

Mikrovlny a voda

M. Hrabuša

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

hrbumat@jfifi.cvut.cz

Abstrakt

Cieľom môjho príspevku bolo vysvetlenie mechanizmu mikrovlnnej rúry a správania sa vody pod vplyvom účinkov mikrovlnného žiarenia. Podrobnejšie som sa venoval pojmom dielektrická permitivita a dielektrické straty. Pomocou Cole-cole diagramu som vysvetlil zmenu dielektrickej permitivity a dielektrických strát pri konštantnej teplote a konštantnej frekvencii. Ďalej som vysvetlil vplyv rozpustenej soli na ohrievanie vody v mikrovlnnej rúre. Teoretické poznatky som podložil jednoduchým experimentom, ktorého popis je v závere príspevku.

1 Úvod

Mikrovlnná rúra je súčasťou moderného života, mikrovlny pôsobia na molekuly vody aby efektívne ohriali jedlo. Dipól vody sa snaží neustále reorientovať sa v oscilujúcom elektrickom poli elektromagnetickej radiaácie. V závislosti na frekvencii sa dipól vody môže pohybovať v čase smerom k poľu, zaostávať alebo zostať zdanlivo neovplyvnený.

Keď je dipól oneskorený /zaostáva za poľom interakcie medzi dipólom a poľom vedú k stratám energie počas ohrevu, ktorých rozsah je závislý od fázového rozdielu týchto polí; k ohrevu dochádza maximálne dvakrát za cyklus.

Možnosť pohybu závisí od viskozity a mobility elektrónových oblakov. Vo vode sú tieto závislé na pevnosti a rozsahu siete vodíkových väzieb. Vo voľnej vode sa takýto pohyb vyskytuje v GHz frekvenciách (mikrovlny); v obmedzenej „viazanej“ vode sa vyskytuje v MHz frekvenciách (krátke rádiovlny) a v ľade v KHz frekvenciách (dlhé rádiovlny)

Proces reorientácie môžeme namodelovať pomocou „wait –and–switch“ procesu, kde molekula vody musí „čakať“ určitý čas, na výskyt priaznivej orientácie susedných molekúl a následne „prepnúť“ vodíkovú väzbu na novú molekulu.

2 Dielektrické straty

Dielektrickú konštantu vyjadríme vo forme komplexného čísla

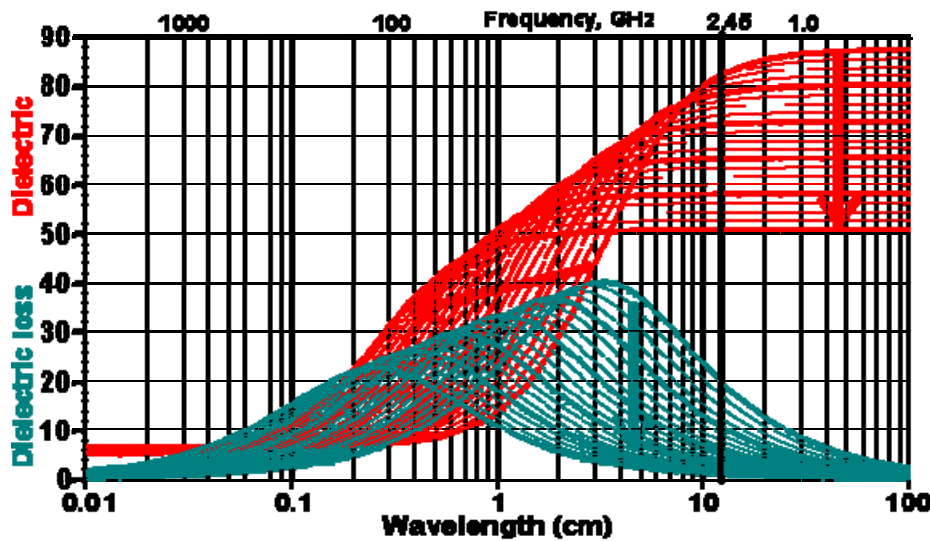
(ϵ_r^* , komplexná dielektrická permitivita) definovaná ako: $\epsilon_r^* = \epsilon_r' - iL_f$

Kde ϵ_r' je schopnosť materiálu byť polarizovaný externým elektrickým poľom, L_f (faktor straty) kvantifikuje efektívnosť s ktorou elektromagnetická energia je premenená na teplo a $i = \sqrt{-1}$.

Hodnoty ϵ_r^* , ϵ_r' , L_f sú všetky závislé na frekvencii radiaácie; relatívnej permitivite (ϵ_r') pri nízkych frekvenciách (ϵ_s) (statická) a vysokých frekvenciách (ϵ_∞) (optická permitivita) sú limitujúce hodnoty. Relatívna permitivita sa mení s vlnovou dĺžkou (a tým s frekvenciou):

$$\epsilon_r' = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (\lambda_s/\lambda)^2} + \epsilon_\infty$$

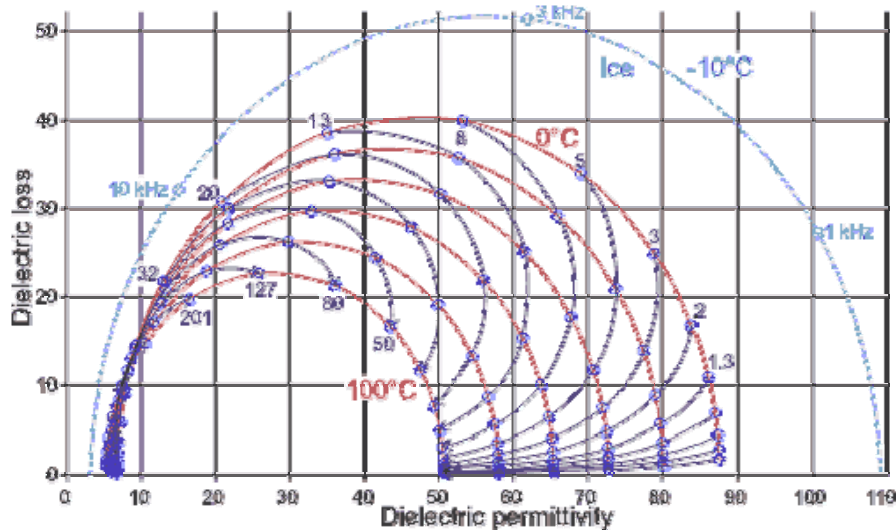
Kde λ_s je kritická vlnová dĺžka (maximálne dielektrické straty).



Obr. 1 Dielektrická permitivita a dielektrické straty vody medzi 0°C a 100°C

Na obrázku 1 šípky indikujú efekt zvyšujúcej sa teploty a teda zvyšujúcej sa aktivity vody. So zvyšujúcou sa teplotou sa pevnosť a rozsah vodíkových väzieb znižuje. Tým sa znižuje statická a optická dielektrická permitivita; uľahčuje sa pohyb dipólov a umožňuje molekulám vody oscilovať vo vyšších frekvenciách a redukuje sa unášanie k rotácii molekúl vody, tým sa redukuje trenie a tým dielektrické straty.

Najväčšie dielektrické straty sú v rozsahu elmag radiácie ~1-300GHz; a vlnových dĺžkach 0,3m-1,0 m. Frekvencie pre maximálne dielektrické straty sú vyššie než 2,45GHz a vlnovej dĺžke 12,24 cm produkované väčšinou mikrovlnných rúr.



Obr. 2 Cole-Cole diagram

Obrázok 2 – Cole-Cole diagram znázorňuje dielektrickú permitivitu verzus dielektrické straty.

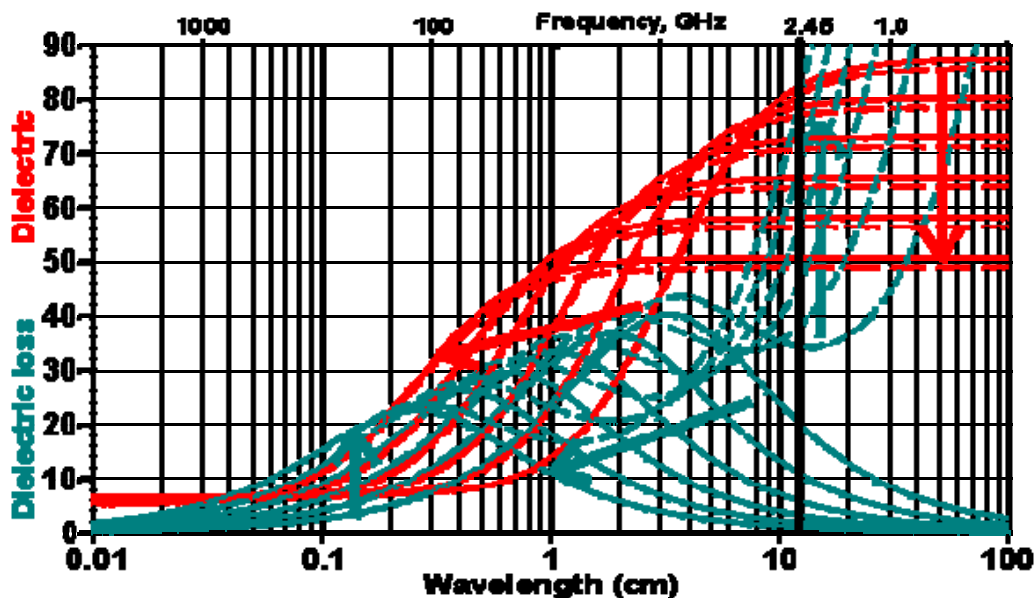
Červené čiary znázorňujú vplyv teploty (odstupňované po 20° od 0° do 100°C); modré čiary znázorňujú zmenu s teplotou pri konštantnej vlnovej dĺžke (1,3-201 GHz).

Pre porovnanie čiarkovaná čiara znázorňuje čistý ľad, pri omnoho nižších frekvenciách.

3 Vplyv soli

Rozpustená soľ znižuje hodnotu dielektrickej konštanty v závislosti od koncentrácie (c) a priemerného hydratačného čísla individuálnych iónov (HN). Soľ znižuje prirodzenú štruktúru vody, tým redukuje statickú dielektrickú permitivitu a následne zvyšuje teplotu.

Pri nižších frekvenciách sú ióny schopné reagovať a pohybujú sa so zmenou potenciálu; tak produkujú teplo trením a zvyšujú faktor straty (Lf). Kým voda sa so zvyšujúcou teplotou stáva horším absorbérom mikrovln, u jedál s obsahom soli sa schopnosť absorbovať mikrovlny s nárastom teploty zvyšuje. Intenzita, ktorou teplota slaného jedla narastá pri ohrievaní v mikrovlnke je úmerná narastajúcemu faktoru straty a je nepriamo úmerná súčinu hustoty a špecifického tepla (čím teplejšie je jedlo, tým rýchlejšie jeho teplota ďalej narastá).



Obr. 3 Dielektrikum a dielektrické straty v roztoku soli

Obrázok 3 znázorňuje dielektrikum a dielektrické straty v roztoku soli medzi 0°C a 100°C (plné čiary – čistá voda; čiarkované – roztok soli); šípky indikujú efekt zvyšujúcej sa teploty.

4 Ľad

Ľad má kritickú frekvenciu (λ_s) pri cca 10 MHz so zvýšenou statickou dielektrickou permitivitou. Pri oveľa vyšších frekvenciách mikrovlnnej rúry má ľad nízku dielektrickú permitivitu a neabsorbuje takmer žiadnu energiu. Pri rozmrazovaní môžeme pozorovať, že čiastočne roztopený materiál sa zohrieva rýchlo, kým neroztopený zostane zmrznutý.

5 Praktická demonštrácia v mikrovlnnej rúre

V prvej časti experimentu som demonštroval účinok soli na ohrev roztoku. Pre praktický pokus som použil dve nádoby naplnené rovnakým množstvom vody, do jednej som pridal lyžičku soli a spustil som ohrev v mikrovlnnej rúre. Pozoroval som, že roztok soli začal vriieť o niekoľko sekúnd skôr.

V druhej časti som demonštroval postupný vplyv pôsobenia mikrovln na ľad. Ako už bolo popísané vyššie, na začiatku sa ľad neohrieval, resp. netopil vôbec, no keď nastalo čiastočné roztopenie ľadu na povrchu, vzniknutá voda sa ohrievala rýchlo.

Referencie

[1] Kol. autorov, *Water structure and science; Water and Microwaves*,
<http://lsbu.ac.uk/water/microwave.html>

[2] Michael Vollmer, *Physics of the microwave oven*, www.iop.org/journals/physed