Ing. Jan Dvořáček, CSc
VÚIS Bratislava, pracoviště Brno

Optické měření úhlových změn deformujících se povrchů.

Dopadá-li světlo ze zdroje rovnoběžných paprsků (např. ze Slunce) na rovinné zrcadlo z , utvoří se v zrcadle pro pozorovatele A , stojícího před zrcadlem, obraz světelného zdroje S . Pootočí-li se zrcadlo o úhel φ , pootočí se obraz zdroje světla S' vůči původnímu o úhel 2φ (viz obr. 1). Obráceně lze z úhlového otočení obrazu zdroje světla vypočítat úhlovou změnu zrcadla. Tento triviální optický zákon lze dále popsaným způsobem použít i pro vhodně upravené křivé plochy na měření úhlových změn celých ploch, jejich částí nebo pouze vybraných bodů jejich povrchu. Úprava spočívá ve vyleštění povrchu plochy (nebo nanesení odrazové vrstvy) a jeho jemném, pokud možno všesměrném poškrábání, zanechávajícím v povrchu jemné rýhy, avšak ponechávajícím ploše její schopnost odrážet obrazy.

Upravíme-li takto rovinné zrcadlo, pak pozorovatel před ním stojící uvidí v zrcadle nejen obraz zdroje světla, ale i soustavu světlejších čar sestavených do soustředných částí kruhů, jejichž středem je obraz světelného zdroje. Vznikají odrazem světla od vnějších ploch částí rýh orientovaných axiálně vzhledem k obrazu zdroje světla, zatímco ostatní rýhy a jejich části, jakož i nepoškrábaná plocha odráží tmavší okolí. Jestliže je zrcadlo natočené tak, že obraz zdroje světla je mimo plochu zrcadla, přesto lze polohu obrazu zdroje světla v rovině zrcadla určit jako průsečík normál osvětlených částí rýh, které na celé ploše zrcadla zůstávají a to téměř až do otočení zrcadla do polohy, kdy obraz zdroje světla se v rovině zrcadla blíží k nekonečnu.

Uvažujme křivou plochu splňující výše uvedené požadavky a na ní bod P. Chceme určit úhlovou změnu plochy v bodě P. Uvažujme v bodě P tečnou rovinu k ploše. Jestliže pro bod P určíme obraz světelného zdroje rovnoběžných paprsků na této tečné rovině před deformací a po ní, můžeme pak snadno určit úhlovou změnu tečné roviny a tedy i křivé plochy v bodě P.

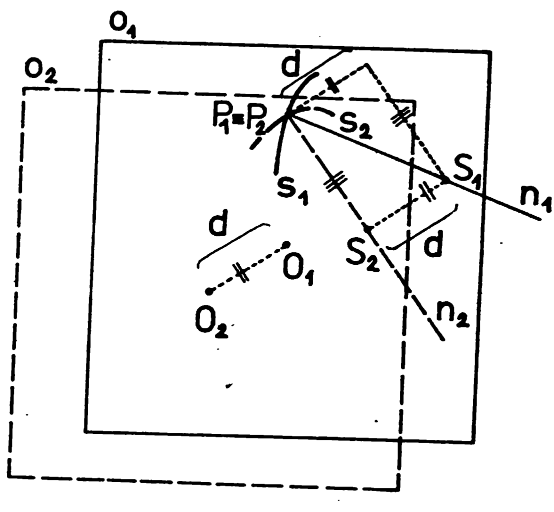
Jeden způsob bude ukázán na jednoduchém příkladě, v němž odvození i důkaz jsou zřejmé a nejsou zde uvedeny.

Oblast, v níž se nachází měřený bod P, šikmo osvětlenou zdrojem rovnoběžných paprsků, vyfotografujeme před deformací dvěma fotografickými aparáty, jejichž obrazové roviny leží v jedné rovině. Zobrazovací měřítko je $1 : 1$ a optické osy aparátů jsou rovnoběžné. Vzdálenost optických os od sebe nazveme d a na obrazové rovině o_1 se jeví jako orientovaná úsečka $\overline{O_1O_2}$, spojující průsečíky optických os s obrazovou rovinou. Oba obrazy o_1 a o_2 posuneme bez rotace vůči sobě tak, aby obrazy bodů P_1 a P_2 koincidovaly (viz obr. 2). Z bodu $P_1 \equiv P_2$ sestrojíme normály n_1 a n_2 ke křivkám s_1 a s_2, sestrojeným z odrazů zdroje světla na rýhách a procházejících bodem $P_1 \equiv P_2$. Středy oskulačních kružnic S_1 a S_2 obou křivek v obrazu bodu P a tedy fiktivní obrazy zdroje rovnoběžných světelných paprsků na tečné rovině k ploše v bodě P, leží na těchto normálách a jsou od sebe vzdáleny o vzdálenost d, orientovanou stejně jako $\overline{O_1O_2}$, a lze je tedy snadno sestrojit. Druhou dvojici snímků vyfotografujeme po deformaci plochy a vyhodnotíme stejně jako dvojici snímků první, čímž získáme dvojici středů S_1' a S_2'. Posun obrazu světelného zdroje na obrazové ploše pak zjistíme již pouze z jedné dvojice obrazů o_1' a o_1 (nebo o_2 a o_2'), které bez rotace posuneme vůči sobě tak, aby obrazy bodu P a P' splynuly a pro úhel φ stočení plochy v bodě P pak platí ve výše uvedeném příkladě

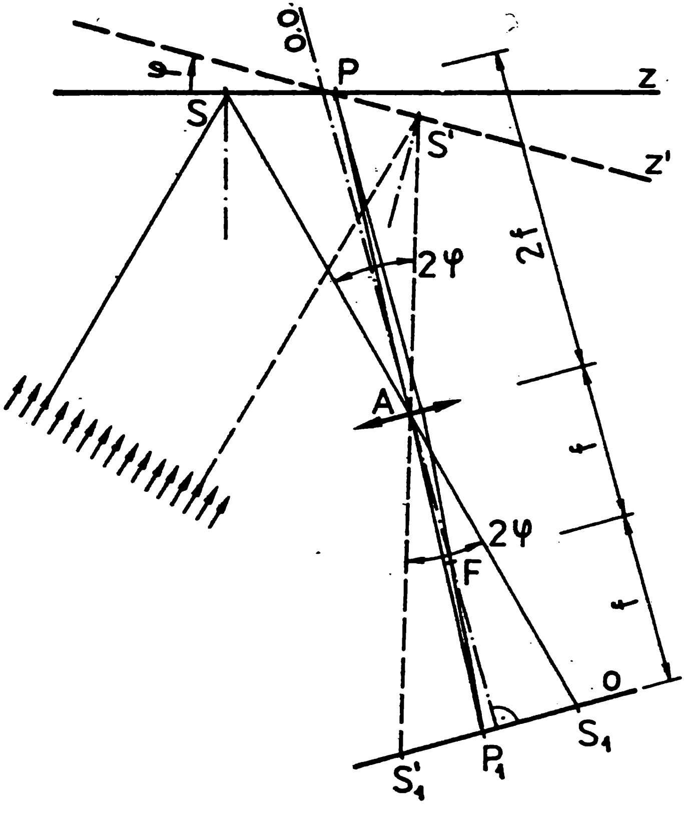
$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{a}{4f}$$

kde a je vzdálenost mezi body S_1 a S_1' (případně S_2 a S_2') a f je ohnisková délka fotografického aparátu.

Vyhodnocení složitějších případů (např. bodový zdroj světla umístěný relativně blízko k měřené ploše, menší zobrazovací měřítko fotografického přístroje a pod.) je samozřejmě složitější, zůstává však čistě geometrickou záležitostí a překračuje rámec tohoto příspěvku.



Obr. 2



Obr.1