

Bezkontaktní měření indexu lomu a tloušťky skla pomocí laseru

S. Taborovec

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1.
taborsta@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

V této práci jsme se pokusili bezkontaktní, neinvazivní metodou změřit tloušťku a index lomu mnou zvoleného skla. Prve jsme použili metodu dvojitého odrazu laserového paprsku a následně jsme zrealizovali navrženou metodu měřením indexu lomu a tloušťky pomocí zavedení paprsku do skla pomocí optického hranolu. Pomocí druhé metody se nám podařilo změřit index lomu skla na $n = 1.545$ a tloušťku skla na $h = 0.608$ cm.

1 Úvod

Bezkontaktní měření parametrů jako jsou rozměry, tloušťka, index lomu, nebo mechanické vady, nachází široké využití při kontrole materiálu nebo během výrobního procesu. Při správném nastavení lze měření provádět s dostatečnou přesností. Výhodou bezkontaktního měření je jeho nedestruktivnost, přesnost a rychlost. Cílem naší práce bylo změřit tloušťku a index lomu tabulového skla na základě bezkontaktní metody. Pokusíme se prověřit klasické metody, které se využívají ve sklářském průmyslu kvůli jejich jednoduchosti, a předvedeme námi vymyšlený postup.

2 Teoretický úvod

Naše teoretické poznatky vychází ze znalostí Snellova zákona lomu světla, při kterém se úhel α , láme na rozhraní dvou optických prostředí v poměru indexů lomů daných dvou prostředí.

$$\frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\beta_1)} = \frac{n_1}{n_2} \quad 1$$

Pokud světelný paprsek dopadne na rozhraní dvou prostředí pod určitým úhlem, dojde k totálnímu průchodu polarizovaného světla do druhého prostředí. Daný úhel se nazývá Brewstrovým úhlem.

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad 2$$

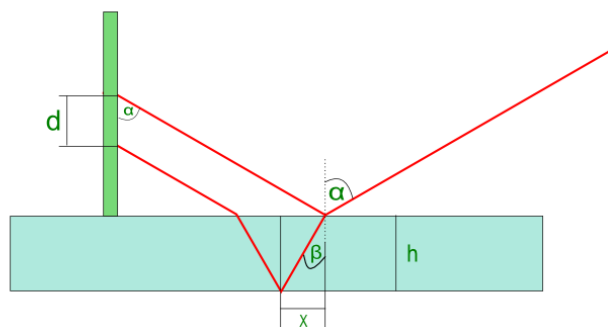
3 Měření indexu lomu pomocí Brewstrova uhlu

Naším prvním měřením bylo změření indexu lomu pomocí znalostí o polarizaci světla a Brewstrově úhlu. Využívali jsme kus tabulového skla ze skleněné poličky, který jsme různě otáčeli a svítli na něj paprskem. Polarizovaný paprsek, pokud nedopadl pod Brewstrovým úhlem, tak se odrazil na promítací desku. Jakmile jsme nastavili sklo pod správným úhlem, odražený paprsek zmizel. Po změření úhlu, jsme dostali že Brewstrův úhel pro náš kus skla se rovná přibližně $(57 \pm 1)^\circ$, což nám dává index lomu přibližně rovný $1,54 \pm 0,06$.

4 Měření tloušťky

Nejjednodušším způsobem změření tloušťky je svítit laserovým paprskem na tabulové sklo pod určitým úhlem, a změřit vzdálenost paprsku, který se odrazí od vnitřního povrchu a vnějšího. Následně ze znalostí ohledně odrazu paprsku můžeme se za předpokladu, že známe index lomu skla, dopočítat tloušťku.

Pro naše měření jsme používali laser a tabulové sklo, které jsme již změřili v minulém experimentu. Pro větší přesnost snímání jsme místo stopy, kterou obvykle zanechává laser, použili hranol, který nám udělal čarovou stopu, kterou jsme následně pomocí čočky zúžili. Odraženou stopu jsme vyfotili a digitálně jsme zjistili vzájemnou odraženou vzdálenost obou paprsků.



Pro dopočet tloušťky jsme na základě Snellova zákona odvodili vztah:

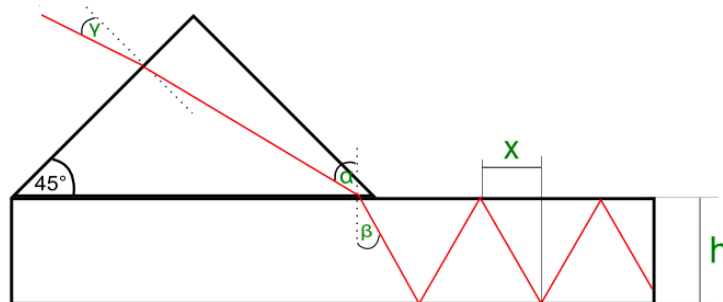
$$h = \frac{x}{\operatorname{tg}(\beta)} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \cdot d}{\operatorname{tg}\left(\arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n_2}\right)\right)}$$

3

Po dopočtu tloušťky jsme ji určili na $h = 0,56 \text{ cm}$.

5 Měření užitím totálního odrazu paprsku ve skle

Pokusili jsme se provést měření indexu lomu a tloušťky skla jiným způsobem, nežli pomocí Brewstrova úhlu. Vymysleli jsme postup, při kterém na tabulové sklo umístíme optický hranol se známým vyšším indexem lomu, na který budeme svítit laserem. Světlo projde hranolem do skla pod takovým úhlem, aby nastal totální odraz na hranici sklo-vzduch. Následně změříme vzdálenost jednotlivých maxim, které budou vidět na skle. Pokud toto měření provedeme pro dva různé úhly dopadu paprsku, budeme se moci dopočítat indexu lomu a tloušťky skla pouze z informací o dvou úhlech a vzdálenosti stop odraženého paprsku.



Z Snellových vztahů lze odvodit pod jakými úhly do hranolu dopadne laserový paprsek a násled lze dopočítat vzdálenost maxim, z čehož získáme i tloušťku skla. Výsledný vzorec pro tloušťku skla je

$$h = \sqrt{\frac{\frac{\sin\left(\arcsin\left(\frac{\sin(45^\circ - \gamma_1)}{n_1}\right) + 45^\circ\right) \cdot x_2}{\sin\left(\arcsin\left(\frac{\sin(45^\circ - \gamma_2)}{n_1}\right) + 45^\circ\right) \cdot x_1} \cdot x_1^2 - x_2^2}{1 - \frac{\sin\left(\arcsin\left(\frac{\sin(45^\circ - \gamma_1)}{n_1}\right) + 45^\circ\right) \cdot x_2}{\sin\left(\arcsin\left(\frac{\sin(45^\circ - \gamma_2)}{n_1}\right) + 45^\circ\right) \cdot x_1}}} \quad 4$$

Kde x_1 , x_2 jsou hodnoty maxim pro 2 různé vstupní úhly γ . Zpětně z výšky a ze známé hodnoty maxim, určíme index lomu skla.

Hodnoty maxim jsme získali z počítače, kdy jsme měřili vzdálenost dvou maxim z fotografie a následně při známém měřítku jsme se dopočítali skutečných hodnot.

Níže je tabulka s našimi hodnotami, jenž jsme se naměřili.

	úhel γ (°)	x (cm)
Měření 1.	36,11	0,71
Měření 2.	27,35	0,86

Z těchto údajů jsme se dopočítali, že tloušťka skla se rovná $h = 0,608$ cm a index lomu je roven $n = 1,545$.

6 Diskuze

Vyzkoušeli jsme dva způsoby měření. Pomocí prvního jsme změřili tloušťku a index lomu na $h = 0,56$ cm a $n = 1,54 \pm 0,06$. Pomocí druhého jsme se doměřili $h = 0,608$ cm a $n = 1,545$. Pomocí posuvného měřítka jsme ověřili, kolik mělo sklo doopravdy. Bylo to 0,58 cm. Je vidět, že chyba měření od skutečné je menší než 10%, což považujeme za dobrý výsledek. Index lomu skla nebylo možné změřit přesně, ale je vidět, že obě měření jsou přibližně stejná.