

ÚLOHA 1 A 2 JE HODNOCENA 1 BODEM.

ÚLOHA 3 JE HODNOCENA 2 BODY.

1. Šíření TM módů ve vlnovodu s paralelními kovovými deskami (Obrázek 1) bude řešen numerickou metodou konečných diferencí. Vzdálenost mezi stěnami vlnovodu  $d$  je rozdělena do  $N$  segmentů (Obrázek 2). Rovnici pro podélnou složku

$$\frac{d^2 E_x}{dz^2} + k^2 E_x = 0$$

přepíšeme pro každý uzel (předpokládají se 3 segmenty a 4 uzly):

$$\frac{E_2 - 2E_1 + E_0}{h^2} + k^2 E_1 = 0$$

$$\frac{E_3 - 2E_2 + E_1}{h^2} + k^2 E_2 = 0$$

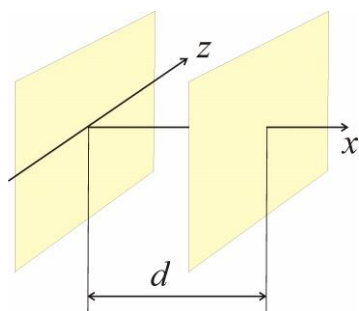
$$\frac{E_4 - 2E_3 + E_2}{h^2} + k^2 E_3 = 0$$

Za předpokladu nulové intenzity pole na dokonale vodivých stěnách získáme následující maticovou rovnici:

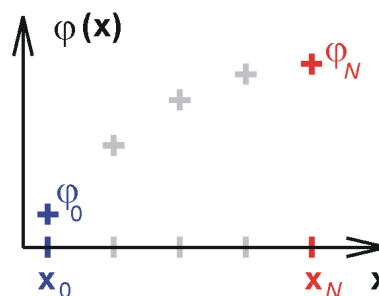
$$\frac{1}{h^2} \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} + k^2 \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Pomocí funkce `eig` získáme kvadráty kritických vlnových čísel  $k^2$  a prostorové vzorky distribuce pole  $E$ .

Vytvořte odpovídající skript v programu MATLAB.



**Obr. 1** Deskový vlnovod  
(vlna se šíří ve směru osy  $z$ ).



**Obr. 2** Mezera mezi deskami  
rozdělena do  $N$  segmentů.

Úlohu 1 jsem řešil pomocí konečných elementů i konečných diferencí. Viz. Sobory v příloze (`finite_differences.m` a `finite_elements.m`). Přičemž soubor `finite_elements.m` umožňuje analyzovat i obdelníkový vlnovod.

2. Soubor 02\_PARALLEL\_TE.M obsahuje zdrojový kód pro analýzu TE módů šířících se v deskovém vlnovodu (Obrázek 1).

Jaký je rozdíl vzhledem k vašemu kódu pro TM módy?

**Původně jsem tak nějak omylem k analýze využil metodu konečných elementů namísto konečných diferencí soubor (finite\_elements.m). Takže rozdíl je v diskretizaci.**

**Nicméně dále je v příloze soubor finite\_differences.m, který vznikl úpravou souboru parallel\_te.m. Hlavním rozdílem je zavedení okrajových podmínek na globální uzly, které leží v elektricky vodivých deskách vlnovodu a následných úpravách indexování proměnných v závislosti na vymazaných řádcích a sloupcích z matic Sc a Tc. Dalším rozdílem je, že zde není potřeba eliminovat „nultý vid“.**

3. V příloženém souboru 02\_RECT.ZIP naleznete M-soubory pro výpočet módů obdélníkového vlnovodu. Použitím těchto M-souborů analyzujte vlnovod WR 90 s rozměry: 22,86 mm × 10,16 mm):

a) Zjistěte kritické kmitočty nejnižších tří TE a TM módů při diskretizaci příčného průřezu 10 × 5 konečných elementů.

TE módy:

$$f_a = \frac{c}{2\pi} k_a, \quad k_1 = 137.49809, \quad k_2 = 279.2604, \quad k_3 = 314.206$$

$$TE_{10}: f_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{2\pi} 137.4 = 6.565 \text{ GHz}$$

$$TE_{20}: f_2 = 13.334 \text{ GHz}$$

$$TE_{01}: f_3 = 15.002 \text{ GHz}$$

TM módy:

$$f_a = \frac{c}{2\pi} k_a, \quad k_1 = 347.39, \quad k_2 = 433.8816, \quad k_3 = 554.0927$$

$$TM_{11}: f_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{2\pi} 347.39 = 16.5866 \text{ GHz}$$

$$TM_{21}: f_2 = 20.7163 \text{ GHz}$$

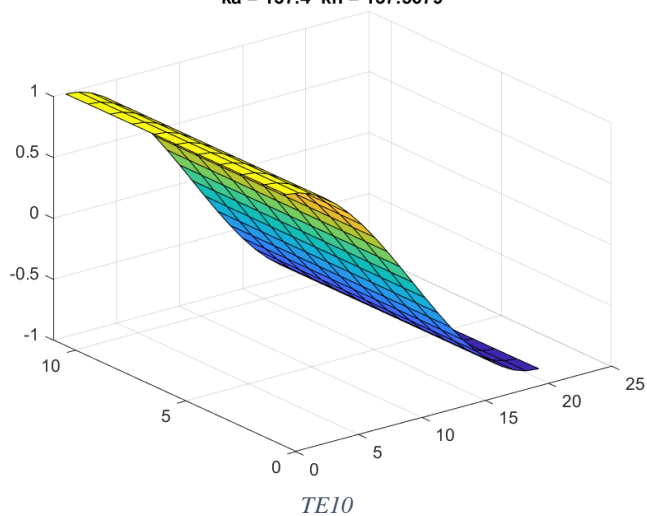
$$TM_{31}: f_3 = 26.4560 \text{ GHz}$$

b) Diskutujte rozdíl, pokud počet elementů vzroste na 20 × 10.

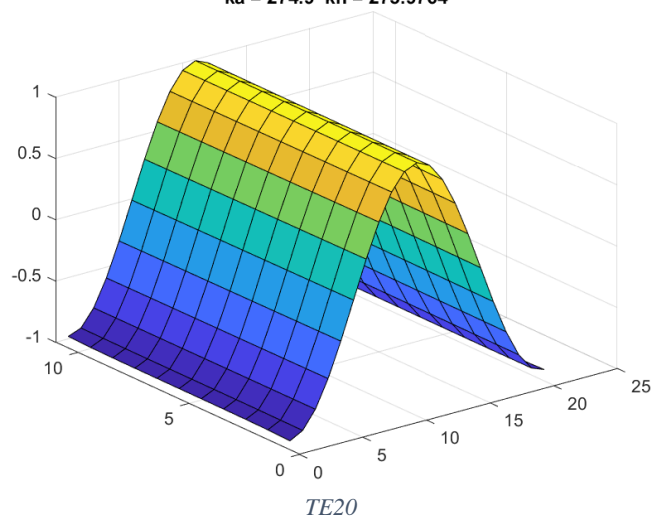
Výsledky se přiblíží teoretickým hodnotám. Obecně jsou přesnější výsledky pro módy TE, protože při aproximaci módů TM se v daném případě vynechává více řádků a sloupců z S a T matic díky vazebním podmínkám.

c) Zobrazte rozložení pole a identifikujte módy.

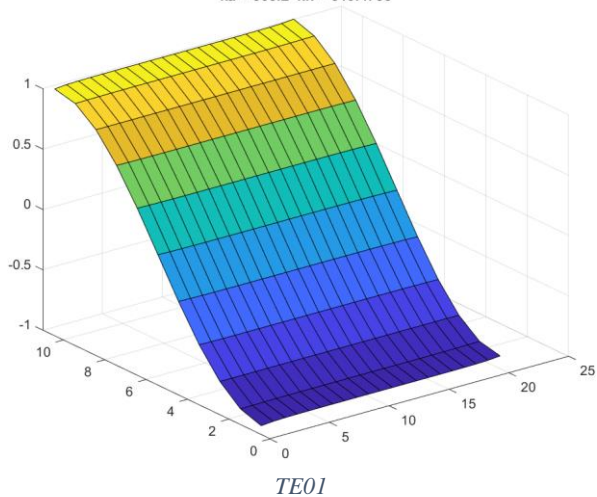
$ka = 137.4 \quad kn = 137.5679$



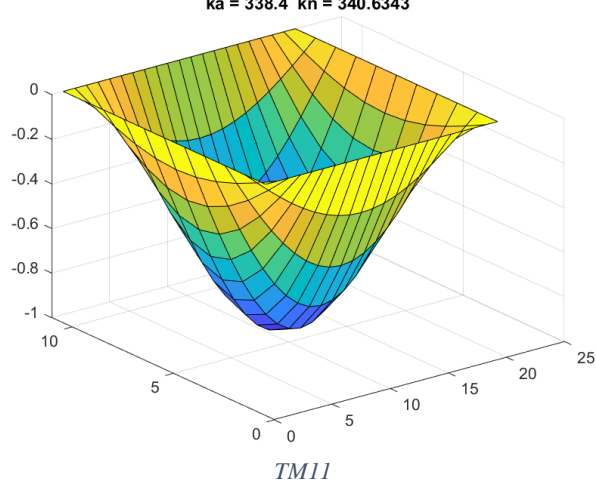
$ka = 274.9 \quad kn = 275.9764$



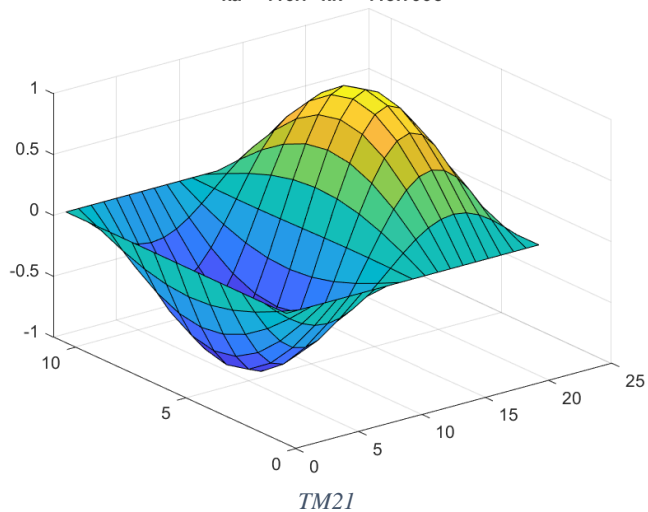
$ka = 309.2 \quad kn = 310.4755$



$ka = 338.4 \quad kn = 340.6343$



$ka = 413.7 \quad kn = 418.7998$



$ka = 515.4 \quad kn = 525.2434$

