

Az intraorális lenyomatvételi eljárások matematikai / informatikai háttere

Zichar Marianna

DE Informatikai Kar Komputergrafika és Képfeldolgozás Tanszék

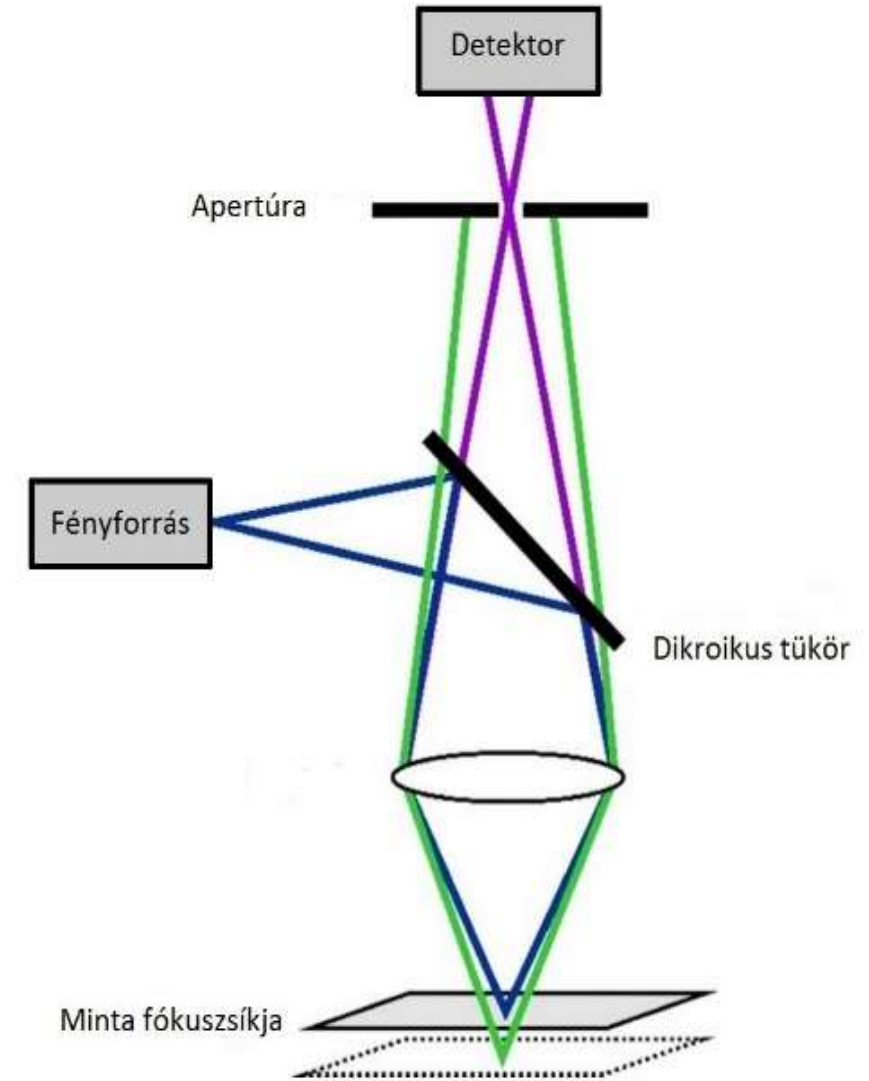
Konfokális lézeres pásztázó mikroszkópia (CLSM)

- Marvin Minsky (1957)
Mesterséges intelligenciát kutató amerikai tudós
Massachusetts Institute of Technology (MIT)
mesterséges intelligencia laborjának alapítója
- A minta fizikai szeletelése nélkül kaphatunk képet vastagabb biológiai preparátumok, szövetek, sejtcsoportok párhuzamos síkmetszeteiről.
- Tetszőleges térbeli orientációjú 2D vagy akár 3D képek előállíthatók a síkmetszetekből.



Működési alapelve – egy pont

- A minta egy pontjáról úgy kapunk információt a kialakítandó képhez, hogy a minta fókusz-síkjából származó fényt megtartja, míg a fókuszon kívülről érkezőket figyelmen kívül hagyja.
- Detektor - fotoelektron-sokszorozó (photomultiplier tubes, röviden PMT) az ultraibolya, látható és infravörös közeli tartománybeli fényre nagyon érzékeny, akár egy foton is észlelhető.
- Konfokális elrendezés - konjugált fokalitás
- Fókuszszík pásztázásával képet kaphatunk a pontokból



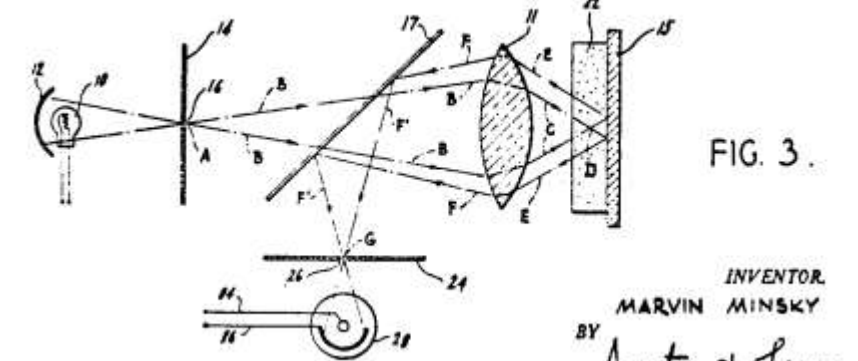
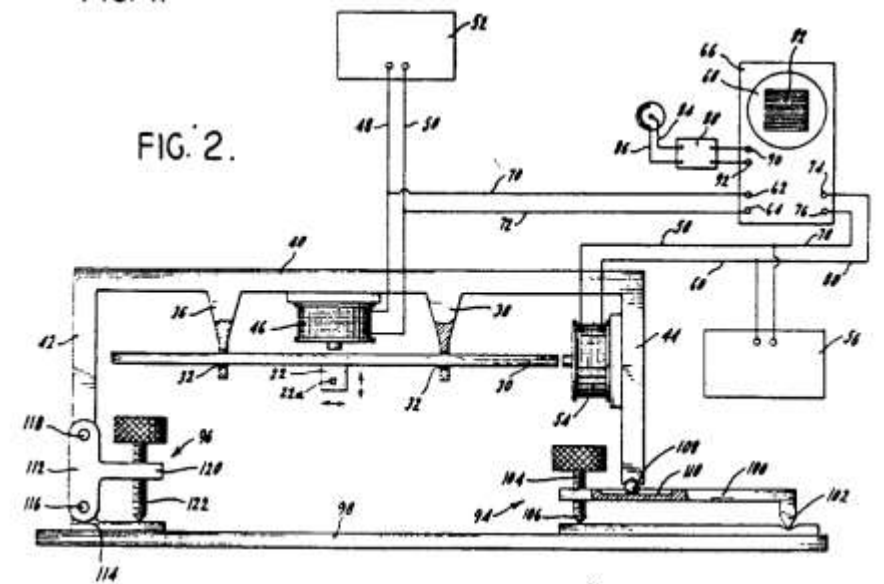
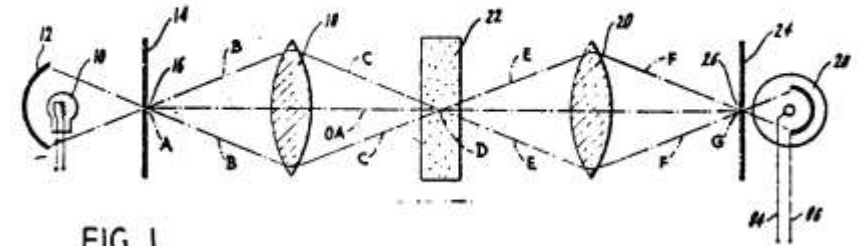
A szabadalommal benyújtott vázlat

Dec. 19, 1961

M. MINSKY
MICROSCOPY APPARATUS
Filed Nov. 7, 1957

3,013,467

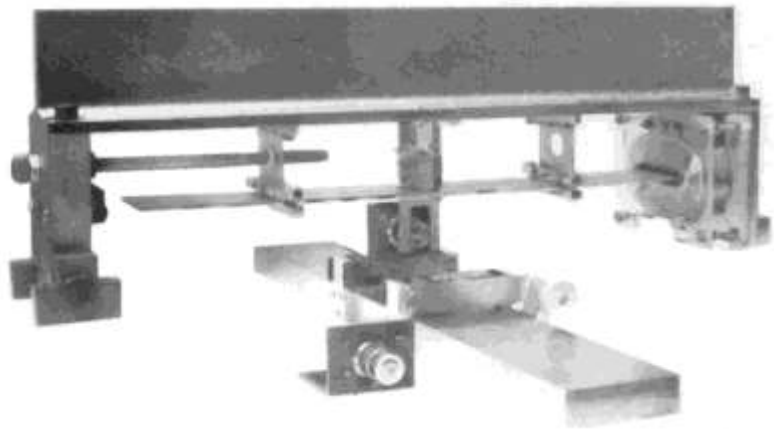
LIBRARY



INVENTOR
MARVIN MINSKY
BY
Amster & Levy

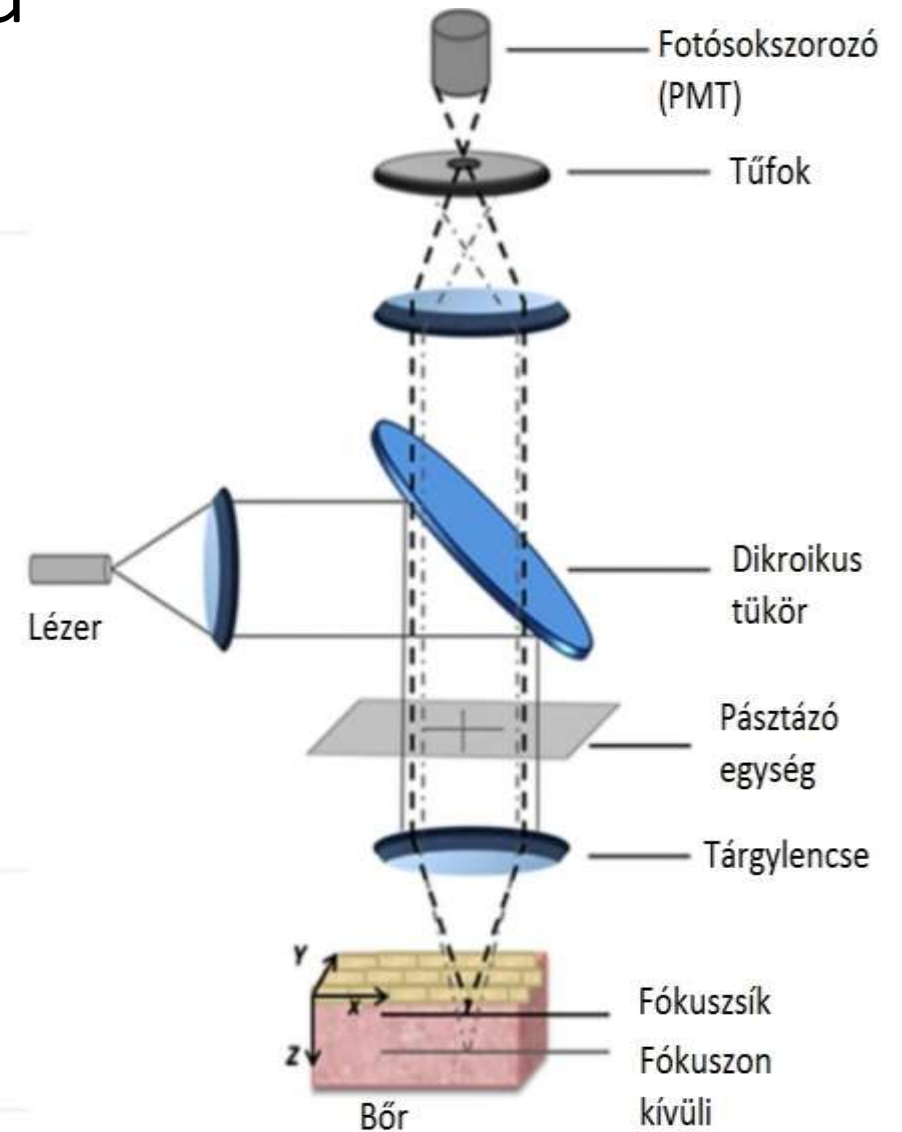
<https://web.media.mit.edu/~minsky/papers/ConfocalMemoir.html>

A prototípus fotója, és egy CLSM munkahely



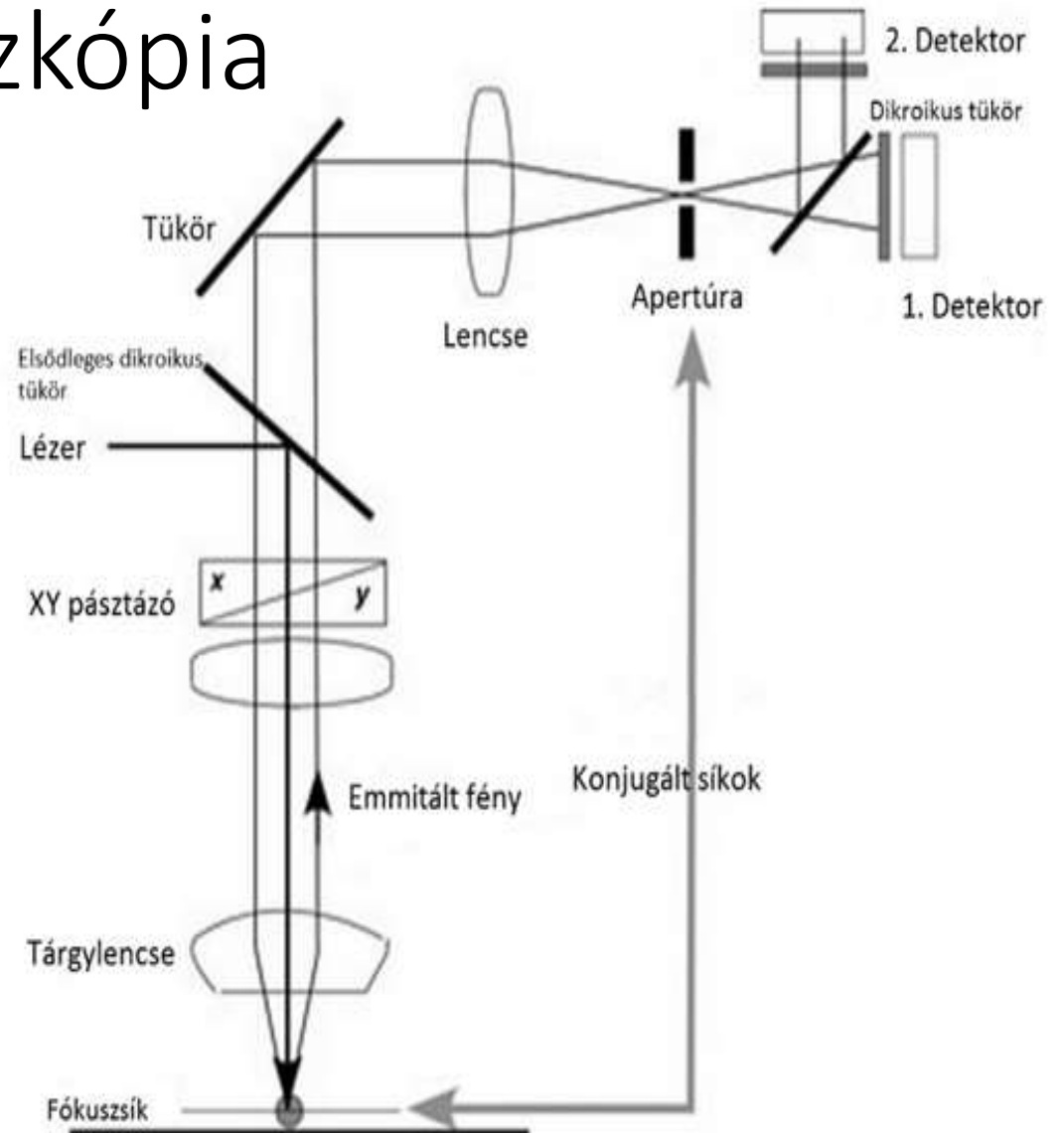
Modern konfokális mikroszkópia

- Minsky-féle elrendezés lényeges elemeit (pl. apertúra használata, pontonkénti megvilágítás elve) megtartják → csak a fókuszsíkból származó fotonok jutnak el a detektorhoz
- Egyéb változtatások



Modern konfokális mikroszkópia

- Többdetektoros változat
- A második dikroikus tükör a fluoreszencia különböző színű komponenseit szétválasztja, és a megfelelő detektorokhoz irányítja.



CLSM főbb előnyei

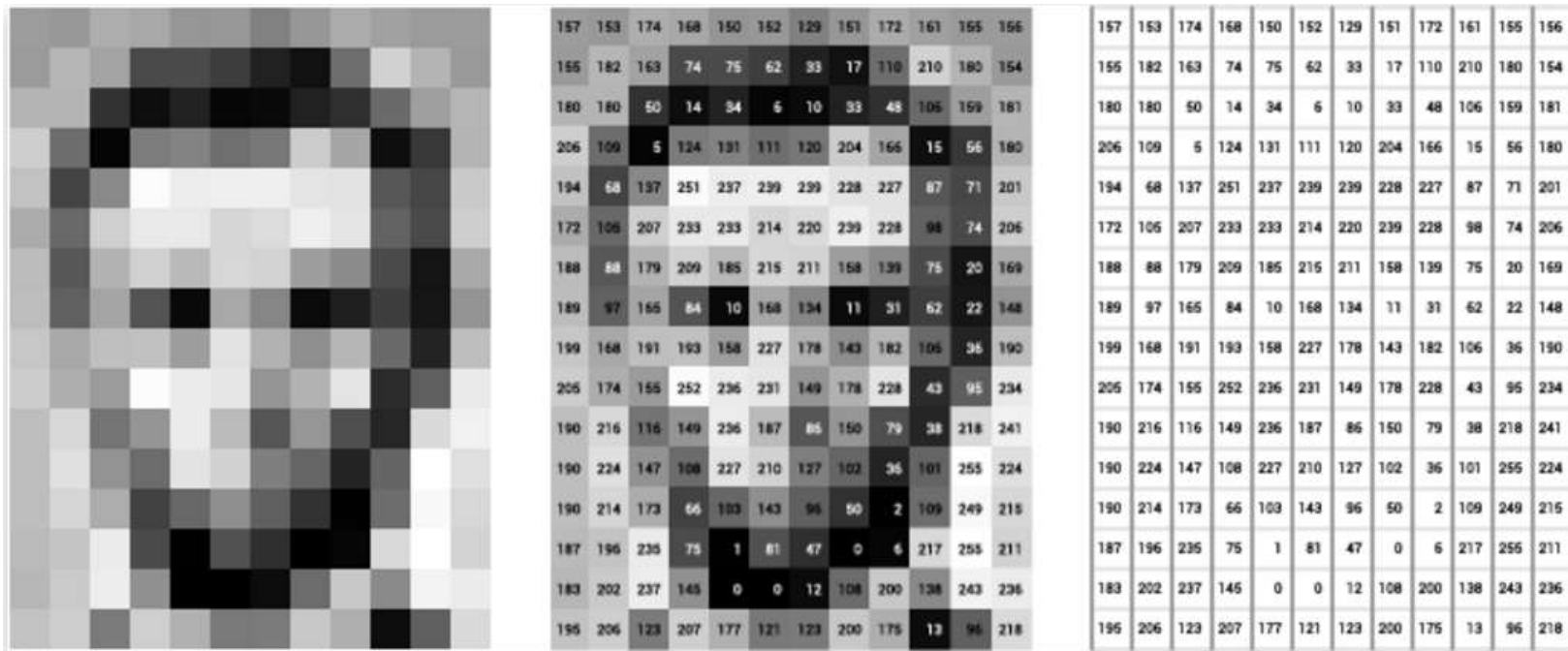
- Képes fluoreszcens minták vékony (0,5 és 1,5 mikrométer közötti) optikai szeleteinek sorozatát előállítani akár in-vivo.
- A hagyományos fluoreszcens mikroszkópiához képest élesebb kép.
Akár százszoros kontraszt és 1,4-szeres oldalirányú felbontóképesség.

hátrányai

- A lézerrel gerjesztethető fény hullámhossza korlátozott (pl. ultraibolya fény igen költséges).
- A magas intenzitású lézer besugárzás esetlegesen károsíthatja az élő sejteket és szöveteket.

Képfeldolgozás

- Kép: véges számú, sorokban és oszlopokban elhelyezett képpontokból (pixelekből) áll.
- Pixel fényintenzitása: 0 – 255 (fekete – fehér)



Gyakori képkezelő eljárások

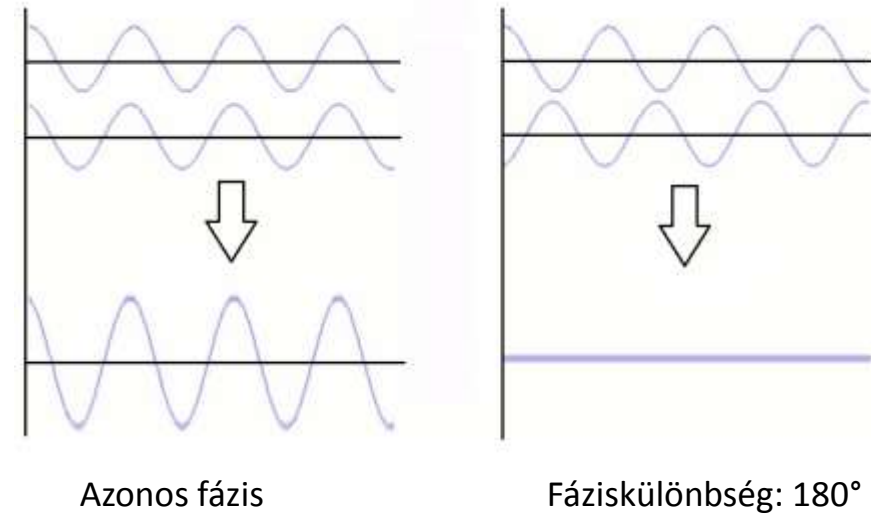
- Nagyítás, kicsinyítés
kicsinyítéskor egybemosódhatnak fontos részletek, azaz csökken a felbontás értéke, míg nagyításkor nem nő a kép valódi felbontása, csupán a megjelenítéshez felhasznált pixelek száma.
- Fényesség, kontraszt, küszöb módosítása
Egy gyenge minőségű a kép lehet, csak a skála alsó tizedéhez (0-25) tartozó értékeket használja → kis intenzitásbeli különbségek
Megoldás: szorozzuk fel egy konstanssal
Alacsony intenzitású képpontok okozta zaj megszüntethető, ha egy jól megválasztott intenzitásérték (küszöbintenzitás) alatt minden képpontot feketére változtatunk.

Gyakori képkezelő eljárások

- Simítás, szűrés
Zajjal terhelt képek esetén előfordulhat, hogy egymáshoz közeli képpontok intenzitás értéke között jelentős különbség van. Térbeli átlagolással vagy simítással ezek a különbségek elmoshatóak, amivel azonban a felbontásból is veszítünk.
Szűrők alkalmazásával élesíthető a kép és láthatóvá válhatnak egyes részletek. Sajnos az eljárás kiemeli a zajt és apró hibákat egyaránt.
- Színtáblák, álszínek használata
A konfokális mikroszkóp által készített kép intenzitáselosztást ábrázol, azaz eredetileg nem színes, csupán szürkeárnyalatú pixelekből áll. A szürkeárnyalatok skáláját lecserélhetjük egy tetszőleges, önkényesen megválasztott színskálára kompenzálva az emberi szem azon tulajdonságát, hogy nem képes pontosan megkülönböztetni egymástól a szürke minden egyes árnyalatát.

Az interferometria és fáziseltolás alapelvei

- Interferencia
két vagy több koherens hullám szuperpozíciója
eredményeként létrejövő új hullámmintázat.
- A legtöbb fényforrás esetén a fénykibocsátás
atomi folyamat, amely során az egyes atomok
véletlenszerűen bocsátanak ki véges hosszú-
ságú hullámvonulatokat, így azok nem koherensek.
- A fényhullámot interferáltassuk önmagával!

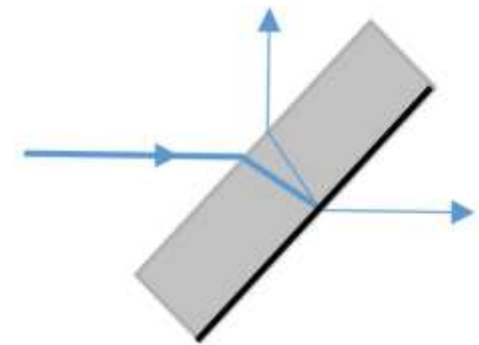


Az interferometria és fáziseltolás alapelvei

- Az interferométereket használhatjuk hullámhossz mérésre, síkfelületek vizsgálatára, anyagok törésmutatójának meghatározására illetve távolságok rendkívül pontos meghatározására az elektromágneses hullámok interferenciájának segítségével.
- Sok, más módon megfigyelhetetlenül gyenge fizikai hatás már jól mérhető fáziseltolást okoz, ezért az interferometria a mérés technika legérzékenyebb eljárásai közé tartozik.

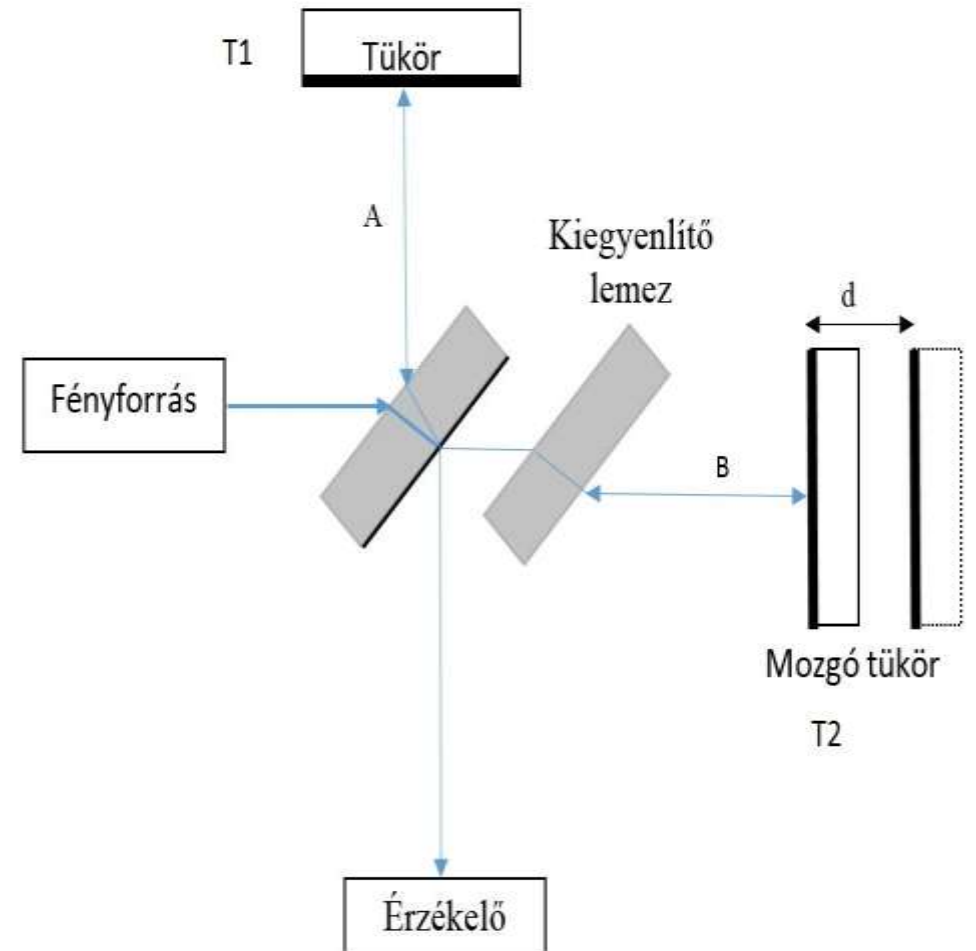
Michelson-féle interferométer (1880)

- Albert Michelson (1852-1931), az első német származású amerikai Nobel-díjas fizikus
- Amplitúdó osztás elvén működik
- Nyalábosztó
átlátszó, egyik oldalán reflexiós réteggel
(gyakran ezüsttel)
ellátott üveglemez, amely nagyjából 50-50%-os nyalábosztást valósít meg.



Michelson-féle interferométer (1880)

- Közöséges fényforrások esetén, azok kicsi koherenciahossza miatt, az útkülönbségek kiegyenlítésére az egyik nyaláb útjába a nyalábosztóval egyenlő vastagságú lemezt (kiegyenlítő lemezt) kell elhelyezni. Nagy koherenciahossz (pl. lézerefény) esetén az optikai úthossz kiegyenlítésére nincs feltétlenül szükség.
- T1 közvetlenül látható, melyre szuperponálódva jelenik meg T2 virtuális képe.

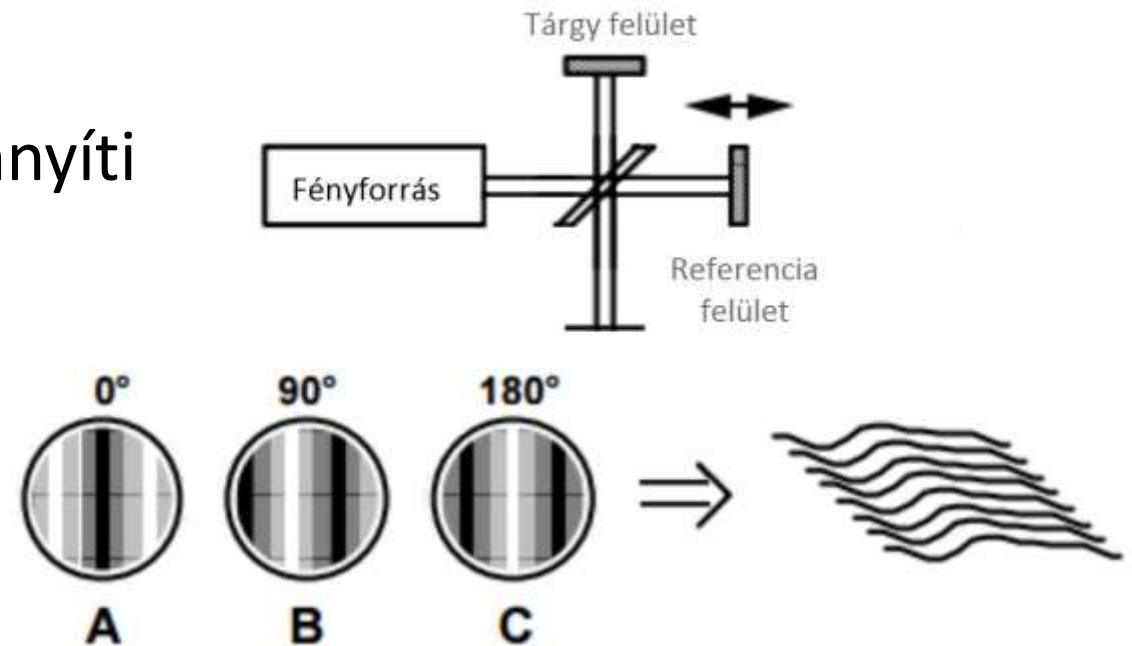


Fáziseltolásos interferometria

- Phase Shifting Interferometry, PSI
- A hagyományos interferometria egyik jelentős korlátja, hogy rendkívül érzékeny a rezgésre. Az interferometrikus módszerek nehezen boldogulnak az olyan felületek mérésével is, melynek alakja az időben változik.
- Alapötlet
Alkalmazzunk időben változó fáziseltolást a referencia és a teszt hullámfrontok között.
- Három ismeretlen: a referencianyaláb amplitúdója, a tesztnyaláb amplitúdója és a két interferáló nyaláb fáziskülönbsége.

Fáziseltolásos interferometria

- A fázist tipikusan 90 fokkal változtatjuk meg két, egymást követő mérés során.
- A három ismeretlen miatt **legalább** három intenzitás mérés szükséges.
- Egy 90 fokos fázisnövekmény megkönnyíti a számolást, hiszen a fáziskülönbség szinusztát, koszinuszát mérjük.

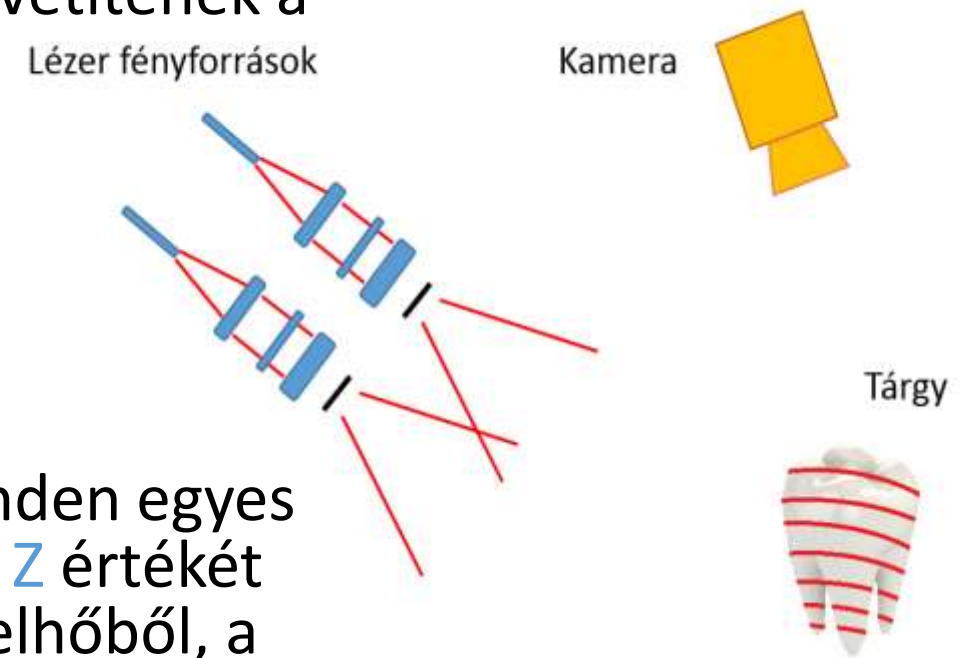


Fáziseltolásos interfeometria – főbb előnyök

- Nagyon sima felületek esetén is rendkívül pontosan mér.
- Gyors.
- Az eredmény független az intenzitásváltozásoktól a betekintő lencse mentén, továbbá meghatározható a hullámfront polaritása is.

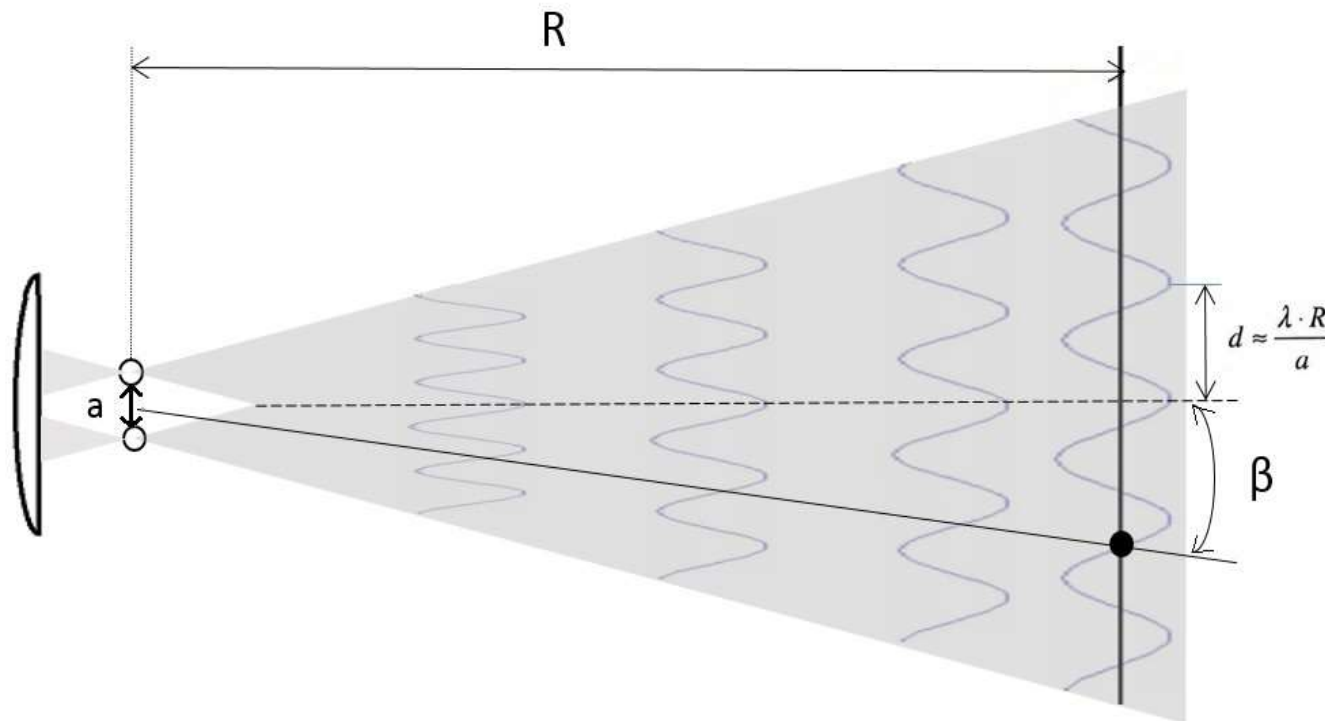
Accordion fringe interferometry (AFI)

- A hagyományos lineáris lézeres interferometria 3D kiterjesztésének tekinthető, képalkotása a 3D háromszögelési módszerekhez köthető, (ahol strukturált fényt vetítenek a céltárgyra).
- Koherens fénynyalábok interferencia mintázatát vetítjük a tárgyra.
- Az AFI alapú képalkotók a kamera képének minden egyes pixeléhez a **tárgy egy felületi pontjának az X, Y, Z értékét** rögzítik. A letapogatás során keletkezett pontfelhőből, a különböző eszközökhöz kifejlesztett szoftverek készítenek háromdimenziós felületeket.



Accordion fringe interferometry (AFI)

Az interferencia mintázat egy adott síkra vetített sűrűsége (d) hogyan függ a sík fókuszsíktól való távolságától (R) és a két forráspont távolságától (a). (Az optikai hullámhossz λ -val van jelölve.)





FARO 3D Imager AMP

Az AFI előnyös tulajdonságai

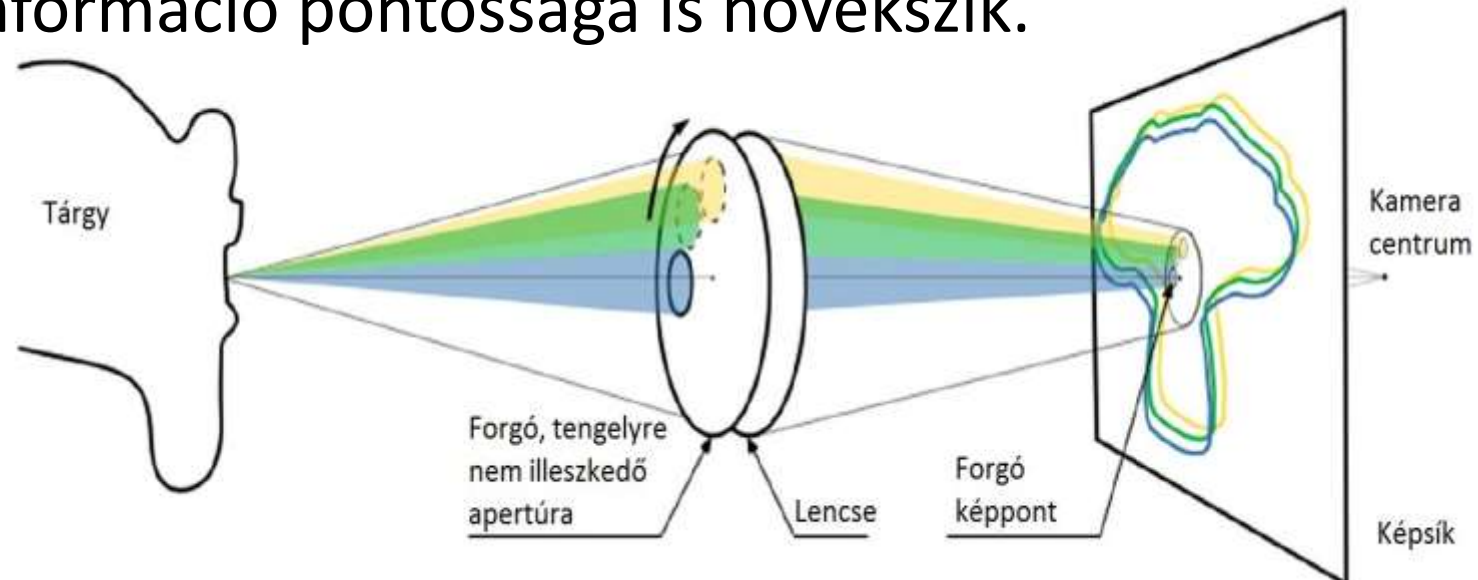
- Kevésbé érzékeny a környező fényzajokra
- Rendkívül pontos interferenciarajzolatot hoz létre
- Jól alkalmazható megmunkált (csillogó), vagy relatíve sötét felületek képalkotására
- Szkennelés előtt nincs szükség a felületet bevonni semmilyen anyaggal, így annak későbbi eltávolítása sem igényel erőforrást és időt, nem is említve az esetleges mérési pontatlanságokat, melyet az egyenetlenül felvitt bevonat okozhatna.
- Nem igényelnek speciális megvilágítást

Aktív hullámfront mintavételezés

- Active Wawefront Sampling (AWS)
3D felület képkötő eljárás, mely **egyetlen** kamerából és egy AWS modulból áll
- Nincs szükség a drága lézeres megvilágításra.
- Az adatgyűjtés igen gyors; a 3D mélységi térkép előállítása valós időben történik.
- Potenciális felhasználási területek a háromdimenziós endoszkópia és mikroszkópia mellett az intraorális képkötés.

Az AWS működési alapelve

- A célpontok mélységéről az egyes pontok által bejárt körkörös pálya sugara szolgáltat információt. A fókuszban lévő síkon elhelyezkedő pontok képe egy nulla átmérőjű körön „mozognak” (mozdulatlannak tűnnek). A fókuszsíktól egyre nagyobb távolságra lévő pontok képei egyre nagyobb átmérőjű körök mentén mozognak.
- A mintavételezési pontok számának növekedésével a becsült mélységinformáció pontossága is növekszik.

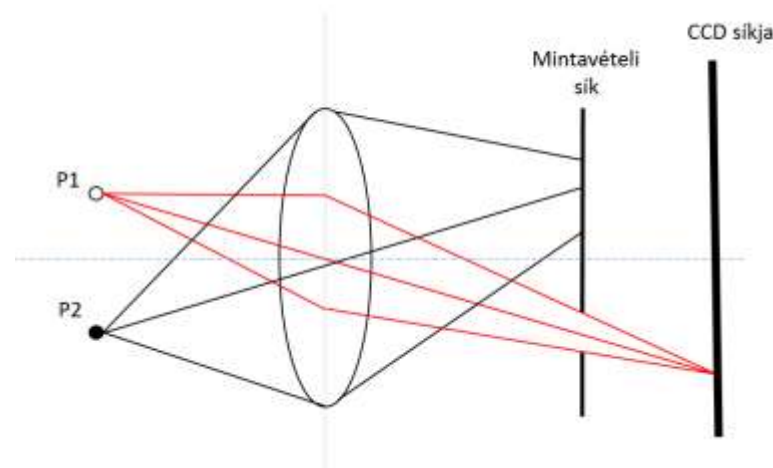
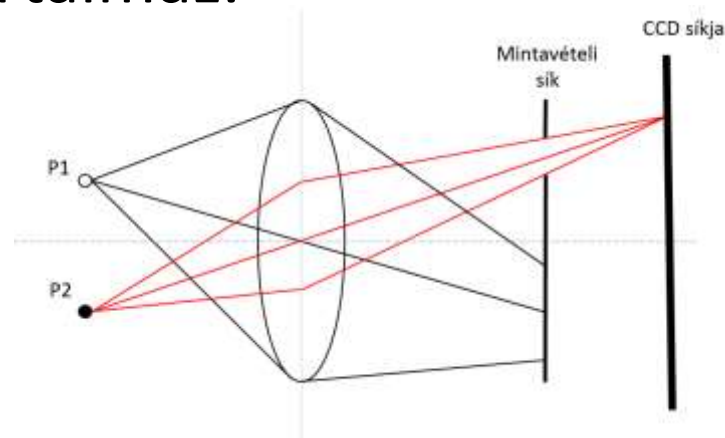


Tervezés, megvalósítás

- Az apertúra mintavételezése mechanikusan és elektronikusan is megoldható, és számos pálya közül választhatunk.
- Akár mechanikus a mintavételezés, akár elektronikus, az apertúra méretét és a síkjának elhelyezkedését optimalizálni kell a lehető legjobb minőségű kép előállításához.
- A megvilágítása erősen befolyásolja a 3D kép minőségét.
- A megvilágítás forrása a lehető legjobban illeszkedjen az optikai padhoz.
A céltárgyon a lehető legkevesebb legyen az árnyék, így az egész tárgy a lehető legegyszerűbben lesz megvilágítva.

Mintavételező sík elhelyezkedése

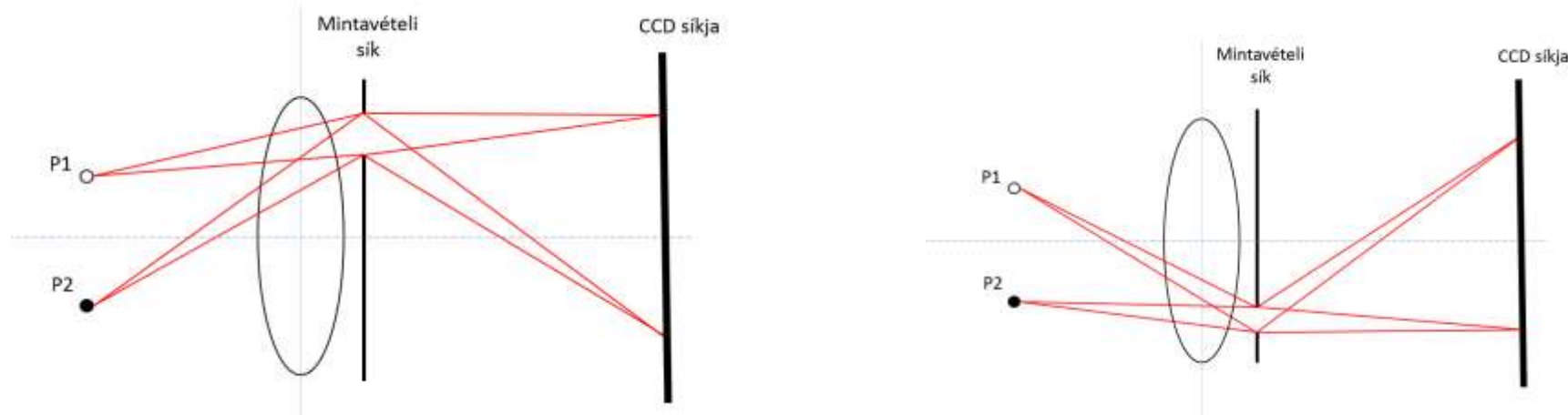
- Az apertúra mintavételező síkját minél közelebb kell helyezni a betekintő lencséhez.
- A CCD egy olyan, a fényt digitális képpé alakító elektronikus eszköz, mely egymáshoz csatolt kondenzátorokból álló integrált áramkört tartalmaz.



A betekintő lencsétől távol elhelyezkedő mintavételezési sík felső ill. alsó apertúrával.
Az ilyen elrendezés mellett keletkező színátmenet megakadályozza a 3D rekonstrukciót.

Mintavételező sík elhelyezkedése

- Az apertúra pozíciójától függetlenül a pontokból kiinduló nyalábok eljutnak a CCD síkjához és nem kell színátmenet változással sem számolni.



A betekintő lencséhez közel elhelyezkedő mintavételezési sík felső ill. alsó apertúrával.