

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF BUILDING STRUCTURES

LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ PROSTŘEDNICTVÍM EMW ZÁŘENÍ

DISPOSAL OF BIOTIC PESTS EMW BY RADIATION

DISERTAČNÍ PRÁCE
DISSERTATION THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. JINDŘICH SOBOTKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL ŠUHAJDA, Ph.D.

BRNO 2015

ABSTRAKT V ČESKÉM JAZYCE

Možnost využití vysokofrekvenčního elektromagnetického záření ve stavebnictví není žádná novinka. Různých zkoušek s vysoušením stavebních materiálů, či i likvidací biotických škůdců staveb byla uskutečněna celá řada. V naprosté většině se však jednalo o experimenty prováděné v laboratorních podmínkách. Za přesně daných okrajových podmínek, které byly mnohdy velmi vzdáleny podmínkám v reálné stavební praxi.

Proto cílem této práce je možnost ověření možnosti s využitím mikrovlnné technologie při vysoušení a ohřevu stavebních materiálů, při likvidaci biotických škůdců a sterilizaci stavebních materiálů v reálných podmínkách stavební praxe.

Jak bude popsáno v této disertační práci, mikrovlnami nazýváme část elektromagnetického záření. Elektromagnetické záření je založeno na principu, že vyzařovaná energie je pohlcována molekulami vody, které se nachází ve vlhkém stavebním materiálu. Vyzařovaná energie se přemění na energii tepelnou v hmotě ozařovaném materiálu, kde dojde k tzv. „pohybu“ molekul vody a poté se energie přemění na energii kinetickou.

Samotná mikrovlnná technologie zaujímá velmi široké spektrum využití, které je možno velmi snadno docílit a využívat tuto technologii v budoucnu.

I část experimentů a potřebných měření proběhlo v prostorech VUT Fakulty stavební v Brně, na vybraných druzích stavebních materiálů. A to za podmínek, které se co nejvíce přibližovaly podmínkám na reálných stavbách.

Část experimentů a potřebných měření bylo prováděno na konkrétních stavbách tzv. „in situ“.

Jak je uvedeno v závěru práce, laboratorní měření a měření „in situ“ je velmi v některých případech od sebe značně rozdílné.

ABSTRACT IN ENGLISH

The possibility of using high-frequency electromagnetic radiation in the construction sector is a common knowledge. Various experiments have been carried out to dry construction materials, or even to destroy biotic pests. However, the majority of these experiments have been executed in laboratory conditions. It means they have been carried out under exact limiting conditions, often very far off those conditions in real building practice.

Therefore, this dissertation aims at exploring the possibility of utilizing microwave technology in drying and heating of construction materials, in disposing of biotic pests and sterilizing building materials under real conditions in building practice.

The thesis will explain that microwaves are a term given to a part of electromagnetic radiation. Electromagnetic radiation is based on the principle that the radiated energy is absorbed by water molecules present in moist building material. In the mass of the irradiated material, the radiated energy is transformed into thermal energy, where a so-called “motion” of water molecules occurs with the energy then being transformed into kinetic energy.

The microwave technology itself offers a very wide range of use, which can be easily achieved, thus making the technology available to use in the future.

Part of the experiments and the necessary measurements, too, has been carried out on selected types of building materials in the premises of the Faculty of Civil Engineering of Brno University of Technology. They have been executed under conditions which most closely correspond to the conditions in real buildings.

Part of the experiments and the necessary measurements were carried out on particular constructions, by the so-called in situ method.

As stated in the conclusion of the dissertation, laboratory measurements and the in situ measurements differ considerably in some cases.

Klíčová slova

Mikrovlnné vysoušení, mikrovlny, elektromagnetické vlnění, vlnová délka, vlhkost, trychtýřový, postup vlhkosti, zdivo, likvidace plísní, ohřev, frekvence, salinita zdiva, solné výkvěty, Vysoušení, mikrovlnné vysoušení, odpařování, biotičtí škůdci, likvidace, elektromagnetické záření.

Key words

Microwave drying, microwaves, electromagnetic waves, wavelength, moisture, funnel, moisture propagation, masonry, disposal of mold, heating, frequency, salinity of masonry, efflorescence, Drying, microwave drying, evaporation, biotic pests, liquidation, electromagnetic radiation.

Bibliografická citace VŠKP

Ing. Jindřich Sobotka *Likvidace biotických škůdců prostřednictvím EMW záření*. Brno, 2015. 132 s., 0 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. Karel Šuhajda, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svoji disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....
podpis autora

Ing. Jindřich Sobotka

PODĚKOVÁNÍ

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

Dále chci poděkovat pracovníkům firmy S. P. UNI, s.r.o. a to především panu Mgr. Zdeňkovi Jirouškovi za umožnění realizovat potřebné měření experimentů. V průběhu disertační práce se experimenty prováděly v laboratoři na ústavu ÚPST, tak i na reálných stavbách, kde firma S. P. UNI prováděla případné zakázky pro investory, kteří oslovili tuto firmu. Na stavbách se prováděla sterilizace, či inaktivace biotických činitelů, kteří měli velký vliv na znehodnocování stavebních materiálů.

Dále bych rád poděkoval paní RNDr. Daně Hanulákové za mikrobiologické rozborů biotických činitelů (plísni) a aktivity těchto činitelů v akreditované laboratoři.

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

OBSAH

1.	ÚVOD	12
2.	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	15
2.1	Členění vlhkosti.....	15
2.2	Hlavní druhy vlhkostí stavebních látek	16
2.3	Pohyb vlhkosti ve stavebních látkách.....	16
2.4	Difúze vodní páry	17
2.5	Relativní vlhkost vzduchu.....	18
2.6	Vlhkost ve stavebních materiálech	19
2.7	Kondenzace	21
2.8	Metody vysoušení stavebních materiálů.....	24
2.8.1	Přirozené vysychání	24
2.8.2	Absorpční vysoušeče.....	24
2.8.3	Kondenzační vysoušeče	24
2.8.4	Teplovzdušné a horkovzdušné vysoušeče	25
2.8.5	Mikrovlnné vysoušeče	26
3.	BIOTIČTÍ ŠKŮDCI STAVEB A STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	28
3.1	Plísně.....	28
3.2	Houby.....	29
3.3	Dřevokazný hmyz.....	31
3.4	Vliv vlhkosti stavebních materiálů na výskyt biotických škůdců	34
4.	PRINCIP PŮSOBENÍ MIKROVLNNÉ ENERGIE NA MOLEKULY VODY VE STAVEBNÍCH MATERIÁLECH.....	35
4.1	Obecné poznatky o mikrovlnné technologii ohřevu.....	35
4.2	Historie mikrovlnného záření.....	38
4.3	Působení mikrovlnné energie na různé druhy materiálů	38
4.4	Konstrukce mikrovlnného zařízení.....	39

4.5	Výběr mikrovlnného generátoru	41
4.6	Mikrovlnná energie a bezpečnost práce.....	41
5.	VÝHODY A NEVÝHODY MIKROVLNNÉ TECHNOLOGIE ZÁŘENÍ PŘI SANACI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	43
5.1	Výhody MW (mikrovlnné) technologie při vysoušení staveb, či sterilizaci biotických škůdců.....	43
5.2	Nevýhody MW (mikrovlnné) technologie při vysoušení staveb, či sterilizaci biotických škůdců.....	43
5.3	Průnik EMW do hloubky vlhké konstrukce.....	44
5.4	Průběh vysoušení.....	44
5.5	Nerovnoměrnost vyzařování	45
5.6	Rychlost vysoušení	45
6.	VYMEZENÍ A CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	46
6.1	Vymezení disertační práce	46
6.2	Motiv disertační práce	46
6.3	Cíle disertační práce	46
7.	OHŘEV A VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ MIKROVLNNOU ENERGIÍ	48
7.1	Ohřev a vysoušení zdiva z CPP.....	49
7.1.1	Experiment č. 1	49
7.2	Ohřev a vysoušení pórobetonových tvárnic.....	53
7.2.1	Experiment č. 2	53
7.2.2	Experimentu č. 3	57
7.2.3	Experiment č. 4.....	66
7.3	Ohřev a vysoušení dřevěných prvků	70
7.3.1	Experiment č. 5.....	70
8.	STERILIZACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ STAVEB	77
8.1	Likvidace plísní	77

8.1.1	Experiment č. 6.....	77
8.2	Likvidace dřevokazného hmyzu.....	80
8.2.1	Likvidace tesaříka krovového.....	81
8.2.2	Likvidace červotoče umrlčího	84
8.3	Likvidace dřevokazných hub	84
8.3.1	Likvidace dřevomorky domácí.....	85
8.4	Výhody a nevýhody využití mikrovlnné technologie při sterilizaci biotických škůdců	86
8.4.1	Likvidace plísní.....	86
8.4.2	Likvidace dřevokazného hmyzu	86
8.4.3	Likvidace dřevokazných hub.....	87
9.	VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ V TERÉNNÍCH PODMÍNKÁCH.....	89
9.1	Vysoušení sklepních prostor Filozofické fakulty v Brně.....	89
9.1.1	Popis objektu a zjištěná příčina	89
9.1.2	Cíl praktického měření.....	90
9.1.3	Popis průběhu vysoušení a měření.....	92
9.1.4	Použité měřicí přístroje	93
9.1.5	Výsledky měření	93
9.1.6	Vyhodnocení průběhu vysoušení.....	94
9.2	Vysoušení sklepních a bytových prostor a sterilizace dřevokazné houby v RD Choceň	96
9.2.1	Popis objektu	96
9.2.2	Cíl praktického měření.....	98
9.2.3	Popis průběhu vysoušení a ohřevu zdiva a podlah	98
9.2.4	Použité měřicí přístroje	99
9.2.5	Popis sanace a měření	99
9.2.6	Vyhodnocení průběhu vysoušení a ohřevu zdiva a podlah	104
9.3	Likvidace dřevokazného hmyzu a sterilizace dřeva v rekreačním objektu v Ruprechticích	104

9.3.1	Popis objektu	104
9.3.2	Cíl praktického měření	105
9.3.3	Popis průběhu sanace	105
9.3.4	Postup měření.	105
9.3.5	Použité měřicí přístroje.	106
9.3.6	Vyhodnocení výsledků ohřevu a vysoušení.	106
9.4	Dezinfekce - likvidace plísní v bytech (Choceň, Třebíč)	107
9.4.1	Popis objektů s výskytem plísní v interiérech	107
9.4.2	Popis průběhu sanačního zásahu formou MW záření	109
9.4.3	Cíl praktického měření	109
9.4.4	Použité měřicí přístroje	110
9.4.5	Vyhodnocení výsledků inaktivace nárůstu plísní formou MW záření a dezinfekce provedené za použití chemickým dezinfikantů	111
10.	ZÁVĚR	115
10.1	Shrnutí základních informací	115
10.2	Shrnutí výsledků experimentů	116
10.2.1	Ohřev a vysoušení	116
10.2.2	Likvidace biotických škůdců	117
10.3	Shrnutí výsledků měření „IN SITU“	117
10.3.1	Ohřev a vysoušení	117
10.3.2	Likvidace biotických škůdců	117
10.4	Shrnutí poznatků	119
10.5	Zaměření další experimentální činnosti.	119
10.6	Vyhodnocení splnění cílů	119

1. ÚVOD

Teoretická možnost sanace stavebních materiálů s využitím mikrovlnného záření je známa již řadu let. Ve stavební praxi je již tato technika využívána řadou realizačních firem. Ovšem získat dostatečně přesné informace o vhodných přístrojích, postupu jejich použití, technologii zásahu, kladech a záporech či možných rizicích při použití mikrovlnného záření, je velmi obtížné, protože poznatky získané praxí si jednotlivé realizační firmy chrání pro své potřeby. Lze to chápat, je to součást jejich „know-how“. V rámci výzkumu, který dlouhodobě provádí stavební fakulta VUT v Brně v úzké spolupráci s firmou S. P. UNI, se však snaží, aby bylo zpřístupněno dostatek informací o možnostech a vhodnosti využití mikrovlnné technologie v praxi, získaných na základě rozsáhlých laboratorních i terénních experimentů (mikrovlnné vysoušení lze provádět, jak u cihelného materiálu, tak i u dřevěných konstrukcí).

Velmi často se ve stavební praxi setkáváme se skutečností, že při rekonstrukci objektu, případně budování půdních vestaveb, je při stavebně technických průzkumech zjištěno napadení nejen dřevěných, ale i různých jiných konstrukčních prvků biotickými činiteli. Jedná se o plísň, dřevokazné houby a dřevokazný hmyz.

Zvýšená a velmi vysoká hmotnostní vlhkost způsobuje řadu nepříjemných faktorů, zejména poruchy zdiva a jejich povrchů. Dlouhodobá zvýšená vlhkost v konstrukcích způsobuje vývoj živné půdy pro mikroorganismy (plísň a houby), či tzv. biotické škůdce. Pro vysušování zdiva a likvidaci všech dřevokazných škůdců je vysoce účinná mikrovlnná technologie. Mezi nejběžnější dřevokazné škůdce řadíme:

- dřevokazný hmyz (tesařík krovový),
- dřevokazné houby (dřevomorka domácí).

Dlouhodobý výzkum na VUT FAST byl zaměřen na ověření možností využití mikrovlnného záření ve stavební praxi. Tedy za terénních podmínek, nebo těmto podmínkám velmi blízkých. Protože aktivita biotických škůdců staveb a vlhkost materiálu spolu úzce souvisí, není možné, alespoň v celé řadě případů, je od sebe oddělit.

Pro vlastní experimenty byly použity přístroje, velmi podobné těm, jaké jsou používány v běžné praxi. Tedy přístroje snadno přenosné, s příkonem nad 1kW. Ne vždy jsou totiž místa

potřebného zásahu jednoduše přístupná a ohled se také musí brát na možnosti připojení na elektrický proud.

Původním záměrem bylo rozdělení experimentální činnosti na dva okruhy:

- likvidace biotických škůdců
- ohřev a vysoušení stavebních materiálů napadených a ohrožených biotickými škůdci

Ovšem již při experimentech bylo zjištěno, že celá problematika je daleko složitější. Při likvidaci škůdců samozřejmě dochází i k vysušování kontaminovaného materiálu, takže jedno není možné oddělit od druhého.

Mikrovlnná energie by měla teoreticky pronikat naprostou většinou stavebních materiálů. Ohřívát zde vodu a to vodu jak ve formě kapének, tak i vodu obsaženou v různých částech rostlin nebo živočichů. Je zde ale mnoho faktorů, které záření, či sterilizaci ovlivňují. Především množství vlhkosti a její rozložení v průřezu ozařované hmoty. Při průniku vlhkým materiálem se postupně mikrovlnná energie mění v energii pohybovou a dále pak energii tepelnou. Je-li dostatek vlhkosti v povrchových vrstvách, je většina energie spotřebována zde a teplota uvnitř se zvyšuje pouze nepatrně. Teprve po snížení vlhkosti na povrchu je průnik mikrovlnné energie hlubší. To lze ostatně prokázat měřeními vhodnými dozimetry a vhodnými teploměry.

První experimenty s využitím elektromagnetického záření v oblasti mikrovln v technické oblasti byly prováděny v Anglii a Německu na přelomu 30. a 40. let 20. století, především na univerzitě v anglickém Birminghamu. Prvním praktickým využitím mikrovln byl radar za II. světové války. V roce 1947 si všiml zaměstnanec výrobce radaru, americké firmy Raytheon, že se mu v blízkosti radaru roztavila čokoláda. To ho přivedlo k myšlence zkonstruovat mikrovlnou troubu. První patent byl podán v roce 1952. První mikrovlnná trouba byla objevena v roce 1961. Masového rozšíření se pak dočkalo až zásluhou japonské technologie sériové výroby magnetronů v 80. letech 20. století.

Mikrovlnami je nazývána část elektromagnetického záření o frekvenci od 300 MHz do 300 GHz, což odpovídá vlnovým délkám od 1 m do 1 mm. Pro průmyslové účely je globálně určena frekvence 2,45 GHz s odpovídající vlnovou délkou 12,2 cm, která je využívána i v našich aplikacích.

Mikrovlnné záření patří do širokého spektra elektromagnetického vlnění zahrnující rovněž oblast viditelného světla, které se řídí Maxwellovými rovnicemi. Platí pro ně, že vektory charakterizující magnetické a elektrické pole jsou v každém bodě a v každém okamžiku k sobě kolmé a oba jsou kolmé ke směru pohybu vlny.

Jejich amplitudy mají konstantní poměr a ve vakuu se elektromagnetické vlny pohybují rychlostí světla.

V první fázi této práce jsou popsány základní teoretické poznatky o vlhkostním režimu stavebních látek a současný stav problematiky vysoušení stavebních látek a konstrukcí. Blíže jsou popsány a definovány biotičtí škůdci.

Ve druhé části jsou uvedeny výsledky provedených experimentů v laboratorních podmínkách a experimentů „in situ“. Experimenty jsou provedeny za účelem eliminace vlhkostí ve stavebních materiálech a likvidace biotických škůdců mikrovlnnou technologií. V kapitole č. 9 jsou u tab. 28, 31, 32 a 35 matematicky vypočítány statistické údaje a veličiny. Mikrovlnnou technologií se zabývám již několik let na Ústavu pozemního stavitelství Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně [4] [5] [11].

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V této kapitole jsou popsány rozdělení, druhy vlhkostí (vod). Jak je popsáno dále v této práci, důležitým činitelem, který rozhoduje o vhodnosti stavebních látek a konstrukcí používaných ve stavebnictví je **vlhkost**. Z mechanických vlastností má vliv zejména na pevnost, mrazuvzdornost, zpracování a životnost stavebních látek. Jedno z nejdůležitějších vlastností a to fyzikálních, či tepelně-technických, které mají veliký vliv na životní prostředí. Vlhká stavební látka je velmi ohrožená k rozvoji mikroskopických hub (plísní), jak je popsáno dále [6].

2.1 Členění vlhkosti

Pro kvalifikaci poruch je nutno definovat jednotlivé druhy vlhkosti, které jsou předmětem jednotlivých průzkumů [1] [2]:

- 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.

V zásadě lze (zjednodušeně) vodu způsobující poruchy ve zdivu staveb dělit na tyto druhy:

- 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 vztlínající 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 mokrých 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.

2.2 Hlavní druhy vlhkostí stavebních látek

Ustálená vlhkost je taková vlhkost stavební látky a konstrukce, která vznikne na stavbě při běžném užívání konstrukcí, či staveb.

Výrobní vlhkost je taková vlhkost, kterou má stavební látka, či materiál po své výrobě. Tato vlhkost se postupně snižuje, v závislosti na zabudování materiálu v konstrukci, klimatických a vnitřních podmínkách na ustálenou vlhkost [2].

2.3 Pohyb vlhkosti ve stavebních látkách

Pohyb vody, či vlhkosti ve stavebních materiálech je zprostředkován různými fyzikálními ději.

Zejména se jedná o:

- kapilární vztlínavost,
- kondenzace vodní páry a kondenzace kapilární,
- sorpcí,
- difúzi vodní páry,

- jiný transport vody patřičnými mechanismy.

Ale všechny tyto děje jsou také ovlivňovány tlakem, který vzniká zvětšováním objemu vody v důsledku jejího ohřevu. V případě některých metod vysoušení [2].

2.4 Difúze vodní páry

K difúzi vodní páry dochází v důsledku rozdílu částečných (parciálních) tlaků vodní páry v konstrukcích, zeminách a ve vzduchu mezi vnějším exteriérovým prostředím a interiérem budovy.

Vodní páry obsažené ve vzduchu mají podobnou schopnost procházet stavebními materiály jako tepelný tok. Jestliže k objasnění toku tepla je potřebný gradient teploty, k toku vodních par je nevyhnutelný gradient částečných tlaků vodních par. Jev, při kterém mezi dvěma prostředími s různými parciálními tlaky vodních par oddělenými pórovitou látkou dojde k transportu vlhkosti, nazýváme difúzí. Difundující vodní páry se pohybují z míst s vyšším parciálním tlakem do míst, kde je parciální tlak vodních par nižší. Za jistých teplotních a tlakových podmínek může v materiálu, dojít ke kondenzaci vodních par. U jednovrstvého materiálu bývá účinek kondenzace vodních par obvykle, zanedbatelný. V konstrukcích vícevrstevných je výskyt kondenzace nebezpečnější a jeho důsledkem může být i znehodnocení daného stavebního materiálu a hygienické nedostatky projevující se například tvorbou plísní.

Plyn nebo vodní pára difundují mezi každou pórovitou látkou, jsou-li póry (mezimolekulární prostory) větší, než je střední volná dráha tepelného pohybu molekul plynu nebo vodní páry. Střední volná dráha molekul vody je $2,78 \cdot 10^{-10}$ m.

Ve stavebních látkách (materiálech) se vyskytují vazby vody jako mikrokapiláry a makrokapiláry.

V makrokapilárách, které mají rozměr $d \gg 10^{-7}$ m, nenastává kapilární kondenzace. Vodní páry se pohybují podle zákona difúze (samovolné pronikání z oblasti vyšší koncentrace do oblasti koncentrace nižší), neboť volná dráha jejich molekul je menší jak průměr pórů.

V mikrokapilárách s rozměry $d \ll 10^{-7}$ m nastává kapilární kondenzace. Podle zákona efuze (pohyb plynu malými otvory – vypouštění plynů pod určitým tlakem kapilárou) je střední volná dráha molekul vodní páry stejná nebo větší, než je průměr pórů látky.

Procento hodnocení vlhkostního stavu ve stavebních konstrukcích se pracuje s difúzními konstantami. V České republice se používají dva parametry [1] [2] [5][6]:

- součinitel difúze vodní páry δ_p , vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí;

- faktor difúzního odporu μ , vyjadřuje relativní schopnost materiálu propouštět vodní páry difúzí. Je poměrem difúzního odporu materiálu a difúzního odporu vrstvy vzduchu o této tloušťce, při definovaných podmínkách.

Difundující vodní pára se pohybuje z místa o vyšším částečném parciálním tlaku (větší koncentrace vody, vyšší teplota) k místu s částečným tlakem nižším a za určitých teplotních a tlakových podmínek mohou vodní páry v látce, či konstrukci kondenzovat, případně nesublímovat a měnit se v námrazu, či led.

Kondenzace vodních par může nastat i u homogenních jednovrstvých konstrukcí, ale její účinek je většinou zanedbatelný. U vícevrstvých konstrukcí je kondenzace nebezpečnější a může vést až ke znehodnocení této konstrukce. Difundující vodní páry mohou být u rovinných konstrukcí charakterizovány Stefanovým zákonem podle Krischera za předpokladu, že se teploty pohybují pod 30°C.

$$Q_{md} = \frac{D}{\mu \cdot r_p \cdot T} \cdot \frac{S}{d} \cdot (p_{p1} - p_{p2}) \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.1)$$

kde:	Q_{md}	je difúzní tok vodní páry, v $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$,
	D	součinitel difúze vodní páry ve vzduchu, v $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$,
	μ	faktor difúzního odporu,
	r_p	plynová konstanta vodní páry, v $[461,9 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
	T	střední teplota vrstvy, v $[\text{K}]$,
	S	plocha stěny, v $[\text{m}^2]$,
	d	hloubka, v $[\text{m}]$,
	p_{p1}	částečný tlak vodní páry na vnitřním povrchu, v $[\text{Pa}]$,
	p_{p2}	částečný tlak vodní páry na vnějším povrchu, v $[\text{Pa}]$.

[6]

2.5 Relativní vlhkost vzduchu

Atmosférický vzduch je směsí suchého vzduchu a vodních par, případně vody (mlha, kondenzace vodní páry ve vzduchu). Obsah vlhkosti lze vyjádřit jako absolutní vlhkost vzduchu, parciální tlak vodních par ve vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a měrnou vlhkost vzduchu. S vlhkostí vzduchu také úzce souvisí teplota rosného bodu a teplota tzv. „mokrého teploměru“. Energetický obsah vzduchu v závislosti na teplotě směsi suchého vzduchu a vodní páry udává entalpie vzduchu vyjádřená v kJ na kg suchého vzduchu $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.v.}]$ [2].

2.6 Vlhkost ve stavebních materiálech

V praxi se stavební materiály v suchém stavu téměř nevyskytují. Vlhkost charakterizuje přítomnost chemicky nevázané látky v materiálu a to ve skupenství plynném, kapalném nebo tuhém. Vlhkost jakéhokoliv materiálu je charakterizována hmotnostní a objemovou vlhkostí. Proto je nutné znát i ty vlastnosti, které materiály získají tím, že budou během výstavby při užívání zatíženy vlhkostí. Vlhkost je důležitým faktorem, který ovlivňuje tepelně technické vlastnosti látek.

V kapilárně pórovitých materiálech nastává pohyb vlhkosti difúzí a kapilární vodivostí. Schopnost vysušeného materiálu přijmout při úplném ponoření za patřičnou časovou jednotku vodu se nazývá nasákavost. Vztlínavost je vzestup vody v důsledku kapilární elevace nad úroveň hladiny okolí, se kterým materiál pórovité látky přijde do styku.

Důležitým pojmem pórovitých materiálů je chemický potenciál vlhkosti [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$]. Podle zákonů termodynamiky prochází vlhkost vždy z míst s vyšší hodnotou chemického potenciálu do míst s hodnotou nižší. S jeho pomocí lze potom určit vlhkost materiálu, její zdroje nebo stanovit směr pohybu vlhkosti.

Koncentraci vlhkosti ve stavebních konstrukcích lze stanovit:

- podle hmotnosti w_m [%]
- podle objemů w_v [%]

$$w_m = \frac{m_w - m_d}{m} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.2)$$

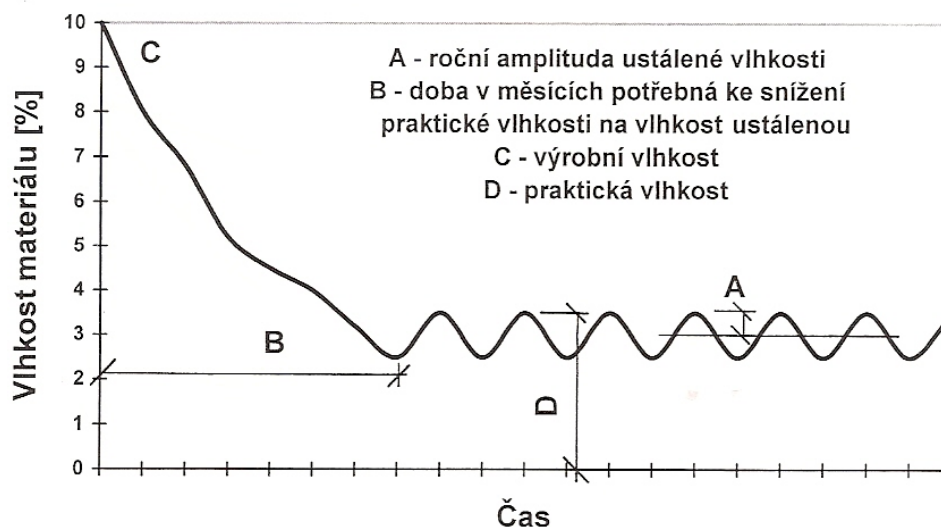
$$w_v = \frac{V_v}{V_d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.3)$$

kde

w_m	je hmotnostní vlhkost, v [%],
m_w	hmotnost, v [kg],
m_d	hmotnost suché látky, v [kg],
w_v	objemová vlhkost, v [%],
V_v	objem vlhkosti v látce, v [m^3],
V_d	objem suché látky, v [m^3].

Výrobní vlhkost je vlhkost, kterou má stavební látka těsně po své výrobě. Tato vlhkost se postupně snižuje podle okolních klimatických a vnitřních podmínek na ustálenou hodnotu vlhkosti. I při tomto ustálení nastávají výkyvy vlhkosti stavební látky, či konstrukce (tyto

výkyvy jsou nazvány a uvedeny v obr. č. 1 jako vlhkost praktická) způsobené například vlivem dlouhodobých dešťů, difúze vodních par, či změnou vnitřního provozu objektu.



Obr. 1: Změna vlhkosti stavebních látek a konstrukcí – od výroby až po ustálený stav

Ve stavební praxi se objemová vlhkost stanoví výpočtem ze vztahu:

$$wV = \frac{w_m \cdot \rho_d}{1000} \quad [\%] \quad (2.4)$$

kde wV je objemová vlhkost, v [%]
 w_m hmotnostní vlhkost, v [%]
 ρ_d objemová vlhkost suché látky, v [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Při užívání stavebního díla musí být respektována skutečnost, že vlhkost v konstrukcích dosahuje proměnlivých hodnot. Vlivem mokrých technologických procesů, uplatněných při výstavbě a expozicí přírodně otevřeném prostředí, má stavba tzv. výrobní vlhkost. Je dosaženo vysokých parametrů, avšak v krátkém časovém úseku nabývá nízkých hodnot, až je dosaženo trvalé nebo také tzv. praktické vlhkosti. I po tomto ustálení nastávají ještě výkyvy, které způsobují provoz budovy, roční období, vlastnosti materiálů, intenzita větrání apod. Praktickou vlhkostí teda rozumíme takovou vlhkost, která je charakteristická pro materiály po delší době jejich užívání. Je nižší než vlhkost výrobní, ale vyšší než vlhkost rovnovážná, daná izotermou sorpce a desorpce. Přibližná doba pro dosažení praktické vlhkosti se udává v délce od 2 do 7 let. Pro praxi má význam maximální přípustná vlhkost materiálu, nazývaná kritická vlhkost. Při jejím překročení mění materiály ve vysoké míře své vlastnosti (pevnost, objem, tepelnou vodivost, chemické vlastnosti, atd.), a proto je jejich použití nevhodné a nebezpečné.

Stavební materiály, podobně jako jiné látky, mají schopnost přijímat ze vzduchu vlhkost. Tento jev nazýváme sorpcí. Vlhkost přijatá působením vlhkého vzduchu se nazývá sorpční vlhkostí. V okamžiku, kdy je látka vzdušnou vlhkostí zcela nasycena, dojde ke kapilární kondenzaci. Proces pohlcování vodní páry probíhá až do rovnovážného stavu sorpční vlhkosti látky, kdy je částečný tlak vodní páry v látce a okolním vzduchu v rovnováze. Rovnovážná sorpční vlhkost látky závisí na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu a na barometrickém tlaku. Při konstantní teplotě a měnící se relativní vlhkosti vzduchu se hodnoty rovnovážné sorpční vlhkosti postupně zvyšují. Pokud bude vlhkost ve vzduchu klesat a částečný tlak vodní páry v látce je vyšší, nastane opačný jev – uvolňování vlhkosti – nazývaný desorpce. Desorpční křivka má vždy vyšší hodnoty. Rozdíl mezi oběma průběhy se nazývá hystereze sorpce [1] [2] [6].

2.7 Kondenzace

Kondenzace znamená vysrážení vodní páry na vodu na povrchu nebo uvnitř patřičného tělesa. Vzduch může pojmout vždy jen určité množství páry. Vystoupá-li částečný tlak vodní páry určité maximální hodnoty P_p'' , je vzduch vodní parou nasycen, tzn. „dosáhl teploty rosného bodu“. Přivádí-li se do nasyceného vzduchu další vodní pára, dochází ke kondenzaci, tzn. vysrážení vodní páry ve vodu, což se projevováno jako mlha, kapičky vody (rosa), jinovatka apod. Ve všech případech jde o tzv. povrchovou kondenzaci vodních par.

Hmotnost vodní páry v jednotce objemu vzduchu je závislá na teplotě a tlaku. Se zvyšující se teplotou, množství vody tak stoupá.

Teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %) se nazývá „rosný bod“. Avšak toto platí při ustáleném tlaku.

Při poklesu teploty vzduchu nasyceného vodní parou dochází ke kondenzaci tzv. vysrážení vodní páry ve skupenství kapalném a to vody. Jinak řečeno, mlha, mikrokapičky vody můžeme jinak nazvat, že jde o tzv. povrchovou kondenzaci vodních par.

K povrchové kondenzaci dochází tehdy, je-li teplota povrchu tělesa nižší než teplota rosného bodu okolního vzduchu.

Poměr částečného tlaku vodní páry P_p a částečného tlaku nasycené vodní páry P_p'' se označuje jako relativní vlhkost vzduchu, která je dána vztahem:

$$\varphi = \frac{P_p}{P_p''} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.5)$$

kde: φ je relativní vlhkost vzduchu, v [%],
 P_p částečný tlak vodní páry, v [Pa],
 P_p'' částečný tlak nasycené vodní páry, v [Pa].

Obsah vody ve vzduchu vyjadřujeme buď relativní vlhkostí (%), nebo absolutní vlhkostí ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Procento nasycení vzduchu vodní párou je funkcí teploty. Relativní vlhkost vzduchu je tedy pro určitou hodnotu P_p'' různá při různé teplotě vzduchu.

V tab. č. 1 jsou uvedeny orientačně hodnoty množství vodní páry ve vzduchu, při relativní vlhkosti. V následující tab. č. 2 jsou uvedeny hodnoty rosného bodu, které jsou směrodatné při relativní vlhkosti vzduchu a teplotě vzduchu.

Tab. 1: Množství vodní páry ve vzduchu při relativní vlhkosti

Relativní vlhkost vzduchu	Množství vodní páry ve vzduchu [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] při teplotách vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]					
	-20	-10	0	10	20	30
φ [%]						
30	0,3	0,7	1,4	2,8	5,2	9
40	0,35	0,9	1,9	3,8	6,9	12
50	0,45	1,1	2,4	4,7	8,7	15
60	0,54	1,3	2,9	5,6	10	18
70	0,63	1,5	3,4	6,6	12	21

Tab. 2: Hodnoty rosného bodu v °C

Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]							
	20	30	40	50	60	70	80	90
14	-7,64	-2,91	0,63	3,75	6,36	8,62	10,61	12,39
15	-6,89	-2,14	1,52	4,67	7,30	9,58	11,58	13,37
16	-6,15	-1,37	2,42	5,59	8,24	10,53	12,55	14,36
17	-5,41	-0,6	3,31	6,51	9,18	11,49	13,52	15,35
18	-4,67	0,18	4,21	7,43	10,12	12,45	14,50	16,33
19	-3,94	1,05	5,10	8,35	11,06	13,40	15,47	17,32
20	-3,21	1,91	5,99	9,26	12,00	14,36	16,44	18,31
21	-2,48	2,77	6,89	10,18	12,94	15,32	17,42	19,30
22	-1,75	3,64	7,78	11,10	13,88	16,27	18,39	20,28
23	-1,02	4,50	8,68	12,02	14,81	17,23	19,36	21,27
24	-0,29	5,36	9,56	12,93	15,75	18,19	20,33	22,26
25	0,49	6,22	10,46	13,85	16,69	19,14	21,30	23,24

Ke kapilární kondenzaci dochází u pórů, jejichž poloměr je větší než $0,5 \cdot 10^{-6}$ mm, protože poloměr molekuly vody je 10^{-7} mm. V menších pórech nedochází k difúzi vodních par. U zakřivených povrchů s poloměrem menším než 10^{-4} mm dochází ke kondenzaci vodních par mnohem dříve, než nastane tzv. povrchová kondenzace. Pro stavební praxi to znamená, že při stejných vlhkostech, teplotních podmínkách a při stejném objemu pórů, se budou dvě stejné látky lišit od sebe vnitřní vlhkostí. Pokud ovšem budou mít póry různý poloměr.

Kapilární kondenzace je příčinou, proč jednozrné horniny a cementové malty za stejné teploty vykazují vyšší vlhkost. Místa vyspravená cementovou omítkou ve vlhkých sklepních prostorech jsou následkem toho, že vždy dané lokální místo je vlhké. Zatímco jiný stavební materiál s většími póry zůstává více suchý.

Obdobný případ nastává u zdiva, které bylo prosyceno různými solemi. V důsledku vztlínání spodní vody s větším obsahem minerálních složek [1] [2].

2.8 Metody vysoušení stavebních materiálů

2.8.1 Přírozené vysýchání

Přírozené vysýchání je proces, který probíhá přírozeným vysýcháním, kde dochází k postupné eliminaci vlhkosti. Výhodou tohoto procesu je minimální finanční náklady, avšak nevýhodou tohoto procesu je dlouhodobý proces. Podle rozsahu a stupně provlhlení konstrukcí může být doba potřebná k vysýchání i několik roků (např. přírozené vysýchání zdiva z CPP tl. 450 mm může trvat i několik roků).

Pokud bychom chtěli odhadnout, za jak dlouho se vlhké zdivo samovolně vysuší do rovnovážného stavu, tedy na hmotnostní vlhkost okolo 3% hmotnostní vlhkosti, lze jednoduše užít Cadierguesova vztahu:

$$T = k \cdot b^2 \quad [\text{dny}]$$

kde

$$\begin{aligned} T & \dots \dots \dots \text{doba nutná k vyschnutí stavební látky [dny],} \\ k & \dots \dots \dots \text{koeficient odpařování (pro cihelné zdivo 0,28) [-],} \\ b & \dots \dots \dots \text{tloušťka zdiva v [cm].} \end{aligned} \quad [6] \quad (2.5)$$

2.8.2 Absorpční vysoušeče

Absorpční vysoušeče fungují na principu schopnosti různých materiálů pohlcovat (absorbovat) do sebe okolní vlhkost. Konstrukčně se ovšem různé typy od sebe značně liší. U těch nejjednodušších se jedná, v podstatě o pevnou schránku s uloženým sorbentem. Nejčastěji ve formě jednorázově použitelného granulátu.

Přístroje pro profesionální použití jsou složitá zařízení, velmi často vyžadující odbornou obsluhu. Jejich výhodou je nízká poruchovost, nevýhodou energetická náročnost a také cena.

V běžné stavební praxi jsou absorpční vysoušeče nahrazovány, ve většině případů vysoušeči kondenzačními.

2.8.3 Kondenzační vysoušeče

Jedná v podstatě o mobilní chladicí zařízení. Pomocí zabudovaných ventilátorů proudí přístrojem vlhkých vzduch. Na výparníku, který má teplotu výrazně nižší, než je rosný bod okolního vzduchu, dochází ke kondenzaci. Vysrážený kondenzát je následně sváděn do sběrné nádoby, nebo odváděn mimo vysoušený prostor. Vzduch opouštějící přístroj je ohříván na kondenzátoru. Postupně dochází ke snižování relativní vlhkosti vzduchu a tím i ke zlepšení

podmínek nutných k odpařování vody z povrchu konstrukcí. Provozem vysoušečů je ohříván vzduch ve vysoušeném prostoru a ventilátory přístrojů zajišťují jeho cirkulaci.

Jak již bylo řečeno, tento postup je vhodný při vysoušení povrchové, většinou lokální vlhkosti konstrukce. V případech hloubkového provlhčení se dosáhne relativně rychle, snížení povrchové vlhkosti. Kapilární transport molekul vody z hloubky nasátého materiálu se tím urychlí a doba potřebná k vysušení se výrazně zkracuje. Ale i zde se jedná o proces trvající několik týdnů, spíše však měsíců.

Nevýhodou je použití specifických přístrojů na daný větraný způsob eliminace vlhkosti.



Obr. 2: Kondenzační vysoušeč

2.8.4 Teplovzdušné a horkovzdušné vysoušeče

Do této kategorie je možno zařadit různé teplovzdušné přístroje, tepelné zářiče, tepelné sondy a podobně. Jejich působením se ohřívá celá konstrukce. To znamená nejen volná voda v ní obsažená, ale veškerý stavební materiál. Protože většina stavebních materiálů jsou dobré tzv. „termoizolanty“, je hloubkový ohřev pomalý a energeticky většinou velmi náročný. Je snadné si spočítat, kolik energie bude potřeba k dostatečnému prohřátí různých konstrukcí na požadované teploty. Doba vysoušení, oproti konvenčnímu postupu je ovšem výrazně kratší a časová úspora může být 70 – 90 %.

Při použití těchto zdrojů vysoušení dochází k velkému rozdílu teplot na povrchu a uvnitř vysoušeného materiálu. A to může být příčinou prnutí konstrukce, s rizikem nežádoucích dopadů.

Při odpařování vody z povrchu vysoušených materiálů dochází velmi rychle k nárůstu relativní vlhkosti okolního vzduchu. A takový vzduch je potřeba co nejrychleji expedovat mimo vysoušený prostor. Nejlépe nuceně, pomocí ventilátorů.

Práce s těmito druhy zařízení vyžaduje odbornou obsluhu a přísné dodržování všech bezpečnostních předpisů.

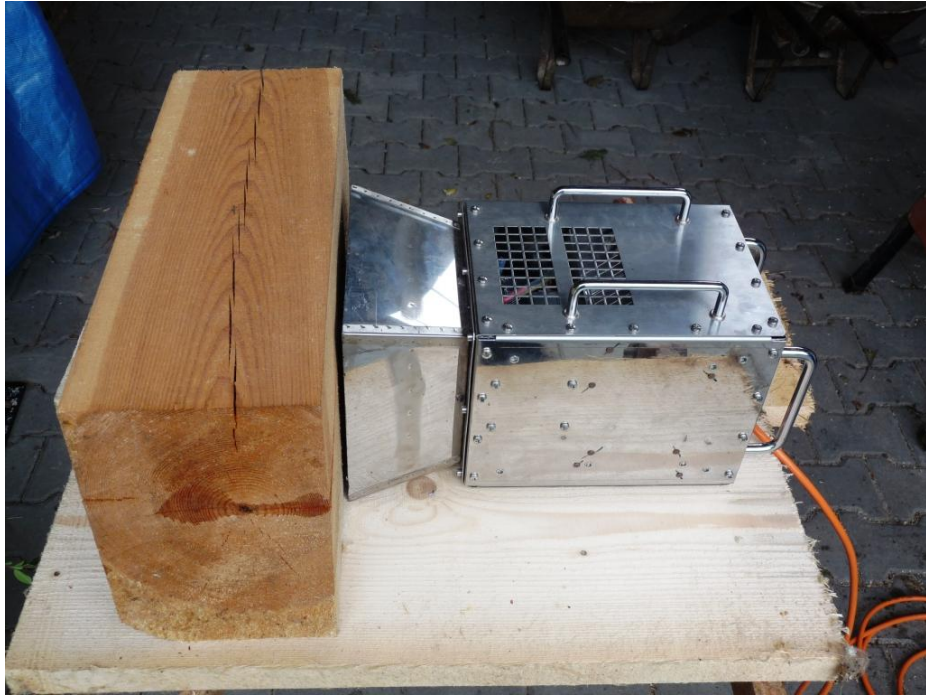
2.8.5 Mikrovlnné vysoušeče

Princip mikrovlnného vysoušení je založen na rozkmitání molekul vody ve hmotě např. zdiva (stavebního materiálu), vzniku tepla vytvořeného jejich pohybem a třením, přeměny ve vodní páry a následného odvětrání těchto pár. Primárně je zde ohřívána voda a teprve sekundárně (od vody) stavební materiál.

Výhodou této metody je výrazné zkrácení doby potřebné k vysoušení konstrukce. Místo již zmiňovaných týdnů, měsíců či roků se jedná o úsek v řádu několika dnů.

Určitě nevýhodou této metody je energetická náročnost, oproti například kondenzačnímu vysoušení vyšší, ale na rozdíl tomu nižší než při použití různých tepelných zařízení.

Obsluhu těchto zařízení může provádět pouze proškolený odborník.



Obr. 3: Mikrovlnný generátor s trychtýřovou anténou

3. BIOTIČTÍ ŠKŮDCI STAVEB A STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Za biotické škůdce jsou považovány takové organismy, které mechanicky, či esteticky poškozují odlišné stavební materiály.

3.1 Plísně

Plísně – jsou dlouhobláknité mikroskopické houby, které potřebují ke svému růstu poměrně málo. Základní podmínkou pro jejich vznik a růst je zvýšená vlhkost prostředí, nebo podkladu. U některých druhů plísní stačí již relativní vlhkost vzduchu nad 60% a povrchová vlhkost napadených předmětů nad 25 %. Živnou půdou může být i velmi tenká vrstva prachu, která byla usazena na povrchu napadené plochy. Její součástí jsou složky minerální, organické a tzv. „spóry“ plísní.

Mycelium je tvořeno pouze na povrchu. Materiál, na kterém se plíseň vyskytne, mechanicky nepoškozuje. Pigmentace obsažená v plísních ovšem může probarvit povrchovou vrstvu napadeného materiálu. Odolnost mycelia nárůstu teplot je u různých plísní rozdílná. Pro inaktivaci naprosté většiny druhu plísní stačí dosažení teploty okolo 100 °C několika minut. Podstatně složitější je otázka inaktivace jejich spór. Ty jsou výrazně odolnější a k jejich usmrcení je potřeba výrazně vyšších teplot (100-120 °C po dobu min. 30 minut). Spóry plísní jsou nedílnou součástí pevného aerosolu, obsaženého ve vzduchu. A to nejen v interiéru, ale i vně objektů.

Dřevozbarvující houby napadají nejčastěji čerstvé řezivo (dřevní hmotu) o vysoké vlhkosti, které nebylo vhodně uloženo. Jsou schopny způsobit hloubkové probarvení dřeva. Jeho mechanické vlastnosti však, stejně jako plísně, nepoškozuje.

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 [3] [4] [5] [13].

3.2 Houby

Jsou nejobávanějšími škůdci, kterými jsou ohroženy dřevěné stavební prvky.

Podle toho, kterou složku při rozkladu dřeva upřednostňují, rozdělujeme dřevokazné houby na celulózožravé a ligninožravé.

Celulózožravé houby rozkládají jen polysacharidickou (celulóžovou) složku dřeva. Napadené dřevo tmavne, ztrácí pevnost a postupně se rozpadá.

Ligninožravé houby kromě celulózy rozkládají i lignin. Dřevo působením těchto hub zesvětlá, měkne, drobí se, ztrácí hmotnost, ale ne objem. Někdy se však v objemu objevují nápadné komůrky.

Z hlediska praxe je důležitý poznatek, že naprostá většina druhů dřevokazných hub je životně závislá na vnějším přísunu vlhkosti a v případě vysušení přestávají růst, nebo úplně odumírají. Ovšem některé, především „Dřevomorka domácí“ - dále jako „SL“, je schopna si v průběhu růstu značné množství vody vyrobit. Lidově se říká, že „Dřevomorka slzí“.

Dřevokazné houby ohrožují veškeré dřevo, které má vyšší vlhkost. Rozšiřují se mnoha způsoby. Nejčastěji výtrusy (spóry), některé rozsáhlým kořenovým systémem.

Nejnámějššími zástupci a nejběžnější se vyskytujícími druhy dřevokazných hub, které napadají zabudované dřevěné stavební prvky jsou:

- Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*),
- Trámovka trámová (*Gloeophyllum trabeum*),
- Koniofora sklepní (*Conophora puteana*).

Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*), dále jako SL

Jedná se o nejnebezpečnějšího škůdce na dřevě. Dřevomorka je celulózožravá houba z čeledi hub konioforovitých, způsobující intenzivní destrukční hnilobu dřeva.

Napadá nejen dřevo ale i výrobky, složené z něj. Její živiny, tedy celulózu, obsahuje i papír, bavlněné textilie a podobně. SL je rozšiřována prostřednictvím výtrusů (spór) a kořenovým systémem (rhyzomorfami). Zralá plodnice je schopna uvolnit z 1cm² až 6000 spór za minutu. Rhyzomorfy, které snadno prorůstají zdívkou, mohou dosahovat délky mnoha metrů. Rhyzomorfy si udržují schopnost opětovné aktivity i několik desetiletí.

Dřevo, které je napadeno dřevomorkou domácí se postupně zbarví do hnědé barvy.

Trámovka trámová (Gloeophyllum trabeum), dále jako GT

Stejně jako u SL se jedná o houbu celulózovorní. Má však vyšší nároky na vlhkost. Již podle názvu je patrné, kde se nejčastěji vyskytuje. U tesařských konstrukcí se nejčastěji jedná o místa s dlouhodobým zatékáním. Její nebezpečí je především v tom, že je mnohdy obtížné, zjistit počáteční aktivitu. Prorůstá dřevem ve směru vláken a povrch napadeného dřeva může být dlouhou dobu bez viditelných známek poškození.

Jelikož se v obou případech (Dřevomorka i Trámovka) jedná o houby celulózovorní, v mnoha ohledech se od sebe výrazně liší a to:

- Vlhkost dřeva

SL napadá dřevo o vlhkosti již okolo 20%. GT má nároky na jeho vlhkost o 3-5% vyšší.

- Napadení dřeva

SL napadá dřevo od povrchu směrem dovnitř. GT prorůstá jádrem a teprve v konečné fázi vytváří plodnici na povrchu.

- Prostředí

SL upřednostňuje tmou a minimální proudění vzduchu, GT denní světlo a průvan nevdá.

- Teploty

Hodnoty teplot, při kterých tyto houby optimálně rostou, jsou v rozmezí 20-30 °C. Při méně vhodných podmínkách zpomalují svůj růst. Jsou-li vystaveny extrémně nízkým, nebo vysokým teplotám, dochází k jejich nevratnému poškození. Taková situace může nastat při dlouhodobém ochlazení pod teplotu -30 °C, nebo naopak zahřátím na vysoké teploty.

Destrukce začíná už při teplotách nad 60°C. Ke sterilizaci SL dochází při teplotě nad 80 °C, u GL jsou potřeba teploty o 10-20 °C vyšší.

Rychlost růstu dřevokazných hub a jejich destruktivních schopností je závislá především na dvou faktorech:

- vlhkosti dřeva,
- na jeho teplotě a teplotě okolního prostředí.

Samostatnou kapitolou je likvidace kořenového systému SL, tzv. „rhyzomorfy“.

Rhyzomorfy snadno prorůstají většinou stavebními konstrukcemi (včetně nezvibrovaného betonu), mohou se šířit od ložiska do vzdáleností mnoha metrů a zachovávají si schopnost opětovné aktivace mnoho let.

Podle různých zdrojů je objekt, kde byla jednou objevena dřevokazná houba „Dřevomorka domácí“, je tímto škůdcem objekt ohrožen po celou dobu své existence [11] [14].

3.3 Dřevokazný hmyz

Nejčastějšími biotickými škůdci staveb z říše hmyzu je hmyz řádu tesaříkovitých a červotoči. Méně často se potom vyskytují například pilořitky a drbohlavové či ostatní hmyz.

Pro všechny je charakteristické, že po většinu svého vývojového cyklu jsou ve formě larvy, nebo kukly, která je tzv. „zavrtána“ ve dřevě.

Tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*) je nejrozšířenější a nejnebezpečnější škůdce stavebních konstrukcí. Oplodněná samička může naklást až 600 vajíček.

Tesařík krovový napadá dřevo především jehličnanů a to jakéhokoliv stáří. Má relativně malý nárok na vlhkost napadeného materiálu nad 10%. To znamená, že teoreticky může napadnout každý zabudovaný dřevěný prvek, který nebyl preventivně ošetřen.

Tesařík krovový

Je druh tesaříka, který se často objevuje v krovech nových domů, protože na jejich konstrukci může být použito dřevo s nakladenými vajíčky tohoto brouka. Brouk pochází z Evropy, avšak v poslední době je rozšířen v mnoha částech světa (Středozeří, jižní Afrika, Asie, USA a Kanada). V současnosti byl objeven v Perthu v Austrálii.

Tesařík krovový dává přednost suchému měkkému dřevu. Na stromech žijí pouze larvy, které se vyvíjejí z nakladených vajíček. Vývoj od vajíčka po dospělého jedince trvá 2 - 3 roky, podle obsahu vlhkosti dřeva. Larvy dospívajícího brouka se zakuklí na jaře a dospělý brouk vylézá otvory o průměru 6–10 mm, které si ve dřevu „vyhlodá“. Dospělí brouci jsou nejaktivnější v létě.

Na těle má dva světlé pruhy, samička je delší než sameček.

Tělo je ploché, světleji nebo tmavěji černé až hnědé, jemně šedě ochlupené. Délka kolísá od 7 do 25 mm. Hlava je užší než štít, hrubě a hustě vrásčitě tečkovaná. Mezi tykadly je hlava téměř rovná. Tykadla jsou nepříliš silná a dosahují stěží do středu krovek. Štít je srdčitý, málo klenutý, tečkovaný, chomáčkovitě bíle sloupkovaný. Krovky jsou hrubě vrásčitě tečkované a obvykle opatřené dvěma nebo i více bělošedými skvrnami hustých chloupků. Samička má zadeček protažen v „kladélko“, které bývá stejně dlouhé jako zbytek těla. Štít má hustěji ochlupený a zadeček je protažen v patrné „kladélko“.

Larva tesaříka se vyznačuje silnými kusadly, poměrně zavalitou hrudí a třemi pod sebou sestavenými očky po straně ústního ústrojí. Larva je světle zbarvená, lesklá. Délka dorostlé larvy je 20 až 22 mm.

Tesařík krovový je vyvíjen pouze ve zpracovaném jehličnatém dřevě (v trámech, v sloupech). Brouci létají za horkých dnů, od poloviny června až do konce srpna, do poměrně malých vzdáleností. Samička žije asi 25 dní, ale vajíčka klade pouze 12 dní. Kladení vajíček je urychleno každým pářením. Vajíčka ukládá do prasklin ve dřevě do hloubky 20 až 30 mm. Ve 2 až 8 snůškách naklade průměrně 200 - 300 vajíček, z nichž se asi po týdně líhnou larvičky. Výjimkou ovšem není snůžka vyšší jak 500 vajíček. První chodbičky sledují vrstvy jarního dřeva. Jsou vyplněné drtí. Pak jsou s růstem larev chodby rozšiřovány.

Povrchová vrstva dřeva bývá zcela nedotčena, vrstva je tenká téměř jako papír. Postupně je běl larvami zcela rozložen (rozežrán), kdežto jádro zůstává obvykle nepoškozené. Vývoj trvá 2 až 10 (12) roků. Avšak vývoj závisí na kvalitě potravy, teplotě a vlhkosti dřeva.

Napadá dřevo o vlhkosti nad 10%.

Červotočovití – Červotoč umrlčí (*Anobium pertinax*), Červotoč proužkovaný (*Anobium striatum*) a další.

Červotoče umrlčí

Červotoč umrlčí je větší než červotoč proužkovaný, dosahuje délky 4 až 5 mm. Celé tělo je černohnědé, až černé, jen na štítu u obou zadních „rohů“ jsou zlatožluté skvrnky.

Ve způsobu života se podobá červotoči proužkovanému. Brouci se „rojí“ od dubna do června. Vedou noční způsob života. Samičky nakladou asi 30 vajíček do skulin obnaženého dřeva nebo

do starých chodeb. Chodba dospělé larvy, dlouhé až 9 mm, je široká kolem 3 mm, stejně tak výletový otvor je okrouhlý, o průměru 2,5 až 3 mm. Červotoč umrlčí potřebuje pro svůj vývoj vysokou vlhkost dřeva (nejméně 16 až 19%) a v zimě dočasné snížení teploty pod bod mrazu. K úhynu všech vývojových fází dochází při teplotě nad 50°C. Vývojový cyklus trvá nejčastěji 2 až 3 roky.

Červotoč umrlčí napadá především dřevo v místech vystavených působení zimních mrazů, zabudované již několik let, jehličnaté i listnaté. Ve zděných obytných domech se usidluje v podlahových prknech, v záklopech stropů a napadá velmi často nábytek především ze spodní strany, kde má dřevo vyšší vlhkost. Na střešních konstrukcích se vyskytuje méně často.

Červotoče proužkovaný

Červotoč proužkovaný je 3 až 4 mm dlouhý, světlehnědý až tmavohnědý brouk, na krovkách má 10 řad rovných a zřetelně tečkovaných rýh. K hromadnému rojení brouků dochází od dubna až do července. Brouci jsou patrioti, většina z nich zůstává na místě, kde se vylíhli, nebo poblíž. Samička klade obvykle do starých výletových otvorů, štěrbin ve dřevě, nebo na rovný, ale drsný povrch asi 30, za příznivých okolností až 60 vajíček.

Červotoč proužkovaný napadá především jehličnaté dřevo, dosti vzácně i listnaté, opracované a proschlé, které bylo již déle používáno. V jádrovém dřevě červotoč neprosperuje, vyvíjí se špatně. Charakteristické je, že trámy napadá jen na vnitřní straně místnosti. Venkovní stranu stěn domů a trámů nepoškozuje. Larvy vyvrtávají ve dřevě podélné chodby, jejichž hlavní část je soustředěna do letokruhů jarního dřeva. Velice často ho najdeme ve dnech skříní, nohách, na prahu u dveří. Délka dospělé larvy dosahuje 4 mm a šířka její chodby v této době bývá kolem 2 až 2,5 mm. Vývoj trvá 1 až 3 roky a závisí na okolní teplotě, vlhkosti a výživnosti dřeva.

Při relativní vlhkosti vzduchu pod 45% nedochází k líhnutí larev, protože nemohou prokousnout zaschlou blánu vajíčka. Červotoč proužkovaný je poměrně citlivý na teplotu, uvádí se, že již při 30°C dochází k tepelnému „šoku“ (uvádí se i teplota něco přes 40°C). Při 34°C nedochází k embryonálnímu vývoji a vajíčka hynou. Hyne též při nízkých teplotách a to kolem -18°C. Optimem pro vývoj larev je teplota 14 až 16°C při vlhkosti dřeva 15 - 18% a relativní vlhkosti vzduchu 70 až 80% [8] [9] [10] [12].

3.4 Vliv vlhkosti stavebních materiálů na výskyt biotických škůdců

- **vlhkost podkladu pod 10%** - podmínky jsou pro všechny škůdce nevhodné,
- **vlhkost nad 11-12%** - dřevo již může být napadeno hmyzem, především hmyzem řádu tesaříkovitého,
- **vlhkost nad 16-19%** - možnost výskytu červotočovitých činitelů,
- **vlhkost nad 20%** - dřevo je ohroženo dřevokaznými houbami, především Dřevomorkou domácí
- **vlhkost nad 25-30%** - možnost výskytu ostatních dřevokazných hub – Trámovky, Outkovky, atd.

Tab. č. 3 udává neoptimálnější teploty pro růst a „létální“ aktivitu dřevokazných biotických činitelů. Naopak poukazuje na dobu a teploty potřebných pro úspěšnou likvidaci těchto biotických činitelů.

Tab. 3: Vliv teploty na růst a inaktivaci biotických činitelů

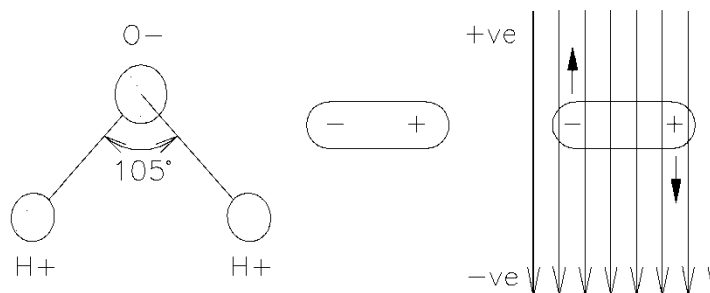
Škůdce	Optimální teplota aktivity	Letální teplota / ohřev
Dřevomorka domácí – <i>Serpula lacrymans</i>	25 - 30 °C	80 - 90°C / po dobu min. 1 hodiny
Trámovka trámová – <i>Gloeophyllum trabeum</i>	25 - 35°C	95 - 105°C / po dobu min. 1 hodiny
Tesařík krovový – <i>Hylotrupes bajulus</i>	25 - 30°C	nad 55 °C / po dobu min. 5 minut
Červotoč umrlčí - <i>Anobium pertinax</i>	18 - 22°C	nad 55 °C / po dobu min. 10 minut

Z uvedených podkladů je jednoznačně patrné:

Všude, kde se vyskytují biotičtí škůdci staveb je zvýšená vlhkost (ovšem ne všude, kde je zvýšená vlhkost stavebních konstrukcí, musí být i biotičtí škůdci).

4. PRINCIP PŮSOBENÍ MIKROVLNNÉ ENERGIE NA MOLEKULY VODY VE STAVEBNÍCH MATERIÁLECH

Molekuly vody jsou elektricky neutrální, přičemž mají bipolární charakter. V elektrickém poli se proto orientují podle polarity (kladná část k zápornému pólu a záporná část ke kladnému pólu), pokud se polarita střídá. A to je případ právě mikrovlnného záření. Polarita elektromagnetického pole se mění v závislosti na frekvenci F i více než 10^9 krát za sekundu.



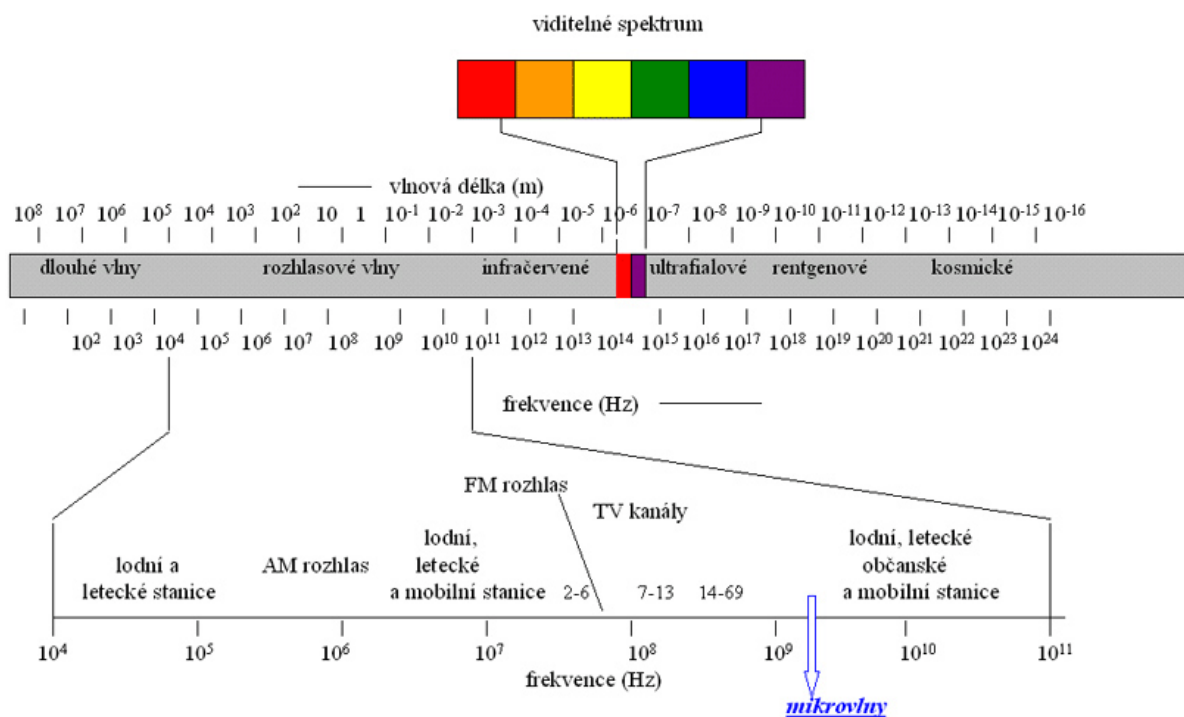
Obr. 4: Molekula vody a její orientace v elektrickém poli

Voda je vysoce polární látka, která velmi dobře absorbuje mikrovlnnou energii. Dochází k přeměně elektromagnetické energie na energii tepelnou a tím i k ohřevu molekul vody. Od nich potom dochází samozřejmě i k ohřevu okolního materiálu. V principu nelze podobné účinnosti dosáhnout jiným způsobem ohřevu.

Jiným způsobem lze říci, že při vysokých frekvencích záření, tj. při vysoké rychlosti střídání polarity (tzv. oscilační vibrace) a následné změně orientace molekul volně vázané vody vzniká tepelná energie třením jednotlivých molekul. Tento jev nazýváme polární rotací neboli frikcí. Laicky můžeme tento jev popsat následovně, po vstupu mikrovlnného záření do konstrukce dochází k velmi rychlým změnám polarity molekul volně vázané vody, což zapříčiňuje jejich rychlý pohyb v materiálu. Při tomto pohybu do sebe částice vzájemně „narážejí“, čímž vzniká tepelná energie. Jejím působením dochází k intenzivní přeměně vody ze skupenství kapalného na skupenství plynné a následně k odpařování vody z konstrukce [4] [7].

4.1 Obecné poznatky o mikrovlnné technologii ohřevu

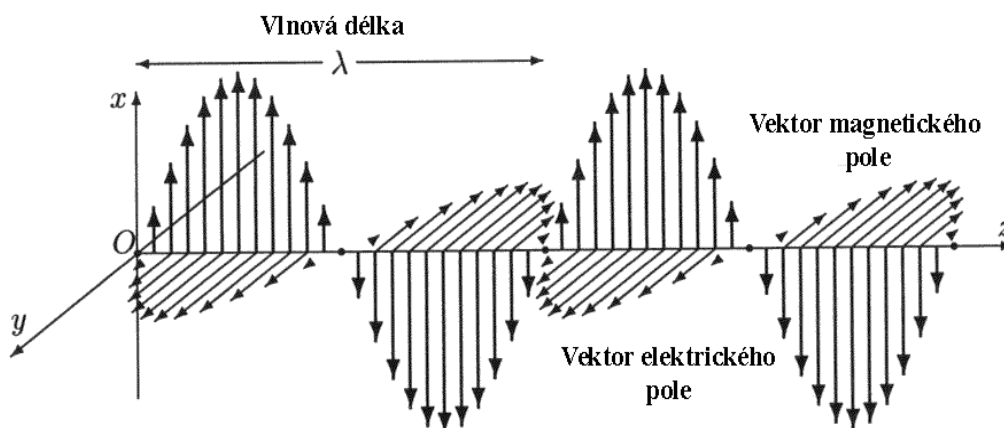
Mikrovlnami je nazývána část elektromagnetického záření o frekvenci od 300 MHz do 300 GHz, což odpovídá vlnovým délkám od 1 m do 1mm. Pro průmyslové účely je globálně určena frekvence 2,45 GHz s odpovídající vlnovou délkou 12,2 cm, kterou využíváme i v našich aplikacích.



Obr. 5: Spektrum elektromagnetických vln

Mikrovlnné záření patří do širokého spektra elektromagnetického vlnění zahrnující rovněž oblast viditelného světla, které se řídí Maxwellovými rovnicemi. Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny a zaujímají oblast mezi infračerveným zářením a rádiovými vlnami, jak je znázorněno na obr. č. 5.

Platí pro ně, že vektory charakterizující magnetické a elektrické pole jsou v každém bodě a v každém okamžiku k sobě kolmé a oba jsou kolmé ke směru pohybu vlny (obr. 6).



Obr. 6: Schéma elektromagnetické vlny délky λ – elektrická (x) a magnetická složka (y) vlnění

Jejich amplitudy mají konstantní poměr a ve vakuu se elektromagnetické vlny pohybují rychlostí světla, takže platí vztah:

$$\lambda = \frac{c_\lambda}{f} \quad [\text{m}],$$

kde

λ délka vlny [m],

c_λ rychlost šíření vlny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

f frekvence mikrovlnného záření [Hz] - [2450 MHz].

Mechanismus přeměny mikrovlnné energie na teplo je dán vztahem:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot \varepsilon'' \cdot E^2 \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}],$$

kde

P energie absorbovaná v jednotce objemu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$],

f frekvence mikrovlnného pole [2450 MHz],

ε' permitivita [$\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$],

ε'' dielektrický ztrátový faktor materiálu,

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

Vlnovou délku lze charakterizovat vztahem:

$$\lambda = \frac{c_\lambda}{f} \quad [\text{m}]$$

kde

λ délka vlny [m],

c_λ rychlost šíření vlny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

f frekvence mikrovlnného záření [Hz] (2450 MHz).

Výhody a nevýhody mikrovlnného ohřevu a záření

Výhody mikrovlnného záření jsou:

- tzv. „selektivní ohřev“, tj. u vícesložkových materiálů se ohřívá pouze složka absorbující větší množství elektromagnetické energie (tj. obsahující volně vázanou vodu);
- díky selektivnímu ohřevu je možné materiál ohřívát a dosáhnout daleko hlubšího ohřevu;

- rychlost vysoušení;
- menší energetická a finanční náročnost ve srovnání s horkovzdušným sušením.

Nevýhoda mikrovlnného záření je:

- možnost lokálního přehřátí v důsledku nehomogenity mikrovlnného pole i samotného materiálu. [4] [5]

4.2 Historie mikrovlnného záření

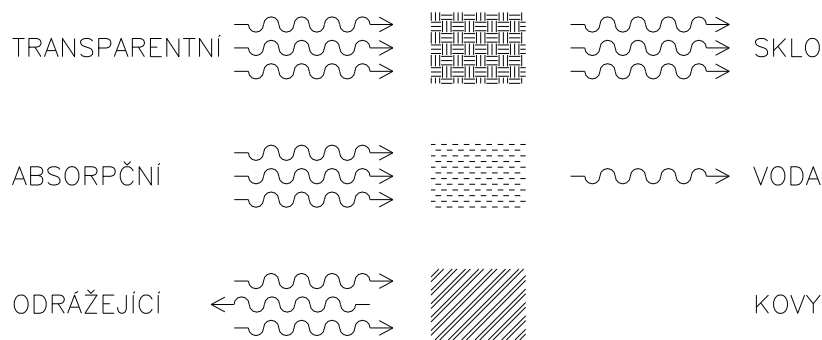
Objev elektromagnetického záření, v jehož spektru jsou mikrovlny, učinil James Clerk Maxwell v roce 1886 svými známými rovnicemi. V roce 1888 Heinrich Hertz demonstroval existenci elektromagnetických vln, když vyrobil aparaturu, která produkovala a detekovala mikrovlny ve spektru VKV (velmi krátkých vln).

První experimenty s využitím elektromagnetického záření v oblasti mikrovln v technické byly prováděny v Anglii a Německu na přelomu 30. a 40. let 20. století, především na univerzitě v anglickém Birminghamu. Prvním praktickým využitím mikrovln byl radar za II. světové války.

V roce 1947 si všiml zaměstnanec výrobce radaru (Percy Spencer), americké firmy Raytheon, že se mu v blízkosti radaru roztavila čokoláda. To ho přivedlo k myšlence zkonstruovat mikrovlnou troubu. První patent byl podán v roce 1952. První mikrovlnná trouba se objevila v roce 1961. Masového rozšíření se pak dočkala zásluhou japonské technologie sériové výroby magnetronů v 80. letech 20. století. [10]

4.3 Působení mikrovlnné energie na různé druhy materiálů

Mikrovlny se mohou 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 cca 9 krát 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 látkou.



Obr. 7: Mikrovlnné záření a jeho interakce s různými typy materiálů

Z hlediska látky (stavebního materiálu) a jeho interakce s mikrovlnami existují tři možnosti průstupu – viz. Obr. 7:

- a) transparentní /např. sklo – vlny materiálem projdou bez reakce,
- b) absorpční /např. voda – energie vln je přeměněna na teplo,
- c) odrážející /např. kovy – vlny jsou odráženy zpět do prostředí.

Pro stavební praxi je důležitý především případ „b“, tj. interakce mikrovln s vodou [4].

4.4 Konstrukce mikrovlnného zařízení

Nedá se přímo říci, že všechny námi používané mikrovlnné přístroje jsou identické, avšak konstrukčně jsou velmi podobné. Liší se například hmotností, danou variabilitou sestavení dílů, či vyzařovaným výkonem generátoru.

Skladbu mikrovlnného vysoušecího zařízení lze zjednodušeně popsat následovně:

- zdroj elektrické energie – transformuje elektrickou energii, napětí. Poté energii přivádí vývodem ke kabelovému napětí,
- kabelové vedení – přivádí transformovanou elektrickou energii a napětí do mikrovlnného generátoru,
- MW generátor – součástí MW generátoru je magnetron nebo klystron, který prostřednictvím „budiče“ mikrovln přeměňuje elektrickou energii na mikrovlnné záření,
- vlnovod – z budiče mikrovln vstupuje záření přímo do vlnovodu, odkud je přiváděno do antény,

- součástí mobilních zařízení bývá tzv. „anténa“, která usměrňuje tok mikrovlnného záření na předem stanovené místo stavebních konstrukcí, kterou je následně odráženo, pohlceno či danou konstrukcí prostupuje.

Na ústavu pozemního stavitelství Fakultě stavební VUT v Brně, jsou v současné době užívána zařízení bývalé polské firmy „Plazmatronika“.

Jedná se tyto zařízení:

- MWD 2000 GR 650 (0-650 W),
- MWD 2000 GR 700 (0-700 W),
- MWD 2000 GR 1200 (0-1200 W).

Tyto používaná zařízení mají plynulou regulaci mikrovlnného výkonu daného rozsahu.

Všechna výše uvedená zařízení mají tyto technické údaje a to:

- elektrické napětí: 230 V, 50 Hz,
- příkon 0,0-1,5 kW,
- frekvence=mikrovlny 2450 MHz,
- maximální mikrovlnný výkon 900 W.

Dále byly používány tyto mikrovlnné generátory:

a) MB elektronik MG

- elektrické napětí 230 V, 50 Hz,
- příkon 1,05 kW,
- frekvence=mikrovlny 2450 MHz.
- maximální mikrovlnný výkon 750 W

b) Přenosný generátor Romill G1/2011

- elektrické napětí 230 V, 50 Hz,
- příkon 1,5 kW,
- frekvence=mikrovlny 2450 MHz,
- maximální mikrovlnný výkon 1000 W.

4.5 Výběr mikrovlnného generátoru

Dle experimentálních měření prováděných na reálných stavbách a dle experimentů, které byly provedeny, můžeme konstatovat, že záleží na mnoho faktorech při výběru mikrovlnného generátorů.

- výkon mikrovlnného generátoru,
- vhodný tvar vlnovodu generátoru,
- manipulace, mobilnost přístrojů (materiál, hmotnost, ...).

Po několika měřeních a experimentech v laboratoři či terénních podmínkách se ukázalo, že tvar antény (vlnovodu) se ukázal jako směrodatná a nezbytně důležitá podmínka pro využitelnost mikrovlnného zařízení.

4.6 Mikrovlnná energie a bezpečnost práce

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

V důsledku toho 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:

- a) výkonu použitého zařízení,
- b) vlhkosti ohřívaného materiálu a rozložení vlhkosti.

K pohlcování mikrovln dochází okamžitě při jejich kontaktu s molekulami vody. Při zvýšené vlhkosti povrchových vrstev je tedy naprostá většina mikrovlnné energie "spotřebována" zde a teprve v průběhu vysoušení dochází k průniku do větších hloubky.

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 odražena do prostoru a část může pronikat ozařovaným materiálem, či konstrukcí. Pronikající a odražené mikrovlnné záření vytváří v okolí tzv. elektrosmog. A tím i prostředí, které je z hlediska zdravotního rizikové.

Mimo zdravotní rizika je nutno vzít v úvahu i nebezpečí poškození okolních elektronických zařízení. U mnohým WIFI zařízení se používá frekvence 2400 MHz, což je frekvence velmi blízká frekvenci 2450 MHz u běžně užívaných mikrovlnných generátorů.

Jak bylo řečeno v bodě 4.3 - z hlediska látky (stavebního materiálu) a jeho interakce s mikrovlnami existují tři možnosti prostupů:

- a) transparentní /např. sklo – vlny materiálem projdou bez reakce,
- b) absorpční /např. voda – energie vln je přeměněna na teplo,
- c) odrazující /např. kovy – vlny jsou odraženy zpět do prostředí.

Pro stavební praxi je důležitý především případ „b“, tj. interakce mikrovln s vodou.

5. VÝHODY A NEVÝHODY MIKROVLNNÉ TECHNOLOGIE ZÁŘENÍ PŘI SANACI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

U mikrovlnného ohřevu je využíván i selektivní ohřev tzn., že u vícesložkového materiálu dochází k ohřevu jen u složky, která absorbuje mikrovlny (obsahuje bipolární molekuly), tzn. obsahuje vodu. Při mikrovlnném sušení se tak ohřívá selektivně jen vlhké místo a sušení je mnohem rovnoměrnější, rychlejší a úspornější než při užití jiných metod sušení.

5.1 Výhody MW (mikrovlnné) technologie při vysoušení staveb, či sterilizaci biotických škůdců

Mezi výhody MW záření můžeme zařadit následující:

- dochází k hloubkovému ohřevu. Z experimentů je patrné, že prostup záření je závislý na vlhkosti materiálu čelní ozařované plochy,
- selektivní ohřev materiálů. Jedná se vícesložkový materiál, kde je ohřívána složka absorbující vodu. Od této složky jsou pak ohřívány i ostatní sousední materiály,
- rychlé vstřebávání molekul, vyzařovaných vln. Tento jev nastává, pokud se vypne mikrovlnný generátor, vlny se přestanou šířit,
- možnost lokálního použití na konkrétní část prvku. Na rozdíl od jiných technologií používaných při vysoušení lze mikrovlnnou energii směřovat k potřebným místům,
- možnost vysoušení konstrukcí v neuzavřených objektech (místnostech), kde není možné jiné druhy nuceného sušení použít,
- důležitým aspektem kromě vysoušení je určitě sterilizace biotických činitelů. Tím je myšleno dřevokazné houby (dřevomorka domácí, ...), plísňe a dřevokazný hmyz (tesařík, červotoč, apod.).

5.2 Nevýhody MW (mikrovlnné) technologie při vysoušení staveb, či sterilizaci biotických škůdců

Mezi nevýhody MW záření můžeme zařadit následující:

- požadavek na odbornou způsobilost s EMW zařízením. Toto zařízení by nemělo být obsluhováno osobami, které nejsou dostatečně seznámeny s funkcí a obsluhou daného zařízení,

- vlivem působení EMW záření na různé druhy materiálů může docházet k lokálnímu přehřátí. Toto riziko je především u dřevěných konstrukcí, které by mohlo být příčinou požáru,
- možný negativní vliv na lidský organismus – elektrosmog. Při práci s EMW záření je nutné dodržovat veškeré bezpečnostní předpisy, které se k této pracovní činnosti vztahují. U mikrovlnného vysoušení, či sterilizaci biotických činitelů bychom se měli v době ozařování zdržovat v bezpečné vzdálenosti od mikrovlnných generátorů. Důvodem je to, že i odrážené vlny působí velmi vysokou intenzitou v ozařovaném prostoru. Dochází tak k ozařování a ohřívání živých buněk, či tkáně.

5.3 Průnik EMW do hloubky vlhké konstrukce

Při působení EMW záření na vlhké materiály dochází k přeměně energie v energii tepelnou při každém kontaktu s molekulami vody. EMW záření je nejprve pohlcováno v povrchových vrstvách. Teprve po snížení vlhkosti na čelní straně ozařovaného materiálu, proniká energie hlouběji.

5.4 Průběh vysoušení

Celý průběh vysoušení lze rozdělit na čtyři zásadní části:

- vlastní ohřev molekul vody, spojený se sekundárním ohřevem konstrukce,
- odpařování nejdříve ohřáté vody obsažené v povrchové vrstvě,
- zvětšení objemu vody v důsledku jejího ohřevu. Zvětšení objemu způsobuje nárůst tlaku, který se šíří všemi směry, tedy i k povrchu vysoušeného materiálu a způsobuje vytlačování ohřáté vody na povrch,
- „vydýchání“, v průběhu postupného chladnutí dochází k průběžnému odpařování vody, která je na povrchu materiálu. V důsledku rozdílu vlhkosti na povrchu a v hloubce, dochází k rozdílu tzv. parciálního tlaku, který zabezpečí transport vlhkosti na povrch. K odpařování vlhkosti z povrchu vysoušeného materiálu je potřeba značné teplo (výparné teplo kapaliny). V důsledku toho dochází k ochlazení povrchu vysoušeného materiálu i vzduchu v okolí.

Faktory ovlivňující rychlost vysoušení:

- gradient teploty,
- obsah vlhkosti v povrchové vrstvě,
- relativní vlhkost vzduchu, který je v bezprostředním kontaktu s vysoušeným materiálem,
- schopnost materiálu distribuovat vodu z vlhkého jádra k povrchu,
- tepelná vodivost vysoušeného materiálu,
- povrchová úprava vysoušeného materiálu.

5.5 Nerovnoměrnost vyzařování

Na všech snímcích, které byly pořízeny pomocí termovizní kamery, je vidět nerovnoměrné rozložení teplotního pole povrchu ozařovaného pole. Příčinou je tvar antény, která usměrňuje tok elektromagnetického pole od magnetronu. Tato negativa lze částečně odstranit vzájemným překrýváním ozařovaných ploch.

5.6 Rychlost vysoušení

Na rychlost vysoušení mokré stavební konstrukce má vliv nejen souhrnná doba, po kterou jsou jednotlivá místa ozařována, ale i doba přestávek mezi nimi. Tedy doba „vydýchávání“.

V rámci experimenty byly porovnávány dva cykly, s různě dlouhými časovými intervaly pro ozařování a „vydýchání“. Přičemž celkový čas působení mikrovln na jednotku plochy a tím i energetické náklady byly v obou případech stejné (viz experiment 4).

6. VYMEZENÍ A CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Možnost sterilizace stavebních materiálů napadených biotickými škůdci za pomoci mikrovlnné technologie bylo již mnohokrát prokázáno. Stále častěji se EMW (mikrovlnné) záření používá v různých typech stacionárních zařízení. Ať se jedná o vysoušení a sterilizaci dřeva, či o vysoušení předmětů, u kterých došlo k výraznému provlhčení vlivem vnějších podmínek. Vznikaly tak podmínky pro růst biotických činitelů. Příkladem může být vysoušení a sterilizace archiválií zachráněných z objektů postižených povodněmi.

Postupy v těchto případech byly mnohokrát ověřeny a zdokumentovány. Ovšem tyto práce probíhají při dodržování přesně stanovených podmínek, které je často obtížné splnit za běžných podmínek.

6.1 Vymezení disertační práce

Využitím mikrovlnné technologie ve stavební praxi, tzn. při odstraňování závad a likvidaci nežádoucích biotických činitelů, se zabývá řada osob a společností. Většina z nich však poznatky a zkušenosti, které při své práci získali, považuje zcela pochopitelně za své „know-how“. A tak nastává situace, kdy odborná veřejnost o možnosti využívání mikrovlnné elektromagnetické energie se dozvídá pouze sporadicky. Nedostupné, nebo pouze velmi obtížně dostupné jsou ověřené výsledky, získané v terénních podmínkách.

6.2 Motiv disertační práce

Motivem této práce bylo pomocí laboratorních experimentů a následných měření prováděných IN SITU získat dostatečné množství základních informací o možnostech využití EMW technologie a ty pak vzájemně porovnat.

6.3 Cíle disertační práce

Cílem této práce bylo získat a zdokumentovat co nejvíce přesných dat a na základě toho vymežit výhody a nevýhody použití EMW technologie. A to jednak při ohřevu a vysoušení stavebních materiálů, tak i možnosti sterilizace stavebních materiálů a konstrukcí v případech výskytu biotických škůdců.

S přítomností těchto činitelů se v dnešní době bohužel setkáváme v hojné míře nejen u starších objektů, ale i v novostavbách. Příčin takového stavu může být celá řada. Nejčastěji se jedná:

- vady projektu,
- závady vzniklé při realizaci stavby, či rekonstrukce,
- nevhodná volba použitých materiálů, nebo technologií,
- následky různých havárií,
- nevhodné využívání interiéru, případně celé stavby.

Veškeré experimenty i zkoušky prováděné IN SITU byly rozděleny do tří okruhů.:

- ověření možnosti likvidace biotických škůdců staveb a stavebních materiálů pomocí EMW technologie a vyhodnocení využití této metody ve stavební praxi,
- ověřit možnosti mikrovlnného hloubkového ohřevu různých druhů stavebních materiálů a konstrukcí,
- ověřit možnosti hloubkového vysoušení stavebních materiálů a konstrukcí a tím odstranit podmínky vhodné pro aktivitu biotických škůdců.

7. OHŘEV A VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ MIKROVLNNOU ENERGIÍ

Výzkum byl rozdělen do několika samostatných experimentů. Cílem bylo zjistit možnosti a účinnost použití mikrovlnné energie při ohřevu a vysoušení různých stavebních materiálů a eliminace růstu podmínek pro výskyt a likvidaci biotických škůdců staveb.

První část experimentů byl uskutečněn ve zkušebních prostorech Ústavu pozemního stavitelství VUT Brno,

Je ovšem nutno si uvědomit, že laboratorní podmínky mohou být mnohdy výrazně odlišné od praktického využití na reálných stavbách.

Měření bylo zaměřeno především na:

- hloubku ohřevu ozařovaných vzorků při různých podmínkách,
- vliv vlhkosti ozařovaného vzorku na průnik MW záření,
- analýzu rychlosti prohřevu ozařovaného materiálu při různých délkách cyklu ohřev-chladnutí a s tím souvisejícího úbytku vlhkosti,
- rozložení vlhkostního pole v průřezu zkušebního vzorku v průběhu vysoušení.

K jednotlivým experimentům byly vybrány, jako zástupci stavebních materiálů tyto druhy:

- z pálených materiálů CPP (cihla plná pálená),
- pórobetonové tvárnice různé tloušťky,
- trámký ze smrkového hraněného řeziva.

Cílem těchto experimentů bylo ověřit:

- vliv obsažené vlhkosti ozařovaných materiálů na hloubku jejich prohřevu, průniku EMW záření,
- analýza rychlosti prohřevu, průniku EMW záření při různých intenzitách ohřevu,
- teplotní nárůsty zejména při sušení pomocí EMW záření,
- teploty chladnutí, při stejné souhrnné délce ozařování,
- porovnání hodnot dosažených teplot v různých hloubkách ozařovaného materiálu,
- zjišťování úbytku vlhkosti.

K měření bylo použito těchto přístrojů:

- mikrovlnný generátor s příkonem 1100 W a vyzařovacím výkonem 750 W,
- digitální váhy Kern 572 DS,
- termovizní kamera FLIR i7,
- přístroj na měření vlhkosti MOIST 210B s patřičnými hloubkovými sondami,
- hrotový vlhkoměr Greisinger GRM 100,
- termohydrometr Greisinger GFTH 200,
- fotoaparát Panasonic, Lumix DMC-FZ28.

Důležité aspekty, kterými je ovlivňován průběh vysoušení stavebních materiálů:

- výchozí teplota vysoušeného vzorku,
- teplota okolního vzduchu a jeho relativní vlhkost,
- proudění vzduchu v bezprostřední blízkosti vysoušených ploch, ovlivňující rychlost odpařování povrchové vlhkosti,
- schopnost vysoušeného materiálu transportovat vlhkost z hlubších vrstev k povrchu.

7.1 Ohřev a vysoušení zdiva z CPP

7.1.1 Experiment č. 1

7.1.1.1 Popis experimentu č. 1

Vlhký pilíř o rozměrech 600 x 300 x 290 mm vyzdřený z cihel plných pálených byl 2x ozařován dvěma přístroji MB elektronik MG. Po každém ohřevu byla měřena povrchová teplota na přední a zadní straně.

Vlhkost pilíře byla měřena na povrchu a v hloubce 110 mm před prvním ozařováním, před druhým ozařováním a 120 minut po druhém ozařování.

Postup průběhu experimentu:

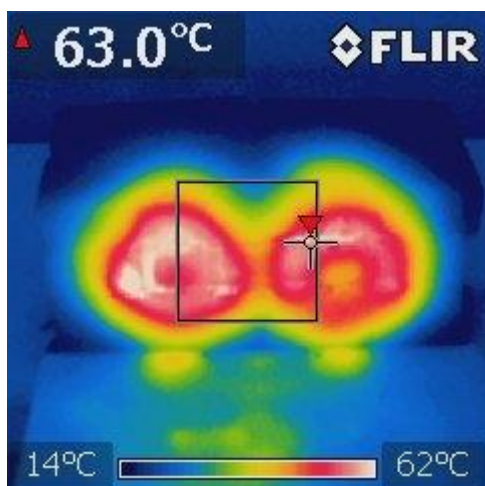
- ponoření CPP na 12 hodin do vodní lázně,
- vyjmutí z vodní lázně, zabalení CPP do fólie na 24 hodin,
- vyzdění pilíře 600 x 300 x 290 mm a zabalení do fólie na 48 hodin,
- vyznačení měřících bodů vlhkosti (4 místa na čelní a 4 místa na zadní straně),
- měření vlhkosti na přední a zadní straně, měření v hloubce 110 mm,

- 30 minutový ohřev,
- měření povrchových teplot,
- samovolné chladnutí po dobu 120 minut,
- měření vlhkosti na povrchu a v hloubce 110 mm,
- 90 minutový ohřev,
- měření povrchových teplot,
- samovolné chladnutí po dobu 120 minut,
- měření vlhkosti.

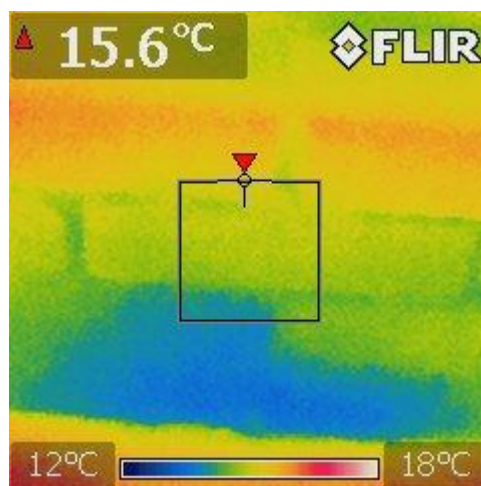
Obr. 8, 9 znázorňuje reálné ponoření CPP do vodní lázně a vyzdění pilíř.



Obr. 8 a 9: Namočení cihel a vyzdění pilíře 600x300x240 mm

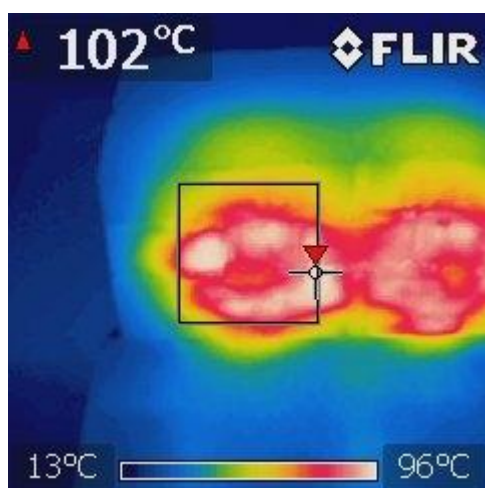


čelní strana

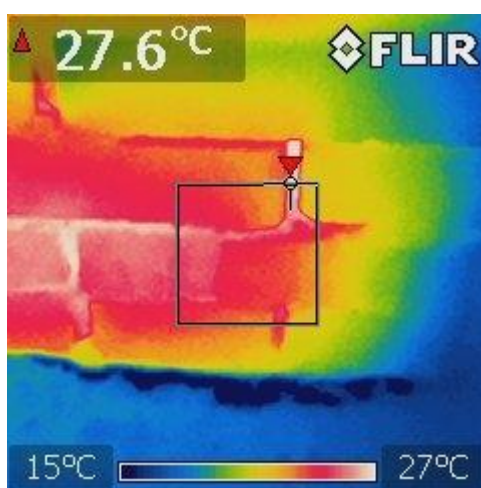


zadní strana

Obr. 10 a 11: Teplota po prvním 30-ti minutovém ohřevu



čelní strana



zadní strana

Obr. 12 a 13: Teplota po druhém 90-ti minutovém ohřevu

Obr. 10, 11 ukazují naměřené hodnoty teplot přední a zadní straně pilíře po prvním 30-ti minutovém ohřevu.

Obr. 12, 13 znázorňují taktéž hodnoty povrchových teplot po druhém cyklu ohřevu.

Před prováděním vysoušení vyzděného cihelného pilíře byly naměřeny tyto veličiny s hodnotami:

Teplotně-vlhkostní podmínky v interieru:

- teplota vzduchu 16,2°C,
- relativní vlhkost vzduchu 53%.

V tab. č. 4 jsou popsány teploty před ohřevy při vysoušení pilíře z CPP a teploty po jednotlivých fázích ukončení ohřevů. Teploty vždy byly měřeny na přední a zadní straně na předem označených místech.

Tab. 4: Teploty po prvním a druhém ohřevu

	Teplota před ohřevem	Po prvním ohřevu	Po druhém ohřevu
Přední strana	16,4°C	63,0°C	102,0°C
Zadní strana	16,4°C	17,1°C	27,6°C

V tab. č. 5 jsou popsány hodnoty velikosti vlhkostí. Vlhkost byla měřena vlhkoměrem MOIST se sondou do hloubky 110 mm. Vlhkost pilíře byla měřena po jejím vyzdění a zatvrdnutí ložných a styčných spár (před ozařováním) a po jednotlivých fázích ohřevů a hodinových (dvou) vydýchání pilíře.

Tab. 5: Naměřené vlhkostní hodnoty po ohřevech + vydýchání

Měřeno vlhkoměrem MOIST 210B	Po vyzdění	Po prvním ohřevu + 120 minut vydýchání	Po druhém ohřevu + 120 minut vydýchání
Sonda 110 mm	9,3%	6,8%	4,1%

7.1.1.2 Vyhodnocení experimentu č. 1

Vyzděný vzorek pilíře z plných pálených cihel (CPP-290 x 140 x 65 mm) byl ozařován dvěma přístroji MG elektronik o souhrnném vyzařovacím výkonu 1500W (2 x 750 W). Vysušování probíhalo ve dvou časových cyklech (30 a 90 minut).

Po prvním ozařování nedošlo k ohřevu masivu v celém průřezu. Změřený nárůst povrchové teploty na zadní straně byl pouhých 0,7°C a tudíž lze konstatovat, že u vyzděného pilíře nebyl prokázán dostatečný ohřev v celém průřezu.

Při postupném chladnutí bylo viditelné nejprve intenzivní odpařování a následné vysýchání čelní plochy. Ke konci druhého ohřevu bylo viditelné unikání vodní páry z vysoušeného bloku.

Teprve po druhém ozařování, což je v souhrnu 120 minut byl naměřen nárůst teploty na zadní straně 11,2°C.

7.2 Ohřev a vysoušení pórobetonových tvárnic

Popis experimentu

Experimenty na ohřev a vysoušení pórobetonových dílců byly rozděleny do několika okruhů, ve kterých se ověřovala hloubka ohřevu v závislosti na časových intervalech ozařování. Vliv jednotlivých fází ohřevu na rozložení vlhkostního ozařovaného pole a porovnání rychlosti vysoušení při různých délkách cyklu „ohřev-chladnutí“.

7.2.1 Experiment č. 2

7.2.1.1 Popis experimentu č. 2

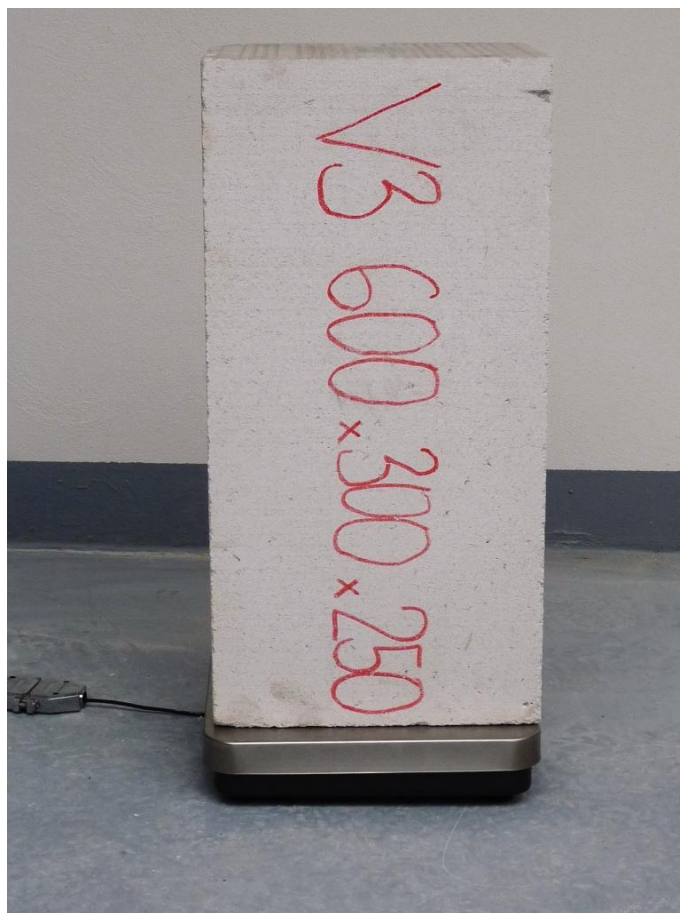
Vysoušení pórobetonového bloku o rozměrech 600 x 300 x 250 mm probíhalo následovně.

Před experimentem byl zkušební vzorek dva měsíce (červenec, srpen 2013) uložen ve zkušebních prostorech VUT. Teplotně vlhkostní podmínky vnitřního prostředí byly ustálené. Teplota vzduchu 20 – 23°C, relativní vlhkost vzduchu 48 – 52%.

Postup průběhu experimentu:

- zvážení suché tvárnice,
- měření povrchové vlhkosti,
- ponoření tvárnice do vodní lázně po dobu 18 hodin,
- vyjmutí z vody, 1 hodina okapání, zabalení do PVC fólie na 48 hodin,
- zvážení navlhčeného vzorku,
- změřena povrchová vlhkost navlhčeného vzorku,
- 30 minut ozařování dvěma přístroji,
- 60 minut chladnutí a vysychání,
- zvážení a změření povrchové vlhkosti,
- ohřev 30 minut,
- 60 minut chladnutí a vysychání,
- zvážení a změření povrchové vlhkosti po druhé etapě ohřevu,
- ohřev 30 minut,
- 60 minut chladnutí a vysychání,
- zvážení a změření povrchové vlhkosti po třetí etapě ohřevu,
- 18 hodin chladnutí a vysychání,
- závěrečné zvážení a změření povrchových vlhkostí.

Reálná pórobetonová tvárnice daných rozměrů na obr. 14. Tvárnice byla před namočením zvážena.



Obr. 14: Pórobetonová tvárnice 600x300x250 mm

Na obr. č. 15 jsou jasně viditelné elektromagnetické zářiče, s kterými experimenty a vysoušení pórobetonových bloků provedeny.

Na následujícím obr. č. 16 znázorněna naměřená reálná hodnota povrchové vlhkosti. Povrchová vlhkost byla měřena hrotovým vlhkoměrem.



Obr. 15: Ozařování pórobetonu s přístroji MG elektronik MB



Obr. 16: Povrchová vlhkost po prvním ohřevu

Hmotnost v „suchém“ stavu byla navýšena po namočení téměř o více než 11.200 g. Po jednotlivých fázích ohřevů a následném vydýchání hmotnost postupně klesala. Po konečném cyklu vysušování a vydýchávání se nechal v laboratorních podmínkách vzorek do druhého dne přirozeně vychladnout. Úbytek hmotnosti po 3 x 30 minutových ohřevů a vydýchání činil více jak 7.000 g. Průběh poklesu hmotností po jednotlivých fázích ohřevů je uveden v tab. č. 6.

Tab. 6: Úbytek hmotnosti po cyklech ohřevů

	Počáteční	Po namočení	Po ohřevu č. 1	Po ohřevu č. 2	Po ohřevu č. 3	Po vychladnutí
Hmotnost v g	17.518,5	28.749	27.661	26.698	25.590,5	21.740
Hmotnost v %	100,00	164,10	157,90	152,40	146,08	124,10

Pokles hodnot vlhkosti jsou uvedeny v tab. č. 7. Tyto hodnoty byly měřeny po jednotlivých fázích ohřevů a následném časovém „vydýchávání“. V tabulce jsou uvedeny i výchozí a konečná vlhkost.

Tab. 7: Hodnoty vlhkostí po cyklech ohřevů

Povrchová vlhkost	počáteční	38%	28%	17,5%	16,4%	14,9%
Objemová	počáteční	64,1%	57,9%	52,4%	46,1%	24,1%

7.2.1.2 Vyhodnocení experimentu č. 2

Při experimentu byly vyhodnocovány pouze úbytky hmotnosti a hodnoty povrchové vlhkosti v jednotlivých fázích experimentu. Povrchové teploty, které byly dosaženy po jednotlivých cyklech ozařování, nebyly vyhodnocovány.

V průběhu prvního ohřevu a následného chladnutí došlo k výraznému vysušení povrchové vrstvy a tím i výraznému poklesu její vlhkosti. V dalších fázích byla ohřívána voda ve větší hloubce. To mělo za následek její vytlačování k povrchu. Přes výrazný pokles množství vody v ozařovaném vzorku byl pokles povrchové vlhkosti pomalý. Během části druhého a především třetího cyklu ohřevu byl průnik elektromagnetických vln stále hlubší. V průběhu následujících 18 hodin, kdy docházelo k chladnutí materiálu vzorku na teplotu okolního vzduchu, pokračovalo vysoušení, i když již nebyl vzorek ohříván.

Experiment ovšem probíhal za podmínek, které se v praxi nevyskytují. Odpařování vlhkosti z povrchu zkušební vzorku do okolního prostředí probíhalo do pěti stran.

Na vysoušení pórobetonové tvárnice bylo spotřebováno 6,3kWh elektrické energie. Pórobetonová tvárnice byla ozařována dvěma přístroji. Celková doba ozařování byla 1,5 hod. V tab. č. 8 jsou uvedeny úbytky vlhkosti, vody a přepočet úbytku vody na 1 přístroj za hodinu.

Tab. 8: Hodnoty po experimentu č. 2

Celková doba ozařování	1,5 hod.
Spotřeba elektrická energie	6,3 kWh
Vyzářená elektromagnetická energie	4,5 kWh
Úbytek vlhkosti v g	7.009g
Úbytek vody v %	40,0%
Úbytek vody na 1 přístroj/hodinu	2.336g

7.2.2 Experimentu č. 3

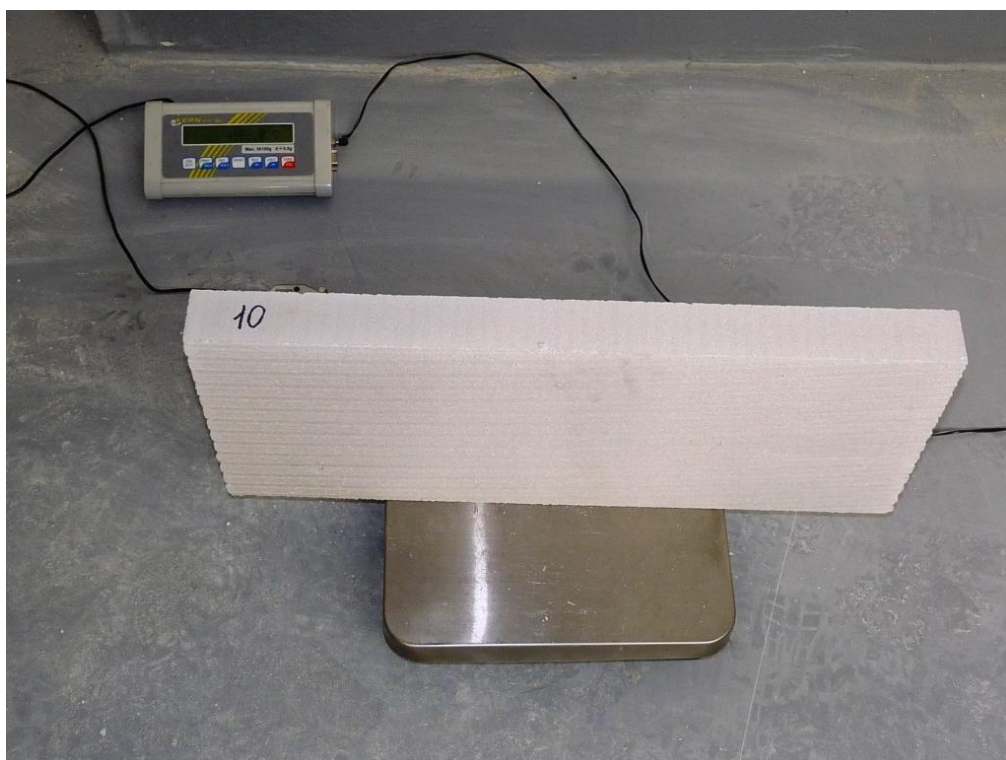
7.2.2.2 Popis experimentu č. 3

V počtu 12 ks pórobetonových tvárnic o rozměrech 600 x 50 x 250 mm bylo navlhčeno a sestaveno do 3 bloků po 4 ks tvárnic. Vysoušení každého bloku probíhalo v jiných časových intervalech cyklu ohřev – chladnutí. Souhrnná doba ohřevu byla však u všech bloků stejná.

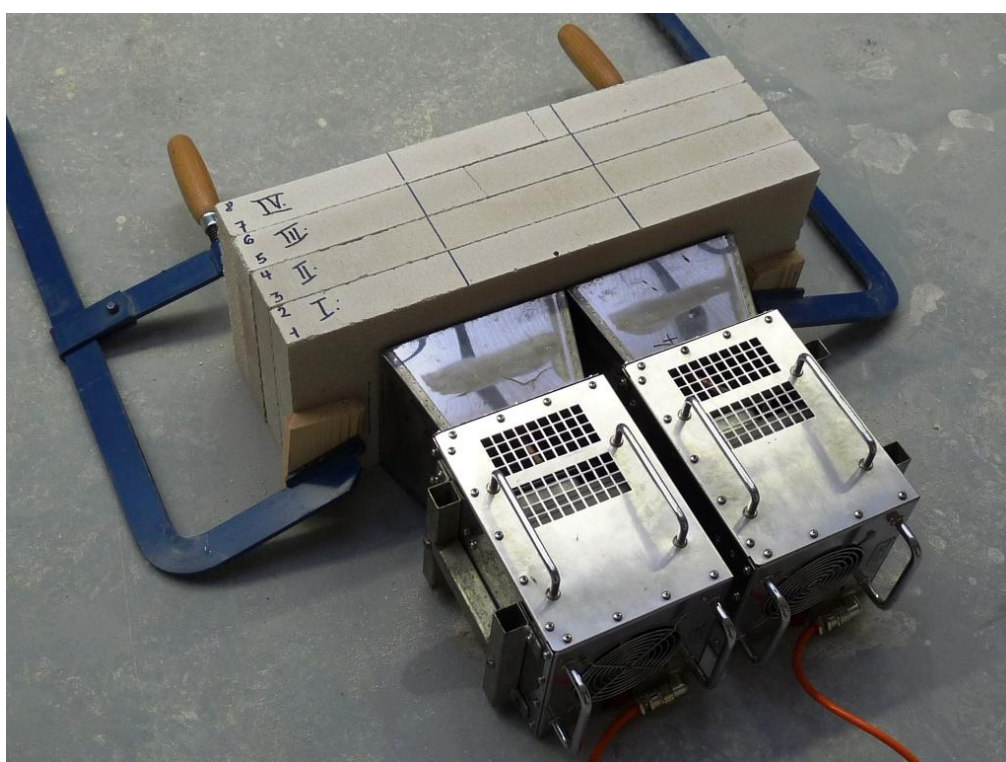
Bezprostředně po ukončení fáze ohřevu byl vždy blok rozebrán, u každé tvárnice změřena povrchová teplota na čelní a zadní straně, poté byly tvárnice zváženy a opět sestaveny.

Postup průběhu experimentu:

- zvážení a popsání jednotlivých vzorků,
- ponoření tvárnic na 60 minut do vodní lázně,
- vyjmutí z vody, 30 minut vyrovnání absorbované vlhkosti, zabalení do PVC fólie na 22 hodin,
- zvážení jednotlivých tvárnic,
- vysoušení sestaveného bloku (každý blok vysoušen v jiném časovém cyklu),
- 120 minut po posledním ohřevu byly bloky demontovány a jednotlivé tvárnice zváženy.



Obr. 17: Hmotnost jedné z dílčí pórobetonové tvárnice



Obr. 18: Sestavený blok čtyř pórobetonových tvárníc

U obr. č. 17 je zobrazena pórobetonová tvárnice, z které byly sestaveny pórobetonové bloky, jako tomu je na obr. 18. Na obr. 18 jsou zobrazeny mikrovlnné generátory MG elektronik MB.

Časové intervaly ohřevu a chladnutí sestavených bloků:

Blok č. 1:

- 4 x 15 minut ohřev, přestávky mezi jednotlivými ohřevy 15 minut,

Blok č. 2

- 3 x 20 minut ohřev, přestávky mezi jednotlivými ohřevy 20 minut,

Blok č. 3.

- 2 x 30 minut ohřev, přestávka mezi ohřevy 30 minut.

Kontrola hmotnosti jednotlivých prvků pórobetonových tvárnic byla provedena před vysoušením a 18 hodin po jeho ukončení.

Po každé jednotlivé etapě ozařování byly bloky rozebrány, u jednotlivých desek byla změřena povrchová teplota na přední a zadní straně a poté byly bezprostředně bloky opět sestaveny v jeden celek.

Celý experiment byl zaměřen:

- měření teplot dosažených v různých hloubkách vlhkého bloku,
- vyhodnocení úbytku vlhkosti v jednotlivých vrstvách,
- na základě naměřených povrchových teplot desek a vyhodnocení průniku mikrovlnného záření celým ozařovaným blokem.

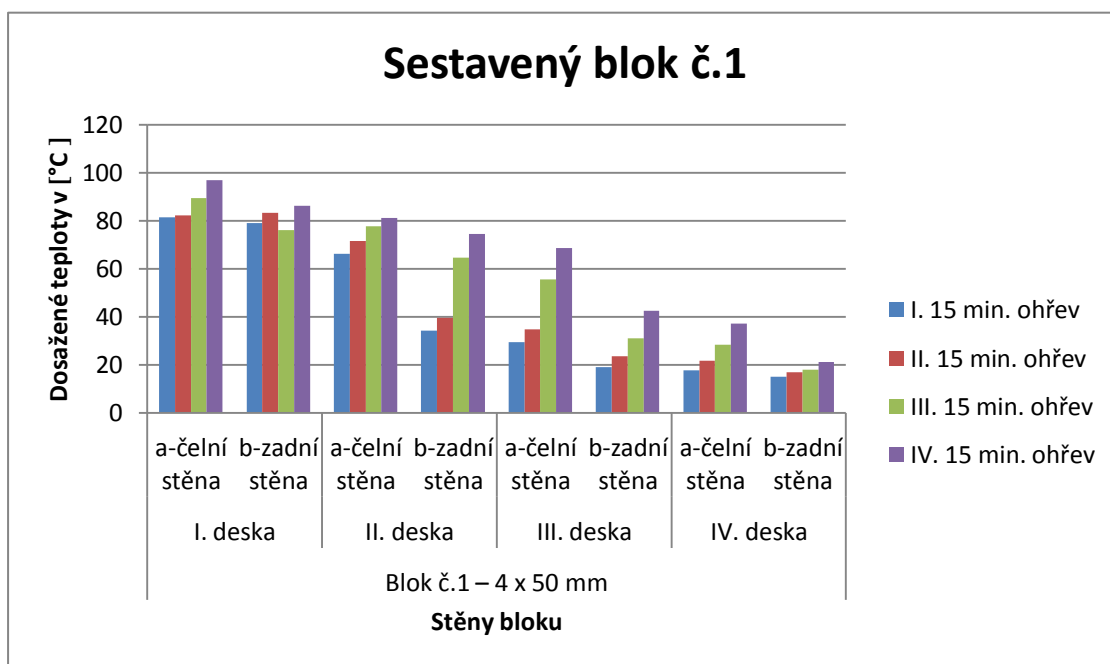
Blok č. 1

Hodnoty uvedené v tab. č. 9 udávají ohřev pórobetonových tvárnic spojeného sestaveného bloku. Zároveň jsou uvedeny vždy hodnoty na předních a zadních stranách desek po jednotlivých fázích ohřevů. Vždy po ukončení fáze ohřevu byl vzorek rozebrán pro snadnější naměření hodnot teplot na předních a zadních stěnách. Po ukončení měření teplot jednotlivých stran desek bloku byly všechny tvárnice pevně spojeny pro následný další interval ohřevu. Jednalo se celkem o 4 intervaly ohřevu po 15-ti minutových cyklech.

Tab. 9: Povrchové teploty tvárnic po 15 min. cyklech ohřevů

Ohřev č.	Blok č. 1 – 4 x 50 mm							
	I. pórobetonová deska		II. pórobetonová deska		III. pórobetonová deska		IV. pórobetonová deska	
	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna
1	81,3°C	79,1°C	66,3°C	34,2°C	29,3°C	19,0°C	17,6°C	15,1°C
2	82,3°C	83,4°C	71,5°C	39,4°C	34,7°C	23,6°C	21,7°C	16,9°C
3	89,4°C	76,1°C	77,7°C	64,6°C	55,5°C	31,0°C	28,4°C	17,9°C
4	96,9°C	86,1°C	81,2°C	74,5°C	68,7°C	42,4°C	37,0°C	21,0°C

V grafu č. 1 jsou zobrazeny nárůsty teplot pórobetonových tvárnic po jednotlivých fázích ohřevů. Celkem byl sestavený pórobetonový blok ozařován ve čtyřech fázích. Viditelně došlo při postupném ozařování a vydýchání k transportu vlhkosti z první desky k desce poslední. U první desky postupně vlhkost klesala a tak se průnik záření mohl dostávat hlouběji k poslední pórobetonové tvárnici. Citelně se tak zvyšovaly teploty dalších tvárnic.



Graf 1: Pohyb teplot na čelních i zadních stranách po 15 min. cyklech ohřevů

Blok č. 2

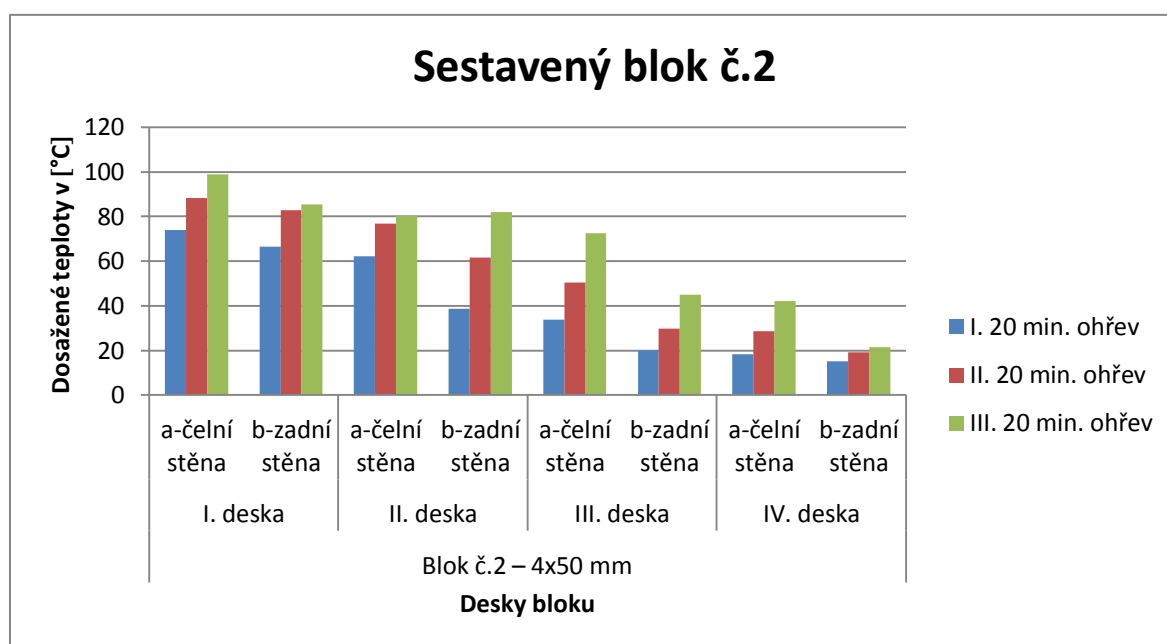
Hodnoty uvedené v tab. č. 10 udávají ohřev pórobetonových tvárnic spojeného sestaveného bloku. Zároveň jsou uvedeny vždy hodnoty na předních a zadních stranách desek po jednotlivých fázích ohřevů. Vždy po ukončení fáze ohřevu byl vzorek rozebrán pro snadnější naměření hodnot teplot na předních a zadních stěnách. Po ukončení měření teplot jednotlivých

stran desek bloku byly všechny tvárnice pevně spojeny pro následný další interval ohřevu. Jednalo se celkem o 3 intervaly ohřevu po 20-ti minutových cyklech.

Tab. 10: Povrchové teploty tvárnic po 20 min. cyklech ohřevů

Ohřev č.	Blok č.2 – 4x50 mm							
	I. pórobetonová deska		II. pórobetonová deska		III. pórobetonová deska		IV. pórobetonová deska	
	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna
1	73,8°C	66,6°C	62,2°C	38,6°C	33,9°C	20,1°C	18,2°C	15,1°C
2	88,3°C	82,7°C	76,7°C	61,5°C	50,4°C	29,8°C	28,5°C	19,2°C
3	98,9°C	85,4°C	80,1°C	82,1°C	72,6°C	45,1°C	42,0°C	21,5°C

V grafu č. 2 je také uveden postupný vzestup teplot u pórobetonových bloků po fázích ohřevů. Je vidět postupná eliminace vlhkosti sestavených pórobetonových tvárnic, tvořící ozařovaný blok. Díky eliminaci vlhkosti teplota znatelně rostla při následujícím ohřevu.



Graf 2: Pohyb teplot na čelních i zadních stranách po 20 min. cyklech ohřevů

Blok č. 3

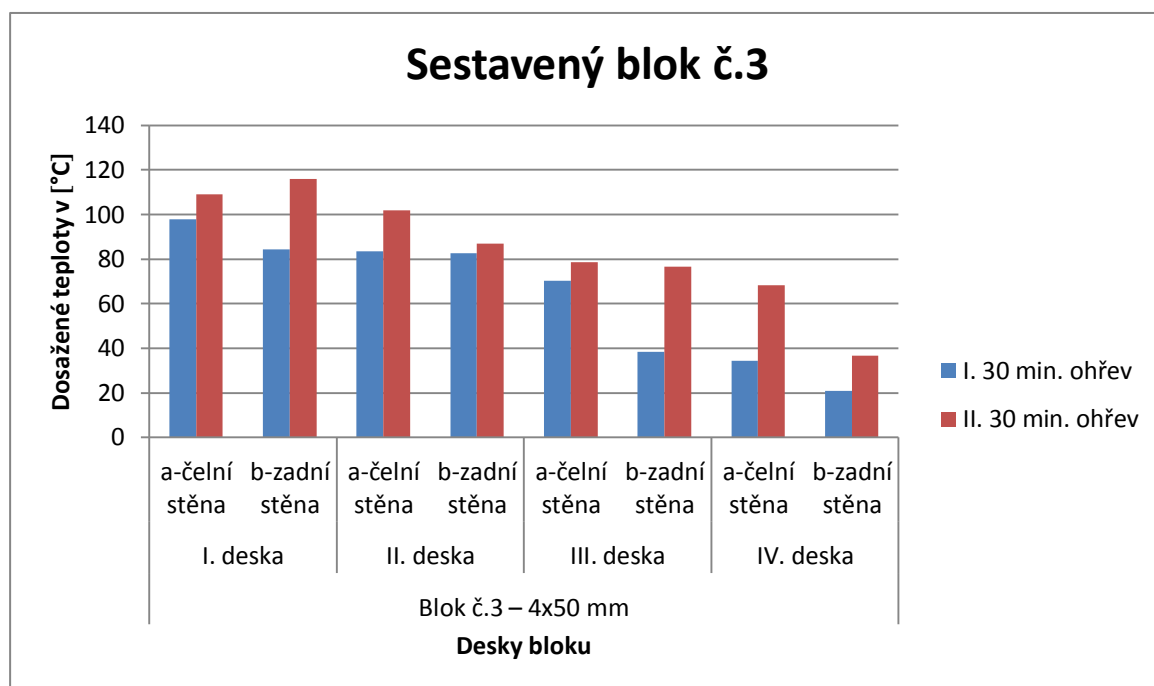
Hodnoty uvedené v tabulce č. 11 udávají ohřev pórobetonových tvárnic spojeného sestaveného bloku. Zároveň jsou uvedeny vždy hodnoty na předních a zadních stranách desek po jednotlivých fázích ohřevů. Vždy po ukončení fáze ohřevu byl vzorek rozebrán pro snadnější naměření hodnot teplot na předních a zadních stěnách. Po ukončení měření teplot jednotlivých

stran desek bloku byly všechny tvárnice pevně spojeny pro následný další interval ohřevu. Jednalo se celkem o 2 intervaly ohřevu po 30-ti minutových cyklech.

Tab. 11: Povrchové teploty tvárnice po 30 min. cyklech ohřevů

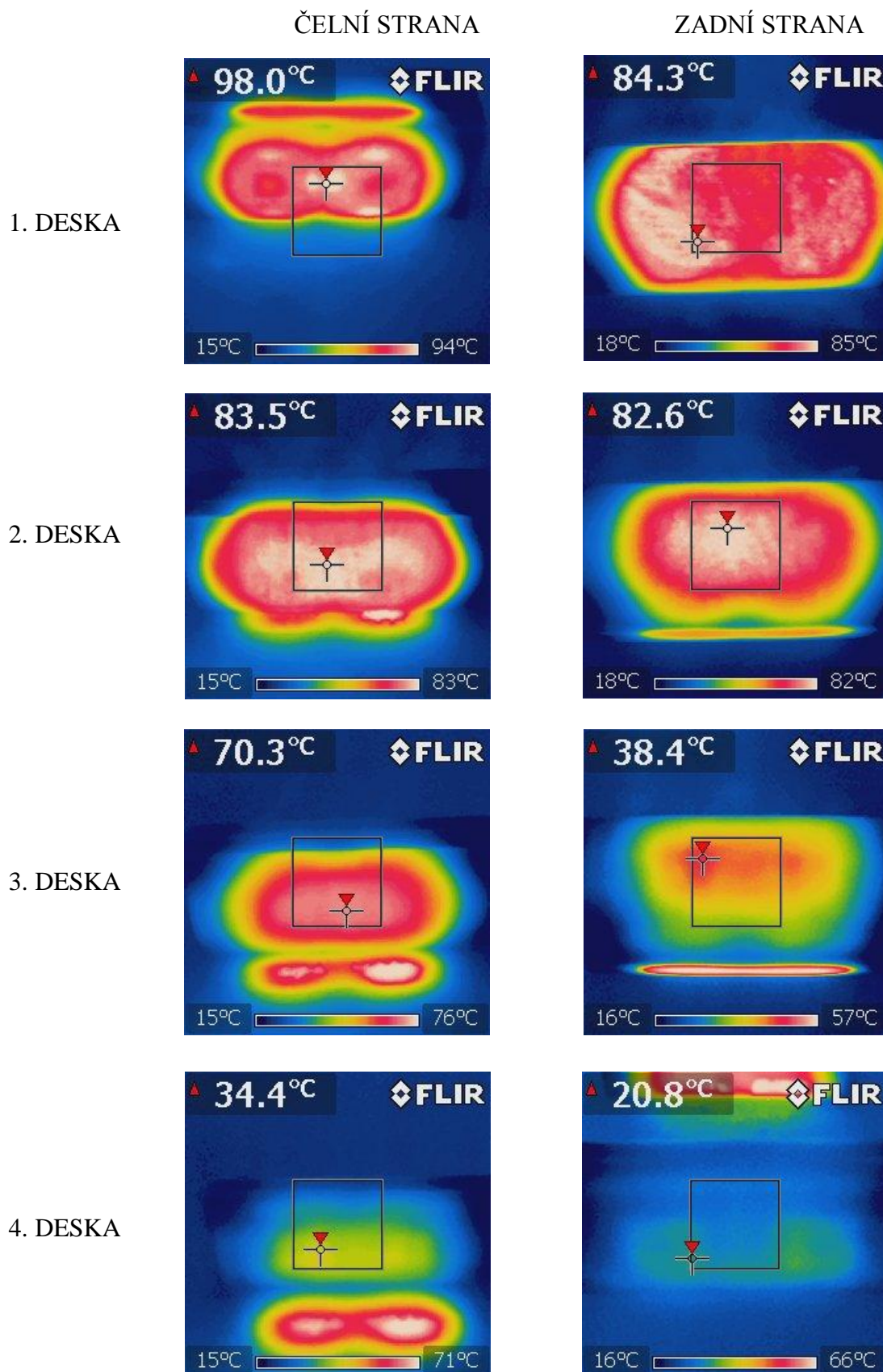
Ohřev č.	Blok č. 3 – 4x50 mm							
	I. pórobetonová deska		II. pórobetonová deska		III. pórobetonová deska		IV. pórobetonová deska	
	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna	a-čelní stěna	b-zadní stěna
1	98,0°C	84,3°C	83,5°C	82,6°C	70,3°C	38,4°C	34,4°C	20,8°C
2	109,0°C	116,0°C	102,0°C	87,0°C	78,7°C	76,6°C	68,3°C	36,8°C

V grafu č. 3 jsou znázorněny největší dosažené teplotní hodnoty v ozařovacích cyklech ve srovnání s předcházejícími dvěma sestavenými bloky.



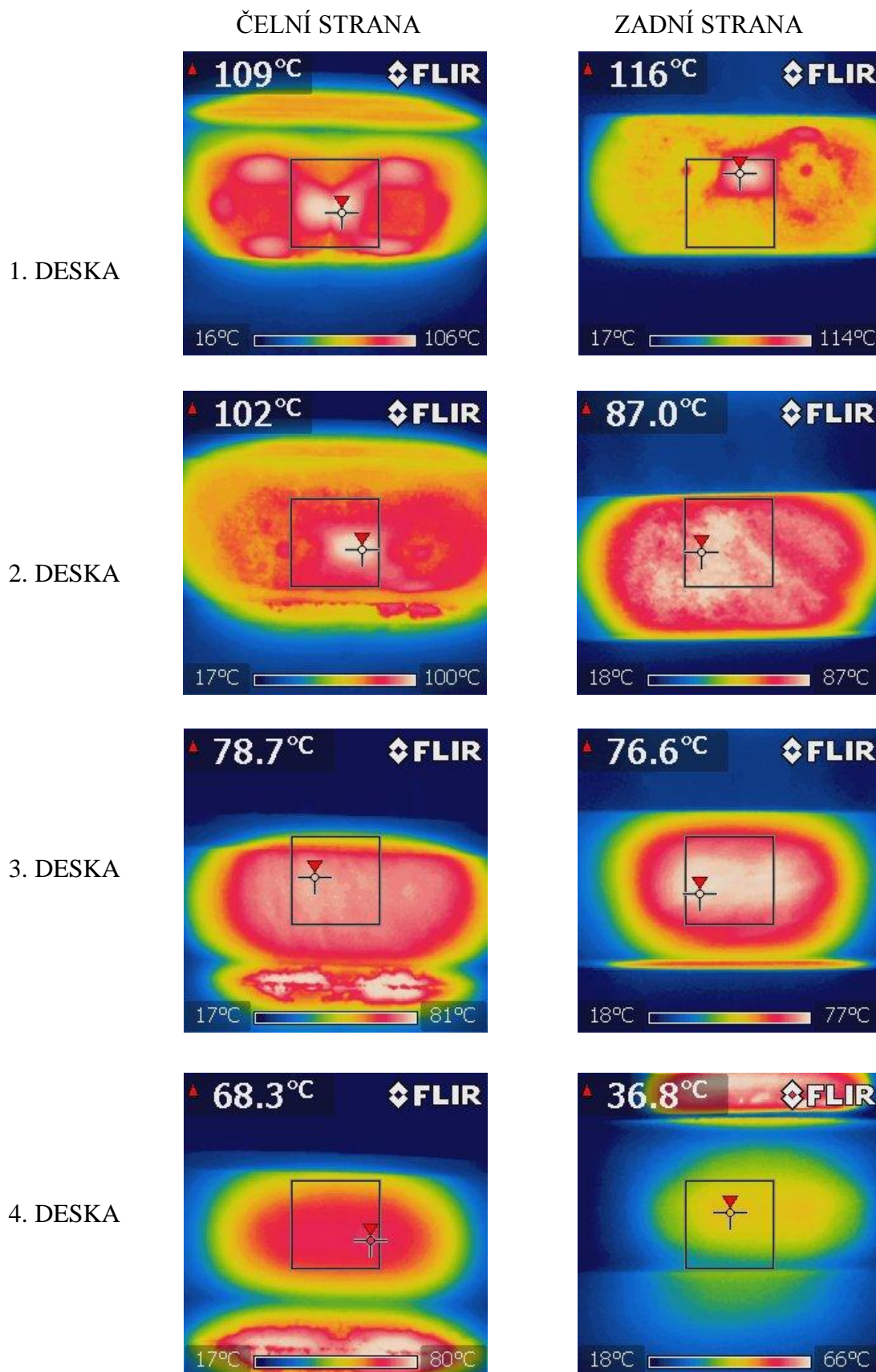
Graf 3: Pohyb teplot na čelních i zadních stranách po 30 min. cyklech ohřevů

I. ohřev – 30 minut + 30 minut chladnutí, vydýchávání



Obr. 19: Teploty tvárcí třetího bloku po prvním cyklu ohřevu

II. ohřev – 30 minut + 30 minut chladnutí, vydýchávání



Obr. 20: Teploty tvárcí třetího bloku po druhém cyklu ohřevu

Na obr. 19 a 20 jsou snímky naměřených teplot z termovizní kamery. Vždy se jedná o pórobetonovou desku a její naměřené teploty z ozařované a zadní strany.

Porovnání počátečních a koncových hmotností po „vydýchání“ jsou uvedeny v tab. č. 12, 13, 14, kde jsou sečteny celkové hodnoty úbytku spojených bloků daných tvárnic. Velikou zajímavostí je, že nejnižší počáteční hmotnost byla u bloku č. 2, tudíž tento blok nejméně absorboval objem vody, avšak blok č. 2 měl nejvyšší úbytek hmotnosti po vydýchání.

Tab. 12, 13 a 14: Úbytek hmotností bloků po různých časových intervalech ohřevu

Blok č.1	Počáteční hmotnost v g	Hmotnost po vychladnutí v g	Úbytek hmotnosti v g
Celý blok	21.238,0	19.729,5	1.550,5
Deska I.	5.285,5	4.574,5	711,0
Deska II.	5.421,0	5.028,5	392,5
Deska III	5.408,0	5.181,0	227,0
Deska IV.	5.123,5	4.945,5	178,0

Blok č.2	Počáteční hmotnost v g	Hmotnost po vychladnutí v g	Úbytek hmotnosti v g
Celý blok	20.320,5	18.708,0	1.612,5
Deska I.	4.988,0	4.231,0	757,0
Deska II.	5.054,0	4.638,5	415,5
Deska III.	5.342,0	5.074,5	267,5
Deska IV.	4.936,5	4.764,0	172,5

Blok č.3	Počáteční hmotnost v g	Hmotnost po vychladnutí v g	Úbytek hmotnosti v g
Celý blok	21.109,5	19.523,5	1.586,0
Deska I.	5.013,5	4.421,5	592,0
Deska II.	5.346,5	4.926,5	420,0
Deska III.	5.483,5	5,204,5	279,0
Deska IV:	5.266,0	4.971,0	295,0

7.2.2.2 Vyhodnocení experimentu č. 3

Cílem bylo zjistit průnik mikrovlnné energie a s tím související ohřev v průřezu vlhkého bloku při různých dlouhých cyklech ohřevu a chladnutí.

Celková doba ozařování byla ve všech případech v součtu časů stejná.

Stěženi kritérií bylo měření teplot na přední a zadní straně každé tvárnice, provedené bezprostředně po ukončení jednotlivých fází ohřevů.

Úbytek vlhkosti, ke kterému došlo v průběhu vysoušení, je dán rozdílem mezi počáteční hmotností a hmotností naměřené po poslední fázi chladnutí.

Přesto, že příprava všech 12 kusů tvárnice před vysoušením byla naprosto stejná, byla jejich hmotnost rozdílná. To znamená, že obsahovaly různé množství vody. To také pravděpodobně ovlivnilo množství pohlcené mikrovlnné energie v jednotlivých vrstvách. Průnik mikrovln a tím i teplotu dosaženou v průřezu sestavy.

Důvodem byla nejspíše kvalita jednotlivých použitých tvárnice a jejich nasákavost.

7.2.3 Experiment č. 4

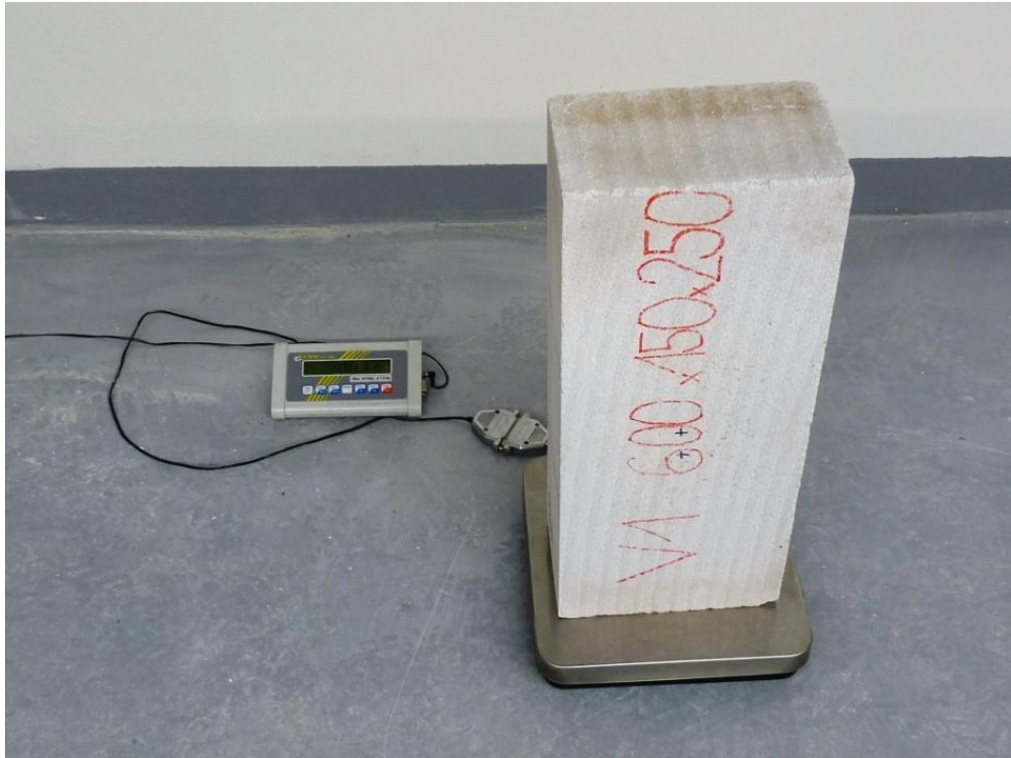
7.2.3.2 Popis experimentu č. 4

Byly použity dvě stejné tvárnice o rozměrech 600 x 150 x 250 mm. Tyto tvárnice byly volně uloženy ve zkušebních prostorách VUT v Brně. Po navlhčení byly tvárnice vysoušeny. U každé tvárnice byl zvolen jiný časový interval cyklu ohřev-chladnutí. Souhrnná doba ohřevů byla však stejná.

Postup průběhu experimentu:

- zvážení a označení vzorků,
- zvážení vzorků s vzdušnou vlhkostí,
- ponoření tvárnice do vodní lázně na dobu 60 minut,
- vyjmutí z vody, 30 minut vyrovnání absorbované vlhkosti, zabalení do fólie na 22 hodin,
- zvážení tvárnice po namočení,
- vysoušení po časových cyklech,
- po ukončení ohřevů měření povrchových teplot na přední a zadní straně,
- další cyklus ohřevů,
- měření povrchových teplot po jednotlivých fázích ohřevů,
- vážení 18 hodin po poslední fázi ohřevů.

Obr. č. 21 ozařovaná pórobetonová tvárnice u experimentu č. 4.



Obr. 21: Hmotnost suchého vzorku V1, V2 před namočením

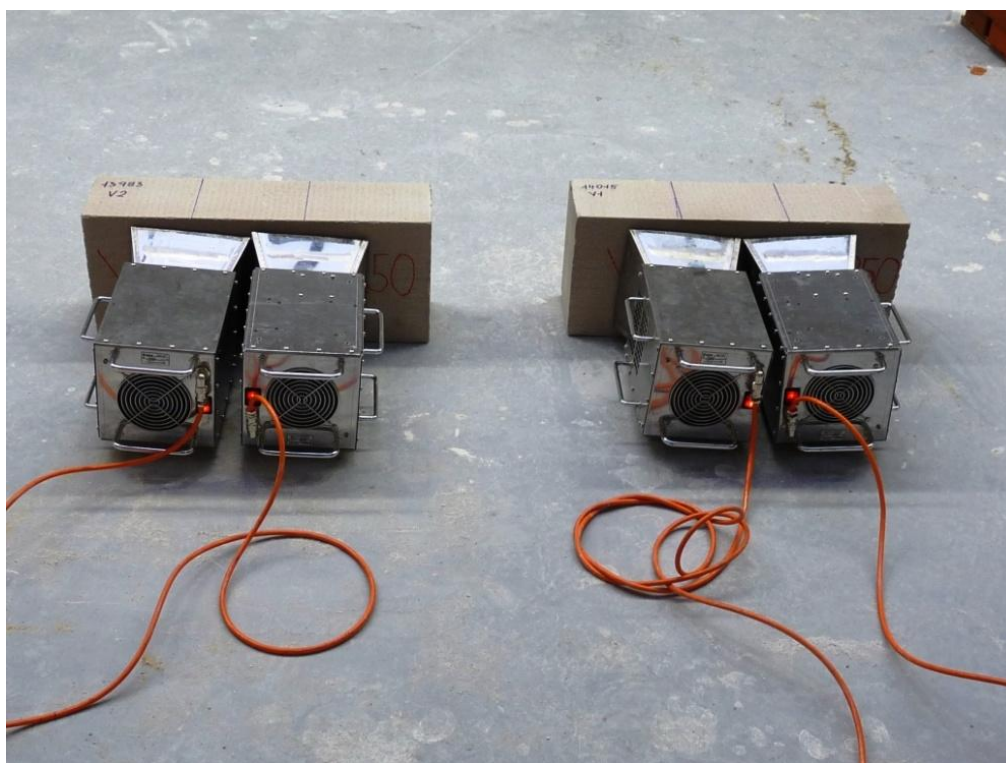
Tvárnice č.V1

- Ponořen na 60 minut do vody, 60 minut vyrovnání absorbované vody, ohřev 4 x 15 minut, mezi ohřevy přestávka 15 minut,

Tvárnice č.V2

- Ponořen na 60 minut do vody, 60 minut vyrovnání absorbované vody, ohřev 2 x 30 minut, mezi ohřevy přestávka 15 minut.

Obr. 22 jsou zobrazeny mikrovlnné generátory MG elektronik MB s pórobetonovými tvárnici tl. 150 mm.



Obr. 22: Ohřev vzorků V1, V2

Hodnoty povrchových teplot naměřených na pórobetonových blocích jsou uvedeny v tab. 15, 16. Jednalo se o stejné průřezy bloků, kde u každého probíhala jiná doba ozařování (4 x 15 minut, 2 x 30 minut). Povrchové teploty byly snímány jak na čelní, tak i zadní straně bloků.

Tab. 15, 16: Teploty vzorků V1, V2 po intervalech ohřevů

Blok č.V1	Ohřev č. 1	č. 2	č. 3	č. 4
Přední strana	80,9°C	83,5°C	91,9°C	92,3°C
Zadní strana	32,1°C	50,5°C	59,4°C	71,4°C

Blok č.V2	Ohřev č. 1	Ohřev č. 2
Přední strana	83,1°C	88,8°C
Zadní strana	38,4°C	61,1°C

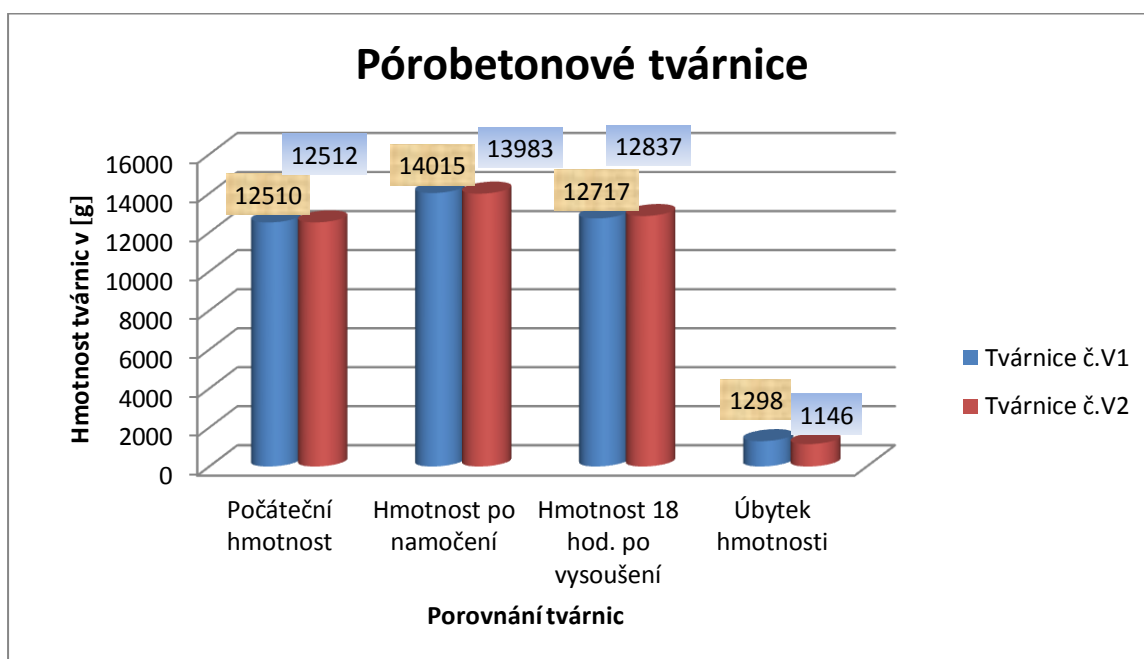
V tab. č. 17 jsou uvedeny úbytky hmotností pórobetonových bloků v „suchém“ stavu, po namočení a po 18-ti hodinovém vydýchání po závěrečných cyklech ohřevů. Úbytek hmotností

je u obou bloků téměř totožný. U ozařování těchto bloků se ukázalo, že je mnohem efektivnější kratší doby ozařování s větší počtem opakování.

Tab. 17: Úbytek hmotnosti pórobetonových bloků po různých intervalech ohřevů

Blok č.	Počáteční hmotnost	Hmotnost po namočení	Hmotnost 18 hod. po vysoušení	Úbytek hmotnosti
V1	12.510,0g	14.015,0g	12.717,0g	1.298,0g
V2	12.512,0g	13.983,0g	12.837,0g	1.146,0g

U grafu č. 4 jsou zobrazeny graficky hodnoty počátečních, po namočení, po vydýchání a celkový úbytek hmotnosti pórobetonových tvárnic. Je vidět, že naměřené hodnoty jsou u obou pórobetonových tvárnic srovnatelné.



Graf 4: Názorný úbytek hmotnosti tvárnic po různých intervalech ohřevu

7.2.3.2 Vyhodnocení experimentu č. 4

Cílem experimentu bylo ověřit rychlost vysoušení vlhkých pórobetonových tvárnic ve dvou různých časových cyklech intervalů „ohřev-chladnutí“.

Souhrnný čas ohřevů byl u obou bloků stejný – 60 minut. V prvním případě se jednalo o rozdělení na 4x15 minut, ve druhém na 2x30 minut.

Měření povrchových teplot na přední a zadní straně, které bylo prováděno bezprostředně po ukončení každého ohřevu, prokázalo, že u vzorku V1 bylo dosaženo (za stejnou dobu aktivního ohřevu) vyšších teplot, jak u vzorku V2.

U hmotnosti byl jednoznačně zjištěn vyšší úbytek u vzorku V1. A to jak v absolutních hodnotách, tak i procentuálně.

Faktorem, který toto ovlivňuje, je druhá fáze cyklu chladnutí. Při této fázi dochází k intenzivnímu odparu vlhkosti z povrchových vrstev a tím k vytvoření podmínek pro hlubší průnik mikrovlnného záření.

Tato bude platit i u vysoušení všech podobných stavebních materiálů.

7.3 Ohřev a vysoušení dřevěných prvků

Popis experimentů

Cílem experimentu bylo zjistit a vyhodnotit rychlost a intenzitu ohřevu a vysoušení dřevěného masivu za různých podmínek. Bylo použito smrkové řezivo různých průřezů a vlhkosti, aby byly co nejvíce simulovány podmínky ve stavební praxi. Ověření dosažených teplot na povrchu i uvnitř masivu se následně stalo podkladem pro experimenty likvidace biotických škůdců.

7.3.1 Experiment č. 5

Ohřev a dosoušení smrkových hranolů o průřezu 200 x 220mm. Vzorky č.1 a č.2 byly po dobu dvou měsíců uloženy pod přístřeškem v exteriéru se vzdušnou vlhkostí. Vzorky č.3 a č.4 byly před experimentem ponořeny na dva týdny do nádoby s vodou a průběžně otáčeny.

Postup průběhu experimentu:

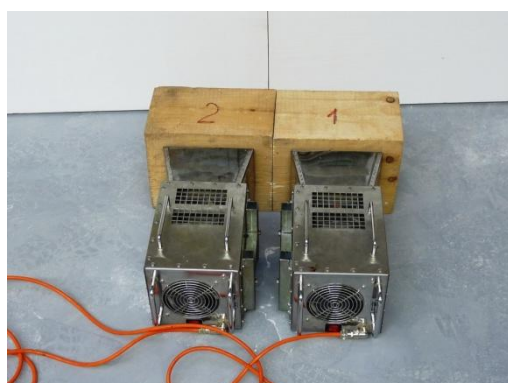
- ponoření dřevěných prvků č. 3, 4 do vodní lázně,
- okapání 30 minut + zabalení do PVC fólie po dobu 22 hodin,
- zvážení všech čtyř vzorků,
- změření povrchové vlhkosti na čelních stranách a v hloubce 110 mm,
- ozařování – č. 1 a č. 2 - 3 x 15minut s přestávkami 15 minut, č. 3 a č. 4 - 2 x 30minut s přestávkou 30minut,
- měření povrchových teplot ihned po ukončení každého ohřevu,
- měření vlhkosti před druhým a třetím ohřevem,
- zvážení vzorků 18 hodin po ukončení posledního ohřevu.

Na obr. 23 je zobrazen dřevěný hranol s absorbovanou vzdušnou vlhkostí z exteriéru. Tento prvek byl vystaven dlouhodobým klimatickým podmínkám pod přístřeškem. Obr. 24 nám ukazuje dřevěný prvek, který byl po dobu dvou týdnů ponořen a zatěžkán do vodní lázně.



Obr. 23, 24: Hmotnost vzorku s exteriérovou vlhkostí a vzorku po dlouhodobém namoření

Sestavené dřevěné prvky, které byly vystaveny pod přístřeškem vnějším klimatickým vlivům a dřevěné prvky uložené dva týdny ve vodní lázni jsou zobrazeny na obr. č. 25, 26.



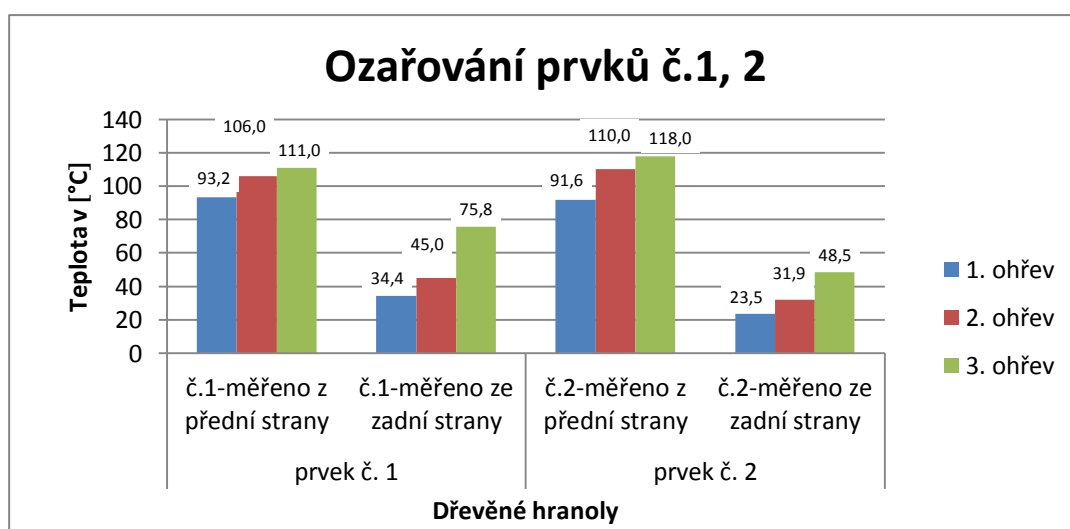
Obr. 25, 26: Vysušování vzorků s absorbovanou relativní vlhkostí vzduchu exteriéru a vzorků po namoření

Hodnoty dosažených povrchových teplot u dvou totožných homogenních prvků v tabulce č. 18 (smrkové masivní průřezy s označením č. 1, 2) byly velice podobné. Pouze se teploty lišily na zadních stranách. Důvodem mohla být odlišná kompaktnost dřevěných prvků, či trhliny obsažené v prvcích a tím hlubší průnik EMW záření do masivu dřeva. Profily s označením č. 1., 2. byly dlouhodobě vystaveny klimatickým podmínkám v exteriéru. Vzorky byly uloženy pod přístřeškem, čili absorbovaly pouze vzdušnou vlhkost.

Tab. 18: Hodnoty teplot při ozařování dřevěných hranolů č. 1, 2 s exteriérovou vlhkostí

Strana	Ohřev 1	Ohřev 2	Ohřev 3
č.1 přední	93,2°C	106,0°C	111,0°C
zadní	34,4°C	45,0°C	75,8°C
č.2 přední	91,6°C	110,0°C	118,0°C
zadní	23,5°C	31,9°C	48,5°C

Hodnoty dosažených teplot u prvků, které vystaveny exteriérovým podmínkám pod přístřeškem, jsou uvedeny v grafu č. 5. K rozdílným hodnotám došlo vždy u prvního prvku ze zadní strany po daných cyklech ohřevů, oproti prvku č. 2. Je možné, že je to způsobeno větším obsahem pryskyřice, či většími trhlinami u prvku č.1.



Graf 5: Nárůsty teplot při ozařování dřevěných hranolů č. 1 a 2

EMW vysušování dřevěných homogenních prvků stejného průřezu a velikosti probíhalo téměř se shodnými výchozími hodnotami. Hmotnostní vlhkost obou prvků byla před ozařováním, v průběhu fází ohřevů téměř podobná. Pouze po úplném vyschnutí po posledním ozařování byla jak povrchová, tak i hloubková vlhkost vyšší u druhého prvku, jak je uvedeno v tab. č. 19. V tab. č. 20 je vidět úbytek hmotností jednak po fázích ohřevu, tak i jako konečná hmotnost po posledním ohřevu a úplném vydýchání. Větší úbytek hmotnosti vykazoval prvek č. 2, kde byla větší i počáteční hmotnost. Důvodem může být jednak nepatrně větší délka průřezu, tak i kompaktnější homogenita dřevěného prvku.

Tab. 19: Hodnoty vlhkostí dřevěného hranolu č. 1, 2 po fázích ohřevů

Vzorek č.	Počáteční vlhkost v %		Před 2 ohřevem v %		Před 3 ohřevem v %		18 hod po 3 ohřevu v %	
	povrch	110mm	povrch	110 mm	povrch	110 mm	povrch	110 mm
1	14,6	12,5	9,1	11,8	6,4	10,4	3,2	6,8
2	16,2	13,2	10,9	12,0	8,1	9,0	6,8	7,4

Tab. 20: Úbytek hmotnosti prvků č. 1, 2 po fázích ohřevů a vydýchání

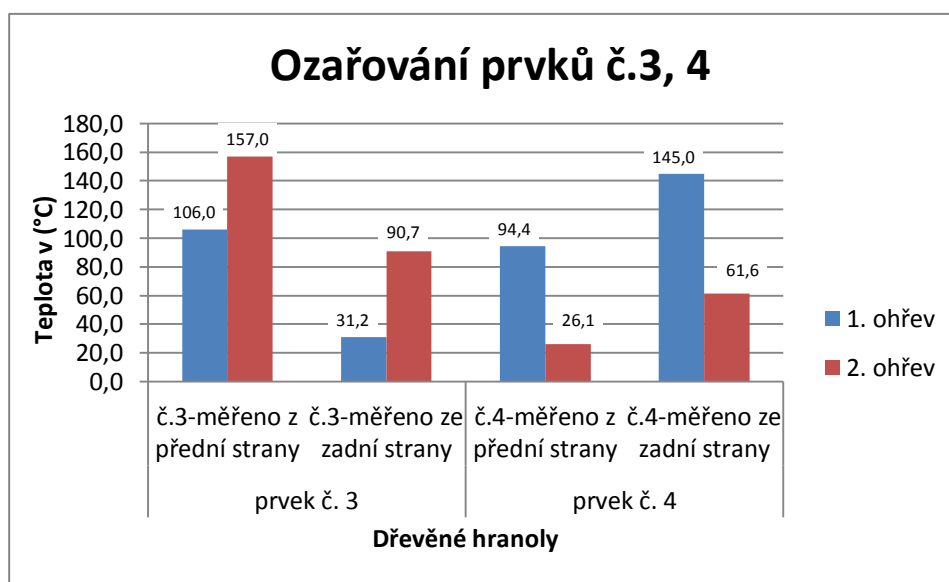
Vzorek č.	Počáteční v g	90min. po 2 ohřevu v g	18 hod po 3 ohřevu v g	Úbytek v g
1	5182,0	5069,0	5047,5	134,5
2	5390,0	5273,0	5242,5	147,5

Hodnoty dosažených povrchových teplot u dalších dvou totožných homogenních prvků v tab. č. 21, které byly na dva týdny ponořeny do nádoby s vodou. Naměřené povrchové teploty se mírně lišily, než tomu bylo u prvků č. 1, 2. Důvodem mohlo být větší počet trhlin v masivu dřeva tím absorbování většího množství vody při ponoření. Pokud prvek absorboval větší množství vody a byl těžší, jako tomu je u tab. č. 23, mikrovlnná energie vytlačovala z povrchu vodu a proto povrchové teploty byly u takového prvku větší. Jak je tomu v tabulce č. 23, po dokončení ohřevů prvků a následném dostatečném vydýchání, oba namočené prvky vykazovaly téměř totožné hmotnostní úbytky. V tab. č. 22 jsou uvedeny počáteční a koncové vlhkosti, které se od sebe výrazněji liší. Vyšší vlhkost u prvku č. 4 může být důvodem již dříve zmiňovaného většího počtu prasklin.

Tab. 21: Hodnoty teplot při ozařování dřevěných hranolů č. 3, 4, které byly ponořeny pod hladinou vody

Strana	Ohřev 1	Ohřev 2
č.3 přední	106,0°C	157,0°C
zadní	31,2°C	90,7°C
č.4 přední	94,4°C	145,0°C
zadní	26,1°C	61,6°C

K výrazně odlišným maximálních teplotních hodnot došlo u prvků č. 3., 4., které byly ponořeny do vodní lázně. Po dvou týdenním namočení, kde dřevěné prvky absorbovaly podobné množství vody, byl teplotní nárůst z přední strany obrovský po jednotlivých fázích ohřevu u prvku č. 3, jak ukazuje graf č. 6.



Graf 6: Nárůsty teplot při ozařování dřevěných hranolů č. 3 a č. 4

Tab. 22: Hodnoty vlhkostí dřevěného hranolu č.3, 4 po fázích ohřevů

Vzorek č.	Počáteční v %		18 hod po 2 ohřevu v %	
	povrch	110 mm	povrch	110 mm
3	15,5	24,2	5,0	11,1
4	25,1	50,8	9,8	21,5

Tab. 23: Úbytek hmotností prvků č. 3, 4 po fázích ohřevů a vydýchání

Vzorek č.	Počáteční v g	18 hod po 2 ohřevu v g	Úbytek v g
3	7019,5	6535,5	484
4	7216,0	6727,5	488,5

Obr. 27 zobrazuje ozařovaný dřevěný prvek a mikrovlnný generátor. Vytlačovaná vlhkost postupuje směrem k ozařované straně.

Na pohledu z boku je viditelné vytlačování vlhkosti na povrch, ke kterému dochází v průběhu ohřevu.



Obr. 27: Ozařovaný prvek č. 3 po prvním 30-ti minutovém ohřevu

7.3.3.2 Vyhodnocení experimentu č. 5

Při ozařování dřevěných hranolů různých vlhkostí a při různých časových intervalech dob ohřevu a chladnutí bylo zjištěno:

- při ozařování masivu dřeva mikrovlnnou energií dochází k prohřevu obdobně, jako u ostatních materiálů,
- především v prvních fázích ohřevu je velký rozdíl mezi dosaženými povrchovými teplotami na přední a zadní straně,
- výsledkem nerovnoměrného ohřevu může docházet k tvarové deformaci ohřívaného materiálu, doplněná vznikem výsušných prasklin,
- při porovnání teplotních parametrů bylo jednoznačně prokázáno, že výhodnějším postupem je vícenásobný, časově kratší ohřev. S dostatečně dlouhou přestávkou, umožňující odpaření vlhkosti z povrchových vrstev čelní strany,
- i při jednostranném ozařování lze v celém průřezu docílit teplot, které stačí k likvidaci dřevokazného hmyzu.

8. STERILIZACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ STAVEB

Jak je uvedeno výše v bodech 3.1. až 3.4. biotičtí škůdci stavebních materiálů potřebují pro svůj růst určité teplotně-vlhkostní podmínky a naopak jsou známy podmínky, při kterých se jejich růst zastavuje. Při překročení kritických hodnot dochází k jejich inaktivaci, tedy likvidaci.

Z uvedených podkladů je jednoznačně patrné:

1) všude, kde se vyskytují biotičtí škůdci staveb je zvýšená vlhkost

(ovšem ne všude, kde je zvýšená vlhkost stavebních konstrukcí, musí být i biotičtí škůdci).

2) Motivem působení EMW záření na stavební prvky, či konstrukce napadené biotickými škůdci je možné dosáhnout dvou efektů:

- inaktivace – usmrcení vlivem vysoké teploty (teplota je pro každého škůdce jiná),
- vysušením – snížením vlhkosti na hodnoty, které jsou pro pokračující aktivitu biotických škůdců nepříznivé.

Při experimentech působení mikrovlnné energie na stavební materiály rozličného původu bylo ověřeno, že působením EMW záření lze takových podmínek dosáhnout.

8.1 Likvidace plísní

Experiment byl prováděn ve zkušebních prostorech VUT Brno, ve spolupráci s akreditovanou mikrobiologickou laboratoří.

8.1.1 Experiment č. 6

Experiment byl zaměřen na ověření možnosti inaktivace plísní působením EMW při nastavení různých výkonů přístroje.

8.1.1.1 Popis experimentu č. 6

Experiment byl prováděn na směsi plísní, které byly získány z omítek, odebraných na několika různých místech staveb.

Postup průběhu experimentu:

- odebrání vzorků v interiérech budov,
- kultivace odebraných vzorků a určení druhu plísní v mikrobiologické laboratoři,
- vzorky plísní byly umístěny na živný agar v Petriho miskách,
- ozařování vzorků plísní s různou intenzitou záření,
- mikrobiologické vyhodnocení

Intenzita a časy použitého MW

- 350 W – 4 hod
- 650 – 700 W – 4 hod
- 1200 W – 4 – 5 hod

Na obr. 28 jsou „Petriho“ misky s úlomky omítky, které byly nakultivovány druhy plísní.



Obr. 28: Vzorky nárůstů plísní na vzorcích vápenocementové omítky uložené v Petriho miskách

Ozařování naočkovaných kousků omítek bylo provedeno v laboratořích Ústavu pozemního stavitelství v Brně. Ozařování probíhalo generátory firmy Plazmatronika. Vzorky naočkovaných plísní při ozařování je viditelné u obr. č. 29, 30.



Obr. 29, 30: Sterilizace nárůstu plísní EMW zářením

8.1.1.2 Mikrobiologické vyhodnocení experimentu

Po ozáření 350 W převažoval u prvního záření druh plísni *Aspergillus spp.*, doplněny několika koloniemi druhu plísně *Fusarium oxysporum* a *Cladosporium spp.* Při opakovaném ozařování převažovala kolonie plísni s názvem *Aspergillus spp.*

Po ozáření 650 – 750 W byl nalezen už pouze druh plísně *Aspergillus spp.*, což koresponduje s výsledky u jednotlivých druhů plísní. Při této intenzitě ozařování, či sterilizace nebyl na omítkách zaznamenán růst u žádného jiného druhu plísní, kromě kolonie *Aspergillus spp.*

Po ozáření 1200 W byl také nalezen pouze druh plísně s názvem *Aspergillus spp.* – stejný výsledek jako u předchozího ozařování.

8.1.1.3 Vyhodnocení experimentu č. 6

Z uvedených výsledků jednoznačně vyplývá:

- EMW záření je možno zařadit mezi fyzikální metody dezinfekce – likvidace plísní,
- na účinnost a úspěšnost dezinfekce pomocí EMW záření má vliv teplota dosažená na povrchu ozařované plochy. Nastavení výkonu použitého přístroje i doba ozařování jsou pouze informativními údaji, které hodnotu a rychlost ohřevu pouze ovlivňují.

8.2 Likvidace dřevokazného hmyzu

Pro ověřování možnosti EMW záření při likvidaci dřevokazného hmyzu byly vybrány dva, nejčastěji se vyskytující zástupci a to:

- Tesařík krovový - *Hylotrupes bajulus*,
- Červotoč úmrlčí - *Anobium pertinax*.

Experimenty byly prováděny v prostorech firmy S.P.UNI, s.r.o., při použití jejich chovného materiálů obou uvedených škůdců.

U obou těchto druhů je kritická teplota, při které dochází k nevratným změnám v jejich organizmu okolo 50°C. Při teplotách nad 60°C stačí doba působení tepelného záření v řádu pouhých několika minut.

Vlhkost dřeva, ve kterém larvy hmyzu žijí, se pohybuje nejčastěji v rozmezí 10-20%. Obsah vody v samotném těle larev je však výrazně vyšší (80 – 95%). Protože mikrovlnná energie

nejvíce působí v místech s nejvyšší vlhkostí, dochází k rychlejšímu a vyššímu ohřevu hmyzu (vajíček, larev, kulek, imag), než méně vlhkého dřeva.

8.2.1 Likvidace tesaříka krovového

8.2.1.1 Experiment č. 7

Do dvou kusů smrkových hranolů o průřezu 120 x 160 mm bylo z čelní strany navrtáno 11 otvorů průměru 6 mm. Hloubka otvoru 40 mm, vzdálenost od obvodových stěn 15 mm.

Do každého otvoru byly vloženy larvy tesaříka krovového a otvory následně byly zaslepeny.

Vzorek č. 1 byl jednostranně ozařován po dobu 10 minut. Vzorek č.2 byl ozařován po dobu 15 minut. Po změření povrchových teplot z čelní a lícové strany byl hranol podélně rozštípnut a změřena teplota dosažená uvnitř. Nakonec byla provedena kontrola stavu larev, vše je zobrazeno na obr. č. 31, 32.





Obr. 31, 32: Sterilizace larev dřevokazných škůdců v dřevěném hranolu u experimentu č. 7

Postup průběhu experimentu:

- navrtání otvorů, vložení larev a zaslepení,
- jednostranné ozařování (vz. č. 1=10 minut, vz.č.2=15 minut),
- měření povrchových teplot na čelní a zadní straně,
- rozštípnutí hranolu a kontrola teploty uvnitř profilu,
- kontrola stavu vložených larev.

Hodnoty teplot, které byly naměřeny po časových intervalech na přední, zadní a vně dřevěných prvků, jsou uvedeny v tabulce č. 24. V dřevěných profilech byly dlouhodobě vloženy a „zavátovány“ larvy tesaříka krovového. První profil byl ozařován po dobu 5 minut, druhý po dobu 10 minut. Po ukončení mikrovlnné sterilizace larev byly špalky rozseknuty a byla zkontrolována životaschopnost larev. Úspěšnost stavu vložených larev byla 100%.

Tab. 24: Nárůsty teplot při sterilizace dřevokazných škůdců u experimentu č. 7

Vzorek č.	Čelní strana	Zadní strana	V masivu	úspěšnost
1	94,2°C	62,4°C	68,1°C	100%
2	101,7°C	73,0°C	76,5°C	100%

Viditelná sterilizace larvy tesaříka krovového, jak bylo popsáno u experimentu č. 7, kde dřevěný hranol navrtán a byla do něho vložena larva je ukázáno na obr. č. 33.



Obr. 33: Sterilizace larvy dřevokazného škůdce

8.2.1.2 Vyhodnocení experimentu č. 7

Ozařováním hranolů po dobu 10 minut i po dobu 15 minut bylo dosaženo prohřátí dřevěného prvku v celém průřezu vysoce nad hodnotu, která je kritická pro životní podmínky larev. Larvy i kukly hmyzu byly ve všech místech zahubeny.

8.2.2 Likvidace červotoče umrlčího

8.2.2.1 Experiment č. 8

Vzorek z půdního záklopového prkna tl. 32 mm napadeného Červotočem umrlčím, bylo položeno vodorovně na dva hranoly a ve svislém směru ozařováno EMW zářením.

Postup průběhu experimentu:

- změřena vlhkost obou vzorků,
- ustavení vzorku o rozměrech 400 x 300 x 32 mm na podložky,
- ohřev vzorku č.1=3 minuty, ohřev vzorku č.2= 5 minut,
- měření teplot na čelní i zadní straně.

Dva prkenné vzorky tloušťky 30 mm, které byly napadeny červotočem umrlčím, byly sterilizovány mikrovlnnou technologií. Dosažené hodnoty po době ohřevů jsou uvedeny v tab. č. 25. U prvního vzorku byla doba záření 3 minut, u druhého vzorku 5 minut. Počáteční vlhkosti vzorků byly téměř shodné, ale rozdíl teplot po ozařovaných dobách, byly jak na čelní, tak na lícové straně rozdílné více jak 20 °C.

Tab. 25: Nárůsty teplot při sterilizace dřevokazných škůdců u experimentu č. 8

Vzorek č.	Vlhkost	Čelní strana	Zadní strana
1	18,2%	71,4°C	58,6°C
2	18,8 %	96,6°C	89,4°C

8.2.2.2 Vyhodnocení experimentu č. 8

Ozařováním prken po dobu 3 minut i po dobu 5 minut bylo dosaženo teplot potřebných k likvidaci všech vývojových stádií Červotoče umrlčího.

8.3 Likvidace dřevokazných hub

Při experimentech likvidace dřevokazných hub bylo vycházeno ze znalostí o minimálních teplotách, potřebných k jejich inaktivaci. Hlavním kritériem tedy byla kontrola teploty, dosažená na přední i zadní straně zkušebních vzorků. Vedlejší kritérium byla potom kontrola vlhkosti před ozařováním a následně vychladnutí.

8.3.1 Likvidace dřevomorky domácí

Dva vzorky vlysů napadených dřevokaznou houbou byly ozařovány 3 x 5 minut, s přestávkou na vychladnutí a odpar 10 minut. Hodnoty dosažených teplot jsou uvedeny v následující tab. č. 26. Dosažené hodnoty teplot sestavených dřevěných podlahových vlysů (obr. 34), byly po jednotlivých dobách a cyklech ohřevů téměř totožné. Dosažení podobných hodnot teplot bylo u obou sestavených vzorků podlahových vlysů. Jednalo se o experimenty č. 9, 10.



Obr. 34: Ozařování dřevěných vlysů podlahy

Tab. 26: Teploty dosažené po ozařování parketových dřevěných vlysů

Vzorek č.	1. ohřev v °C		2. ohřev v °C		3. ohřev v °C	
	horní strana	spodní strana	horní strana	spodní strana	horní strana	spodní strana
1	78,9	69,9	91,5	78,8	106,1	94,6
2	74,3	66,8	92,4	77,5	112,1	97,3

8.4 Výhody a nevýhody využití mikrovlnné technologie při sterilizaci biotických škůdců

8.4.1 Likvidace plísní

V současnosti se likvidace plísní v dezinfekční praxi provádí převážně za použití různých chemických látek. Účinnost většiny používaných přípravků je ověřena v laboratorních i terénních podmínkách. Mnoho přípravků má nejen fungicidní účinnost, tedy likvidační, ale má i schopnost preventivní. Tedy fungistatickou. Ve většině případů se jedná o odborný zásah, který není nikterak finančně nákladný a ani časově zdlouhavý. Všechny dezinfekční přípravky jsou ovšem kontaktní. To znamená, že chemická látka musí přijít do přímého kontaktu s nárůstem plísní.

Jsou ovšem případy, kdy použití chemických přípravků je velmi obtížné, nevhodné, či dokonce nežádoucí. A v takových případech přichází v úvahu využití mikrovlnné technologie.

Při laboratorním experimentu bylo prokázáno, že působením mikrovlnného záření lze mycelium plísní snadno inaktivovat – usmrtit. Příčinou není samostatné záření, ale vysoká teplota, která jeho působením vznikne. Aktivní mycelium obsahuje vysoké procento vody. Mycelium, které je v těsném kontaktu se stěnou, která je velmi často chladná se může prohřívat velmi pomalu. Mnohdy se jedná i o desítky minut.

Doprovodným jevem ohřevu je vysoušení podkladu a tím i odstraňování jedné z možných příčin růstu plísní.

Ve stavební praxi bude okruh možností využití EMW, při likvidaci plísní, omezen na případy, kdy chemický zásah je nerealizovatelný. Například likvidace nárůstů uvnitř sendvičových konstrukcí, v prostorech za nevhodně provedeným vnitřním zateplením a podobně.

8.4.2 Likvidace dřevokazného hmyzu

Při experimentech likvidace těchto škůdců bylo vycházeno ze znalostí o životních podmínkách, které potřebují ke svému vývoji.

Vlhkost dřeva, ve kterém larvy hmyzu žijí, se pohybuje nejčastěji v rozmezí 10-25%. Obsah vody v samotném těle larev je však výrazně vyšší (80 – 95%). Protože mikrovlnná energie nejvíce působí v místech s nejvyšší vlhkostí, dochází k rychlejšímu a vyššímu ohřevu hmyzu (vajíček, larev, kukel, imag), než méně vlhkého dřeva.

Kritická teplota, při které začíná docházet k nevratným změnám v jejich organizmu, je okolo 50°C.

Při teplotách nad 60°C stačí, pokud dochází k těmto změnám v řádu několika desítek minut, při teplotách nad 80°C se jedná již o dobu v minutách.

Současně s ohřevem se dřevo vysouší. Jedná se tedy o proces velmi podobný vysoušení (sterilizaci) dřeva ve stacionárních sušárnách.

Likvidace dřevokazného hmyzu se dosud provádí převážně za použití různých chemických přípravků. Ty působí požerově, nebo dotykově. To znamená, že hmyz s nimi musí přijít do přímého kontaktu, nebo dokonce ošetřené dřevo požírat. Protože neexistuje technika, která by umožnila prosycení dřevní hmoty chemickou látkou v celém jejím průřezu, lze úspěšnost takového zásahu vždy pouze odhadovat. Více, či méně optimisticky. Většina chemických přípravků ovšem může působit i preventivně a to často po velmi dlouhou dobu.

Mikrovlnná technologie, společně s horkovzdušnou termosancí, má výrazně vyšší potenciál při usmrcení všech vývojových stadií dřevokazného hmyzu i hluboko pod povrchem stavebního prvku.

U mikrovln je ovšem důležitou podmínkou nutnost umístit přístroj co nejbližší k ozařovanému materiálu. S růstem vzdálenosti vyzařovací antény od místa sanace výrazně klesá množství energie, dopadající na jednotku plochy.

8.4.3 Likvidace dřevokazných hub

Při ověřování možností likvidace dřevokazných hub pomocí EMW byly vybrány dva druhy, které se od sebe navzájem výrazně liší. Kontrola úspěšnosti likvidace dřevokazných hub při sanaci reálného objektu je obtížná.

Znamenalo by to odebrat vzorek kontaminovaného a ozářeného materiálu a ten následně podrobit kultivaci.

V bodě 3.2 jsou popsány podmínky vhodné pro růst dřevokazných hub a také podmínky, za kterých se růst zastaví. Případně dojde jejich totální degradaci.

Jedná se především o hodnoty teplot.

Likvidace rhyzomorfy SL ve zdivu je velmi problematická, ve většině případů nereálná. Je velmi obtížné dosáhnout teplotu potřebnou k dosažení sterilizace v celém průřezu. Ovšem nepřímo lze vysušením konstrukce odstranit podmínky vhodné pro jejich růst.

9. VYSOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ V TERÉNNÍCH PODMÍNKÁCH

9.1 Vysoušení sklepních prostor Filozofické fakulty v Brně

9.1.1 Popis objektu a zjištěná příčina

V rámci rekonstrukce některých objektů FF MU v Brně bylo nutné vyřešit i praktické využití rozsáhlých prostor v 1. PP. Jejich stav a využití bylo do té doby odlišné. Jedno však měly společné a to nadměrnou vlhkost. A to jak vlhkost vnitřního prostředí, tak i vysokou vlhkost zdiva, která se objevovala převážně v obvodových stěnách. Odvlhčení části zdiva v 1. PP budovy Filozofické fakulty (obr. č. 35) - dále uváděno jako FF Brno, na ulici Arne Nováka č.p.1, bylo nelehkým úkolem.



Obr. 35: Vysušování Filozofické fakulty Brno

9.1.1.1 Popis stavu

Místnost A

- plocha 12,3 m²,
- obvodové zdivo tl. 1200 a 880 mm, objem 32,6 m³,
- vnitřní zdivo tl.970 mm, objem 14,8 m³,
- počáteční vlhkost zdiva v hloubce 300mm 18 – 21 %,
- množství vody ve zdivu – cca 12.300 kg.

Místnost B

- plocha 11,2 m²,
- obvodové zdivo tl. 1100 a 880mm, objem 31,4 m³,
- vnitřní zdivo tl.950mm, objem 13,8 m³,
- počáteční vlhkost v hloubce 300mm 14 – 20 %,
- množství vody ve zdivu – cca 9.500 kg.

Celkem se v součtu jednalo o 92,6m³ zdiva s průměrnou vlhkostí 16%.

Materiálově se jednalo o zdivo z CPP (cihla plná pálená).

Při předpokládané tabulkové hmotnosti cihelného zdiva (objemová hmotnost) 1900 kg/m³ bylo tedy v uvedeném zdivu sklepních 28.150 kg vody. Cílem bylo dosáhnout maximální vlhkosti po sanačních úkonech hodnoty do 6%.

To znamená, že pro dosažení požadované hmotnostní vlhkosti do 6 % by bylo potřeba ze zdiva odstranit minimálně 17.590 kg vody. Což je teoreticky možné, ale v praxi ne vždy realizovatelné. Požadavkem investora bylo vysušení zdiva z vnitřní strany na požadovanou vlhkost, pokud možno co do největší hloubky, aby bylo možné provést další sanační operace. Přesně řečeno tzv. „sanační omítku“.

V ostatních prostorách v 1. PP byla vlhkost zdiva nižší, v rozmezí 8 – 15 %. Nejvlhčí místa byla vysušena souběžně s místnostmi A a B na požadovanou hmotnostní vlhkost.

9.1.2 Cíl praktického měření

Na základě provedených sond byla zjištěna nefunkčnost, či dokonce absence odizolování základů, či obvodových stěn budovy od okolního terénu. Tato závada byla vyřešena provedením dodatečné svislé hydroizolace, aplikované z vnější exteriérové strany a vodorovné izolace provedené sanací ve formě chemické injektáže na úrovni podlahy z vnitřní strany obvodových stěn. Tím byla odstraněna příčina dalšího pronikání vody z vnějšího venkovního prostředí.

Stále však zde zůstával jeden problém. A to vysoká vlhkost zdiva, která zabraňovala provádění dalších prací, zejména k povrchovým úpravám. Nejhorší situace byla ve dvou místnostech a to po obvodu schodiště. Tyto místnosti byly původně zasypány. U nich investor rozhodl o odstranění náspy a jejich následném zprovoznění.

Cílem byla postupná sanace vysušení stěn a zdiva. Vysoušení vlhkého zdiva bylo provedeno za pomoci MV technologií (mikrovlnnou technologií).

Jak je uvedeno v tab. 27, byla pro hodnocení vlhkosti využívána klasifikace dle ČSN 73 0610.

Tab. 27: Vlhkostní klasifikační třídy dle ČSN 73 0610

Hodnocení vlhkosti	Vlhkost zdiva (% hm.)
velmi nízká	<3
nízká	3-5
zvýšená	5-7.5
vysoká	7.5-10
velmi vysoká	>10

Po odstranění vnitřních omítek a provedení dodatečných hydroizolačních zásahů bylo zahájeno s vysoušením stěn. Počátek vysoušení proběhl v měsíci říjnu 2013.

V průběhu května a června roku 2013 byly v obou místnostech instalovány kondenzační vysoušeče, které byly ještě později doplněny výkonnými teplovzdušnými ventilátory.

Za dobu 8 týdnů bylo dosaženo pouze částečného snížení vlhkosti zdiva. Což byly stále hodnoty značně vzdálené požadavkům investora.

Obecně můžeme konstatovat, že rychlost vysoušení jakéhokoliv předmětu je ovlivňována mnoha faktory a to:

- povrchovou vlhkostí vysoušeného materiálu,
- relativní vlhkostí vzduchu těsně u vysoušené plochy,
- povrchovou teplotou materiálu,
- schopností vysoušeného tělesa rychle transportovat vlhkost do sušších míst, to znamená z vlhkého,
- schopnost konstrukčních materiálů distribuovat vlhkost z vlhkých míst k vysoušeným povrchům.

Pro docílení odstranění vlhkosti se v praxi používá celá řada aplikací.

U všech standardně používaných metod, se jedná o odstranění vody formou odpařování:

- při použití kondenzačních vysoušečů je příčinou urychlení snížení relativní vlhkosti vzduchu při udržení konstantní teploty,

- při použití teplovzdušných ventilátorů dochází k ohřátí povrchové vrstvy vysoušené hmoty, včetně vody v ní obsažené a v důsledku vyšší teploty vzduchu i k výraznému poklesu jeho relativní vlhkosti,
- při vysoušení pomocí topných tyčí je prohříván celý masiv například zdiva, včetně obsažené vody.

9.1.3 Popis průběhu vysoušení a měření

- měření vlhkosti zdiva v místnosti „A“ v hloubkách 40, 70, 110, 300 mm,
- určení nejvlhčích 6 míst + jejich označení,
- EMW vysoušení a kontrola vlhkosti.

Celý průběh nejlépe demonstují údaje naměřené v nejvíce vlhkém prostoru. A to v místnosti A. kontrolní měření bylo prováděno na obvodové stěně tl. 1200 mm, z plných cihel, kladených na vápenocementovou maltu.

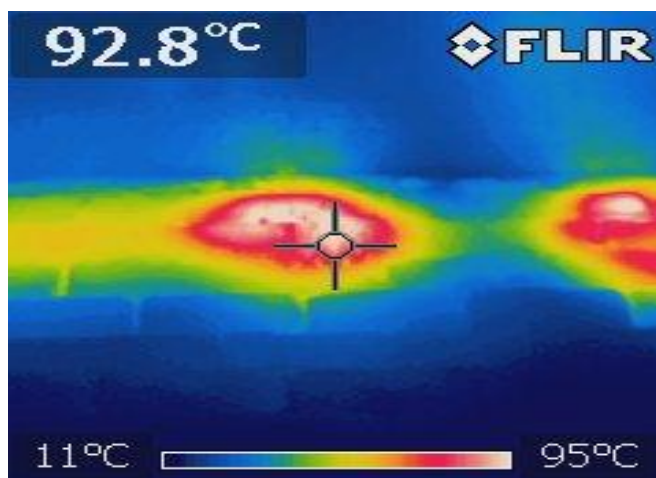
Pro vysoušení zdiva v tomto prostoru byl vyčleněn počet 4 ks přístrojů MB elektronik o příkonu 1100 W a vyzařovaném výkonu 750 W (obr. 36). Směrové antény měly tvar lomeného komolého jehlanu s úst'ovou velikostí 200 x 200 mm. Doba působení mikrovlnné energie byla stanovena na 10 minut, aby bylo možné celou požadovanou plochu ozářit za jednu pracovní směnu.

Vzduch o zvýšené relativní vlhkosti byl z vysoušených prostor nuceně odváděn pomocí potrubního ventilátoru AMC 100 do vnějšího prostředí.



Obr. 36: Vysoušení zdiva mikrovlnnými generátory MB elektronik

Na následujícím snímku obr. 37 je vidět probíhající měření teploty povrchu zdiva, které bylo prováděno namátkově termovizní kamerou FLIR i7.



Obr. 37: Termovizní snímek ozařovaného zdiva

Nerovnoměrnost ohřevu ozařované plochy je dána konstrukcí tvaru vyzařovací antény. Tato nerovnoměrnost byla částečně eliminována postupným posunem přístrojů, kdy docházelo k překrývání ozařovaných ploch.

9.1.4 Použité měřicí přístroje

- Termovizní kamera FLIRi7,
- mikrovlnný vlhkoměr MOIST 210 B.

9.1.5 Výsledky měření

Na základě průzkumu bylo vybráno a přesně označeno 6 nejvlhčích míst v různých částech a výškách kontrolní stěny.

Na nich pak bylo zjišťováno, jak probíhá vlastní proces vysoušení v různých hloubkách.

Kontrolní měření bylo prováděno 2x denně. První vždy ráno, před zahájením vysoušení a druhé 30 minut po ukončení ohřevu daných míst. Namátkově byla kontrolována také jejich povrchová teplota těsně po ohřevu.

Při vyhodnocování naměřených dat byly zjištěny rozdíly v průběhu vysoušení kontrolních míst. Jak je uvedeno v tab. č. 28, ozařování probíhalo nepřetržitým způsobem 6 pracovních dnů. Pouze docházelo po časových intervalech k přemístění mikrovlnných generátorů. Po dvou dnech vysušování vlhkost mohla přirozeně se absorbovat k povrchům zdiva. Po každém pracovním dnu vysoušení se vlhkost posunovala z jádra směrem k povrchu zdiva. Zaručeně to

bylo způsobené postupných vysýcháním povrchových vrstev. V tabulce č. 28 jsou v závěru vypočítány matematické hodnoty, jako jsou min. a max. hodnota, rozpětí „R“ a medián „ \tilde{x} “.

Tab. 28: Průběh vlhkosti v hloubce zdiva

	sonda	40 mm	70 mm	110 mm	300 mm
1 den, 10.10.2013, 9:00	Výchozí hodnoty	8,20%	12,70%	18,50%	21,20%
	30 minut po ozáření	7,10%	10,20%	18,30%	21,20%
2.den, 11.10.2013, 8:00	Před vysoušením	7,30%	10,60%	17,10%	20,70%
	30 minut po ozáření	6,90%	9,80%	14,30%	20,60%
3. až 4.den	Přerušeni vysoušení – volný víkend				
5.den, 14.10.2013, 8:00	Před vysoušením	8,10%	11,90%	13,80%	16,80%
	30 minut po ozáření	6,60%	8,70%	12,20%	16,40%
6.den, 15.10.2013, 8:00	Před vysoušením	6,90%	9,30%	11,40%	14,20%
	30 minut po ozáření	5,80%	7,80%	10,60%	14,00%
7.den, 16.10.2013, 8:00	Před vysoušením	6,20%	7,90%	9,40%	12,50%
	30 minut po ozáření	5,40%	6,10%	8,90%	11,10%
8.den, 17.10.2013,8:00	Před vysoušením	5,20%	6,20%	7,10%	8,30%
	30 minut po ozáření	4,90%	5,30%	5,90%	6,10%
9.den, 18.10.2013, 10:00	Po vychladnutí a vydýchání	4,80%	5,20%	5,50%	5,90%
Min. hodnota		4,80%	5,20%	5,50%	5,90%
Max. hodnota		8,20%	12,70%	18,50%	21,20%
Rozpětí „R“		3,40%	7,50%	13,00%	15,30%
Medián „\tilde{x}“		6,60%	8,70%	11,40%	14,20%

9.1.6 Vyhodnocení průběhu vysoušení

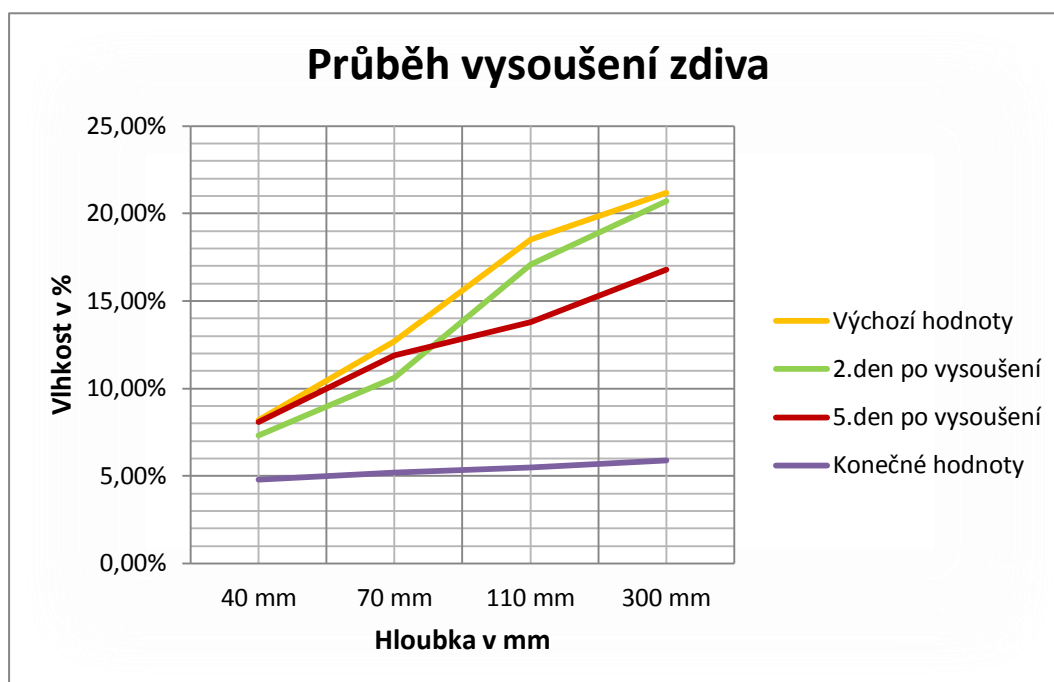
Z výsledků měření uvedených v tab. č. 28 je patrné:

- po prvních dvou cyklech ozařování došlo ke snížení vlhkosti především v podpovrchových vrstvách a to do hloubky 110mm,

- Důvodem byl omezený průnik energie mikrovln, která byla pohlcena velkým množstvím vody v tomto prostoru,
- v době přerušení vysoušení na dva dny (3. a 4. den) došlo k výraznému vyrovnání hodnot vlhkosti, mezi povrchem a hloubkou 300 mm i k celkovému znatelnému snížení množství vody,
- od pátého dne (třetího cyklu vysoušení) byl průnik mikrovlnné energie výrazně hlubší a docházelo k ohřátí vody i v hloubkách okolo 300mm.

Při chladnutí zdiva a vydýchávání vlhkosti z jejího povrchu docházelo současně i k transportu vlhkosti z hloubek na okraj. Vlhkost zdiva v hloubkách 40 a 70 mm byla, mimo poslední měření vyšší po vychladnutí, než předchozí den po ozáření. Současně s tím ovšem klesala vlhkost v hloubkách 110 a 300 mm.

Eliminace vlhkosti vyhraněných bodů v době vysoušení FF Brno je uvedeno v grafu č. 7. Zajímavostí a důležitým ukazatelem může být zobrazení křivky v 2. a 5. dnu vysoušení. Naměřené hodnoty jasně ukazují, že počáteční vlhkosti v 5. dnu vysoušení byly vyšší, než ve 2. dnu vysoušení. Příčina všeho je důsledek mikrovlnné energie a pohyb vody ve vysoušeném zdivu, kde vlhkost byla vytlačována k povrchu.



Graf 7: Postupný průběh eliminace vlhkosti ve zdivu

Okrajové porovnání dvou metod vysoušení je uvedeno v tab. č. 29. Jelikož se v dnešní době stává, že na patřičné stavební práce je vyhrazeno, pokud možno co nejmenší doba, metoda mikrovlnné technologie je jednoznačně prvořadá.

Tab. 29: Reálné srovnání dvou přístrojů pro eliminaci vysoušení zdiva

Metoda	Počet zařízení	Doba provozu	Půjčovné Kč/den	Náklady na obsluhu	Náklady celkem	Spotřeba el. energie	Vysušeno
Kondenzační vysoušení	1ks	56 dní	150	-	8.400,-Kč	56 dní x 24 hodin x 700W = 940 kWh	1500 kg
Mikrovlnné vysoušení	4ks	6 dní a 10 hod	-	400 Kč/hod	24.000,- Kč	6 dní x 10 hodin x 1200W = 66 kWh	10000 kg

Je však důležité podotknout, jak je uvedeno v tab. č. 29, že při působení kondenzačního vysoušení ovšem bylo dosaženo pouze částečného snížení vlhkosti zdiva a to především v povrchových vrstvách.

9.2 Vysoušení sklepních a bytových prostor a sterilizace dřevokazné houby v RD Choceň

9.2.1 Popis objektu

Jedná se o částečně podsklepený jednopatrový rodinný dům, starý cca 80 roků. Zdivo základů a sklepů bylo ze smíšeného zdiva. Ostatní zdivo je tl. 450 mm z CPP. Podlahy v 1.NP (stropy sklepů) jsou provedeny jako betonové. Nášlapnou vrstvu tvoří parketové vlysy, kladené do asfaltu.

9.2.1.1 Popis napadení stavebních prvků

V průběhu jara 2013 byly ve sklepních prostorech zjištěny nárůsty dřevokazné houby, která byla později identifikována jako „Dřevomorka domácí“ (SL), obr. č. 38. Při bližším mykologickém průzkumu bylo zjištěno, že rhyzomorfy kořenového systému prorůstají do podlahy a zdiva v 1.NP a zasažena je část prvků dřevěné podlahy v obývatelné místnosti.



Obr. 38: Pohled na seškrábnuté plodnice dřevokazné houby (SL)

Při bližším ohledání a po provedení potřebných měření bylo následně zjištěno:

- sklepní zdivo bylo výrazně provlhčené. Hodnoty vlhkosti zdiva v hloubce 110 a 300mm byly v rozsahu 5,8 – 9,6 %,
- vlhkost zdiva v 1.NP, především příčky oddělující obývací pokoj a ložnici byla, těsně u podlahy v rozmezí 7,6% - 8,4 %,
- **v příčce byly zazděny zárubně dveří (cca 50 roků a současný majitel o tom nevěděl), viz. obr. č. 39,**
- napadení parketových vlysů v obývacím pokoji je v rozsahu několika m². Jejich vlhkost v místě napadení byla až 28 %. (po následném odstranění vlysů byl makroskopicky viditelný nárůst rhyzomorf).



Obr. 39: Pohled na zjištěné zazděné dřevěné zárubně

9.2.2 Cíl praktického měření

Jednotlivá měření byla zaměřena na získání informací o rychlosti ohřevu, úrovně povrchových teplot na různých místech zdiva a rychlost vysoušení. To vše za podmínek, které jsou vyskytovány v běžné praxi.

9.2.3 Popis průběhu vysoušení a ohřevu zdiva a podlah

Před vlastním vysoušením pomocí EMW byla provedena kombinovaná sanace svislého zdiva.

Aby se zabránilo dalšímu vztlínání vlhkosti, byla provedena dodatečná hydroizolace chemickou injektáží silan- sol krémem AQUABARIER 3. Otvory pro injektáž ve sklepních prostorech byly vrtány cca 250 mm pod stropem. Ve vzdálenosti 100 mm od stropu byly vyvrtána další řada otvorů a ty byly následně vyplněny přípravkem Boronit. Tento přípravek, obsahující kyselinu boritou se ve vlhkém zdivu snadno rozpouští a vytvoří bariéru zabráňující případnému opětovnému šíření kořenového systému dřevokazných hub. Ve zdivu I.NP byla provedena injektáž těsně u podlahy. Boronitem byla provedena suchá injektáž také části zdiva v I.NP.

Napadená podlaha byla postupně rozebírána a napadené dřevo vhodně likvidováno. Plocha prorostlá kořeny houby zasáhla více jak 25 % místnosti.

Po dvou týdnech, kdy se již dalo předpokládat rozpuštění injektážního krému a Boronitu se přistoupilo k mikrovlnné sterilizaci napadených částí zdiva a podlahy. Vzhledem k tomu, že růst SL byl až do poslední chvíle velmi aktivní se začalo s ozařováním zdiva v I.NP. Nejvíce

ohroženým, zatím ještě nepoškozeným místem byla podlaha z parketových vlysů v ložnici, která sousedí s napadeným prostorem.

9.2.4 Použité měřicí přístroje

- termovizní kamera FLIRi7,
- mikrovlnný vlhkoměr MOIST 210 B,
- hrotový vlhkoměr Greisinger GMR100,
- hydro-termometr Greisinger GFTH 200.

9.2.5 Popis sanace a měření

9.2.5.1 Postup měření č. 1 – vybourané zárubně

Otvor po vybouraných zárubních byl ozařován do výšky 800 mm 4x 20 minut s přestávkami 15 minut. Po každém ohřevu byla měřena na dvou odlišných místech povrchová teplota, jak je uvedeno v tab. č. 30.

Tab. 30: Hodnoty dosažených teplot při sterilizaci dřevokazné houby

Vzorek č.	1. ohřev	2. ohřev	3. ohřev	4. ohřev
1	74°C	86°C	104°C	126°C
2	76°C	81°C	98°C	111°C

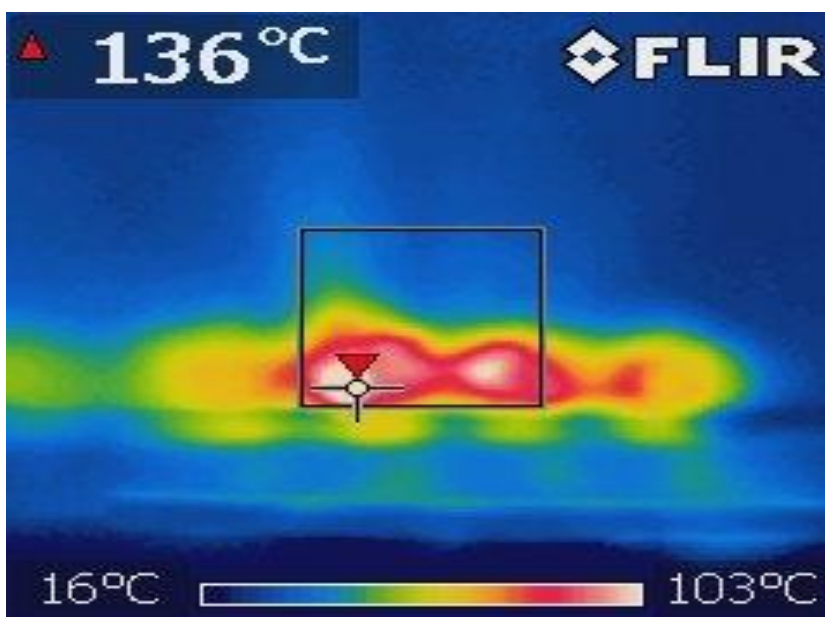
Bod č. 1 byl ozařován ve výšce 150mm nad podlahou, bod č.2 ve výšce 500mm nad podlahou.

9.2.5.2 Postup měření č. 2 – obvodová stěna

Obvodové zdivo bylo ozařováno pouze z vnitřní strany do výšky 200mm, obr. 40. Na šesti předem označených místech byla kontrolována dosahovaná povrchová teplota, obr. 41 a úbytek vlhkosti v různých hloubkách. Teplota vždy po ukončení ohřevu a vlhkost po vychladnutí. Každé místo bylo sanováno 3x 30 minut s dostatečně dlouhou přestávkou na „vydýchání“.



Obr. 40: Ozařování paty obvodového zdiva



Obr. 41: Snímek z termovizní kamery ozařovaného obvodového zdiva

Hodnoty dosažených povrchových teplot po jednotlivých ohřevech mikrovlnným zářením jsou uvedeny v tab. č. 31. V tab. č. 31 jsou v závěru vypočítány matematické hodnoty, jako jsou min. a max. hodnota, rozpětí „R“ a medián „ \tilde{x} “.

Tab. 31: Nárůst teplot označených bodů při ozařování kořenového systému dřevokazných hub

	1. ohřev	2. ohřev	3. ohřev
č.1	81°C	94°C	119°C
č.2	79°C	98°C	136°C
č.3	80°C	96°C	126°C
č.4	75°C	92°C	117°C
č.5	68°C	90°C	115°C
č.6	74°C	88°C	112°C
Min. hodnota	68°C	88°C	112°C
Max. hodnota	81°C	98°C	136°C
Rozpětí „R“	13°C	10°C	14°C
Medián „ \tilde{x} “	77°C	93°C	118°C

Pozn.: Vlhkost v hloubce 110mm, číslováno od rohu.

V tab. č. 32 jsou uvedeny počáteční vlhkosti a eliminace vlhkostí na předem stanovených bodech. V tab. č. 32 jsou v závěru vypočítány matematické hodnoty, jako jsou min. a max. hodnota, rozpětí „R“ a medián „ \tilde{x} “.

Tab. 32: Úbytek vlhkosti na označených bodech po intervalech ohřevů

	výchozí	Po 1. ohřevu	Po 2. ohřevu	Po 3. ohřevu
č.1	8,1%	6,8%	6,1%	4,8%
č.2	7,6%	6,3%	5,2%	4,6%
č.3	7,2%	5,5%	4,9%	4,4%
č.4	7,0%	5,7%	4,8%	4,3%
č.5	6,2%	4,6%	4,4%	4,1%
č.6	6,8%	4,7%	4,5%	4,3%
Min. hodnota	6,2%	4,6%	4,4%	4,1%
Max. hodnota	8,1%	6,8%	6,1%	4,8%
Rozpětí „R“	1,9%	2,2%	1,7%	0,7%
Medián „ \tilde{x} “	7,1%	5,6%	4,85%	4,35%

9.2.5.3 Postup měření č.3 – vnitřní příčka

Příčka tl. 300 mm, ve které bylo hlavní ložisko dřevokazné houby, byla ozařována do výšky 200 mm. Kontrola povrchových teplot, počáteční a konečná vlhkost zdiva v hloubce 110 mm, byla prováděná na šesti místech.

První den byl ohřev proveden 1x 30 minut z každé strany. Druhý den 1x 15 minut.

Hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu v místnosti:

- teplota 20,4°C,
- relativní vlhkost 51,6%.

Velikosti dosažených teplot při ozařování u interiérové příčky jsou uvedeny v tab. č. 33. Následující tab. č. 34 uvádí eliminaci vlhkosti před a po ozařování.

Tab. 33: Teploty u interiérové příčky při ozařování

Ohřev	č.1	č.2	č.3	č.4	č.5	č.6
1. ohřev zprava, čelní strana	68,4°C	71,1°C	64,6°C	66,2°C	58,4°C	62,8°C
1. ohřev zprava, zadní strana	19,8°C	19,6°C	19,4°C	19,4°C	19,6°C	19,2°C
2. ohřev zleva, čelní strana	71,1°C	72,3°C	69,7°C	69,6°C	66,8°C	68,8°C
2. ohřev zleva, zadní strana	24,4°C	23,9°C	22,8°C	23,1°C	22,7°C	23,1°C
3. ohřev zprava, čelní strana	97,2°C	98,1°C	94,6°C	95,4°C	93,9°C	99,3°C
3. ohřev zprava, zadní strana	38,3°C	40,1°C	40,4°C	37,8°C	39,5°C	41,3°C
4. ohřev zleva, čelní strana	112,6°C	117,0°C	129,0°C	107,6°C	131,0°C	122,3°C
4. ohřev zleva, zadní strana	58,4°C	60,2°C	61,3°C	60,4°C	67,8°C	66,6°C

Ohřev č.1 a č.3 byl prováděn z pravé strany, ohřev č.2 a č.4 ze strany levé.

Tab. 34: Dosažené hodnoty vlhkosti před a po ozařování

Vlhkost	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6
Výchozí	7,8%	8,2%	8,4%	8,4%	7,6%	7,4%
Konečná	4,9%	5,1%	5,0%	5,2%	4,6%	4,7%

9.2.5.3 Postup měření č. 4 – podlaha z parketových vlysů

Z hlavního ložiska se Dřevomorka domácí svým kořenovým systémem rozšířila i pod podlahu z parketových vlysů v obývacím pokoji a ohrožovala i stejnou podlahu v sousední místnosti.

Podlaha v obývacím pokoji byla kompletně odstraněna. Podlaha ve vedlejší místnosti byla preventivně sterilizována EMW zářením. Jednalo se o 400 mm široký pás těsně u příčky oddělující obě místnosti.

K měření teplot bylo vybráno šest bodů, v různých místech sanované plochy, na kterých byla zjištěna nejvyšší vlhkost.

Degradace nášlapné podlahy z dřevěných parketových vlysů je zobrazena na obr. č. 42, 43. Kořenový systém dřevokazných hub v podobě rhyzomorf je důsledkem aktivity této dřevokazné houby.



Obr. 42, 43: Napadnutá nášlapná vrstva podlahy rhyzomorfami

Tab. č. 35 udává hodnoty dosažených teplot mikrovlnným ozařováním podlahy, za účelem sterilizace kořenového systému v pohodě rhyzomorf dřevokazných hub. V tab. č. 35 jsou v závěru vypočítány matematické hodnoty, jako jsou min. a max. hodnota, rozpětí „R“ a medián „ \tilde{x} “.

Tab. 35: Dosažené teploty ohřevu podlahy v ložnici

	1. ohřev	2. ohřev	3. ohřev	4. ohřev
č.1	68,3 °C	85,6°C	112,2°C	121,1°C
č.2	71,9°C	86,1°C	104,5°C	117,4°C
č.3	76,6°C	88,1°C	107,5°C	119,1°C
č.4	71,1°C	91,1°C	109,8°C	121,2°C
č.5	69,7°C	82,4°C	97,9°C	109,5°C
č.6	68,9°C	84,7°C	91,3°C	111,2°C
Min. hodnota	68,3 °C	82,4°C	91,3°C	109,5°C
Max. hodnota	76,6°C	91,1°C	112,2°C	121,2°C
Rozpětí „R“	8,3°C	8,7°C	20,9°C	11,7°C
Medián „ \tilde{x} “	70,4°C	85,85°C	106°C	118,25°C

9.2.6 Vyhodnocení průběhu vysoušení a ohřevu zdiva a podlah

Výsledky jednotlivých měření se prokázalo, že při použití vhodných přístrojů a v případech snadného přístupu ke kontaminované konstrukci, je využití EMW záření velmi účinné. U dřevěných prvků (parketové vlasy) by mohla být sterilizace stoprocentní. U zdiva tl. 300 mm (výjimečně do 450 mm) by mohla být účinnost blízká k 100%.

U zdiva větší šířky je však obtížné dosažení požadovaných teplot v celém průřezu.

Působením EMW záření ovšem dochází k postupnému vysušování konstrukce a souběžně s tím i vysušování kořenového systému houby. Tedy ke stavu, který je pro případnou aktivizaci výrazně nepříznivý.

9.3 Likvidace dřevokazného hmyzu a sterilizace dřeva v rekreačním objektu v Ruprechticích

9.3.1 Popis objektu

Jedná se o větší objekt, který je pronajímán k rekreačním účelům. Je využíván přibližně osm měsíců v roce. Snahou majitele bylo dodržet, při rekonstrukci, původní ráz podhorské chalupy. Ve většině místností v 1.NP i ve 2.NP jsou stropní konstrukce dřevěné, s priznanými stropními trámy.

9.3.1.1 Popis napadení stavebních prvků dřevokazným hmyzem

V jídelně bylo zjištěno, v jednom stropním trámu, napadení dřevokazným hmyzem. Podle velikosti a tvaru výletových otvorů a mikroskopického rozboru vypadávajících požerků, byli jako škůdci identifikováni a to na „tesaříka krovového a červotoče.

Protože jsou všechny trámy několikrát povrchově ošetřeny nátěry, nepřicházelo v úvahu použití chemických látek.

9.3.2 Cíl praktického měření

Záměrem měření bylo potvrdit v terénních podmínkách možnost sterilizace dřevěných stavebních prvků napadených dřevokazným hmyzem.

9.3.3 Popis průběhu sanace

Napadený stropní trám byl přístupný ze tří stran. To umožnilo, aby byl i ze tří stran ozařován.

Sestava dvou přístrojů MB elektronik, usazená na manipulačním stojanu, byla postupně posouvána po celé délce tak, aby docházelo k vzájemnému překrytí ozařovaných míst a tím i ke stejnoměrnému ohřevu. Doba ohřevu byla stanovena na 5 minut. Opětovný ohřev stejného místa, ze stejné strany byl prováděn po cca 90 minutách.

Ozařování bylo realizováno z obou bočních stran a ze strany spodní.

9.3.4 Postup měření.

Před ozařováním a 30 minut po posledním ozařování byla změřena povrchová vlhkost trámů. Všechny teploty byly zaznamenávány, označeny hodnoty nejnižší a nejvyšší a vypočítán průměr.

Ozařování stropních dřevěných trámů napadených dřevokazným škůdcem (tesařík krovový) je zobrazeno na obr. 44.



Obr. 44: Ozařování stropního trámu

V následující tab. č. 36 jsou zobrazeny hodnoty teplot a vlhkostí v průběhu ozařování a po jeho dokončení.

Tab. 36: Tabulka naměřených hodnot před a při ozařování

Vlhkost před ozařováním	18,1%
Vlhkost po ozařování	11,4%
Nejvyšší teplota čelní strany	98°C
Nejvyšší teplota zadní strany	68°C
Průměrná teplota přední strany	92°C
Průměrná teplota zadní strany	62°C

9.3.5 Použité měřicí přístroje.

K měření potřebných údajů bylo použito těchto měřidel:

- hrotový vlhkoměr Greisinger GRM100,
- infra teploměr Ahlborn Amir 7811,
- termovizní kamera FLIRi7.

9.3.6 Vyhodnocení výsledků ohřevu a vysoušení.

Při teplotě nad 52°C dochází k postupným a nevratným změnám bílkovin, obsažených ve všech vývojových stádiích dřevokazného hmyzu. Protože tyto jednotlivé vývojové formy obsahovaly výrazně vyšší obsah vody, než okolní dřevo, je jejich ohřev působením mikrovlnné

energie, oproti dřevu, rychlejší. Tepelně izolační schopnost dřeva bránilo rychlému úniku tepla z jeho vnitřní části.

V obdobných případech lokálního napadení dřeva dřevokazným škůdcem je využití EMW vhodným řešením. Teplota, které bylo dosaženo, zajišťuje úhyn všech vývojových stadií hmyzu.

Postupným ohřevem a vysoušením bylo zabráněno poškození nátěrů i deformaci a dodatečnému popraskání trámů.

Je však nutno připomenout, že bylo využito mikrovlnné technologie pouze jako represivní část zásahu, bez jakékoliv prevence proti případnému opakovanému zásahu.

Určitou prevencí by mohl být pouze fakt, že souběžně s likvidací hmyzu docházelo i k vysoušení ozařovaného materiálu a tím i k vytvoření prostředí, které je pro růst hmyzu nevhodné.

9.4 Dezinfekce - likvidace plísní v bytech (Choceň, Třebíč)

9.4.1 Popis objektů s výskytem plísní v interiérech

Měření bylo provedeno ve dvou objektech.

Jednalo se o starší zděné domy (rodinný a bytový dům) z období 50. let 20. století. Obvodové zdivo z CPP tl. 300 mm.

9.4.1.1 Popis objektu RD Třebíč

Prvním objektem byl rodinný dům. Jedná se o objekt starý cca 70 roků, postavený převážně z CPP Na jeho severní straně, kde se nachází komunikační prostor montovaného schodiště. Tento prostor není vytápěn. Na podchlazeném povrchu stěn dochází ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a tím k vytvoření podmínek pro růst mikromycét - plísní.

9.4.1.2 Průběh sanace, výsledky měření

Teplotně-vlhkostní podmínky a hodnoty v průběhu dezinfekce, jsou uvedeny v následující tabulce č. 37.

Tab. 37: Tabulka hodnot naměřených v průběhu sanace RD Třebíč

tl. zdiva v místě sanace	300mm
teplota vzduchu v exteriéru	+3,5°C
relativní vlhkost vzduchu v exteriéru	86,40%
teplota vzduchu v interiéru	20,0°C
relativní vlhkost vzduchu v interiéru	62,00%
rosný bod vzduchu v interiéru	12,45°C
povrchová teplota zdiva před ozařováním	13,2°C
povrchová vlhkost před ozařováním	17,80%
vlhkost zdiva v hloubce 110mm	8,30%
povrchová teplota zdiva po 15 minutách ozařování	45°C
30 minutách ozařování	80°C
45 minutách ozařování	92°C
povrchová vlhkost po 45 + 15 minut	6,20%
vlhkost v hloubce 110mm po 45 + 15 minut	5,40%

9.4.1.3 Popis objektu BD Choceň

Zasklený balkon ve III.NP bytového domu. Původně otevřený balkon byl před 40. roky dodatečně zastřešen a zasklen. Je nevytápěn a přímo navázán na hlavní obytný prostor bytu. Situován je na SZ.

9.4.1.4 Průběh sanace, výsledky měření

Teplotně-vlhkostní podmínky v průběhu dezinfekce balkónu jsou uvedeny v tab. č. 38.

Tab. 38: Tabulka hodnot naměřených v průběhu sanace BD Choceň

tl. zdiva v místě provádění experimentu	300mm
teplota vzduchu v exteriéru	16°C
relativní vlhkost vzduchu v exteriéru	66,00%
teplota vzduchu v interiéru	21,1°C
relativní vlhkost vzduchu v interiéru	58,40%
rosný bod vzduchu v interiéru	12,7°C
povrchová teplota zdiva před ozařováním	16,8°C
povrchová vlhkost před ozařováním	18,30%

vlhkost zdiva v hloubce 110mm	7,10%
povrchová teplota po 15 minutách ozařování	58°C
30 minutách ozařování	84°C
45 minutách ozařování	104°C
povrchová vlhkost po 45 + 15 minut	6,60%
vlhkost v hloubce 110m po 45 + 15 minut	4,90%

9.4.2 Popis průběhu sanačního zásahu formou MW záření

Oba experimenty byly provedeny na vytipovaných místech s masivním nárůstem plísní. Jejich průběh byl značně ovlivněn extrémními podmínkami a zvýšenou vlhkostí zdiva na povrchu i v hloubce. Pro každou délku ozařování byla určena jedna část zdiva. Kontrolní stěry byly stírány před zahájením experimentů a vždy 15 minut po ukončení jednotlivé fáze.

Na závěr bylo jedno kontaminované místo ošetřeno chemicky, pracovním roztokem přípravku MITHON NVA (výrobce VÚOS Pardubice, Rybitví). Odebraný kontrolní stěr byl použit pro porovnání účinnosti obou metod sanace.

9.4.3 Cíl praktického měření

Cílem bylo zjistit, za jakých teplotních podmínek dochází k inaktivaci nárůstu plísní. Z tohoto důvodu bylo měření zaměřeno především na vyhodnocení povrchových teplot dosažených v různých intervalech ozařování. Ostatní naměřené hodnoty (teplotně-vlhkostní podmínky v interiéru i exteriéru a vlhkost zdiva), byla pouze informativní.

Popis průběhu měření:

- výběr nejvíce infikovaných míst,
- odběr kontrolních stěrů před ozařováním,
- ozařování vytipovaných míst v různých časových intervalech,
- chladnutí 15 minut,
- odběr stěrů na ozařovaných místech,
- chemické ošetření jednoho infikovaného místa, které nebylo sanováno EMW zářením,
- kontrolní stěr na chemicky ošetřeném místě, 30 minut po dezinfekci,
- předání stěrů k vyhodnocení do mikrobiologické laboratoře.

Kultivace mikroskopických hub po MW ozáření

Vzorky z míst, která byla napadena mikroskopickými houbami, byly po ozáření MW odebrány na komerčně vyráběné odběrové tampóny od firmy Med-Lab s.r.o. Vatové tampóny byly bezprostředně před použitím navlhčeny sterilním fyziologickým roztokem.

Po odběru byly dodány do laboratoře, kde byly vzorky naočkovány na kultivační média a kde probíhala kultivace plísní v termostatu při teplotě 25 °C, což je optimální teplota pro růst většiny mikroskopických hub.

Jako kultivační médium pro každý vzorek byl použit sladínový agar (tmavé misky) a Czapek – Dox (světlé misky) od fy Oxoid.

Kultivace probíhala po dobu 10 dnů, poté byly výsledky kultivace fotograficky zdokumentovány.

Vlhkost pro růst plísní v Petriho miskách, byla dána prostředím v kultivačním médiu a v prostoru misky a byla optimální.

Složení kultivačních pūd:

a) Malt Extract Agar (sladínový agar) (fy Oxoid)

- Malt extract – 30,0 g,
- Mycological Peptone – 5,0 g,
- Agar – 15,0 g,
- Destilovaná voda – 1,0 litr.

b) Czapek Dox Agar (fy Oxoid)

- Sodium nitrate – 2,0 g,
- Potassium chloride – 0,5 g,
- Magnesium glycerophosphate – 0,5 g,
- Ferrous sulphate – 0,01 g,
- Sucrose – 30,0 g,
- Agar – 12,0 g,
- Dest.voda – 1,0 litr.

9.4.4 Použité měřicí přístroje

- hrotový vlhkoměr Greisinger GMR100, pro měření povrchových vlhkostí zdiva,
- hloubkový vlhkoměr MOIST 210B, k měření vlhkosti v hloubce masivu zdiva,
- termovizní kamera Flir i7

9.4.5 Vyhodnocení výsledků inaktivace nárůstu plísni formou MW záření a dezinfekce provedené za použití chemickým dezinfikantů

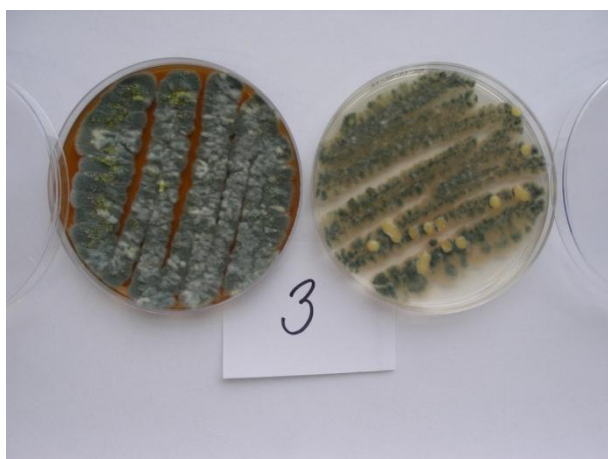
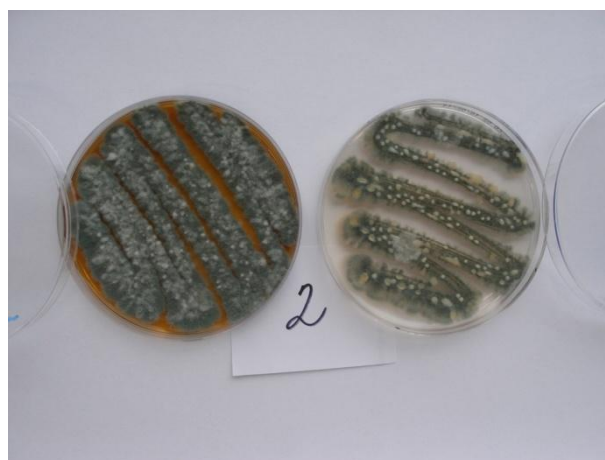
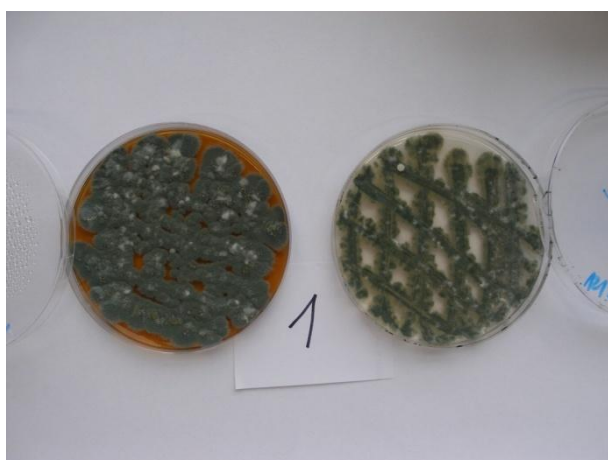
Na výsledky účinnosti MW záření při likvidaci plísni nemá vliv množství vysílané elektromagnetické energie, ani doba ohřevu. Stěžejním kritériem je dosažená teplota. Ta je navíc u různých druhů plísni různá. Jedním z nejodolnějších je *Aspergillus* spp.. Tento druh plísně, který se velmi často vyskytuje, jako součást tzv. "terénní směsi plísni", je odolný velmi vysokým teplotám. I nad hranici 100°C.

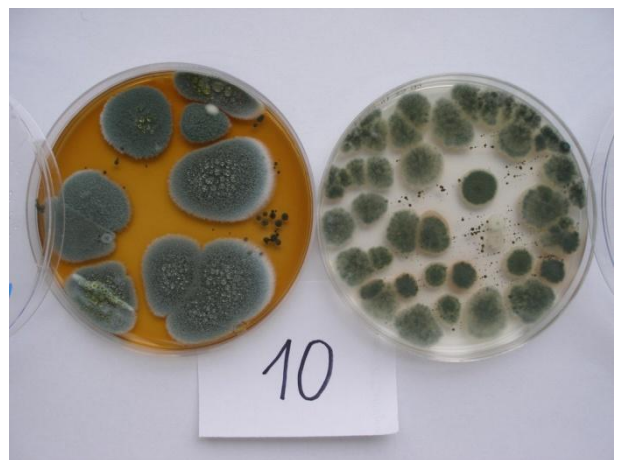
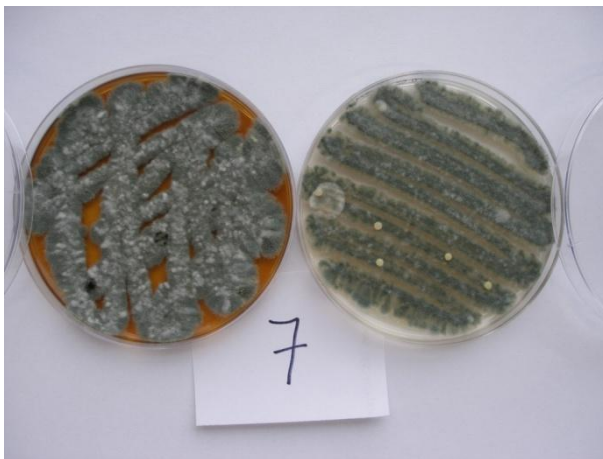
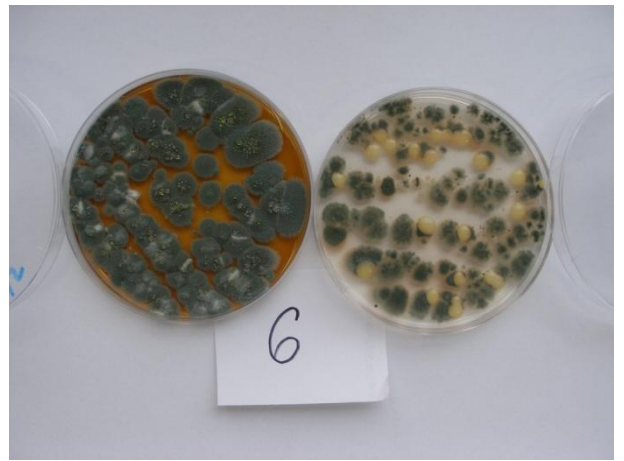
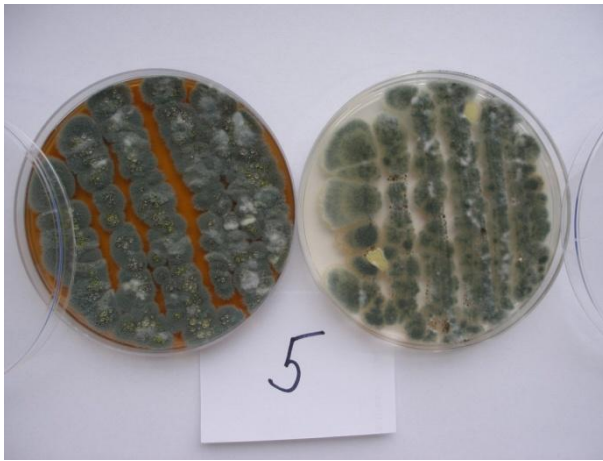
Likvidace plísni pomocí MW záření je v porovnání s dezinfekcí realizovanou chemickou cestou většinou výrazně časově náročnější a tím i finančně nákladnější. Požadované vysoké účinnosti lze dosáhnout až při ohřevu na teploty blízké teplotám používaným při sterilizaci ve zdravotnictví. Tedy při teplotách okolo 130°C a vyšších.

Využití mikrovlnné technologie bude v případech likvidace plísni okrajovou a specifickou záležitostí, s využitím spíše restaurátorství, než ve stavebnictví.

Ani sebekvalitnější dezinfekce provedená EMW záření neumožňuje prevenci proti opětovnému napadení.

Na obr. č. 45 jsou zobrazeny snímky po sanačním zákroku plísni formou MW záření. Po vyhodnocení je vidět malý úbytek „spórů“ plísni. Spóry plísni byly odebírány v průběhu ozařování.





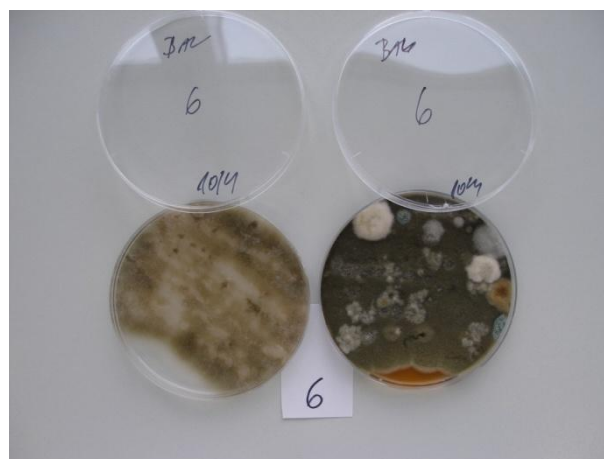
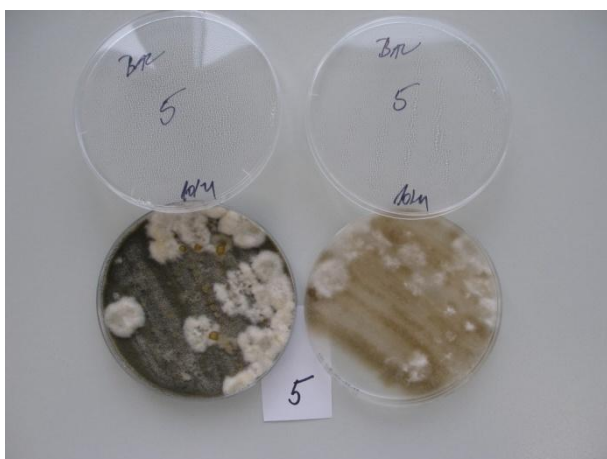
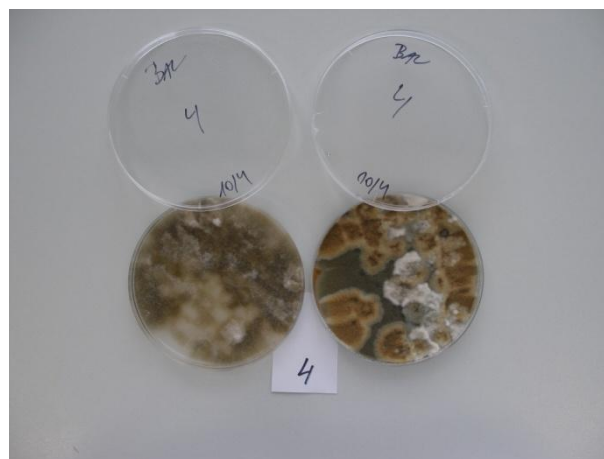
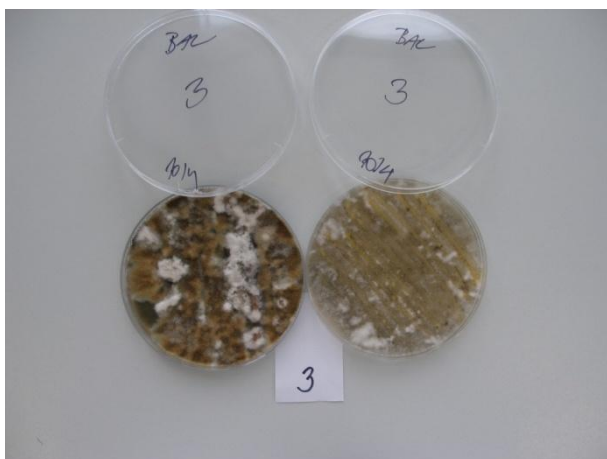
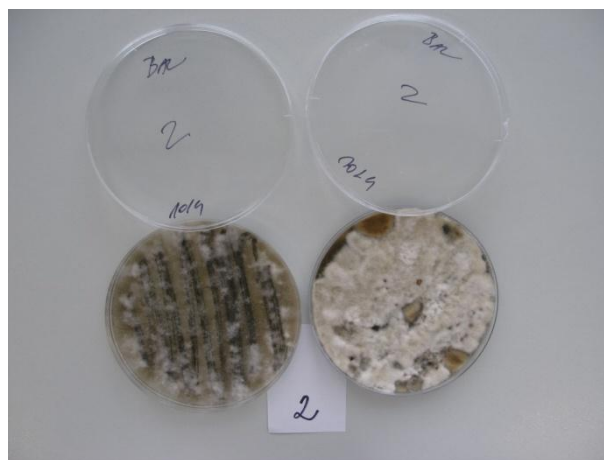
Obr. 45: Snímky kultivací plísni bez chemického ošetření v BD Chocẽ.

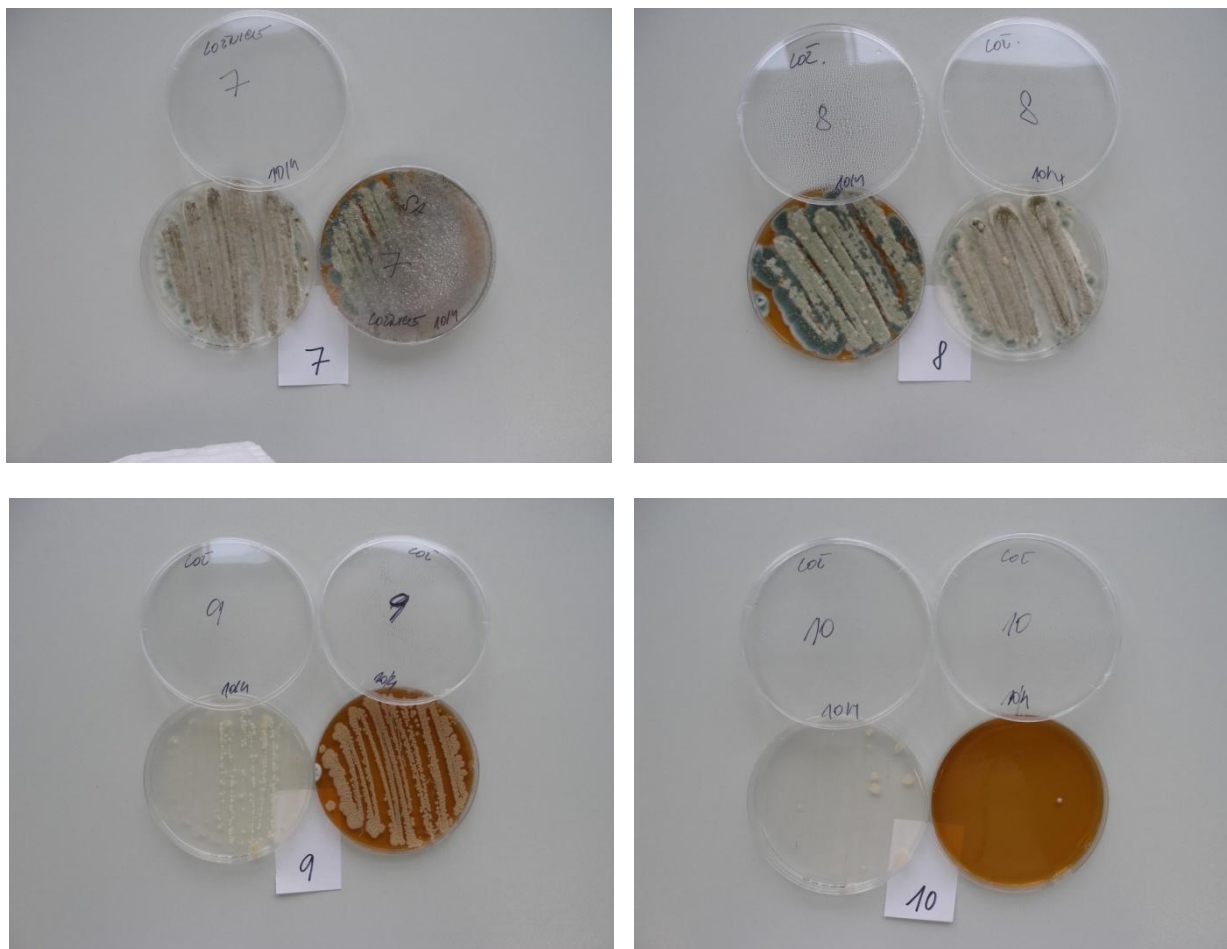
Další snímky vyhotovené v akreditované laboratoři v Brně. Lokální místa plísni byly tepelně sterilizovány a po nejvyšší dosažené teplotě byla, také místa ošetřena chemický nástřikem s patřičným dezinfekční prostředkem.

Tyto snímky jsou ze stavby rodinného domu, kde byl po tepelném ošetření použit chemický dezinfekční prostředek.

Snímky obr. 46 ukazují odlišně úspěšnou likvidaci plísni v kombinaci MW záření a chemické dezinfekce.

Ve většině případů se plíseň objevuje v místech tepelných mostů. Pokud tyto mosty jsou eliminovány, je ekonomicky výhodnější, napadnuté místo ošetřit chemickým dezinfekčním prostředkem. Ne však, ve většině případů za použití „SAVA“.





Obr. 46: Snímky kultivací plísni s použitím chemického dezinfekčního prostředku v RD Třebíč

Jelikož mikrobiologickou laboratoří nebylo vyhodnoceno přesné určení druhů mikroskopických hub, je i přesto patrné, že tepelné ošetření v kombinaci s chemickým ošetřením lokálních míst mikroskopických hub (plísni) je více účinná, než jen tepelné (mikrovlnné) ošetření.

Je pravděpodobné, že samotné chemické ošetření je účinnější, než jen tepelné ošetření mikrovlnnými generátory. Dále je i tento způsob ekonomičtější.

10. ZÁVĚR

10.1 Shrnutí základních informací

Případů, kdy je potřeba vysušit stavební materiály, tvořící konstrukci různých objektů bylo, je, budou vždy **velké množství případů**.

Důvodů zvýšené vlhkosti je celá řada. Blíže byly popsány v bodě 2.

K odstranění nežádoucí vlhkosti se využívají různé postupy a technologie:

- přirozené vysychání,
- kondenzační vysoušeče,
- absorpční vysoušeče,
- teplovzdušné a horkovzdušné vysoušeče,
- topné spirály a topné kabely,
- mikrovlnné vysoušeče.

Každý z uvedených způsobů vysoušení má své klady a zápory.

Navzájem se od sebe liší:

- dobou potřebnou k dosažení požadovaných hodnot vlhkosti,
- nároky na odbornost obsluhy přístrojů a zařízení,
- nároky na cenu zařízení (půjčované),
- energetická náročnost.

Základní porovnání jednotlivých způsobů je uvedeno v tabulce č. 39.

Způsob	nároky na vybavení	nároky na obsluhu	doba vysoušení	náklady
přirozené vysoušení	1	1	10	1
kondenzační a absorpční vysoušení	4	2	6	3
teplovzdušné vysoušení	6	4	5	6
topné tyče	7	6	4	6
mikrovlnné vysoušení	10	10	1	10

Tab. 39: Porovnání jednotlivých technologií (1 – nejlepší, 10 – nejhorší)

Stále více je preferovaným kritériem „rychlost“. Z tohoto pohledu je využití mikrovlnné technologie jednoznačně nejlepší.

10.2 Shrnutí výsledků experimentů

Cílem této práce bylo blíže definovat možnosti využití mikrovlnné technologie ve stavební praxi.

Výsledky jednotlivých experimentů jednoznačně prokázaly široké možnosti využití mikrovlnné technologie při vysoušení stavebních konstrukcí.

Při experimentech zaměřených na likvidaci biotických škůdců staveb a stavebních materiálů (plísň, dřevokazné houby, dřevokazný hmyz), které probíhaly za laboratorních podmínek, byla prokázána vysoká účinnost EMW záření.

Při ozařování materiálů EMW zářením dochází nejen k jeho ohřevu, ale i k postupnému vysoušení a tím i k eliminaci podmínek potřebných pro aktivitu těchto škůdců.

10.2.1 Ohřev a vysoušení

Při ozařování, ohřevu a vysoušení všech materiálů, které byly v rámci jednotlivých experimentů použity, se nepotvrdil často publikovaný názor, že ozařovaný materiál je od samého počátku ohříván hloubkově. To ostatně odporuje základním fyzikálním zákonům.

Hloubka průniku mikrovln materiálů je závislá na jeho vlhkosti a rozložení vlhkosti v celém průřezu. V případech, kdy se jedná o vyšší a přitom rovnoměrně rozloženou vlhkost, dochází k absorpci mikrovlnné energie nejprve povrchovými vrstvami. Teprve následně, po snížení vlhkosti z těchto vrstev, pronikají mikrovlny hlouběji. Při časově delším, nepřerušovaném ozařování jednoho místa proto může dojít k nežádoucímu gradientu mezi teplotou čelní strany a teplotami v různých hloubkách průřezu a tím i nerovnoměrnému vysoušení jednotlivých vrstev.

Důsledkem toho je nežádoucí pnutí ohřívajícího a vysoušeného materiálu, či stavební konstrukce a riziko tvarových deformací, či dokonce destrukcí.

Proto je vhodné ohřev a tedy i vysoušení provádět přerušovaně. V pauze mezi ohřevy dochází k odpařování povrchové vlhkosti bez další spotřeby energie a k jejímu transportu ze středu k povrchu.

Při časově kratším, ale vícenásobném opakovaném ohřevu, je rozdíl mezi teplotami dosaženými na čelní straně, uprostřed materiálu (konstrukce) a na zadní straně menší.

Výsledek experimentu č. 3 prokázal, že při stejné celkové délce ohřevu, rozdělené na různé časové úseky (4x15', 3x20', 2x30') bylo dosaženo různých výsledků. Jak u dosažených teplot, tak i v úbytku vlhkosti.

V experimentech č. 1 jsou uvedeny změny vlhkosti cihelného zdiva v různých hloubkách, ke kterým docházelo v průběhu celého vysoušení. Z naměřených hodnot je patrné, jak se postupně

zvětšoval průnik mikrovlnné energie do hloubky masivu zdiva a jak, v důsledku toho, docházelo k transportu vlhkosti z větších hloubek k povrchu.

10.2.2 Likvidace biotických škůdců

Na sterilizaci stavebních materiálů napadených biotickými škůdci pomocí mikrovlnné technologie má vliv teplota dosažená ohřevem. U každého škůdce je tato teplota odlišná, viz tab. č. 3. K dosažení požadovaného výsledku, je ve většině případů nutno docílit nadkritických teplot v celém průřezu ozařovaného materiálu, či modelu stavební konstrukce. V laboratorních podmínkách je dosažení takového stavu jednodušší. Stejně tak i realizace měření potřebných údajů.

10.3 Shrnutí výsledků měření „IN SITU“

Při měření prováděných „IN SITU“ se porovnávaly výsledky jednotlivých experimentů s výsledky naměřenými v terénních podmínkách.

10.3.1 Ohřev a vysoušení

Výsledky měření získané „IN SITU“ jednoznačně prokázaly mimořádnou efektivitu využití EMW technologie při vysoušení stavebních konstrukcí.

Při praktické realizaci se ve většině případů jedná o vysoušení většího rozsahu. Na rozdíl od laboratorních experimentů je proto nutné zajistit:

- eliminaci zvýšeného množství vzdušné vlhkosti, vznikající při vysoušení,
- nutnost použití většího počtu mikrovlnných generátorů,
- zajištění dostatečného příkonu elektrické energie,
- dodržení požadavků bezpečnosti práce.

V bodě č. 9 je popsán průběh vysoušení na konkrétní stavbě. V závěru tohoto „IN SITU“ je v tabulce č. 29 zpracováno porovnání efektivity vysoušení za využití mikrovlnné technologie a nejběžněji používaného postupu s využitím kondenzačních vysoušečů.

10.3.2 Likvidace biotických škůdců

Pro úspěšnou sanaci stavebních materiálů a stavebních konstrukcí napadnutými biotickými škůdci, je potřeba ohřát sanovaný materiál na požadovanou teplotu. V terénních podmínkách je ovšem mnohdy možné změřit pouze teplotu na čelní straně. Což není dostatečné. Teplota

uvnitř ozařovaného materiálu a na jeho „zadní“ straně není dostatečně známá. A z tohoto důvodu může být úspěšnost sanace nedostatečná.

Při likvidaci biotických škůdců bude využíváno mikrovlnné technologie pravděpodobně pouze ve specifických případech, kdy jiné postupy není možné využít.

10.3.2.1 Likvidace dřevokazného hmyzu

Při likvidaci dřevokazných škůdců to bude především sanace dřeva napadeného hmyzem. A to pouze v případech, kdy je možné mikrovlnný generátor umístit co nejbližší k místu potřebného zásahu. Tedy nejčastěji při likvidaci lokálního napadení. Při větším rozsahu výskytu dřevokazného hmyzu je použití EMW neefektivní. V takových případech je vhodné použít jiných technologií (thermosanace, použití chemických přípravků).

V potaz se také musí vzít fakt, že se vždy jedná o represivní zásah, který nemá žádný, nebo pouze malý preventivní účinek. Při lokální sterilizaci dřeva EMW technologií dojde k jeho částečnému vysušení. Tímto provedením dojde často i k odstranění jedné ze základních podmínek, nutných pro vývoj dřevokazného hmyzu.

10.3.2.2 Likvidace dřevokazné houby

Možnosti využití EMW technologie při sanaci napadení dřevokaznou houbou jsou limitovány mnoha faktory. Druhem dřevokazné houby, rozsahem napadení a u „Dřevomorky domácí“ i rozsahem jejího kořenového systému. Protože se v těchto případech jedná o složitý problém, přesahující oblast stavebnictví, bude zde nutná úzká spolupráce s odborníky v oblasti mykologie a dřevařství.

Je především potřeba jednoznačně určit, jakých podmínek je nutné docílit k usmrcení jednotlivých částí dřevokazných hub. Plodnice, mycelia a kořenového systému (rhyzomorf).

10.3.2.3 Likvidace plísní

Likvidace plísní EMW technologií je teoreticky možná. Ovšem standardně prováděná dezinfekce pomocí chemických prostředků bude ve většině případů rychlejší, ekonomicky výhodnější a velmi často účinnější. V terénních podmínkách bude EMW technologie využívána ve specifických případech, kdy použití chemických přípravků není možné. Nebo naopak, tam kde bude požadována nejen dezinfekce, ale i vysušení daného materiálu, či části objektu.

10.4 Shrnutí poznatků

Jak je uvedeno v úvodu této disertační práce, o možnosti využití mikrovlnné technologie ve stavebnictví se ví již několik desetiletí. Většímu rozšíření použití této progresivní metody brání několik základních faktů:

- nedostatečná informovanost odborné veřejnosti o možnostech využití EMW,
- nutnost potřeby specifických přístrojů a měřidel,
- malá dostupnost odborné literatury zaměřené k tomuto tématu,
- nutnost odborné způsobilosti obsluhy zařízení.

10.5 Zaměření další experimentální činnosti.

Jak je uvedeno v bodě 10.3.1., bude hlavním těžištěm využití mikrovlnné technologie v praxi oblast vysoušení různých materiálů. Proto bude vhodné zaměřit další výzkum především tímto směrem. Na rozšíření využívání tohoto postupu mezi koncovými odběrateli bude mít vliv nejen výrazně zkrácený čas, potřebný k odstranění nežádoucí vlhkosti ze stavebních materiálů a konstrukcí, ale i výše nákladů, které budou potřebné vynaložit. To znamená, na základě laboratorních experimentů a následného ověření v terénních podmínkách vyhodnotit, klady a zápory různých postupů.

Zaměření dalších experimentů by mělo být především na:

- porovnání průběhů vysoušení různých stavebních materiálů a konstrukcí,
- vymezení rozsahu teplot ohřevu, při kterých je dosahováno nejvyšší účinnosti využití mikrovlnné energie,
- porovnání rychlosti a efektivity vysoušení dosažené při použití různé délky cyklů ohřevu a následného chladnutí,
- vyhodnocení průběhu posunu vlhkosti, probíhajícího v celém průřezu vysoušeného materiálu, při jednorázovém a cyklickém způsobu vysoušení.

10.6 Vyhodnocení splnění cílů

Cíle disertační práce uvedené v bodě 6 (6.3.) byly v plném rozsahu naplněny. Na základě výsledků experimentů provedených v laboratořích a měření „IN SITU“ v terénních podmínkách byly vymezeny základní okruhy výhod a nevýhod použití EMW technologie ve stavební praxi.

Jednoznačně se prokázalo, že se jedná o technologii, která bude hojně využívána při sanačních pracích.

Tato práce by mohla být základem informovanosti odborné veřejnosti o další progresivní metodě vysoušení stavebních materiálů a likvidaci biotických škůdců staveb.

CITOVANÉ ZDROJE

- [1] BALÍK, M. a kolektiv ODVLHČOVÁNÍ STAVEB, První vydání, Praha 2005, ISBN 80-247-0765-9
- [2] BALÍK, M. a kolektiv ODVLHČOVÁNÍ STAVEB, Druhé přepracované vydání, Praha 2008, ISBN 978-80-247-2693-9
- [3] WASSEBAUER, R. BIOLOGICKÉ ZNEHODNOCENÍ STAVEB, První vydání, Praha 2000, ISBN 80-86165-30-2
- [4] SOBOTKA, J. ÚČINNOST LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ PROSTŘEDNICTVÍM MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ. In *Sborník anotací Juniorstav 2012*. Brno, VUT v Brně, Fakulta stavební. ISBN 978-80-214-4393-8.
- [5] SOBOTKA, J.; SUHAJDA, K. LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ PROSTŘEDNICTVÍM EMW ZÁŘENÍ. Junior Forensic Science Brno 2012 – JuFoS. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 244/53, 602 00 Brno. ISBN 978-80-214-4485-0.
- [6] Disertační práce SANACE VLHKÉHO ZDIVA STAVEB "Využití tyčové antény při mikrovlnném vysoušení, autor Karel Šuhajda, Brno 2006.
- [7] ŠKRAMLÍK, J.; NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; MĚŘENÍ VLHKOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ ABSORBČNÍ MIKROVLNOU METODOU, článek v *Stavební obzor*, ISSN 1210-4027, ČVUT Praha, VUT Brno, Praha, 2008. 28-142 s.
- [8] PTÁČEK, P.: OCHRANA DŘEVA V DŘEVOSTAVBÁCH, Podlahy a povrchové úpravy ve stavebnictví 2012, Betonconsult, s.r.o.
- [9] REINPRECHT, L.: OCHRANA DŘEVA, TU Zvolen, 2008
- [10] NOVOTNÝ, M.; JIROUŠEK, Z.; SOBOTKA, J.; ŠUHAJDA, K., MIKROVLNNÁ STERILIZACE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ NAPADENÝCH BIOTICKÝMI ŠKŮDCI Zdroj: <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/11774-mikrovlnna-sterilizace-drevenych-prvku-napadenych-biotickymi-skudci>, článek v *TZB-info*, ISSN 1801-4399, TZB-INFO, Topinfo s.r.o., Křenova 438/3, 162 00 Praha 6, PRAHA, 2014
- [11] SOBOTKA, J.; JIROUŠEK, Z., SANACE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ KITTELOVA DOMU, článek v *Materiály pro stavbu*, ISSN 1213-0311, Business Media CZ, s.r.o., Praha, 2014
- [12] SOBOTKA, J., JIROUŠEK, Z., ŠUHAJDA, K., LIKVIDACE A STERILIZACE BIOTICKÝCH ČINITELŮ POMOCÍ MIKROVLNNÉ TECHNOLOGIE, Sanace a rekonstrukce staveb 2012, CRRB-14 International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Building - Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ. ISBN 978-82-02-02414-9
- [13] SOBOTKA, J.; NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K., ÚČINNOST LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ (PLÍSNÍ) MIKROVLNNÝM ZÁŘENÍM, článek v *Stavební obzor*, ISSN 1210-4027, Fakulta stavební ČVUT Praha, Praha, 2013
- [14] TEREBSYOVÁ, STERILIZACIA DREVA NAPADNUTÉHO HOUBAMI, TU Zvolen 2012.

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obr. 1: Změna vlhkosti stavebních látek a konstrukcí – od výroby až po ustálený stav	20
Obr. 2: Kondenzační vysoušeč	25
Obr. 3: Mikrovlnný generátor s trychtýřovou anténou	27
Obr. 4: Molekula vody a její orientace v elektrickém poli.....	35
Obr. 5: Spektrum elektromagnetických vln.....	36
Obr. 6: Schéma elektromagnetické vlny délky λ – elektrická (x) a magnetická složka (y) vlnění	36
Obr. 7: Mikrovlnné záření a jeho interakce s různými typy materiálů	39
Obr. 8 a 9: Namočení cihel a vyzdění pilíře 600x300x240 mm	50
Obr. 10 a 11: Teplota po prvním 30-ti minutovém ohřevu	51
Obr. 12 a 13: Teplota po druhém 90-ti minutovém ohřevu.....	51
Obr. 14: Pórobetonová tvárnice 600x300x250 mm	54
Obr. 15: Ozařování pórobetonu s přístroji MG elektronik MB	55
Obr. 16: Povrchová vlhkost po prvním ohřevu.....	55
Obr. 17: Hmotnost jedné z dílčí pórobetonové tvárnice	58
Obr. 18: Sestavený blok čtyř pórobetonových tvárníc	58
Obr. 19: Teploty tvárníc třetího bloku po prvním cyklu ohřevu	63
Obr. 20: Teploty tvárníc třetího bloku po druhém cyklu ohřevu	64
Obr. 21: Hmotnost suchého vzorku V1, V2 před namočením	67
Obr. 22: Ohřev vzorků V1, V2	68
Obr. 23, 24: Hmotnost vzorku s exteriérovou vlhkostí a vzorku po dlouhodobém namoření	71
Obr. 25, 26: Vysušování vzorků s absorbovanou relativní vlhkostí vzduchu exteriéru a vzorků po namoření	71
Obr. 27: Ozařovaný prvek č.3 po prvním 30 minutovém ohřevu	75
Obr. 28: Vzorky nárůstu plísní na vzorcích vápenocementové omítky uložené v Petriho miskách.....	78
Obr. 29, 30: Sterilizace nárůstu plísní EMW zářením	79

Obr. 31, 32: Sterilizace larev dřevokazných škůdců v dřevěném hranolu u experimentu č.7	82
Obr. 33: Sterilizace larvy dřevokazného škůdce.....	83
Obr. 34: Ozařování dřevěných vlysů podlahy	85
Obr. 35: Vysušování Filozofické fakulty Brno.....	89
Obr. 36: Vysoušení zdiva mikrovlnnými generátory MB elektronik.....	93
Obr. 37: Termovizní snímek ozařovaného zdiva	93
Obr. 38: Pohled na seškrábnuté plodnice dřevokazné houby (SL).....	97
Obr. 39: Pohled na zjištěné zazděné dřevěné zárubně	98
Obr. 40: Ozařování paty obvodového zdiva	100
Obr. 41: Snímek z termovizní kamery ozařovaného obvodového zdiva	100
Obr. 42, 43: Napadnutá nášlapná vrstva podlahy rhyzomorfami	103
Obr. 44: Ozařování stropního trámu	106
Obr. 45: Snímky kultivací plísní bez chemického ošetření v BD Choceň.	112
Obr. 46: Snímky kultivací plísní s použitím chemického dezinfekčního prostředku v RD Třebíč	114
Tab. 1: Množství vodní páry ve vzduchu při relativní vlhkosti.....	22
Tab. 2: Hodnoty rosného bodu v °C	23
Tab. 3: Vliv teploty na růst a inaktivaci biotických činitelů	34
Tab. 4: Teploty po prvním a druhém ohřevu	52
Tab. 5: Naměřené vlhkostní hodnoty po ohřevech + vydýchání	52
Tab. 6: Úbytek hmotnosti po cyklech ohřevů.....	56
Tab. 7: Hodnoty vlhkostí po cyklech ohřevů.....	56
Tab. 8: Hodnoty po experimentu č. 2.....	57
Tab. 9: Povrchové teploty tvárnic po 15 min. cyklech ohřevů	60
Tab. 10: Povrchové teploty tvárnic po 20 min. cyklech ohřevů	61
Tab. 11: Povrchové teploty tvárnic po 30 min. cyklech ohřevů	62
Tab. 12, 13 a 14: Úbytek hmotností bloků po různých časových intervalech ohřevu	65
Tab. 15, 16: Teploty vzorků V1, V2 po intervalech ohřevů.....	68

Tab. 17: Úbytek hmotnosti pórobetonových bloků po různých intervalech ohřevů.....	69
Tab. 18: Hodnoty teplot při ozařování dřevěných hranolů č. 1, 2 s exteriérovou vlhkostí ...	72
Tab. 19: Hodnoty vlhkostí dřevěného hranolu č. 1, 2 po fázích ohřevů	73
Tab. 20: Úbytek hmotnosti prvků č. 1, 2 po fázích ohřevů a vydýchání	73
Tab. 21: Hodnoty teplot při ozařování dřevěných hranolů č. 3, 4, které byly ponořeny pod hladinou vody.....	74
Tab. 22: Hodnoty vlhkostí dřevěného hranolu č.3, 4 po fázích ohřevů	75
Tab. 23: Úbytek hmotností prvků č. 3, 4 po fázích ohřevů a vydýchání	75
Tab. 24: Nárůsty teplot při sterilizace dřevokazných škůdců u experimentu č.7	83
Tab. 25: Nárůsty teplot při sterilizace dřevokazných škůdců u experimentu č.8	84
Tab. 26: Teploty dosažené po ozařování parketových dřevěných vlýsů.....	85
Tab. 27: Vlhkostní klasifikační třídy dle ČSN 73 0610	91
Tab. 28: Průběh vlhkosti v hloubce zdiva	94
Tab. 29: Reálné srovnání dvou přístrojů pro eliminaci vysoušení zdiva	96
Tab. 30: Hodnoty dosažených teplot při sterilizaci dřevokazné houby	99
Tab. 31: Nárůst teplot označených bodů při ozařování kořenového systému dřevokazných hub	101
Tab. 32: Úbytek vlhkosti na označených bodech po intervalech ohřevů	101
Tab. 33: Teploty u interiérové přičky při ozařování	102
Tab. 34: Dosažené hodnoty vlhkosti před a po ozařování.....	102
Tab. 35: Dosažené teploty ohřevu podlahy v ložnici.....	104
Tab. 36: Tabulka naměřených hodnot před a při ozařování	106
Tab. 37: Tabulka hodnot naměřených v průběhu sanace RD Třebíč.....	108
Tab. 38: Tabulka hodnot naměřených v průběhu sanace BD Choceň	108
Tab. 39: Porovnání jednotlivých technologií (1 – nejlepší, 10 – nejhorší)	115
Graf 1: Pohyb teplot na čelních i zadních stranách po 15 min. cyklech ohřevů.....	60
Graf 2: Pohyb teplot na čelních i zadních stranách po 20 min. cyklech ohřevů.....	61
Graf 3: Pohyb teplot na čelních i zadních stranách po 30 min. cyklech ohřevů.....	62
Graf 4: Názorný úbytek hmotnosti tvárnic po různých intervalech ohřevu	69

Graf 5: Nárůsty teplot při ozařování dřevěných hranolů č. 1 a 2.....	72
Graf 6: Nárůsty teplot při ozařování dřevěných hranolů č. 3 a č. 4.....	74
Graf 7: Postupný průběh eliminace vlhkosti ve zdivu	95

PŘEHLED POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

symbol	jednotka	popis
λ^{-10}	[m]	střední volná dráha molekul vody ($2,78 \cdot 10^{-10}$)
P	[W]	příkon, výkon
f	[Hz]	frekvence vlnění
λ	[m]	vlnová délka
d	[m]	vazba vody
δ_p	[s]	součinitel difúze vodní páry
μ	[-]	faktor difúzního odporu
G	[J]	volná entalpie vzduchu
μ_u	[J·kg ⁻¹]	chemický potenciál vlhkosti
w_m	[%]	hmotnostní vlhkost
m_d	[kg]	hmotnost suché látky
m	[kg]	hmotnost látky
m_w	[kg]	hmotnost vlhké látky
w_v	[%]	objemová vlhkost
V_v	[m ³]	objem vlhkosti v látce
V_d	[m ³]	objem suché látky
ρ_d	[kg·m ⁻³]	objem. hmotnost suché látky
P_p''	[Pa]	částečný tlak nasycené vodní páry
P_p	[Pa]	částečný tlak vodní páry
φ	[%]	relativní vlhkost vzduchu
t	[°C]	teplota
T	[s], [hod]	čas
d	[mm], [m]	délka
φ	[%]	vlhkost
c_λ	[m·s ⁻¹]	rychlost šíření vlny

symbol	jednotka	popis
P	[W·m ⁻¹]	energie absorb. v jednotce času
ϵ'	[F·m ⁻¹]	permitivita
ϵ''	[-]	dielektrický ztrátový faktor materiálu
E	[Vm ⁻¹]	intenzita el. pole uvnitř materiálu
U	[V]	elektrické napětí
b	[mm], [m], [cm]	hloubka, tloušťka zdiva
m	[g], [kg]	hmotnost
V	[m ³]	objem
R	[%]	rozpětí
\tilde{x}	[%]	medián
Q _{md}	[kg·s ⁻¹]	difúzní tok vodní páry
D	[m ² ·s ⁻¹]	součinitel difúze vodní páry ve vzduchu
r _p	[461,9 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	plynová konstanta vodní páry
T	[K]	střední teplota vrstvy
S	[m ²]	plocha stěny
d	[m]	hloubka
p _{p1} povrchu	[Pa]	částečný tlak vodní páry na vnitřním povrchu
p _{p2} povrchu	[Pa]	částečný tlak vodní páry na vnějším povrchu
T	[dny]	doba nutná k vyschnutí stavební látky
k 0,28)	[-]	koeficient odpařování (pro cihelné zdivo 0,28)

PUBLIKACE AUTORA

- 1) SOBOTKA, J., OVĚŘENÍ MOŽNOSTI SPOJOVÁNÍ ASFALTOVÝCH IZOLAČNÍCH PÁSŮ, VÝSLEDKY PEVNOSTÍ JEJICH SPOJŮ, příspěvek na konferenci Juniorstav 2011 - sborník anotací, ISBN 978-80-214-4232-0, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2011
- 2) SOBOTKA, J., ÚČINNOST LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ PROSTŘEDNICTVÍM MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ, příspěvek na konferenci 14. odborná konference doktorského studia, Juniorstav 2012, ISBN 978-80-214-4393-8, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2012
- 3) SOBOTKA, J., MOŽNOSTI SPOJOVÁNÍ ASFALTOVÝCH IZOLAČNÍCH PÁSŮ A VÝSLEDKY PEVNOSTI SPOJŮ PŘI NAMÁHÁNÍ, příspěvek na konferenci 14. odborná konference doktorského studia, Juniorstav 2012, ISBN 978-80-214-4393-8, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2012
- 4) SOBOTKA, J.; KOMÍNKOVÁ, K., MOŽNOSTI SPOJOVÁNÍ ASFALTOVÝCH IZOLAČNÍCH PÁSŮ A VÝSLEDKY PEVNOSTI SPOJŮ PŘI NAMÁHÁNÍ, příspěvek na konferenci Sborník anotací konference Junior Forensic Science Brno 2012, ISBN 978-80-214-4485-0, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 244/53, 602 00 Brno, Brno, 2012
- 5) KOMÍNKOVÁ, K.; SOBOTKA, J., Hluk zdravotně technických instalací a jeho eliminace, příspěvek na konferenci Sborník anotací - Collection of Abstracts 4. odborná konference Junior Forensic Science Brno 2012, ISBN 978-80-214-4485-0, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 244/53, 602 00 Brno, Brno, 2012
- 6) SOBOTKA, J., REKONSTRUKCE BYTOVÉHO DOMU, BISKUPSKÁ 8, BRNO, příspěvek na konferenci Sborník anotací konference Junior Forensic Science Brno 2012, ISBN 978-80-214-4485-0, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 244/53, 602 00 Brno, Brno, 2012
- 7) SOBOTKA, J., LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ PROSTŘEDNICTVÍM EMW ZÁŘENÍ, příspěvek na konferenci Sborník anotací konference Junior Forensic Science Brno 2012, ISBN 978-80-214-4485-0, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 244/53, 602 00 Brno, Brno, 2012

- 8) 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, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Brno, 2012
- 9) 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, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Brno, 2012
- 10) 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, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Brno, 2012
- 11) SOBOTKA, J.; ŠUHAJDA, K.; JIROUŠEK, Z., Likvidace a sterilizace biotických činitelů pomocí mikrovlnné technologie, příspěvek na konferenci Sanace a rekonstrukce staveb 2012, CRRB-14 International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Building, ISBN 978-80-02-02414-9, Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ, Brno, 2012
- 12) BEČKOVSKÝ, D.; KALÁBOVÁ, T.; SOBOTKA, J., ZABUDOVANÁ VLHKOST V KONSTUKCÍCH DŘEVOSTAVEB, příspěvek na konferenci STRUCTURA 2012, ISBN 978-80-248-2879-4, VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA-FAKULTA STAVEBNÍ, Ostrava, 2012
- 13) 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
- 14) SOBOTKA, J.; JIROUŠEK, Z.; ŠUHAJDA, K., VYSUŠOVÁNÍ ZDIVA, STERILIZACE BIOTICKÝCH ČINITELŮ POMOCÍ MIKROVLNNÉ TECHNOLOGIE, příspěvek na konferenci XXII.mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství Exfos 2013, ISBN 978-80-214-4675-5, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2013
- 15) 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

- 16) SOBOTKA, J., STERILIZACE BIOTICKÝCH ČINITELŮ PROSTŘEDNICTVÍM EMW ZÁŘENÍ, příspěvek na konferenci příspěvek na konferenci Sborník anotací Juniorstav 2013, ISBN 978-80-214-4670-0, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2013
- 17) PTÁČEK, P.; JIROUŠEK, Z.; SOBOTKA, J., Sanace stávajících dřevěných konstrukcí - použití mikrovlnného zařízení, příspěvek na konferenci Dřevostavby 2013, ISBN 978-80-86837-51-2, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola. Volyně 2013, Volyně, 2013
- 18) 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
- 19) NOVOTNÝ, M.; ŠKRAMLÍK, J.; ŠUHAJDA, K.; SOBOTKA, J., Efficiency of Liquidation od Biotic Pents Using Microwave Radiation, příspěvek na konferenci Proceedings of the Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings CRRB 2012, ISBN 978-3-03785-679-6, TRANS TECH PUBLICATIONS, Switzerland, 2013
- 20) SOBOTKA, J.; NOVOTNÝ, M.; ŠKRAMLÍK, J.; ŠUHAJDA, K., Efficiency of Liquidation of Biotic Pents Using Microwave Radiation, článek v Advanced Materials Research, ISSN 1022-6680, SCOPUS-TRANS TECH PUBLICATIONS, Switzerland, 2013, 2013
- 21) NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; SOBOTKA, J.; BEČKOVSKÁ, T., GINTAR, J. Efficiency of Liquidation of Biotic Pests Using Microwave Radiation, článek v AMR - Advanced Materials Research , ISSN 1662-8985, ISBN 978-80-02-02414-9, Trans Tech Publication, Switzerland, 2013
- 22) NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; SOBOTKA, J., Analýza rekonstrukce ploché střechy na objektu RD v Brně, článek v *Soudní inženýrství*, ISSN 1211-443X, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno 2013, 2013

- 23) SOBOTKA, J.; PTÁČEK, P.; JIROUŠEK, Z., Použití mikrovlnného záření pro sanace dřevěných konstrukcí, článek v Materiály pro stavbu , ISSN 1213-0311, Materiály pro stavbu 8/2013, Praha, 2013
- 24) SOBOTKA, J.; NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K., Účinnost likvidace biotických škůdců plísní mikrovlnným zářením, článek v Stavební obzor, ISSN 1210-4027, Fakulta stavební ČVUT Praha, Praha, 2013
- 25) SOBOTKA, J., Sanace stávajících dřevěných konstrukcí, příspěvek na konferenci JUNIORSTAV 2014, ISBN 978-80-214-4851-3, Brno, 2014
- 26) SOBOTKA, J.; JIROUŠEK, Z.; NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K., VYUŽITÍ MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ VE STAVEBNICTVÍ 1 - vysoušení konstrukcí, článek v Materiály pro stavbu, ISSN 1213-0311, Business Media CZ, s.r.o., Praha, 2014
- 27) SOBOTKA, J.; JIROUŠEK, Z.; NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K., VYUŽITÍ MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ VE STAVEBNICTVÍ 2 - likvidace biotických škůdců (plísně), článek v Materiály pro stavbu , ISSN 1213-0311, Business Media CZ, s.r.o., Praha, 2014
- 28) SOBOTKA, J.; JIROUŠEK, Z.; NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K., Vysušování sklepních prostor Filozofické fakulty v Brně, příspěvek na konferenci STAVEBNÍ FYZIKA V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ: TEORIE A PRAXE, ISBN 978-80-214-4926-8, Kolektiv autorů, Brno, 2014
- 29) NOVOTNÝ, M.; SOBOTKA, J.; ŠUHAJDA, K.; JIROUŠEK, Z.; ŠUHAJDOVÁ, E., KITTELŮV DŮM – sanace dřevěných prvků historického objektu, příspěvek na konferenci DŘEVOSTAVBY 2014, ISBN 978-80-86837-57-4, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, Volyně, 2014, VOLYNĚ, 2014
- 30) SOBOTKA, J.; JIROUŠEK, Z., VYUŽITÍ MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ VE STAVEBNICTVÍ 3 - LIKVIDACE DŘEVOKAZNÉHO HMYZU, článek v Materiály pro stavbu, ISSN 1213-0311, Business Media CZ, s.r.o., Praha, 2014
- 31) SOBOTKA, J.; JIROUŠEK, Z., VYUŽITÍ MIKROVLNNÉHO ZÁŘENÍ VE STAVEBNICTVÍ 4 - LIKVIDACE DŘEVOKAZNÝCH HUB, článek v Materiály pro stavbu, ISSN 1213-0311, Business Media CZ, s.r.o., Praha, 2014
- 32) NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; SOBOTKA, J.; GINTAR, J.; ŠUHAJDOVÁ, E.; MÁTL, M., USE OF MICROWAVE RADIATION IN BUILDING INDUSTRY THROUGH APPLICATION OF WOOD ELEMENT DRYING, článek ve WOOD

- RESEARCH, ISSN 1336-4561, Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s., BRATISLAVA, 2014
- 33) SOBOTKA, J.; JIROUŠEK, Z., SANACE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ KITTELOVA DOMU, článek v Materiály pro stavbu, ISSN 1213-0311, Business Media CZ, s.r.o., Praha, 2014
- 34) SOBOTKA, J., Sanace obvodových stěn zahradního domku v Löw-Beerově vile v Brně, DENÍK, Attila Racek, Brno, 2014
- 35) NOVOTNÝ, M.; JIROUŠEK, Z.; SOBOTKA, J.; ŠUHAJDA, K., MIKROVLNNÁ STERILIZACE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ NAPADENÝCH BIOTICKÝMI ŠKŮDCI
Zdroj: <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/11774-mikrovlнна-sterilizace-drevenych-prvku-napadenych-biotickymi-skudci>, článek v TZB-info, ISSN 1801-4399, TZB-INFO, Topinfo s.r.o., Křenova 438/3, 162 00 Praha 6, PRAHA, 2014
- 36) 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
- 37) SOBOTKA, J.; NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K., Technologie vysoušení zděných konstrukcí, příspěvek na konferenci Sanace a rekonstrukce staveb 2014, sborník konference (soubor přednášek z konference) CRRB - 16th International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Buildings, ISBN 978-80-02-02539-9, Vědecko technická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ, BRNO, 2014