

IPARI ENDOSZKÓPIA A RONCSOLÁSMENTES DIAGNOSZTIKÁBAN

Az endoszkopos vizsgálatok helye a roncsolásmentes vizsgálatok között

A száloptikai merevszárú és flexibilis üvegszál as endoszkópok, valamint a videoen-doszkópok lehetővé teszik a felhasználó számára, hogy berendezések és bonyolult szerkezetek belső részeibe beleláthasson. A távirányított vizuális vizsgálat (az angol "Remote Visual Inspection, röviden: RVI) az emberi szem kiterjesztésének tekinthető olyan fontos feladatok elvégzése során, mint a minőségellenőrzés (Quality Control: QC) és a roncsolásmentes vizsgálat (Nondestructive Testing: NDT) .

Az endoszkopos vizsgálat azonban gyakran többet jelent vizuális vizsgálatnál. Az emberi szem elől elrejtett, hozzáférhetetlen belső objektumokról kihozott kép elektronikusan rögzíthető, nagyítható, világosítható, analizálható, a hibák kiterjedése mérhetővé válik, maga a kép pedig dokumentálható akár "hard copy"-n, akár mágneslemezen vagy videoszalagon.

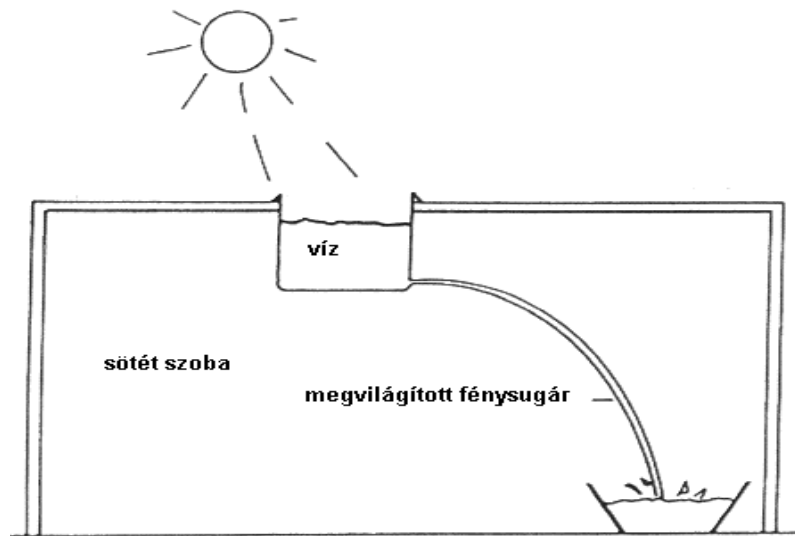
Mind a merevszárú, mind a flexibilis fiberscopok olyan száloptikai eszközök, amelyekkel a felhasználó kis nyíláson bevezetve az endoszkóp optikáját ott megvilágítja a vizsgálandó objektumot és az arról visszaverődő fényt pedig az endoszkóp okulár lencsében tanulmányozhatja. Ez a jó felbontóképességű, világos színes kép az okulárlencséhez csatlakoztatott fényképezőgépen vagy külső videokamerán keresztül színes fényképen, vagy mágnesszalagon rögzíthető, illetve a monitorra kivetített kép tanulmányozható.

A flexibilis fiberscope felbontóképességét az a 40-50 ezer db. 10 μm átmérőjű üvegszál adja, amely a külön optikai nyalábbal megvilágított belső objektumról visszaverődő fényt szállítja az okulárlencséhez.

Az ennél jóval nagyobb felbontóképességet azonban csak a fiberscope elektronikus változata, a videoendoszkóp képes produkálni, amely a 80-as évek második felében jelent meg és forradalmasította az endoszkopos "RVI" vizsgálati eljárást.

Optikai alapismeretek

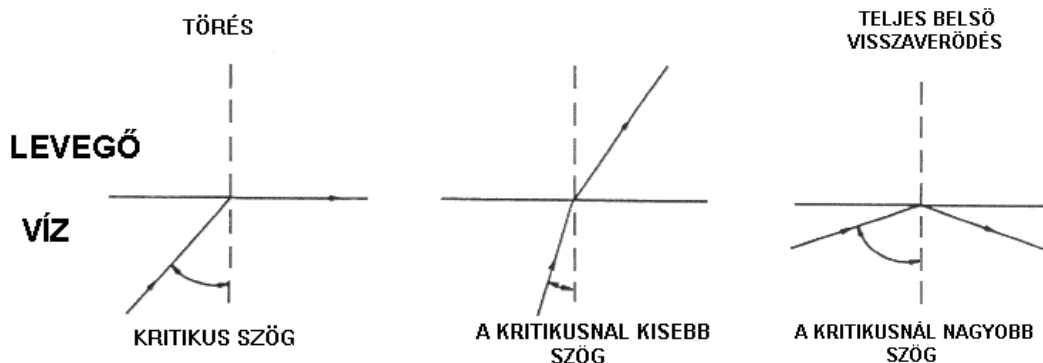
A fizika törvényei szerint a fény egyenes irányban terjed. Azonban a múlt évszázad közepén egy angol tudós, John Tyndall professzor olyan felfedezést tett, amely ezt a fizikai törvényt megdönteni látszott, ugyanis megfigyelte, hogy bizonyos esetekben a fény láthatóan elhajlik a sarkok körül. Észrevette, hogy a fény a kiömlő vízsugárban bennrekedhet. Ezt egy látványos kísérlettel igazolta 1854-ben Londonban a Royal Institution patinás épületében. Az épület kupolájába beépítettek egy víztároló tartályt, amely fölülről nyitott volt és a napsugarak fényét a konténer oldalából ívben kifolyó víz továbbította a belülről elsötétített helyiségben lévő felfogó tartályba. A fény a vízsugár ívét követve haladt tovább, mintha a vízsugár fogságába került volna.



34. ábra Tyndall kísérlete 1854-ben

A száloptika eszközökben a fénytovábbítás hasonló alapelven történik, vagyis a teljes belső visszaverődés elvén. Az endoszkópban az optikai üvegszálak (glass fiber) hasonlóképpen továbbítják a fényt, mint Tyndall kísérletében a vízsugár. A teljes visszaverődés mindig két különböző sűrűségű közeg találkozásánál jön létre, amelyknél a törésmutató index különböző. A fény a különböző sűrűségű anyagokban különböző sebességgel halad (pl. levegőben, vízben, üvegben). Minden egyes közegben, amelyben a fény haladni képes létezik egy kritikus visszaverődési szög.

Amikor a fénysugár áthalad az egyik fényáteresztő közegen (pl. vízrétegen) és eléri a másik közeget (pl. levegő) akkor attól függően, hogy a beverődési szög mekkora, vagy továbbhalad a ritkább közegben egy megtört szögben, vagy teljesen visszaverődik a határfelületen a sűrűbb közeg irányába. Ez utóbbi akkor következik be, ha a beverődés szöge nagyobb az illető közegre jellemző kritikus szögértéknél.



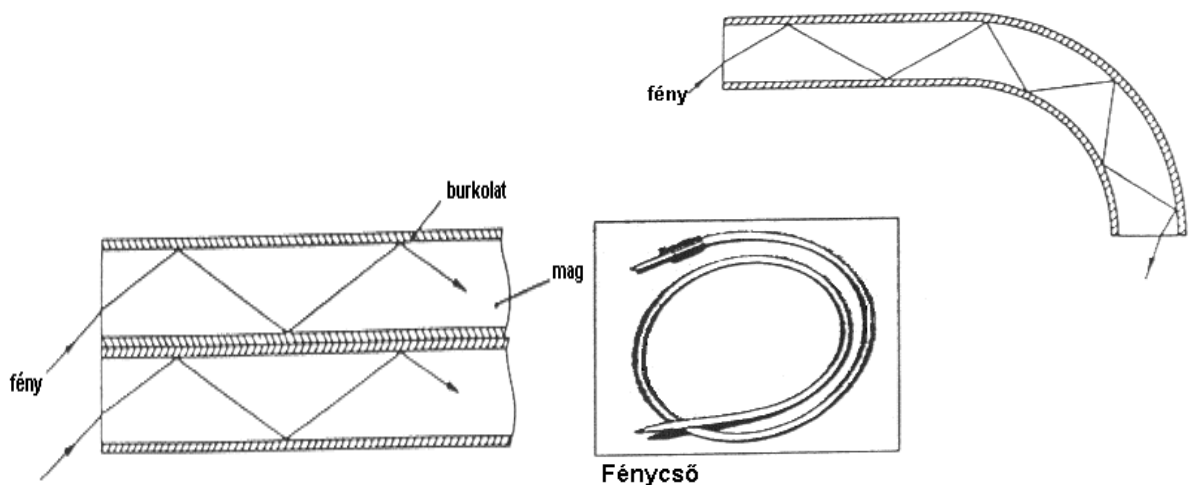
35. ábra Kritikus visszaverődési szög

Az emberi hajszálnál vékonyabbra (10-30 mikron) húzott üvegszál jól viseli a hajlítást, így flexibilisnek mondható. Ha több tízezer ilyen üvegszál alkot egy nyalábot, akkor nem kell attól tartani, hogy könnyen megsérülnek az elemi üvegszálak. Mivel az elemi szálak szorosan egymás mellé kerülnek a fénysugárnak egy jelentős része átlépne egyik üvegszálból a másikba, így a fénytovábbítás csak rendezetlenül és jelentős veszteséggel történne. Ezért az egyes üvegszálakat egy olyan üvegkomponensből előállított vékony rétegű köpennyel burkolják körül, amelynek törésmutatója alacsonyabb, mint a kör keresztmetszetű üvegszálé. Nem szükséges mondani, hogy minden egyes üvegszál üvegköpenybe burkolása nem egyszerű feladat gyártástechnológiai szempontból. Így viszont nincs akadálya, hogy a fény az üvegszálakban haladva számtalan visszaverődés után is szinte veszteség nélkül lép ki több méteres üvegszál másik végén.

Fénytovábbító száloptika nyaláb

Alapvető feladata, hogy egy külső fényforrás - amely lehet halogén vagy valamilyen ívlámpa - fényét az endoszkópon keresztül vezetve és annak fénykilépő nyílásán (optikáján) kilépve megvilágítsa a vizsgálandó objektumot.

A kezdetleges endoszkópoknál ezt úgy oldották meg, hogy az endoszkóp végébe egy kisméretű lámpaizzót építettek be, amelynek fénye azonban nagyon gyenge volt és üzembiztossága különösen ipari használat esetén nagyon korlátozott volt. Az izzót gyakran cserélni kellett, nem beszélve a melegedés és az esetleges szikraképződés miatti veszélyek miatt, amelyek bizonyos közegekben való vizsgálatot eleve kizártak.



36. ábra Akár egyenesen, akár ívben, az üvegköpennyel burkolt üvegszálban a fény úgy halad, mint egy flexibilis csőben

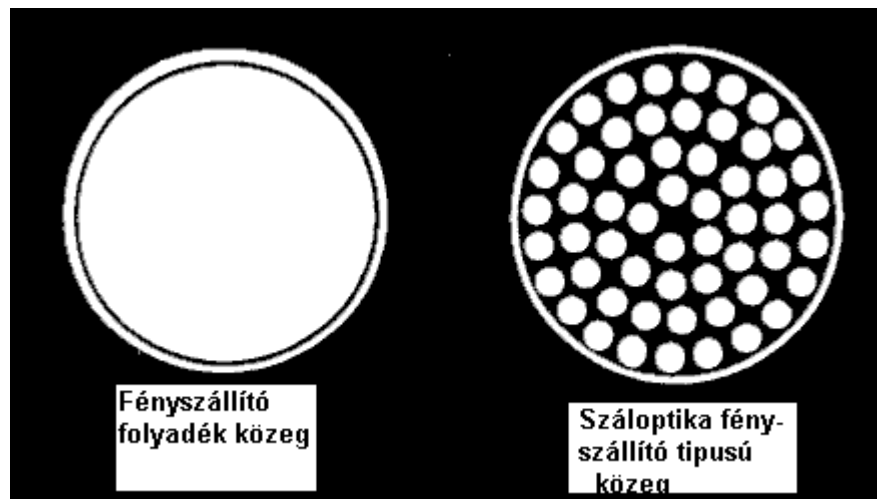
A fénytovábbító száloptika nyaláb (light guide bundle) néhány ezer db. kb. 30 mikron vastagságú üvegszálból áll. Magának a nyalábnak az átmérője a legelterjedtebb ipari endoszkópoknál kb. 5 mm. A szálak rendezetlenül futnak úgynevezett inkoherens elrendezésben. A nyaláb egy hajlékony fémspirál köpennyel van burkolva kívülről, amelyet műanyaggal öntenek ki. A fénytovábbító nyaláb fényforráshoz való csatlakoztatására egy megfelelő alakú kvarc csatlakozó szolgál, amely megvédi az üvegszálakat a fényforrás nagy hőfokától.

A fiberszkópok, videoszkópok és egyes boroszkópok beépített fénytovábbító kábellel rendelkeznek, mivel a csatlakoztathatóság óhatatlanul fényveszteséggel jár.

Egyes fénytovábbító üvegnyaláb hossza eléri a 12, illetve a 22 méter hosszát is, mivel a jelenleg gyártott leghosszabb korszerű videoendoszkópok ilyen hosszúságokban készülnek.

Egyes endoszkóp típusoknál a megvilágításhoz szükséges fényt a fényforrás és az endoszkóp között nem száloptika, hanem folyadék közeg szállítja (liquid light guides) egy flexibilis műanyag csövön belül.

A folyadék egy szabadalommal védett oldhatatlan kristály és folyadék elegye, ahol a fényáteresztő kristályok feladata a fény továbbítása. A műanyag cső ugyanazt az optikai szigetelő szerepet látja el, mint a száloptikánál az üvegekpenybe burkolás. A külső burkolat egy fémspirál védőréteg műanyagba ágyazva.



37. ábra A liquid típusú fénytovábbító kábel több fényt szállít, mint a száloptika típusú

A legnagyobb előnye a liquid fényvezetőnek a száloptikával szemben, hogy mind az ultraibolya, mind a látható fénytartományban a fényt jobb hatásfokkal eresztí át. Ezért az ultraibolya megvilágítást igénylő vizsgálatoknál mindig liquid fényvezetőt alkalmaznak.

Ezzel szemben az infravörös tartomány sugarait nem képes átvinni, ezért pl. Nd YAG lézerrel történő vizsgálatnál a folyékony kristályos fényvezető kábel nem használható (pl. orvosi munkacsatornás merevszárú endoszkópoknál).

Másik hátránya a száloptikai fénytovábbítással szemben, hogy a liquid fénykábelt nem lehet olyan kis rádiusban megvilágítani, mint az üvegszálat.

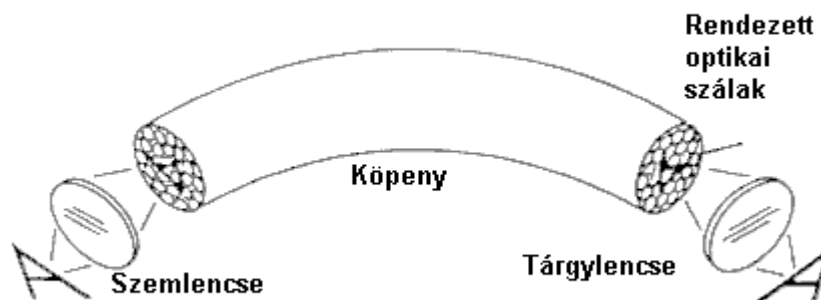
Képkötő száloptika nyaláb:

A képkötő száloptika nyaláb szerepe jóval jelentősebb, mint a fénytovábbító száloptika nyalábé, amelynek mindössze világítás céljából kell a fényt továbbítania.

A fiberszkópnál viszont a képkötő száloptika nyalábnak (fiberoptic image bundle) éles, tiszta képet kell közvetítenie. A tárgyról visszaverődő fényt az endoszkóp

tárlencsén át ennek rendezett, koherens száloptika nyalábnak kell továbbítani az okulárba vagyis a szemlencsébe.

Az egyedi optikai szál, beleértve a köréje vont üvegeköpenyt is mindössze $10\ \mu\text{m}$ vastagságú szemben a fénytovábbító száloptika $30\ \mu\text{m}$ -ével.



38. ábra A koherensen rendezett optikai szálak által szállított kép a tárgylencsétől a szemlencséig

Az elemi szálak mennyisége a nyalábban belül eléri a 40-50 ezret. A nyaláb mindkét végén a szálakat ugyanolyan geometriai alakzatban, mátrix-szerűen kell rendezni, illetve így rögzíteni, hiszen csak így biztosítható a tökéletes képtovábbítás. Minden egyes optikai üvegszál egy-egy apró képinformációt, pixelt szállít. A fény csak akkor állhat össze képpé, ha szálak ezrei koherensen kerülnek összerendezésre, azaz minden egyes szál mindkét végén pontosan egyformán van rögzítve.

Olyan ez mintha egy képet mozaikból raknánk ki két példányban. Az egyik mozaik az eredeti vizsgálandó tárgy képe, a másik pedig az a kép amelyet az endoszkóp okulár lencsésében látunk. Amennyiben nem tudják azonos pozíciójukban rögzíteni mindkét végükön akkor a kép olyan lesz mintha egy olyan puzzle kirakós képet néznénk, amelyet rossz sorrendbe, össze-vissza raktak volna ki.

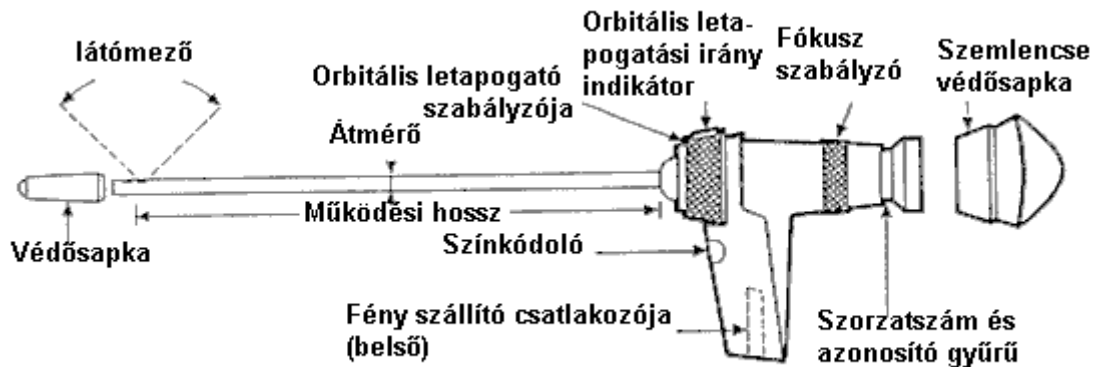
A kép minősége vagy felbontóképessége tehát nemcsak a szálak méretétől és mennyiségétől függ, hanem a szálak rendezettségének minőségétől is.

A képalkotó száloptika nyaláb a fiberszkóp legigényesebb alkotó-eleme, hiszen pl. egy 2 méter hosszú típusnál is kb. 40-50 ezer üvegszál - amelynek együttes hossza 80 km-t tesz ki - kell pontosan pozícionálni, rögzíteni és mindezt a legszigorúbb tűrési érték mellett. A törött elemi szálak - amelyek már nem szállítanak fényt - száma 1 ezreléken belül kell hogy legyen, noha a $10\ \mu\text{m}$ -es szálak nagyon sérülékenyek a gyártás egyes fázisaiban.

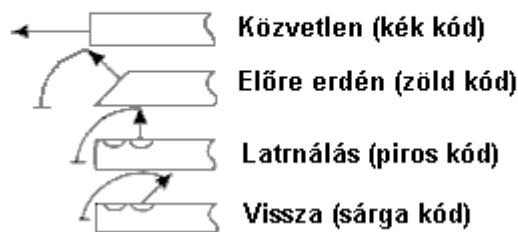
Merev endoszkópok (rigid borescope)

A rigid borescope, ahogy a merevszárú endoszkópot gyakran nevezik, egy csőkeresztmetszetű merev szárrészből vagy szondarészből, valamint egy okulár vagy szemlencséből áll, amely az eszköz markolatához csatlakozik. A merev szondarészben egyrészt fényvezető száloptika nyaláb kerül beépítésre a megvilágításhoz, másrészt konvex lencséből álló lencserendszer amelyik a képet továbbítja a tárgyoptyikából a szemlencséig. A különböző irányú látásmódot úgy lehet

elérni, hogy prizmát építenek be a tárgylencse mögé, amely a direkt irányú képet különböző szögbe fordítja. Eszerint négyféle nézőirányú merev endoszkópot gyárt pl. az OLYMPUS cég: direkt, 45 fokos, 90 fokos és 110 fokos nézőirány a borescope tengelyvonalához képest.



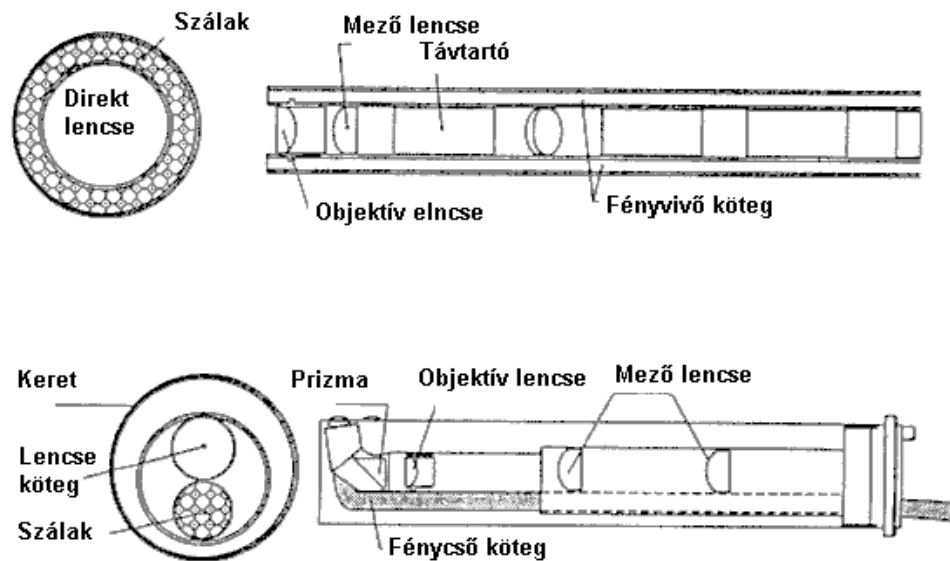
Nézés iránya



39. ábra OLYMPUS rigid boreszkóp sematikus vázlatja

A borescope szárának a végén található az a kitekintő "ablak", amelyen keresztül egyrészt kilép az üvegszál nyaláb szállította fény egy lencsén keresztül, másrészt az ablak mögé van beépítve a tárgylencse, amelyik a tárgyról visszaverődő fényt leképezi és közvetlen módon vagy prizma áttétel segítségével a képtovábbító lencserendszerre vetíti.

A markolati részen állítható az élesség, és prizmás típusoknál a szondarész körbeforgatására szolgáló állító tárcsa is ide került beépítésre. Ugyancsak a markolatban található meg az a csatlakozó hüvely, amelyhez flexibilis fénytovábbító üvegszál optikás, illetve liquid típusú fénytovábbító kábelt kell csatlakoztatni. Egyes típusoknál a fénykábel integráltan kerül beépítésre, tehát nem lehet a csatlakozó-hüvelyből kihúzni. A merev endoszkópok átmérője 1,2 mm-től 16 mm-ig terjed, a hosszuk pedig néhány cm-től kb. 1 méterig.

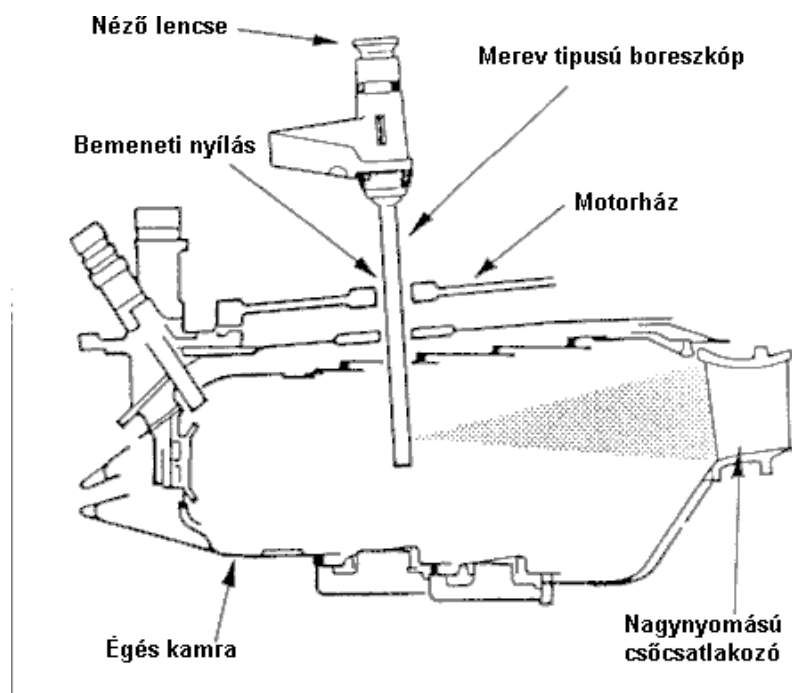


40. ábra Direkt és merőleges nézőirányú boreszkópok elrendezése

Az átmérő, munkahossz és nézőirány kiválasztása mellett lényeges az is, hogy a boreszkóp tárgyoptikája milyen látószögű. A látószög helyes megválasztásával a kicsinyítés, illetve nagyítás mértékét tudjuk befolyásolni.

Nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy minden látószöghöz meghatározott mélységélesség tartozik.

A merev endoszkóp legnagyobb előnye, hogy jobb a felbontóképessége, mint a fiberszkópé, mivel a képet nem száoptika továbbítja, hanem üveglencsék sorozata. Másik előnye az ár, amely majdnem egy nagyságrenddel kisebb a fiberszkóp áránál.



41. ábra Gázturbina égéskamrájának boreszkópos vizsgálata

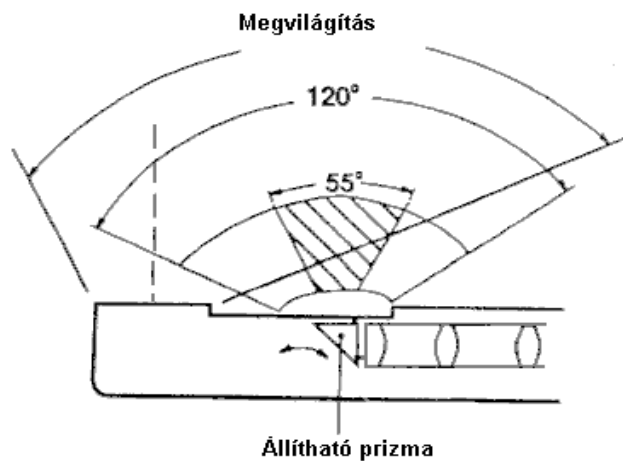
Hátránya, hogy csak ott használható, ahol az egyenes irányú bevezetés biztosítható. Másik hátránya, hogy mivel sem a tárgyoptika, sem a szonda nem cserélhető, ezért egy bizonyos vizsgálathoz gondosan ki kell választani azt az eszközt, amely fizikai, és optikai paramétereiben leginkább megfelel.

A boreszkópot tehát feladatorientáltan lehet csak kiválasztani, amely viszont korlátozza a felhasználhatóságot.

Ezt úgy próbálják a gyártók kiküszöbölni, hogy bizonyos feladatok ellátására speciális típusokat gyártanak. Ilyen speciális gyártmányok:

Mini borescope	1,2 - 1,7 mm átmérővel
BLR-16 borescope	16 mm-es eszköz, nagyobb üregek, tartályok, palackok, bojlerok vizsgálatára.
Swing-prism-borescope	a készülék prizmaja előre-hátra billenthető, így az eszköz univerzálissá válik. Kisebb tartályok, motor égésterek vizsgálatára alkalmas.
Mérő borescope	belső hibák, repedések, beégések, korróziós nyomok, lerakódások és egyéb hibák kiterjedésének a mérésére alkalmas.
Autorigid borescope	olyan borescope készlet, amely az autójavító ipar számára készült.
Aero borescopes	egyres repülőgép gázturbinatípusokhoz specifikáltan készült borescope készletek.
Modelscope	modellezésnél, főleg építőipari maketteknel használatos speciális görgővel ellátott típus.
Surveillance scopes	világítást nélkülöző, nagy fényerejű, speciális boreszkópok megfigyelést végző testületek számára.

A korszerű boreszkópok minden típusához egy csatlakozó optikai adapter segítségével fényképezőgépet vagy C-mount csatlakozású videokamerát lehet felszerelni. Így a boreszkópos vizsgálat dokumentálható színes, illetve fekete-fehér fotón, illetve videoszalagon. Videokamerás összeállításnál a kép monitoron figyelhető így többen is megkonzultálhatják a vizsgálati megfigyeléseket. Az így videósított kép azonban nem éri el azt a minőséget, amelyet a boreszkóp okulárjában lehet szemlélni, valamint a beépített CCD kamerával ellátott videoendoszkóp képminőségével sem lehet összehasonlítani.

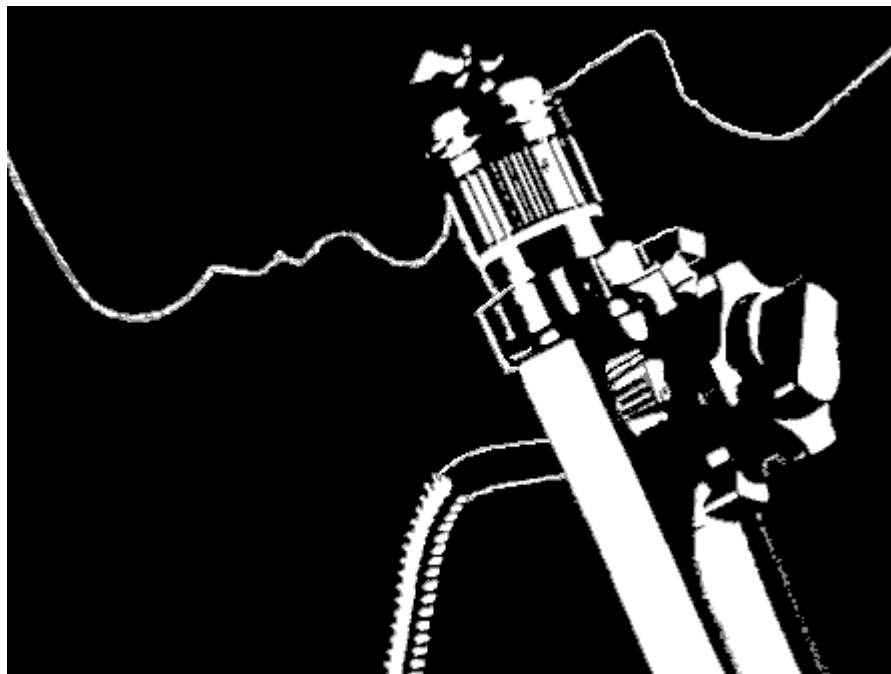


42. ábra Állítható prizmás boreszkóp

A video tartozékokkal kiépített boreszkóp készlet ára azonban még mindig kedvező és sokoldalúvá teszi a merev endoszkópot.

Flexibilis endoszkópok (fiberscope)

Az endoszkóp görög eredetű szó és belső látást jelent. Eleinte az orvostudományban használatos mindenféle tükrös, lencsés optikai eszközt így nevezték, amelyeket az emberi testbe bevezetve vizuális vizsgálatra alkalmaztak.

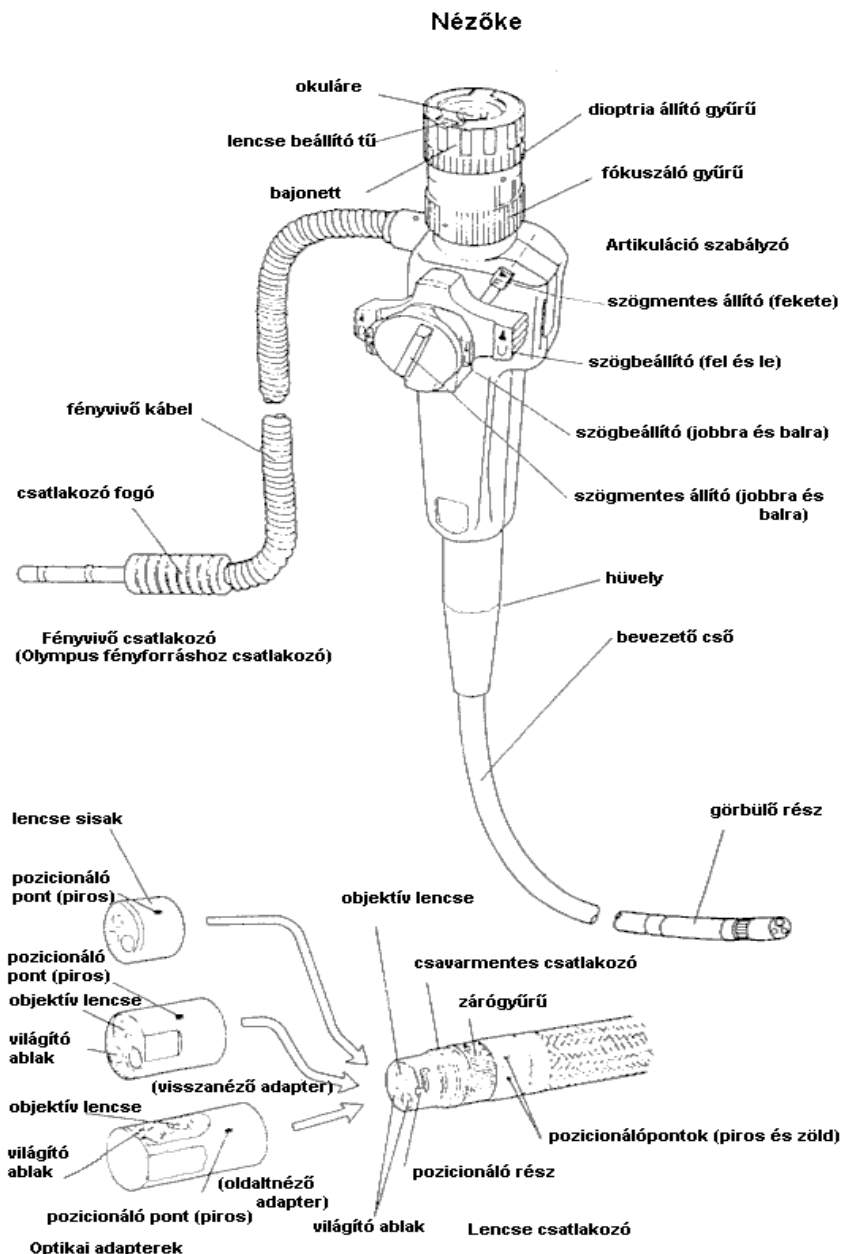


43. ábra Flexibilis fiberszkóp

Később már csak a flexibilis száloptikai eszközöket illették az endoszkóp névvel. Az első kifejezetten ipari rendeltetésű száloptikai endoszkópot az OLYMPUS cég

fejlesztette ki a 70-es évek elején és fiberszkópnak nevezték el az orvosi endoszkóptól való megkülönböztetés végett. (a szó összetétele: a fiber szálát jelent, a scope pedig magára az optikai vizsgálóeszköze utal).

A merev endoszkópokhoz képest a flexibilis fiberscope egy más dimenziót jelent a roncsolásmentes diagnosztikában, mivel nagyon sok vizsgálati helyen nincs lehetőség az egyenes irányú bevezetésre. Ilyenkor olyan eszközre van szükség, amely el tud hajolni a kanyarokban mint egy kígyó és meg tud kerülni különböző akadályokat. Pontosan ez az, amit a flexibilis fiberszkóptól elvárhatunk.



44. ábra OLYMPUS IF8D4 fiberszkópja

A fiberszkóp olyan flexibilis szondával rendelkezik, ami a fenti feladatoknak eleget tesz. Legtöbb fiberszkóp 4-irányú fejmozgatással rendelkezik (4-way-angulation). A 2,4 és 6 mm közötti típusok szondavégződése csak 2 irányba vezérelhető, a 2,4 mm

alatti típusoknál nincs semmilyen artikulációs lehetőség. Az OLYMPUS legvékonyabb ipari flexibilis fiberszkópjának átmérője 0,64 mm, a legvastagabb pedig 13,5 mm. Ez utóbbinak a fényereje a legnagyobb, mivel nagyobb átmérőbe több száloptika építhető be, amely a megvilágítást erősíti és a kép jobb felbontású lesz. Ilyen eszközzel nagyobb üregek is - tartályok, bojlerok, nyomástartó edények - vizsgálhatók, azonban ilyenkor gondoskodni kell a szondának a megvezetéséről egy merev vagy alaktartó és megfelelő formába meghajlított megvezető cső segítségével.

Az endoszkóp szondája 4-rétegű tokozással készül:

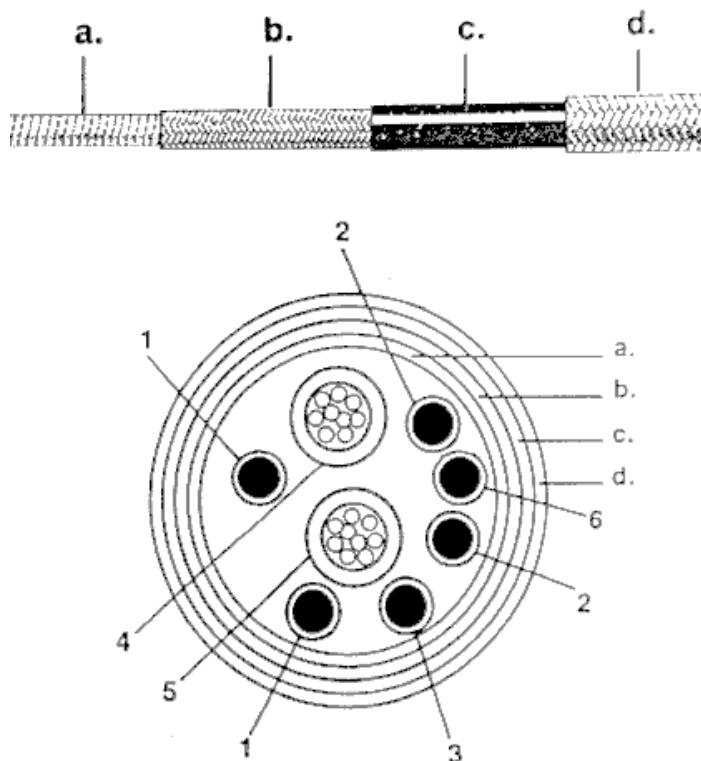
1. (külső) burkolat: korracél fémháló P.T.F.E-vel impregnálva.
2. réteg: folyadékálló neoprén
3. réteg: korracél fémháló
4. réteg: flexibilis acél tekercsrugó

A négyes burkolat teszi az endoszkóp szondáját alkalmassá arra, hogy csavarható és hajlítható legyen, de csak annyira, hogy megvédje a belül vezetett fénytovábbító és képképző optikai szálnyalábot a töréstől. Ugyanez vonatkozik a fej négyirányú vezérlését végző bowden rendszerre a fékhuzalokra és a fókusz (élesség) állító huzalra, ugyanis egyes típusok fix fókusz rendszerű-, mások állítható fókusz távolságú tárgyoptikával rendelkeznek. Ez utóbbiaknál annak a szondavégződésben lévő lapocskának a távolsága állítódik bowden mozgatással a tárgyoptikához képest, amelyben az optikai szálak polírozott végződése pozícionáltan rögzítve van.

Mind a fix fókuszrendszerű, mind az állítható fókusz tárcsával rendelkező endoszkópoknak megvan az előnye és hátránya is. A fix fókuszos típusoknál nem kell a kezelőnek az élességállítással bajlódni egy adott tartományon belül (mélységélesség) ugyanis a kép minden részén egyformán éles.

Ezzel szemben ez a mélységélesség felülről behatárolt, tehát az optikától egy bizonyos távolságtól messzebb levő tárgyakat már nem lehet élesen látni. Az állítható típusoknál a mélységélesség-tartománynak csak alsó határa van, felső nincs, azaz a néhány millimétertől távolabbra eső tárgyak a végtelen tartományig élesen rajzolódnak ki az okulárban. Ennek a felső határtalanságnak természetesen a megvilágítás szab határt.

A cserélhető tárgyoptikai rendszer nagyon sokoldalúvá teszi a flexibilis fiberszkópokat, mivel az optikák cseréjével egyrészt kétféle látásmódot, direkt vagy oldalra látó nézőirányt választhatunk meg. A két nézőirányon belül pedig különféle látószöggel rendelkező tárgyoptikát választhatunk. Ily módon az okulárban megjelenő kép változik, ugyanis nagyobb látószögű optikát választva egy szűkebb belső térből az operátor teljesebb, áttekinthetőbb képet kap. Amikor csak apróbb részleteket akar vizsgálni, akkor egy kis látószögű optikát feltéve nagyított kép jelenik meg a szem előtt.



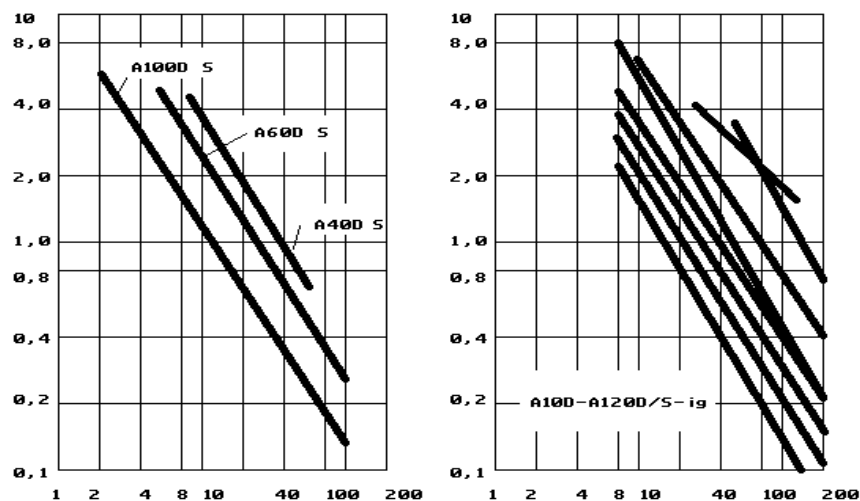
45. ábra Fiberszkóp flexibilis szondájának elrendezési ábrája

- | | |
|---|---------------------------------|
| a) spirál rugóacél | 1. fel-le mozgató huzal |
| b) korracél hálóréteg | 2. jobbra-balra mozgató huzal |
| c) folyadékálló neopren | 3. tárgylencsét fókuszáló huzal |
| d) korracél hálóréteg PTFE bevonattal impregnálva | 4. képalkotó optikanyaláb |
| | 5. fényszállító optikanyaláb |
| | 6. munkacsatorna |

A nagyítási tényező alapján véve a tárgyoptika és a tárgy távolságának a függvénye, ami folyamatosan változik az endoszkóp mozgásával. A dolgot tovább bonyolítja, hogy a nagyítási tényező a különféle látószögű optikák cseréjével is változik. Ezért a gyártók nomogramokat szoktak mellékelni endoszkópjaik csereoptikáihoz, amelyből meg lehet állapítani egy bizonyos látószögű optikának a nagyítási tényezőjét a tárgytávolság függvényében.

A korszerű fiberszkópok pl. 1, 1.5, 2, 3 és 6 méteres változatban készülnek, 0.64 mm és 13.5 mm közötti átmérettartományban. Természetesen a 0.64 mm-es típus hossza a legrövidebb és 13.5 mm-es a leghosszabb.

Készülnek **speciális fiberszkópok** is, amelyekkel mérni lehet belső hibák hosszterjedését, de speciális kivétel a munkacsatornás típus is, ahol a szonda belsejében egy munkacsatorna húzódik végig és ezen keresztül különféle kívülről manipulálható csípő, vágó, fogó szerszámok ún. forcep-szek vezethetők be a 3.2 m hosszú szondán keresztül. Ugyancsak speciális fiberszkóp típusnak számít az OLYMPUS IF8D3X2-23 típusa, amely a Pratt and Whitney repülőgép hajtóműgyártónak a Boeing 727/737 gépekbe épített JT8D típusú hajtóművének az égéskamra vizsgáló endoszkópja. A kilenc égőkamra egymással összekötött csatornáin kell keresztülvezetni az endoszkópot, amely csak úgy oldható meg, hogy az OLYMPUS egy 8 mm-es fiberszkópot egy ugyancsak 4 irányba állítható megvezető csőbe (guiding tube) építette, így a szkóp fejét összesen 8 különböző irányba lehet kormányozni.

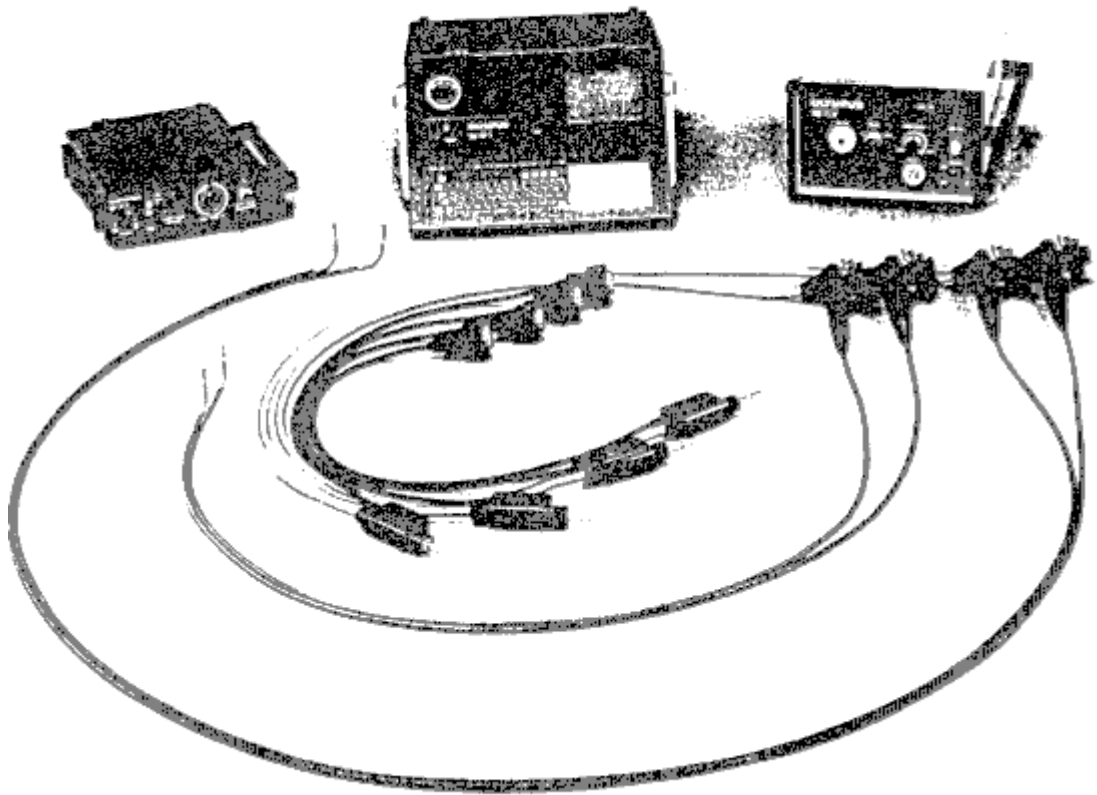


46. ábra Az OLYMPUS 6 és 8 mm-es fiberszkópjainak csereoptikáikhoz tartozó nomogramok, amelyek a tárgy távolság függvényében mutatják a nagyítás mértékét

Videoszkópok

A videoszkóp flexibilis szonda végződésébe egy miniatűr TV "kamerát" építettek, amely videoképet jelenít meg a belső endoszkopizált objektumról.

A videokép nagy felbontóképességű, színes, jó minőségű kép, amely alkalmas arra, hogy egyszerre több szakember tudja vizsgálni és konzultálni a látottakat, valamint videoszalagon tudják rögzíteni a vizsgálatot folyamatában. A flexibilis szondán belül a fiberscope képalkotó száloptikai nyalábja helyett itt elektronikus kábel van, amely a fejbe épített szilárdtest képalkotó CCD (Charge Coupled Device: Töltéscsatolt eszköz) chipről elektronikus jelet szállít a video-endoszkóp "agyába", a control unitba, amely az elektronikus jeleket videojelekké alakítja, hogy az a monitoron kerülhessen megjelenítésre.



47. ábra Videoendoszkóp összeállítás készülékei

A munkahely, vagyis a vizsgálandó objektum megvilágítása azonban a videoszkóp esetében is, hasonlóan a fiberscope-hoz, ugyancsak száloptikai nyalábbal történik. Tehát azt lehet mondani, hogy a *videoendoszkóp hasonló a fiberscope-hoz azzal a két különbséggel, hogy a fiberscope képalkotó száloptika-nyalábját a videokamera és a kábel helyettesíti, az okulár szemlencsét pedig a TV monitor.*

A legnagyobb előnye a videoszkópnak, hogy az általában maximum 3 méter hosszú fiberscope korlátozott hosszát jelentősen meg lehetett növelni. A fiberscope esetében a megnövelt száloptika hossz aránytalanul magas gyártási költségnövekedéssel párosul. Videoendoszkópok pl. 3, 6, 7.5, 12 és 22 méteres hosszban készülnek.

Videoendoszkóp működési elve:

A videoscope szondájának végződésében (a "distal tip"-ban) egy tárgyoptika foglal helyet, amely egyes típusoknál cserélhető biztosítva mind a nézőirány, mind az optikai látószög változtatásának lehetőségét. Ez a tárgyoptika a vizsgálandó objektumról visszaverődő fényt (képet) rávetíti a microchip CCD - képalkotó lapocskára. Ez a CCD szilárdtest képalkotó lapocska úgy viselkedik, mint egy TV-kamera. Ezer és ezer parányi fényérzékelő sejtet, pixelt tartalmaz. Az endoszkóp tárgylencséje által a CCD képalkotóra vetített fény minden egyes pixelről külön-külön analóg elektronikus jelet gerjeszt a rávetített fény energiájával arányosan és ezek az

analóg jelek kerülnek a szkóp szondájában lévő kábelen keresztül a készülék elektronikus központjába a processzorba, ahol az analóg jelek digitalizálásra kerülnek. Innen most már a kép monitorra kerül, ahol videomagnóval rögzíthetővé válik vagy egy külön erre a célra készült komputerbe, úgynevezett képanalizáló berendezésbe, ahol további kép-management funkciók és mérések végezhetőek el az endoszkópos képen.

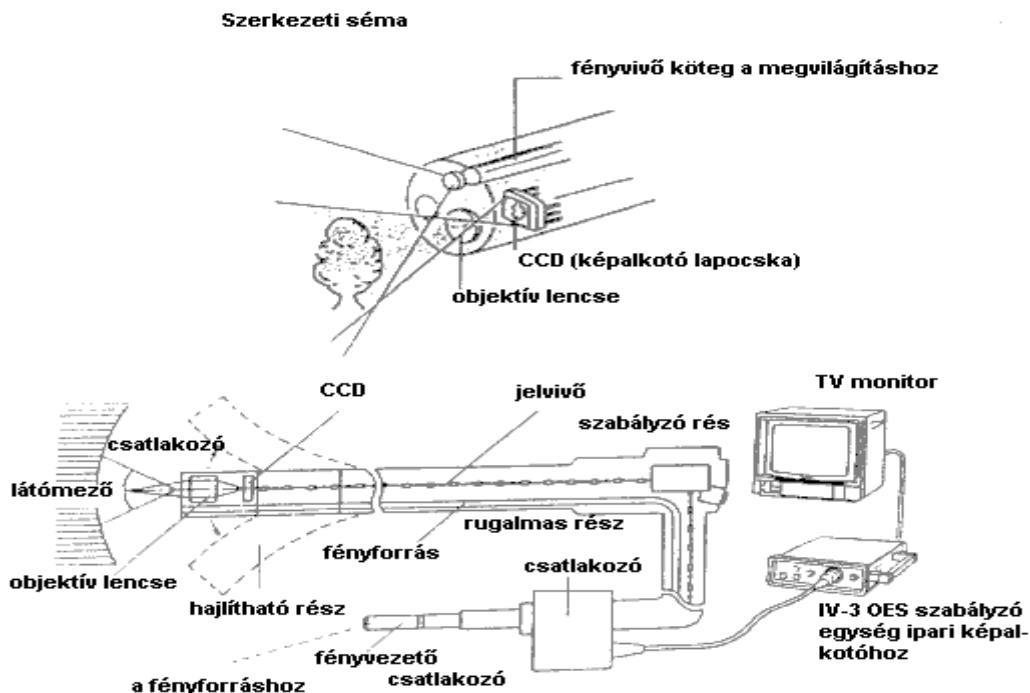
A színes képalkotás kétféle módon lehetséges.

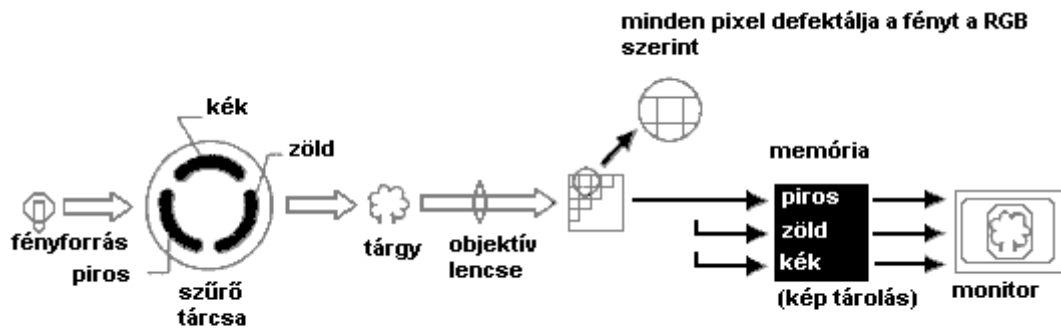
1., RGB szekvenciális rendszerrel

2., Real time - valós idő rendszerű - 3 színre alapozott rendszer, színenként elkülönülő pixelekből felépülő pixelcsoportokkal.

1., RGB szekvenciális (idősorrendbeli) színes képalkotás.

Ennél a rendszernél egységes fényérzékelő pixelekből áll a CCD képalkotó chip. A pixelek fekete-fehér jelet küldenek vissza a processzorba. A színes képalkotás úgy jön létre, hogy a tárgyra eső fényt már előzőleg alapszínekre bontják egy körbefogó piros, zöld és kék (RGB) filterkerékkel. A szkóp szondájából kilépő megvilágításra szolgáló fény ilyenformán gyors egymásutánban fölvillogó piros, zöld és kék színekkel világítja meg a vizsgálandó objektumot. Minden egyes szín felvillogását a CCD pixelek érzékelik és fekete-fehér kép formájában küldik tovább egy tároló memóriába.



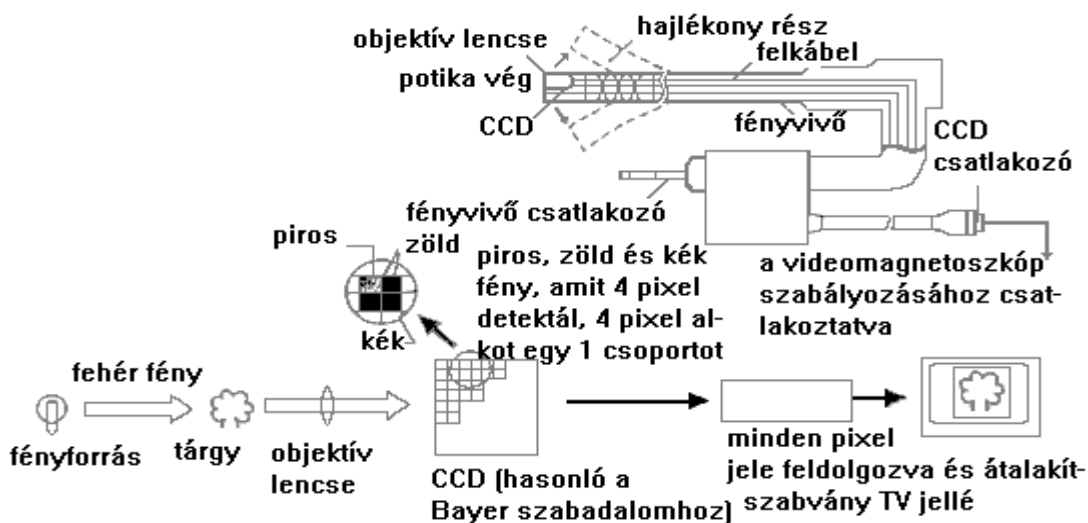


49. ábra RGB rendszerű színes képalkotás

Amikor a memóriában mindhárom alapszín jele beérkezik és a 3 rekesz megtelik, akkor a memória-chip egyszerre továbbítja mindhárom alapszín jelét a monitorra, ahol minden egyes jel aktivizál egy elektron sugarat, amely felvillantja a saját színes foszforeszkáló pontját a monitoron. Ennek a rendszernek a legnagyobb hátránya a lassúság, amely különösen a mozgásban lévő tárgyak endoszkópizálásánál jelent problémát, mivel ilyenkor a kép nem tudja követni a mozgást és szétesik. Ugyancsak hátrányt jelent a megvilágító stroboszkóp, amely a fényforrásba beépítve jelentősen megnöveli a készülék méretét és súlyát.

2., Real time rendszerű színes képalkotás.

A CCD chip nagyszámú pixelcsoportokat tartalmaz, mindegyik négyzet alakú pixel csoport a három alapszínnek megfelelő egyes színek hozzárendelt pixelekből áll. Minden egyes pixel egyidejűleg az általa érzékelt alapszín energiájának megfelelően analóg jelet bocsát ki. Az elektronikus vezérlőegységben ezek az alapszínek által generált analóg jelek egyidejűleg kerülnek feldolgozásra kompozit videojellé, és nem pedig szekvenciális sorrendben az egyes színek sorrendisége alapján. A CCD chipre vetített fény normál fehér fény, amelyet bármilyen halogén lámpával vagy ívlámpával elő lehet állítani. Mivel a színes képalkotás nem szenved késedelmet az alapszínek (RGB) idősorrendbeli (szekvenciális) feldolgozása miatt, ezért itt a gyorsan mozgó tárgyak endoszkópizálása közben is hibátlan képet kapunk és nem esik szét a kép a tárgy, vagy az endoszkóp mozgása közben. A színek eredetiségét az alapszínekre szakosodott pixelek biztosítják. A rendszer hátrányának szokták felróni, hogy a CCD chip felbontóképessége kisebb, mint az RGB rendszerű CCD-chip esetében. Ez az ellenvetés igaz, mivel itt a pixelcsoportok 4 pixelből állnak (1 piros, 1 kék és 2 zöld) ez azt jelenti, hogy a CCD felbontóképessége itt 1/4 résszel kisebb. Fontos tudni, hogy az 1/4 részre csökkentett pixel szám még mindig meghaladja a legjobb színes monitor felbontóképességét is.



50. ábra Real time rendszerű színes képalkotás

Videodeoendoszkóp típusok:

A 7.5 méter szondahosszúságig terjedő videoendoszkópok külső megjelenése hasonló a fiberszkóphoz, ugyanis a szonda fémköpenye, amely 4-rétegű, valamint a markolati irányító rész (control section) nagymértékben megegyezik a fiberszkópoknál használt kivittel. Legnagyobb különbség a markolati részen az okulár lencse hiánya. Eddig a hossztartományig a videoendoszkópok pl. 2, 3, 3.5, 6 és 7.5 méteres kivitelben készülnek 8 és 12 mm-es szondaátmérővel.

Ezeknek a típusoknak a szondavégződése 4 irányba vezérelhető a markolatról. Az ennél hosszabb típusok 16.5 mm átmérőjű szondával készülnek 12 és 22 méter hosszban és a külső burkolat nem fémből, hanem műanyagból készül. A szonda végződése itt nem vezérelhető, viszont motorral távvezérelten körbeforgatható tükör csatlakoztatható a szonda fejére, ily módon a vizsgált cső belső palástfelülete körbetapogatható a monitor képernyőjén megjelenítve. A 12 és 22 méteres videoszkópok szondája egy forgatható dob palástjára van feltekerve. Ezeket a hosszú kiviteket főleg hosszú csövek (kazáncsővek, előmelegítő csőrendszer, hőcserélő stb.) vizsgálatára tervezték, ezért a körbeforgó feltéten kívül különböző csőátmérőhöz készült rugós, flexibilis centírozó-megvezető feltétek is beszerezhetők, amelyek az endoszkópot mindig a cső középtengelyében tartják és nem engedik a cső falához tapadni.

A videoendoszkóp minimális kiépítettsége:

Videoendoszkóp, fényforrás, elektronikus központ (processzor) és monitor.

Bővített videoendoszkóp rendszer:

A fenti négy egységből kiépített videoendoszkóp azonban tovább bővíthető. A legkézenfekvőbb, hogy a monitoron megjelenő képet, illetve képsort folyamatában rögzítsük videomagnóval. Erre a célra bármilyen VHS és legújabban S-VHS rendszerű, illetve 8 mm-es videorekorder alkalmas. Ugyancsak bármilyen, kereskedelmi forgalomban kapható fekete-fehér vagy színes videoprinter is csatlakoztatható a videoendoszkóp elektronikus központjának output

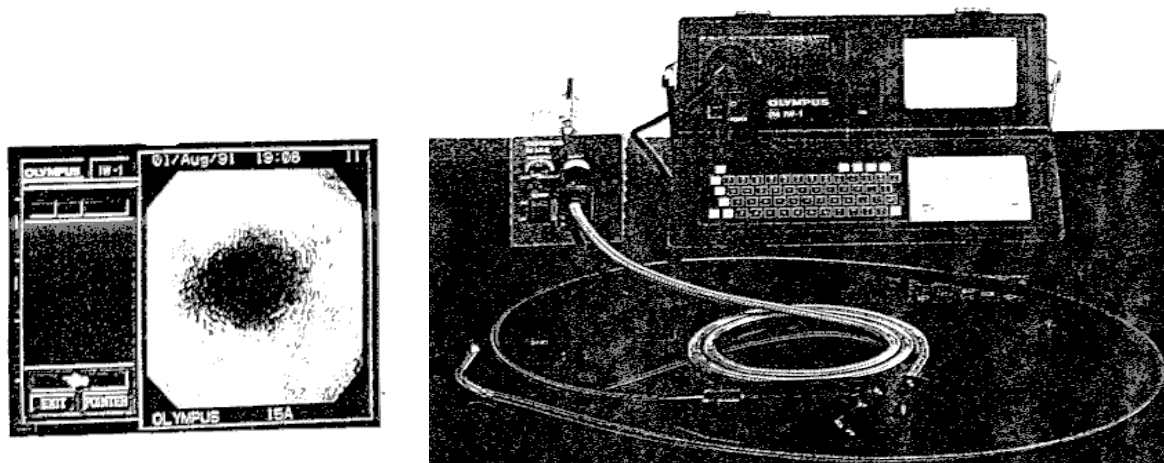
csatlakozójához, vagy közvetlen a monitorhoz. Ily módon színes "hard copy" nyerhető a gombnyomásra kiválasztott és digitalizált monitorképről.

A videoendoszkópok legjelentősebb hozzá kapcsolható opciós tartozéka az IW-1 típusú komputeres video-képanalizáló berendezés.

IW-1 komputeres képanalizáló berendezés:

Az IW-1 komputeres képanalizáló berendezés egy klaviatúrával rendelkező digitális képtárolásra, képmanagement funkciókra és különféle mérési programok elvégzésére alkalmas kisméretű színes monitort is magában foglaló komplex egység.

A videoanalizáló a következő funkciókkal (menü) rendelkezik. Automatikus fényerő-szabályozás, automatikus 'fehér balance' beállítás, állókép, állókép rezgésmentesítés, képtárolás hard disc meghajtóra (300 db kép), képtárolás floppy disc meghajtóra (5 db kép), másolás floppy meghajtóról Winchesterre és vissza, rejtett repedés-vonal kiemelés (edge emphasis), kép elektronikus kivilágosítása tetszőleges fokozatba (contrast emphasis), képnagyítás tetszőleges fokozatban (electronic zoom), két kép összehasonlítása (pl.: előkép és tárolt kép, ill. 2 tárolt kép), képátvitel 2 db IW-1 között 'modem' telefonvonalon, egy oldalon dátummal és címmel/kategóriával jelölt 12 db kép egyidejű monitoron való képi megjelenítése, lehajtható számítógépes klaviatúrán szöveges információ és adat felvitele és rögzítése a képen, vagy a megosztott monitorkép bal oldalán, képekhez cím és kategória hozzárendelés, cím és kategória szerinti programozott képlehívás (azonos objektumról különböző időpontokban rögzített kép összehasonlítása akár egymás mellett szemlélve a monitoron), fentiek mellett pedig az alábbi mérési funkciók:



51. ábra Komputeres képanalizáló berendezés, 8 mm-es IV8D3 típusú videoendoszkóppal

2-D (2 dimenziós) mérési eljárás:

Az endoszkópos képen ki kell választani egy ismert méretű objektumot pl. egy ismert átmérőjű furatot. Két kurzor segítségével 2 db mérőkeresztet mozgatunk és a furat körívén egy-egy pontot kijelölve megadjuk a furat átmérőjét mm-ben. Ezután a 2D síkon bármelyik 2 pont közötti távolságot (repedés, korrózió, anyagiány stb. kiterjedése) mérhetjük, de csak akkor, ha az endoszkóp feje merőlegesen áll a

vizsgálandó objektumhoz képest. A 2 mérőkereszt közötti szakasz mérete (hossza) a monitoron mm-ben kiírva jelenik meg.

2-D szögelhajlást kompenzáló mérési eljárás:

A kalibrálás és a mérési eljárás a mérőkereszt mozgatásával hasonlóképpen történik a fentiekben leírt 2-D eljárással. A különbség abban áll a két eljárás között, hogy most az endoszkóp hossz tengelye nem kell hogy merőlegesen álljon az objektum síkjához képest. A monitoron látható objektum képével egyidejűleg megjelenik egy képraszter, amelyet a kurzorokkal 5 fokos dőlési szögenként lépcsőzetesen lehet állítani plusz vagy mínusz dőlési irányba.

Az objektum egy kiválasztott éléhez képest a képraszter ábra dőlése beállítható ugyanabba a szögbe, amely megfelel az endoszkóp és az objektum szögállásának.

Ebben az esetben tehát pontosan mérhetünk akkor is, ha az endoszkóp feje nem merőlegesen áll a vizsgálandó síkhoz képest, csupán egy ismert méret megadása szükséges a kalibráláshoz.

3-D programozott mérési eljárás (CAD-program):

A három mérési eljárás közül ez a CAD-rendszerű eljárás a legkényelmesebb az üzemeltető számára. A legnagyobb előny abban rejlik, hogy nincs szükség kalibrálásra és nem kell tekintettel lenni a nézősík szögére sem. Ezzel az eljárással geometriailag komplikált tárgyakon is pontosan elvégezhetőek a mérések. Az objektum geometriai paramétereit vagy közvetlenül vagy külső PC-n keresztül lehet beprogramozni. A monitoron megjelenik az objektum 3-D számítógépes grafikája, amelyet kurzorok segítségével megközelítőleg rá lehet illeszteni az objektum képére. A méret és a szög pontos illeszkedéséről ezután a computer gondoskodik. A ráillesztés után a mozgatható mérőkeresztekkel bármilyen szögben elhelyezkedő 2 pont közötti távolság mérése precízen elvégezhető. A mérési értékek a képernyőn mm-ben jelennek meg.

Pipe measurement program (csőbelsőben való mérés) :

Ez a legutóbb kifejlesztett, ugyanekkor leghasználatosabb szoftver. Mindössze az endoszkóp szonda átmérőjét és a vizsgálandó cső átmérőjét kell inputként megadni a komputernek és ettől kezdve a cső falából kiálló vagy besüllyedt objektumok, hibahelyek, korróziós nyomok, repedések kiterjedése mérhető.