

Jméno: Vojtěch Fišer
Datum měření: 21.4.2017
Skupina: 2
Klasifikace:

1 Úkoly

1. DŮ: Odvoďte vztah 1 pro výpočet polohy interferenčních maxim při difrakci na mřížce.

$$(\sin \Theta)_{max} = m \frac{\lambda}{d}, \quad m = 0, \pm 1, \dots \quad (1)$$

2. Ověřte, že pole před zářičem je lineárně polarizované a určete směr polarizace. Ověřte Mallusův zákon pro danou polarizační mřížku. Sestrojte dva grafy závislosti přijímaného napětí U na úhlu pootočení polarizační mřížky T nejprve pro sondu vertikálně a potom horizontálně.
3. Proměřte rozložení elektromagnetického pole v rovině před zářičem a zobrazte jeho prostorový graf ve vhodném programu (GNUplot, Mathematica, Matlab). Do protokolu zpracujte podélné a příčné rozložení pole (nezávislou veličinou budou souřadnice a závislou velikost napětí).
4. Demonstrujte a proměřte stojaté vlnění. Z rozložení pole určete vlnovou délku λ . V druhé části pokusu vložte dielektrickou desku do pole stojaté vlny a pomocí vztahů odvozených v postupu stanovte index lomu dielektrické desky n .
5. Ověřte kvazioptické chování mikrovln - difrakce na hraně, šterbině a překážce, zákon lomu a fokusace čočkou. Spočítejte vlnovou délku λ z grafu vlnění na šterbině a index lomu cukru n pomocí ohniskové vzdálenosti čočky. Sestrojte příslušné grafy.
6. Ověřte šíření mikrovln pomocí Lecherova vedení a vlnovodu. Ověřte, že podél Lecherova vedení se šíří stojatá vlna a určete z ní vlnovou délku λ .

2 Pomůcky

Pomůcky: Gunnův oscilátor 737 01, sonda elektrického pole 737 35, zdroj napětí se zesilovačem 737 020, trychtýřovitý nástavec 737 21, tyč 240 mm 737 15, transformátor 220V/12V 562 791, 2 BNC kabely 737 01, USB link PASCO 2100, osobní počítač, program pro datový sběr Data Studio, kartonová souřadnicová síť, polarizační mřížka, 2 držáky na desky, 2 kovové desky 230×230 mm, dielektrická deska PVC 20 mm, kovová deska 230×60 mm, pravítko, dutý půlválec, dřevěný držák půlválce, "A" podstava, konvexní čočka, kovový vlnovod, technický cukr, stojan s držáky.

3 Teorie

Mikrovlny nazýváme elektromagnetické vlnění o vlnových délkách v řádech milimetrů až desítek centimetrů. Díky svým vlnovým délkám umožňují mikrovlny pozorovat makroskopické např. difrakční obrazce. Narozdíl od světla však mikrovlny neumožňují přímé pozorování - pouze je dovedeme měřit pomocí sondy.

3.1 Polarizace a Mallusův zákon

Z klasické optiky známe Mallusův zákon, který popisuje intenzitu prošlého svazku I

$$I = I_0 \sin^2(\Theta) \quad (2)$$

kde I_0 je intenzita svazku vstupujícího do filtru a Θ je úhel, který svírají vektor propustného směru filtru a vektor směru polarizace.

Podle teorie [1] vyzařuje Gunnův oscilátor již polarizované světlo, naše sonda tvořená dipólem je také citlivá jen na jeden směr. Proto si lze náš případ představit jako situaci, kdy vlnění prochází dvěma polarizačními filtry. Lze odvodit, že pro situaci, kdy zdroj a citlivost antény jsou ve shodném směru, platí zákon ve tvaru

$$I = I_0 \sin^4(\Theta) \quad (3)$$

a pro situaci, kdy jsou kolmo, platí ve tvaru

$$I = I_0 (\sin(\Theta) \cos(\Theta))^2. \quad (4)$$

3.2 Rozložení pole

Obecně se rozlišuje prostor u zářiče na blízký a daleký. V našem případě budeme považovat za hraniční vzdálenost r_0 hodnotu 10 mm. Pole blízké oblasti je složité popsatelné. Pro vzdálené pole přibližně odpovídá Gaussův zákon - intenzita pole klesá s druhou mocninou vzdálenosti.

3.3 Stojaté vlnění

Když je vlna odražena a interferuje s příchozí, nastává tzv. stojaté vlnění. V podélném směru obálkou intenzity $f(x)$ bude škálovaná funkce $|\sin|$. Tu je možno napsat ve tvaru

$$f(x) = \alpha \left| \sin \left(\frac{\pi}{k}(x - q) \right) \right| \quad (5)$$

kde k má smysl vzdálenosti minim (uzlů) i maxim (kmiten), q má smysl posunutí ve směru šíření vlny a α amplitudy.

Při vložení dielektrické desky s jiným indexem lomu (tedy rychlostí šíření vlnění) do cesty se posune poloha minim a maxim. Při vložení mezi oblast měření a odraznou desku bude toto lze spočítat index lomu desky n_2 jako

$$n_2 = \frac{z_2 - z_1}{d} + 1 \quad (6)$$

kde z_1, z_2 jsou polohy minim před a po vložení desky a d je její tloušťka.

3.4 Difrakce

Difrakce je projev vlnového chování záření. Nastává, když vlnění dopadá na objekty o velikosti srovnatelné s vlnovou délkou záření, v našem případě jednotky centimetrů. Základní myšlenkou je Huygensův princip - každý bod může být elementárním zdrojem světla, ze kterého se šíří kulové vlnoplochy.

Při zaclonění nekonečnou deskou můžeme pozorovat tzv. ohyb na hraně. Podle jednodušší paprskové teorie by měl být svazek ostře zastíněn a neměl by tedy žádný projít za desku. Při difrakci je na hraně zdroj druhotného záření a záření "jde i za roh".

Při zastínění konečnou překážkou nastává tento děj na obou koncích překážky. Oba tyto zdroje záření jsou vlnové povahy a tak interferují a vytváří složitější elektromagnetické pole.

3.5 Lom na přechodu optických prostředí

I pro mikrovlny platí Snellův zákon lomu

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (7)$$

kde α, β jsou úhly mezi svazkem a normálovým vektorem povrchu, n_1, n_2 jsou indexy lomů prostředí. To bude platit v našem případě, kdy budeme používat půlválec podle Obr. 1.

Pro počítání s čočkou lze vyjádřit ohniskovou vzdálenost f z čočkové rovnice

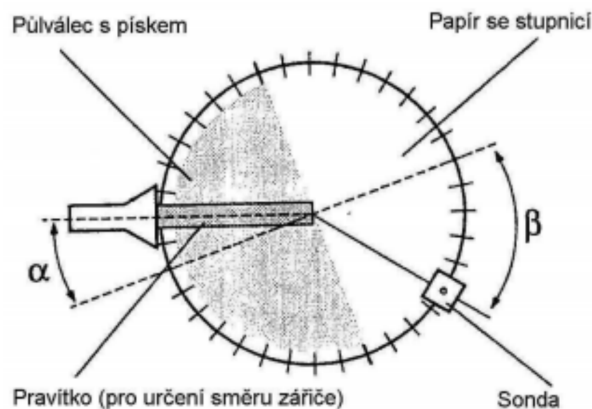
$$f = \frac{aa'}{a + a'} \quad (8)$$

Dále pro tenké čočky platí ze (7)

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \left(\frac{2}{r} \right) \quad (9)$$

kde r je poloměr křivosti. Z toho je možné dosazením těchto vzorců a hodnoty $n_1 = 1$ dostat

$$n_2 = \frac{r}{\frac{2aa'}{a+a'}} + 1 \quad (10)$$



Obr. 1: Náčrtek experimentu s půlválcem. Převzato z [1].

4 Postup měření

Nejprve jsme připojili BNC kabelem zdroj ke Gunnovu oscilátoru a sondu k zesilovači. Zesilovač byl zapojen do počítače přes přípravek PASCO. Každé odečítání jsme prováděli pomocí počítače v programu DataStudio měřením po dobu několika sekund a odečtením průměrné hodnoty.

Nejprve jsme ověřili pomocí naklánění, že sonda má maximální citlivost ve vertikální poloze. Dále jsme vložili mezi zdroj a sondu ve vertikální poloze polarizační mřížku. Vždy jsme zapsali intenzitu při každém úhlu mřížky od 0 do 180° po 10°. Následně jsme pomocí držáku otočili sondu do horizontální polohy a udělali tu samou sadu měření.

Dále jsme umístili 5 cm před zářič na stůl kartonovou síť souřadnic. Zaznamenali jsme intenzitu pole při sondě na každém z vyznačených průsečíků.

Poté jsem důkladně očistil zespoda stojánek sondy, neboť se kvůli nečistotám celá sonda kývala. Následně jsme do vzdálenosti 20 cm od zářiče umístili hliníkovou desku kolmo na směr šíření vln. Pak jsme posouvali sondu po spojnici desky a zářiče ve vzdálenosti 5 - 15 cm a po každých 5 mm jsme zapsali hodnotu. Následně jsme poblíž

vypozorovaných minim změřili ještě dalších deset bodů. Vložili jsme před hliníkovou desku ještě desku z PVC a měření jsme zopakovali.

Dále jsme přesunuli hliníkovou desku 10 cm před zářič. Sondu jsme posouvali po přímce vzdálené od zářiče 24 cm od 8 cm na jednu stranu do 5 cm na druhou, po 1 cm jsme zapisovali hodnoty. Následně jsme desku zaměnili za tenkou desku představující konečnou překážku a změřili jsme to samé, tentokrát s rozsahem ± 15 cm. Následně jsme místo konečné překážky umístili štěrbinu vytvořenou ze dvou velkých desek a papírový úhloměr jsme umístili středním bodem 15 cm od štěrbinu. Změřili jsme pro štěrbinu šířky 4 i 6 cm intenzitu pro úhly celého půlkruhu po 10° .

Pak jsme umístili sondu za zářič tak, aby bylo detekováno minimální pole. Pomocí kovového vlnovodu jsme kvalitativně ověřili, že vlnovod vede vlny.

5 Vypracování

V rámci této úlohy jsme nekalibrovali sondu. Všechny intenzity tedy uvádím v napětí na výstupu zesilovače za sondou. Pouze jsem získané (záporné) hodnoty vynásobil -1.

První pozorování (natáčení sondy) jsem kvantitativně nevyhodnocoval.

Data z měření Mallusova zákona pro sondu vertikálně, horizontálně jsou graficky na Obr. 2, 3. Grafy jsou proloženy křivkami (3), (4) přenásobené konstantou. To byl také jediný volný parametr fitu. S touto hodnotou jsem již dále nepracoval, proto ji neuvádím. Graficky jsem usoudil, že Mallusův zákon není vyvrácen.

Rozložení elektromagnetického pole je graficky na Obr. 4. Příčné rozložení je na Obr. 5, podélné na Obr. 6.

U vyhodnocení stojatého vlnění jsem nejprve pomocí programu gnuplot vynesl závislost napětí na sondě na pozici a touto proložil (5) pomocí parametrů α , k a q . Hodnoty k_1 , k_2 byly pro obě závislosti téměř stejné. Uučil jsem tedy průměrnou hodnotu k . Podruhé jsem již body nafitoval opět (5), tentokrát však s již s pevným parametrem k a α_1, α_2 . Z k jsem určil vlnovou délku $\lambda = 2k$ jako

$$\lambda = (3,35 \pm 0,04) \text{ cm}. \quad (11)$$

Z rozdílů q_1 a $4q_2$ jsem určil až na celočíselný počet k posunutí minim a maxim a podle rady z návodu jsem pak zvolil to, které se blíží druhé periodě $z_2 - z_1 = (1,62 \pm 0,06) \text{ cm}$. Z (6) jsem pak spočetl

$$n_2 = (1,81 \pm 0,03). \quad (12)$$

Difrakce na hraně je graficky znázorněna na Obr. 8. Na obrázku lze vidět, že proběhl ohyb. Difrakce na konečné překážce je vynesena do grafu na Obr. 10. Zde lze vidět, že uprostřed je další maximum, což je v souladu s teorií.

Při vyhodnocení difrakce na štěrbině jsem nenalezl minima ani vedlejší maxima, proto jsem nemohl λ určit.

Naměřené hodnoty experimentu s půlválcem uvádím v Tab. 1. Pro každé měření jsem pak dle (7) spočetl $n_2 = n_c$. Aritmetickým průměrem jsem určil

$$n_c = (1,3 \pm 0,4). \quad (13)$$

Naměřili jsme průměr čočky $d = (20 \pm 0,5) \text{ cm}$, polovinu tloušťky $h = (2,4 \pm 0,1) \text{ cm}$. Z toho jsem pomocí středoškolské geometrie spočetl poloměr křivosti $r = (19,6 \pm 0,7) \text{ cm}$. Maximální intenzitu jsme naměřili při $a = (62 \pm 1) \text{ cm}$, $a' = (10 \pm 1) \text{ cm}$. Dosazením do (10) jsem získal $n_2 = n_c$

$$n_c = (2,1 \pm 0,6). \quad (14)$$

6 Diskuze

Při vyhodnocování Mallusova zákona lze pozorovat v oblasti největšího píku systematickou odchylku od teoretických hodnot. Nejsem si jistý, čím byla způsobena. Je možné, že se sonda nechová zcela lineárně.

α	β
30	50
20	35
10	15
10	5
20	25
30	40

Tab. 1: Výsledky experimentu s půlválcem plným cukru.

Při měření rozložení je zvláštní hodnota na souřadnicích (0, 25). Odhaduji, že ji mohla způsobit interference s nějakou odraženou vlnou. Z podélného rozložení lze pochopit, proč je problém podílat data na větší vzdálenosti - intenzita klesá podle Gaussova zákona. Při měření rovinného rozložení jsme mohli mít zntelnou systematickou chybu při určování pozice. Karton se souřadnicemi byl trochu prohnutý. Jelikož je však na sondě malá podstava a dlouhá sonda, dost se nakláněla.

U stojatých vln jsem asi čtvrtinu bodů vyloučil, neboť nesouhlasily s teorií. Následně teorie seděla dobře.

U ohybu na hraně graf kvalitativně odpovídá teorii. U difrakce na konečné překážce lze hezky vidět, že uprostřed se tvoří interferenční maximum. To lze vysvětlit tak, že prostředek je stejně daleko od obou hran a vlny z hran v něm tedy interferují konstruktivně; se vzdáleností od středu se fáze vln rozchází a výsledná intenzita je tam menší (do momentu, než je jedna ze stran příliš malá proti druhé). U difrakce na menší stěrbině nebylo patrné ani jedno minimum. U větších jsou na okrajích jisté jevy, které jsou ovšem na úrovni rozptylu hodnot, proto jsem je nevyužíval. Myslím si, že to je způsobeno tím, že jsme umístili úhломěr o asi 13 cm příliš daleko a měřili jsme tak jen malé úhly.

Určit statistickou chybu nebylo možné u měření s čočkou, neboť jsme provedli jedno měření. Chybu jsem tam pak tedy odhadem nadsadil o statistickou.

7 Závěr

Podařilo se ověřit Mallusův zákon (Obr. 4, 3), zmapovat pole (Obr. 4). Ze stojatého vlnění jsem určil vlnovou délku λ

$$\lambda = (3,35 \pm 0,04)\text{cm}. \quad (15)$$

Určil jsem index lomu PVC desky n_2

$$n_2 = (1,81 \pm 0,03). \quad (16)$$

Dvěma metodami jsem určil index lomu cukru - z půlválce n_p a z fokusace čočkou n_c

$$n_p = (1,3 \pm 0,4) \quad (17)$$

$$n_c = (2,1 \pm 0,6). \quad (18)$$

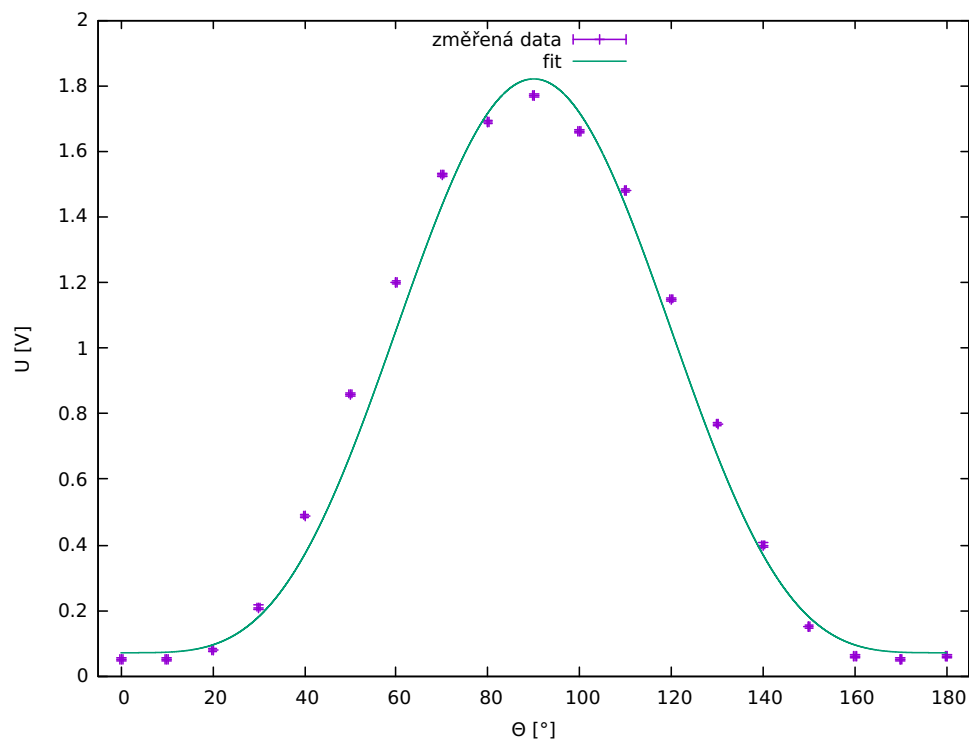
Dále se podařilo kvalitativně ověřit difrakci a vedení vlnovodem.

Nepodařilo se změřit difrakci na šterbině. Rovněž jsme nestihli změřit Lecherovo vedení.

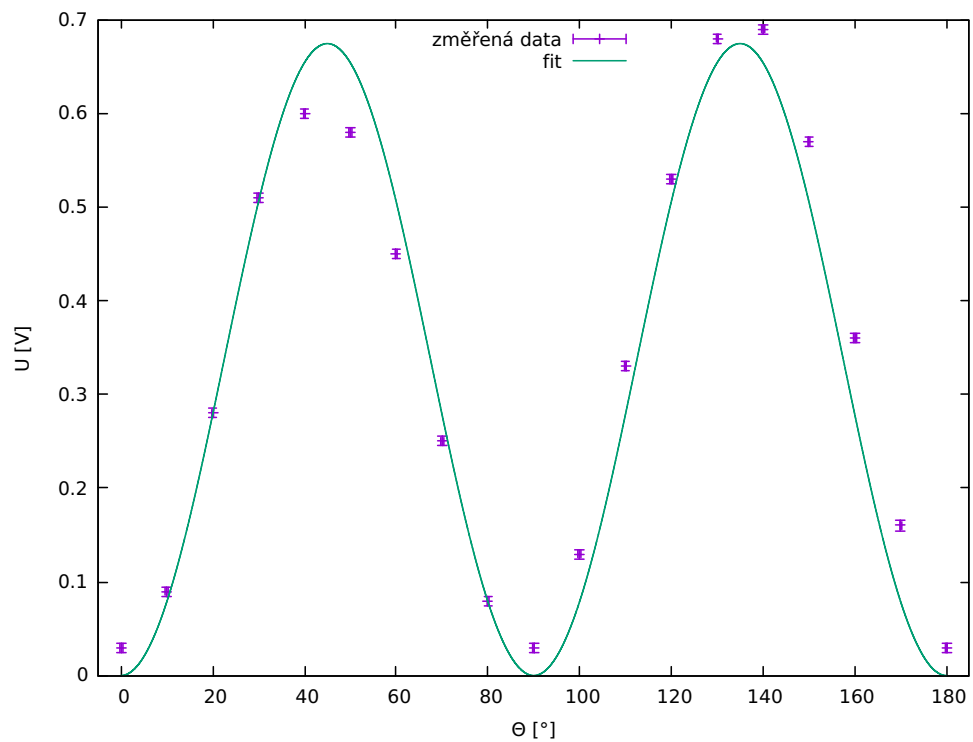
Literatura

- [1] Návod - Mikrovlny, dostupné online - <http://praktikum.fjfi.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=342>
[cit.14.3.2017]

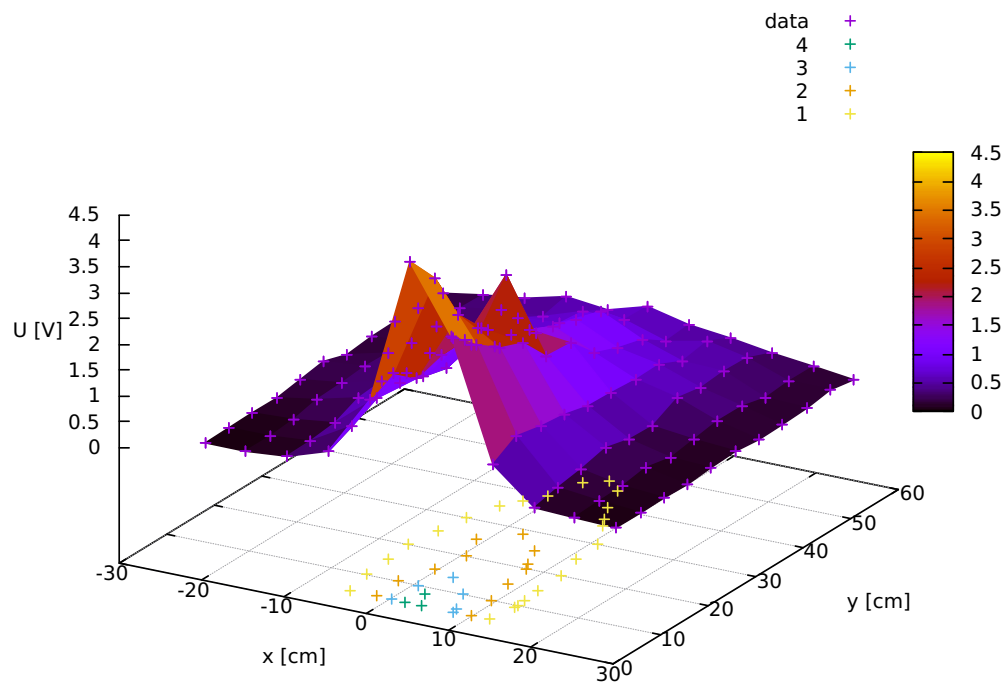
Příloha



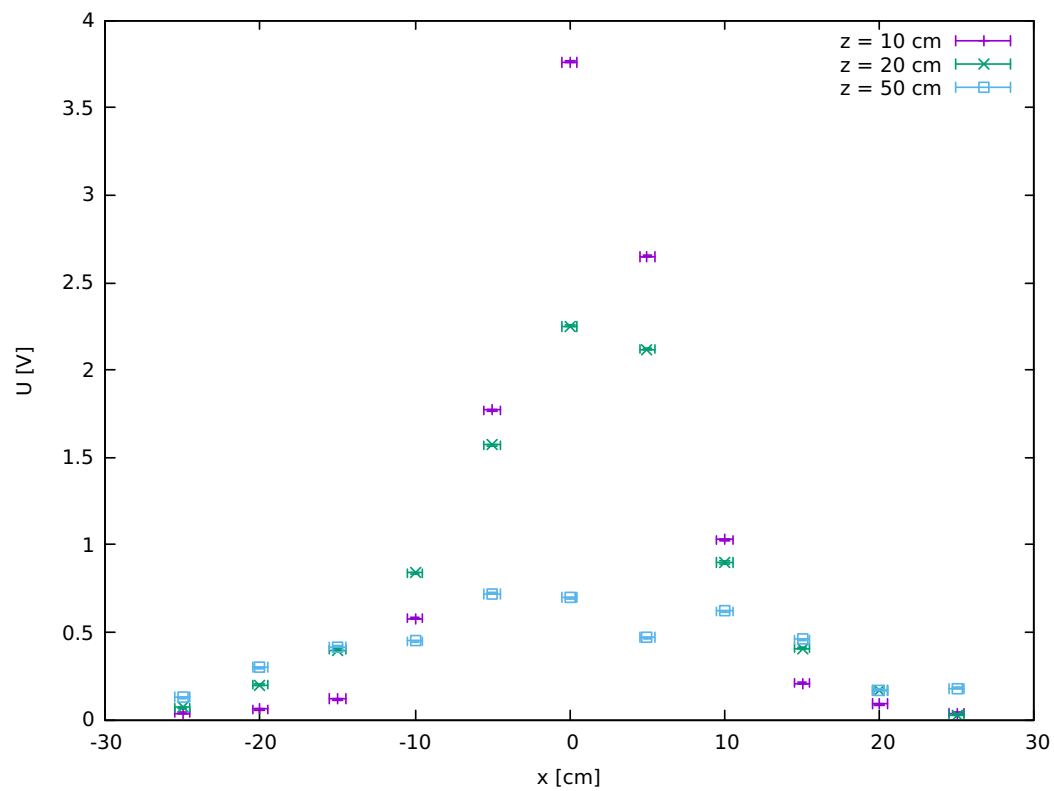
Obr. 2: Ověření Mallusova zákona, sonda ve vertikální poloze. Θ úhel polarizační mřížky. Proložená křivka (3) pouze pro názornost.



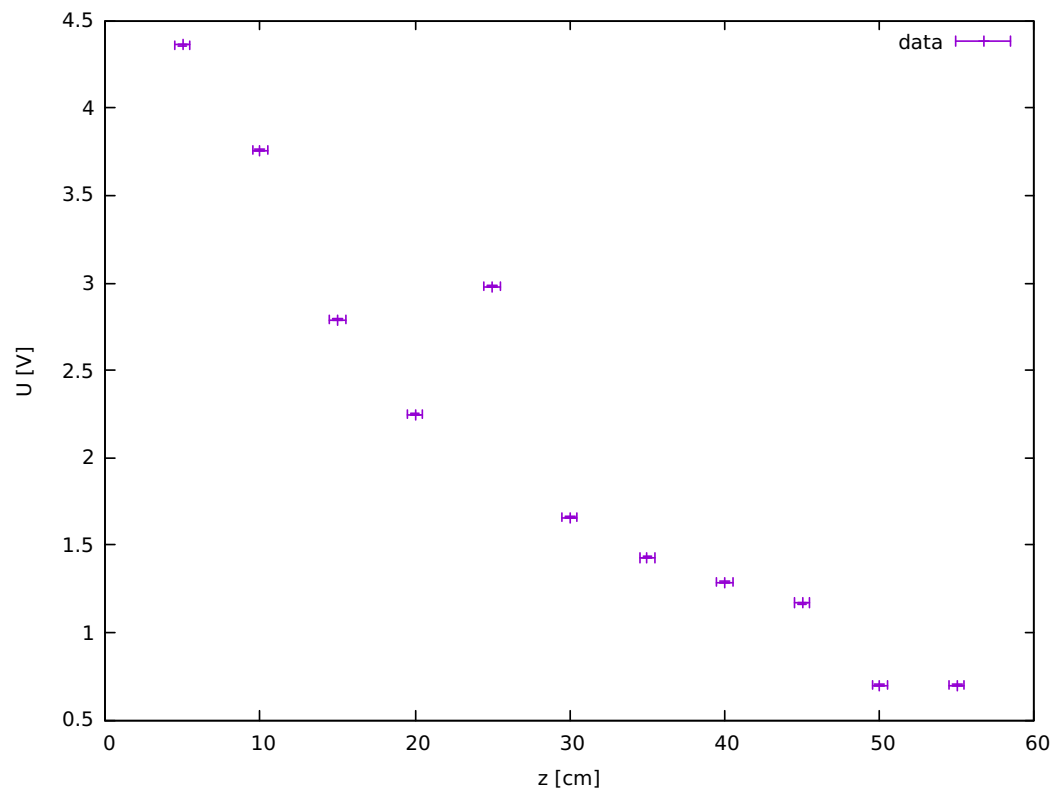
Obr. 3: Ověření Mallusova zákona, sonda v horizontální poloze. Θ úhel polarizační mřížky. Proložená křivka (4) pouze pro názornost.



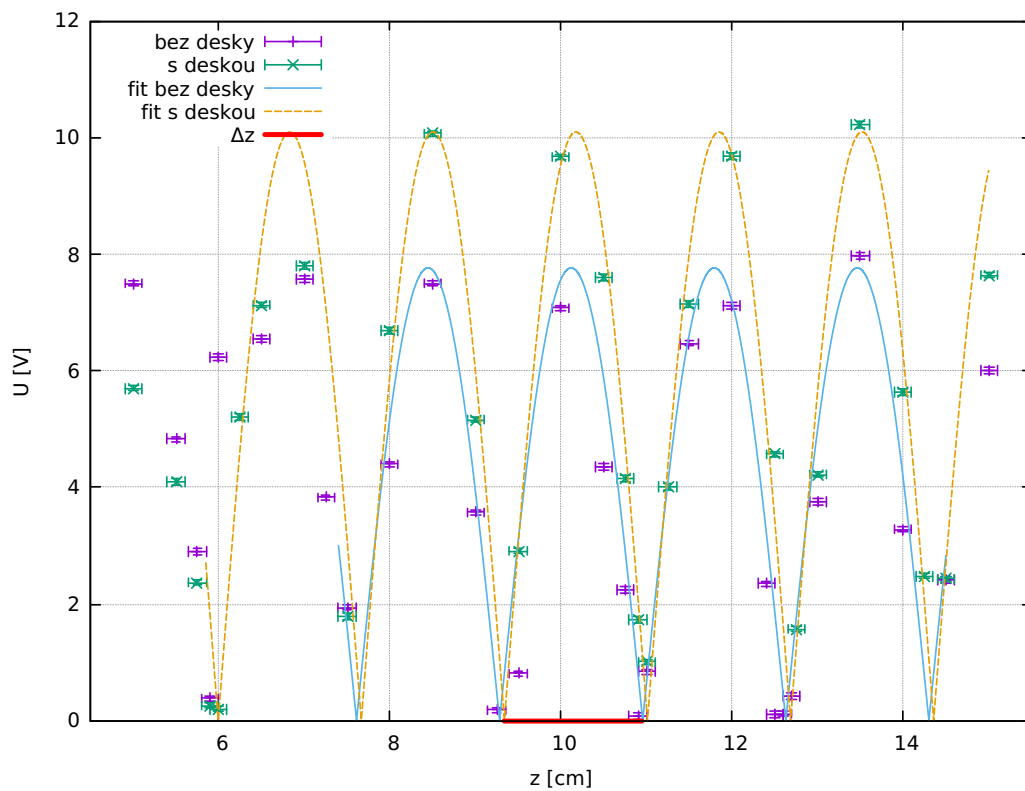
Obr. 4: Rozložení elektromagnetického pole.



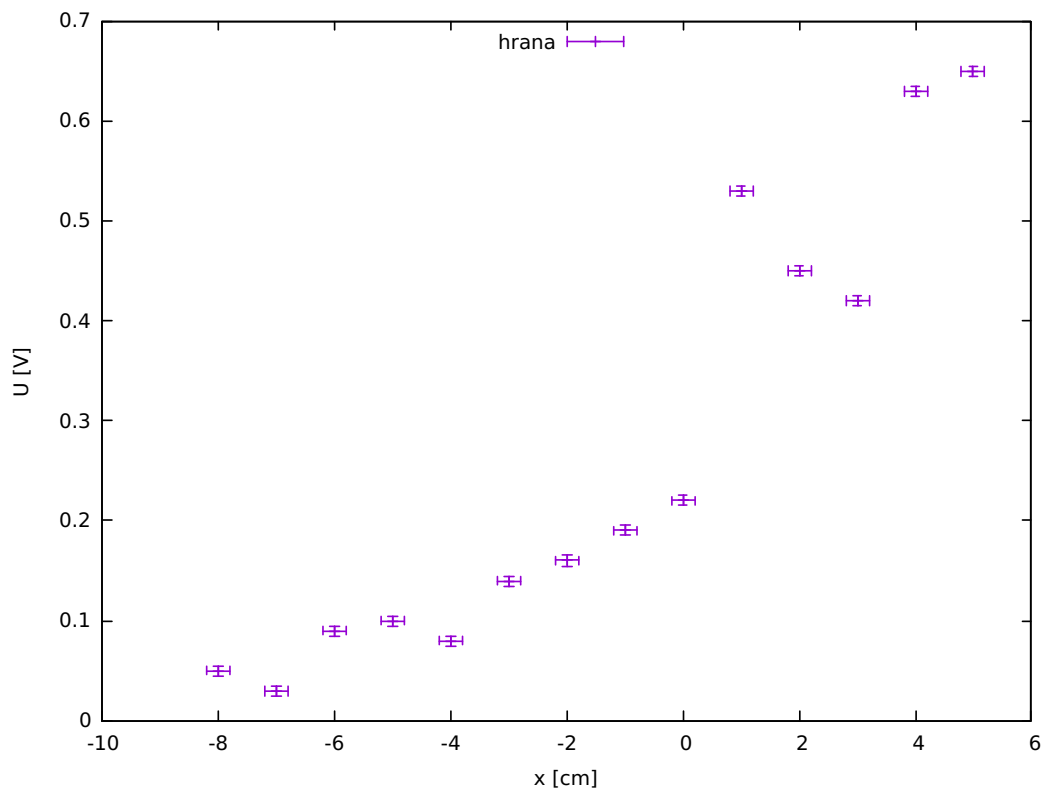
Obr. 5: Příčné rozložení elektromagnetického pole.



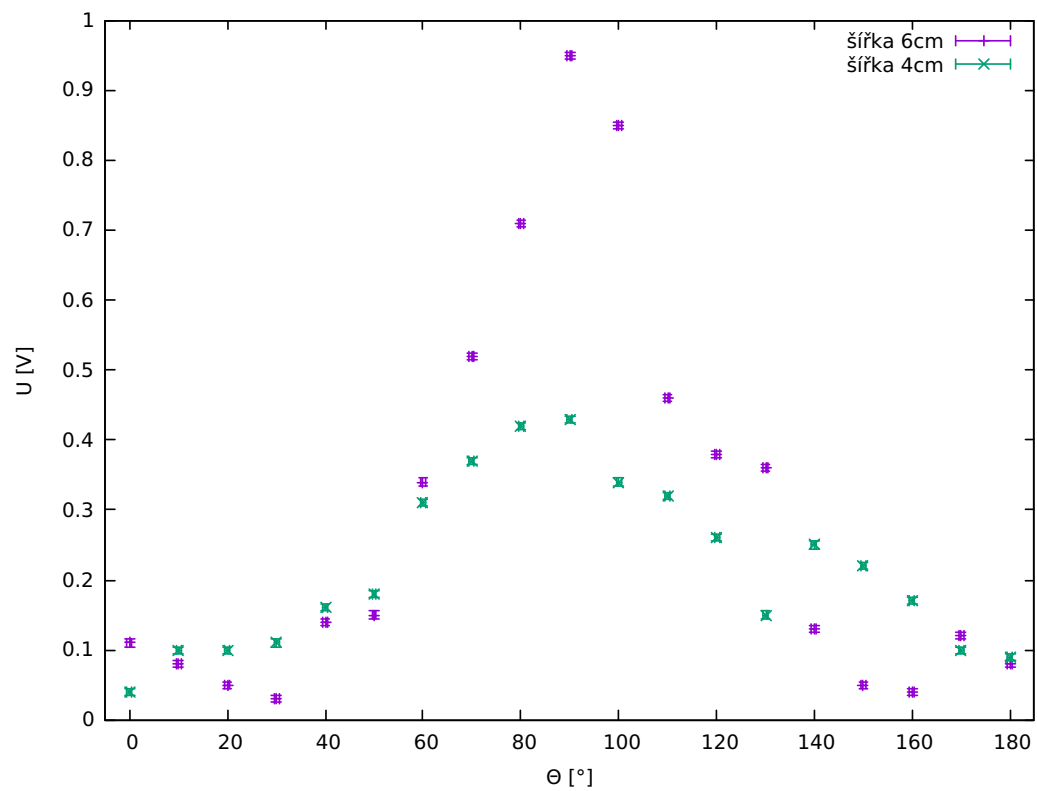
Obr. 6: Podélné rozložení elektromagnetického pole.



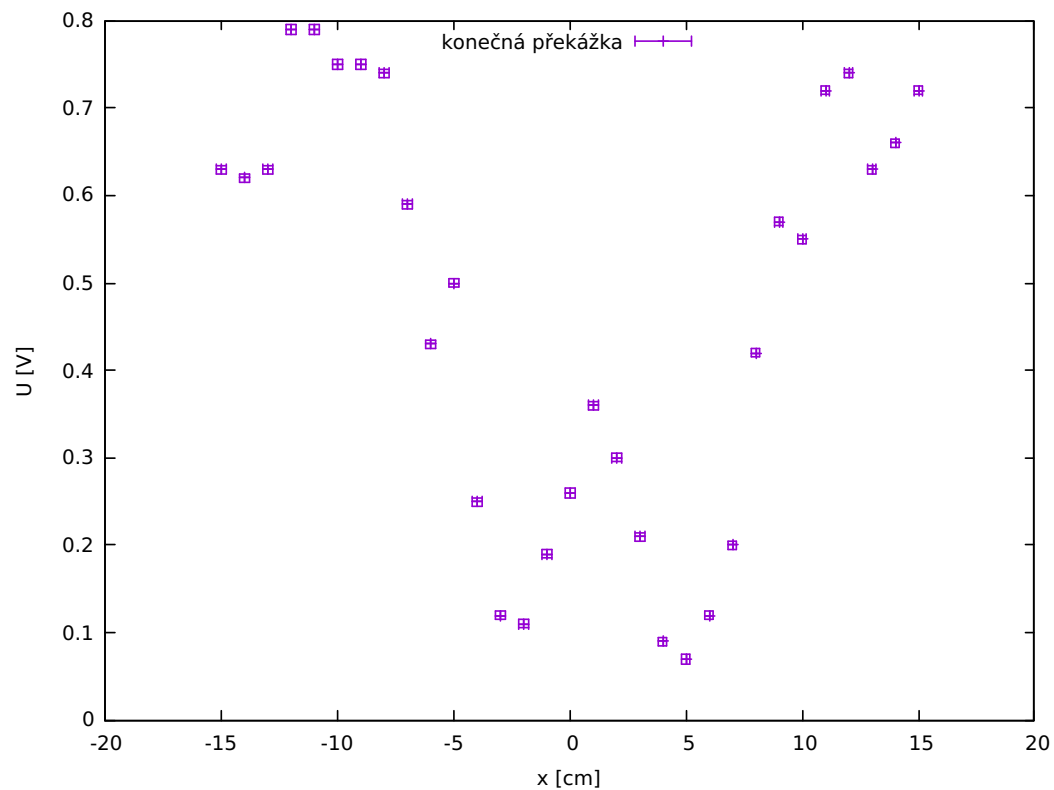
Obr. 7: Stojatá vlna. Koeficienty fitů: $k = (1,67 \pm 0,02)$, Bez desky $q_1 = (0,92 \pm 0,02)$, s deskou $q_2 = (0,97 \pm 0,04)$.



Obr. 8: Difrakce na hraně.



Obr. 9: Difrakce na štěrbinách. Θ měřeno od přímky kolmé ke směru šíření.



Obr. 10: Difrakce na konečné překážce.