

# HOLOGRAFIA

Tämä artikkeli on koottu Archimedes-kerhon ja Tapiolan yhteiskoulun kamerakerhon holografiatutkimuksista ja erilaisista holografiaa käsittelevistä läheteoksista.

## HOLOGRAFIASTA YLEISESTI

**Holografia on Dennis Gaborin vuonna 1948 kehittämä menetelmä, jolla voidaan tallentaa kolmiulotteista kuvainformaatiota. Gabor sai Nobelin palkinnon vuonna 1971.**

Holografiassa käytetään hyväksi valon aaltoluonnetta ja aaltojen interferenssiä, katso piirros 1. Valmistettaessa hologrammia annetaan koherentista valonlähteestä (laserista) saadun valon kulkea filmille kahta tietä: toinen osa suoraan (vertailu- eli referenssisäde) ja toinen osa esineen kautta heijastuneena (kohdesäde). Tällöin aaltojen välille syntyy vaihe-ero, jonka suuruus riippuu esineen muodosta, sen osien etäisyydestä filmiltä. Tämä vaihe-ero synnyttää filmillä interferenssikuvion. Kun filmi kehitetään ja sitä katsotaan takaapäin laserin valossa, kohde nähdään kolmiulotteisena alkuperäisellä paikallaan filmin toisella puolella.

Mikroskoopilla tarkasteltaessa todetaan filmissä yhdensuuntaisista viivoista muodostuva interferenssikuvio, jossa viivojen (syvyys suunnassa tasojen) etäisyys saadaan kaavasta

$$\lambda = 2s \sin \ominus$$

jossa  $\ominus$  on kulma filmille saapuvien aaltorintamien normaalien välillä ja  $\lambda$  on aallonpituus.

## HOLOGRAMMITYYPIT

### In-Line-hologrammi

In-Line-hologrammi syntyy, kun esimerkiksi diakuva asetetaan lasersäteen ja filmin väliin. Erillistä referenssisädettä ei tarvita, ja valonlähteeseen sekä filmiin kohdistuvat vaatimukset ovat pienemmät. Hologrammia valaistaessa syntyy kaksi kuvaa: filmin takana oleva vakuva ja sen edessä oleva todellinen kuva, jotka häiritsevät toistensa havainnointia.

### Off-Axis-holografia

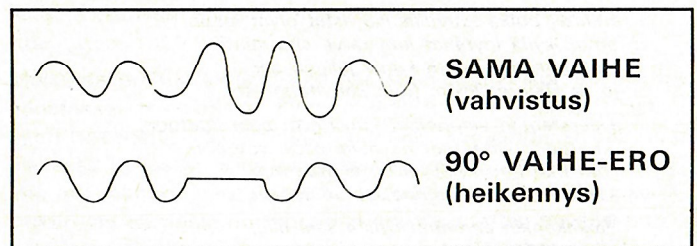
Yleensä käytetään mieluummin järjestelyä, jossa kohdesäteen normaalin ja vertailusäteen normaalin välillä on kulma  $\ominus$ . Tällöin voidaan helposti laskea syntyvä keskimääräinen viivatiheys, joka saadaan kaavasta  $\lambda = 2s \sin \ominus$

### Ominaisuudet

Jos kulma on pieni, alle  $10^\circ$ , havaitaan kaksi erillistä kuvaa, jotka eivät häiritse toisiaan kuten In-Line-hologrammissa. Myös filmi voi olla normaalia filmiä, kun pysytään muutaman asteen kulmissa.

Kun kulmaa kasvatetaan, muuttuu hologrammi pintakuviosta tilavuudelliseksi kuvioksi. Esimerkiksi kun  $\ominus = 60^\circ$ , viivavälimatka on noin  $0.6 \mu\text{m}$  ja  $15 \mu\text{m}$  paksuiseen emulsioon mahtuu noin 25 tasoa.

Kun vertailusäde tuodaan filmin vastakkaiselle puolelle, syntyy seisova aaltokuvio. Tällöin emulsioon muodostuu useita kymmeniä puolilämpäiseviä tasoa, jotka lisäksi toimivat sijoittumisensa vuoksi suotimina, eli ne heijastavat vain haluttua aallonpituutta ja päästävät muut läpi. Tällaista hologrammia voidaan hyvin valaista valkoisella valolla, sillä häiritsevää värihajontaa ei juuri esiinny. On kuitenkin huomattava, että filmin kuituminen kehityksessä voi muuttaa ko. aallonpituutta.



PIIROS 1. INTERFERENSSI.

Kun kaksi aaltoliikettä kohtaa toisensa, ne joko vahvistavat tai heikentävät toisiaan. Vahveneminen ja heikkeneminen aiheutuvat aaltoliikkeiden vaihe-erosta.

## DIFFUUSIOVALAISTUS

Kun tehdään hologrammeja esimerkiksi diasta, huomataan, että ne ovatkin lähinnä varjokuvia alkuperäisestä kohteesta. Tällaisessa hologrammissa jokaista kohteen pistettä vastaa vain pieni alue itse hologrammissa, joten sitä ei voida esim. leikata kahtia ilman että menetetään alkuperäisen hologrammin ominaisuudet. Tavallisestihan, kun alkuperäinen hologrammi leikataan useaan osaan, jokaisessa osassa näkyy alkuperäinen kuva kokonaisuudessaan. Vaikka diasta tehdyssä hologrammissa em. ominaisuus yleensä menetetäänkin, asia voidaan korjata valaisemalla kohde diffuusoivasti, jolloin kohteeseen osuvat valonsäteet ovat mielivaltaisesti siroutuneet. Tällöin myös kohteen jokaista pistettä tulee vastaamaan hyvin monia pisteitä hologrammissa. Diffuusiovalaistus voidaan saada aikaan esim. mattalasilla; useimmat kolmiulotteiset kohteet ovat itsessään diffuusoivia, joten niiden kuvaamisessa ei tarvita diffuusoitua valoa.

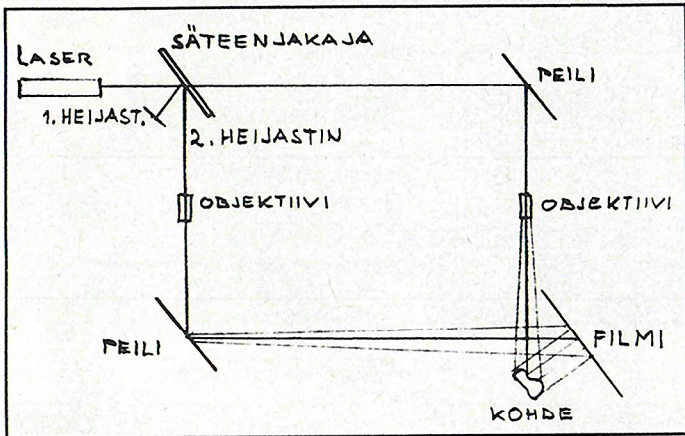
Varsin mielenkiintoinen sovellutus diffuusiovalaistuksesta on sellainen, jossa jokin diffuusoiva levy asetetaan kohteen ja filmin, tai vastaavasti vertailusäteeseen ja filmin väliin. Tällöin hologrammi koodautuu, ja sitä ei voida katsoa asettamatta alkuperäistä diffusioijaa tai sen kopiota samaan paikkaan, missä se oli kuvaa tehdessä.

## HOLOGRAMMIN VALKAISU

Valokuvausmateriaalille tehty hologrammi on niin kutsuttu amplitudihologrammi, eli sen toiminta perustuu emulsion tummuusvaihteluihin. Näin ollen osa valaisuun käytetystä valosta menetetään. Hologrammi voidaan kuitenkin valkaista, jolloin

siinä olevat hopearakeet muutetaan läpinäkyviksi tai poistetaan. Tällöin hologrammia kutsutaan vaikehologrammiksi, ja sen toiminta perustuu valon taittumiseen sen erilaisen optisen tiheyden tai eri paksuuden omaavissa raidoissa. Tällaisen hologrammin avulla on mahdollista teoriassa päästä lähelle 100 %:n hyötysuhdetta, kun tavallisen hologrammin hyötysuhde on korkeintaan muutamia kymmeniä prosentteja.

## ESIMERKKI KUVAUSSJÄRJESTELYKSI



PIIRROS 2.

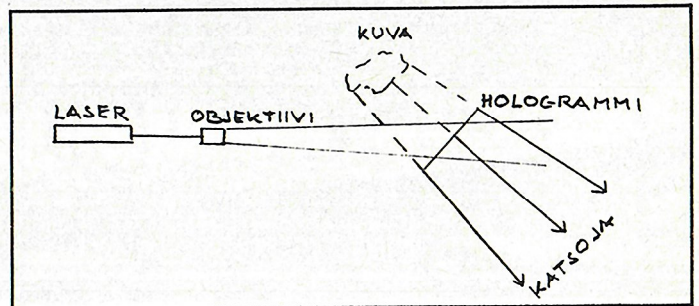
Laserin valo jaetaan lasilevyllä tai erityisellä säteenjajakajalla kohdesäteeksi ja vertailusäteeksi. Vertailusäde hajoitetaan mikroskoopin objektiivilla ja johdetaan peilin kautta filmille. Kohdesäde hajoitetaan myös objektiivilla, mutta hajoitettu säde suunnataan kohteeseen, josta se heijastuu filmille. Molempien säteiden kulkemien matkojen tulee olla yhtä pitkiä.

Säteet interferoivat filmillä, josta kehityksen jälkeen saadaan valmis hologrammi. Filmin erottelukyvyn tulee olla yli 2000 viivaa millimetrillä. Filmin kehitys muistuttaa tavallisen mustavalkofilmin kehitystä. Kiinnityksen ja pesun jälkeen filmiä käytetään lisäksi metanoilissa ja kostutusaineessa. Kuvauksessa käytettäviksi peileiksi suositellaan pintahopeoituja peilejä ja objektiiveiksi esim. 20 kertaa suurentavia mikroskoopin objektiiveja.

Koska hologrammin valotusaika on yleensä useita sekunteja ja jo puolen aallonpituuden värähdys (!) jossain optisista komponenteista riittää pilaamaan kuvan, työpöytä on eristettävä tehokkaasti kaikista häiriölähteistä. Kuvauksessa käytetyn laserin tulee toimia mahdollisimman stabiilisti. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota ns. koherenssipituuteen, joka on normaalisti putken pituus jaettuna kahdella. Tämä pituus rajoittaa kuvatessa suurimman matkaeron kohde- ja vertailusäteen välillä. Lisäksi olisi suotavaa, että laitteen ulostulossa olis neulanreikäsuodatin, ns. Spatial Filter, joka vähentää säteessä olevien häiriöiden vaikutusta.

## VALMIIN HOLOGRAMMIN KATSOMINEN

Järjestelyt edellisessä esimerkissä mainitulla tavalla valmistetun hologrammin katsomiseen.



PIIRROS 3.

Laserin valo hajoitetaan objektiivilla. Hologrammifilmilevy asetetaan säteeseen, jolloin oikeasta kulmasta katsottaessa nähdään kuvattu esine alkuperäisellä paikallaan filmin takana.

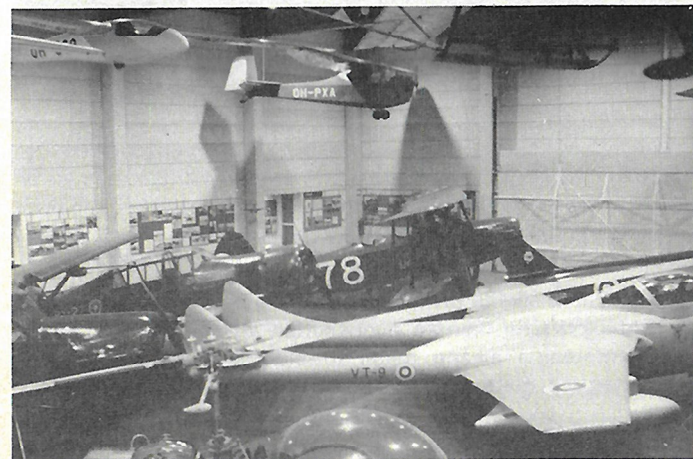
### Huom.

Sopiva filmimateriaali kokeisiin on esim. Agfan Holotest 8 E 75, jonka erottelukyky on n. 3000 viivaa/mm. Optisia komponentteja valittaessa on huomattava, että ne eivät saa aiheuttaa häiriöitä tai vääristymiä säteeseen. Kaikki laitteet kiinnitetään tukevasti pöytään, joka eristetään lattiaasta esim. pehmeiden kumipallojen avulla. Kuvat saattaa valotuksen aikana pilata esim. värähdys, voimakas ääni tai ilmavirta.

## SUOMEN ILMAILUMUSEO

Suomi on saanut neljännen ilmailumuseonsa. Suomen Ilmailumuseo on alallaan valtakunnallinen museo, joka avattiin 24.9.81 Helsinki-Vantaa -lentoaseman alueella Tietotien varrella.

Museohallin pinta-ala on 1324 neliometriä. Monipuolisessa eri vuosikymmeniä edustavassa purje- ja moottorilentokonekokoelmassa on yli 20 konetta. Lisäksi esitteillä on lennokkeja, lentomoottoreita ja kuvin kertovaa aineistoa.



Teksti ja kuvat P. KAARNA.

Museon taustavoimana on 4.12.69 perustettu Ilmailumuseoyhdistys ry, 400 jäsentä, joiden talkootyön osuus on ollut erittäin merkittävä museon syntymiselle.

Suomen Ilmailumuseo on auki keskiviikkona, torstaina ja perjantaina klo 15–18 sekä lauantaina ja sunnuntaina klo 12–18. Pääsymaksu on 5 mk, lapset ja varusmiehet 2 mk.

