

# Holografie – realizace reflexního hologramu

A. Kopicová, [adela@kopic.cz](mailto:adela@kopic.cz)

V. Linhart [linhart1995@seznam.cz](mailto:linhart1995@seznam.cz)

J. Matěna, [matenajakub@gmail.com](mailto:matenajakub@gmail.com)

## Abstrakt

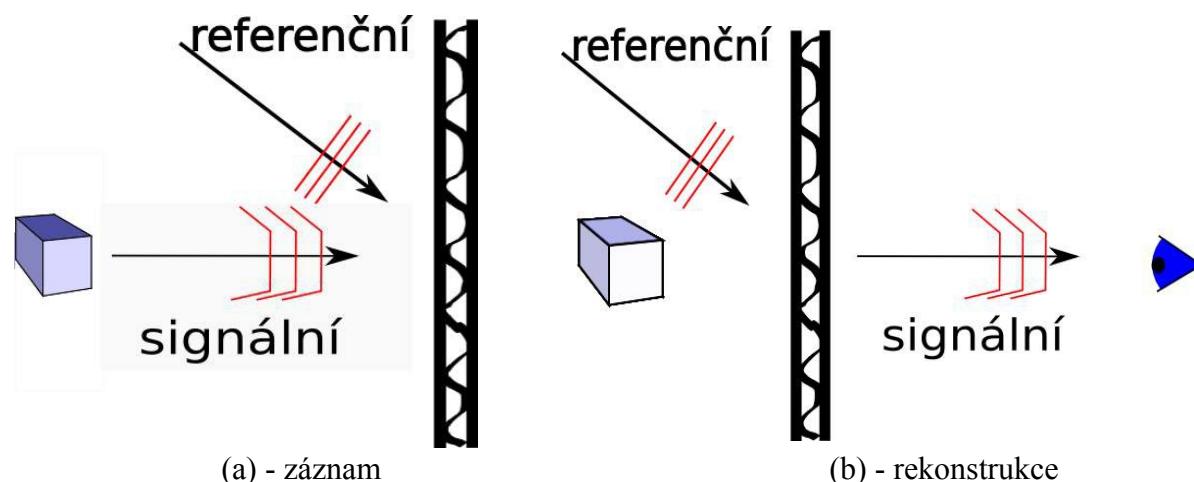
Cílem našeho miniprojektu bylo seznámit se s holografií a následně použít některé teoretické znalosti v praxi při vytvoření reflexního hologramu kopírováním z transmisního hologramu.

## Úvod – Seznámení s holografií

Holografie je metoda záznamu obrazu. Od fotografie se liší svou schopností zachovat třídimenzionální charakter zachyceného předmětu. Při pozorování fotografie nemůžeme objekt vidět z různých stran, protože nejsme při jejím záznamu schopni zachytit informaci o tom, ze kterého směru na film dopadlo světlo, a zaznamenáváme pouze intenzitu v daném bodě. Při pozorování hologramu jsme oproti tomu schopni vidět zaznamenaný objekt z různých stran, protože došlo při jeho vzniku k uchování informace nejen o intenzitě, ale také o směru (tedy fázi světelné vlny).

Vytvoření hologramu je omezeno mnohem náročnějšími požadavky než tvorba fotografie. K záznamu fáze se využívá interference dvou paprsků, které musí být koherentní a musí tedy vycházet ze stejného zdroje. Jediným odpovídajícím zdrojem je laser, jehož paprsek je děličem rozdělen na dva svazky. Jeden z nich se stává signální vlnou, která dopadá na záznamové médium odrazem od předmětu, a druhý svazek dopadá na záznamové médium přímo (referenční vlna). Koherentní svazky následně interferují a jejich výsledný interferenční obrazec je zachycen na záznamové médium.

K rekonstrukci hologramu dochází v případě, že na vyvolaný hologram dopadne světelný svazek shodný s referenčním. Tento svazek na zaznamenané struktuře difraktuje a vytvoří přesnou kopii signální vlny a to včetně její fáze (informace o směru). Existují dva typy hologramů, transmisní a reflexní, z nichž první je možné rekonstruovat pouze laserem, zatímco druhý i běžným bílým světlem.



(obrázek č. 1)

# Vlastní experiment

## Záměr

Právě vytvoření reflexního hologramu kopírováním z transmisního hologramu (masteru – původního vyvolaného hologramu) se stalo cílem praktické části našeho projektu. Záměrem bylo nejdříve sestavit aparaturu nezbytnou pro kopírování hologramu a následně se zapojit do celého výrobního procesu, jehož výstupem měly být alespoň tři kopie.

## Příprava pracovního prostředí

Podstatnou částí celého procesu je sestavení aparatury složené z laseru, zrcátek, děliče, prostorových filtrů, spojky a záznamového média.

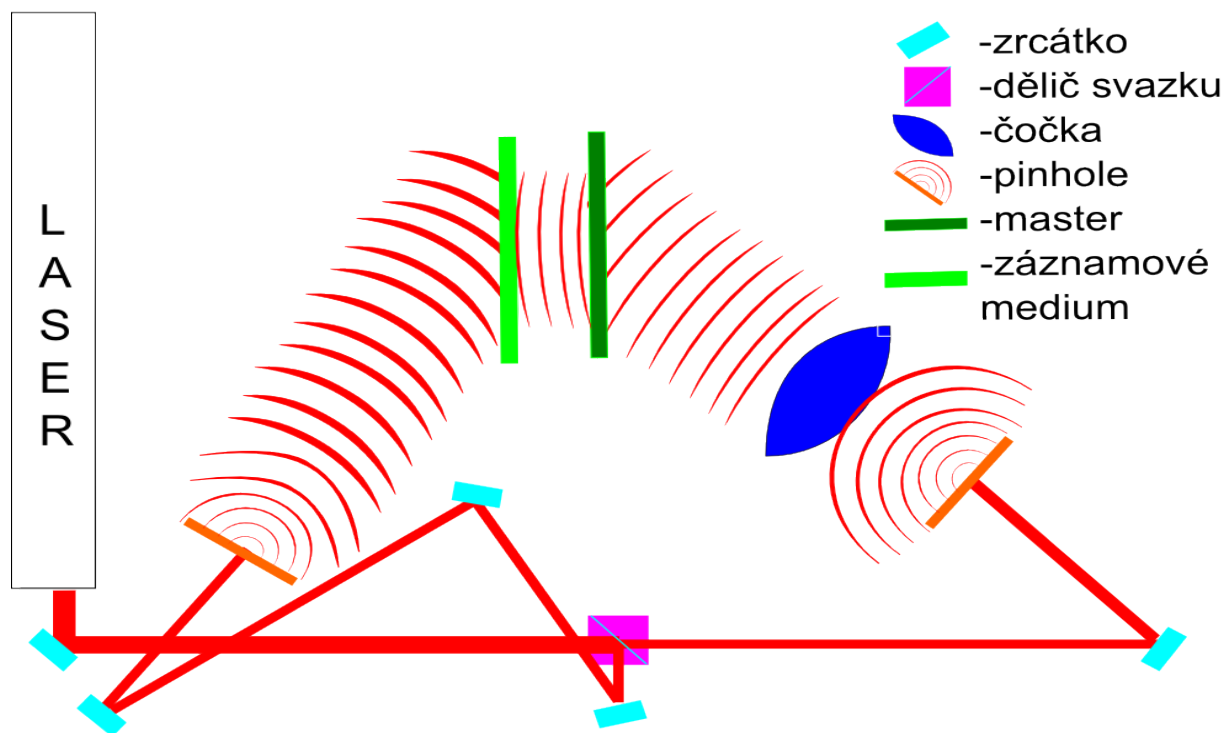
Naším úkolem bylo nastavit jednotlivé části aparatury do správných poloh a vzdáleností (viz. obrázek č. 2). Paprsek laseru v soustavě vede ze zdroje prostřednictvím zrcátek až k děliči, jehož pomocí dojde k rozdělení laseru na dva paprsky, signální a referenční vlnu. Tyto paprsky jsou následně vedeny k záznamovému médiu, kterým byla v našem případě holografická deska Agfa Gevaert 8E75, pokrytá z jedné strany halogenstříbnou emulzí (AgBr). Vzdálenost děliče od média musí být pro obě větve stejná, aby byly paprsky schopny interferovat. Odchylka může být maximálně stejná jako koherenční délka laseru (v našem případě maximálně 20 cm).

V signální větvi je paprsek odražen zrcátkem do mikroskopického objektivu a následně zúžen a vyhlazen s pomocí malého kruhového otvoru (tzv. pinhole). Přes spojnou čočku se dostává k ploše původního masteru a vytváří signální vlnu. V referenční větvi se paprsek odráží s pomocí soustavy zrcátek, následně rovněž prochází mikroskopickým objektivem, je zúžen a vyhlazen skrze pinhole a dopadá pod určitým úhlem (v našem případě  $50^\circ$ ) na záznamové médium.

Protože dochází k zaznamenávání interferenčního pole s periodou  $1\mu\text{m}$  a délka expoziční doby se pohybuje v řádech desítek sekund, celá aparatura se během následného vytváření hologramu musí nacházet v klidu a nesmí se pohybovat ani kmitat. I samotné kmitání budovy, ve které se aparatura nachází, je dostatečně silné, aby ji vychýlilo a hologram znehodnotilo. Celá aparatura se proto nachází upevněná na speciálním odpruženém stole tlumícím otřesy.

## Výpočty a naměřené hodnoty

Abychom zjistili, jak dlouho musíme nechat laser působit na záznamové médium (které se do soustavy vloží až po jejím dokončení a zafixování), potřebovali jsme změřit, jakou intenzitu mají laserové paprsky na obou stranách záznamového média dohromady. S pomocí měřáku výkonu „Newport“ jsme tedy naměřili intenzitu signálu a reference (celková intenzita je dána jejich součtem). Naše holografická deska typu Agfa Geavest 8E75 měla expoziční energii  $600\mu\text{J}/\text{cm}^2$ . Čas celkové expozice jsme získali vydělením této expoziční energie celkovou intenzitou. V našem případě byl výkon laseru rozdělen děličem v poměru 1:3 (signální:referenční paprsek v rovině záznamového materiálu). Intenzitu signálního svazku jsme naměřili  $10\mu\text{W}/\text{cm}^2$  a intenzitu referenčního svazku  $30\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Úhel dopadu referenčního svazku byl  $50^\circ$ . Délka expoziční doby byla 23 s.



(obrázek č. 2)

## Zpracování kopií

Po nastavení veškeré potřebné aparatury a dopočtení expoziční doby následuje zaznamenávání. Během expozice je nutné, aby bylo záznamové médium chráněno před světelnou kontaminací, nezávadná je pouze přítomnost zeleného ochranného osvětlení. Jelikož musí být během expozice všechny prvky zcela nehybné (v zájmu přesnosti), je nutné nechat před expozicí celou místnost v klidu, aby měla možnost se ustálit. V našem případě tato fáze trvala deset minut, po nichž se jeden z členů týmu přemístil do místnosti a po dalších přibližně dvou minutách ustálení (i pouhý pohyb člověka v místnosti způsobí rozkmitání aparatury) začala vlastní expozice spuštěním laseru na přesně určenou expoziční dobu. Po skončení expozice byla záznamová deska vyjmuta z celé soustavy a stále mimo dosah světelných paprsků byla vložena do vývojky, ve které setrvala dvě minuty. Došlo v ní k přeměně AgBr na stříbro a deska zčernala. Následovalo vyplachování chemikálie z média vodou další dvě minuty. Další fází bylo bělení nezbytné k tomu, aby byl přes desku, která byla po vyvolání černá, dobře vidět vzniklý hologram. Doba bělení se u všech našich kopií pohybovala kolem 200 s. Dalších pět minut se již téměř hotový hologram znovu vymýval vodou od chemikálií, následně byl přesunut na minutu do 0,5% roztoku smáčedla. Po vyjmutí bylo nutné nechat hologram vysušit a náš experiment byl víceméně u konce. V poslední fázi již došlo pouze k zalaminování všech kopií, aby se předešlo snadnému poškození.

## Výsledky

Během několika hodin strávených v laboratoři jsme měli možnost na vlastní oči pozorovat a také se účastnit procesu výroby hologramů. Teorii, kterou jsme se tedy dozvěděli obecně o holografii, jsme mohli přenést i do praxe. Naše působení se ukázalo jako úspěšné, o podrobných přípravách, expozicích a vyvolávání kopií jsme získali dokonce čtyři vydařené kopie původního transmisního hologramu (viz. obrázek č. 3).



(obrázek č. 3)

## Poděkování

Naše poděkování patří skupině optické fyziky z FJFI ČVUT a zejména garantům Marku Škereňovi a Jakubu Svobodovi.

## Zdroje

- [1] Přednáška v rámci [TV@J](#) Holografie (M. Škereň)
- [2] [optics.fjfi.cvut.cz/?q=cs/ZPOP](http://optics.fjfi.cvut.cz/?q=cs/ZPOP)
- [3] [optics.fjfi.cvut.cz/?q=cs/node/305](http://optics.fjfi.cvut.cz/?q=cs/node/305)