



# 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

## TEZE 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.

## **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.

## **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.

Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební

Ústav pozemního stavitelství

© Jan Gintar

Brno 2020

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	5
<b>2</b>	<b>TEORETICKÉ POZNATKY VZTAHUJÍCÍ SE K TÉMATU</b> .....	6
2.1	<b>MIKROVLNNÉ ZÁŘENÍ</b> .....	6
2.2	<b>ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ENERGIE</b> .....	7
2.3	<b>INTERAKCE LÁTEK V MIKROVLNNÉM POLI</b> .....	7
2.3.1	<b>INTERAKCE LÁTEK S ELEKTRICKOU NEBO MAGNETICKOU SLOŽKOU MIKROVLNNÉHO POLE</b> .....	7
2.3.2	<b>VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH LÁTEK EMW (MIKROVLNNÝM) ZÁŘENÍM</b> ....	8
<b>3</b>	<b>VYMEZENÍ A CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE</b> .....	9
3.1	<b>VYMEZENÍ PROBLEMATIKY</b> .....	9
3.2	<b>CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE</b> .....	9
<b>4</b>	<b>STERILIZACE, OHŘEV A VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ MIKROVLNNÝM ZÁŘENÍM</b> .....	10
4.1	<b>OHŘEV A VYSOUŠENÍ DŘEVĚNÝCH PRVKŮ</b> .....	10
4.1.1	<b>Experiment č. 1</b> .....	10
4.2	<b>OHŘEV A VYSOUŠENÍ PRVKŮ Z PÓROBETONU</b> .....	17
4.2.1	<b>Experiment č. 5</b> .....	17
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	25
5.1	<b>SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ</b> .....	25
5.2	<b>MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU A VÝVOJE</b> .....	26

# 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.

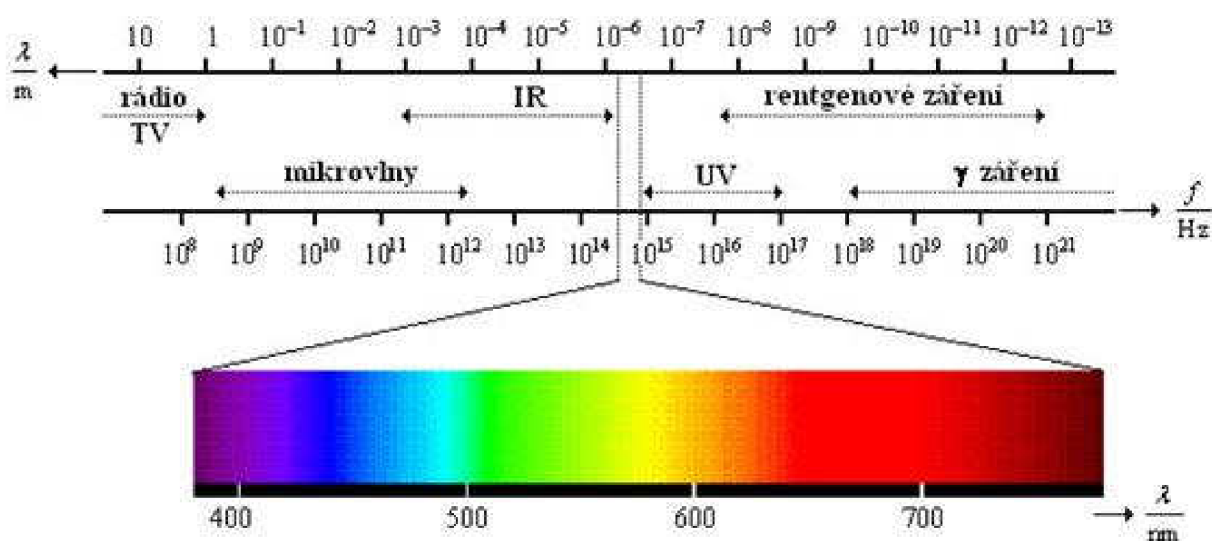
Výzkum, který jsem prováděl na VUT FAST, jsem zaměřil na využití mikrovlnného záření při likvidaci biotických škůdců, za podmínek, které se blíží podmínkám na reálných stavbách. V rámci studie jsem byl řešitelem jednoho grantu, díky kterému byly pořízeny 3 mikrovlnné

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.

## 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

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 jisticích prvků a vyzářovacího systému.

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.

## 2.2 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.

## 2.3 INTERAKCE LÁTEK V MIKROVLNNÉM POLI

### 2.3.1 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.



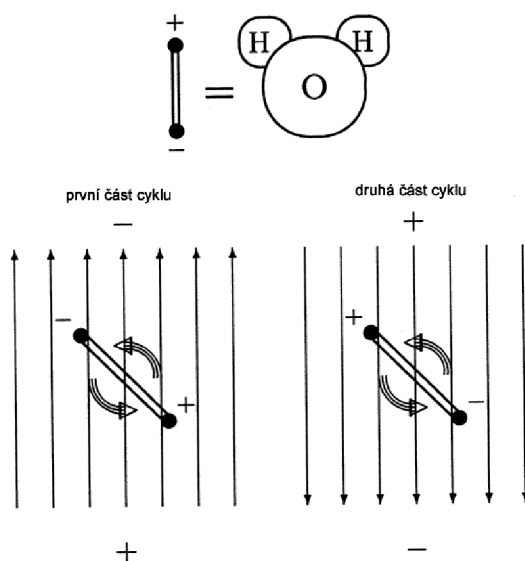
Obr. 2.3 Mikrovlny a jejich interakce s různými typy materiálů

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

### 2.3.2 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

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 polarizace, pokud se polarizace střídá. To nastává v případě mikrovlnného záření. Při vysoké frekvenci záření, tj. časté střídání polarizace a následně orientace molekul vody, vzniká tepelná energie třením. Tímto dochází ke změně skupenství, tj. vypařování volně vázané vody z materiálu.

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.

### **3 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.

#### **3.1 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.

#### **3.2 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)

## **4 STERILIZACE, OHŘEV A VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ MIKROVLNNÝM ZÁŘENÍM**

### **4.1 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.

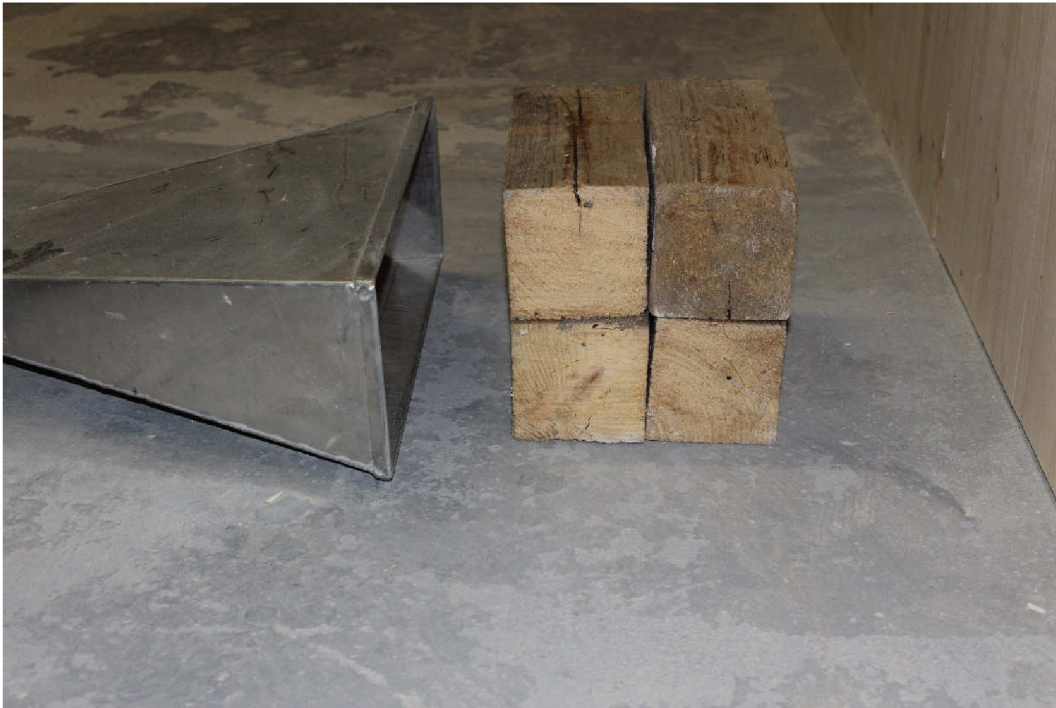
#### **4.1.1 Experiment č. 1**

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.

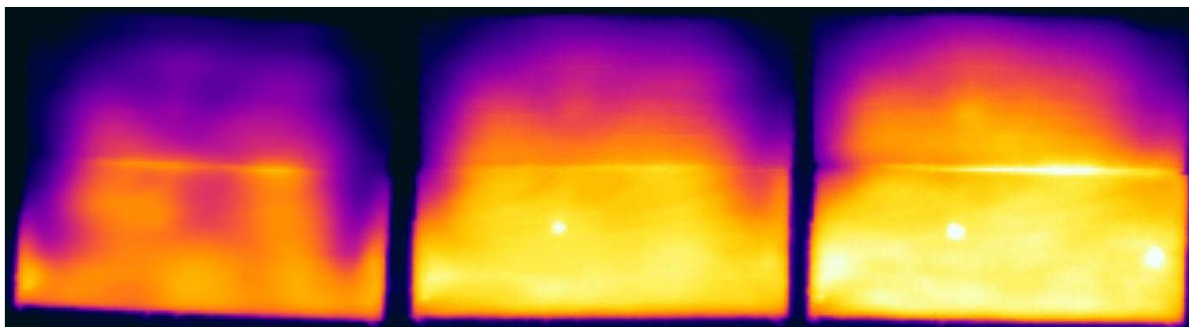
Průběh experimentu:

- počáteční vážení dřevěných hranolů před ponořením do vody,
- ponoření dřevěných hranolů do vody na 24 hodin,
- dřevěné prvky vytáhnuté 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,
- 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,

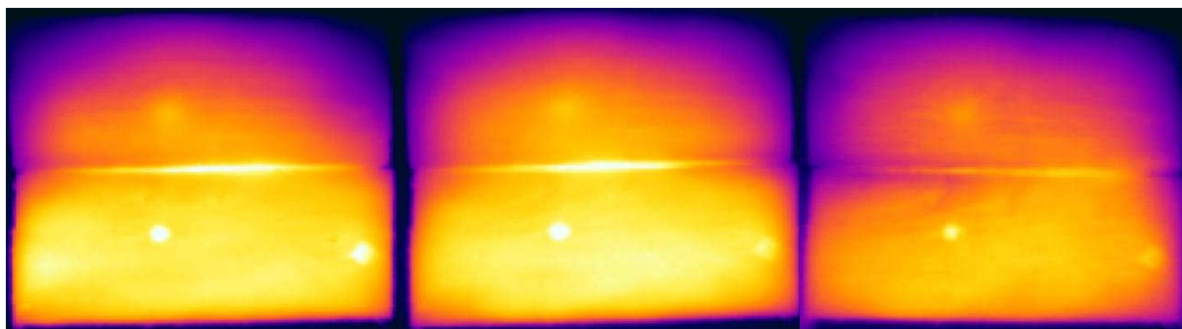
- následovalo 15 minut chladnutí s tím, že každých 5 minut byl pořízen termovizní snímek průřezu ve směru šíření vln,
- po 15 minutách chladnutí byly všechny dřevěné prvky zváženy,
- cyklů ohřevů a chladnutí bylo celkem 3,
- 3. cyklus chladnutí trval 45 minut s tím, že každých 15 minut byl pořízen termovizní snímek průřezu ve směru šíření vln.



Obr. 4.1 – složený průřez ze 4 dřevěných trámek před vlnovodem

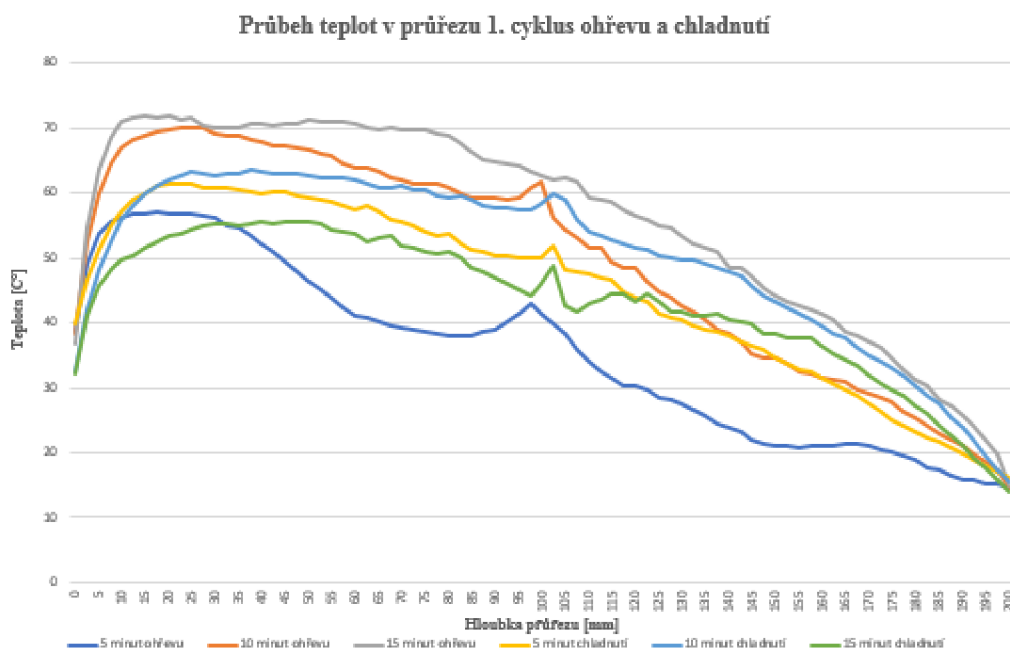


Obr. 4.2 – Termovizní snímky průřezu v čase 5, 10 a 15 minut ozařování (1. cyklus ohřevu)



Obr. 4.3 – Termovizní snímky průřezu v čase 5, 10 a 15 minut chladnutí (1. cyklus chladnutí)

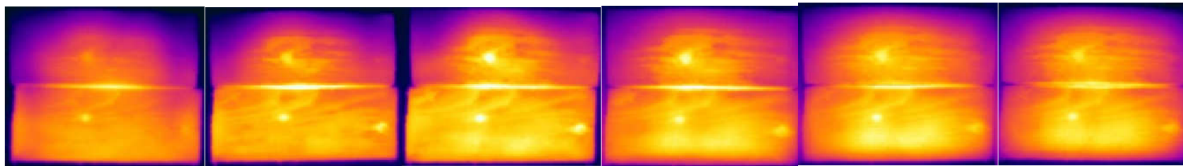
Z termovizních snímků ohřevu (obr 4.2) jde vidět, že při 1. cyklu ohřevu dochází k postupnému prohřívání průřezu s tím, že lze pozorovat jisté nehomogenity materiálu na 3 místech. Prokreslení na termovizním snímku odpovídá nejspíše místu s výskytem suku, nebo vyšším obsahem pryskyřice. U termovizních snímků 1. cyklu chladnutí (obr. 4.3) je pozorovatelná kondukce, kdy dochází k prohřátí předního trámku a od něj se postupně ohřívá trámek 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. 4.4 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)

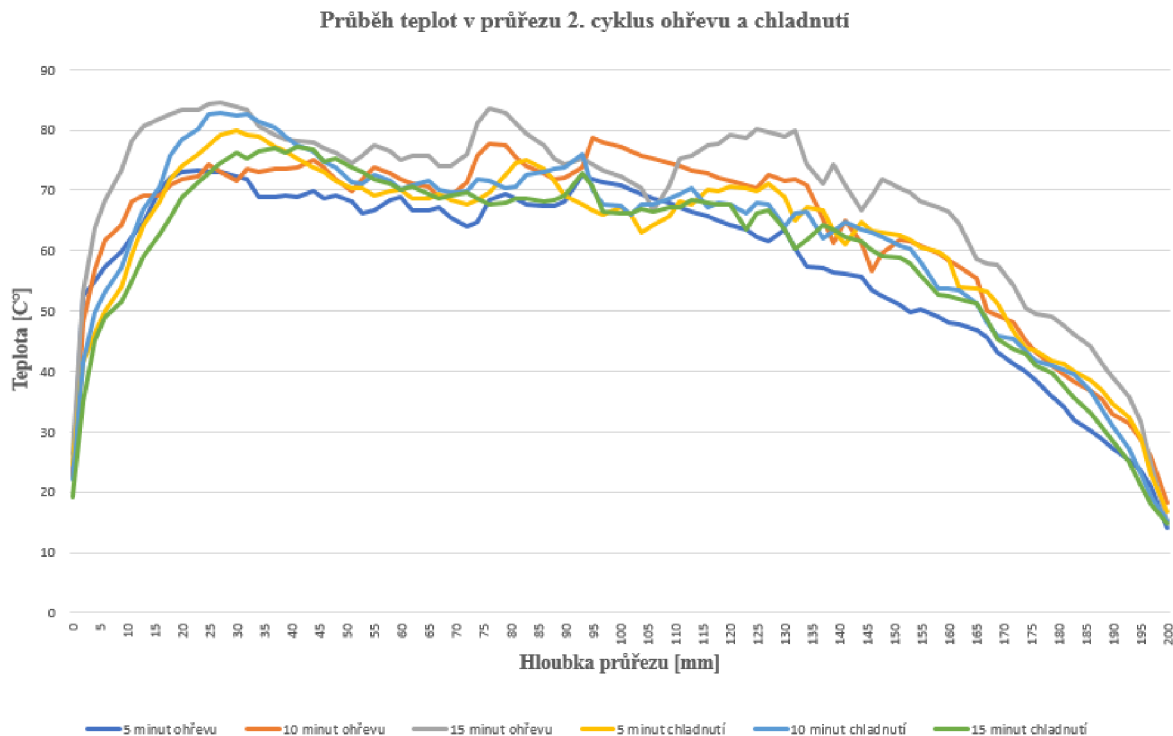
Z obr. 4.4, který zobrazuje průběh teplot napříč průřezem při 1. cyklu ozařování a chladnutí, jde vidět, že při prvním ohřevu v době 5 minut od zapnutí EMW generátoru bylo dosaženo potřebné teploty pro inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) pouze do hloubky cca 3,5 cm od čelní strany. V době 10 minut 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. 4.5 – Termovizní snímky průřezu 2. cyklus ohřevu a chladnutí

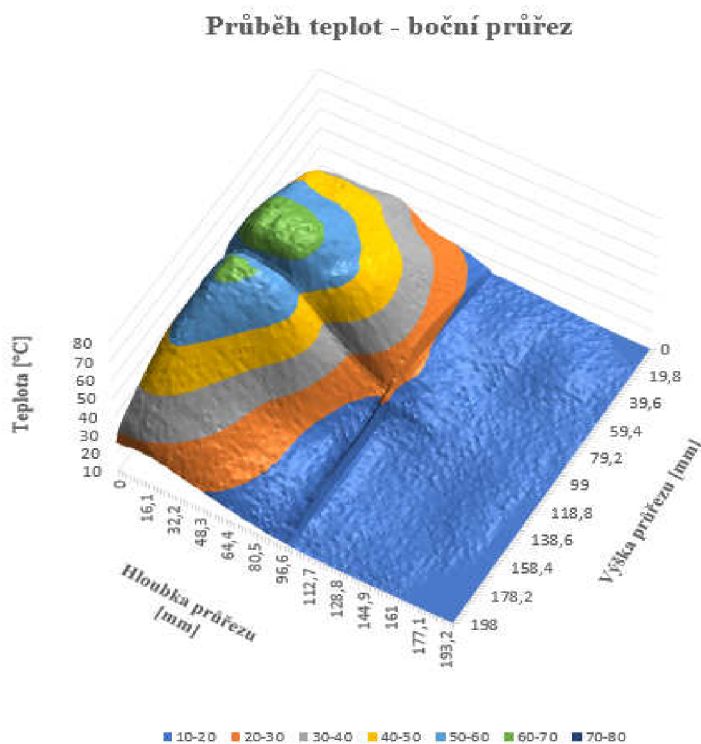
Z termovizních snímků 2. cyklu ohřevu a chladnutí (obr 4.5) je pozorovatelné prohřátí téměř celého průřezu.



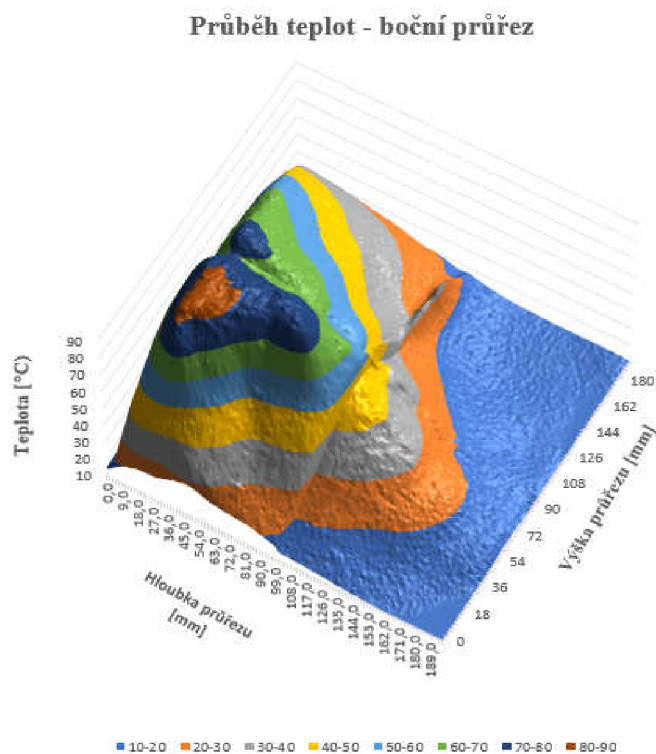
Obr. 4.6 - Grafické znázornění průběhu teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní při 15 minutách ohřevu (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut) a 15 minutách chladnutí (3x křivka v čase 5, 10 a 15 minut)

Obr. 4.6 zobrazuje grafický průběh teplot napříč průřezem při 2. 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 trávky 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.

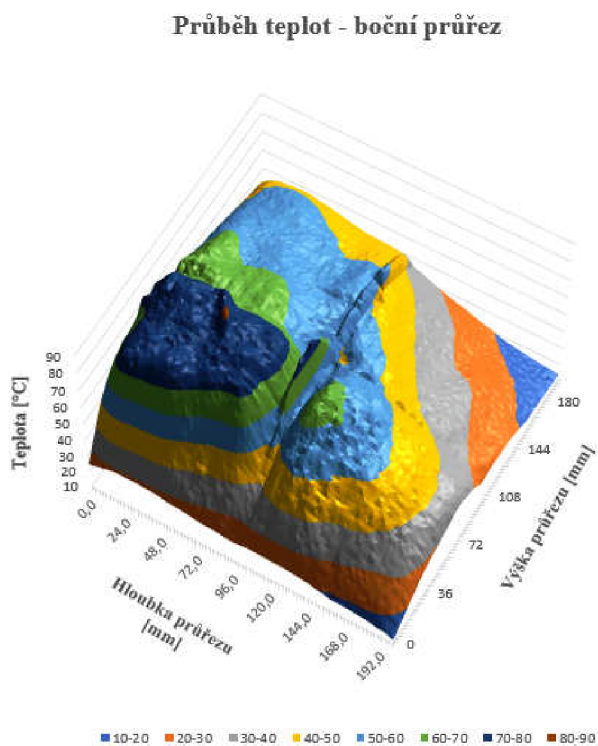
Po vypnutí EMW generátoru v době chladnutí byla dosažena potřebná teploty pro inaktivaci dřevokazného hmyzu (min. 55 °C) v hloubkách cca 15,5 cm (5 minut chladnutí), 15,3 cm (10 minut chladnutí) a 15,5 cm (15 minut chladnutí). Po druhém cyklu ohřevu a chladnutí lze pozorovat vyšší akumulaci tepla než 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 trávek blíže vlnovodu je prohrátý zcela (10 cm) a trávek za ním do hloubky cca 7 cm, a to odpovídá konečným cca 17 cm.



Obr. 4.7 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (doba 5 minut od zapnutí EMW generátoru)



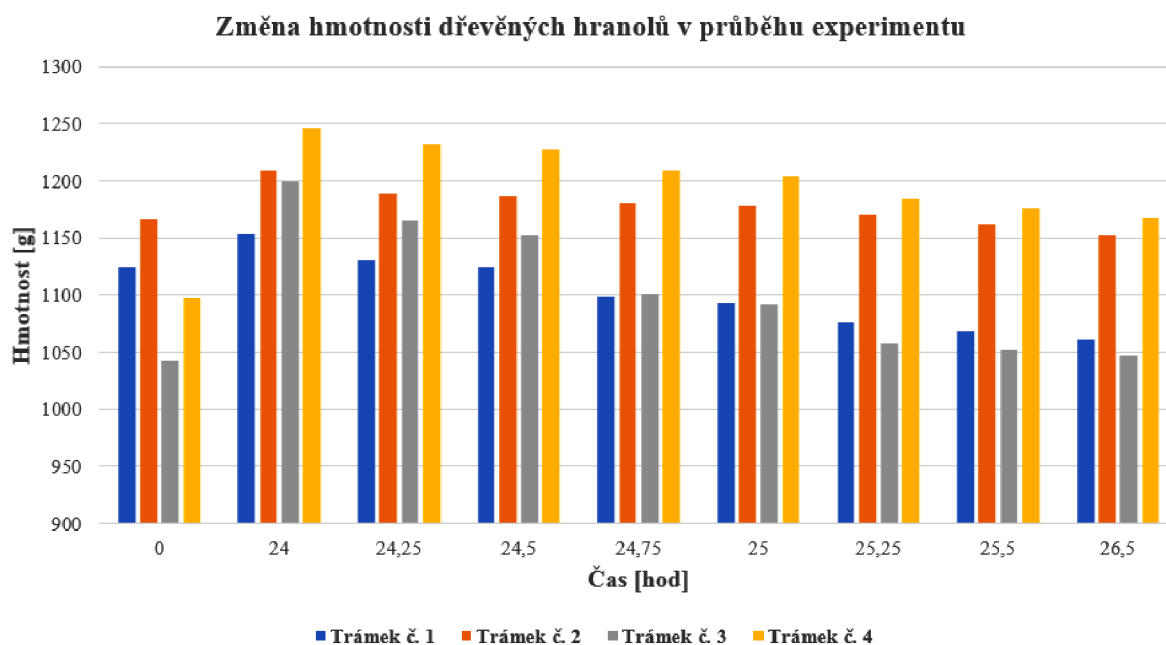
Obr. 4.8 - Povrchový graf zobrazující průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (na konci 1. cyklu ozařování)



Obr. 4.9 - Povrchový graf zobrazující průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln, krajní průřez (na konci 2. cyklu ozařování)

Z povrchových grafů (obr. 4.7 – 4.9) jde vidět, že nejvíce mikrovlnného záření je pohlcováno spodním trámkem. Na konci 1. cyklu je spodní tránek 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 trávky. Horní trávky 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 trávky 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. 4.10 - 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. 4.10 jde vidět, že největší úbytky hmotnosti za celou dobu experimentu vykazoval trámek č. 3. To je způsobeno tím, že výška vlnovodu byla jen nepatrně větší než výška jednoho trámku a proto trámek č. 3 absorboval nejvíce mikrovln a tím pádem se nejvíce prohříval. Trámek č. 1 a č. 4 vykazovali v průběhu přibližně stejné úbytky. V počátcích to byl trámek č. 1 neboť byl prohříván kondukcí od trámku č. 3 více než trámek č. 4 a zároveň byl i částečně v přímém kontaktu s mikrovlnami, ovšem po 3. cyklu ohřevu byly spodní trávky prohřátý víc než horní trávky a tady trámek č. 4 vykazoval větší úbytek než trámek č. 1. Trámek č. 2 vykazoval za celou dobu nejmenší úbytky, neboť přenos tepla kondukcí bylo malé a přímá interakce s mikrovlnami také.



#### 4.1.1.1 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.

## 4.2 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.

#### 4.2.1 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.

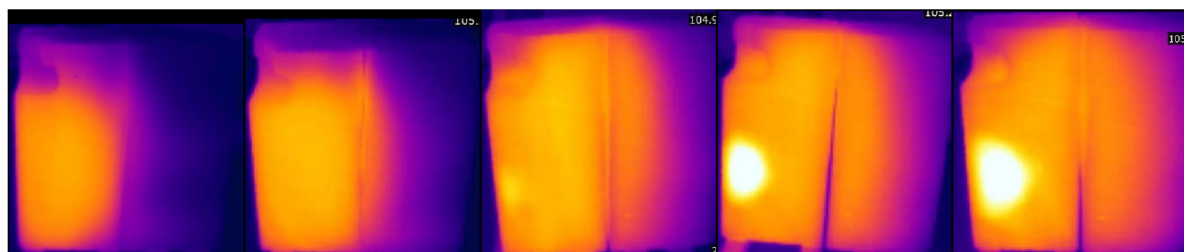
Průběh experimentu:

- 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 termočlásku mezi dílce tak, aby termočlásek zaznamenával teplotu přibližně ze středu složeného průřezu,
- zvolená délka ozařování 15 minut s tím, že každých 5 minut byla zaznamenána teplota z termočlásku,
- 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. 4.11 – složený průřez ze 4 dílců z pórobetonu před vlnovodem



Obr. 4.12 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus ohřevu

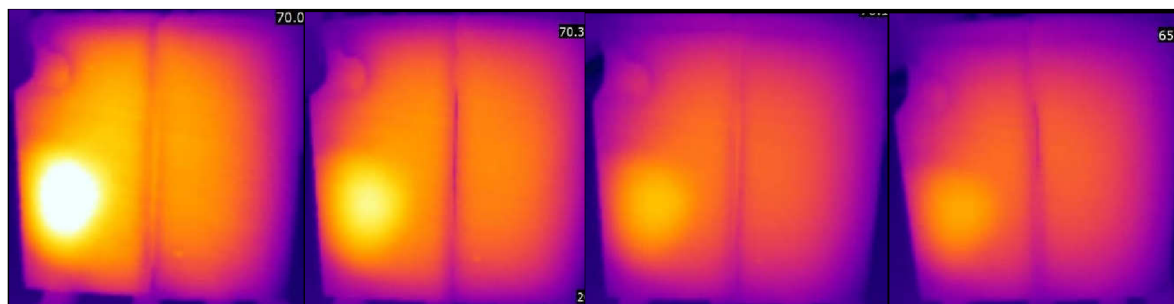


Obr. 4.13 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 1. – 5. cyklus chladnutí

Termovizní snímky ohřevu (obr. 4.12) 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

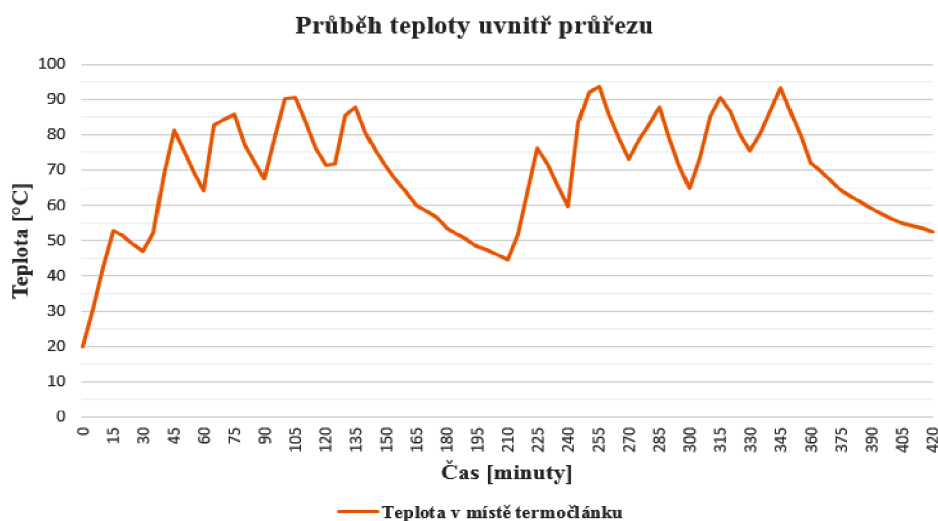
průřezu a ve spodní části tohoto průřezu. Pro mikrovlnný ohřev byl použit vlnovod s výškou, která odpovídá přibližně polovině výšky celého průřezu, a proto dochází ke vzniku této přehřívané oblasti právě v této části průřezu. Horní polovina průřezu je prohřívána převážně kondukcí (vedením). První 2 cykly 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. 4.13) potom ukazují postupné rozšiřování prohřívané oblasti v době chladnutí a stejně jako v době ohřevu, je pozorovatelná i oblast s vyššími teplotami.



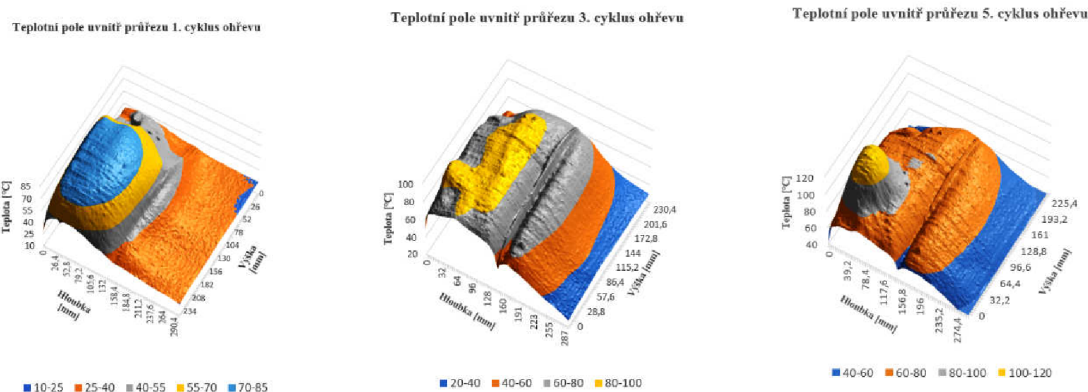
Obr. 4.14 – Termovizní snímky průřezu ve směru šíření vln, 6. – 9. cyklus chladnutí

Termovizní snímky cyklů chladnutí (obr. 4.14), 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.

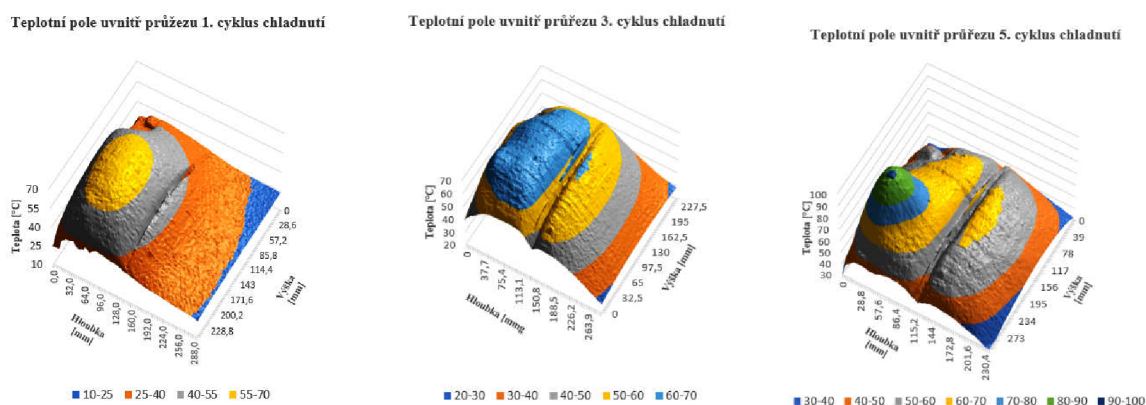


Obr. 4.15 - Průběh teplot uvnitř průřezu v místě vloženého termočlánku

Obr. 4.15 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.

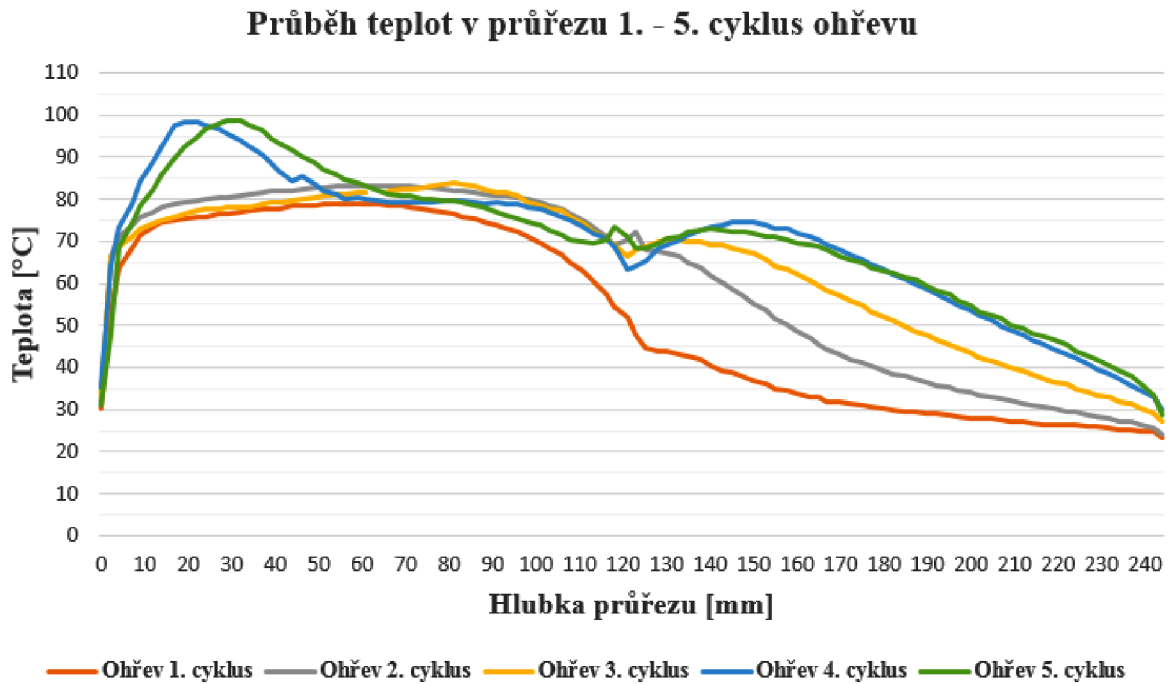


Obr. 4.16 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (1. cyklus, 3. cyklus, 5. cyklus ohřevu)

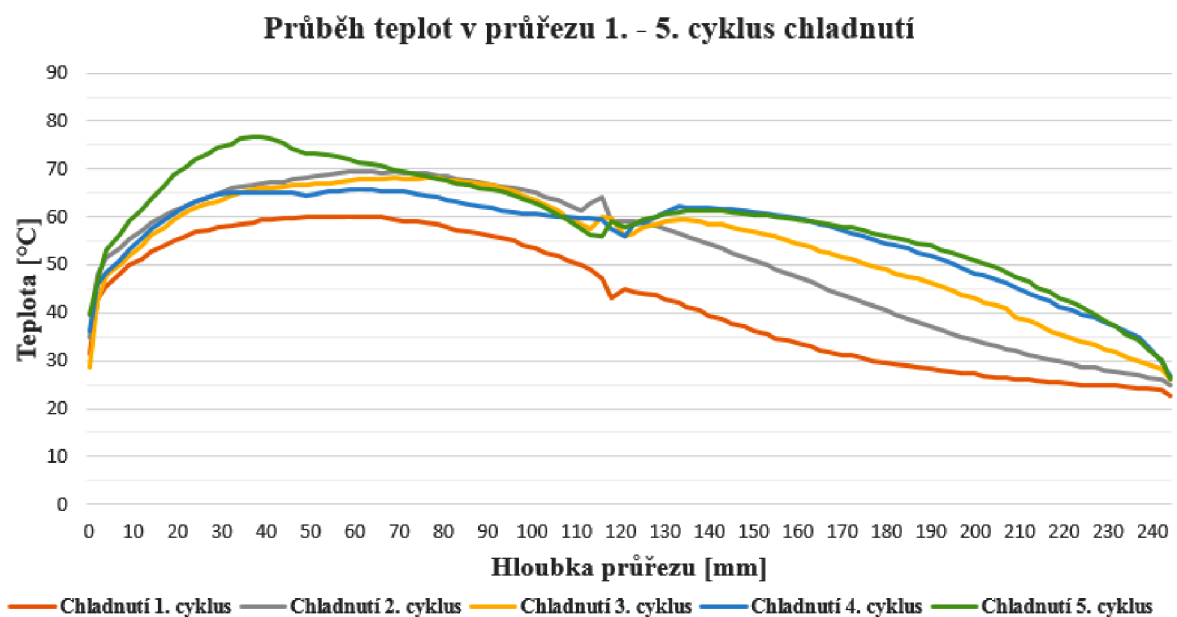


Obr. 4.17 - Povrchový graf zobrazují průběh teplot celým složeným průřezem ve směru šíření vln (1. cyklus, 3. cyklus, 5. cyklus chladnutí)

Z povrchových grafů prvních 5 cyklů ohřevu (obr. 4.16) a prvních 5 cyklů chladnutí (obr. 4.17), 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.

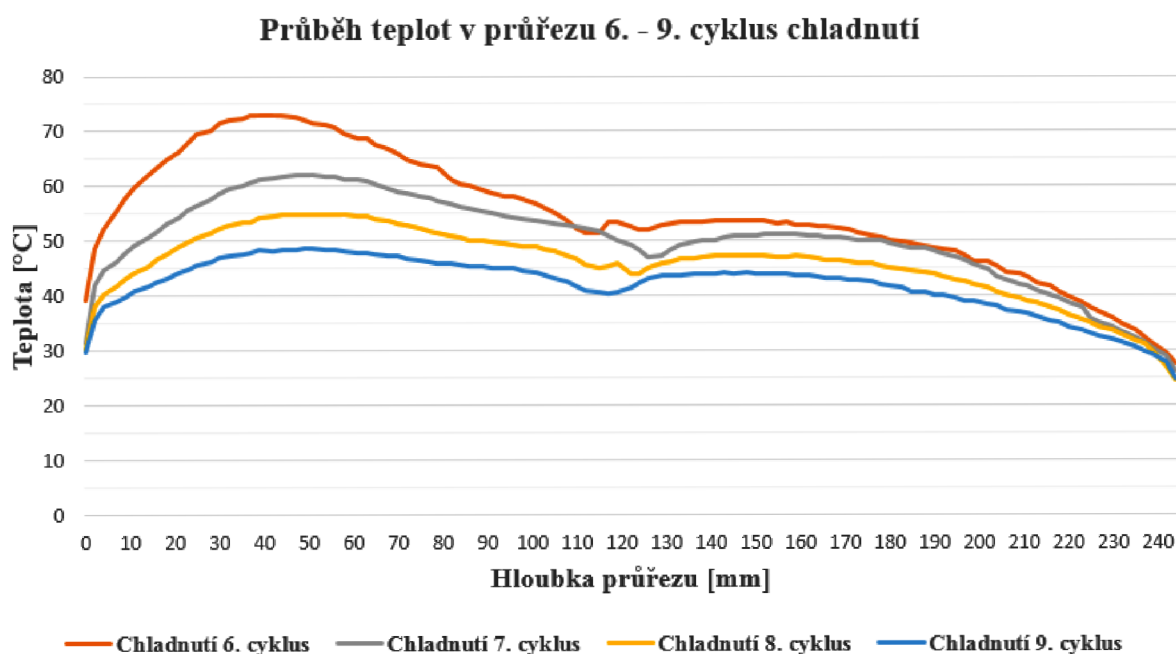


Obr. 4.18 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus ohřevu



Obr. 4.19 - Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 1. – 5. cyklus chladnutí

Obr. 4.18 a 4.19 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. 4.19 dokumentující cykly chladnutí, je pozorovatelné postupné ustálení teplot v první polovině hloubky průřezu, v té druhé dochází k většímu vychladnutí.



Obr. 4.20 Průběh teplot napříč průřezem od čelní strany po stranu zadní – 6. – 9. cyklus chladnutí

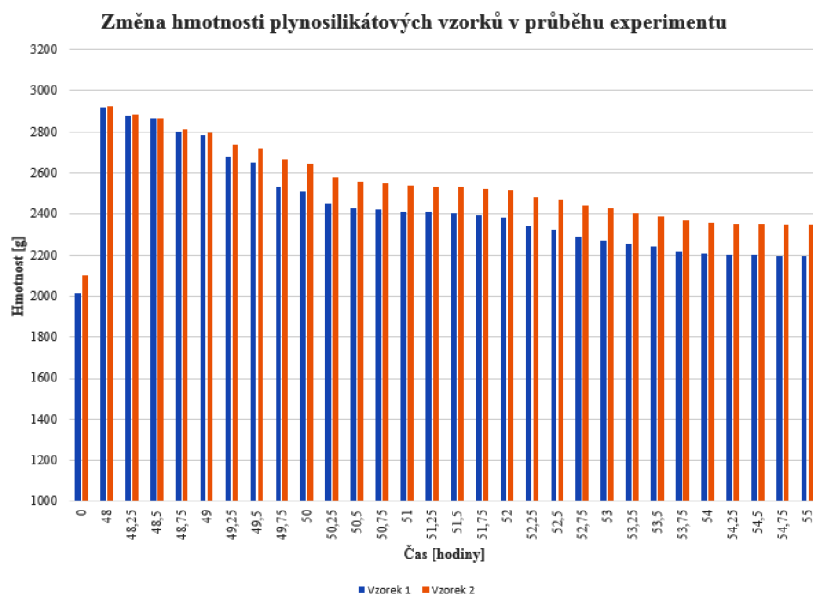
Obr. 4.20 zobrazuje průběh teplot napříč průřezem v době vložení 4 cyklů chladnutí před dalším ohřevem. Ve všech 4 cyklech má křivka velmi podobný průběh. První polovina hloubky průřezu chladne rychleji vlivem prohřátí na vyšší teploty.

Tab. 1 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

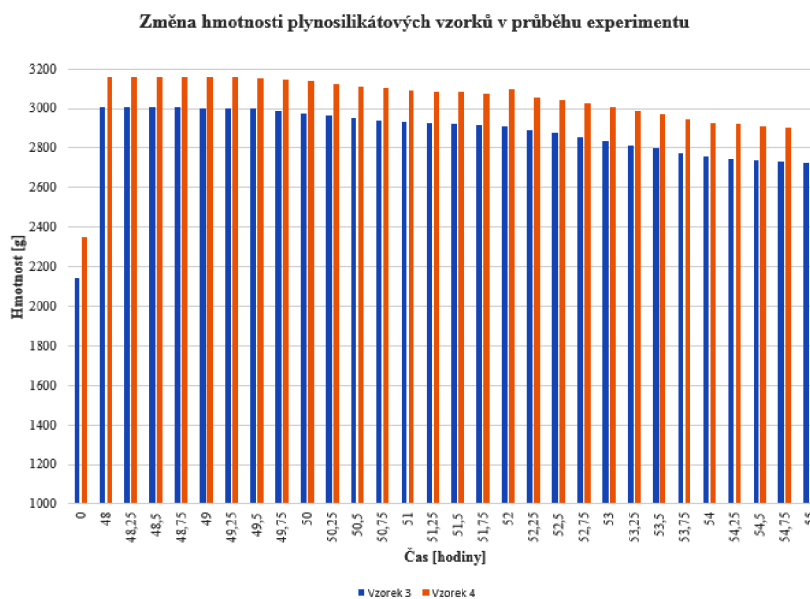
V tab. 1 jsou zaznamenány hmotnosti všech 4 plynosilikátových dílců v době před namočením do vody, po 48 hodinách ve vodní lázni a odkapání a následně po každém cyklu ohřevu a chladnutí. Vzorek 1 a 2 byly opět dílce s výřezem pro uchycení tvárnice při transportu, takže je jejich počáteční hmotnost nižší než u dalších dvou vzorků. Zároveň vzorek 1 a 2 byly nejbližší 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. 4.21 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 1 a 2)

Z obr. 4.21 jsou vidět postupné úbytky hmotnosti u vzorku 1 a 2, které byly nejbližše 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.



Obr. 4.22 – Zobrazení úbytku hmotnosti v průběhu experimentu u plynosilikátových dílců (vzorek 3 a 4)



Z obr. 4.22 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.

#### **4.2.1.1 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 přehřívaná 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 přehřívané 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 přisuzuji vyšší objemové hmotnosti a současně i větší akumulaci schopnosti, takže prohřívání vzorek dřeva v porovnání s plynosilikátem tolik nevychladnul v době chladnutí. Z pohledu hmotností 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.

## **5 ZÁVĚR**

### **5.1 SHRNU TÍ 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 prohřívanejší oblast, která omezovala šíření mikrovln hlouběji do průřezu, a proto se druhá polovina průřezu prohřívala více kondukcí než působením mikrovln. Sice prohřívanejší 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 prohřívanejší 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 prohřívát odlišně. U cihly plně pálené by proto vůbec nevedlo, kdyby první cykly ohřevů a chladnutí byly delší. Cihla plná 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 nevedlo.

## **5.2 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](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](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](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](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](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>

## OSOBNÍ INFORMACE

Jméno  
Adresa  
Telefon  
E-mail  
Národnost  
Datum narození

**GINTAR, Jan**  
**Větrkovice, 2, 747 43, Větrkovice, Česká republika**  
**724 359 810**  
**jan.gintar@seznam.cz**  
česká  
15.8.1986

## PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

2019 - dosud  
OSVČ – projektová činnost ve výstavbě

- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

2015 - 2019  
JANKO Projekt s.r.o.  
Albrechtická 807/16, 794 01 Krnov  
Projektant pozemních staveb, technický dozor, dotační manager

- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

2013 - 2015  
Ing. Dobroslav Janko  
Albrechtická 807/16, 794 01 Krnov  
Projektant pozemních staveb, technický dozor, dotační manager

## VZDĚLÁNÍ A KURZY

- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

2012 - dosud  
Vysoké Učení Technické Brno, fakulta stavební  
Veveří 95, 602 00 Brno

- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

2010 - 2012  
Vysoké Učení Technické Brno, fakulta stavební  
Veveří 95, 602 00 Brno

- Získaný titul
- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

Ing.  
2006 - 2010  
Vysoké Učení Technické Brno, fakulta stavební  
Veveří 95, 602 00 Brno

- Získaný titul
- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

Bc.  
2002 - 2006  
Střední průmyslová škola stavební  
Mírova 3, 746 01 Opava

- Získaný titul
- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

maturita  
1995 - 2002  
Základní škola Březová  
Březová 78, 747 44, Březová

- Období (od – do)
- Název a typ organizace poskytující vzdělání či kurzy

1993 - 1995  
Základní škola Větrkovice  
Větrkovice 127, 747 43, Větrkovice

## **OSOBNÍ SCHOPNOSTI**

### **A DOVEDNOSTI**

*získané během života či práce, ale ne  
nezbytně zakončené oficiálními  
certifikáty či diplomy*

#### **MATEŘSKÝ JAZYK**

#### **OSTATNÍ JAZYKY**

- Čtení
- Psaní
- Mluvený projev

#### **TECHNICKÉ SCHOPNOSTI**

##### **A DOVEDNOSTI**

*Výpočetní technika, speciální  
přístroje, nástroje apod.*

#### **ŘIDIČSKÝ PRŮKAZ(Y)**

#### **ČEŠTINA**

#### **ANGLIČTINA**

Určete úroveň: dobře  
Určete úroveň: dobře  
Určete úroveň: základy

AutoCAD (2D), základy Rhinoceros (3D) a Sketch Up (3D), stavební fyzika (Teplo, AREA, Stabilita, Ztráty, posouzení hluku, WDLS), Microsoft Office (Word, Excel, Powerpoint...)

sk. A, sk. B

## 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









