
**VYSUŠOVÁNÍ ZDIVA, STERILIZACE BIOTICKÝCH ČINITELŮ POMOCÍ
MIKROVLNNÉ TECHNOLOGIE**

Jindřich Sobotka¹⁰⁷, Zdeněk Jiroušek¹⁰⁸, Karel Šuhajda¹⁰⁹

ABSTRAKT:

Mikrovlny jsou elektromagnetickým vlněním o frekvenci od 300 MHz do 300 GHz, což odpovídá vlnovým délkám od 1 m do 1mm. Pro průmyslovou aplikaci je povoleno více frekvencí, nás ale zajímá především frekvence 2 450 MHz o vlnové délce 12,2 cm, kterou využíváme v našich aplikacích. Mikrovlny patří do široké rodiny elektromagnetických vlnění, zahrnující rovněž oblast viditelného světla, které se řídí Maxwellovými rovnicemi. Princip mikrovlnného vysoušení je založen na rozkmitání molekul vody ve hmotě zdiva, vzniku tepla vytvořeného jejich pohybem a třením, přeměny ve vodní páry a následného odvětrání těchto pár. Rozkmitání molekul vody je primárním dějem v tomto procesu. Molekuly vody jsou za těchto podmínek schopny zbavit se svého energetického potenciálu, který je váže na kapiláry ve stavebním materiálu a znemožňuje odpařování.

ABSTRACT:

Microwaves are electromagnetic waves of frequencies from 300 MHz to 300 GHz, corresponding to wavelengths from 1 m to 1 mm. For industrial application is allowed more frequencies, but we are mainly interested in the frequency 2 450 MHz, a wavelength of 12,2 cm, which we use in our applications. The heating occurs so that the electric field in the water molecules orient themselves according to polarization. Microwaves belong to a large family of electromagnetic waves, which also includes the visible light, which is governed by Maxwell's equations. Principle of microwave drying is based on the vibration of water molecules in the mass of masonry, of heat generated by their movement and friction, the conversion of water vapor and subsequent venting these few. Vibration of water molecules is the primary storyline in the process. Water molecules under these conditions are able to get rid of its energy potential, which is bound to the capillaries in the building material and prevents evaporation.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Stěna, základ, likvidace plísní, ohřev, frekvence, mikrovlny, elektromagnetické vlnění, vlnová délka, vlhkost, trychtýřový, hydroizolace.

¹⁰⁷⁾ Jindřich Sobotka, Ing., VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství, Veveří 95, 602 00 Brno, email: sobotka.j@fce.vutbr.cz

²⁾ Zdeněk Jiroušek, Mgr., S.P.UNI, s.r.o, Řetová 145, 561 41 Řetová, email: spuni@spuni.cz

³⁾ Karel Šuhajda, Ing., Ph.D., VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství, zástupce vedoucího, Veveří 95, 602 00 Brno, telefon: 54114-7417, email: suhajda.k@fce.vutbr.cz

KEYWORDS:

Wall, foundation, disposal of mold, heating, frequency, microwaves, electromagnetic waves, wavelength, moisture, funnels, waterproofing

1 ÚVOD

Mikrovlny patří do širokého odvětví elektromagnetických vlnění, zahrnující rovněž oblast viditelného světla, které se řídí Maxwellovými rovnicemi.

Mikrovlny jako takové jsou vysokofrekvenční radiové vlny (radiofrekvenční elektromagnetická pole) a jsou – stejně jako viditelné světlo – částí elektromagnetického spektra.

Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny o vlnové délce od 1 mm do 10 cm, což odpovídá frekvenci 3 GHz až 300 GHz, jsou to pásma Super high frequency (SHF) a Extremely high frequency (EHF).

Náš ústav pozemního stavitelství (ÚPST) začal spolupracovat s firmou S.P.UNI (Mgr. Zdeňkem Jirouškem), kde jsme provedli značná měření, ať už na stavbě, či v laboratořích. Zejména se jedná a jednalo o vysoušení dřeva, zdiva, likvidaci dřevokazných škůdců.

Fakulta vzhledem ke svému primárnímu zaměření také spolupracuje s akreditovanou mikrolaboratoří (IFCOR-99). Tato laboratoř disponuje potřebnými odborníky a zařízením, pro kultivaci a následný chemický rozbor daných plísni, před i po ozařování.

2 POUŽITÍ MIKROVLNNÉ TECHNOLOGIE

O možnosti ohřevu různých materiálů pomocí mikrovlnného záření se ví již několik desetiletí. Mikrovlnná energie je pohlcována především molekulami vody, které se rozkmitají a způsobují její zahřátí. Běžnými stavebními materiály jsou mikrovlny absorbovány podle množství vody, které obsahují. I hodně vlhké zdivo a dřevo (20-30 %) má stále podstatně méně vody než živá tkáň hub (více než 90%). Proto houby absorbují mnohem více mikrovlnné energie než jejich okolí. V důsledku působení mikrovln. Mikrovlnná technologie je používána jednak pro jakékoliv vysoušení daného materiálu (dřeva, zdiva...), ale také ke sterilizaci biotických škůdců, kam řadíme spóry plísni, houby a dřevokazné škůdce. Při sanaci vlhkých objektů, často již napadených různými biotickými škůdci, se používá mnoho různých technik a technologií. A to:

- přirozené vysoušení pomocí větrání

Jedná se o způsob sice finančně nenáročný, ale pomalý (dlouhodobý proces).

- teplovzdušný ohřev

Proudem teplého, až horkého vzduchu dochází k ohřevu celého hmoty vysoušené hmoty. Tedy stavebního materiálu (cihla, kámen, dřevo atd.) a současně i vody uvnitř i v okolí. Prohřívání probíhá od povrchu ke středu. Povrchová vrstva je ohřátá a následně i vysušená dostatečně rychle, ale k prohřátí celého masivu pochází pomalu. Doba potřebná k požadovanému vysoušení je výrazně kratší. Finanční náklady jsou však, vzhledem k příkonu zařízení, vysoké. A ten není nijak nízký.

- sálavý ohřev

Jeho princip je v podstatě stejný, k ohřevu dochází od povrchu, odpar vlhkosti je však limitován nižším prouděním vzduchu.

- kondenzační vysoušení

Pracuje na principu výrazného snížení relativní vlhkosti vzduchu v sanovaném prostoru. Tento postup je vhodný při vysoušení v prostorech, kde došlo k promočení povrchu.

Z hlediska materiálu a jeho interakce s mikrovlnami existují tři možnosti:

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

Pro nás je důležitý především případ B, tj. interakce mikrovln s vodou.

2.1 Výhody a nevýhody mikrovlnného záření

Výhody mikrovlnného záření jsou:

- tzv. „selektivní ohřev“, tj. u vícesložkových materiálů se ohřívá pouze složka absorbující mikrovlny (voda),
- dále pak rychlost
- menší energetická náročnost ve srovnání s horkovzdušným sušením a
- finanční náročnost ve srovnání s klasickým horkovzdušným sušením.

Nevýhodou je možnost lokálního přehřátí v důsledku nehomogenity mikrovlnného pole i samotného materiálu.

Jak bylo řešeno, při použití mikrovlnného záření u daného materiálu se snižuje vlhkost, čili dochází i k vysušování.

Na rozdíl od jiných metod vysušování, které působí jen povrchně, působí mikrovlny hloubkově a to v celém objemu materiálu. A to přímo na molekuly vody a na organismy vodu obsahující.

Avšak hloubkové působení mikrovln zasahuje nákazu bez odkrývání postižených míst, takže obvyklé rozsáhlé bourání a výměny částí objektu nejsou potřebné a vyměňují se pouze prvky, které jsou natolik poškozeny, že neplní svou funkci. Ostatní, i částečně napadené, jsou sterilizovány a ponechány na místě.

2.2 Vyjádření mikrovlnné technologie pomocí vzorců, vztahů

Mechanismus přeměny mikrovlnné energie na teplo je dán vztahem:

$$P=2*\pi*f*\epsilon'*\epsilon''*E^2 \quad [W.m^{-1}],$$

kde P energie absorbovaná v jednotce objemu [W.m⁻¹],

f frekvence mikrovlnného pole [2450 MHz],

ϵ' permitivita [F.m⁻¹],

ϵ'' dielektrický ztrátový faktor materiálu,

E intenzita el. pole uvnitř materiálu [V.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 [m.s-1],

f frekvence mikrovlnného záření [Hz] (2450 MHz)

3 VYSUŠOVÁNÍ DŘEVA

Dřevo patří k nejstarším stavebním materiálům. Jako stavební materiál má několik výhod, např. obnovitelnost, lehká opracovatelnost a také dobrá odolnost vůči řadě chemikálií.

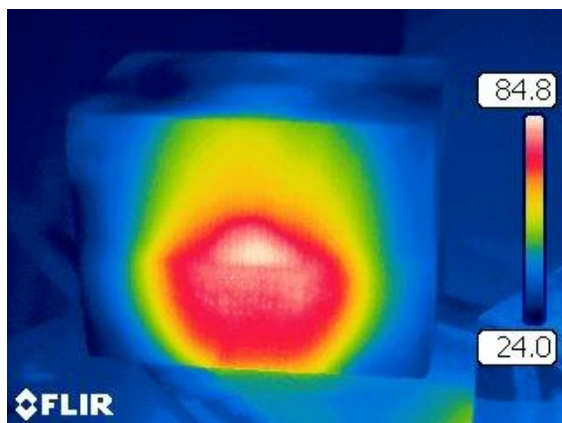
Společně s firmou „spuni, s.r.o.“ panem Mgr. Jirouškem jsme provedli mnohá měření pro eliminaci vlhkosti na různých dimenzích hraněných dřevěných prvků. Převážně se jednalo o měkké, smrkové profily různých rozměrů a dimenzí. A mimo jiné také s různou vlhkostí.

Jednalo se o tyto možnosti vlhkostí v dřevěných prvcích:

- řezivo 3 roky skladované pod přístřeškem, vystavené běžné vzdušné vlhkosti,
- řezivo čerstvé, týden po opracování na pile,
- řezivo ponořené na 24 hodin v nádobě s vodou

Nejprve byla změřena povrchová i hloubková vlhkost. Poté byly jednotlivé prvky postupně ozařovány určitou dobu. Jak již víme, mikrovlnné záření je vázáno a pohlcováno převážně skupenstvím vody, či to co obsahuje jakékoliv množství vody. Po určité době ozařování se nechali dřevěné prvky zchladnout a opět se změřili jednotlivé vlhkosti. Taková měření se u každého prvku opakovala celkem dvakrát. Jednotlivé fáze mikrovlnného ohřevu (záření) jsme snímali termokamerou.

Průmyslové využití našly mikrovlny při vysoušení surového dřeva, často v kombinaci s horkovzdušným sušením. Mikrovlnné pole zahřeje vodu ve hmotě dřeva a tím usnadní její odpaření z povrchu. Účinnost sušení však závisí rovněž na obvodu odpařené vody z prostoru kolem uloženého dřeva.



Obr. 1 – Reálné snímky dřevěného prvku zobrazené termokamerou a reálného mikrovlnného generátoru s trychtýřovou anténou
Fig. 1 – The real timber member images displayed thermocamera and real microwave generator with horn antenna

4 VYSUŠOVÁNÍ ZDIVA

Jak bylo prokázáno, mikrovlnným ohřevem je možno podstatně urychlit vysoušení zdiva. Dochází vlastně k tzv. rozkmitání molekul a tím dochází k vysychání daného materiálu.

Při správně voleném zařízení a jeho aplikaci (a to především výkonu a době působení) nedochází ke změně struktury stavebního materiálu. Avšak je důležité si uvědomit, čas a výkon, který můžeme u daného materiálu cyklicky opakovat.

Bylo zjištěno, že teploty při ozařování se pohybují v takovém rozmezí, že nedochází ke ztrátě krystalické vody např. u sádry, či u hydraulických pojiv.

Čas potřebný k vysoušení zkoušených vzorků se pohyboval v hodinách.

Rychlost vysoušení však nezávisí pouze na množství přítomné vody a použitém výkonu zařízení. Ale také na tom, jak je vlhkost ve zdivu rozložena a jak je odváděna z porézního systému a na jejím obvodu od povrchu sušeného materiálu. Princip mikrovlnného vysoušení je příčinou toho (jak již bylo několikrát zmiňováno), že se teplo uvolňuje uvnitř sušeného materiálu. Tím dochází ke vzniku vnitřního tlakového gradientu (teplejší voda i vznikající vodní pára mají větší objem než původní chladná voda) a ten způsobuje vytlačování vody k povrchu. Problém však může nastat např. u betonu, kde teplota ozařovaného prvku bude podstatně vyšší a je to tím, že musíme také počítat s hydratací cementu.

S firmou „spuni, s.r.o.“ panem Mgr. Jirouškem jsme ozařovali jak pórobetonový materiál, tak i keramické bloky (přesněji řešeno vyzdění pilíře), tvořené dvěma či třemi vyzděními bloky, pro zjištění úniku vodní páry.

Bylo třeba a nutné si uvědomit, že při dlouhodobém mikrovlnném záření musí tlak uvnitř bloků někde unikat. Proto jsme v celoplošné ložné maltové spáře keramických bloků vyvrtali menší otvory pro únik patřičně nahromaděné páry uvnitř bloků.



Obr. 2 – Reálné snímky při vysušování keramických tvárnic a zobrazené teploty po ozařování vyhodnocené termokamerou

Fig. 2– The real photos during drying of ceramic bricks and displayed temperature after irradiation evaluated thermocamera



Obr. 3– Pórobetonová tvárnice

Fig. 3– Porous concrete blocks

Před ozařováním pórobetonových tvárnice se nejprve bloky namočili a ponořili na 24 hodin do vody. Poté se nechali přirozeně okapat po dobu přibližně 12 hodin. Po přirozeném namočení a okapání vážil blok po zvažení 28 750 gramů.

Pórobetonový blok jsme ozařovali po dobu 150 minut. Přesněji řečeno 3x30 minut a 1x60 minut.

Po patřičných cyklech ozáření jsme nechali blok tzv. “přirozeně vydýchat” (12 hodin) a zvažili. Váha takto vysušeného pórobetonového bloku byla 21 740 gramů.

Můžeme říci, že mikrovlnné ozařování je velmi a natolik účinné, že po 150 minutovém ozařování a přirozeném vydýchání jsme z bloku eliminovali celkem cca 7 kilogramů vody.

Experiment se po těchto provedených zkouškách dá provádět i bezprostředně na reálných stavbách, což bylo našim cílem.

5 LIKVIDACE BIOTICKÝCH ŠKŮDCŮ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Plísně

Tyto mikroskopické dlouhovláknité houby se vyskytují v prostředí s vyšší vlhkostí.

Jelikož je celá řada mikroorganismů v podobě plísní, které se mohou ve skutečnosti na napadených konstrukcích vyskytovat, přistoupilo se k eliminaci těchto činitelů pouze na ty, které se ve skutečnosti na stavbách nejvíce vyskytují.

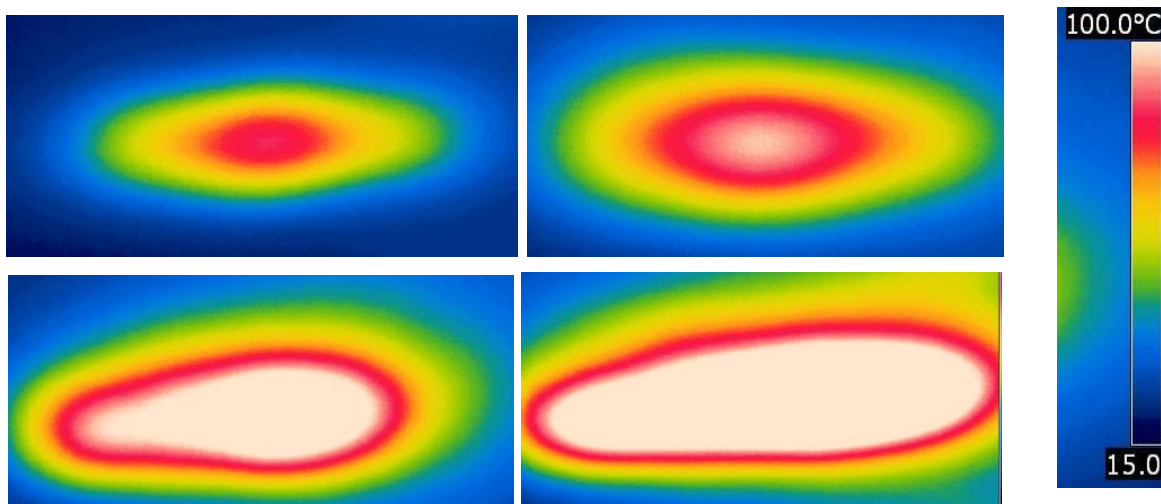
Ve spolupráci s akreditovanou mikrolaboratoří v Brně (IFCOR 99) byly na základě podrobného rozboru určeny mikroskopické plísně, které se nejčastěji vyskytují v interiérech objektů a na stavebních konstrukcích, jsou to:

- *Fusarium oxysporum*,
- *Alternaria alternata*,
- *Penicillium brevicompactum*,
- *Cladosporium cladosporioides*,
- *Aspergillus versicolor*.



Obr. 4– Trychtýřová anténa mikrovlnného generátoru při likvidaci biotických škůdců v podobě plísni

Fig. 4– Horn antenna with microwave generator at disposal biotic pests in the form of mold



Obr. 5– Snímky z termokamery při sterilizaci plísni

Fig. 5– Pictures of the thermal imager to sterilize fungi

Dřevokazné houby

U stavebního materiálu je jedná především o houby celuzovorní. Dá se říci, že dřevo obsahuje celulózu. Dřevo díky ní postupně tmavne, ztrácí svou pevnost a rozpadá se. V obecné mluvě se tomu říká hnědá hniloba.

Podmínkou pro jejich výskyt je zvýšená vlhkost. U některých druhů je pomyslnou hranicí cca 20%. Neznámější a zároveň nejnebezpečnější a nejagresivnější houbou je považována „dřevomorka domácí (serpula lacrymans)“.

Dřevokazný hmyz

Druhů tohoto hmyzu je několik. Všechny ale mají velmi podobný vývojový cyklus. Většinu života tráví ve formě larvy a jsou zavrtány do dřeva. Po zakuklení a následné přeměně v dospělé imago vylézají na povrch, kde se páří a samička naklade vajíčka další generace.

Zde patří mezi nejvýraznější škůdce „tesařík krovový (hylotrupes bajulus)“. Především délkou svého života, velikostí a žravostí larev a potencií samičky, která je schopna naklást až několik stovek vajíček.

Likvidace biotických škůdců MV zářením.

K tomuto problému je nutné přistupovat ze dvou hledisek. Prvním je samotná likvidace škůdců, tím druhým následně zrušení podmínek pro jejich vývoj a výskyt.

U **plísní** je jedná především o inaktivaci mycelia. Ne vždy je totiž možné použití jiných postupů. Například chemický zásah, nebo radiaci. Myceliu, vzhledem ke svému vysokému obsahu vody a umístění na povrchu ošetřované plochy, se dá snadno MV zářením ohřát. Při teplotách nad 100°C by mělo dojít k „uvaření“ a následnému vysušení. O likvidacích spór plísní nemá cenu uvažovat. Jednak odolávají podstatně vyšším teplotám a za druhé jsou spóry většina plísní součástí pevného aerosolu okolního vzduchu.

U **dřevokazných hub** jde převážně o likvidaci jejich kořenového systému – rhizomorf.

Po mechanickém odstranění a likvidaci plodnice zůstávají velmi často prorostné stavební materiály kořeny houby. Jejich délka může být i mnoho metrů. Tyto rhizomorfy si jsou schopné udržet svoji schopnost opětné aktivace i desítky roků. Odborníci, mykologové tvrdí, že objekt napadený „dřevomorkou domácí“ je ohrožen touto houbou po celou dobu své životnosti.

Odolnost tepla a tedy možnost využití MV energie je v podstatě stejná, jako u plísní. Pouze s tím rozdílem, že prohřátí zděného masivu, ve kterém tyto kořenové provazce jsou, je nereálné. U dřevěných materiálů je ovšem tento postup, v mnoha případech, realizovatelný.

U **dřevokazného hmyzu** je situace podstatně jednodušší. U všech vývojových stadií hmyzu stačí její ohřátí na teplotu 52 – 55°C. Při těchto teplotách dochází k nevratným přeměnám bílkovin. Tím i postupnému úhynu.

6 ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat, že se současnými výsledky měření a experimentů bylo zjištěno, že hubení biotických činitelů a úbytek vlhkosti na daných stavebních materiálech (dřevo, keramické tvárnice a pórobetonové bloky) pomocí EMW záření je velice úspěšné.

Můžeme však říci, jaké závěry můžeme od daných experimentů očekávat v dalších experimentech:

- stanovení časové délky ozařování EMW záření pro úspěšnou likvidaci biotických činitelů,
- stanovení intenzity EMW záření pro úspěšnou likvidaci běžných biotických činitelů

Vždy však je potřebné si uvědomit, že nikdy nebudou výsledky totožné z laboratorních zkoušek se zkouškami ze staveb.

Jsme velice spokojeni, že výsledky a náročnost, kterou jsme vytvořili v laboratorních zkouškách se lehce s danou mikrovlnnou technologií dají aplikovat v praxi.

7 PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory GAČR P104/10/P388 „Experimentální analýza účinnosti mikrovlnného záření při likvidaci biologických činitelů způsobujících korozi stavebních materiálů“.

8 LITERATURA

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Disertační práce SANACE VLHKÉHO ZDIVA STAVEB "Využití tyčové antény při mikrovlnném vysoušení, autor Karel Šuhajda, Brno 2006. 15-96 s.
- [4] ŠUHAJDA, K.; NOVOTNÝ, M.; ŠKRAMLÍK, J.; Monitoring of Effectivity of Microwave Desiccation by Means of rod plug-in Antenna, článek v *The e-Journal of Nondestructive Testing*, ISSN 1435-4934, Journal & Exhibition of non destructive Testing, Kirchwald, Germany, 2008. 4-8 s.
- [5] ŠKRAMLÍK, J.; NOVOTNÝ, M.; ŠUHAJDA, K.; Měření vlhkosti stavebních materiálů absorpční mikrovlnnou metodou mikrovlnnou metodou, článek v *Stavební obzor*, ISSN 1210-4027, ČVUT Praha, VUT Brno, Praha, 2008. 28-142 s.