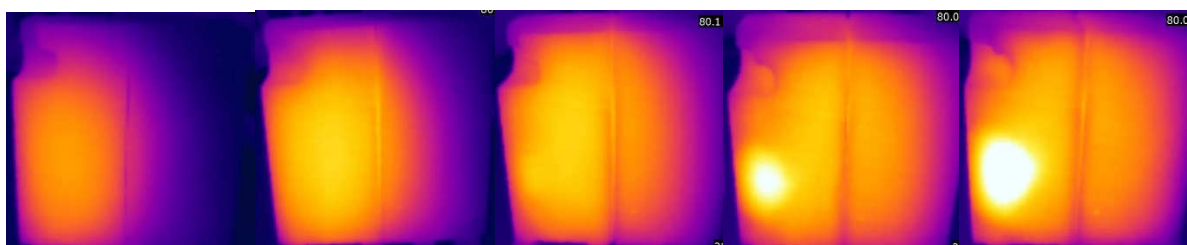
- počáteční vážení dílců z pórobetonu před ponořením do vody,
- ponoření dílců z pórobetonu do vody na 48 hodin,
- pórobetonové dílce vytáhnuté z vody a nechány okapat po dobu 45 minut,
- zvážení pórobetonových dílců,
- poskládání složeného průřezu ze 4 pórobetonových dílců (2 vepředu a 2 vzadu), vložení termočlánku mezi dílce tak, aby termočlánek zaznamenával teplotu přibližně ze středu složeného průřezu,
- zvolená délka ozařování 15 minut s tím, že každých 5 minut byla zaznamenána teplota z termočlánku,
- po vypnutí EMW generátoru byly pořízeny termovizní snímky z čela, zezadu, průřez kolmo na šíření vln, průřez ve směru šíření vln a všechny 4 pórobetonové dílce byly zváženy,
- následovalo 15 minut chladnutí s tím, že každou 1 minutu byla zaznamenána teplota z termočlánku,
- na konci každého cyklu chladnutí byly všechny 4 pórobetonové dílce zváženy
- ohřev probíhal v 10 cyklech s tím, že po 5. cyklu ohřevu a 10. cyklu ohřevu, následovalo 5 cyklů chladnutí, cyklů chladnutí bylo celkem 18.



Obr. 7.35 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem



Obr. 7.36 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus ohřevu

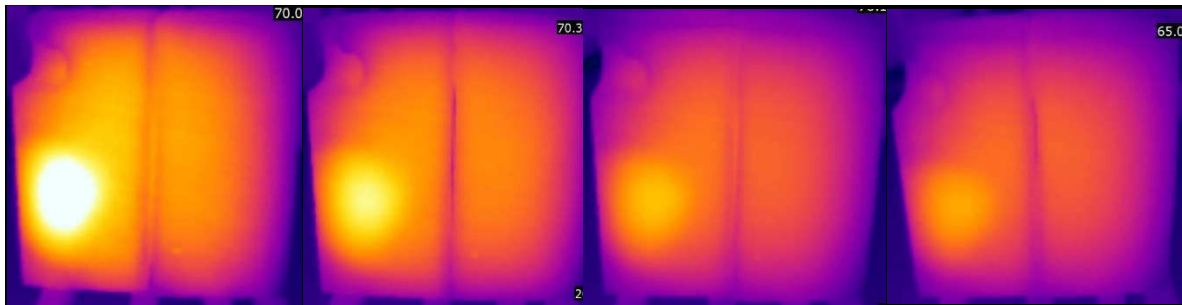


Obr. 7.37 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí

Termovizní snímky ohřevu (obr. 7.36) nám ukazují, jak se v rámci jednotlivých cyklů postupně prohřívá celý průřez. Z termovizního snímku 2. cyklu ohřevu, ale lépe potom z termovizního snímku 3. cyklu ohřevu je pozorovatelný jev, kdy v průřezu vzniká postupně oblast, která je

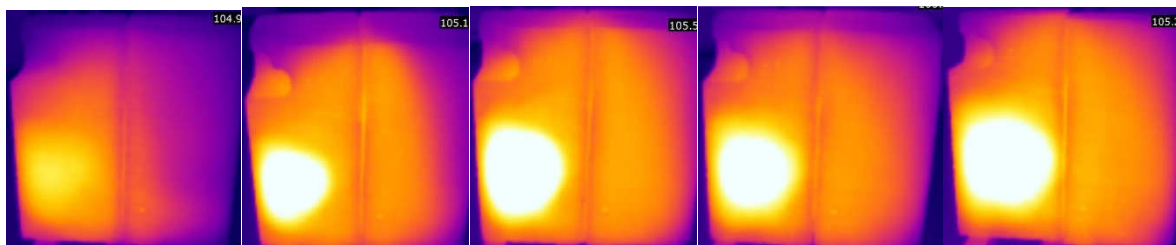
mnohem více prohřívána než zbytek průřezu. Tato oblast vzniká v první polovině hloubky průřezu a ve spodní části tohoto průřezu. Pro mikrovlnný ohřev byl použit vlnovod s výškou, která odpovídá přibližně polovině výšky celého průřezu, a proto dochází ke vzniku této přehřívané oblasti právě v této části průřezu. Horní polovina průřezu je prohřívána převážně kondukcí (vedením). První 2 cykly ohřevu se projevují pouze v první polovině hloubky průřezu a teprve s 3. cyklem dochází k prohřívání i druhé poloviny hloubky průřezu. Z termovizních snímků jde také vidět, že je průřez díky homogenitě pórobetonu postupně celý prohříván kromě už zmíněné oblasti, která vykazuje mnohem vyšší teploty.

Termovizní snímky chladnutí (obr 7.37) potom ukazují postupné rozšiřování prohřívané oblasti v době chladnutí a stejně jako v době ohřevu, je pozorovatelná i oblast s vyššími teplotami.

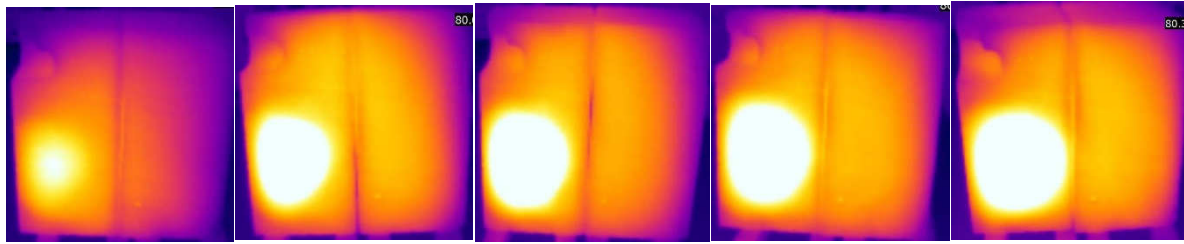


Obr. 7.38 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 9. cyklus chladnutí

Termovizní snímky cyklů chladnutí (obr. 7.38), které rozdělují celý výzkum na polovinu, dokumentují ustálení teplot v celém průřezu, kdy krajní oblasti jsou chladnější vlivem okolní teploty a oblast, která vykazoval vyšší teploty než zbytek průřezu, postupně vykazuje nižší teploty, ovšem stále vyšší než ostatní části průřezu, neboť je stále tato oblast prokreslena na termovizním snímku.

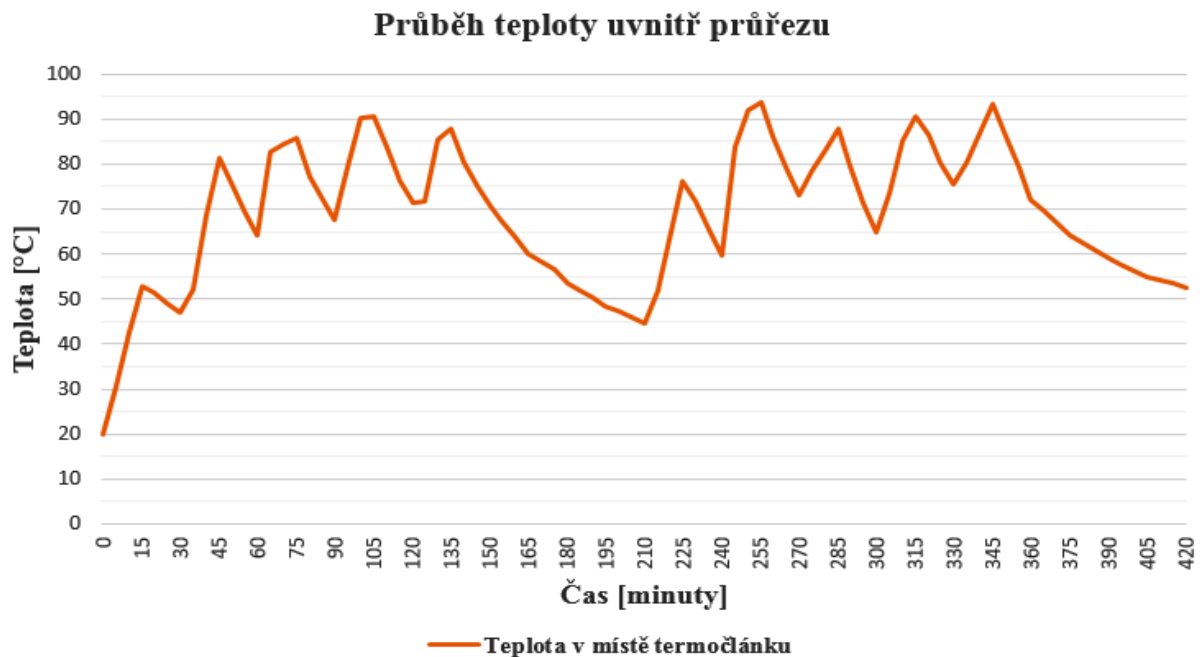


Obr. 7.39 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 10. cyklus ohřevu



Obr. 7.40 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 10. – 14. cyklus chladnutí

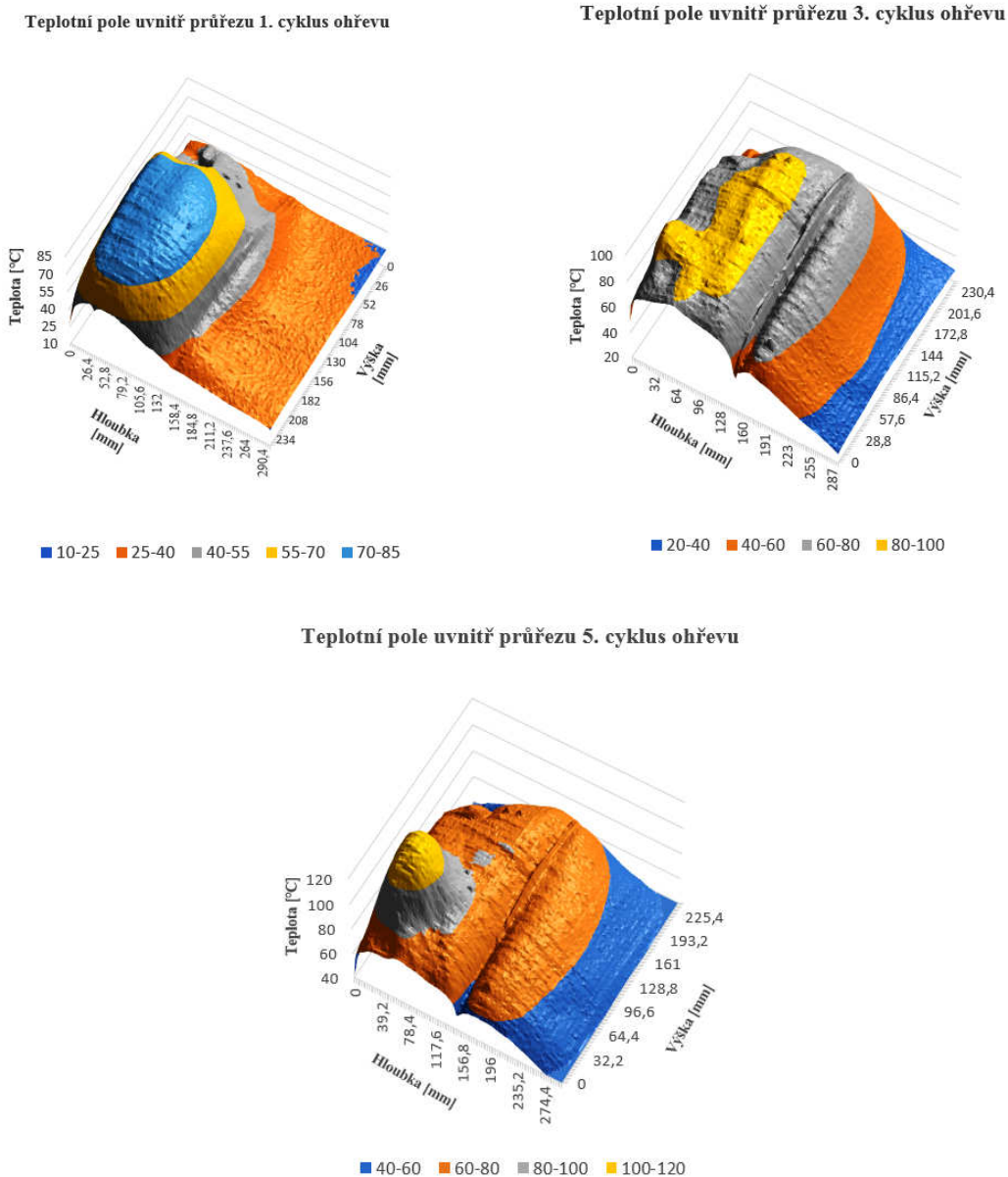
Po delším chladnutí (celkem 5. cyklů po sobě), následovalo druhých 5 cyklů ohřevu (obr. 7.39) a 5 cyklů chladnutí (obr. 7.40), které dokumentují už od počátku vznik přehřívané oblasti, která se postupně zvětšuje. V případě termovizních snímků pro ohřev i chladnutí je pro každou sérii zvolena jiná škála teplot tak, aby bylo na všech snímcích možnost porovnat nárůst prohřívané oblasti, případně oblasti, které vykazují nějaké anomálie.



Obr. 7.41 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku

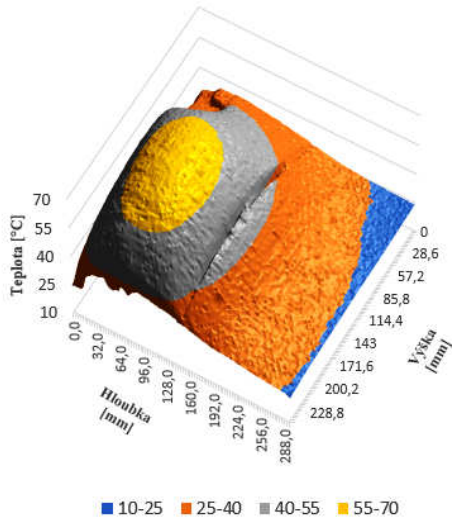
Obr. 7.41 znázorňuje průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku v čase. Termočlánek byl umístěn mezi všechny 4 pórobetonové dílce tak, aby zaujímal přibližně střed průřezu. Teplota byla sledována po celou dobu ohřevu i chladnutí. Z křivky zobrazující průběh dané teploty jde vidět, že při ohřevu i chladnutí v každém z cyklů je průběh velmi podobný a oproti experimentu č. 4 je pozorovatelný na grafu jak 1. cyklus ohřevu, tak i 1. cyklus chladnutí.

Toto může být způsobeno vyšší počáteční vlhkostí, kdy při stejné délce ohřevu a stejném výkonu EMW generátoru byla mikrovlnná energie pohlcena větším objemem molekul vody, a tudíž bylo dosaženo i vyšší teploty při 1. cyklu ohřevu a následně při chladnutí nebyla akumulace tepla dostatečně velká na to, aby se teplota uvnitř průřezu dále zvyšovala jako při experimentu č. 4. Tato skutečnost vyšší počáteční vlhkosti může být i důvod, že při celém experimentu byla nejvyšší dosažená teplota nižší než při experimentu č. 4, protože bylo potřeba ohřívat po celou dobu mnohem větší objem vody při stejném výkonu EMW generátoru.

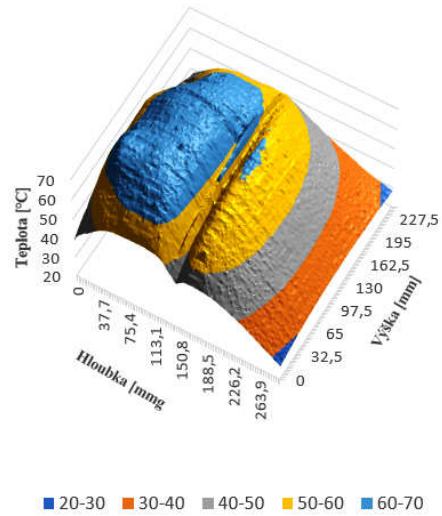


Obr. 7.42 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (1. cyklus, 3. cyklus, 5. cyklus ohřevu)

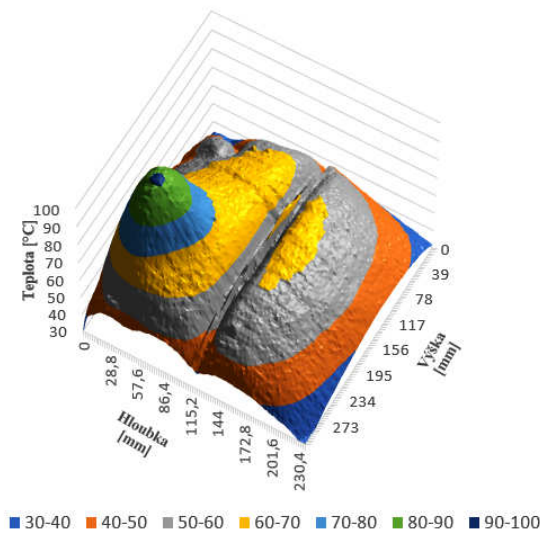
Teplotní pole uvnitř průřezu 1. cyklus chladnutí



Teplotní pole uvnitř průřezu 3. cyklus chladnutí



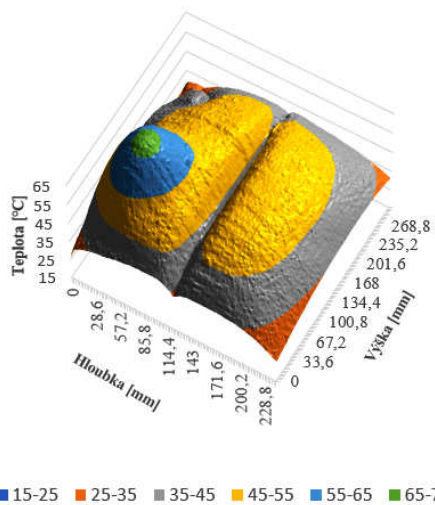
Teplotní pole uvnitř průřezu 5. cyklus chladnutí



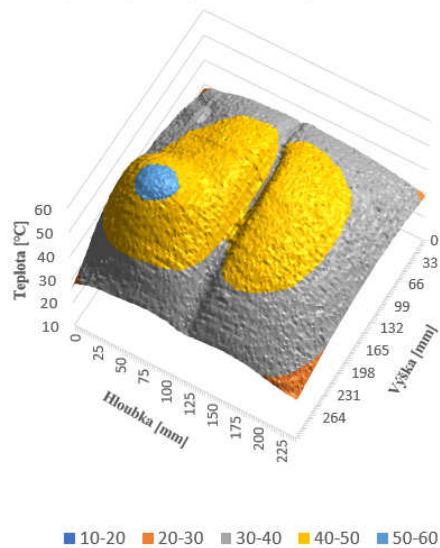
Obr. 7.43 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (1. cyklus, 3, cyklus, 5. cyklus chladnutí)

Z povrchových grafů prvních 5 cyklů ohřevu (obr. 7.42) a prvních 5 cyklů chladnutí (obr. 7.43), jde vidět, že nejvíce mikrovlnného záření je pohlcováno předními dvěma dílci pórobetonu. Opět je pozorovatelné, že horní polovina průřezu je prohřívána spíše kondukcí, než mikrovlnným ohřevem a na grafu 5. cyklu ohřevu je i viditelná již zmíněná oblast, která vykazuje vyšší teploty než okolní oblasti.

Teplotní pole uvnitř průřezu 7. cyklus chladnutí



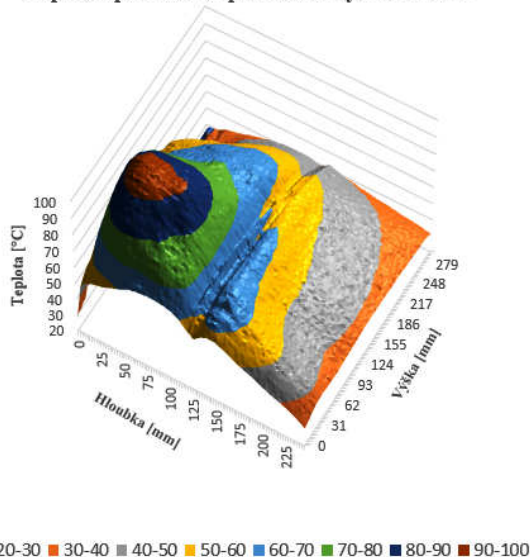
Teplotní pole v průřezu 9. cyklus chladnutí



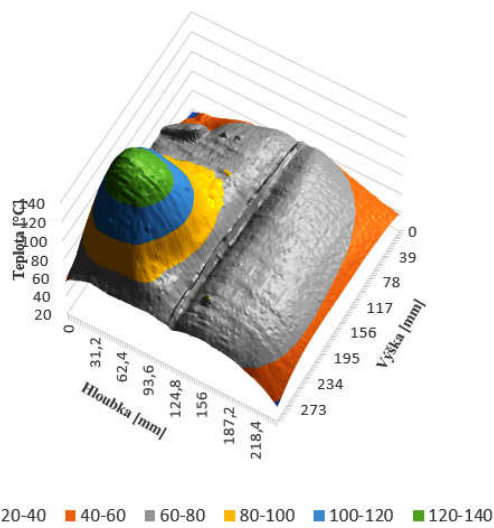
Obr. 7.44 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (7. cyklus a 9. cyklus chladnutí)

Povrchové grafy 7. a 9. cyklu chladnutí (obr. 7.44) dokreslují, jak se mění teplotní pole v době chladnutí 5 cyklů po sobě, přičemž na konci 9. cyklu chladnutí jde stále vidět oblast s vyššími teplotami než ve zbytku průřezu.

Teplotní pole uvnitř průřezu 6. cyklus ohřevu

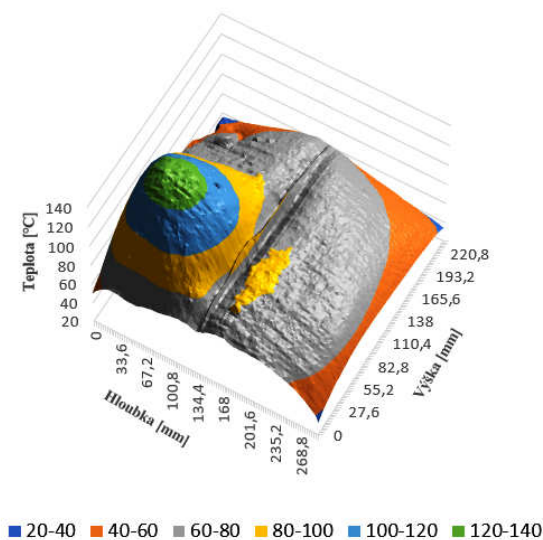


Teplotní pole uvnitř průřezu 8. cyklus ohřevu



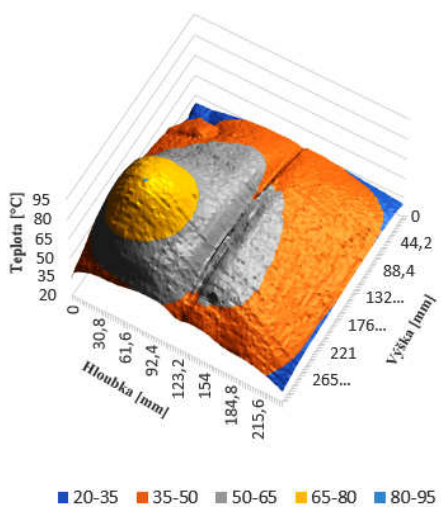
Obr. 7.45 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (6. cyklus, 8. cyklus ohřevu)

Teplotní pole uvnitř průřezu 10. cyklus ohřevu

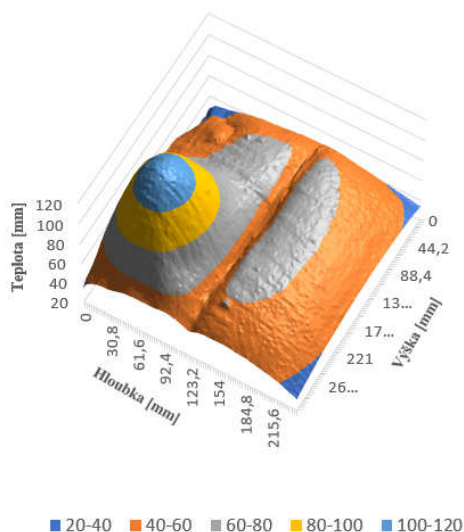


Obr. 7.46 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (10. cyklus ohřevu)

Teplotní pole uvnitř průřezu 10. cyklus chladnutí

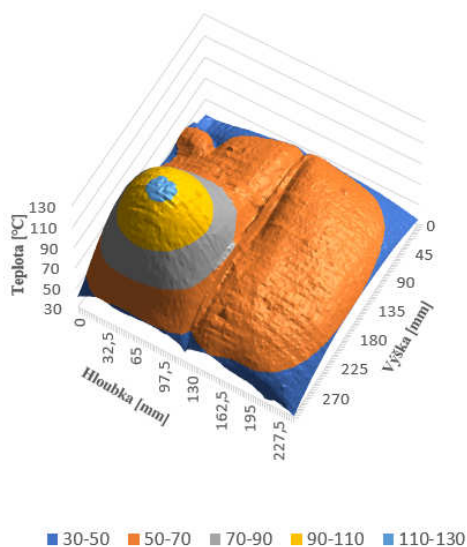


Teplotní pole uvnitř průřezu 12. cyklus chladnutí



Obr. 7.47 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (10. cyklus, 12. cyklus chladnutí)

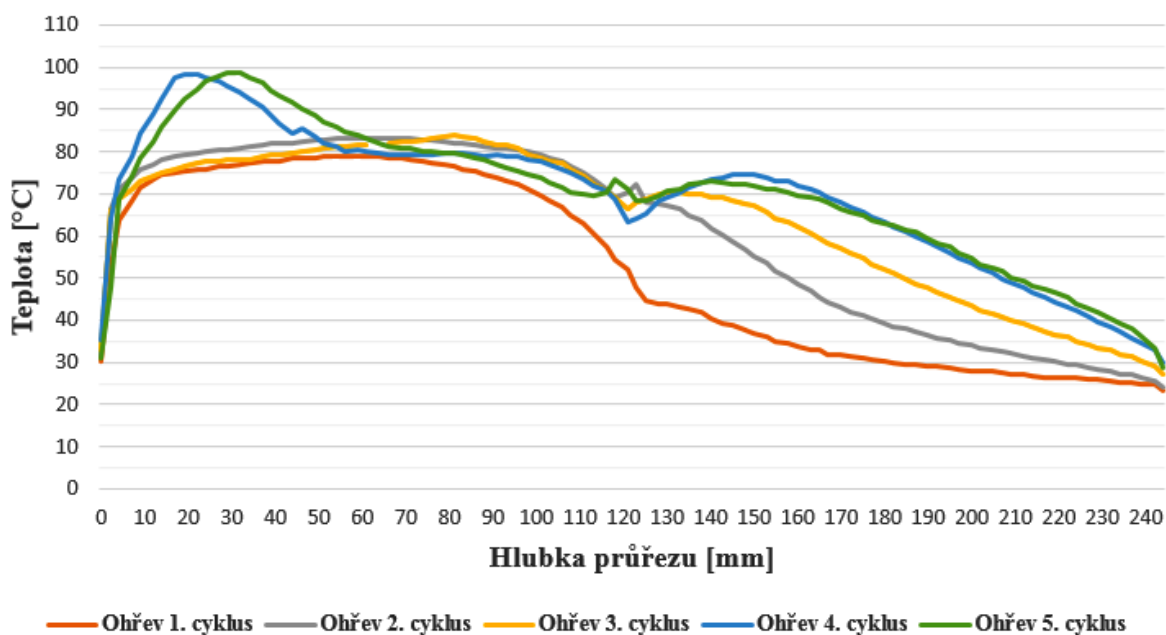
Teplotní pole uvnitř průřezu 14. cyklus chladnutí



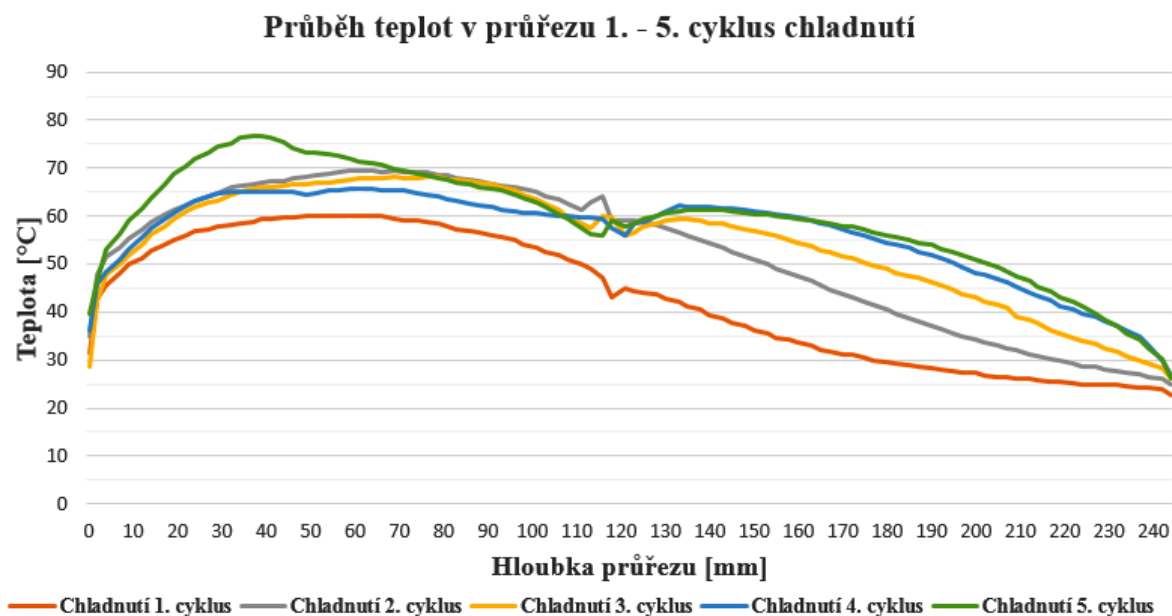
Obr. 7.48 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (14. cyklus chladnutí)

Z povrchových grafů druhé série 5 cyklů ohřevu (obr. 7.45 a 7.46) a 5 cyklů chladnutí (obr. 7.47 a 7.48), je pozorovatelná prohřívanejší oblast hned od samého začátku i přesto, že mezi druhou sérií ohřevů a chladnutí byly vloženy 4 cykly chladnutí.

Průběh teplot v průřezu 1. - 5. cyklus ohřevu

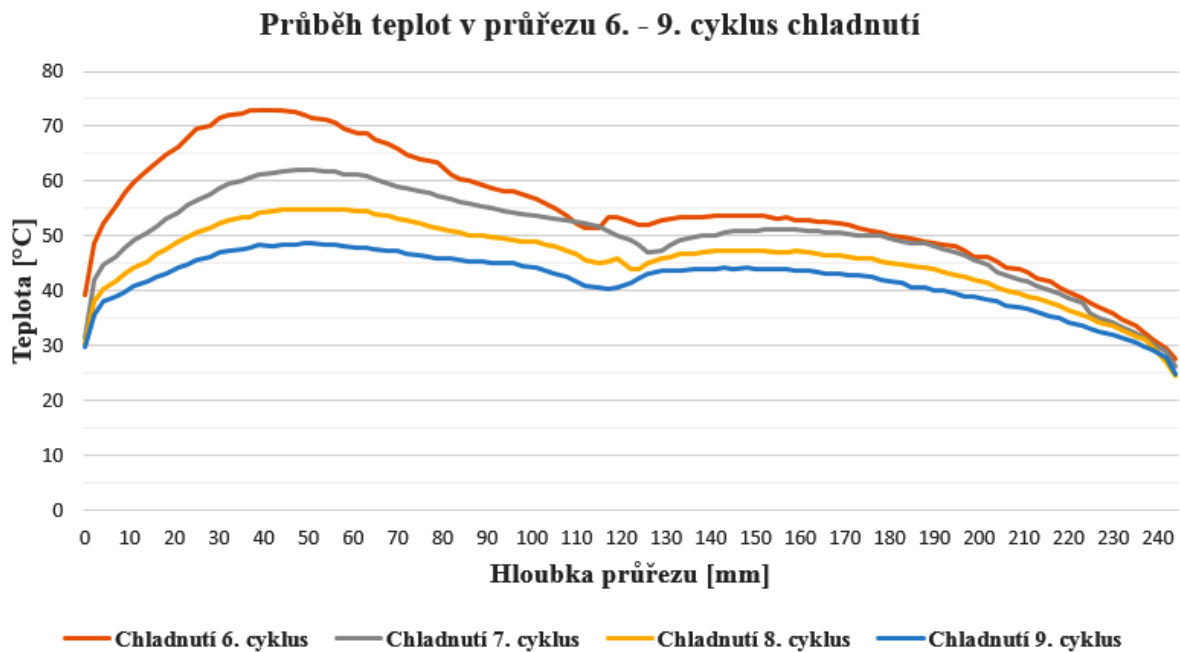


Obr. 7.49 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus ohřevu



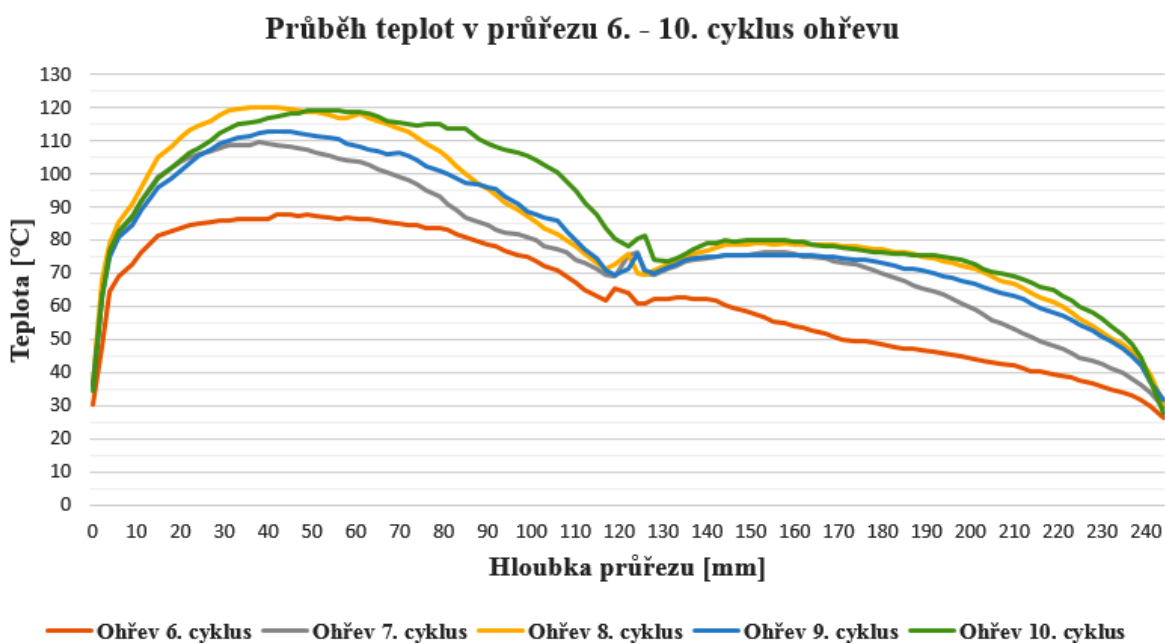
Obr. 7.50 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí

Obr. 7.49 a 7.50 zobrazují průběh teplot napříč průřezem v době prvních 5 cyklů ohřevu a chladnutí, přibližně v polovině výšky průřezu. Z obr. 7.49 jde vidět, že v prvních 3 cyklech ohřevů se první polovina hloubky průřezu prohřívala přibližně stejně. Ve 4. a 5. cyklu ohřevu se projevila vznikající přehřívaná oblast, která křivku deformuje. Na obr. 7.50 dokumentující cykly chladnutí, je pozorovatelné postupné ustálení teplot v první polovině hloubky průřezu, v té druhé dochází k většímu vychladnutí.

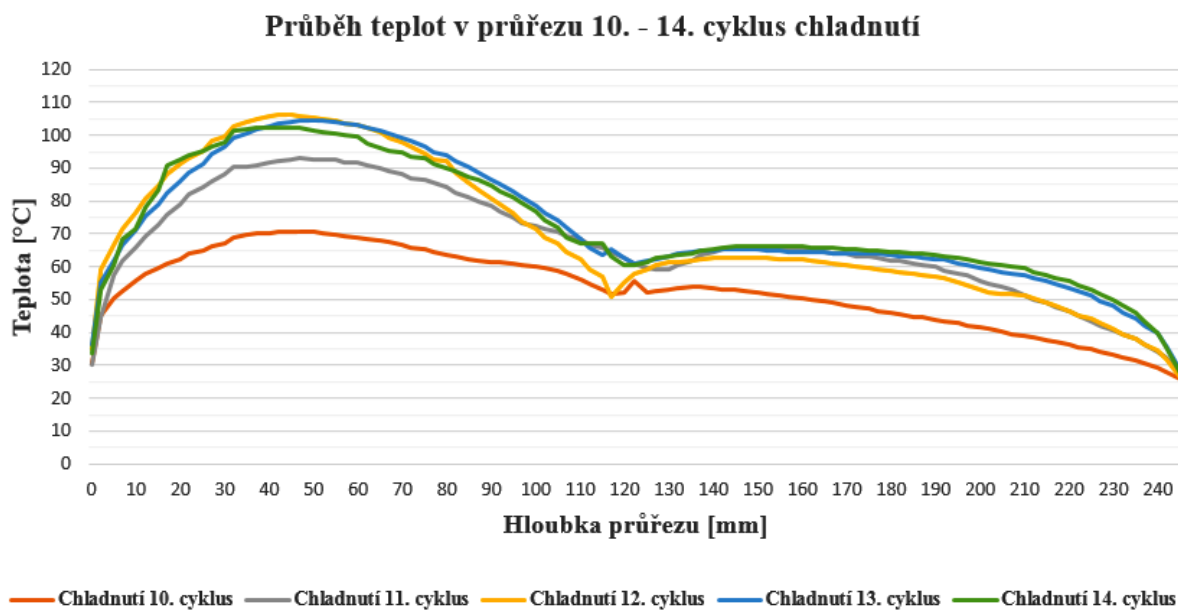


Obr. 7.51 Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 9. cyklus chladnutí

Obr. 7.51 zobrazuje průběh teplot napříč průřezem v době vložení 4 cyklů chladnutí před dalším ohřevem. Ve všech 4 cyklech má křivka velmi podobný průběh. První polovina hloubky průřezu chladne rychleji vlivem prohřátí na vyšší teploty.



Obr. 7.52 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 10. cyklus ohřevu



Obr. 7.53 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 10. – 14. cyklus chladnutí

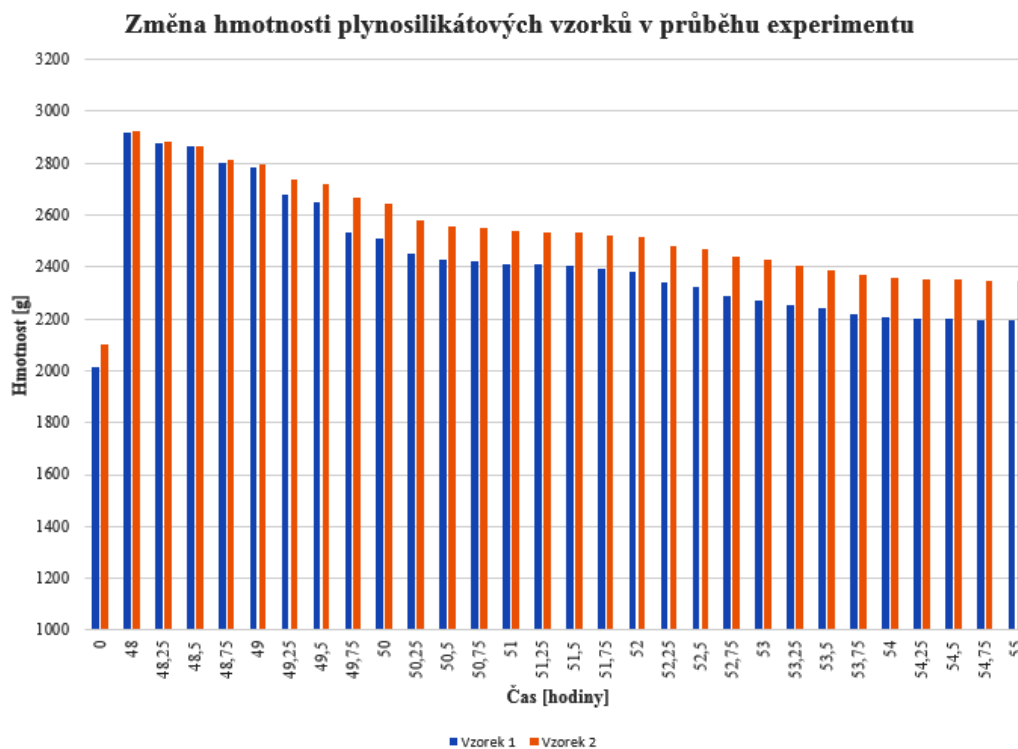
V prvních 5 cyklech ohřevů a chladnutí nebyl mezi první polovinou hloubky průřezu a druhou polovinou hloubky průřezu velký teplotní rozdíl, pokud pomíneme krajní oblast, která byla nejvíce vzdálena od vlnovodu. Ovšem v druhých 5 cyklech ohřevů a chladnutí (obr. 7.52 a 7.53) tento teplotní rozdíl mezi první a druhou polovinou průřezu byl mnohem větší. Jak už jsem popisoval výše, tak v první polovině průřezu vznikla během ohřevů a chladnutí oblast s výrazně vyššími teplotami, která zároveň byla v přímém směru šíření vln. Tato oblast z vyššími teplotami způsobuje, že mikrovlny tolik neprostupují dále průřezem, a proto je druhá polovina hloubky prohřívána méně.

Tab. 4 Úbytek hmotnosti plynosilikátových dílců

	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4
Počáteční hmotnost [g]	2015	2100	2140	2350
Hmotnost po nasáknutí [g]	2915	2924	3007	3158
Hmotnost po 1. cyklu ohřevu [g]	2877	2881	3005	3156
Hmotnost po 1. cyklu chladnutí [g]	2865	2865	3004	3157
Hmotnost po 2. cyklu ohřevu [g]	2804	2812	3004	3156
Hmotnost po 2. cyklu chladnutí [g]	2784	2795	3003	3156
Hmotnost po 3. cyklu ohřevu [g]	2678	2740	3002	3159
Hmotnost po 3. cyklu chladnutí [g]	2650	2719	2998	3155
Hmotnost po 4. cyklu ohřevu [g]	2535	2667	2988	3148
Hmotnost po 4. cyklu chladnutí [g]	2507	2646	2978	3139
Hmotnost po 5. cyklu ohřevu [g]	2451	2580	2961	3122
Hmotnost po 5. cyklu chladnutí [g]	2430	2558	2949	3110
Hmotnost po 6. cyklu chladnutí [g]	2421	2548	2941	3101
Hmotnost po 7. cyklu chladnutí [g]	2412	2540	2932	3093
Hmotnost po 8. cyklu chladnutí [g]	2409	2536	2927	3087
Hmotnost po 9. cyklu chladnutí [g]	2404	2532	2922	3083
Hmotnost po 6. cyklu ohřevu [g]	2392	2520	2915	3075
Hmotnost po 10. cyklu chladnutí [g]	2384	2513	2910	3096
Hmotnost po 7. cyklu ohřevu [g]	2339	2482	2893	3057
Hmotnost po 11. cyklu chladnutí [g]	2323	2470	2879	3045
Hmotnost po 8. cyklu ohřevu [g]	2286	2441	2852	3024
Hmotnost po 12. cyklu chladnutí [g]	2272	2428	2835	3007
Hmotnost po 9. cyklu ohřevu [g]	2253	2403	2814	2985
Hmotnost po 13. cyklu chladnutí [g]	2242	2390	2801	2971
Hmotnost po 10. cyklu ohřevu [g]	2220	2372	2775	2946
Hmotnost po 14. cyklu chladnutí [g]	2209	2361	2758	2930
Hmotnost po 15. cyklu chladnutí [g]	2202	2354	2747	2919
Hmotnost po 16. cyklu chladnutí [g]	2199	2350	2739	2909
Hmotnost po 17. cyklu chladnutí [g]	2196	2347	2734	2904
Hmotnost po 18. cyklu chladnutí [g]	2193	2344	2728	2898

V tab. 4 jsou zaznamenány hmotnosti všech 4 plynosilikátových dílců v době před namočením do vody, po 48 hodinách ve vodní lázni a odkapání a následně po každém cyklu ohřevu a chladnutí. Vzorek 1 a 2 byly opět dílce s výřezem pro uchycení tvárnice při transportu, takže je jejich počáteční hmotnost nižší než u dalších dvou vzorků. Zároveň vzorek 1 a 2 byly nejbliže vlnovodu, a tedy se nejvíce ohřívaly, takže v průběhu celého experimentu vykazují nejvyšší

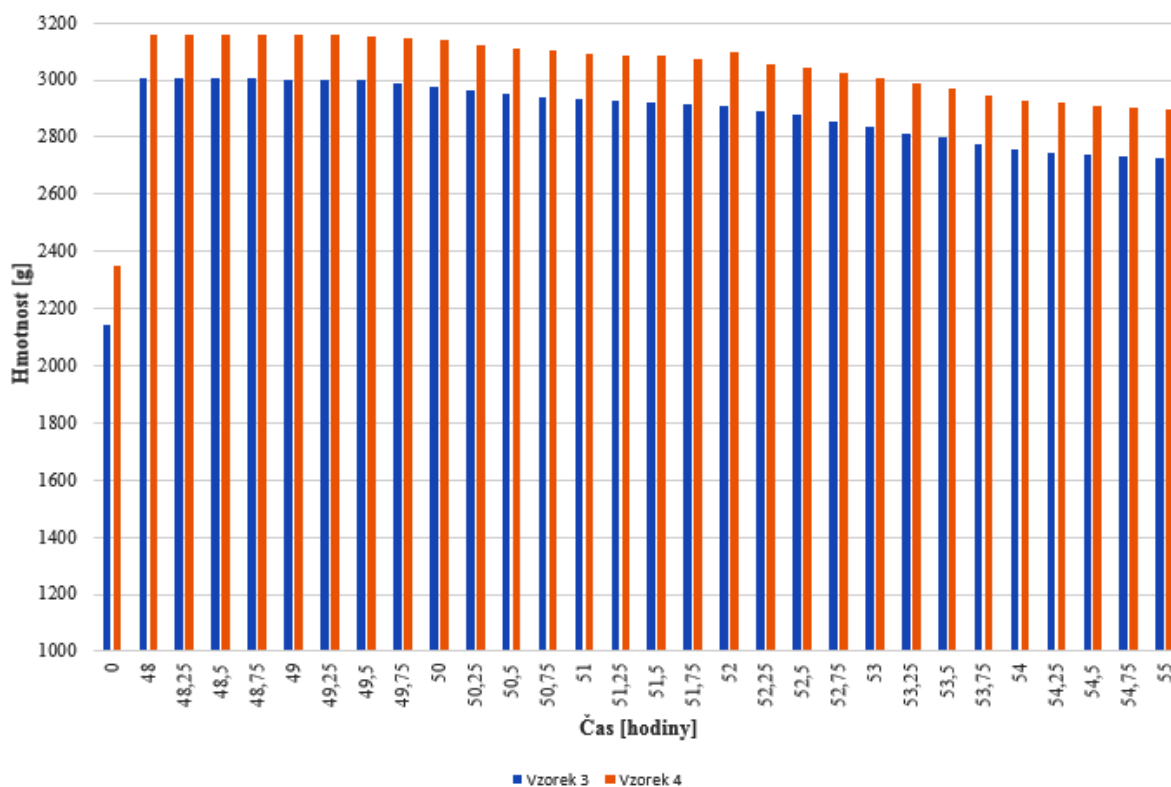
úbytky hmotnosti, ovšem od 3. cyklu ohřevu vykazuje vzorek 1 oproti vzorku 2 vyšší úbytky. Úbytky hmotnosti potom lépe dokumentuje obr. 7.54 a obr. 7.55, na kterých jsou úbytky vlhkosti zobrazeny pomocí sloupcového grafu.



Obr. 7.54 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 1 a 2)

Z obr. 7.54 jsou vidět postupné úbytky hmotnosti u vzorku 1 a 2, které byly nejbližší vlnovodu a s tím související prohřátí způsobilo i vyšší úbytky. Jak je popsáno výše, tak od 3. cyklu ohřevu jde vidět i vyšší úbytek hmotnosti vzorku 1 oproti vzorku 2.

Změna hmotnosti plynosilikátových vzorků v průběhu experimentu



Obr. 7.55 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 3 a 4)

Z obr. 7.55 jsou vidět postupné úbytky hmotnosti u vzorku 3 a 4, které byly za vzorky 1 a 2 a tudíž dále od vlnovodu. Už od počátečního vážení vykazuje vzorek 4 vyšší hmotnosti a podobný rozdíl v hmotnostech mezi vzorkem 3 a 4 je potom viditelný po celou dobu experimentu. Zajímavé místo je úbytek hmotnosti po 10. cyklu chladnutí, kdy právě vzorek 4 zaznamenal přírůstek hmotnosti, což může být způsobeno tím, že tlakem vodní páry se šíří vlhkost všemi směry, nejen směrem k vlnovodu.

7.2.2.1 Vyhodnocení experimentu

Experiment č. 5 byl prováděn na složeném průřezu ze 4 plynosilikátových dílců stejně jako v případě experimentu č. 4. Oproti experimentu č. 4 však celý experiment probíhal s vyšší počáteční hmotností po nasáknutí. Díky vyšší počáteční hmotnosti (větší množství vody) bylo dosaženo při 1. cyklu ohřevu vyšší teploty, a proto byl na grafu průběhu teplot viditelný i 1. cyklus chladnutí. Zároveň po 5. cyklu chladnutí pokračovalo chladnutí další 4 cykly stejně jako

tomu bylo při experimentu č. 4, ovšem po vložených 4 cyklech chladnutí se teplota dostala níže než při experimentu č. 4, což může být opět způsobeno větším obsahem vody. Teploty v průřezu v místě termočlánku jsou srovnatelné s experimentem č. 4, ovšem tím, že byly pořizovány i termovizní snímky, tak se ukázalo, že v první polovině vzniká přehřívající oblast a celkově se více prohřívá první polovina průřezu v porovnání s tou druhou. Vzhledem k nízké objemové hmotnosti lze pozorovat, že teplota v průřezu dosáhne vždy určitého maxima a dále nestoupá. V našem případě se teplota v místě termočlánku pohybovala kolem 100 °C. V přehřívající oblasti potom max. kolem 130 °C. Jde o to, že plynosilikát má nižší akumulaci schopnost než např. dřevo, které bylo předmětem experimentu č. 1 – č. 3 a tam bylo vidět, že teplota v průřezu rostla na vyšší hodnoty, což přisuzují vyšší objemové hmotnosti a současně i větší akumulaci schopnosti, takže prohřívající vzorek dřeva v porovnání s plynosilikátem tolik nevychladnul v době chladnutí. Z pohledu hmotnosti vlhkosti byla hodnota u předních dílců okolo 40 % a u dílců zadních okolo 55 %. Na konci experimentu se hodnota hmotnostní vlhkosti pohybovala u předních dílců od 7 % do 14 % a u dílců zadních od 30 % do 40 %, takže je to velmi podobné jako v případě experimentu č. 4. Opět tedy podmínky k rozvoji nebo zastavení biotických škůdců jsou splněny jen u předních dílců.

7.2.3 Experiment č. 6

Pro experiment byly použity stejné 4 dílce z pórobetonu jako v experimentu č. 4, tedy 2 dílce o rozměrech 125/150/250 mm a 2 dílce o rozměrech 120/150/250 mm. Oproti předchozím dvěma výzkumům byly k pórobetonovým dílcům přiloženy další tvárnice z pórobetonu, aby to více odpovídalo reálným podmínkám a zároveň aby bylo zjištěno jaký to má vliv na celkový průběh výzkumu. Všechny 4 dílce byly na začátku zváženy a následně zcela ponořeny do vody na 48 hodin.

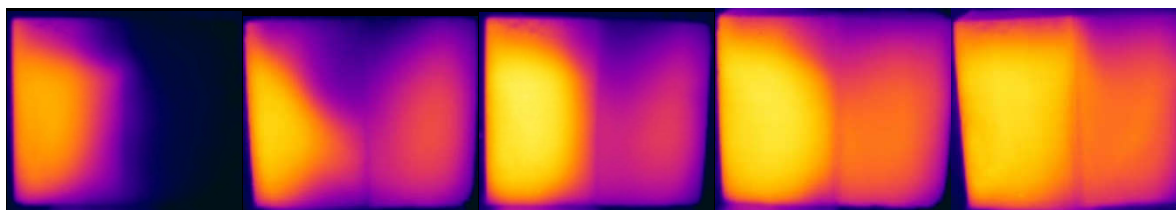
Průběh experimentu:

- počáteční vážení dílců z pórobetonu před ponořením do vody,
- ponoření dílců z pórobetonu do vody na 48 hodin,
- pórobetonové dílce vytáhnuté z vody a nechány okapat po dobu 45 minut,
- zvážení pórobetonových dílců,
- poskládání složeného průřezu ze 4 pórobetonových dílců (2 vepředu a 2 vzadu), vložení termočlánku mezi dílce tak, aby termočlánek zaznamenával teplotu přibližně ze středu složeného průřezu,
- přiložení pórobetonové tvárnice zprava i zleva,

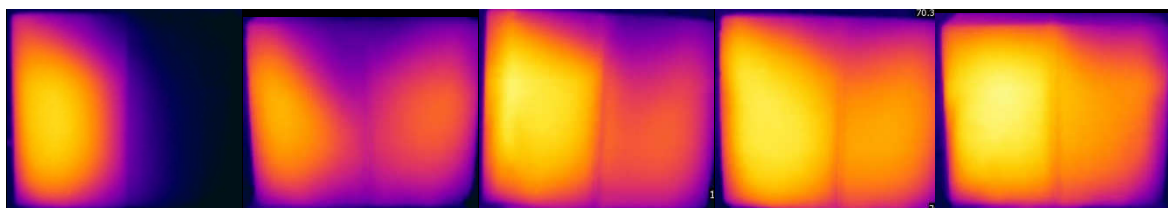
- zvolená délka ozařování 15 minut s tím, že každých 5 minut byla zaznamenána teplota z termočlánku,
- po vypnutí EMW generátoru byly pořízeny termovizní snímky z čela, průřez kolmo na šíření vln, průřez ve směru šíření vln a všechny 4 pórobetonové dílce byly zváženy,
- následovalo 15 minut chladnutí s tím, že každých 5 minut byla zaznamenána teplota z termočlánku,
- po cyklu chladnutí byly pořízeny termovizní snímky z čela, průřez kolmo na šíření vln, průřez ve směru šíření vln a všechny 4 pórobetonové dílce byly zváženy,
- následoval další cyklus ozařování v délce 15 minut, ovšem tentokrát z druhé strany s tím, že každých 5 minut byla zaznamenána teplota z termočlánku,
- po vypnutí EMW generátoru byly pořízeny termovizní snímky z čela, průřez kolmo na šíření vln, průřez ve směru šíření vln a všechny 4 pórobetonové dílce byly zváženy,
- cyklů ohřevů i chladnutí bylo 10.



Obr. 7.56 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem

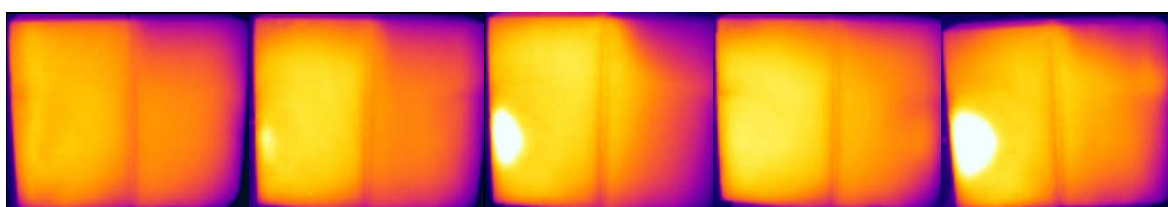


Obr. 7.57 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus ohřevu

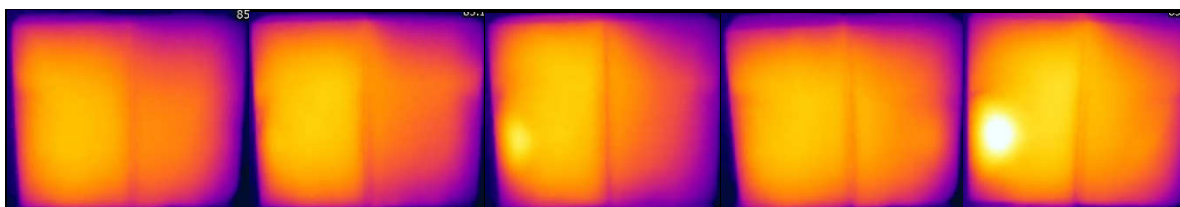


Obr. 7.58 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí

Termovizní snímky ohřevu (obr. 7.57) ukazují, jak se v rámci jednotlivých cyklů postupně prohřívá celý průřez ovšem pozvolněji, než tomu bylo v experimentu č. 5. Během prvních 5 cyklů ohřevů a chladnutí nevznikla přehříváná oblast tak, jako tomu bylo v případě experimentu č. 5, ale naopak je na konci 5. cyklu ohřevu prohřátý celý průřez rovnoměrněji. V době chladnutí (obr. 7.58) je pozorovatelné pouze rozšiřování prohříváné oblasti.

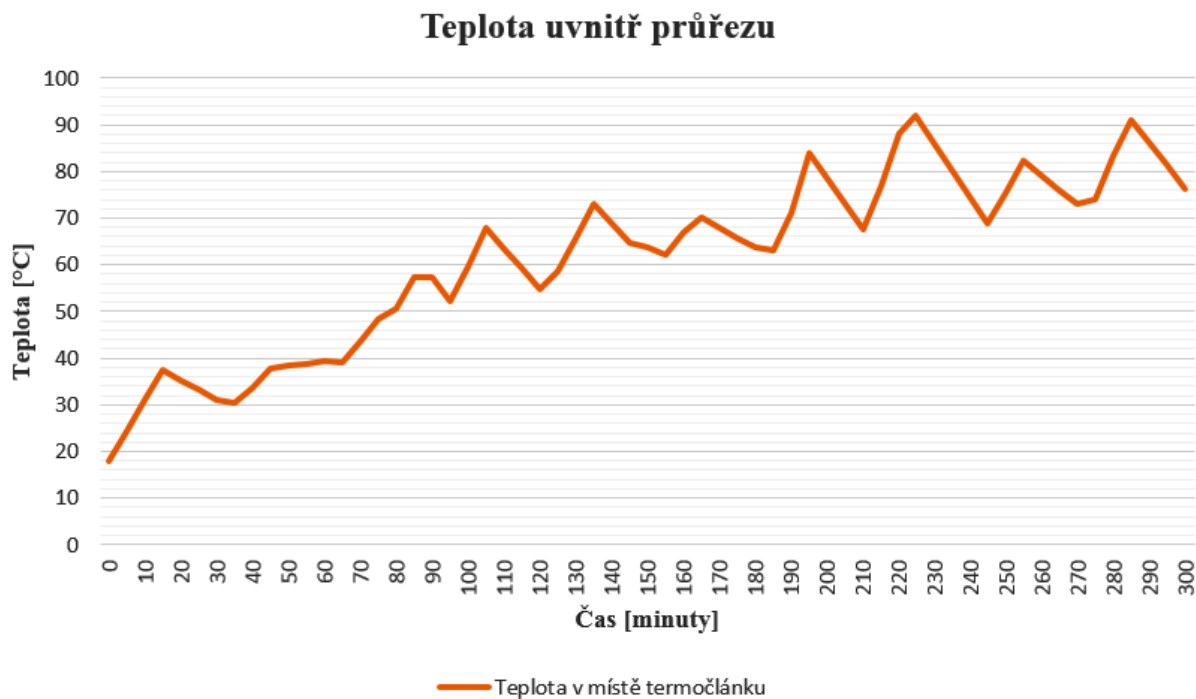


Obr. 7.59 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 10. cyklus ohřevu



Obr. 7.60 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 10. cyklus chladnutí

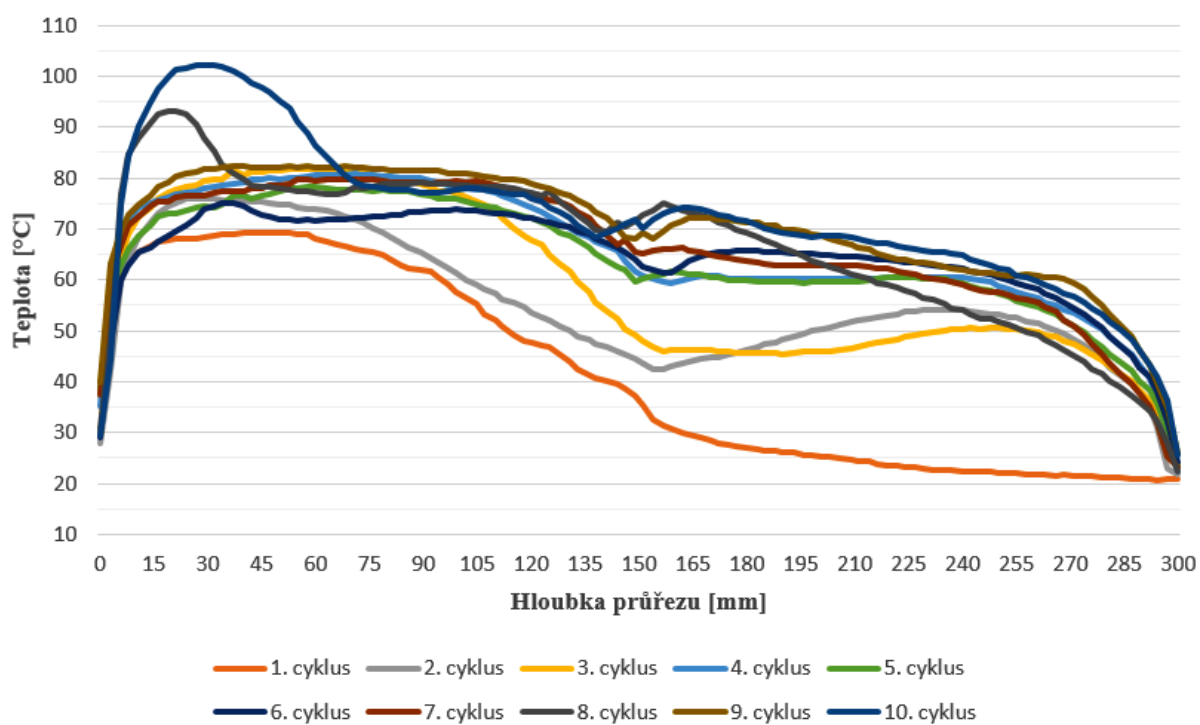
Termovizní snímky ohřevu (obr. 7.59) z průběhu druhých 5 cyklů ohřevů a chladnutí ukázali, že se při 8. cyklu vytvořila oblast z vyššími teplotami, a to na straně, která byla prohřívána až jako druhá. Přitom při 9. cyklu ohřevu nebyla tato oblast pozorovatelná ani na jedné z polovin průřezu. Prokreslení této oblasti bylo opět pozorovatelné až při 10. cyklu ohřevu. V době chladnutí (obr. 7.60) potom je viditelné chladnutí prohřívané oblasti, a to v stejné jako v případě ohřevu u cyklu 8. a 10.



7.61 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku

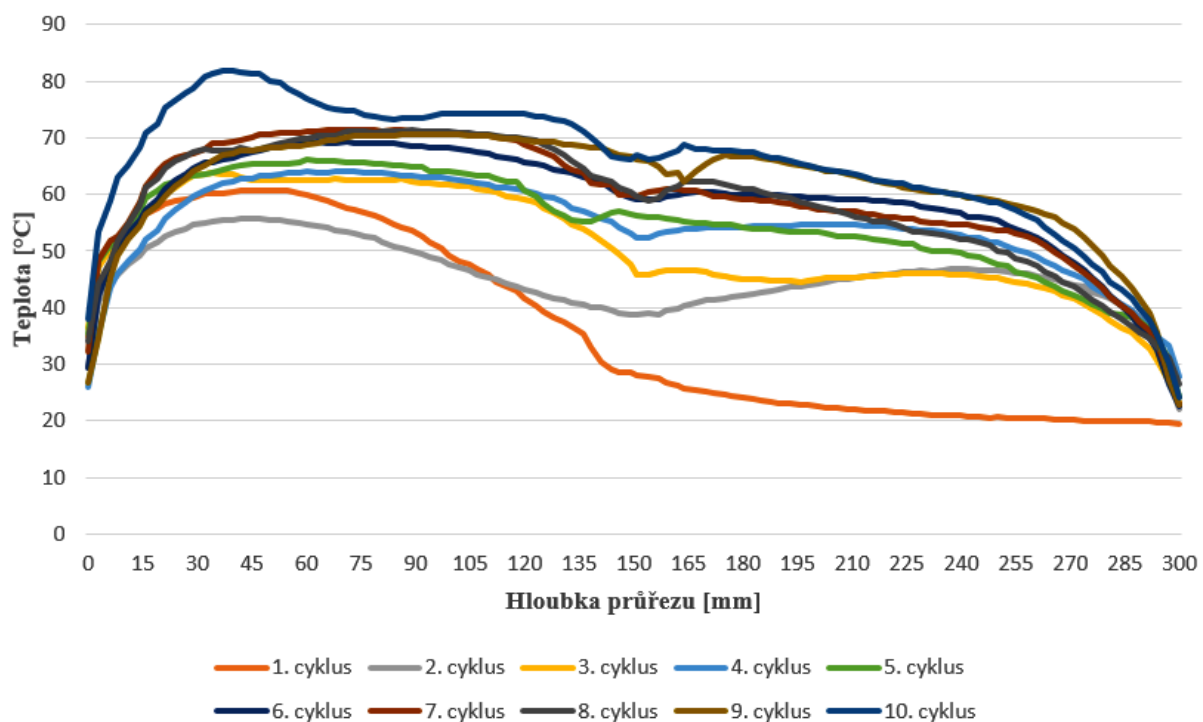
Obr. 7.61 znázorňuje průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku v čase. Termočlánek byl umístěn mezi všechny 4 pórobetonové dílce tak, aby zaujímal přibližně střed průřezu. Teplota byla sledována po celou dobu ohřevu i chladnutí. Z křivky zobrazující průběh dané teploty jde vidět, že při 2. a 3. cyklu chladnutí nedocházelo k poklesu teploty uvnitř průřezu, ale naopak tato teplota při 2. cyklu chladnutí nepatrně rostla. To při 3. cyklu chladnutí rostla podstatně více. Tento jev je způsoben tím, že při 2. cyklu ohřevu probíhal ohřev z druhé strany a uprostřed průřezu došlo k tomu, že obě poloviny byly v tu danou chvíli prohřátý na určitou teplotu a v době chladnutí tak přispívaly obě poloviny naakumulovaným teplem. Ve zbylém průběhu křivky ohřevu jsou už ve všech případech pozorovatelné jak cykly ohřevu, tak i chladnutí.

Průběh teplot v průřezu 1. - 10. cyklus ohřevu



Obr. 7.62 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 10. cyklus ohřevu

Průběh teplot v průřezu 1. - 10. cyklus chladnutí



Obr. 7.63 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 10. cyklus chladnutí

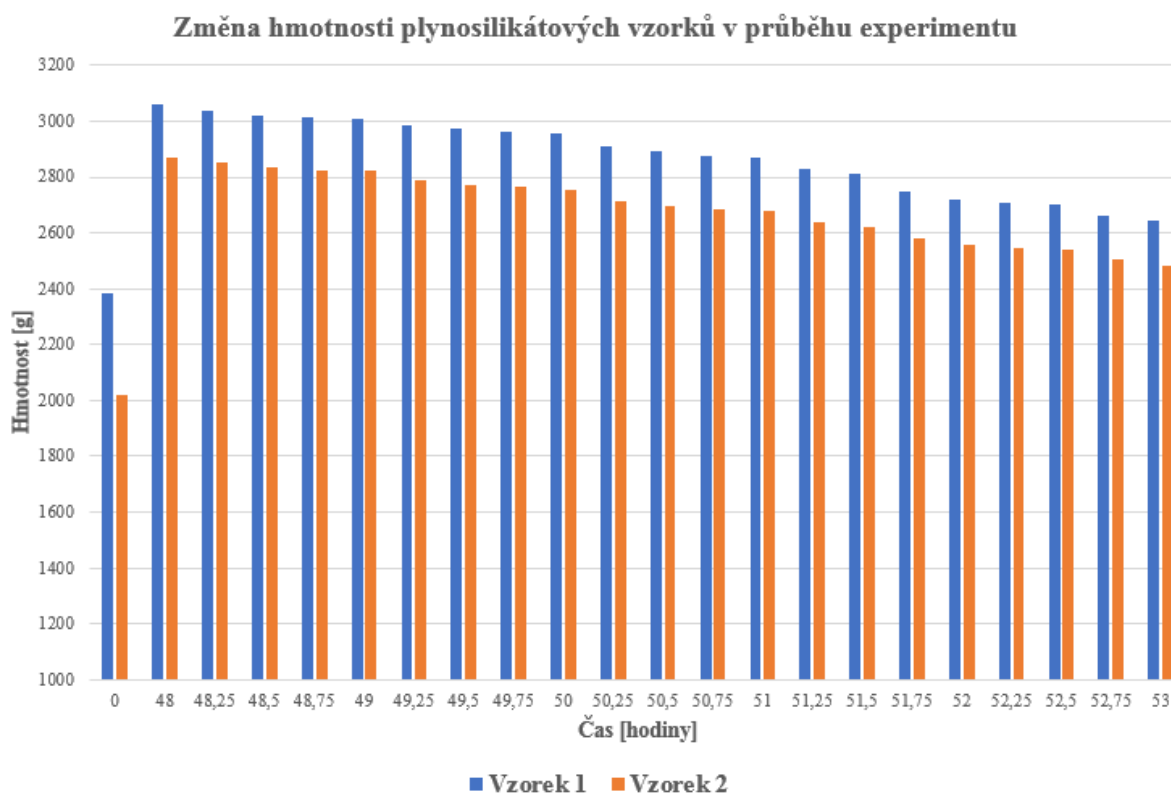
Obr. 7.62 a 7.63 zobrazují průběh teplot napříč průřezem v době všech 10 cyklů ohřevu a chladnutí, přibližně v polovině výšky průřezu. Z obr. 7.62 jde vidět, že při 1. cyklu ohřevu se více prohřála první polovina průřezu než ta druhá. U 2. cyklu se potom prohřátí přibližně srovnalo, neboť se prohřívalo z druhé strany. U 3. cyklu byla opět první polovina průřezu více prohřátá než polovina druhá. Teprve až od 4. cyklu ohřevu byl průřez prohříván rovnoměrně ať už se prohřívalo z jedné nebo druhé strany. U posledních dvou cyklů ohřevů (9. a 10. cyklus) se projevila více prohřívaná oblast deformací křivky. V době chladnutí (obr. 7.63) je potom vidět podobný projev jako v době ohřevu s tím, že první 3 cykly vykazují větší rozdíly v prohřátí průřezu, ale od 4. cyklu chladnutí dochází k ustálení teplot mnohem rovnoměrněji. Více prohřívaná oblast je potom vidět pouze na křivce 10. cyklu chladnutí.

Tab. 5 Úbytek hmotnosti plynosilikátových dílců

	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4
Počáteční hmotnost [g]	2381	2019	2517	2161
Hmotnost po nasáknutí [g]	3062	2869	3214	2935
Hmotnost po 1. cyklu ohřevu [g]	3040	2854	3222	2944
Hmotnost po 1. cyklu chladnutí [g]	3021	2835	3210	2933
Hmotnost po 2. cyklu ohřevu [g]	3012	2826	3191	2908
Hmotnost po 2. cyklu chladnutí [g]	3008	2822	3179	2895
Hmotnost po 3. cyklu ohřevu [g]	2986	2791	3174	2886
Hmotnost po 3. cyklu chladnutí [g]	2972	2774	3169	2882
Hmotnost po 4. cyklu ohřevu [g]	2961	2763	3141	2834
Hmotnost po 4. cyklu chladnutí [g]	2954	2755	3125	2819
Hmotnost po 5. cyklu ohřevu [g]	2912	2716	3117	2807

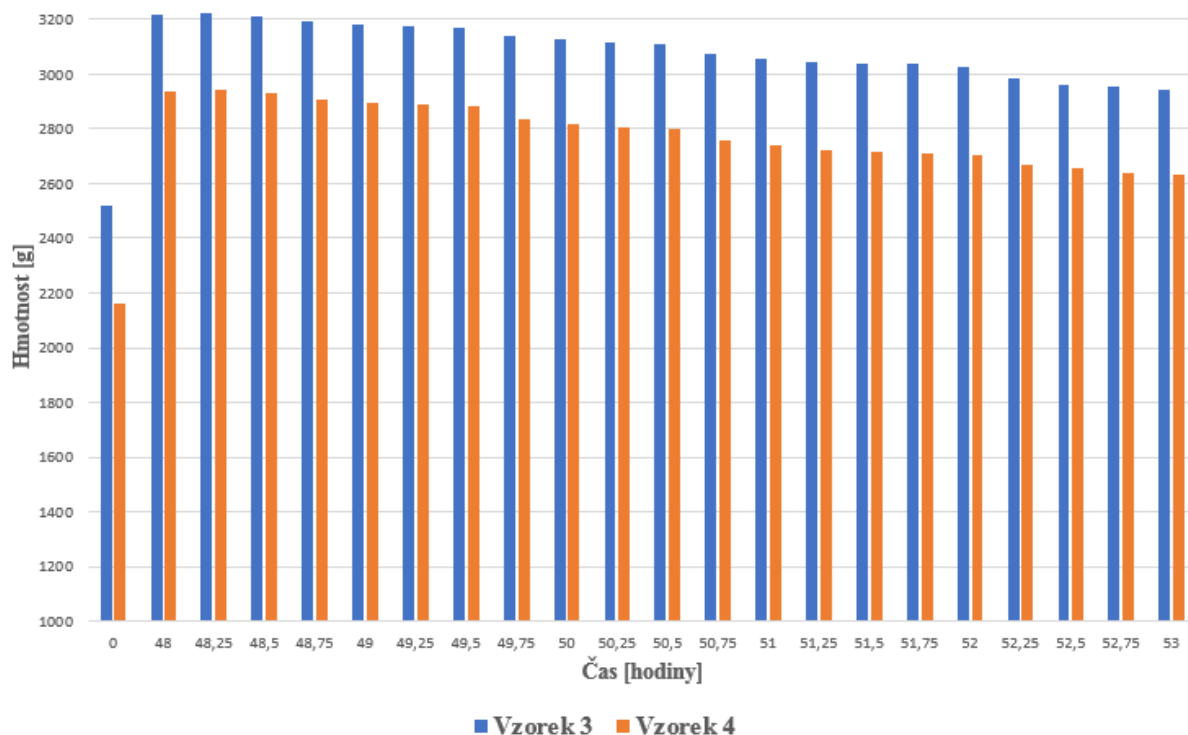
Hmotnost po 5. cyklu chladnutí [g]	2893	2696	3111	2800
Hmotnost po 6. cyklu ohřevu [g]	2878	2683	3073	2755
Hmotnost po 6. cyklu chladnutí [g]	2870	2676	3054	2737
Hmotnost po 7. cyklu ohřevu [g]	2830	2636	3044	2720
Hmotnost po 7. cyklu chladnutí [g]	2812	2619	3038	2713
Hmotnost po 8. cyklu ohřevu [g]	2749	2579	3035	2708
Hmotnost po 8. cyklu chladnutí [g]	2721	2557	3025	2703
Hmotnost po 9. cyklu ohřevu [g]	2706	2546	2983	2669
Hmotnost po 9. cyklu chladnutí [g]	2700	2540	2963	2654
Hmotnost po 10. cyklu ohřevu [g]	2662	2503	2953	2640
Hmotnost po 10. cyklu chladnutí [g]	2645	2484	2942	2630

V tab. 5 jsou zaznamenány hmotnosti všech 4 plynosilikátových dílců v době před namočením do vody, po 48 hodinách ve vodní lázni a odkapání a následně po každém cyklu ohřevu a chladnutí. Vzorek 2 a 4 byly dílce s výřezem pro uchycení tvárnice při transportu, takže je jejich počáteční hmotnost nižší než u dalších dvou vzorků. Oproti experimentu č. 4 a č. 5 byly během experimentu blíže vlnovodu buď vzorky 1 a 2 nebo vzorky 3 a 4 pokud se ozařovalo zezadu. V tomto experimentu největší úbytek hmotnosti zaznamenaly vzorky 1 a 2 (417 g a 385 g) což je v řádu desítek gramů více než u vzorku 3 a 4 (272 g a 305 g). V obou případech je rozdíl cca 30 g. Větší úbytek zaznamenaly vzorky 1 a 2 neboť byly jako první prohřívány v celém experimentu. Samotné úbytky hmotností jsou lépe viditelné na obr. 7.64 a 7.65.



Obr. 7.64 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 1 a 2)

Změna hmotnosti plynosilikátových vzorků v průběhu experimentu



Obr. 7.65 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 3 a 4)

Z obr. 7.64 a 7.65 jsou vidět postupné úbytky hmotnosti u vzorku 1-4. Oproti experimentu č. 4 a č. 5 jde vidět, že úbytky jsou rovnoměrné u všech 4 vzorků. Je to způsobeno tím, že průřez byl prohříván střídavě z jedné a druhé strany a tím došlo velmi brzy i k rovnoměrnému prohřátí celého průřezu. U předchozích dvou experimentů byla vždy více prohřívána první polovina průřezu, a proto úbytky nebyly tak rovnoměrně rozloženy.

7.2.3.1 Vyhodnocení experimentu

Experiment č. 6 byl prováděn na složeném průřezu ze 4 plynosilikátových dílců stejně jako v případě experimentu č. 4. a č. 5. Oproti experimentu č. 4 i č. 5 však celý experiment probíhal tak, že se střídaly strany, ze kterých byl průřez prohříván. To ve výsledku znamenalo, že se celý průřez prohříval rovnoměrněji než v případě předchozích 2 experimentů až na první 3 cykly. Zároveň to znamenalo, že výrazně prohřívanejší oblast vznikla až v 8. cyklu ohřevu. Tím, že se prohřívalo střídavě z obou stran, tak nebyly v rámci tohoto experimentu vloženy cykly chladnutí navíc, tak jako tomu bylo u předchozích dvou experimentů. Teplota uvnitř se opět

pohybovala kolem hranice 100 °C. Úbytky hmotnosti stejně jako prohřívání průřezu byly mnohem rovnoměrnější. Hmotnostní vlhkost potom byla na začátku experimentu u vzorku 1 a 2 na hodnotě 48 % a 39 % a u vzorku 3 a 4 na hodnotě 56 % a 42 %. Na konci experimentu se hodnota hmotnostní vlhkosti pohybovala u vzorku 1 a 2 od 20 % do 28 % a u vzorku 3 a 4 od 27 % do 41 %, což znamená, že podmínky k rozvoji nebo zastavení biotických škůdců nejsou splněny z pohledu vlhkosti. Ovšem oproti experimentu č. 4 a č. 5 by stačilo přidat pár cyklů chladnutí, neboť tento experiment byl o celých 8 cyklů chladnutí (120 minut) kratší.

7.2.4 Experiment č. 7

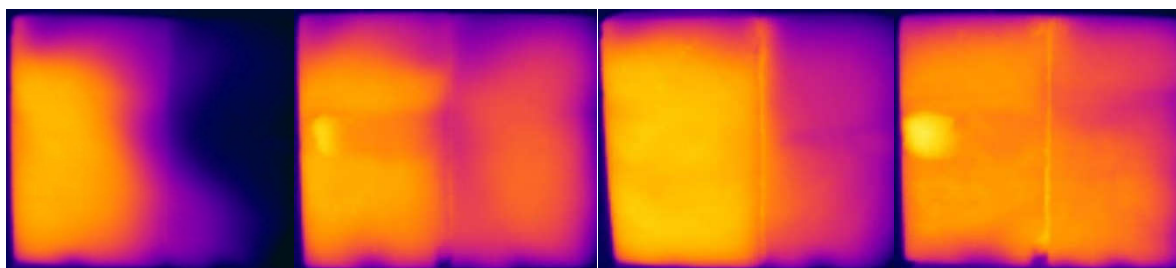
Pro experiment byly použity stejné 4 dílce z pórobetonu jako v předchozích 3 experimentech, tedy 2 dílce o rozměrech 125/150/250 mm a 2 dílce o rozměrech 120/150/250 mm. Stejně jako v experimentu č. 6 byly k pórobetonovým dílcům přiloženy další tvárnice z pórobetonu, aby to více odpovídalo reálným podmínkám a zároveň aby bylo zjištěno jaký to má vliv na celkový průběh výzkumu. Všechny 4 dílce byly na začátku ponořeny do vody na 48 hodin.

Průběh experimentu:

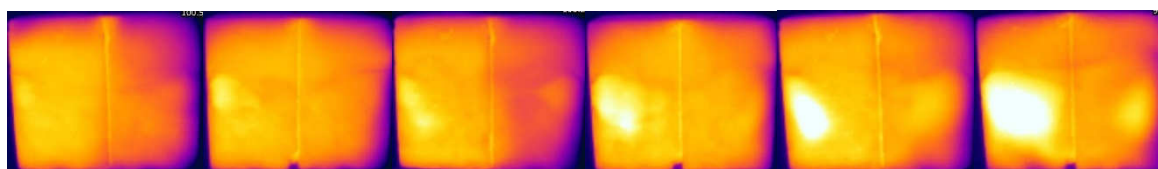
- ponoření dílců z pórobetonu do vody na 48 hodin,
- pórobetonové dílce vytáhnutý z vody a nechány okapat po dobu 45 minut,
- zvažení pórobetonových dílců,
- poskládání složeného průřezu ze 4 pórobetonových dílců (2 vepředu a 2 vzadu),
- přiložení pórobetonové tvárnice zprava i zleva,
- zvolená délka ozařování 15 minut
- po vypnutí EMW generátoru byly pořízeny termovizní snímky z čela, shora a průřez ve směru šíření vln a všechny 4 pórobetonové dílce byly zváženy,
- následoval další cyklus ozařování v délce 15 minut, ovšem tentokrát z druhé strany
- po vypnutí EMW generátoru byly pořízeny termovizní snímky z čela, shora a průřez ve směru šíření vln a všechny 4 pórobetonové dílce byly zváženy,
- následovalo 15 minut chladnutí
- po cyklu chladnutí byly pořízeny termovizní snímky z čela, shora a průřez ve směru šíření vln a všechny 4 pórobetonové dílce byly zváženy,
- po posledním cyklu chladnutí byly ponechány všechny 4 vzorky ještě 30 minut chladnout a po této době byly znovu zváženy
- cyklů ohřevů bylo 10 a cyklů chladnutí 5 (po 15 minutách) + 1 cyklus chladnutí 30 minut.



Obr. 7.66 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem



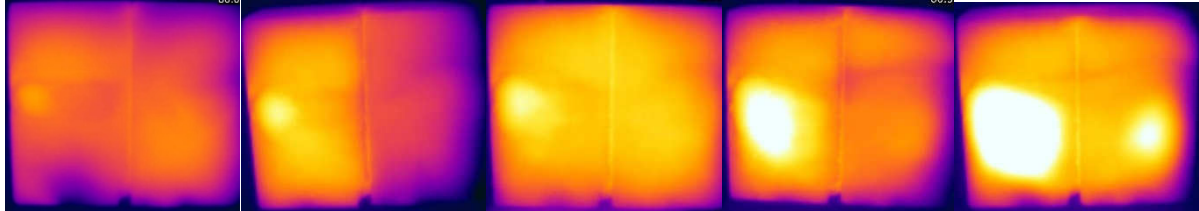
Obr. 7.67 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 4. cyklus ohřevu



Obr. 7.68 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 5. – 10. cyklus ohřevu

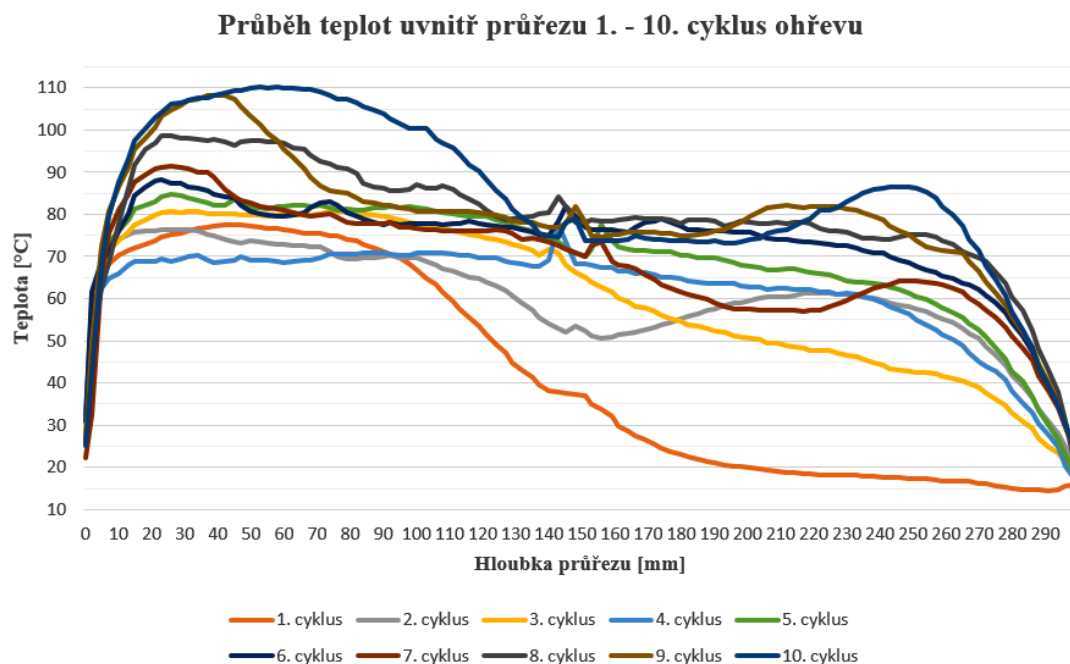
Termovizní snímky ohřevu (obr. 7.67 a 7.68) ukazují, jak se v rámci jednotlivých cyklů postupně prohřívá celý průřez ovšem pozvolněji, než tomu bylo v experimentu č. 4 a č. 5. Od

4. cyklu ohřevu se začíná prokreslovat prohřívanejší oblast a od 7. cyklu se tato oblast začíná prokreslovat u obou polovin průřezu. U 9. a 10. cyklu potom jsou obě oblasti už celkem dobře viditelné.

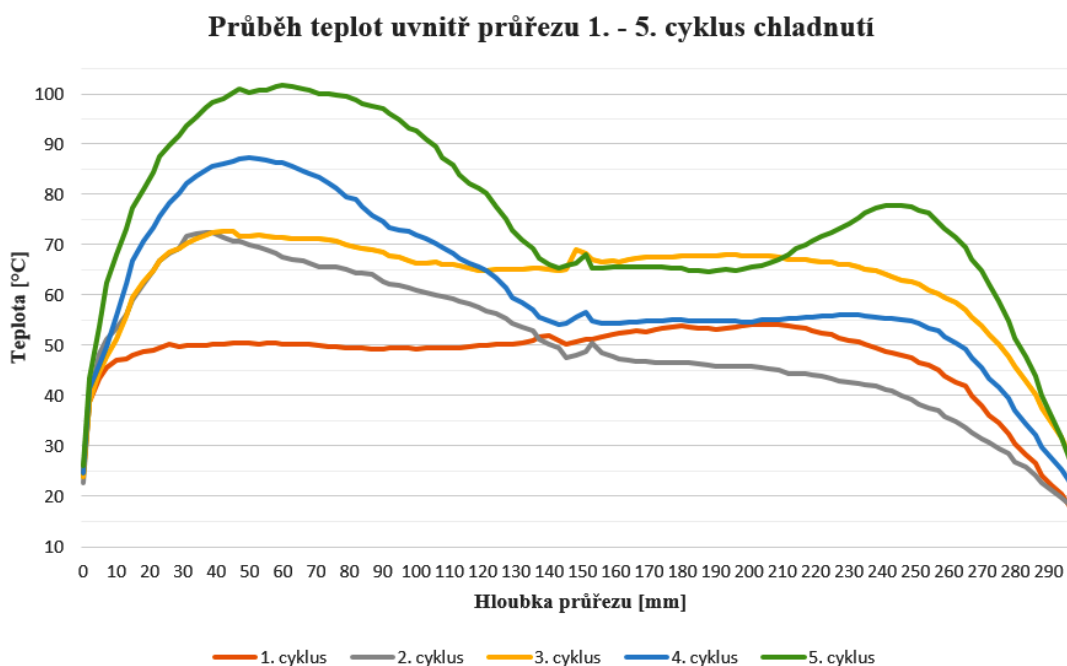


Obr. 7.69 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí

Na termovizních snímcích chladnutí (obr. 7.69) jde vidět prohřívanejší oblast už od 1. cyklu chladnutí, tj. po 2 cyklech ohřevů (30 minut). Oblast se postupně zvětšuje a u posledního chladnutí jsou potom tyto oblasti viditelné na obou polovinách. Přesto, že u ohřevů jsou obě oblasti pozorovatelné dříve, u chladnutí tomu tak, není, protože snímek je pořizován vždy až po 15 minutách. Takže i když u cyklů ohřevů jsou obě oblasti pozorovatelné už v 7. cyklu, tak po chladnutí tyto oblasti nejsou na termovizním snímku vidět.



Obr. 7.70 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 10. cyklus ohřevu



Obr. 7.71 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí

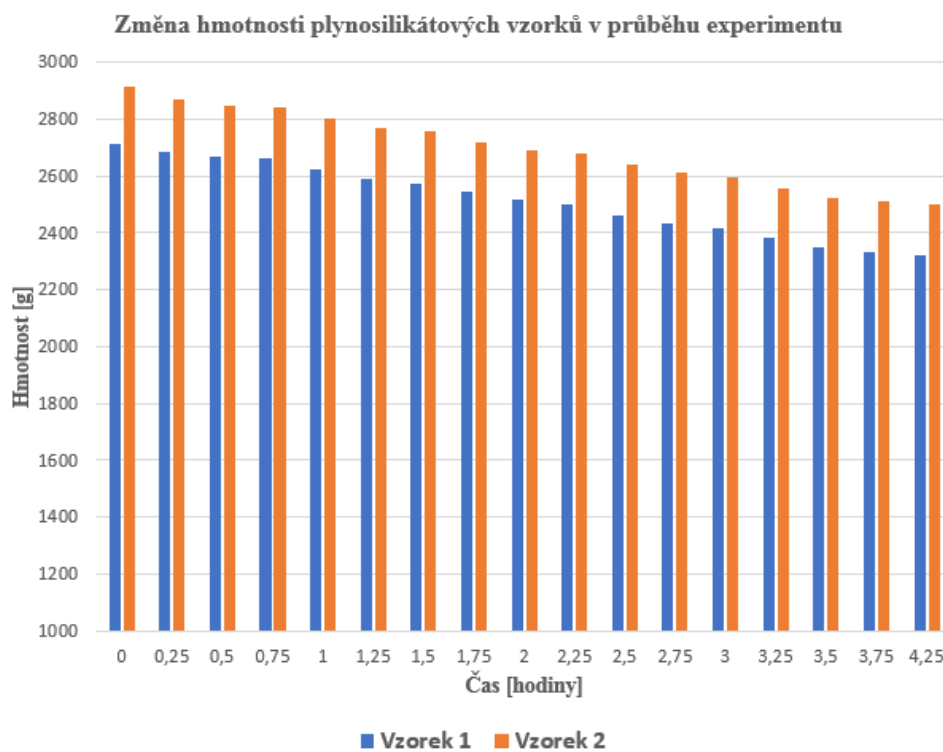
Obr. 7.70 zobrazuje průběh teplot napříč průřezem v době všech 10 cyklů ohřevu a obr. 7.71 zobrazuje průběh teplot napříč průřezem v době 5 cyklů chladnutí, přibližně v polovině výšky průřezu. Z obr. 7.70 potom jde vidět, že trvalo přibližně 4 cykly ohřevů, než se průřez prohřál rovnoměrně. Vliv prohřívavější oblasti se v polovině výšky průřezu projevil až v 7. cyklu ohřevu a je vidět i ve zbývajících cyklech, a to na obou stranách průřezu. V době chladnutí potom pouze u 1. a 3. cyklu vykazuje polovina výšky průřezu přibližně stejné rozložení teplot, v ostatních cyklech chladnutí potom je vždy první polovina průřezu prohřátější než polovina druhá. Vliv prohřívavějších oblastí je potom vidět až u 4. a 5. cyklu chladnutí.

Tab. 6 Úbytek hmotnosti plynosilikátových dílců

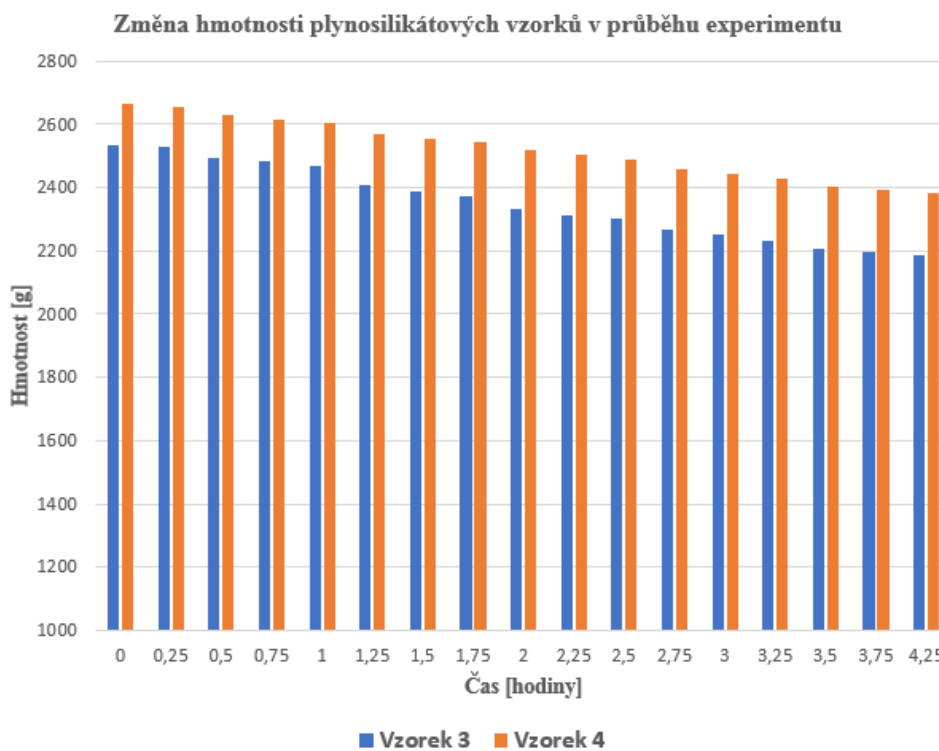
	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4
Hmotnost po nasáknutí [g]	2716	2914	2535	2664
Hmotnost po 1. cyklu ohřevu [g]	2687	2872	2530	2657
Hmotnost po 2. cyklu ohřevu [g]	2669	2849	2494	2630
Hmotnost po 1. cyklu chladnutí [g]	2662	2840	2484	2616
Hmotnost po 3. cyklu ohřevu [g]	2625	2804	2471	2605
Hmotnost po 4. cyklu ohřevu [g]	2592	2772	2409	2570
Hmotnost po 2. cyklu chladnutí [g]	2573	2759	2389	2555
Hmotnost po 5. cyklu ohřevu [g]	2545	2720	2374	2542

Hmotnost po 6. cyklu ohřevu [g]	2517	2693	2333	2517
Hmotnost po 3. cyklu chladnutí [g]	2500	2681	2313	2502
Hmotnost po 7. cyklu ohřevu [g]	2463	2642	2301	2489
Hmotnost po 8. cyklu ohřevu [g]	2432	2610	2269	2459
Hmotnost po 4. cyklu chladnutí [g]	2415	2593	2254	2445
Hmotnost po 9. cyklu ohřevu [g]	2381	2557	2234	2429
Hmotnost po 10. cyklu ohřevu [g]	2347	2524	2208	2405
Hmotnost po 5. cyklu chladnutí [g]	2333	2513	2195	2394
Hmotnost po 6. cyklu chladnutí [g]	2323	2502	2185	2385

V tab. 6 jsou zaznamenány hmotnosti všech 4 plynosilikátových dílců v době po 48 hodinách ve vodní lázni a odkapání a následně po každém cyklu ohřevu a chladnutí. Vzorek 1 a 3 byly dílce s výřezem pro uchycení tvárnice při transportu, takže je jejich počáteční hmotnost nižší než u dalších dvou vzorků. Oproti experimentu č. 4 a č. 5 byly během experimentu blíže vlnovodu buď vzorky 1 a 2 nebo vzorky 3 a 4 pokud se ozařovalo zezadu. Zároveň ještě nastala jedna změna oproti experimentu č. 6, kde probíhal také oboustranný ohřev, a to, že vždy proběhly 2 cykly ohřevu (jeden z přední strany a jeden ze zadní strany) a jeden cyklus chladnutí, kdežto v experimentu č. 6 vždy po každém cyklu ohřevu, následoval cyklus chladnutí. V tomto experimentu největší úbytek hmotnosti zaznamenaly vzorky 1 a 2 (393 g a 412 g) což je v řádu desítek gramů více než u vzorku 3 a 4 (350 g a 279 g). Větší úbytek zaznamenaly vzorky 1 a 2 neboť byly jako první prohřívány v celém experimentu. Samotné úbytky hmotností jsou lépe viditelné na obr. 7.72 a 7.73.



Obr. 7.72 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 1 a 2)



Obr. 7.73 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 3 a 4)

Z obr. 7.72 a 7.73 jsou vidět postupné úbytky hmotnosti u vzorku 1-4. Úbytky jsou velmi rovnoměrné stejně jako tomu bylo při experimentu č. 6, ovšem tím, že nebyl po každém cyklu ohřevu cyklus chladnutí došlo k tomu, že vzorek 1 a 2 vykázaly ve výsledku vyšší úbytky. To je způsobeno i tím, že se nakonec první polovina průřezu více prohřála.

7.2.4.1 Vyhodnocení experimentu

Experiment č. 7 byl prováděn na složeném průřezu ze 4 plynosilikátových dílců stejně jako v případě experimentu č. 4. č. 5 a ř. 6. Stejně jako v případě experimentu č. 6 se střídaly strany, ze kterých byl průřez prohříván. Oproti experimentu č. 6 však proběhly vždy 2 ohřevy (z jedné a druhé strany) a následně až potom proběhl jeden cyklus chladnutí. Ze začátku se průřez prohříval velmi podobně jako v případě experimentu č. 6, ale později došlo k přehříváním oblastem na obou stranách průřezu. Dokonce první polovina průřezu nakonec vykazovala vyšší teploty celkově než druhá polovina průřezu. Co se týká teplot uvnitř průřezu, tak opět jsem se během experimentu dostal jen několik stupňů nad 100 °C. Z hlediska úbytků hmotností u jednotlivých vzorků byl zaznamenán ze začátku podobný průběh jako v experimentu č. 6, ovšem jakmile se začal přehřívat průřez, tak vzorky 1 a 2 vykázaly vyšší úbytek než v dosavadním průběhu experimentu. Hmotnostní vlhkost potom byla na začátku experimentu u vzorku 1 a 2 na hodnotě 31 % a 41 % a u vzorku 3 a 4 na hodnotě 23 % a 29 %. Na konci experimentu se hodnota hmotnostní vlhkosti pohybovala u vzorku 1 a 2 od 12 % do 21 % a u vzorku 3 a 4 od 6 % do 15 %, což znamená, že podmínky k rozvoji nebo zastavení biotických škůdců jsou ve většině případů splněny z pohledu vlhkosti. Ovšem oproti experimentu č. 4 a č. 5 by stačilo přidat pár cyklů chladnutí, neboť tento experiment byl o celých 8 cyklů chladnutí (120 minut) kratší.

7.2.4.1.1 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ PROVÁDĚNÝCH NA PRVCÍCH Z PÓROBETONU

Všechny 4 experimenty byly prováděny na stejných plynosilikátových vzorcích s tím, že první dva experimenty byly prováděny pouze s jednostranným ohřevem a bez přiložení dalších plynosilikátových tvárníc. Druhé dva experimenty byly prováděny s oboustranným ohřevem a s přiložením plynosilikátových dílců zleva i zprava, aby to více odpovídalo reálným podmínkám. U prvních dvou experimentů vždy po nějaké době vznikla přehřívána oblast, která

bránila prostupu mikrovln hlouběji do průřezu a v obou případech také byly větší rozdíly v úbytcích hmotnosti u jednotlivých plynosilikátových vzorků. Proto u jednostranného ohřevu bude vhodnější volit jiné délky ohřevů a chladnutí s ohledem na vznik přehříváných oblastí. Vhodnější by byly kratší cykly ohřevů, nebo délky cyklů ohřevů zachovat, ale prodloužit cykly chladnutí. U druhých dvou experimentů byla situace lepší jak z pohledu prohřívání, tak i rovnoměrnosti úbytků hmotnosti. Sice i u těchto experimentů nakonec vznikla přehřívána oblast, ale mnohem později. Proto i zde by bylo vhodnější volit jiné délky cyklů ohřevů a chladnutí. Dále je nutné si uvědomit, že všechny 4 experimenty probíhaly na vzorcích bez omítek. To v praxi znamená, že zdivo s omítkami se bude chovat rozdílně než v prováděných experimentech.

7.3 OHŘEV A VYSOUŠENÍ PRVKŮ Z CIHEL PLNÝCH PÁLENÝCH

7.3.1 Experiment č. 8

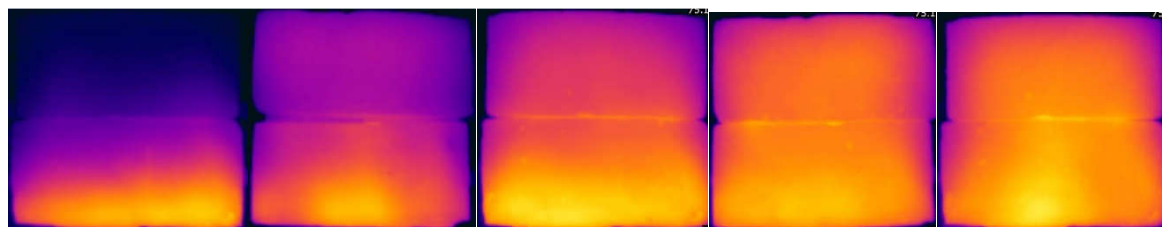
Pro experiment bylo použito 6 ks cihel plných pálených, které byly poskládány na sebe tak, že vytvořily pilíř o 3 vrstvách. V každé vrstvě byly 2 ks cihel. Všech 6 ks cihel bylo na začátku zváženo a následně bylo všech 6 ks ponořeno na 48 hodin do vodní lázně.

Průběh experimentu:

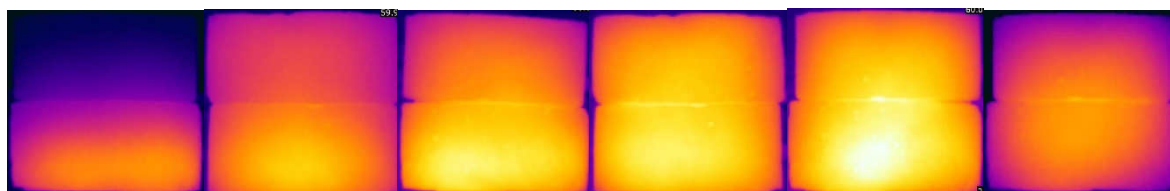
- zvážení všech 6 ks cihel před ponořením do vodní lázně
- ponoření 6 ks cihel do vody na 48 hodin,
- cihly vytáhnuté z vody a nechány okapat po dobu 45 minut,
- zvážení všech 6 ks cihel,
- poskládání malého pilíře z 6 ks cihel, které tvoří 3 vrstvy po 2 ks cihel,
- zvolená délka ozařování 15 minut
- po vypnutí EMW generátoru byly pořízeny termovizní snímky z čela, shora a shora po odkrytí 2 ks cihel
- následovalo 15 minut chladnutí
- po cyklu chladnutí byly pořízeny termovizní snímky z čela, shora a shora po odkrytí 2 ks cihel a všech 6 ks cihel bylo zváženo,
- následoval další cyklus ozařování v délce 15 minut, ovšem tentokrát z druhé strany
- po vypnutí EMW generátoru byly pořízeny termovizní snímky z čela, shora a shora po odkrytí 2 ks cihel
- cyklů ohřevů a chladnutí bylo celkem 5 + 6. cyklus chladnutí v délce 60 minut



Obr. 7.74 – pilíř složený z 6 ks cihel plných pálených před vlnovodem



Obr. 7.75 – Termovizní snímky po odkrytí 2 ks cihel (průřezu ve směru šíření vln),
1. – 5. cyklus ohřevu



Obr. 7.76 – Termovizní snímky po odkrytí 2 ks cihel (průřezu ve směru šíření vln),
1. – 5. cyklus chladnutí + 6. cyklus chladnutí (délka 60 minut)

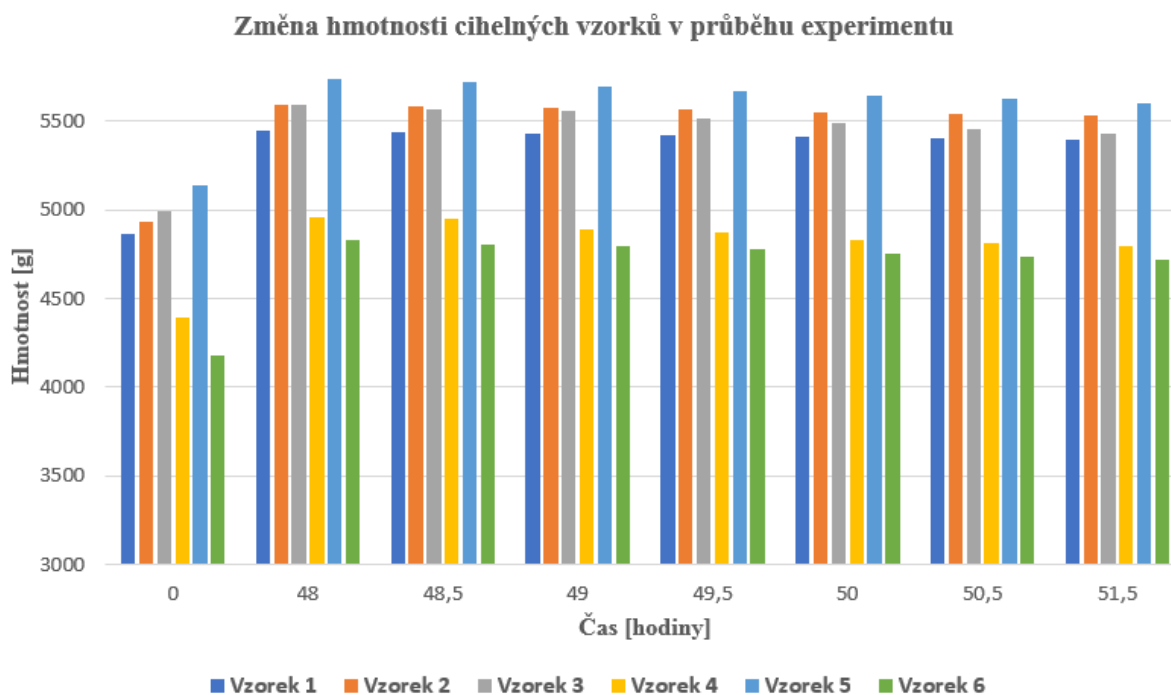
Termovizní snímky 5 cyklů ohřevů (obr. 7.75) dokumentují postupné prohřívání pilíře, kdy během 1. cyklu ohřevu byla dosažena nejvyšší teplota kolem 36 °C uprostřed průřezu v 2. vrstvě od spodu. V 5. cyklu ohřevu potom byla teplota uprostřed průřezu kolem 65 °C. Cihly mají vysokou objemovou hmotnost a trvá déle, než se v celém objemu dostatečně prohřejí. Na konci 5. cyklu ohřevu i chladnutí je potom viditelné, že i u keramického materiálu vzniká prohřívanejší oblast. Obr. 7.76 dokumentuje jednotlivé cykly chladnutí, kdy jde vidět, že díky vysoké akumulární schopnosti si průřez drží pořád přibližně stejnou teplotu. Dokonce i po 60 minutách od posledního chladnutí je vidět, jak je pořád skoro celý průřez rovnoměrně prohřátý. Pro sérii termovizních snímků ohřevů i chladnutí byla zvolena stejná teplotní škála, aby bylo na všech snímcích možnost porovnání nárustu prohřívané oblasti.

Tab. 7 Úbytek hmotnosti vzorků z cihel plných pálených

	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2	Vzorek č. 3	Vzorek č. 4	Vzorek č. 5	Vzorek č. 6
Počáteční hmotnost [g]	4868	4937	4992	4390	5142	4177
Hmotnost po nasáknutí [g]	5450	5589	5595	4957	5735	4826
Hmotnost po 1. cyklu chladnutí [g]	5439	5580	5565	4949	5719	4804
Hmotnost po 2. cyklu chladnutí [g]	5431	5572	5556	4890	5698	4792
Hmotnost po 3. cyklu chladnutí [g]	5423	5564	5513	4874	5669	4775
Hmotnost po 4. cyklu chladnutí [g]	5414	5552	5492	4834	5647	4753
Hmotnost po 5. cyklu chladnutí [g]	5408	5543	5456	4813	5623	4739
Hmotnost po 6. cyklu chladnutí [g]	5395	5530	5434	4798	5601	4718

V tab. 7 jsou zaznamenány hmotnosti všech 6 cihelných vzorků v době před ponořením do vodní lázně, po 48 hodinách ve vodní lázni a odkapání a následně po každém cyklu ohřevu a chladnutí. Vzorek 1 a 2 vykazuje oproti zbylým vzorkům přibližně 2-3x menší úbytek

hmotnosti, což je způsobeno jejich postavením a umístěním. Vzorek 1 a 2 jsou totiž cihly úplně nahore a vzhledem k výšce vlnovodu jsou tyto cihly velmi málo prohřívány působením mikrovlnného pole. Zbylé 4 vzorky pohlcovaly mnohem více mikrovln, takže i jejich teplota byla vyšší, což způsobilo větší úbytek hmotnosti. Jednotlivé úbytky v čase potom dokumentuje obr. 7.77 pomocí sloupcového grafu.



Obr. 7.77 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u vzorků z cihel plných pálených (vzorek 1–6)

7.3.1.1 Vyhodnocení experimentu

Experiment č. 8 byl prováděn na pilíři složeném z 6 ks cihel plných pálených. Během experimentu se pilíř prohříval z obou stran střídavě a mezi jednotlivými cykly ohřevů, byl vždy cyklus chladnutí. V porovnání se dřevem, nebo plynosilikátem, se cihelné zdivo prohřívá pomaleji, ale díky své 4x vyšší objemové hmotnosti, si akumulované teplo dokáže déle udržet. Délky cyklů ohřevů i chladnutí byly zvoleny stejně dlouhé jako v případě experimentů prováděných na dřevě a plynosilikátu a jde vidět, že u cihelného zdiva, by jak cyklus ohřevu, tak i chladnutí mohl být delší. V případě krátkých cyklů oproti dřevu a plynosilikátu trvá déle prohřátí průřezu. Za 5 cyklů ohřevů a chladnutí bylo v průřezu dosaženo nejvyšší teploty kolem 65 °C, což u dřeva i plynosilikátu bylo dosaženo obvykle už s 2. cyklem ohřevu. S prohříváním

souvisí i menší celkové úbytky hmotnosti. Vyšší teploty, kterých bylo dosaženo v případě dřeva nebo i plynosilikátu, by u cihelného zdiva tolik nevadily. V případě dřeva vyšší teploty způsobují degradaci materiálu a u plynosilikátu vlivem tlaků vodní páry dochází k narušení struktury, což v obou případech zhoršuje mechanické vlastnosti daného materiálu.

8 ZÁVĚR

8.1 SHRnutí VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ

Cílem mé disertační práce bylo možné využití mikrovlnného záření pro inaktivaci biotických škůdců a omezení nebo úplná eliminace podmínek, které potřebují biotičtí škůdci ke svému přežití.

Výsledky experimentů ukazují, že mikrovlnná technologie je účinná a že hodně závisí na vhodně zvoleném postupu. Výhodou mikrovlnného záření je, že nedochází jen k ohřevu materiálu, ale také k jeho postupnému vysoušení a s ubývající hmotností (úbytek vody) také postupně k eliminaci potřebných podmínek přežití biotických škůdců, nebo ke zpomalení jejich aktivity.

Experimenty byly prováděny na 3 různých materiálech (dřevo, plynosilikát a cihla plná pálená), přičemž se ukázalo, že je hodně důležité zvolit pro daný druh materiálu vhodnou délku pro ohřev i chladnutí.

Experimenty prováděné na dřevě ukázaly, že vhodnější by bylo prohřívát průřez oboustranně, neboť i ve stavební praxi toto většina prvků krovu dovoluje. Také experimenty ukázaly, že je třeba zvážit množství vlhkosti a hodně závisí i na rozložení vlhkosti v materiálu. Proto by bylo vhodnější zvolit delší cykly chladnutí, protože ustálení vlhkosti trvá déle než ustálení teploty, byť tyto skutečnosti probíhají současně. Hodně důležité je také hlídat teplotu, protože teploty nad 100 °C způsobují degradaci lignino-sacharidového komplexu a tím dochází i ke změnám mechanických vlastností dřeva. Z hlediska samotné likvidace biotických škůdců se ukázalo, že k dosažení potřebných teplot je mikrovlnná technologie velmi vhodná, protože lze těchto teplot dosáhnout za poměrně krátký čas v porovnání s jinými technologiemi. Pouze v případě dřevokazného hmyzu, je potřeba prohřát průřez i do hloubky.

Experimenty prováděné na plynosilikátových vzorcích ukázaly, že mnohem vhodnější způsob ohřevu tohoto materiálu je, pokud tento materiál prohříváme oboustranně. Při jednostranném ohřevu vznikala v první polovině hloubky průřezu prohřívavější oblast, která omezovala šíření mikrovln hlouběji do průřezu, a proto se druhá polovina průřezu prohřívávala více kondukcí než působením mikrovln. Sice prohřívavější oblast nakonec vznikla ve všech 4 prováděných experimentech, ale pokud by se upravila délka cyklu ohřevu (kratší), nebo při zachování délky cyklu ohřevu se upravila délka cyklu chladnutí (delší), tak by mohlo dojít k podstatnému omezení vzniku této prohřívavější oblasti. I v případě plynosilikátu se ukázalo, že delší doba chladnutí, by byla opravdu vhodnější i z důvodu rozložení vlhkosti před dalším cyklem ozařování. Z pohledu teplot je pak důležité i zde hlídat určité hodnoty (přibližně 100 °C) neboť

tlak vypařované vodní páry narušuje strukturu materiálu a tím ovlivňuje mechanické vlastnosti samotného materiálu. Z pohledu biotických škůdců a jejich eliminace bylo při experimentech převážně dosaženo podmínek, při kterých by docházelo k jejich inaktivaci nebo k omezení jejich rozvoje.

Experiment prováděný na cihle plně pálené ukázal, že materiály s vyšší objemovou hmotností je třeba prohřívat odlišně. U cihly plně pálené by proto vůbec nevadilo, kdyby první cykly ohřevů a chladnutí byly delší. Cihla plně pálená se prohřívala pomaleji, a i dosažené teploty v porovnání se dřevem a plynosilikátem byly nižší za stejnou časovou jednotku. Delší doba ozařování by sice přinesla vyšší teploty v průřezu, ale to v případě cihly plně pálené nevadí.

8.2 MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU A VÝVOJE

Vhodnost mikrovlnné technologie, pro vysoušení stavebních materiálů a jejich sterilizace z pohledu biotických škůdců, se ukázala jako velmi vhodná, a proto by bylo vhodné dále zkoumat tyto dvě oblasti i na dalších materiálech běžně používaných ve stavební praxi. V dalších experimentech je tedy důležité zohlednit vhodné délky ozařování a chladnutí na základě počátečních vlhkostí materiálu a zároveň vhodnost použití oboustranného ohřevu. Zároveň zjistit teploty, při kterých je efektivita a účinnost mikrovlnné energie nejvyšší. Výsledky dosažené při experimentální činnosti by bylo dále vhodné přenést i do numerických modelů, kterých je velmi málo.

CITOVANÉ ZDROJE

- [1] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/719-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
- [2] Klement, I. – Trebula, P.: Mikrovlnné sušenie reziva – teória a prax. In: Drevo, roč. 56, č. 3, 2001, s. 61–63
- [3] NOVOTNÝ, K. Teorie elektromagnetického pole I. Vydavatelství .VUT Praha, 2005. 187 s. ISBN 80-01-03226-4
- [4] HAŇKA, L. Teorie elektromagnetického pole. Praha: SNTL, 1982. 218 s. 04-506-52
- [5] Základní vlastnosti vlnovodu. Vysokofrekvenční elektrotechnika [online].[cit. 2020-01-10] Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/vf-elektronika/03_1.html
- [6] HALLIDAY, D. - RESNICK, R. - WALKER, J. Fyzika: Elektromagnetické vlny Optika – Relativita. Brno: VUTIUM, 2000. 1278 s. ISBN 80-214-1868-0
- [7] <https://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-elektromagnetickeho-pole-na-lidsky-organismus>
- [8] HORÁK, Z. - KRUPKA, F. Fyzika: Příručka pro vysoké školy technického směru. Praha: SNTL, 1976. 1128 s. 04-011-76
- [9] Maxwellovy rovnice. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2020-01-10] Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/368-maxwellovyrovnice>
- [10] HABASH, R.W.Y. Electromagnetic Fields and Radiation. New York: Marcel Dekker Inc, 2002. 393 s. ISBN 0-8247-0677-3
- [11] HÁJEK, M. – Princip mikrovlnných metod a jejich využití, s. 7-9, 2003, sborník z konference STOP-Mikrovlnné metody při ochraně památek.
- [12] SOLAŘ, M. – Mikrovlnné vysoušení dřeva, s. 4-6, 2003, sborník z konference STOP-Mikrovlnné metody při ochraně památek.
- [13] HUEY, H.E. AND MORROW. M.S. Microwave interactions in the melting of metals Maryland 2004
- [14] CHENG. J., ROY R. and Agrawal D. Radically different effects on materials by separated microwave electric and magnetic fields, Mater.Res. Innov. 5, 2002
- [15] AGRAWAL, D., CHENG J., FANG Y. and Roy R. Microwave Processing of Ceramics Composites and Metallic Materials, The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, 2005
- [16] <http://triton.paru.cas.cz/old-lem/book/Podkap/5.2.html>
- [17] Klement, I. – Trebula, P.: Komparacia mikrovlnného a teplovzdušného sušenka a najvýznamnejších drevin Slovenska

- [18] Autor: Balcárek Lukáš, Diviš Pavel, Příborská Jana, Rybka Aleš [použito: 12.1.2020]
http://rr.chytrak.cz/sub/fyzika/biol_ucinky_neiz.doc
- [19] Elektronová mikroskopie pro biology: Mikrovlny v přípravě preparátů pro TEM [online]. 2005 [cit. 2008-1-20]. Dostupný z WWW: <http://www.paru.cas.cz/>
- [20] GUPTA M. ,Leong W.W. Microwaves and Metals, Wiley 2007, ISBN 978-0-470-82272-2
- [21] Autor: RNDr. Kateřina Klánová, CSc [Použito 21.1.2020]
<<http://www.plisne.com/>>
- [22] Autor: neznámý [Použito 21.1.2020]
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdrevu/3.pdf
- [23] Autor: Ing. Anna Součková [použito 26.1.2020]
https://www.propamatky.info/dokumenty/zprav_2956_drevokazny-hmyz.pdf
- [24] BALÍK, M. a kolektiv ODVLHČOVÁNÍ STAVEB, Druhé přepracované vydání, Praha 2008, ISBN 978-80-247-2693-9
- [25] Autor neznámý [použito dne 26.1.2020]
http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/TVVM/prednaskaII_YISM_03.pdf
- [26] Autor: RNDr. Jiří Hejhálek [použito dne 26.1.2020]
<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-v-konstrukci>
- [27] Autor: Ing. Jindřich Sobotka, prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.,
Ing. Karel Šuhajda, Ph.D., Mgr. Zdeněk Jiroušek
<https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/12615-technologie-vysouseni-nosnych-konstrukci>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Úbytek hmotnosti dřevěných trámků	67
Tab. 2 Úbytek hmotnosti dřevěných trámků	75-76
Tab. 3 Úbytek hmotnosti plynosilikátových dílců	81
Tab. 4 Úbytek hmotnosti plynosilikátových dílců	95
Tab. 5 Úbytek hmotnosti plynosilikátových dílců	103
Tab. 6 Úbytek hmotnosti plynosilikátových dílců	110
Tab. 7 Úbytek hmotnosti vzorků z cihel plných pálených	115

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Spektrum elektromagnetických vln	11
Obr. 2.2 Elektromagnetická vlna délky λ	13
Obr. 2.3 Mikrovlny a jejich interakce s různými typy materiálů	17
Obr. 2.4 Princip mikrovlnného ohřevu	18
Obr. 4.1. klíčící spory plísni, pozorování mikroskopem	30
Obr. 4.2. plísně rodu <i>Penicillium</i> rostoucí na zdi, pozorování mikroskopem	30
Obr. 7.1 – složený průřez ze 4 dřevěných trámků před vlnovodem	55
Obr. 7.2 – Termovizní snímky průřezu v čase 5, 10 a 15 minut ozařování (1. cyklus ohřevu)	55
Obr. 7.3 – Termovizní snímky průřezu v čase 5, 10 a 15 minut chladnutí (1. cyklus chladnutí)	55
Obr. 7.4 Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní při 15 minutách ohřevu (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut) a 15 minutách chladnutí (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut)	56
Obr. 7.5 – Termovizní snímky průřezu 2. cyklus ohřevu a chladnutí	57
Obr. 7.6 – Termovizní snímky průřezu 3. cyklus ohřevu a chladnutí	57
Obr. 7.7 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní při 15 minutách ohřevu (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut) a 15 minutách chladnutí (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut)	58
Obr. 7.8 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní při 15 minutách ohřevu (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut) a 45 minutách chladnutí (3x křivka v čase 15, 30 a 45 minut)	58
Obr. 7.9 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (doba 5 minut od zapnutí EMW generátoru)	60
Obr. 7.10 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (na konci 1. cyklu ozařování)	60
Obr. 7.11 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (na konci 2. cyklu ozařování)	61
Obr. 7.12 - Graf zobrazující úbytek hmotnosti v průběhu experimentů u dřevěných prvků	62
Obr. 7.13 – složený průřez ze 4 dřevěných trámků před vlnovodem	64
Obr. 7.14 – Termovizní snímky čelní strany, 1. – 5. cyklus ohřevu	64
Obr. 7.15 – Termovizní snímky čelní strany, 1. – 5. cyklus chladnutí	64
Obr. 7.16 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus ohřevu	65
Obr. 7.17 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí	65
Obr. 7.18 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus ohřevu	66
Obr. 7.19 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí	67
Obr. 7.20 – vzorek trámku z modřínového dřeva položený před vlnovodem	69
Obr. 7.21 – Termovizní snímky čelní strany, 1. – 4. cyklus ohřevu	70
Obr. 7.22 – Termovizní snímky čelní strany, 1. – 4. cyklus chladnutí	70
Obr. 7.23 – Termovizní snímky průřezu, 1. – 5. cyklus ohřevu	70
Obr. 7.24 – Termovizní snímky průřezu, 1. – 5. cyklus chladnutí	71
Obr. 7.25 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku	71

Obr. 7.26 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus ohřevu	72
Obr. 7.27 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 10. cyklus ohřevu	73
Obr. 7.28 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí	74
Obr. 7.29 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 9. cyklus chladnutí	74
Obr. 7.30 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 10. – 14. cyklus chladnutí	75
Obr. 7.31 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u dřevěných prvků	77
Obr. 7.32 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem	80
Obr. 7.33 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku	80
Obr. 7.34 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců	82
Obr. 7.35 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem	84
Obr. 7.36 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus ohřevu	84
Obr. 7.37 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí	84
Obr. 7.38 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 9. cyklus chladnutí	85
Obr. 7.39 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 10. cyklus ohřevu	85
Obr. 7.40 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 10. – 14. cyklus chladnutí	86
Obr. 7.41 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku	86
Obr. 7.42 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (1. cyklus, 3. cyklus, 5. cyklus ohřevu)	87
Obr. 7.43 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (1. cyklus, 3. cyklus, 5. cyklus chladnutí)	88
Obr. 7.44 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (7. cyklus a 9. cyklus chladnutí)	89
Obr. 7.45 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (6. cyklus, 8. cyklus ohřevu)	89
Obr. 7.46 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (10. cyklus ohřevu)	90
Obr. 7.47 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (10. cyklus, 12. cyklus chladnutí)	90

Obr. 7.48 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (14. cyklus chladnutí)	91
Obr. 7.49 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus ohřevu	91
Obr. 7.50 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí	92
Obr. 7.51 Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 9. cyklus chladnutí	93
Obr. 7.52 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 10. cyklus ohřevu	93
Obr. 7.53 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 10. – 14. cyklus chladnutí	94
Obr. 7.54 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 1 a 2)	96
Obr. 7.55 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 3 a 4)	97
Obr. 7.56 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem	99
Obr. 7.57 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus ohřevu	100
Obr. 7.58 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí	100
Obr. 7.59 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 10. cyklus ohřevu	100
Obr. 7.60 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 10. cyklus chladnutí	100
Obr. 7.61 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku	101
Obr. 7.62 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 10. cyklus ohřevu	102
Obr. 7.63 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 10. cyklus chladnutí	102
Obr. 7.64 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 1 a 2)	104
Obr. 7.65 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 3 a 4)	105
Obr. 7.66 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem	107
Obr. 7.67 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 4. cyklus ohřevu	107
Obr. 7.68 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 5. – 10. cyklus ohřevu	107

Obr. 7.69 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí	108
Obr. 7.70 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 10. cyklus ohřevu	108
Obr. 7.71 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí	109
Obr. 7.72 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 1 a 2)	111
Obr. 7.73 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 3 a 4)	111
Obr. 7.74 – pilíř složený z 6 ks cihel plných pálených před vlnovodem	114
Obr. 7.75 – Termovizní snímky po odkrytí 2 ks cihel (průřezu ve směru šíření vln), 1. – 5. cyklus ohřevu	114
Obr. 7.76 – Termovizní snímky po odkrytí 2 ks cihel (průřezu ve směru šíření vln), 1. – 5. cyklus chladnutí + 6. cyklus chladnutí (délka 60 minut)	114
Obr. 7.77 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u vzorků z cihel plných pálených (vzorek 1–6)	116

PUBLIKACE AUTORA

- [1] KOMÍNKOVÁ, K.; SOBOTKA, J.; GINTAR, J.; ČUPR, K., Vliv hluku zdravotnických zařízení na vnitřní mikroklima obytných budov, příspěvek na konferenci *Budovy a prostředí 2012 - sborník*, ISBN 978-80-214-4505-5, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veverí 331/95, 602 00 Brno, Brno, 2012
- [2] SOBOTKA, J.; GINTAR, J.; KOMÍNKOVÁ, K., Sterilizace biotických škůdců prostřednictvím EMW záření, příspěvek na konferenci *Sborník "Budovy a prostředí 2012"*, ISBN 978-80-214-4505-5, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veverí 331/95, 602 00 Brno, Brno, 2012
- [3] GINTAR, J.; SOBOTKA, J.; KOMÍNKOVÁ, K., Mikrovlnné vysoušení staveb, příspěvek na konferenci *Sborník konference Budovy a prostředí 2012*, ISBN 978-80-214-4505-5, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veverí 331/95, 602 00 Brno, Brno, 2012
- [4] SOBOTKA, J.; NOVOTNÝ, M.; ŠKRAMLÍK, J.; ŠUHAJDA, K.; GINTAR, J.; BEČKOVSKÁ, T., Efficiency of Liquidation of Biotic Pests Using Microwave Radiation, článek v *Advanced Materials Research*, ISSN 1022-6680, TRANS TECH PUBLICATIONS, Switzerland, 2013, 2013
- [5] NOVOTNÝ, M.; JIROUŠEK, Z.; ŠUHAJDA, K.; KRUPICOVÁ, J.; SOBOTKA, J.; GINTAR, J., Mikrovlnná sterilizace dřevěných prvků napadených biotickými škůdci, příspěvek na konferenci *Dřevostavby 2013*, ISBN 978-80-86837-51-2, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola. Volyně 2013, Volyně, 2013
- [6] NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; SOBOTKA, J.; PETŘÍČEK, T.; GINTAR, J.; PLACHÝ, J., Analýza rekonstrukce ploché střechy na objektu RD v Brně, příspěvek na konferenci *XXII. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství Brno 2013*, ISBN 978-80-214-4675-5, Brno, 2013
- [7] GINTAR, J., Mikrovlnné vysoušení staveb, příspěvek na konferenci *Juniorstav 2014 - sborník*, ISBN 978-80-214-4851-3, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veverí 331/95, 602 00 Brno, Brno 2014
- [8] 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
- [9] NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; SOBOTKA, J.; GINTAR, J.; ŠUHAJDOVÁ, E.; MÁTL, M.; JIROUŠEK, Z., USE OF MICROWAVE RADIATION IN BUILDING INDUSTRY THROUGH APPLICATION OF WOOD ELEMENT DRYING, článek v *WOOD RESEARCH*, ISSN 1336-4561, Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s., BRATISLAVA, 2014