

# Ispitivanje bez razaranja



v.as.mr. Samir Lemeš  
slemes@mf.unze.ba



Tempus

PoMaCoM  
Postgraduate  
Master Course  
on Metrology

## Uvod u ispitivanje bez razaranja

- Šta je NDT?
- Šta je NDE?
- Podjela NDE
- Neke NDT/NDE tehnologije



## Šta je NDT?

- Non-Destructive Testing
- Ispitivanje bez razaranja
- Interdisciplinarna tehnika za provjeru da li proizvodi i sistemi vrše svoju funkciju na pouzdan i ekonomičan način
- Testiranja se vrše s ciljem lociranja i karakterizacije stanja materijala i eventualnih grešaka

## Šta je NDT?

- Posude pod pritiskom, rezervoari, cjevovodi, ventili i slične konstrukcije se konstruišu tako da bi spriječili isticanje fluida koji sadrže
- Greške u kritičnim komponentama takvih konstrukcija mogu dovesti do katastrofalnih posljedica

## Šta je NDT?

- Ako se te greške ne otkriju, mogu dovesti do opasnih pojava: pucanje rezervoara, curenje hemikalija u okolinu, eksplozije,...



## Šta je NDT?

- Ovi testovi se provode tako da ne promijene funkcionalnost objekta koji se ispituje
- Drugim riječima: Proizvodi i materijali se ispituju i mjere tako da pri tome ne budu oštećeni.
- Time se obezbjeđuje balans između kontrole kvaliteta i kontrole troškova.

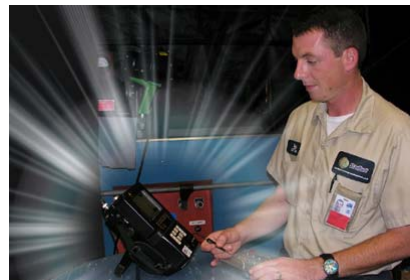


## Šta je NDT?

- NDT predstavlja mjerenje neke fizičke osobine ili efekta usljed kojeg može doći do kvara ili oštećenja
- NDT nije mjerenje apsolutnog parametra, kao što su temperatura ili pritisak
- NDT je rijetko 100% efektivno, i sklono je pojavi grešaka, kao i sve druge vrste mjerenja, posebno kad obuhvaća kombinaciju više metoda mjerenja

## Šta je NDT?

- Generalno, NDT se odnosi na industrijska ispitivanja.
- Tehnologija koju koristi NDT je slična medicinskoj tehnologiji
- NDT ispituje nežive objekte

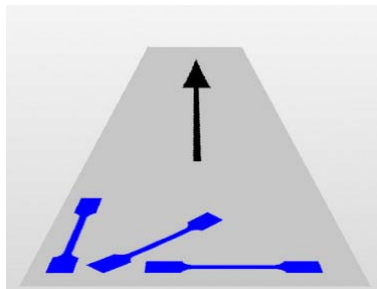


## Šta je NDE?

- Non-Destructive Evaluation
- Vrednovanje bez razaranja
- Označava mjerenja koja su po prirodi više kvantitativna
- Primjer: NDE metoda neće samo locirati defekt, nego će izmjeriti i neku osobinu defekta (veličina, intenzitet, oblik, orijentacija)

## Šta je NDE?

- NDE se koristi za određivanje osobina materijala, kao što su zatezna čvrstoća, formabilnost, anizotropija i druge fizičke karakteristike



## Podjela NDE

- Otkrivanje i mjerenje grešaka
- Otkrivanje i mjerenje curenja
- Mjerenje dimenzija
- Određivanje i mjerenje položaja
- Utvrđivanje strukture i mikrostrukture
- Procjena mehaničkih i fizičkih osobina
- Određivanje naponsko/deformacionog stanja
- Analiza odziva
- Utvrđivanje hemijskog sastava

## Podjela NDE

- Faktori koji utječu na izbor NDE metode za otkrivanje grešaka:
  - Razlozi za provođenje NDE
  - Vrste grešaka koje treba otkriti
  - Veličina i orijentacija neprihvatljivih grešaka
  - Očekivani položaj grešaka
  - Veličina i oblik objekta
  - Karakteristike materijala

## Podjela NDE

- *In-process inspection* (procesno ispitivanje) – da li je objekat prihvatljiv u svakom koraku proizvodnje?
- *Final inspection* (završno ispitivanje) – da li je objekat spreman za upotrebu?
- *In-service inspection* (ispitivanje u eksploataciji) – da li se objekat koji se već koristi prihvatljiv za kontinuiranu upotrebu?

## Neke NDT/NDE tehnologije

- Većina NDT tehnologija su poznate iz medicinskih aplikacija (ultrazvuk, CT, rendgen,...)



## Neke NDT/NDE tehnologije

- Vizualno i optičko testiranje
- Radiografija
- Ispitivanje magnetnim česticama
- Ispitivanje ultrazvukom
- Ispitivanje penetrantima
- Elektromagnetno ispitivanje
- Ispitivanje akustičnom emisijom
- ...

## Vizualno i optičko testiranje

- Najosnovnija metoda NDT
- Posmatranje proizvoda s ciljem otkrivanja vidljivih nesavršenosti površine
- Obično posmatranje
- Digitalne kamere
- Automatsko prepoznavanje i mjerenje osobina proizvoda

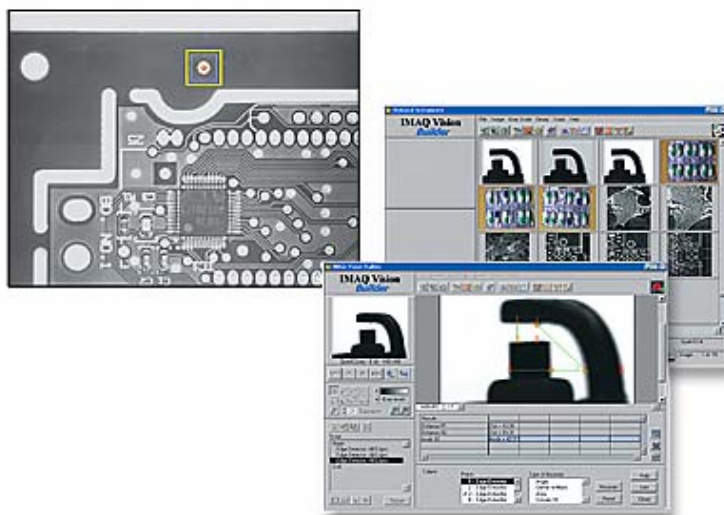




## Vizualno i optičko testiranje



## Vizualno i optičko testiranje



## Vizualno i optičko testiranje



## Vizualno i optičko testiranje



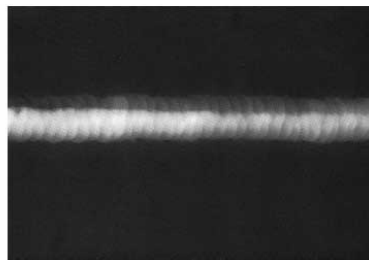
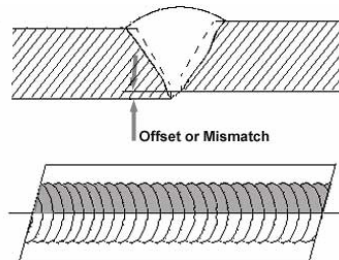
## Radiografija

- Koristi penetrirajuće gama ili X-zrake da bi se otkrile defekti i unutrašnje osobine materijala i proizvoda.
- Rendgen ili radioaktivni izotop se koriste kao izvor zračenja
- Zračenje se usmjerava kroz objekat na film ili na neki drugi medij.



## Radiografija

- Promjene debljine i gustoće materijala se očituju kao svjetlije i tamnije površine snimka
- Tamna područja predstavljaju unutrašnje greške ili pukotine

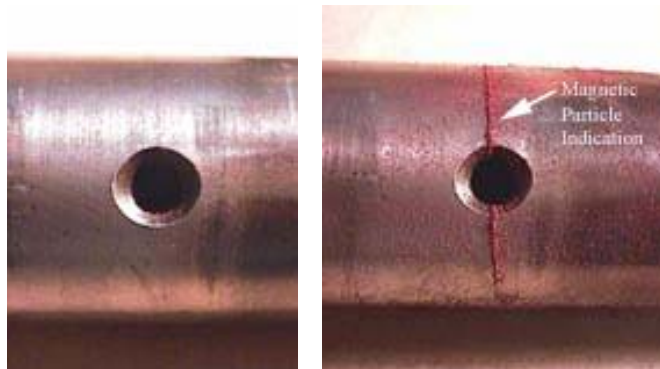


## Ispitivanje magnetnim česticama

- Feromagnetski materijal se izloži djelovanju magnetnog polja, a zatim se na površinu nanose čestice gvožđa (suhe ili u tečnoj suspenziji)
- Greške na površini ili neposredno ispod površine proizvode magnetne polove ili narušavaju magnetno polje tako da se te čestice grupišu na mjestima tih grešaka

## Ispitivanje magnetnim česticama

- Nakupine čestica na mjestu greške daju vidljivu indikaciju greške na površini materijala

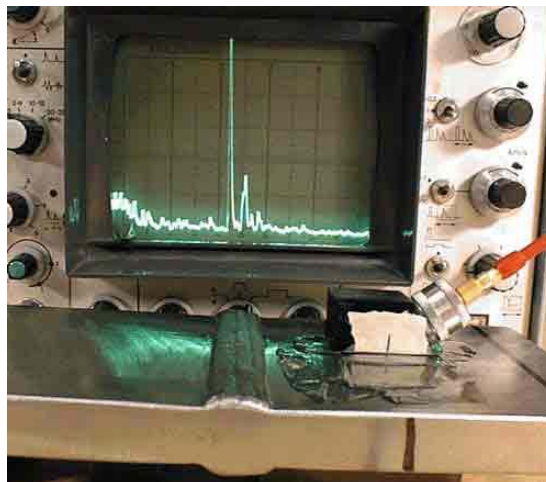


## Ispitivanje ultrazvukom

- Zvuk visoke frekvencije se emituje u materijal da se otkriju nesavršenosti ili da se lociraju promjene osobina materijala
- Najčešće korištena ultrazvučna tehnika je pulsirajući eho, kod kojeg se zvuk emituje u objekat, a zatim se refleksija (eho) tog zvuka od unutrašnje greške vraća u prijemnik

## Ispitivanje ultrazvukom

- Na slici se vidi ispitivanje zavarenog spoja ultrazvukom
- Špic na grafikonu označava defekat u zavaru

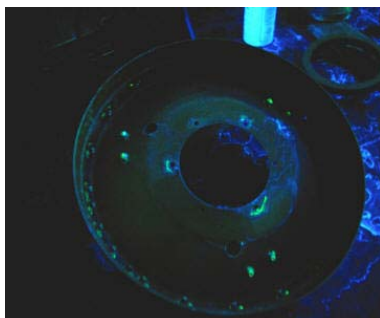


## Ispitivanje penetrantima

- Objekat koji se testira se prekriva rastvorom koji sadrži vidljivu ili fluorescentnu boju
- Višak rastvora se uklanja sa površine objekta ali ostaje unutar površinskih pukotina
- Nakon toga se nanosi razvijač da bi izvukao penetrant iz pukotina

## Ispitivanje penetrantima

- Kod fluorescentnih penetranta, koristi se UV svjetlo
- Kod vidljivih boja koristi se kontrast između defekata i normalne površine

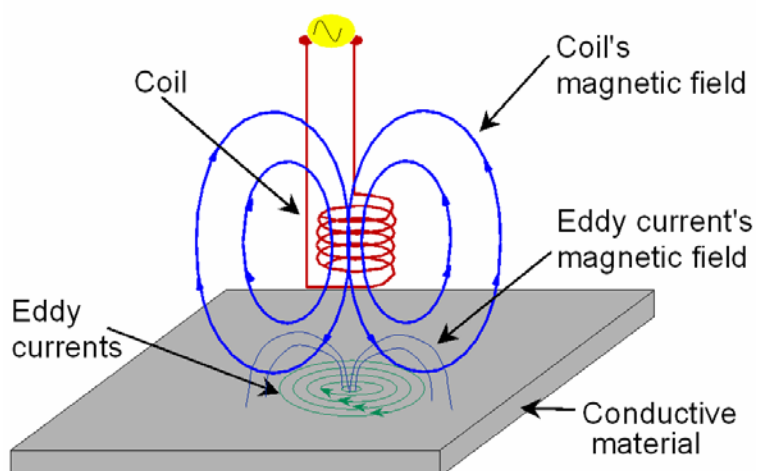


## Elektromagnetno ispitivanje

- Električna struja (vrtložne struje) se generišu u električni provodnom materijalu promjenom magnetnog polja, nakon čega se mjeri jačina vrtložnih struja
- Defekti u materijalu uzrokuju prekide u toku vrtložnih struja



## Elektromagnetno ispitivanje



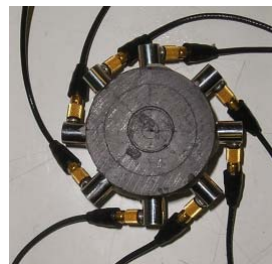
## Ispitivanje na curenje

- Nekoliko tehnika se koristi za otkrivanje i lociranje curenja iz posuda pod pritiskom, cjevovoda i sličnih struktura
- Uređaji za elektronsko registrovanje zvuka
- Mjerenja pritiska
- Tehnike tečnih i gasovitih penetranata
- Jednostavni test sapunicom



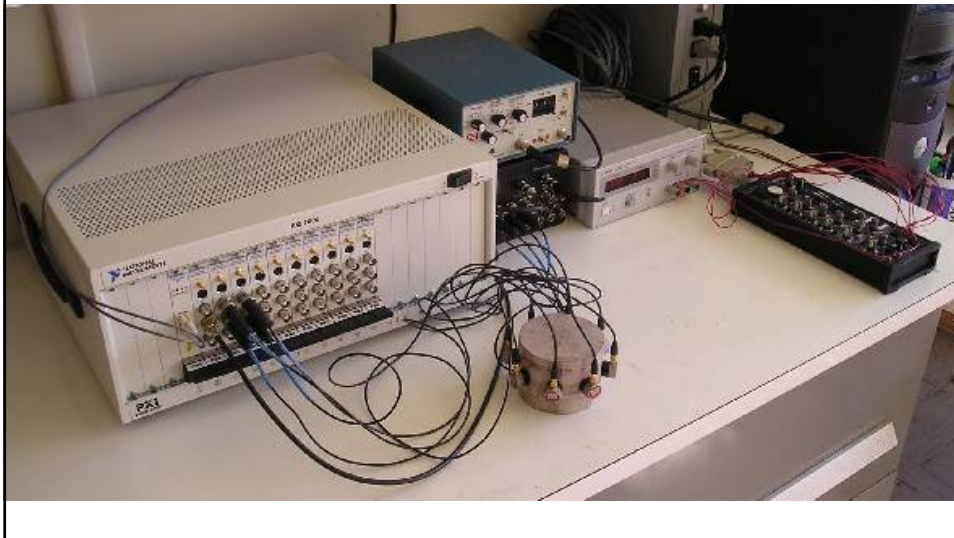
## Ispitivanje akustičnom emisijom

- Kad se čvrsti materijal izloži naprezanju, nesavršenosti unutar materijala emituju kratke impulse akustične energije
- Kao i kod ultrazvučnog ispitivanja, i te emisije se mogu registrovati specijalnim prijemnicima
- Koriste se za otkrivanje izvora energije i lokacija izvora





## Ispitivanje akustičnom emisijom



## Vizualno i optičko ispitivanje

- Boreskopija
- Fleksibilni fiberskopi
- Videoskopi
- Mjerni boreskopi
- Osobine boreskopa
- Primjena
- Optički senzori
- Ostali uređaji za vizualno ispitivanje

**UXR**  
**ARTICULATED**  
**VIDEOIMAGING**  
**SCOPES**

## Vizualno i optičko ispitivanje

- Vizualno ispitivanje je tehnika NDT za otkrivanje niza površinskih grešaka, kao što su: korozija, kontaminacija, završna obrada površine, te površinske greške spojeva (zavara, zaptivki, ljepljivih traka i sl.)
- Najčešća metoda za otkrivanje površinskih pukotina
- Sa ili bez pomoćnih uređaja i opreme

## Vizualno i optičko ispitivanje

- Ispitivanje golim okom
- Fleksibilni ili kruti boreskopi za zaklonjene ili nepristupačne površine
- Senzori slike za fotografisanje ili snimanje video zapisa
- Sistemi za povećanje slike
- Obojeni ili fluorescentni penetranti za isticanje površinskih grešaka

## Vizualno i optičko ispitivanje



## Boreskopija

- **Boreskop** (*borescope*) je optički uređaj koji se sastoji od krute ili fleksibilne cijevi sa okularom na jednom i objektivom na drugom kraju
- Obično je opremljen optičkim vlaknima za osvjetljenje
- Koristi se za vizualno ispitivanje nepristupačnih područja



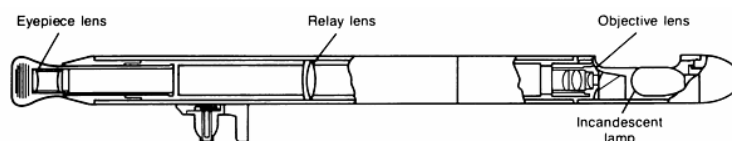
## Boreskopija



## Boreskopija

### ■ Optička veza objektivna i okulara može biti:

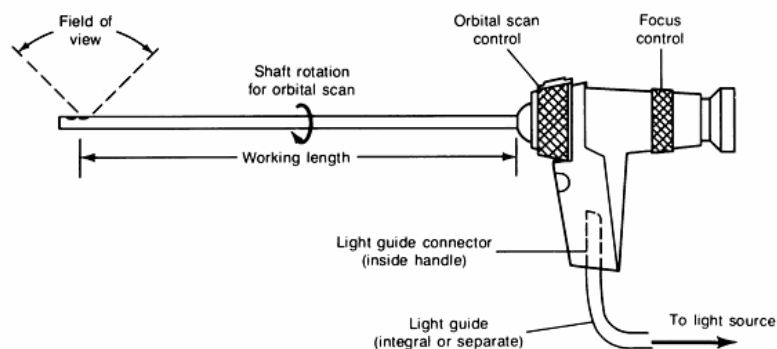
- kruta cijev sa nizom relejnih leća



- fleksibilna ili kruta cijev sa snopom optičkih vlakana
- fleksibilna cijev sa kablom koji prenosi signal sa CCD senzora na vrhu cijevi

## Boreskopija

- Boreškopi sa izvorom svjetla:



## Boreskopija

- Najčešće se koristi obično bijelo svjetlo za osvjetljavanje
- U kombinaciji sa fluorescentnim penetrantima, koriste se boreškopi sa ultraljubičastim svjetlom
- Obično se za osvjetljavanje koriste LED diode
- Primjer: pitting



## Fleksibilni fiberskopi

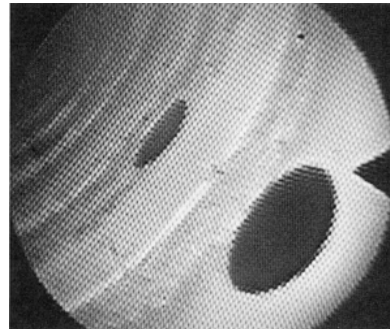
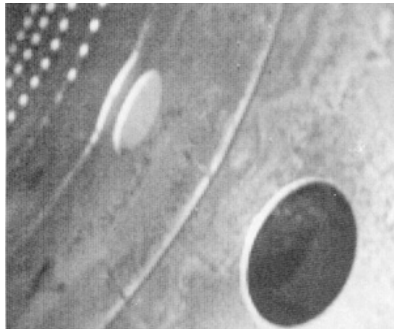
- Sastoje se od vlakna za osvjetljenje, vlakna za sliku, leća objektiva, promjenjivih glava i daljinskih komandi za upravljanje fiberskopom
- Prečnici od 1,4 do 13 mm
- Dužine do 12 m (specijalni kvarcni fiberskopi do 90 m)
- Vlakno za svjetlost prečnika 30  $\mu\text{m}$
- Vlakno za sliku prečnika 6,5-17  $\mu\text{m}$

## Videoskopi

- Umjesto okulara imaju CCD senzor koji C/B sliku prenosi na video monitor
- CCD sliku pretvara u piksele, odnosno u električni napon koji se kablovima prenosi do uređaja za registrovanje
- Imaju veću rezoluciju od fiberskopa
- Prednost: veća dužina
- Mogućnost automatizacije

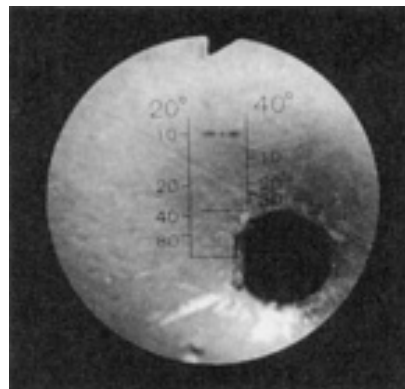
## Videoskopi

- Slika sa videoscopa
- Slika sa fiberskopa



## Mjerni boreskopi

- Sadrže pokretni kursor koji omogućava mjerenje u optičkoj ravni objekta
- Kad je objekt mjerenja u fokusu nema potrebe za poznavanjem faktora povećanja

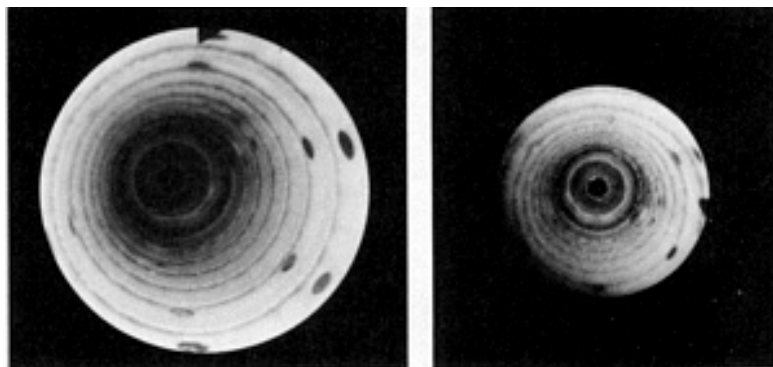


## Osobine boreskopa

- Prečnik instrumenta:  
(image relay diameter)
- Radna dužina  
(working length)
- Vidno polje  
(field of view - FOV)
- Smjer gledanja  
(direction of view - DOV)
- Minimalna efektivna žižna daljina  
(minimum focus distance)

## Osobine boreskopa

- Mogućnost fokusiranja
- Rezolucija i kontrast slike



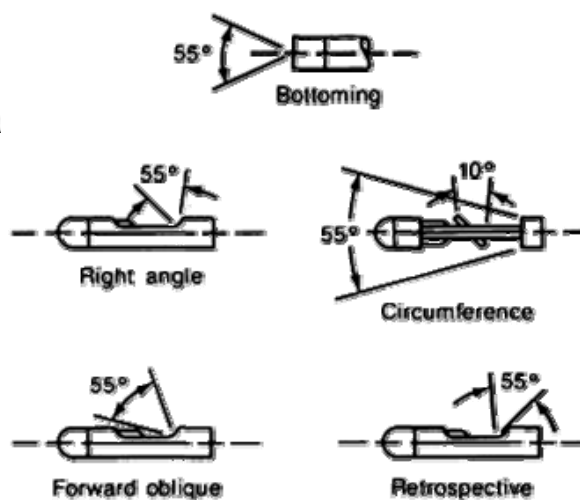


## Osobine boreskopa

- **Intenzitet svjetla** zavisi od prečnika vlakna za osvjetljenje; veći prečnik znači bolju osvjetljenost
- Toplota izvora svjetla može deformisati objekte od plastike
- **Faktor uvećanja** i **vidno polje** su obrnuto proporcionalni
- Zavise i od udaljenosti između objektiva i objekta koji se mjeri

## Osobine boreskopa

- **Smjer posmatranja**

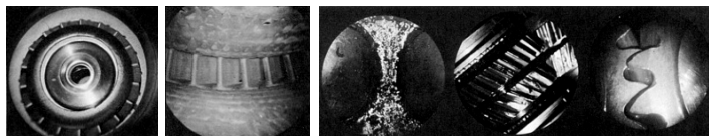


## Osobine boreskopa

- **Radna dužina:**
- Dugi boreskopi sa krutom cijevi zahtijevaju dodatne oslonce
- Videoskopi imaju veću dužinu od fiberskopa
- **Uslovi okoline:**
- Temperature -34 - 66 °C (1925 °C)
- Posebni modeli za veće pritiske, tečnost, gasovi, radijacija (kvarcni)

## Primjena boreskopa

- Ispitivanje cjevovoda na curenje
- Unutrašnjost zidova, rezervoara i drugih neosvijetljenih prostora
- Programi održavanja opreme – boreskopi zamjenjuju skupe remonte
- Neki uređaji (npr. turbine) imaju posebne otvore za boreskope



## Proizvođači boreskopa

- Edmund Optics Inc.
- Fiberoptics Technology, Inc.
- Gradient Lens Corporation
- Rolyn Optics Company
- Fiber Optic P.+P. AG
- Lite-Tec Ltd.
- Optimet - Optical Metrology Ltd.
- Olympus



## Primjeri vizualnog ispitivanja



## Optički senzori

- Vidicon ili plumbicon televizijske cijevi
- Secondary electron-coupled (SEC) vidicon
- Image orthicon
- Image isocon
- Charge-coupled device (CCD) senzori
- Holografske ploče

## Optički senzori

- CCD senzori se koriste u velikom broju digitalnih kamera
- Imaju visoku pouzdanost
- Mala voltaža i rasipanje energije
- Veliki dinamički raspon slike
- Frekventno područje skoro do infracrvenog pojasa
- Geometrijska reproduktivnost položaja slike

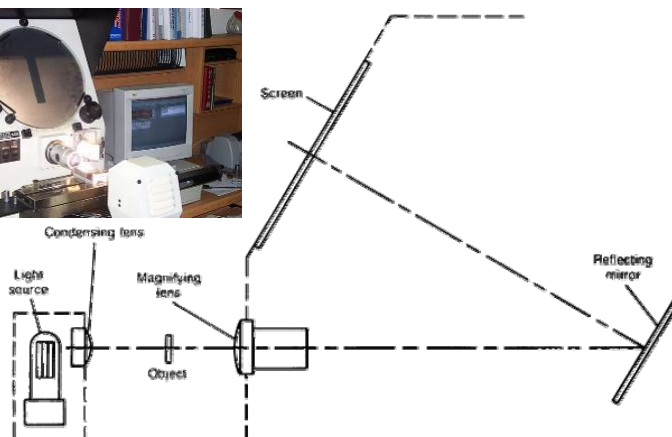
## Mikroskopi

- Pored uporebe mikroskopa kod metalografskog ispitivanja mikrostrukture, koriste se povećala sa faktorom 5 do 500x za referentno mjerenje geometrije
- **Alatni mikroskop** ima povećanja od 10 do 200x



## Optički komparatori

- Projektuju siluetu malih dijelova na veliki ekran



## Profil projektori

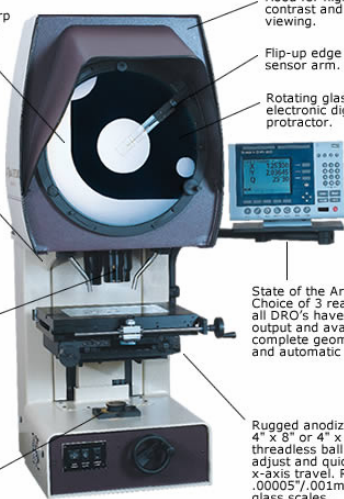


Ultra bright, sharp image with wide choice of magnification lenses. Erect image.

Duplex fiber optic surface illumination.

3-position lens turret.

Long life Tungsten-Halogen bulbs.



Hood for higher contrast and better viewing.

Flip-up edge sensor arm.

Rotating glass screen with electronic digital readout protractor.

State of the Art Electronics. Choice of 3 readout systems, all DRO's have RS232C output and available with complete geometric functions and automatic edge sensing.

Rugged anodized stage. 4" x 8" or 4" x 12" travel with threadless ball bearing, fine adjust and quick release on x-axis travel. Readings via .00005"/.001mm precision glass scales.

## Robotski uređaji

### ■ Ispitivanje unutrašnjosti cjevovoda

