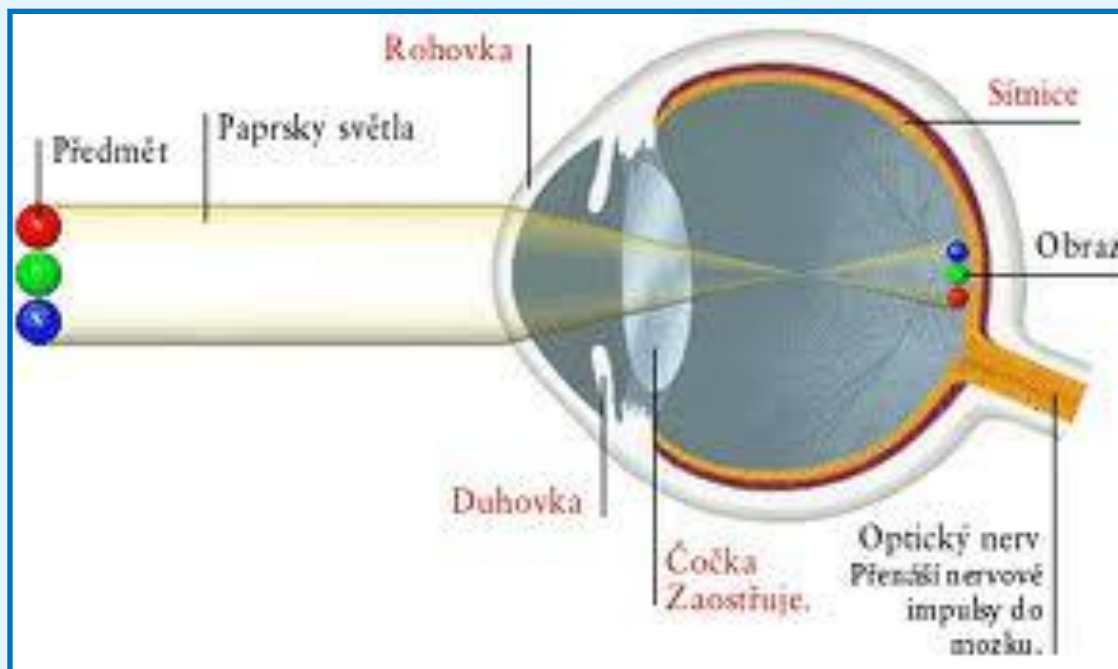


Přednáška 2_2

Stavba složeného světelného mikroskopu

Pavla Válová, 2018

Oko jako optická soustava



Okno jako optická soustava

Základní optické hodnoty:

- pracovní vzdálenost (normální zraková délka; konvenční zraková vzdálenost) = **250 mm**
- nejmenší vzdálenost (rozlišovací schopnost lidského oka) je **0,15 mm** ($1'$ zorného úhlu)
- vzdálenost dvou bodů, které průměrně unavené oko rozliší jako dva body z pracovní vzdálenosti je **0,327 mm** (odpovídá $4,5'$ zorného úhlu)

Při mikroskopování zvětšujeme zorný úhel pozorování.

Základní části mikroskopu

■ Optické části mikroskopu

■ Osvětlovací zařízení

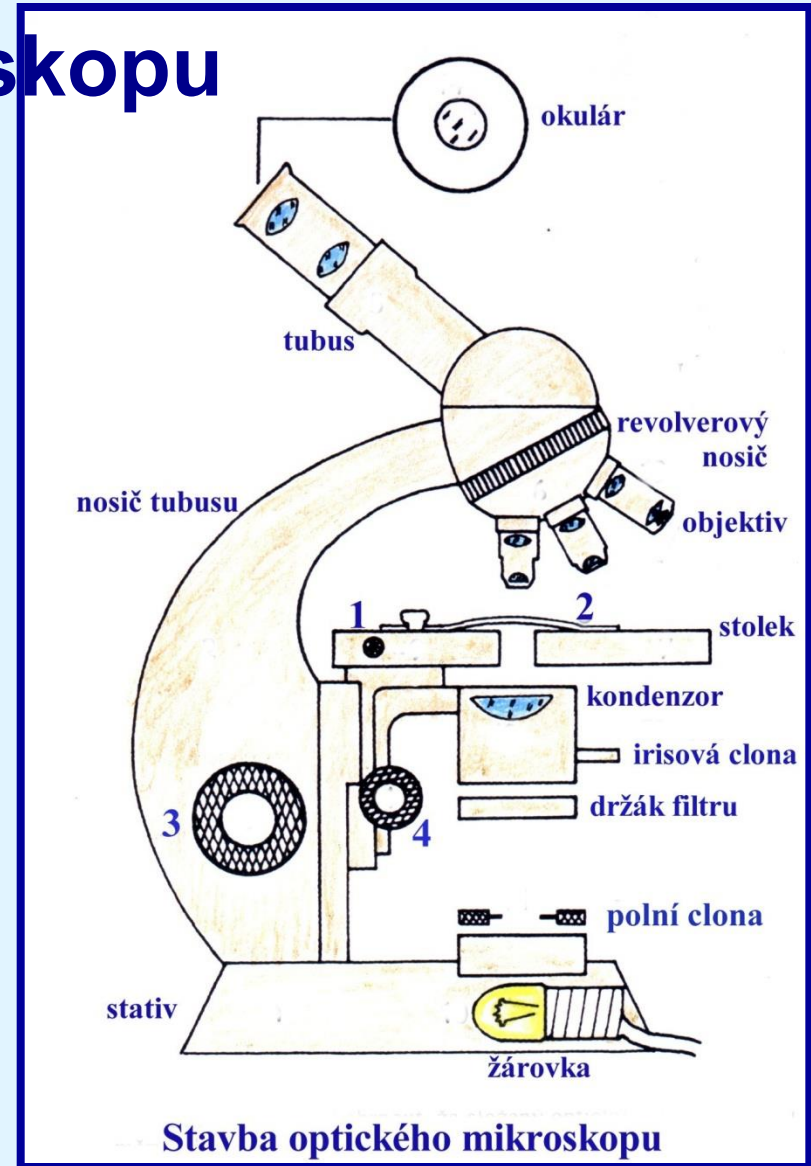
■ Mechanické části mikroskopu

1 - stolek

2 - držák preparátu

3 – makrošroub a mikrošroub

4 – posun kondenzoru



Optické části mikroskopu:

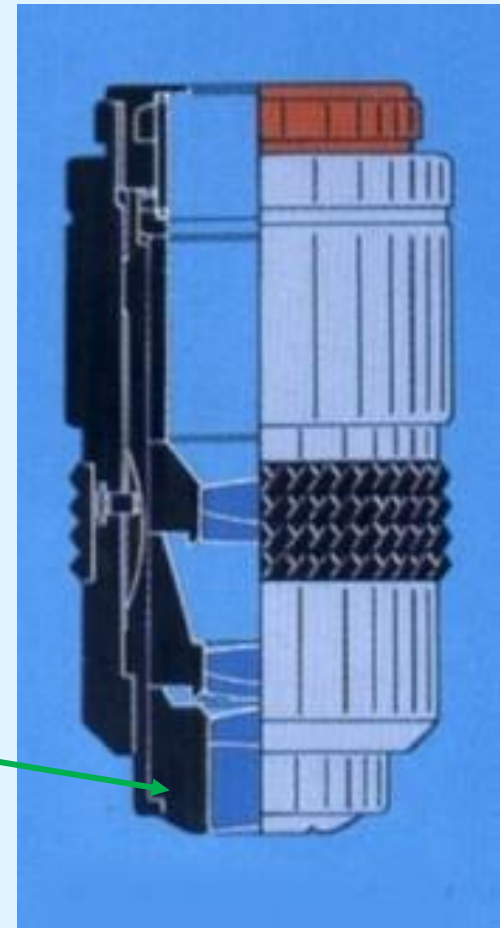
- objektiv
- okulár

- optické filtry
- hranoly

▪ **O b j e k t i v**

= čočka (soustava čoček)
nad pozorovaným
objektem

čelní čočka - nejbliže k objektu



Charakteristiky objektivu

- ohnisková vzdálenost
- vlastní zvětšení objektivu
- volná pracovní vzdálenost
- světelnost objektivu
- numerická (číselná) apertura
- rozlišovací schopnost objektivu
- hloubková ostrost
- parfokální vzdálenost

Charakteristiky objektivu:

- **Ohnisková vzdálenost (f)**

- nad 20 mm – velmi slabé objektivy
- 6 – 15 mm – střední
- pod 5 mm – silné (u CHK-2 objektivy 20x, 40x, 100x - s imerzí)

- **Vlastní zvětšení objektivu**

$$M = 250 / f$$

- 250 = normální zraková vzdálenost v mm
- f = ohnisková vzdálenost

→ čím kratší ohnisková vzdálenost, tím větší zvětšení

- **Volná pracovní vzdálenost** (W.D. = working distance)
= vzdálenost krycího sklíčka od čelní čočky objektivu
→ čím silnější objektiv, tím menší W.D. (obj.100x W.D. = 0,20 mm)
Pozor při používání objektivu 40x (W.D. = 0,53 mm)
při práci s imerzním olejem !!!
- **Světelnost objektivu**
= schopnost zachytit co možná největší množství světla,
které se účastní tvorby reálného obrazu
 - světelnost objektivu je přímo úměrná NA^2
 - pro fluorescenci jsou vhodné objektivy s velkou světelností

• Numerická (číselná) apertura

(*apertura* = lat., otvor)

- jedná se o bezrozměrné číslo, které je číselným měřítkem pro schopnost mikroskopické optiky zachycovat informace, obsažené v pozorovaném objektu



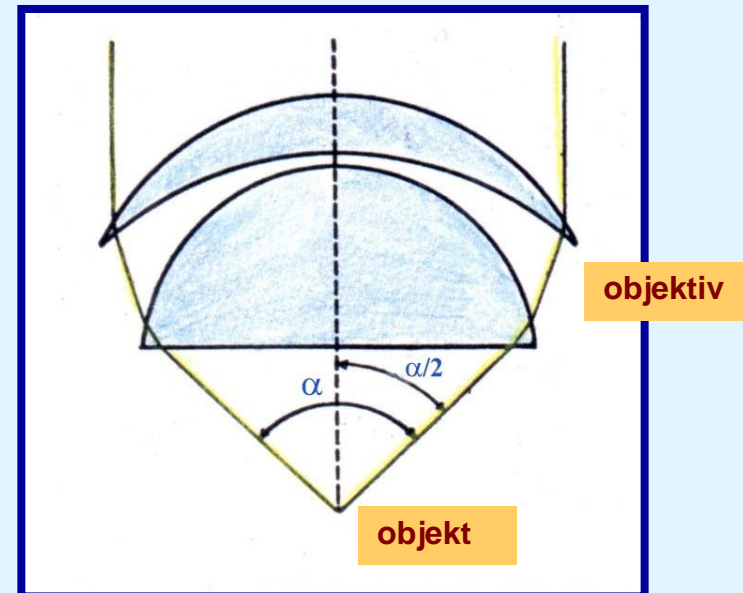
NA (N.A.) nebo také jen **A**

= vztah mezi otvorovým úhlem (α) a lomivostí prostředí (n)

$$NA = n \cdot \sin \alpha/2$$

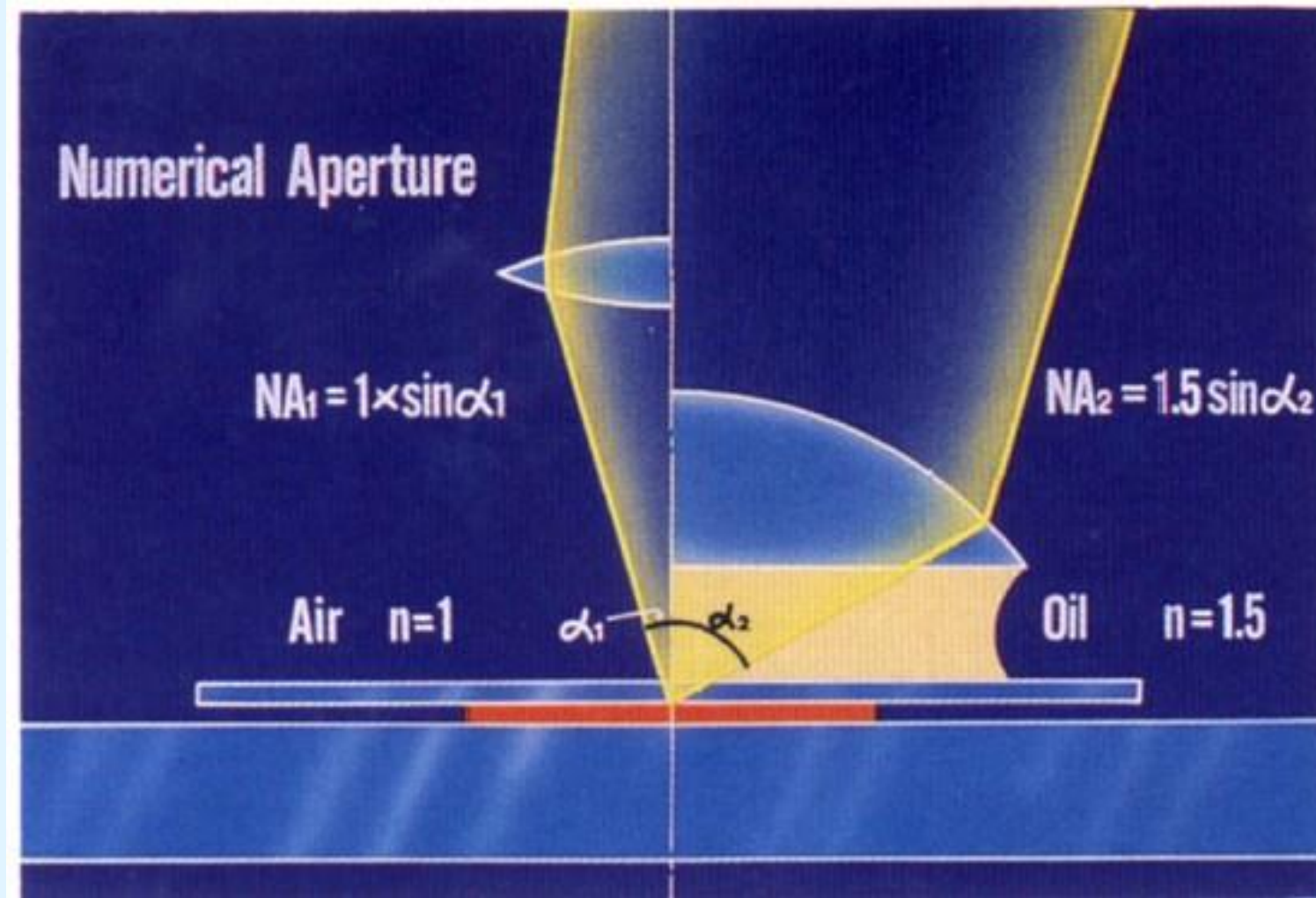
α = vstupní úhel paprsků do objektivu

n = index lomu prostředí mezi objektivem a preparátem



Obr. Pazourek, 1975

Numerická apertura objektivu



Obr. z Příručka Olympus

Numerická apertura objektivu

α je vždy menší než 180° ($\alpha/2$ je menší než 90°)

- čím vyšší numerická apertura (NA), tím vyšší rozlišovací schopnost objektivu a větší zvětšení

Podle prostředí mezi KS a čelní čočkou objektivu rozlišujeme:

< suché objektivy: $NA < 1$ (nejlepší NA = 0,85 - 0,94)
imerzní objektivy: $NA > 1$

(homogenní olejové imerze – časté označení HI nebo Oil.imerse)

Příklady imerzního prostředí:

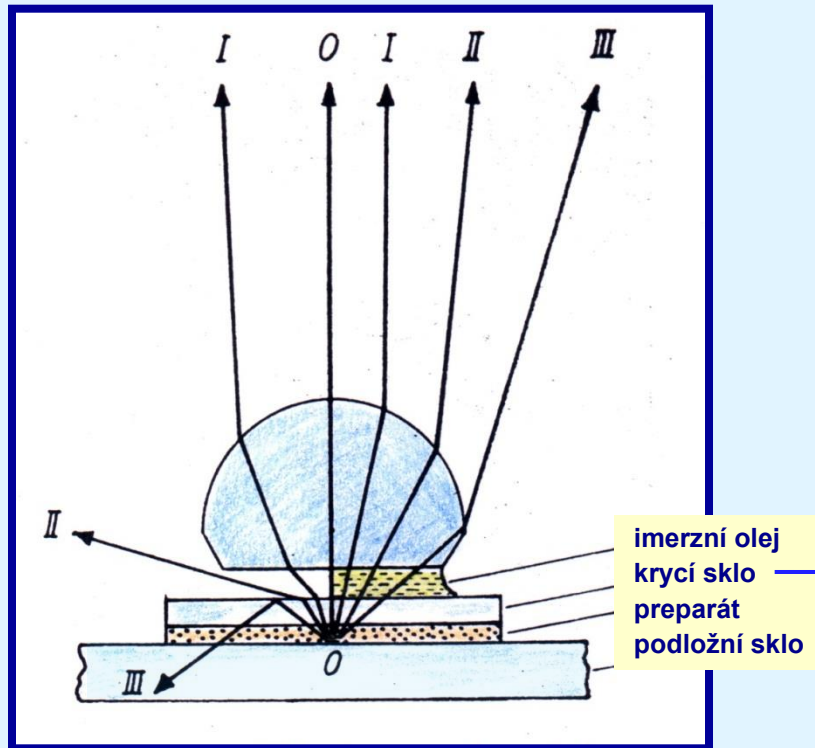
vodní imerze $n = 1,33$; olejová imerze 1,40;

glycerolová 1,4 (u křemenné optiky); bromnaftalénová 1,60

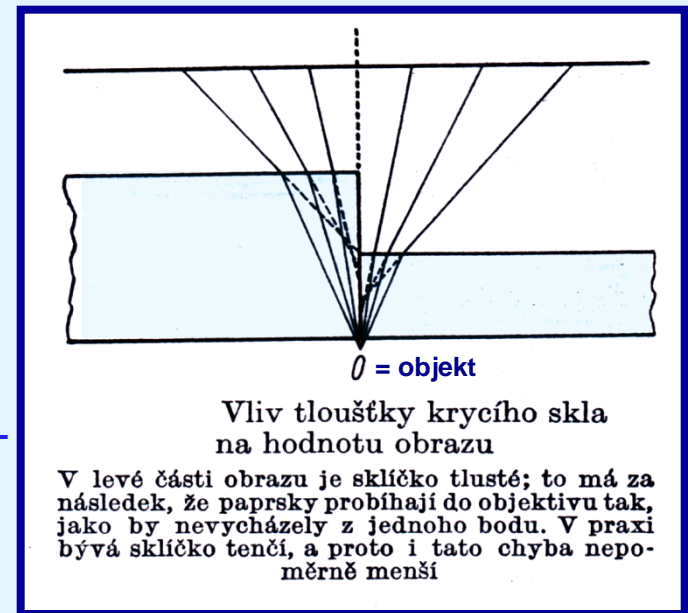
Animace:

<http://www.olympusmicro.com/primer/java/nuaperture/index.html>

Vliv imerzního oleje



Vliv tloušťky krycího skla

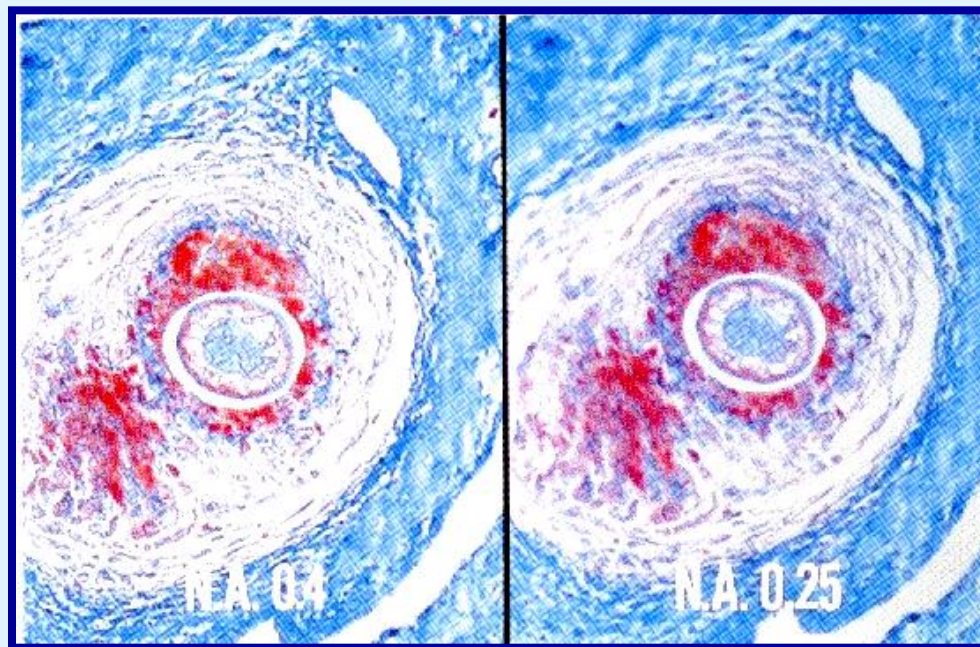


Použití imerzního oleje:

- předejdeme ztrátám světla
- do objektu dopadne větší množství paprsků
- obraz obsahuje více detailů

Obr. Pazourek, 1975

Vliv numerické apertury objektivu na ostrost obrazu



NA = 0,4

NA = 0,25

Obr. z Příručka Olympus

Praktický význam numerické apertury:



- 1. určuje rozlišovací schopnost a hranice užitečného zvětšení mikroskopu**
- 2. ovlivňuje světelnost mikroskopického obrazu**
- 3. ovlivňuje hloubku ostrosti**

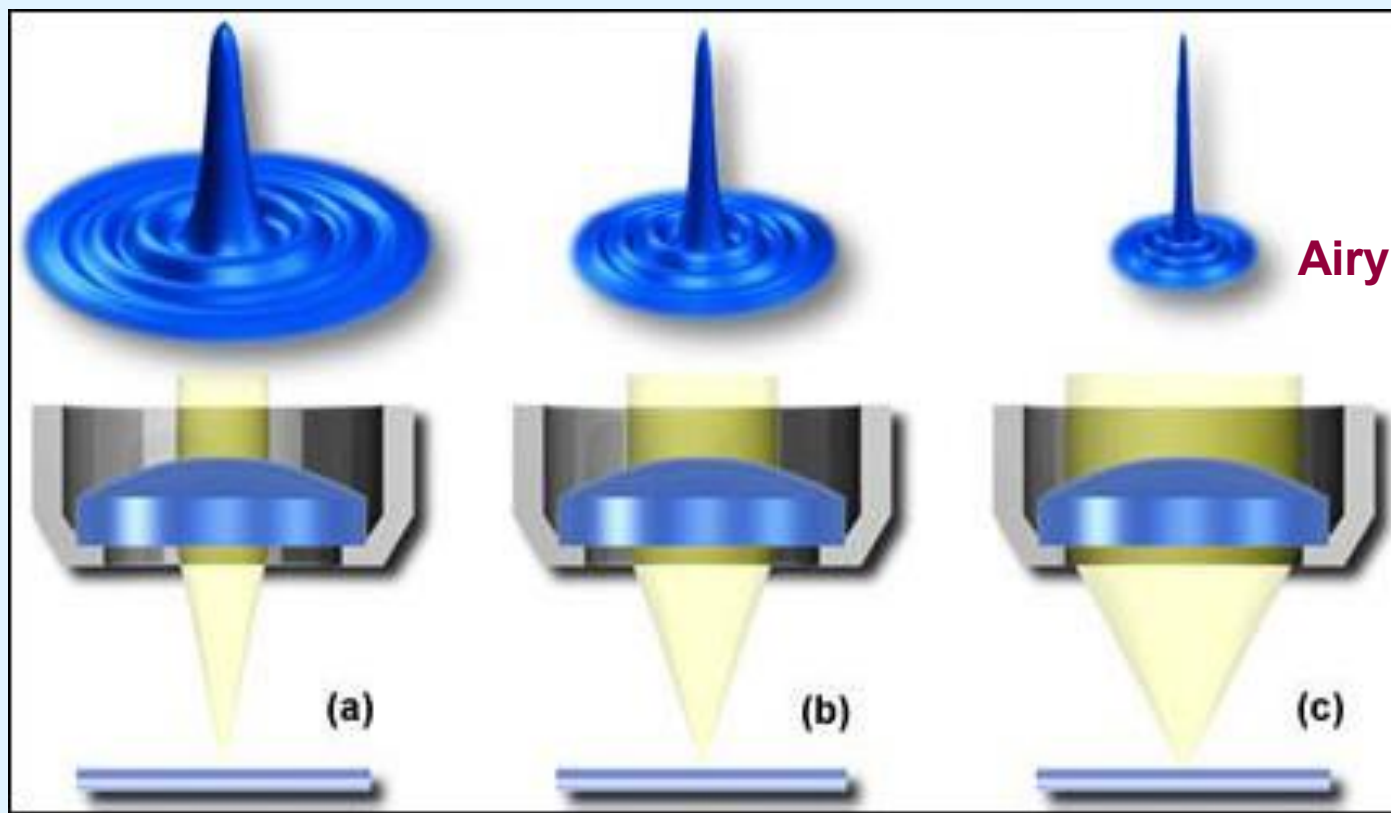
- **Rozlišovací schopnost objektivu**

**= schopnost rozlišit dva vedle sebe
ležící body ještě jako body samostatné**

**závisí na: NA (objektivu i kondenzoru)
vlnové délce (λ)**

(nejmenší velikost předmětu, který ještě můžeme okem rozlišit je
0,1 – 0,15 mm; u unaveného oka 0,3 mm i více!)

Závislost velikosti Airyho kroužků na NA objektivů



Airyho kroužky

NA = 0,2

NA = 0,6

NA = 0,8

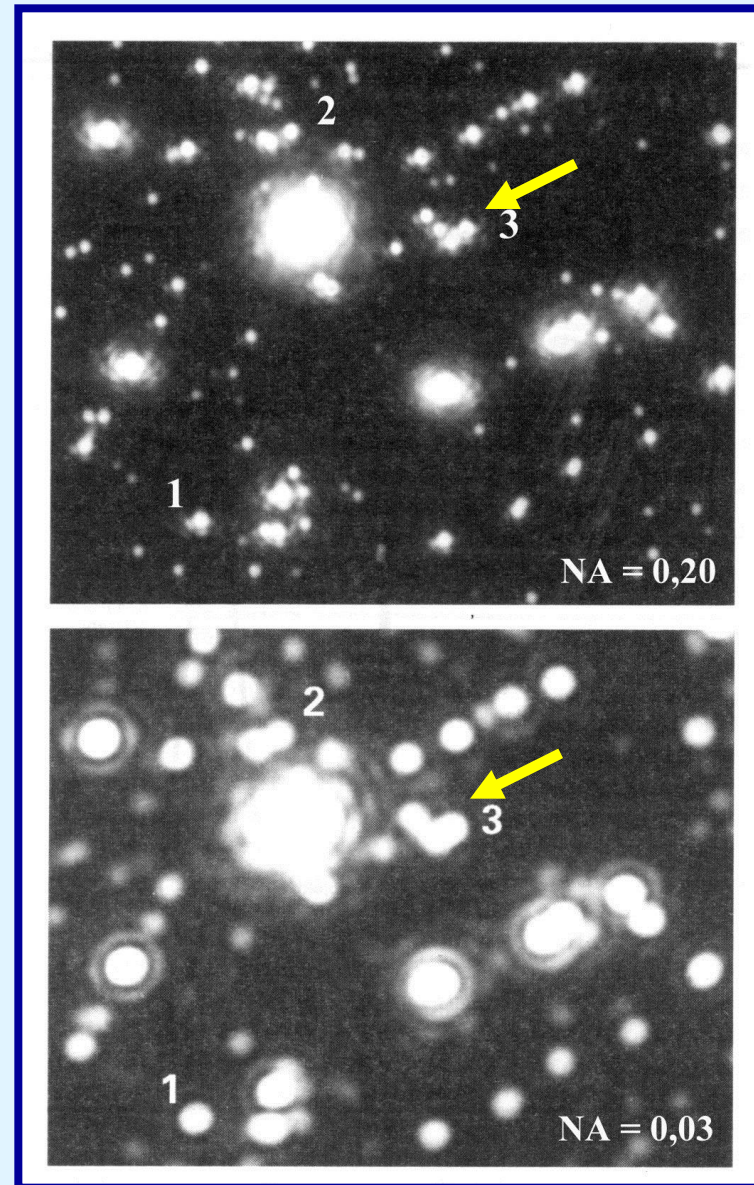
Vliv numerické apertury objektivu

na rozlišovací schopnost objektivu

Zrnka mikromletého vápence
pozorovaná v temném poli
objektivy o různé numerické
apertuře

NA = 0,20

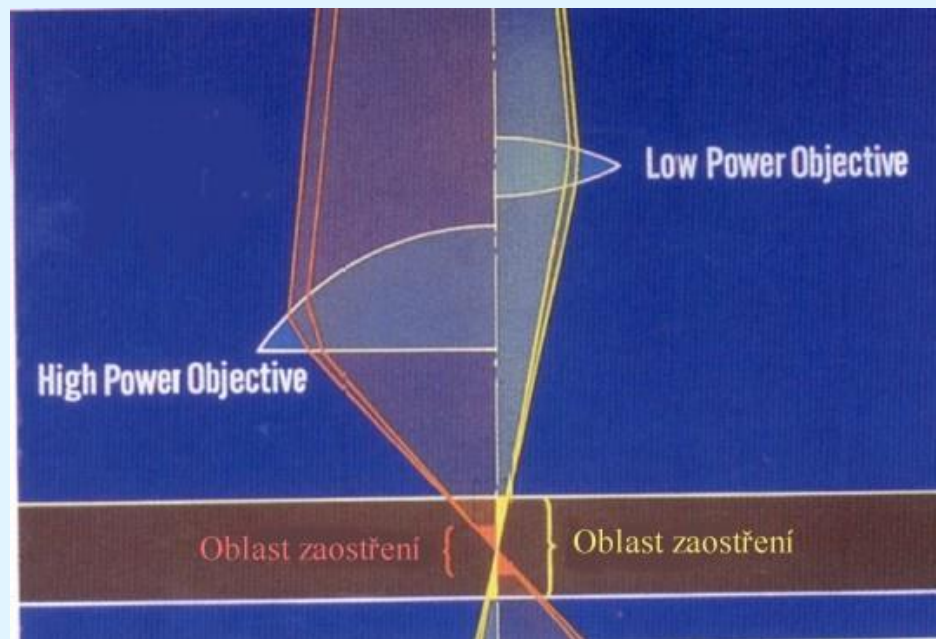
NA = 0,03



Obr. J. Plášek. Vesmír 74, 508, 1995/9.

- **Hlubková ostrost objektivu**
(penetrační schopnost)

= vzdálenost mezi nejbližším a nejvzdálenějším místem preparátu, který je zobrazen ostře



Obr. z Příručka Olympus

- v obráceném poměru k NA
(slabší objektivy mají větší hloubku ostrosti než silnější)
- přicloučením se hloubka ostrosti zvětšuje (sníží se NA kondenzoru)

Důležitá při mikrofotografii

Objektiv - hloubková ostrost

Hadinec *Echium maculatum* (syn. *Echium russicum*); $2n = 24$

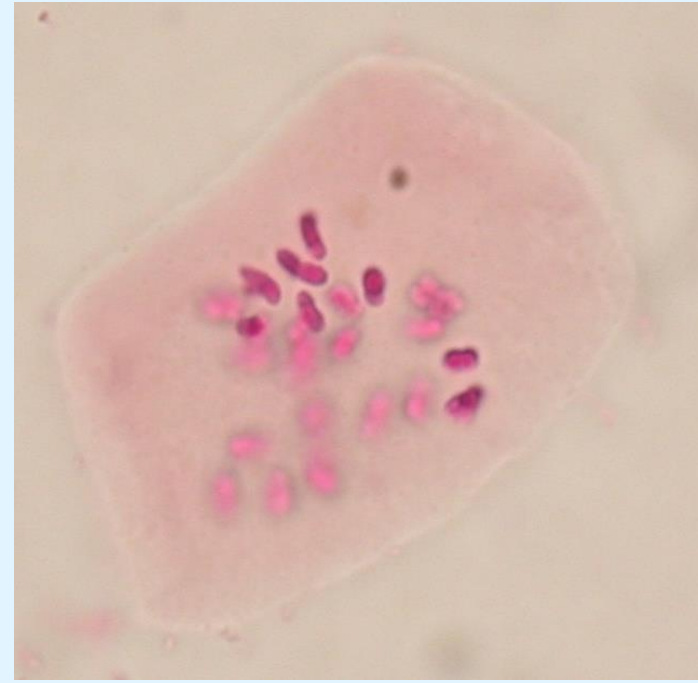


Foto Pavla Válová

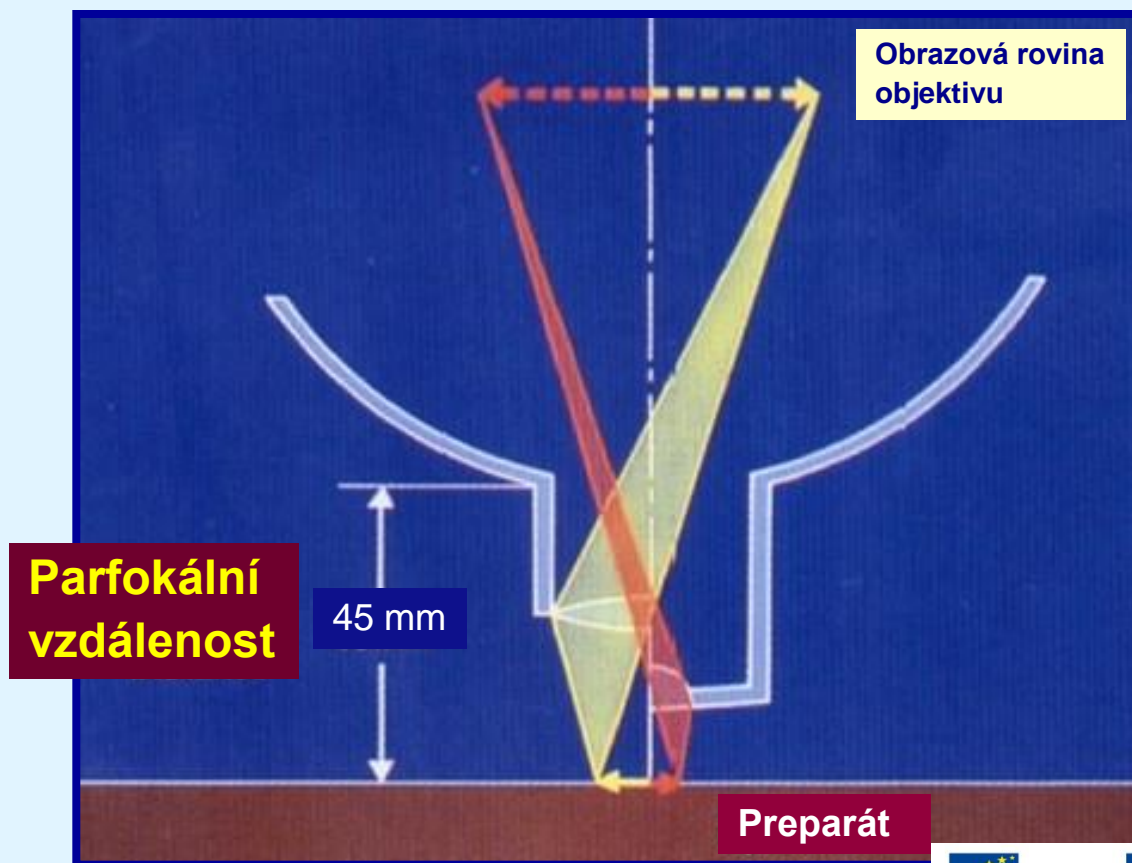
$Z = 1\ 000x$ (imerze); objektiv 100x, NA = 1,35

Při počítání jednotlivých chromozómů **musíme proostřovat** pomocí mikrošroubu.

- **Parfokální vzdálenost**

= vzdálenost objektivu v mm od závitů objektivu k povrchu preparátu, případně od krycího skla

- zaostření objektivů umístěných v revolverovém výměníku na přibližně stejnou vzdálenost



Typy objektivů

Podle prostředí mezi krycím sklem a čelní čočkou:

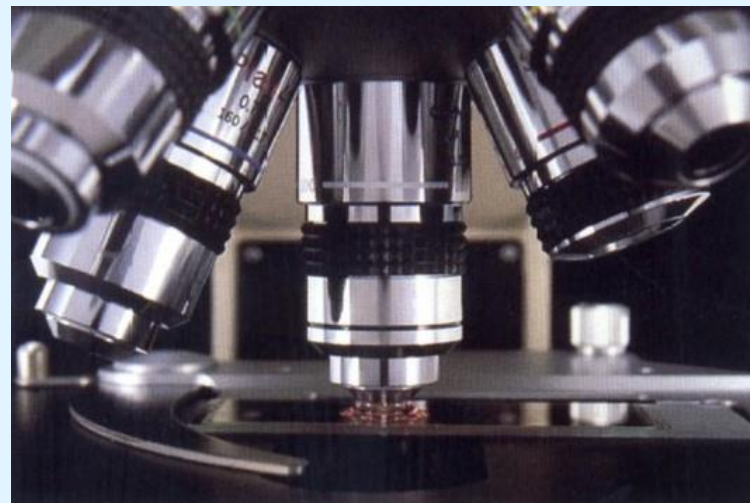
- **suché**
- **imerzní (ponorné)**

- **objektivy korekční**

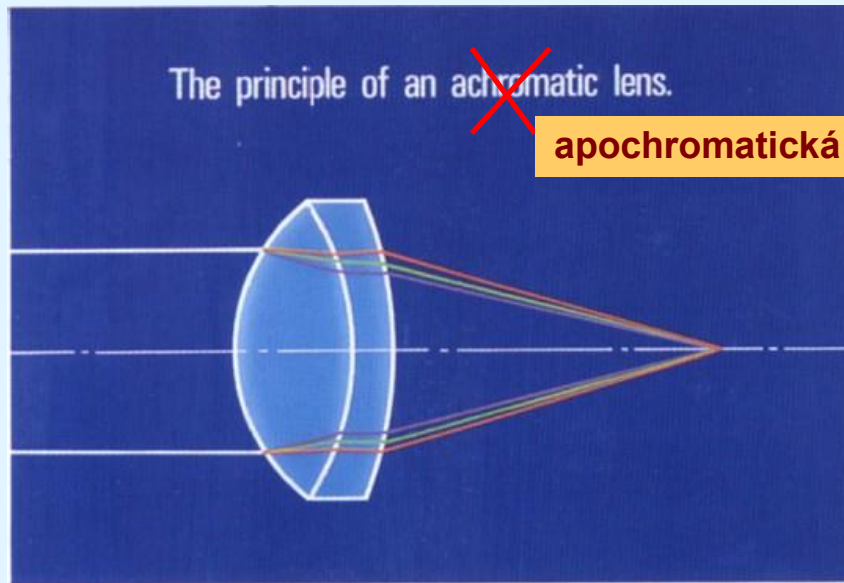
(s korekčním kroužkem) pro přizpůsobení se různé tloušťce krycího skla

- **objektivy s odpružením**

(ochrana čelní čočky i preparátu)

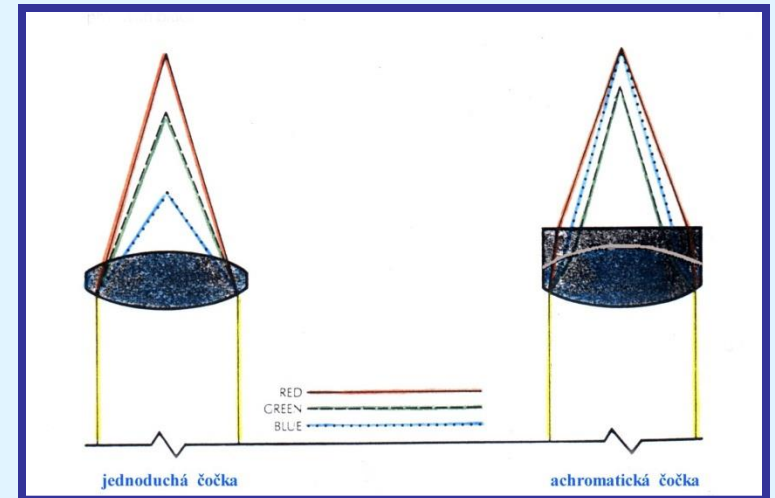


Typy objektivů z hlediska korekce vad:



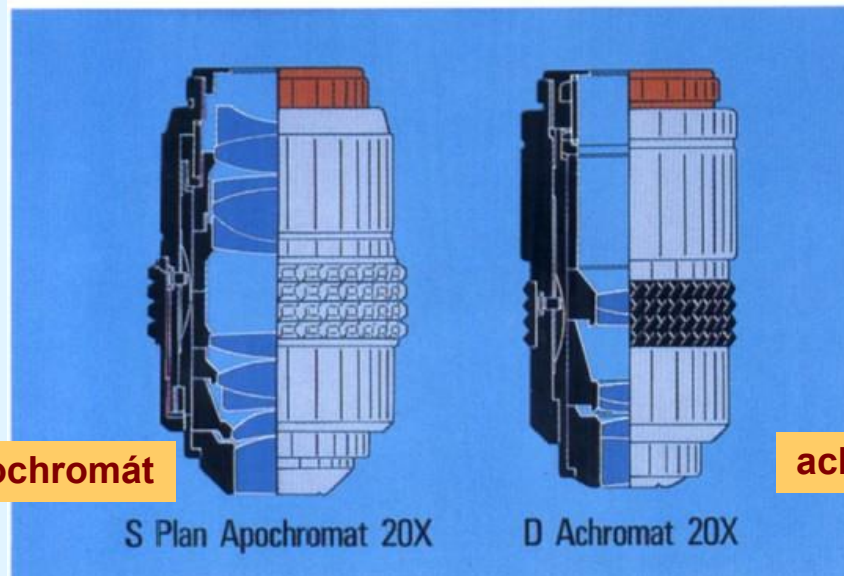
apochromatická čočka

Chromatická vada



jednoduchá
čočka

achromatická
čočka

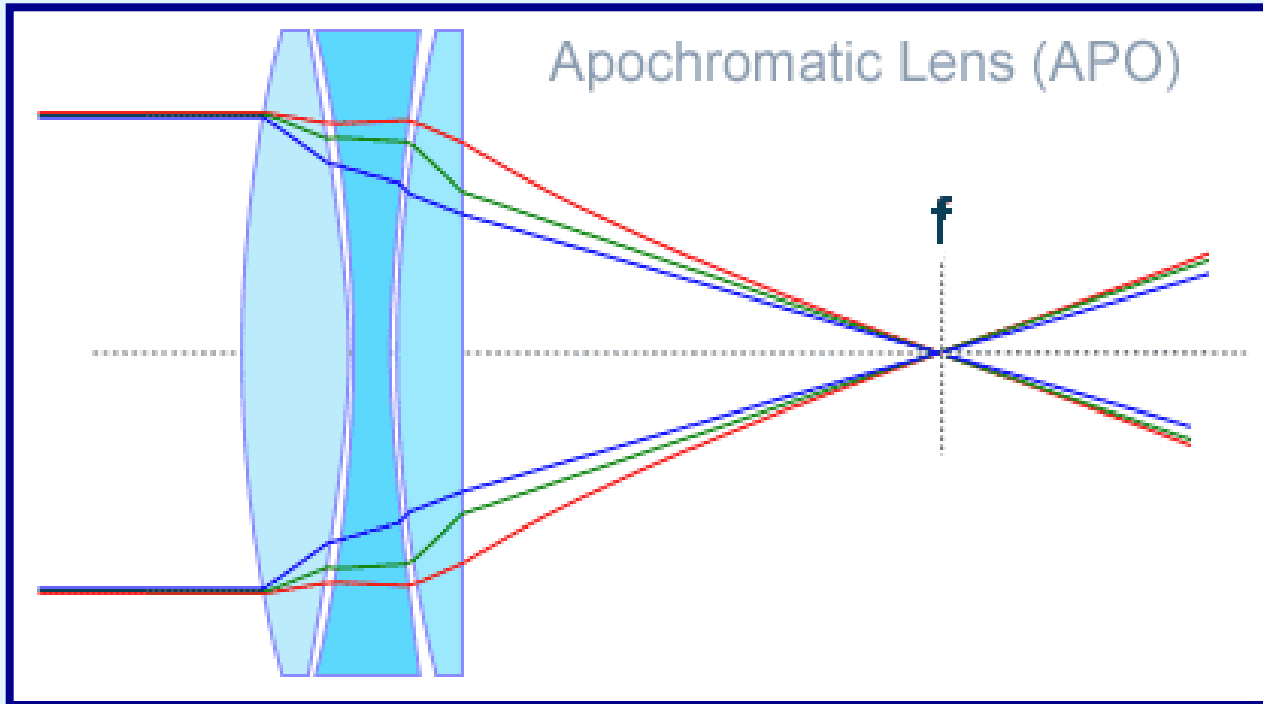


planapochromát

achromát

Obr. z Příručka Olympus

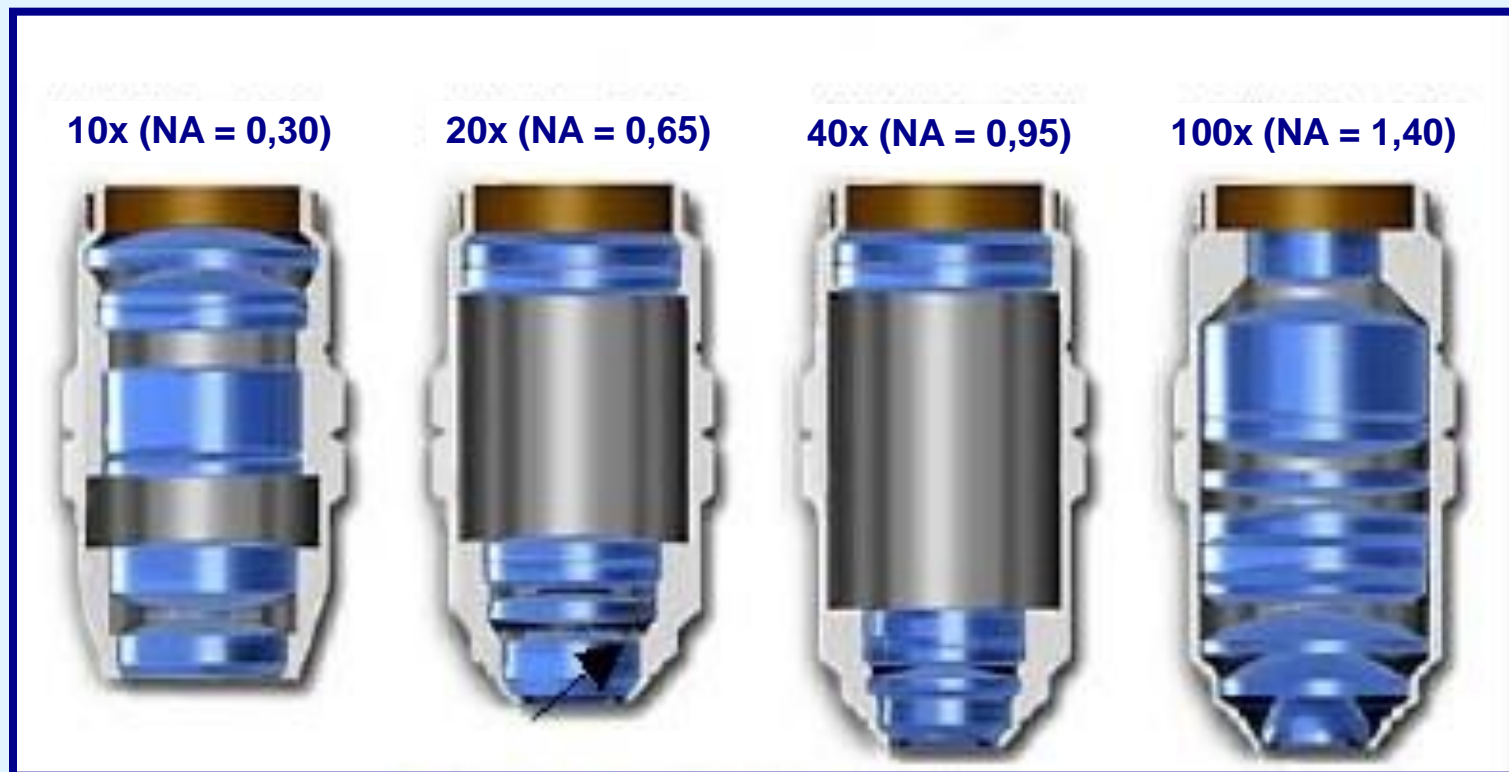
Korekce achromatické vady u apochromatické čočky:



Převzato z prezentace:

http://old.vscht.cz/nmr/mol_model_bioinfo/lekce/mikroskopie1.pdf

Skladba čoček u apochromatických objektivů



apochromáty

Základní typy objektivů z hlediska korekce vad:

- **achromáty** (Achro; A) - korekce barevné chromatické vady pro světlo červené a modré
- **planachromáty** (Plan Achro) – dtto* + odstranění sférické vady (vhodné pro mikrofotografii)
- **apochromáty** (Apo) – korekce pro světlo žluté, zelené, modré a červené, zorné pole **vyklenutější** (nevhodné pro černobílé mikrofoto, ale vhodné pro barevnou mikrofotografii a pro infračervené světlo)
- **planapochromáty** (Plan Apo) – **nejkvalitnější** odstraněna chromatická vada + sférická + koma

* dtto – z lat. detto = totéž, to samé

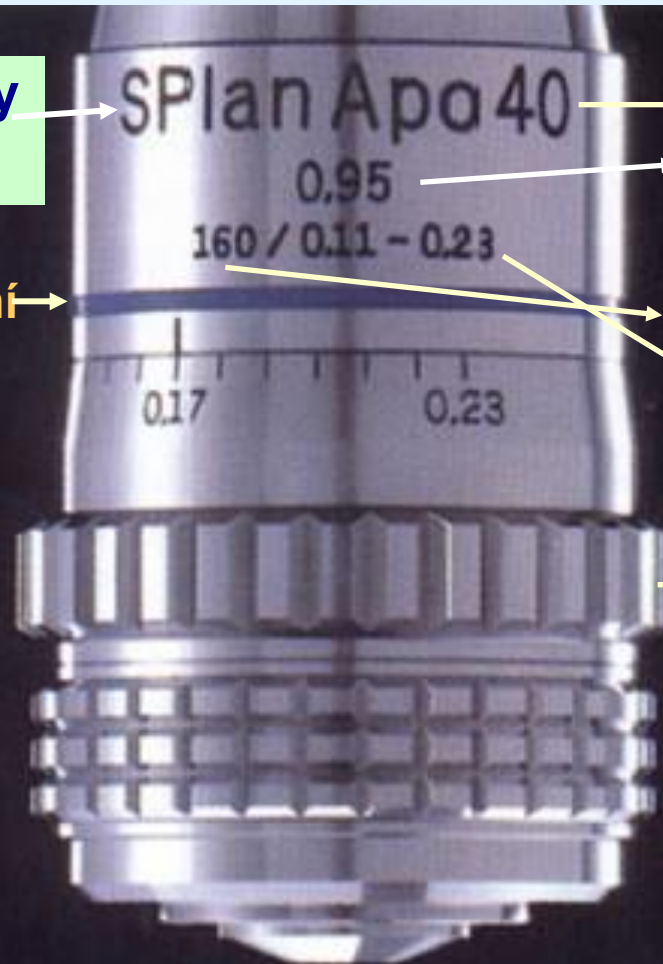
Další typy objektivů

- **monochromáty** – pro použití světla o určité λ (např. vhodné pro fluorescenční mikroskopy - křemenné čočky)
- **reflexní objektivy** (zrcadlové) – vhodné pro UV pozorování (výhody: velká pracovní vzdálenost, odstraněná chromatická vada, nejsou omezeny λ světla)
- **CF-objektivy** – zobrazují bez barevné vady zvětšení (chromatical aberration free)
- **širokoúhlé objektivy** - označení **W** nebo **WE** (wide z angl.) nebo **GF** (Grossfeld z němčiny) (achromáty, planachromáty nebo planapochromáty)

Důležité údaje na objektivu

Korekce optické vady
SPlan Apo*

Barevné označení
objektivu (zvětšení)



Typ objektivu/
zvětšení objektivu

Numerická apertura
(NA)

Délka tubusu (160)/
tloušťka KS

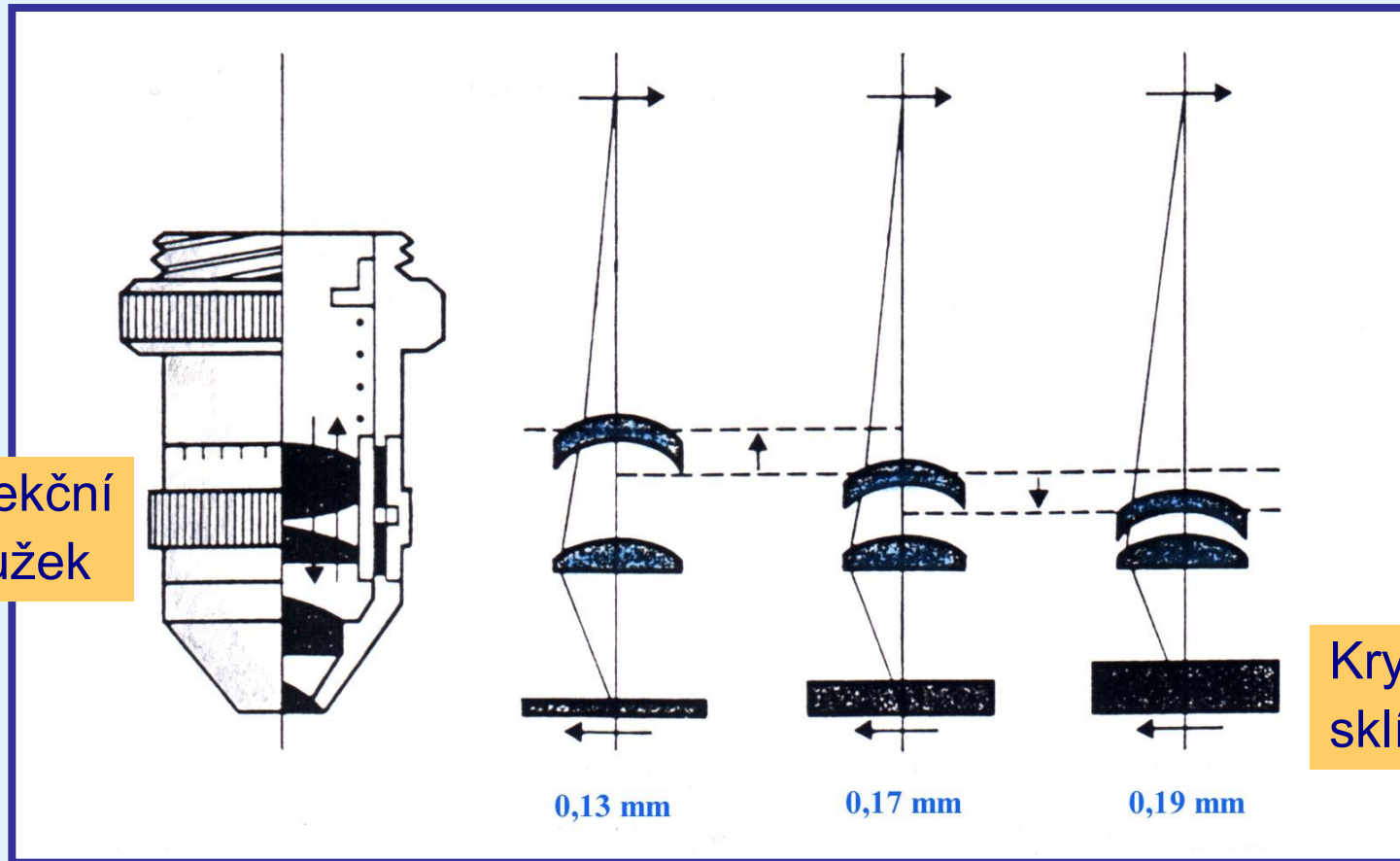
Korekční kroužek
(na korekci
tloušťky použitého
krycího skla)

* S = super; Plan Apo = planapochromatický objektiv

Funkce objektivu s korekčním kroužkem

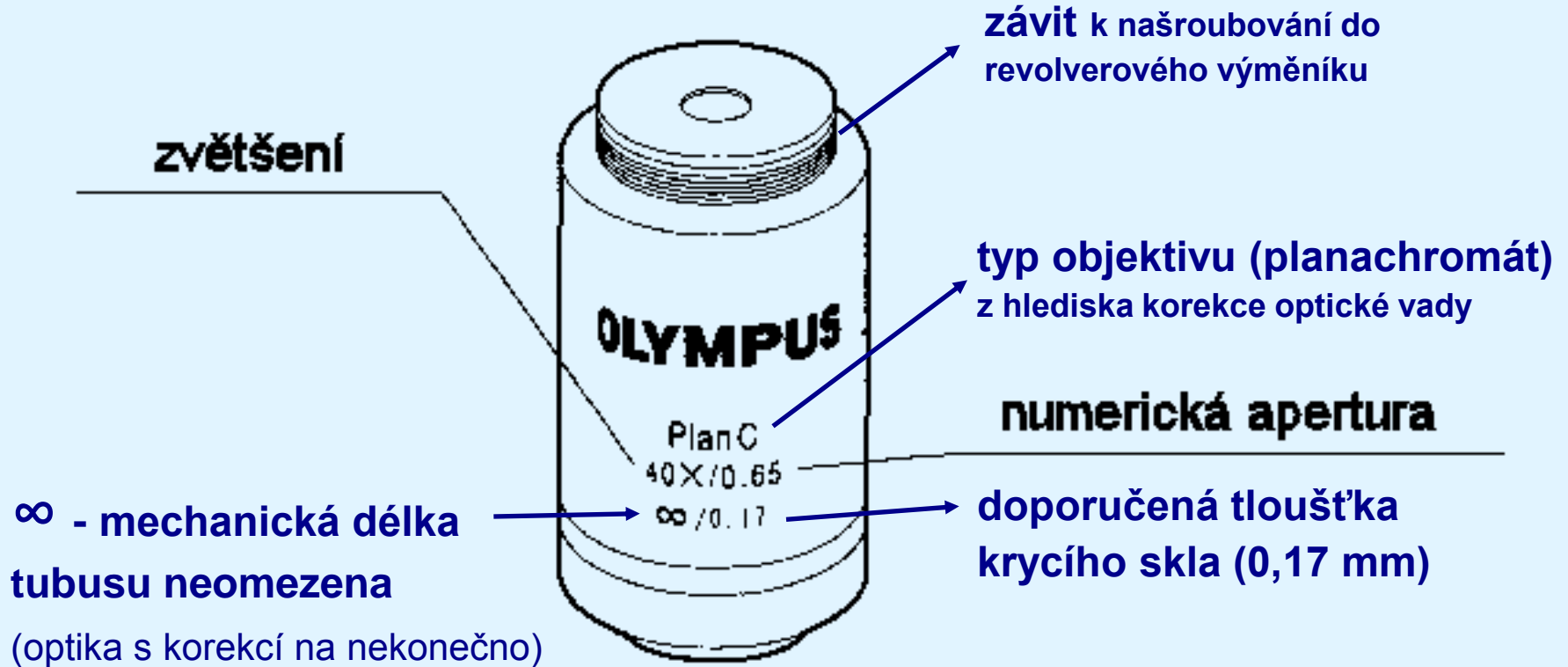
(korekce tloušťky použitého krycího skla)

Korekční kroužek

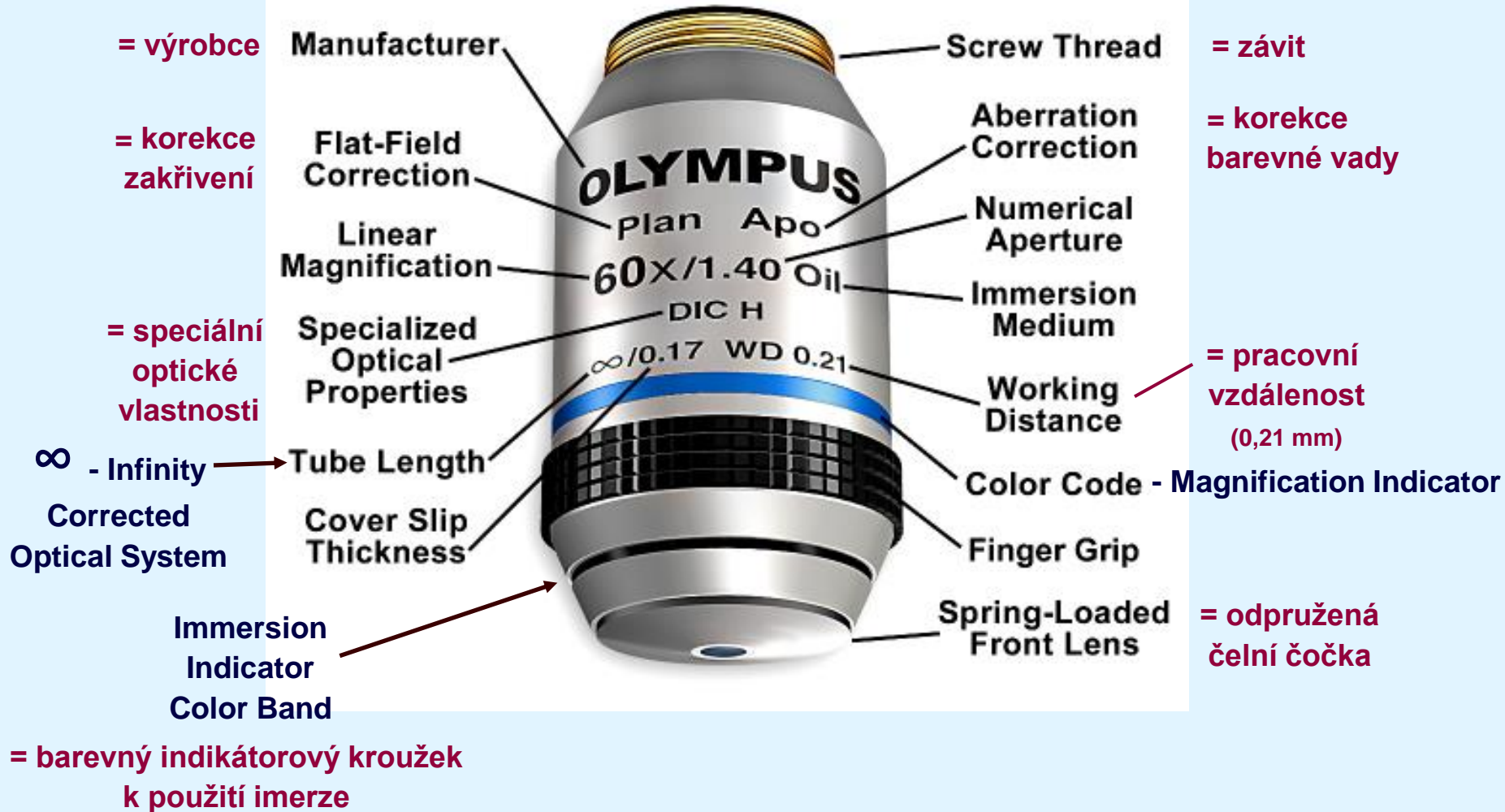


Krycí sklíčko

Objektiv firmy Olympus



Objective Specifications



Upraveno podle: <http://olympus.magnet.fsu.edu/primer/opticalmicroscopy.html>

Specifikace objektivů viz i <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/anatomy/specifications.html>

Objektivy u školního mikroskopu Olympus CHK2:

	E A4	E A10	E A20	E A40	E A100
NA*	0,10	0,25	0,40	0,65	1,25 oil
	160/ -	160/ -	160/ 0,17	160/ 0,17	160/ -
d	3,4 μm	1,3 μm	0,82 μm	0,52 μm	0,26 μm
WD	29 mm	6,3 mm	$\pm 0,86$ mm	0,53 mm	0,20 mm

červený

žlutý

zelený

modrý

bílý

Barevný kroužek na objektivu

(k rychlé orientaci zvětšení)

Parametry objektivu 100x u fluorescenčního mikroskopu BX60:

UPlanApo 100x/ 1,35 Oil Iris ∞ / 0,17

- * NA = numerická apertura
- d = rozlišení objektivu
- WD = pracovní vzdálenost
(= Working Distance)
- U = ultraviolet

Označení na objektivu zvětšujícím 4x:

E	= enlarge (angl.) = zvětšení
A	= typ odstraněné vady, achromát
4	= zvětšení objektivu (M)
0,10	= NA objektivu
160/ -	= délka tubusu 160 mm
/-	= preparát s krycím i bez krycího skla
∞/	= délka tubusu neomezena (optika s korekcí na nekonečno)
/0,17	= preparát s krycím sklem o předepsané tloušťce 0,17 mm
/0	= preparát bez krycího skla

Objektivy firmy Olympus:

UIS = objektivy s korekcí na nekonečno

PC = fázový kontrast

NC = No Cover – pro preparáty bez krycího skla

pol = polarizační objektiv

firma Nikon:

CFI60

DL, DM

NCG

P

Nikon: Použití optiky CFI60 (s korekcí na nekonečno)

Schéma dráhy světelných paprsků

označení ∞

Výhody:

- prodloužení délky tubusu
vkládání přídatných zařízení
(epifluorescence, DIC, polarizace)
- delší pracovní vzdálenost
a vyšší NA objektivů
- komfort při dlouhodobém
mikroskopování

tubusová čočka

Primární obrazová rovina

tubusová čočka
bez zbytkové chromatické vady

primární obrazová rovina

analýzátor
vložené moduly
(dělič paprsků)

zrcadlo

šoupátko/analýzátor

tubusová čočka

zavěrný
infračervený filtr

epifluorescenční
blok

analýzátor

šoupátko DIC

1 2 3

kolektorová čočka epifluorescence
bez zbytkové chromatické vady

objektiv CFI60
bez zbytkové chromatické vady

parkofální vzdálenost: 60 mm

nejširší rozsah zvětšení:
0,5x – 100x

numerická apertura:
0,02 – 1,4

preparát

kondenzor

preparát

① polní clona

② aperturní clona

③ 3 šoupátka
s neutrálně šedými (ND)
nebo excitačními filtry

delší pracovní vzdálenost

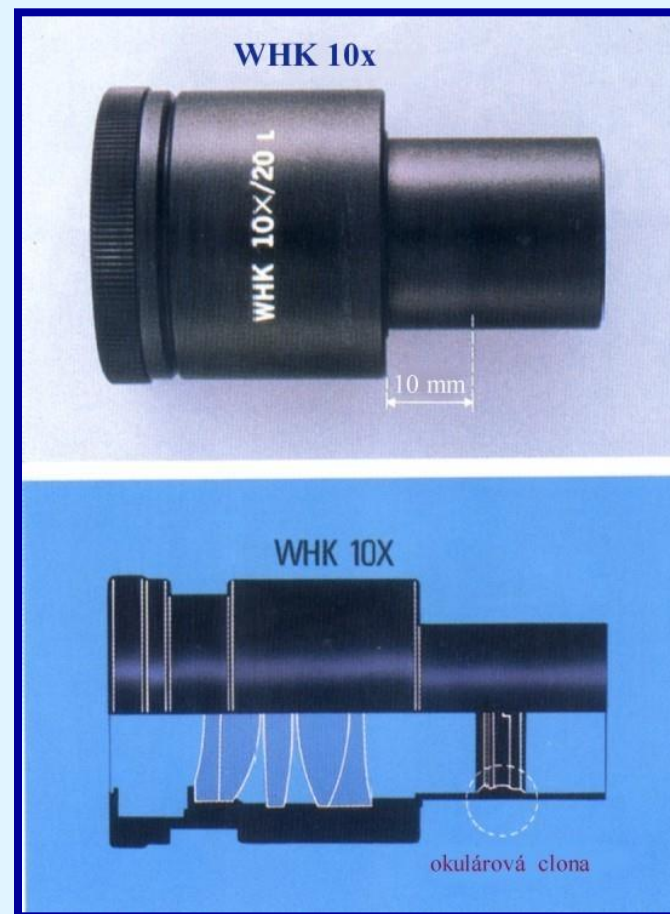
↑ delší paralelní
optická dráha

↓ vyšší optický
výkon

■ Okulár

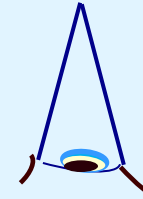
(lat. *oculus* = oko)

= optická soustava,
která zvětšuje obraz
vytvořený objektivem



Okulár (OK):

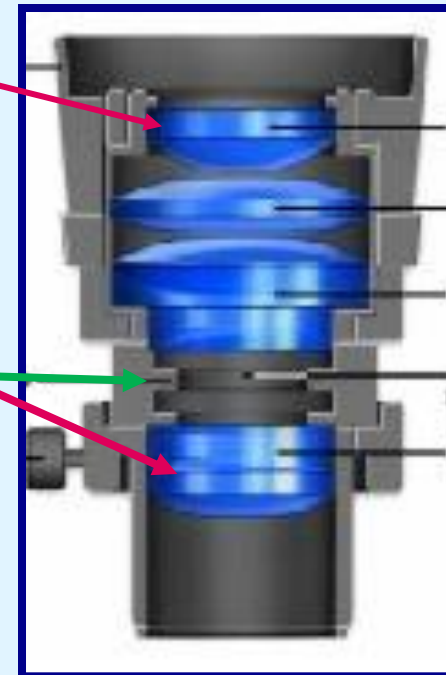
oko v horním ohnisku OK



- **čočka očníková (frontální)**
blíže k oku

- **čočka sběrná (kolektivní)**
blíže k objektu

- **kruhová clona mezi
čočkami**

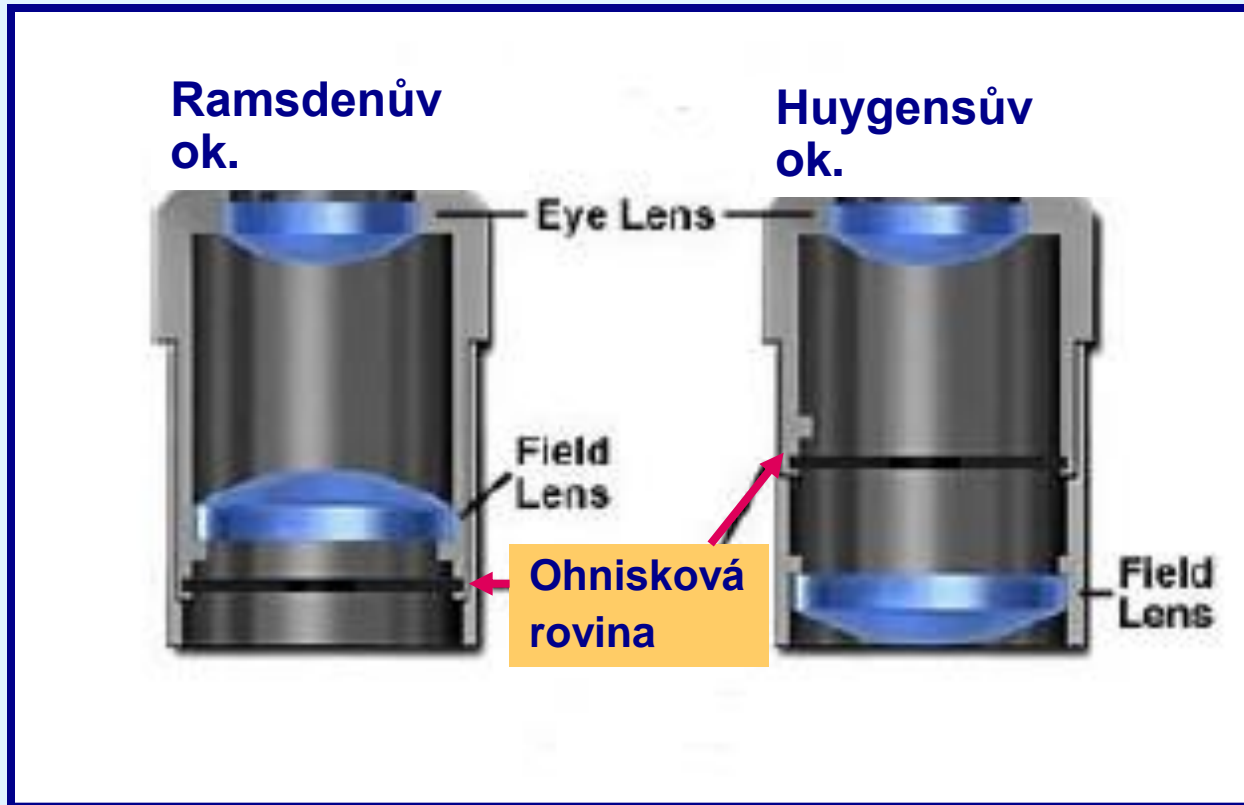


Zvětšení okuláru

(větš. 5 – 25x) je tzv. **prázdné**

Okuláry jednoduché

Liší se umístěním ohniskové roviny,
kde se tvoří obraz z objektivu



Dvě ploskovypuklé čočky

Typy okulárů

Huygensův okulár

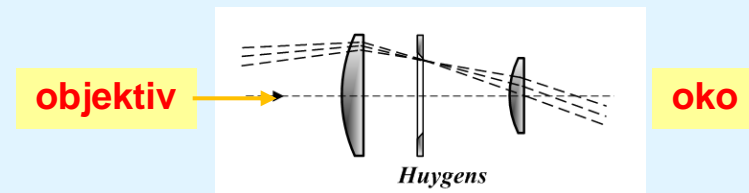
[hajchenzův]

- obecný typ (levný)
- nekoriguje zvětšení
- obrazové pole zklenuté
- vhodný pro práci se středně silnými achromáty při vizuálním pozorování
- nelze použít jako čočku
- nevhodný pro mikrofotografii

Christian Huygens (1629-1695)

dánský matematik a fyzik, současník Leeuwenhoeka

- zdokonalil čočky v dalekohledu (objevil Saturnovy prstence)
- formuloval vlnovou teorii světla
- objevil polarizaci světla

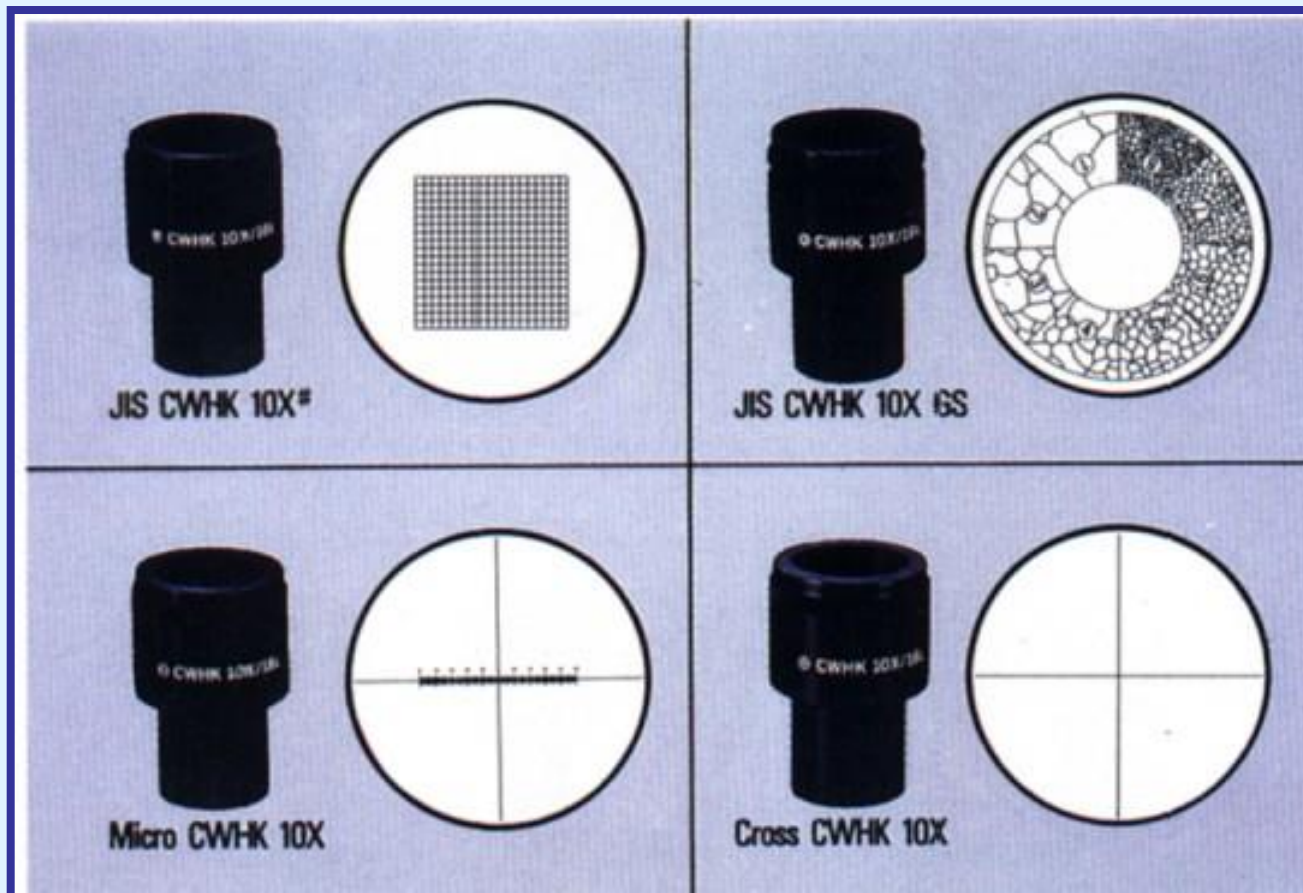


https://cs.wikipedia.org/wiki/Okul%C3%A1r#/media/File:Huygens_1703.png

Typy okulárů:

- **kompensační okuláry** - konstrukce okulárů tak, aby korigovaly vady objektivů
- **periskopické** (periplanatické, orthoskopické) zorné pole téměř rovné
- speciální okuláry - **polarizační, spektroskopické, projekční ...**
- **pankratický** okulárový systém
 - plynulé zvětšování objektivního obrazu
- **ukazovací okulár** (označení U)
- **měřicí okulár** (M) - se zabudovaným okulárovým měřítkem mezi sběrnou a oční čočkou
- okulár s **kroužkem dioptrické korekce**

Různé typy okulárů s vloženými měřicími rastry (umístěné v ohniskové rovině okulárů)



Označení okulárů:

školní mikroskop Olympus CHK2: **WHK 10x -T/18 L**
fluorescenční mikroskop BX60: **WH10x/22**

A = obecný okulár bez barevné vady velikosti

K, C = okulár s kompenzačním účinkem

(má opačnou barevnou vadu velikosti než objektiv, takže ji vyrovnává)

P = planokulár bez barevné vady velikosti, širokoúhlý

Pk = planokulár s kompenzačním účinkem

W n. WE n. WF = wide field = širokoúhlý

H = high point – tzv. vysoký oční bod

(výhodné pro lidi s brýlemi, ale brýle nejsou nutné)

- **Objektivy a okuláry
od různých výrobců
nekombinujeme !!!**

Čištění čoček u mikroskopu



<http://www.mikroskopy-arsenal.cz/servis-a-opravy-mikroskopu/jak-cistit-mikroskop/>



Zvětšení mikroskopu (M)

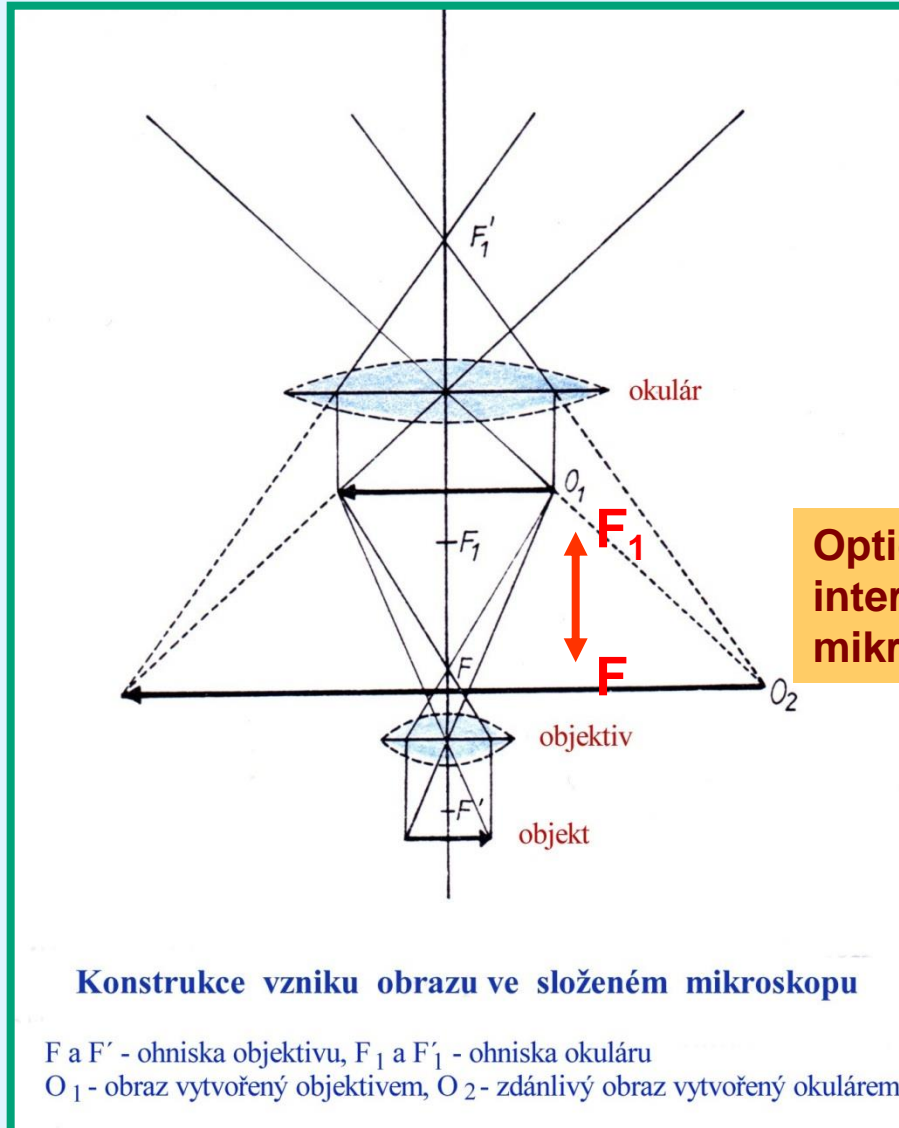
$$M = \frac{D \cdot 250}{f_1 \cdot f_2}$$

- D** = optická délka tubusu (často Δ)
(tj. vzdálenost zadního ohniska objektivu od předního ohniska okuláru; tzv. **optický interval**)
- 250** = normální zraková délka (250 mm)
- f_1** = ohnisková vzdálenost objektivu (v mm)
- f_2** = ohnisková vzdálenost okuláru (v mm)

V praxi: celkové zvětšení mikroskopu:
M = zvětšení okuláru . zvětšení objektivu

Optický interval mikroskopu (D ; Δ)

= vzdálenost zadního ohniska objektivu (F) od předního ohniska okuláru (F_1)

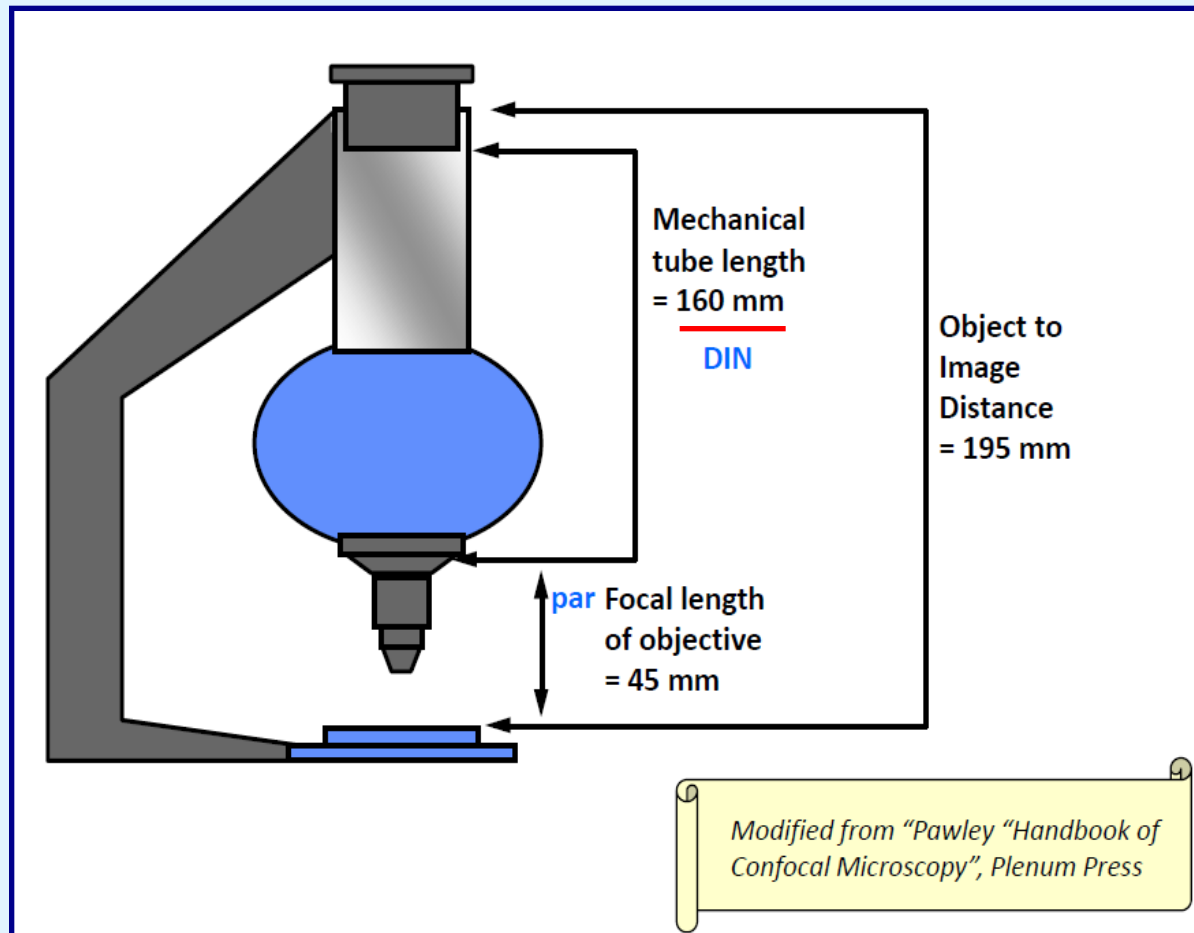


Optický interval mikroskopu

Pozn.: neplést s mechanickou délkou tubusu (viz dále)

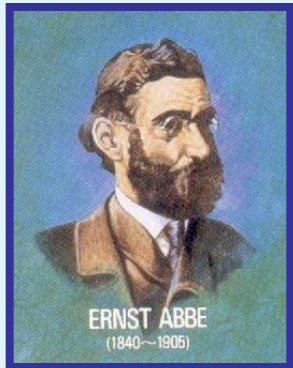
Mechanická délka tubusu

= vzdálenost dosedací plochy objektivu od dosedací plochy okuláru



Užitečné zvětšení mikroskopu (Z)

- souvisí s rozlišovací schopností oka (tj. $d = 0,15 \text{ mm}$) a odvozuje se od hodnoty numerické apertury objektivu, platí:



$$Z = 500 \cdot NA_{\text{obj}} \text{ až } 1\,000 \cdot NA_{\text{obj}}$$

Příklad: u obj. 100x s imerzí o $NA = 1,25$

$$Z = 625x - 1\,250x$$

Praxe:

- pro objekty se středním kontrastem $Z = 500 \cdot NA_{\text{obj}}$
- u vysoce kontrastních objektů $Z = \text{až } 1\,000 \cdot NA_{\text{obj}}$
(např. ve zbarvených preparátech)

Odvození užitečného zvětšení (Z):

(Protože lidské oko má omezenou rozlišovací schopnost, zvětšení by mělo být zvoleno tak, aby detaily obrazu byly stále okem rozlišitelné.)

$$Z = \frac{0,15 \text{ mm}}{d} = \frac{0,15}{\lambda}$$
$$0,61 \cdot \frac{\lambda}{NA}$$

$$Z = \frac{0,15 \text{ mm}}{d} = \frac{NA \cdot 0,15}{0,61 \cdot \lambda}$$

λ = pro bílé světlo
je 0,00055 mm

$$Z = 447 \cdot NA$$

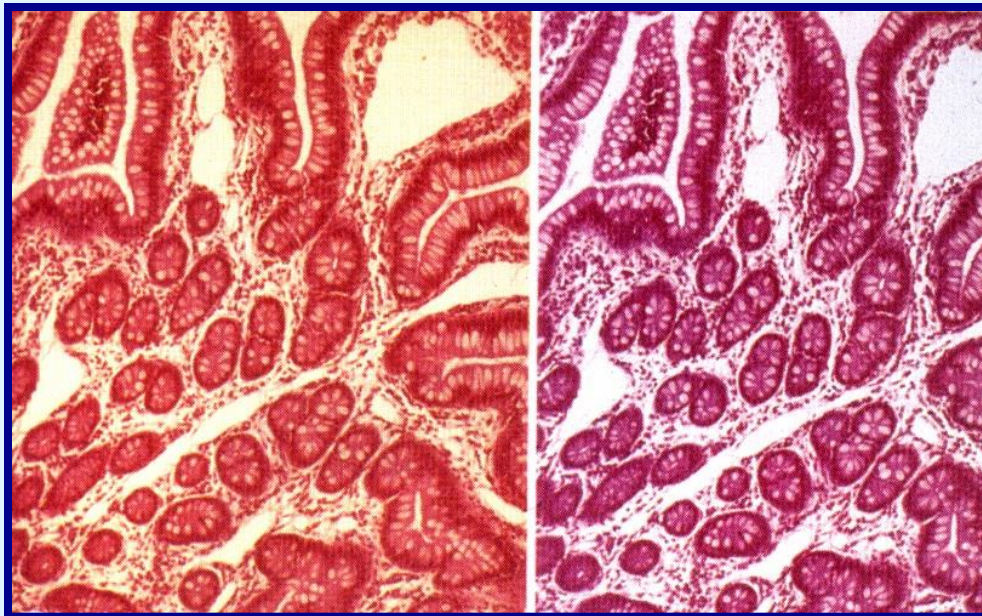
■ Optické filtry

matné skleněné filtry různé hustoty

→ rovnoměrně osvětlené zorné pole o vhodné světelnosti

neutrální filtr: snižuje intenzitu světla, spektrum nemění

světle modrý filtr: žárovkové světlo → denní (bílé)



**Světle modrý
filtr**

■ Optické filtry

žlutozelený filtr – použití s achromáty

- interferenční žlutozelený filtr propouští jen světlo těch vlnových délek (červené, modré), pro kterou jsou objektivy korigovány

filtry pro fluorescenci – excitační a bariérové, dichroické (jiná barva pro odražené a propuštěné světlo)

polarizační filtr → polarizace světla

filtry v mikrofotografii - zlepšení kvality černobílých snímků



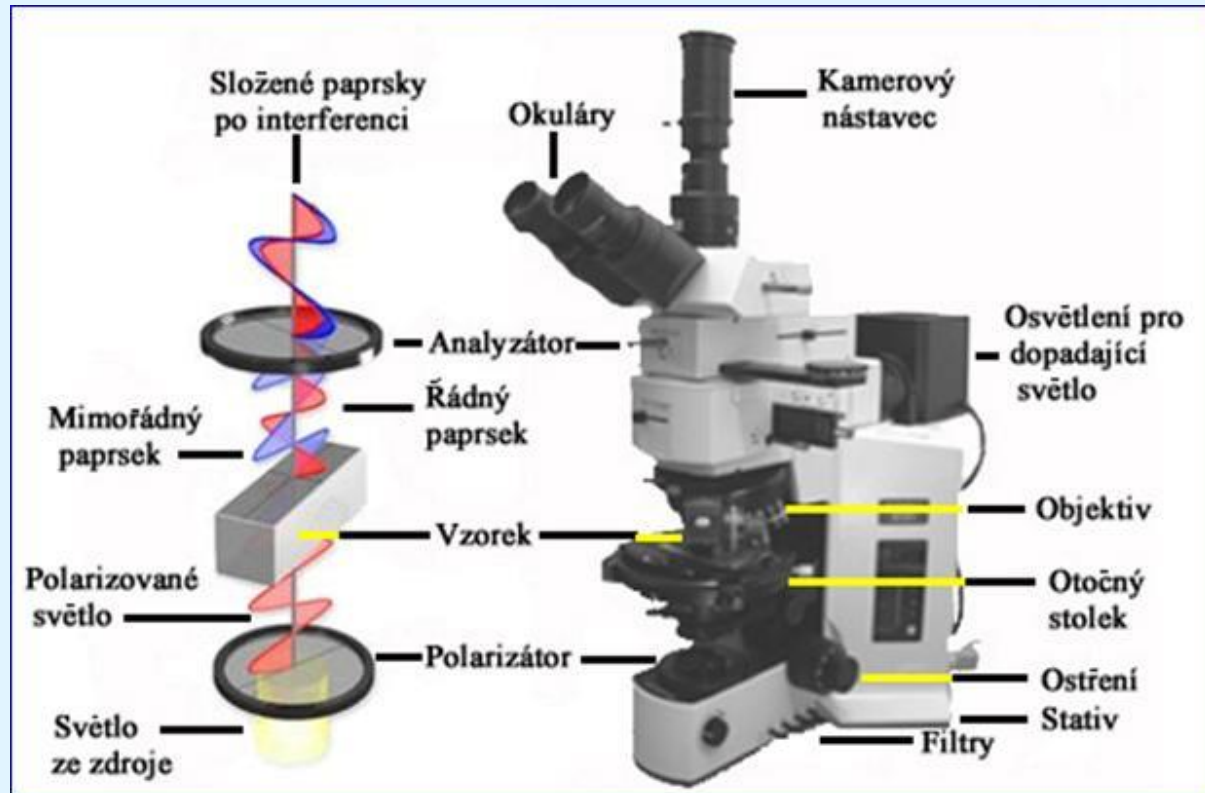
<http://www.dalekohledy-mikroskopy.cz/produkt/mikroskopy/polarizacni-filtr-2>

■ Optické filtry

Polarizační filtry:

Slouží k polarizaci světla (polarizátor) a analýze (analyzátor)

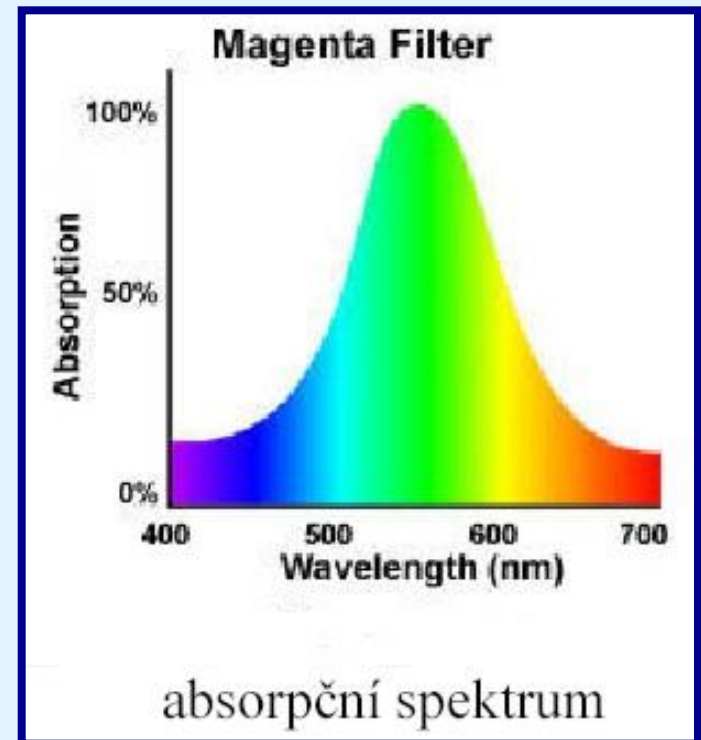
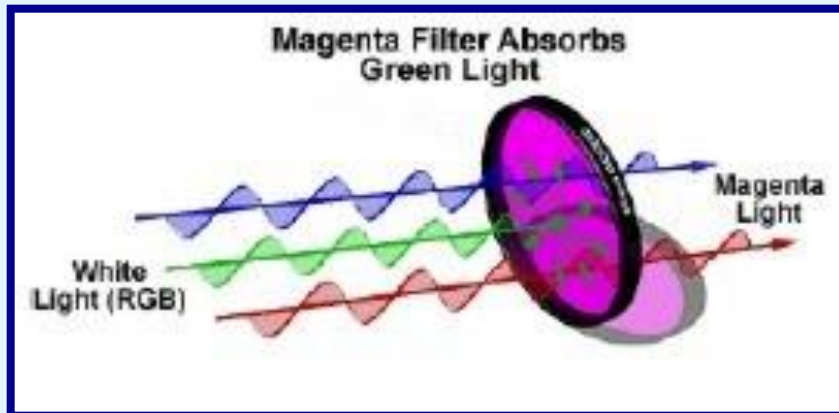
Polarizační mikroskop



■ Optické filtry

Absorpční filtry:

purpurový (magenta *) – absorpce zelené složky světla, selektivní propustnost pro červené a modré světlo → fialová barva

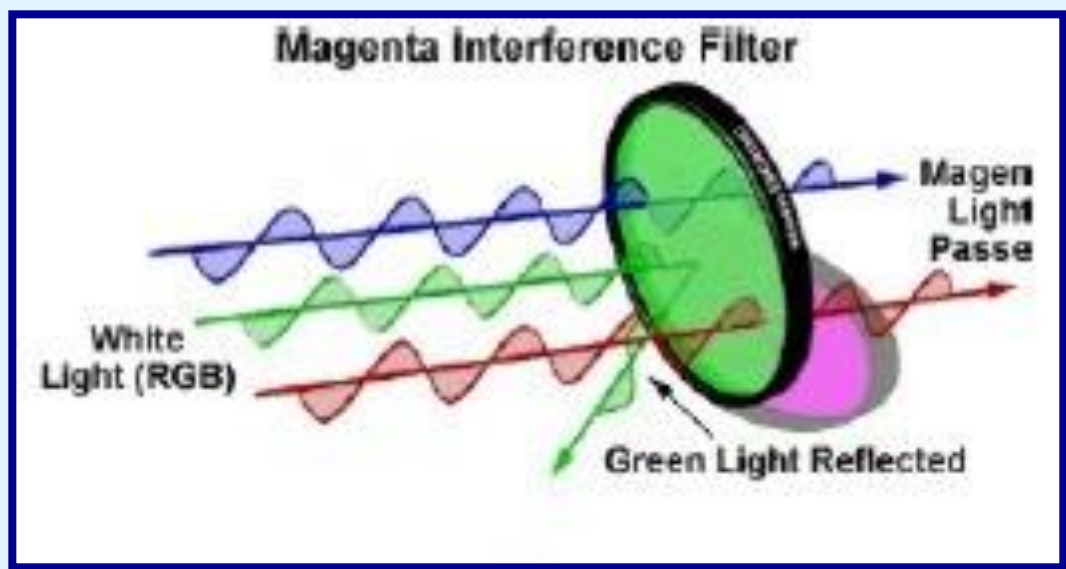


* Magenta = purpurová barva; jedna ze složek při subtraktivním míšení barev při tisku (CMYK vs. RGB u monitorů, TV)

■ Optické filtry

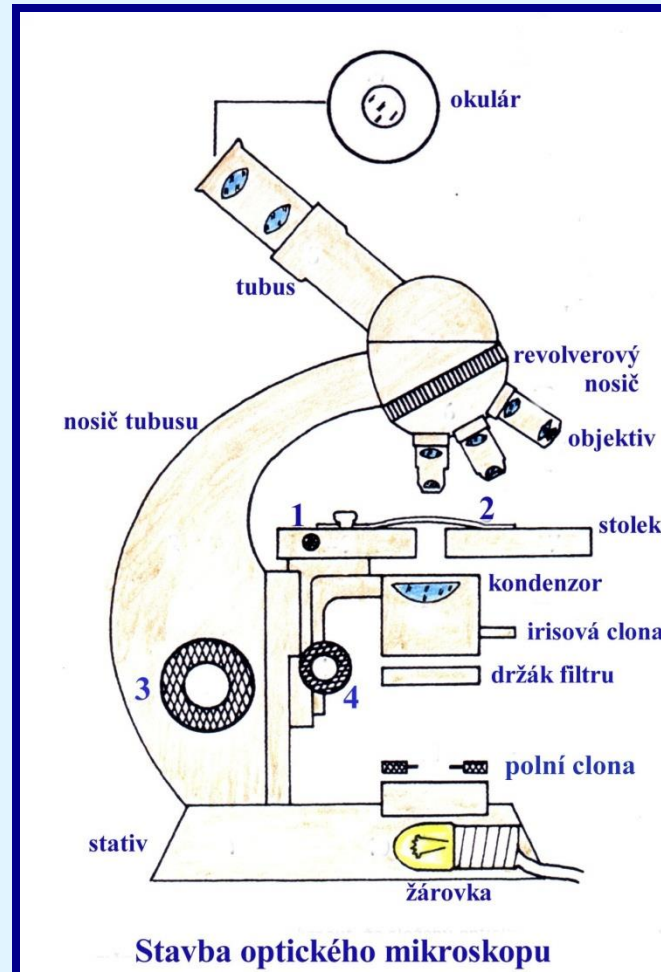
Interferenční filtry:

Odrazem a vícenásobnou interferencí potlačují nežádoucí vlnovou délku



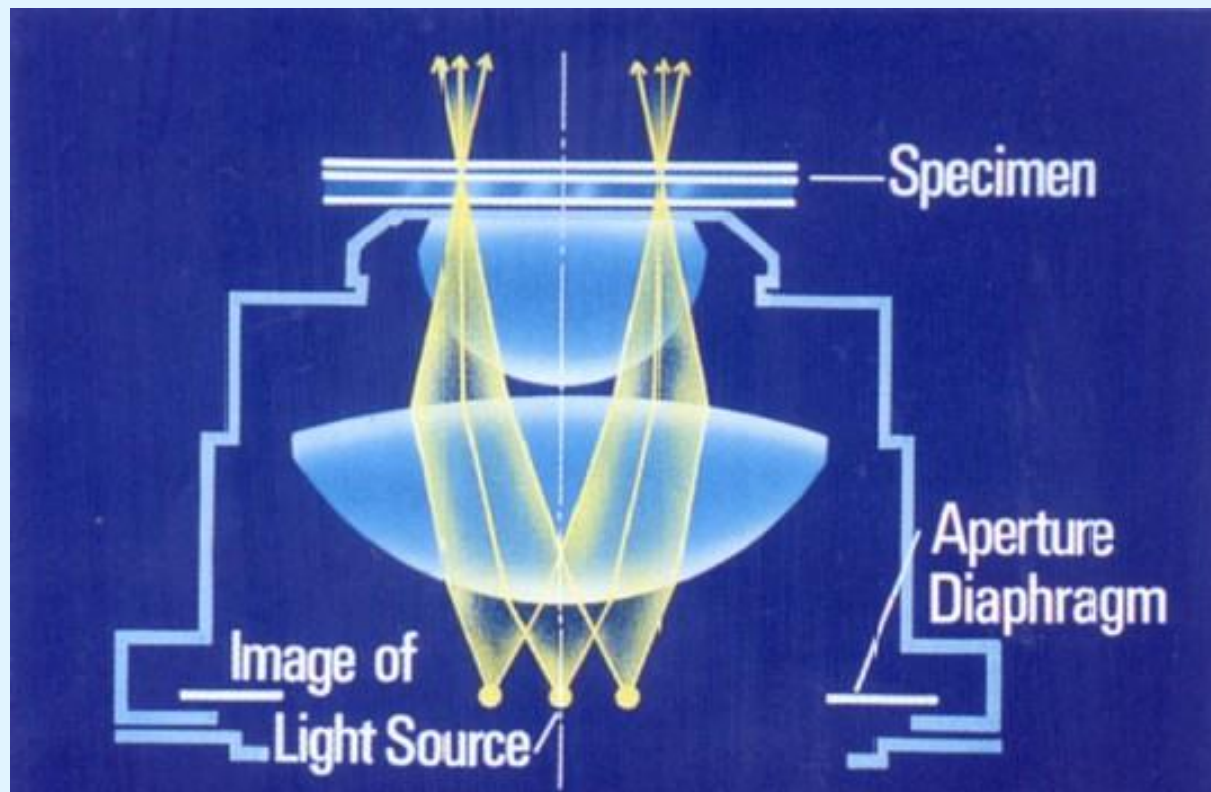
Osvětlovací zařízení:

- kondenzor
- zdroj světla



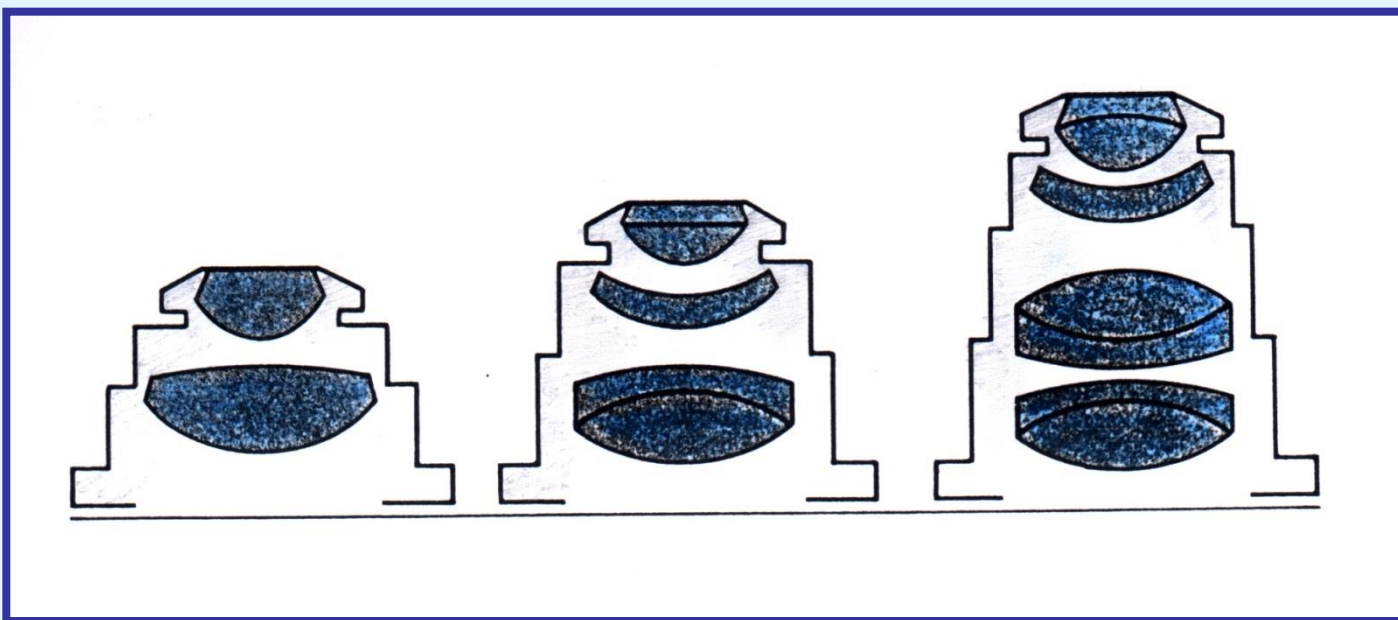
■ Kondenzor

- soustřeďuje paprsky tak, aby bylo dokonale osvětleno celé zorné pole



Kondenzor

- soustava čoček s krátkou ohniskovou vzdáleností
(průměr čoček větší, barevná a sférická vada neodstraněna)
- v podstatě obrácený objektiv nahoře s plankonvexní čočkou



**Abbeho
k.**

**Aplanatický
k.**

**Aplanatický
achromatický**

Apertura kondenzoru

- Apertura (NA) kondenzoru má být shodná s aperturou objektivu

(pankratický kondenzor – plynulá změna apertury od 0,16 do 1,4 v souhlase s použitým objektivem)

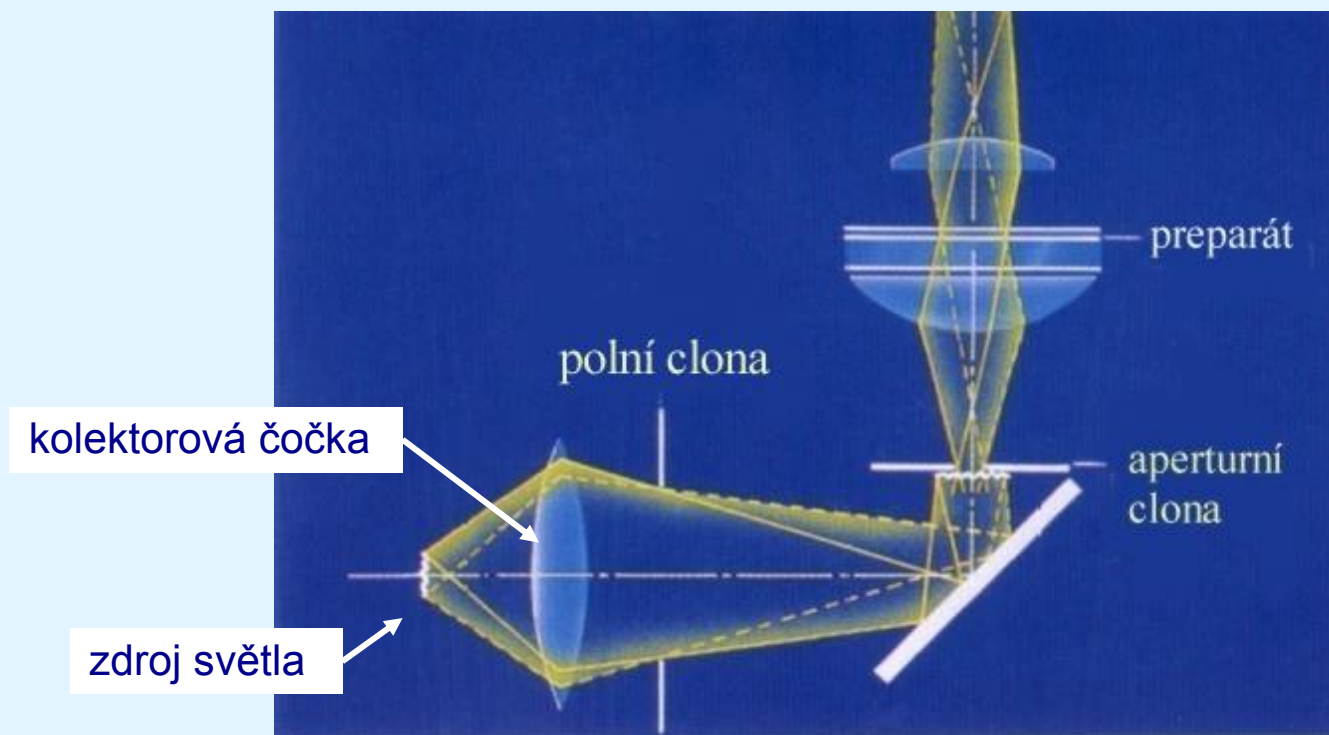
- různé typy kondenzorů – revolverový úchyt
- speciální kondenzory (fázový kontrast, fluorescence, zástin, polarizace)

Clony u kondenzoru

regulace množství světla,
přicházejícího do mikroskopu:

polní clona — blíže zdroje světla

irisová (aperturní) clona — pod kondenzorem



Cloněním ovlivňujeme:

- **kontrast**
- **hloubku ostrosti**
- **rozlišení podrobností**
- **jas**

Jednotlivé parametry nelze nastavit nezávisle.

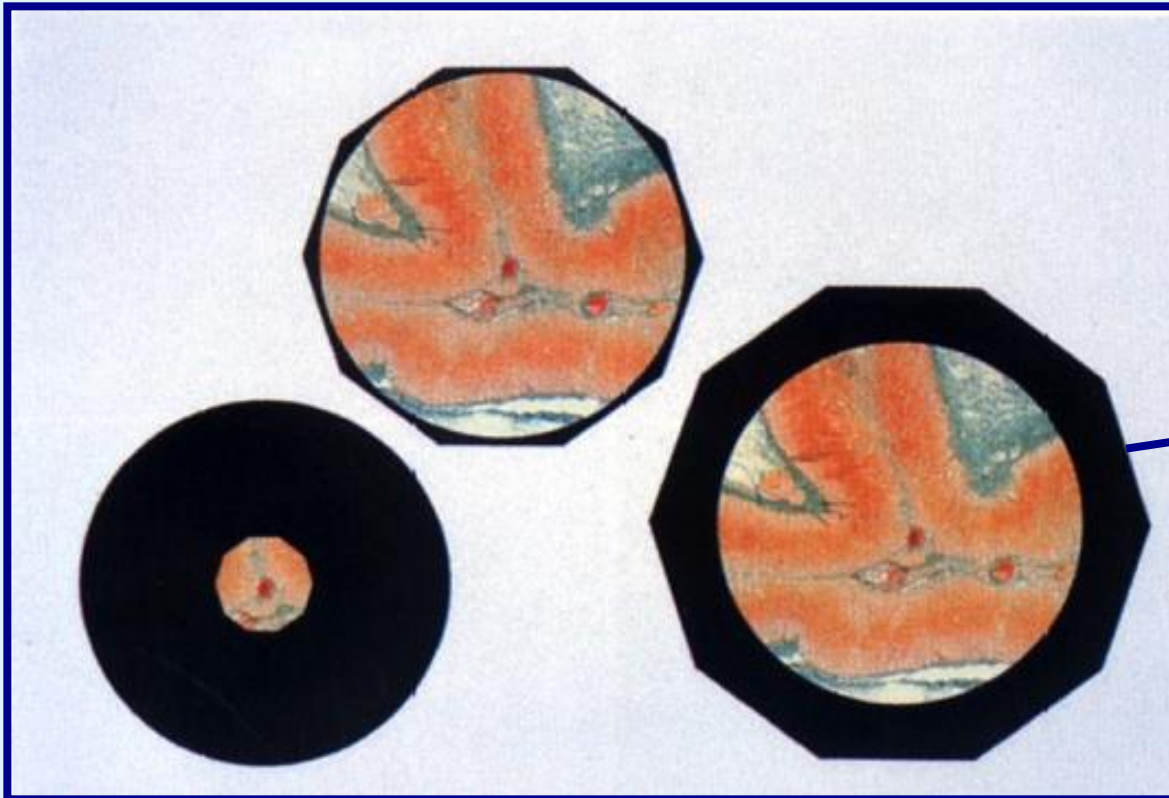
Parametry mikroskopického obrazu v závislosti na otevření aperturní clony:

Aperturní clona kondenzoru	Kontrast	Hloubka ostrosti	Rozlišení	Jas
zcela otevřená	malý	malá	velké	velký
zcela zacloněná	velký	velká	malé	malý

Světelnost (jas) regulujeme pomocí matných filtrů nebo snížením proudu v lampě (regulátorem osvětlení)

Nejlepší rozlišení – $NA_{obj} = NA_{kond}$

Pokud NA kondenzoru je nižší, tak zúžíme kužel světla vrhaného kondenzorem na objekt pomocí irisové clony kondenzoru



**Optimální nastavení
aperturní clony:
70 - 80 % numerické
apertury objektivu**

Význam clonění

Při nadměrném přiclonění:

- kolem struktur vznikají světlé **lemy** (výsledek ohybu světla) a jsou zobrazeny nečistoty v různých výškách média

Nedostatečné přiclonění:

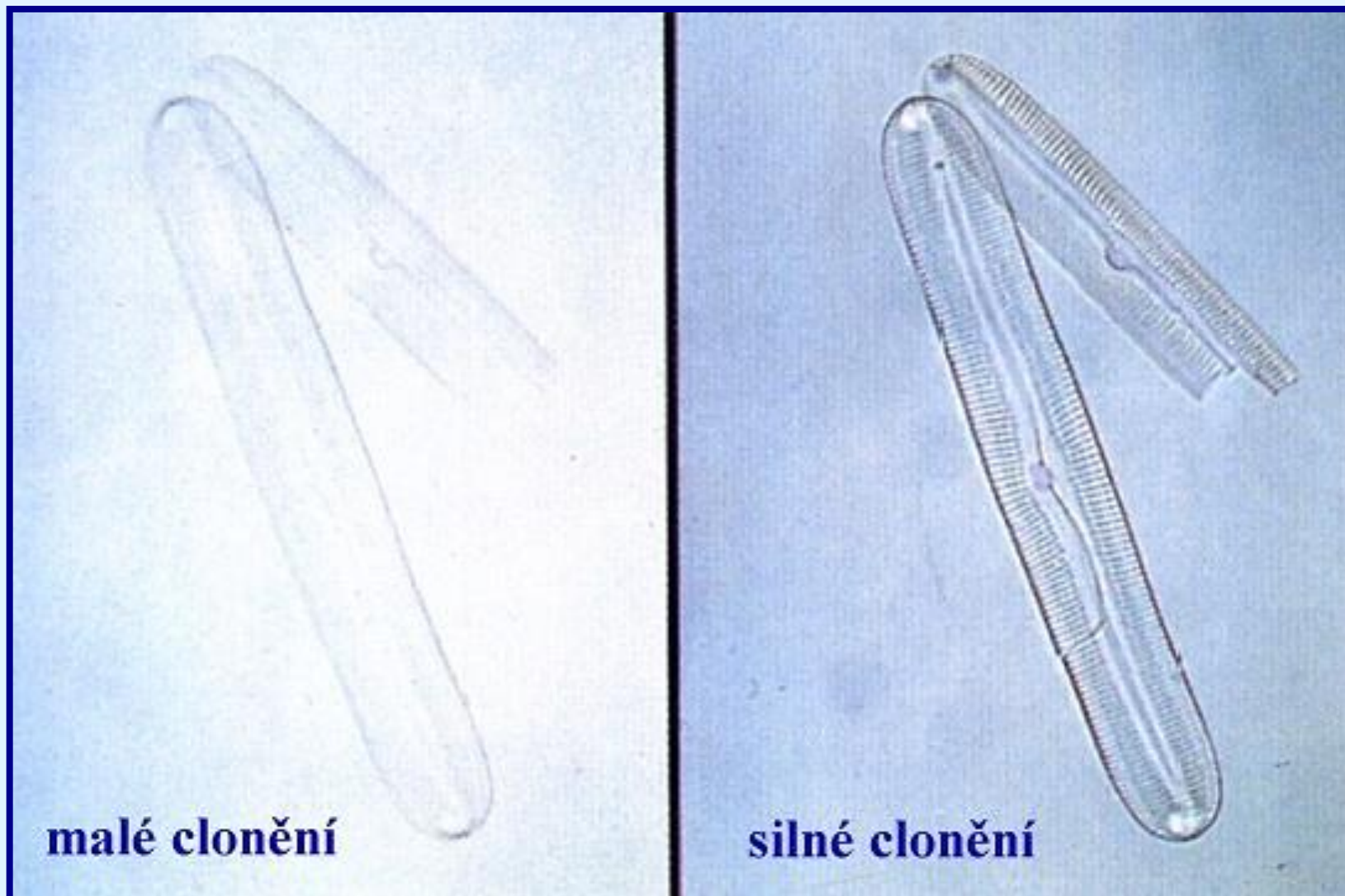
- **přesvětlení objektu** → zmenšení kontrastu a hloubky ostrosti

(při přesvětlení se objekt stává mnohdy neviditelným !!!)



**Pro každý objekt upravujeme
aperturu (irisovou clonu)
kondenzoru zvlášť !!!**

Příklad clonění (rozsivka)

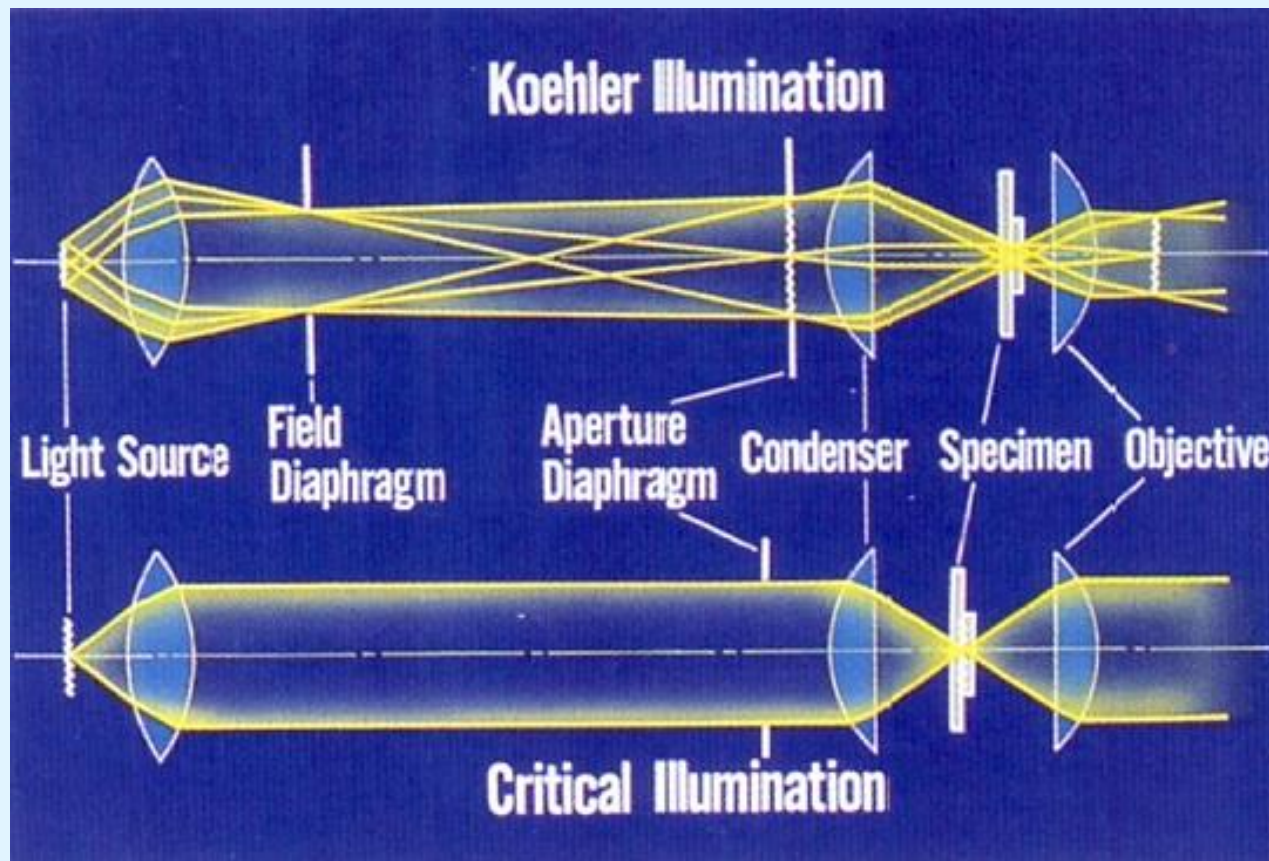


malé clonění

silné clonění

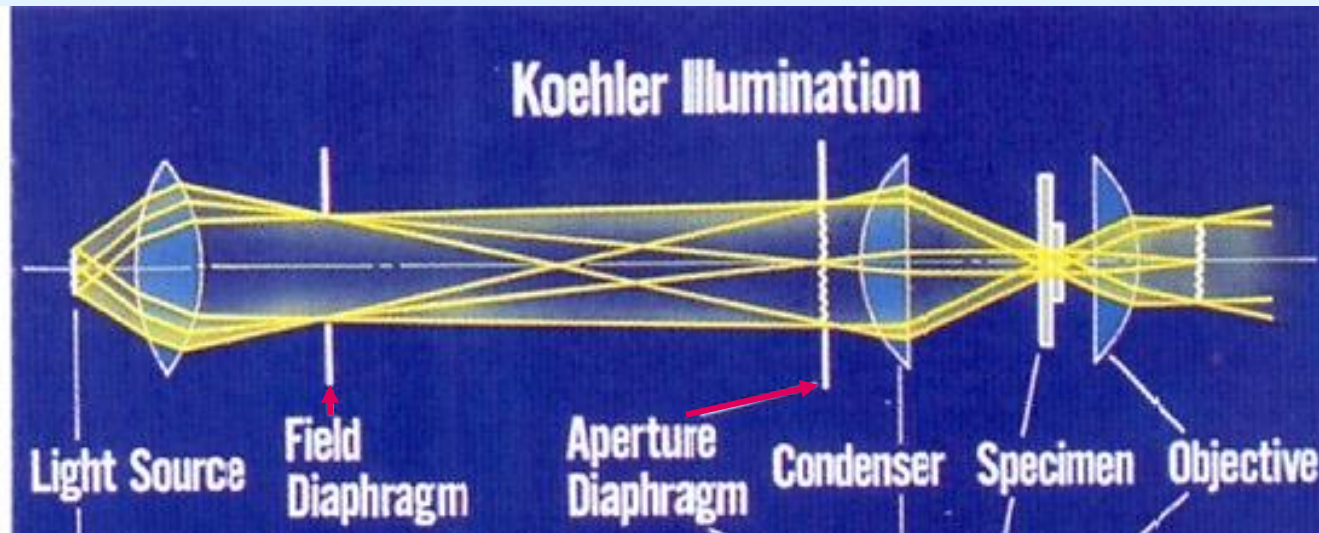
Köhlerovo osvětlení

= soustředění (centrace) světelného zdroje a clon doprostřed zorného pole



Köhlerovo osvětlení

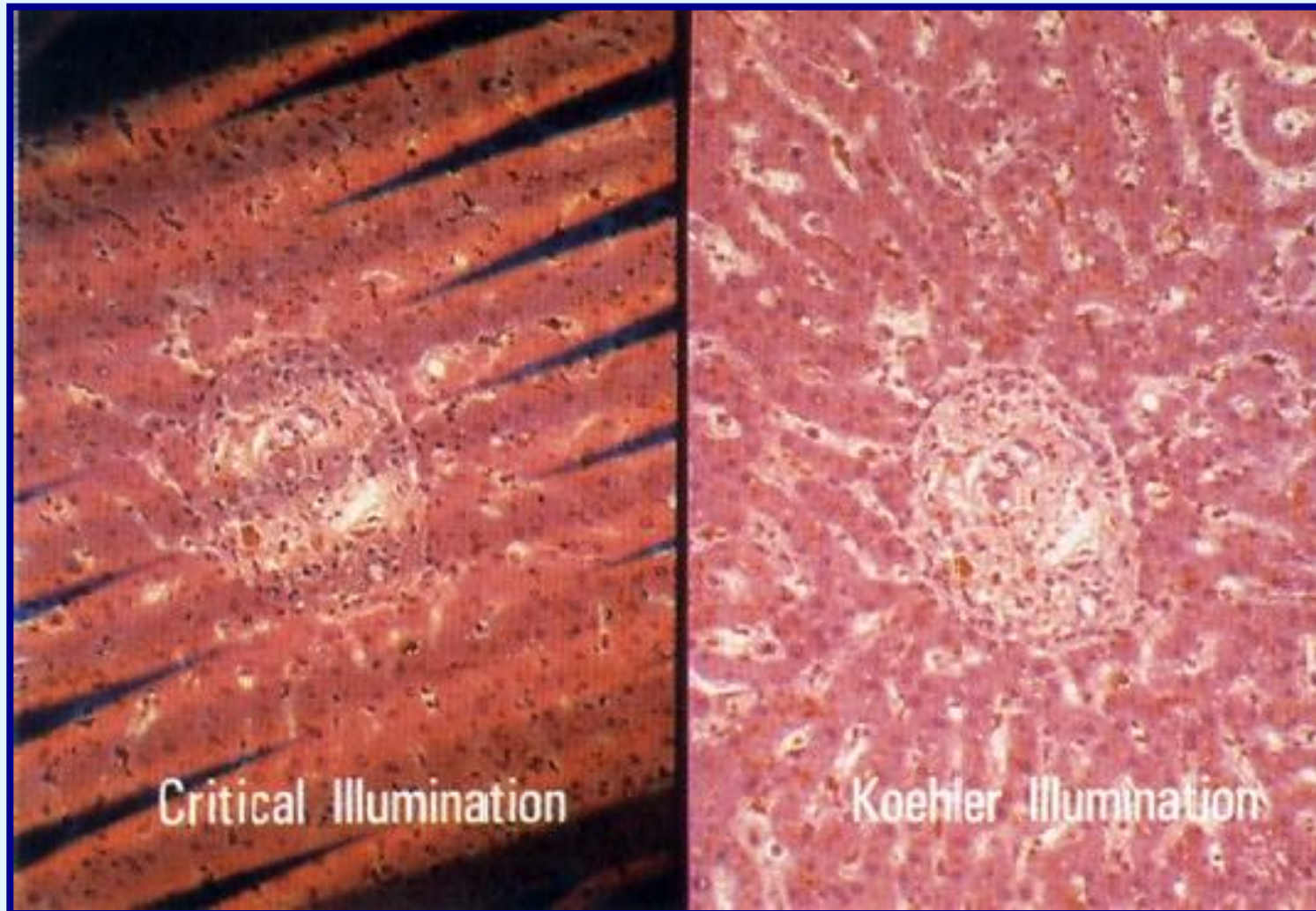
Při tomto osvětlení zobrazuje kondenzor clonu zdroje světla (polní clonu) do předměťové roviny objektivu a kondenzorová clona (irisová) reguluje světelný tok tak, že je osvětlené pouze zorné pole mikroskopu.



polní clona

aperturní
(irisová) clona

Kritické a Köhlerovo osvětlení



▪ Zdroje světla pro mikroskopii

- **denní světlo** (nestálá barva a intenzita)
- **60 až 100 W žárovky z mléčného skla**
většinou wolframové vlákno o barevné teplotě 3 200 K
(používání namodralého kobaltového filtru k přeměně na denní světlo)
- **halogenové žárovky nebo lampy**
wolfram s parami jodu; světelný výkon 4x větší než klasická žárovka; **pozor na otisky rukou na žárovce!!!**
- **LED* diodové osvětlení** (životnost až 50 000 hod)
- **vysokotlaké rtuťové výbojky** - pro UV (fluorescence)
zvláštní napájení; **pozor na zapínání a vypínání výbojky**
- **lasery**** (viz např. laserová konfokální mikroskopie)
- **vláknová optika** – viz „husí krky“ u stereolupy

* LED = zkratka z Light Emitting Diode

** LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Zdroje světla pro mikroskopy



12 V

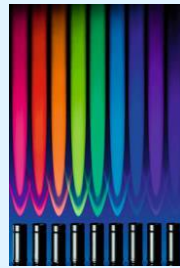
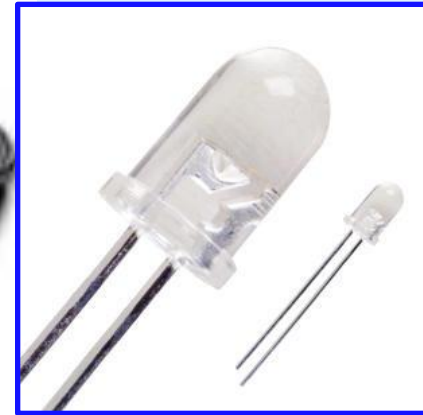
6 V

6-30 V

**Halogenová
žárovka**

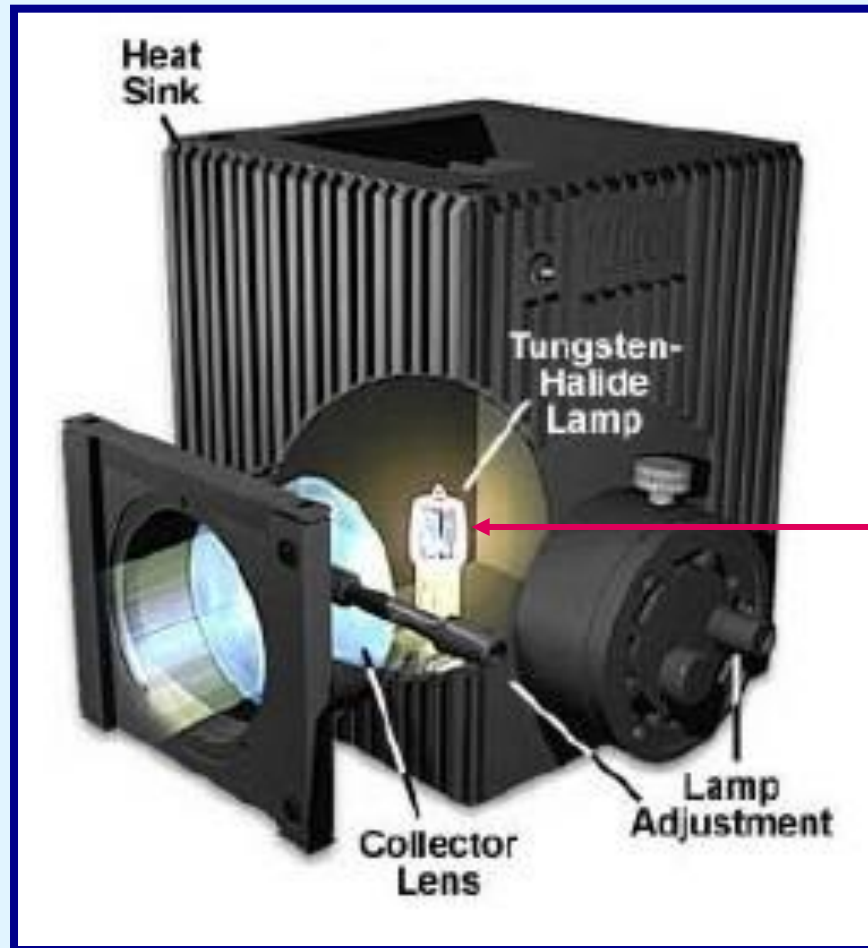
**Žárovka
s odrazným
zrcátkem**

Led dioda
(Light Emitting Diode)



+ Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

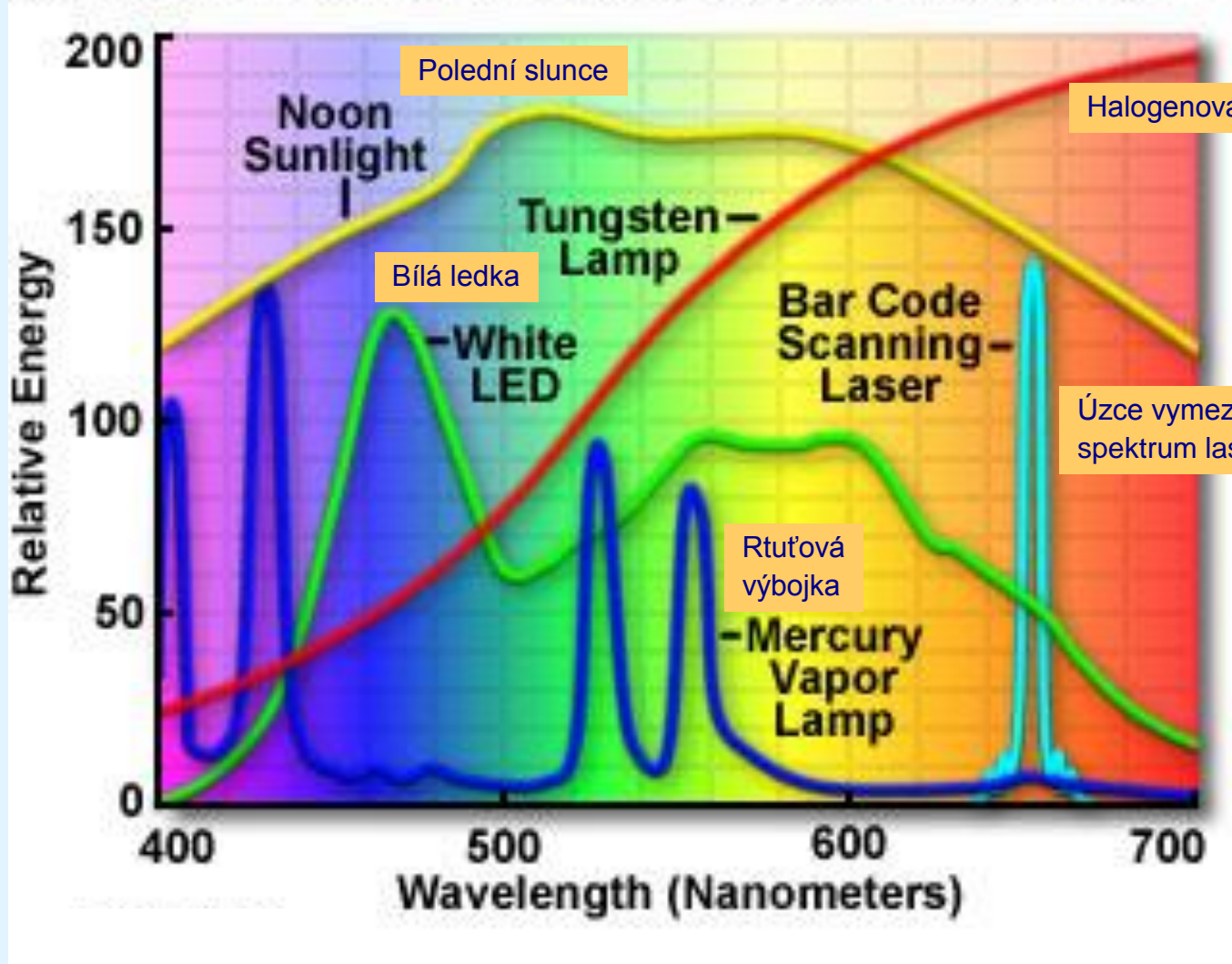
Halogenová lampa



**Pozor na otisky
prstů na halogenové
žárovce !!!**

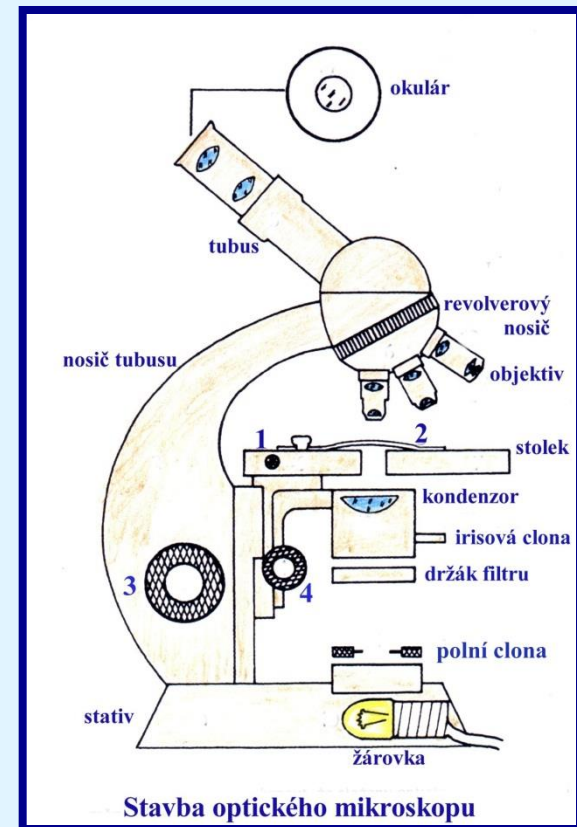
Spektra zdrojů světla pro mikroskopii

Spectra From Common Sources of Visible Light



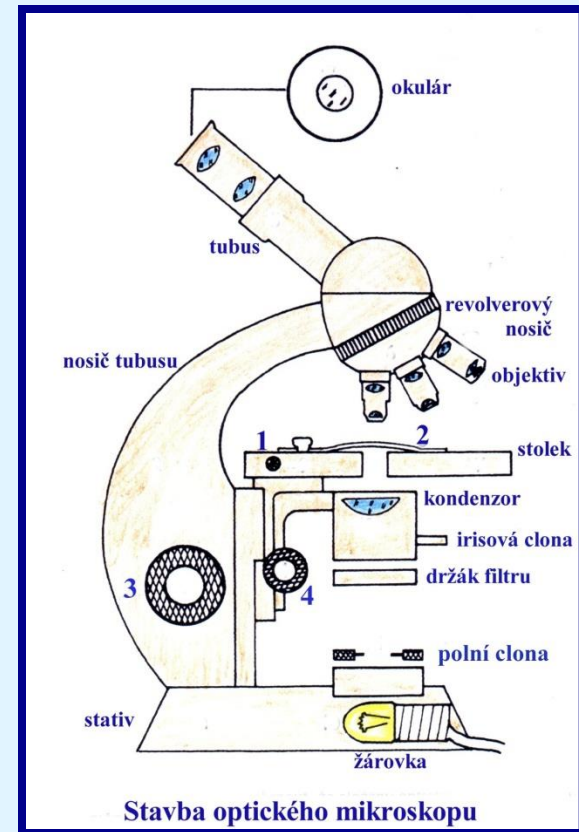
Mechanické části mikroskopu

- stativ
- tubus
- zaostřovací zařízení
- stolek



■ Stativ

- podstavec se zabudovaným osvětlením
- nosič tubusu
- ovládací šrouby posunů
- v noze různé filtry



■ Tubus

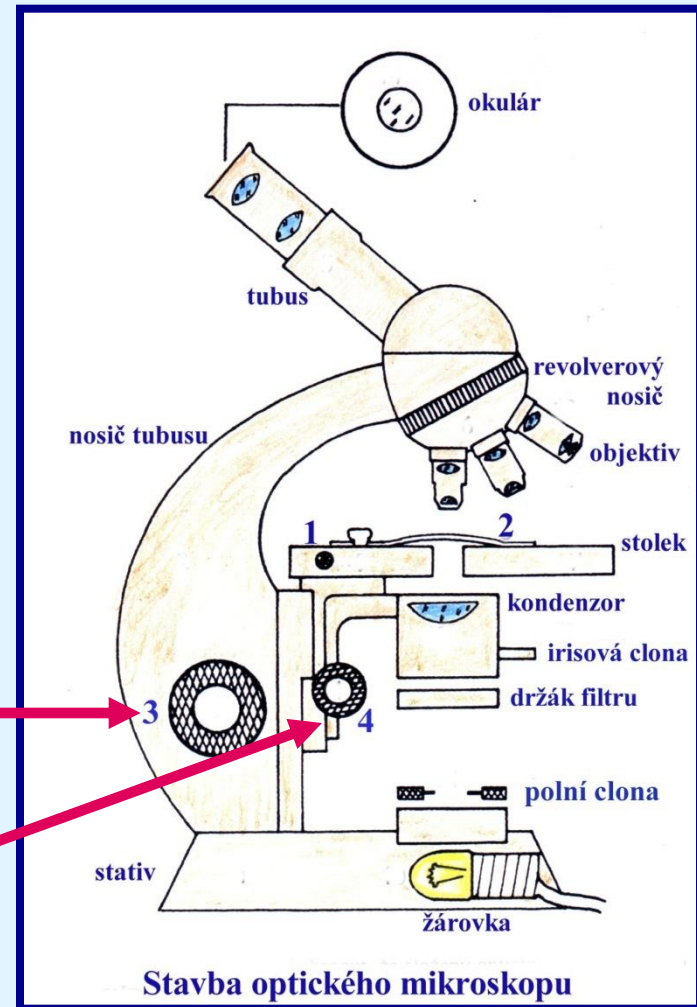
- trubice spojující objektiv a okulár
- normalizovaná mechanická délka je **160 mm** nebo **170 mm** (u anglických mikroskopů 250; délku tubusu je třeba dodržovat)
- **různá délka** tubusu mikroskopů s objektivy korigovanými na nekonečno (UIS, CFI60)
- **revolverové zařízení** (k rychlé výměně objektivů)
- **sáňkové měniče objektivů** (pro speciální účely a mikrofotografii)
- **monokulární** (přímý a nebo šikmý)
- **binokulární** (rozděluje svazek paprsků, stavitelný oční rozestup, dioptrické doostřování jedné okulárové hlavice)

■ Zaostřovací zařízení (viz 3, 4)

- šroub pro hrubý posun
- šroub pro jemný posun (mikrometrický)
 - měřítko s údaji o velikosti posunu
 - měření tloušťky preparátů

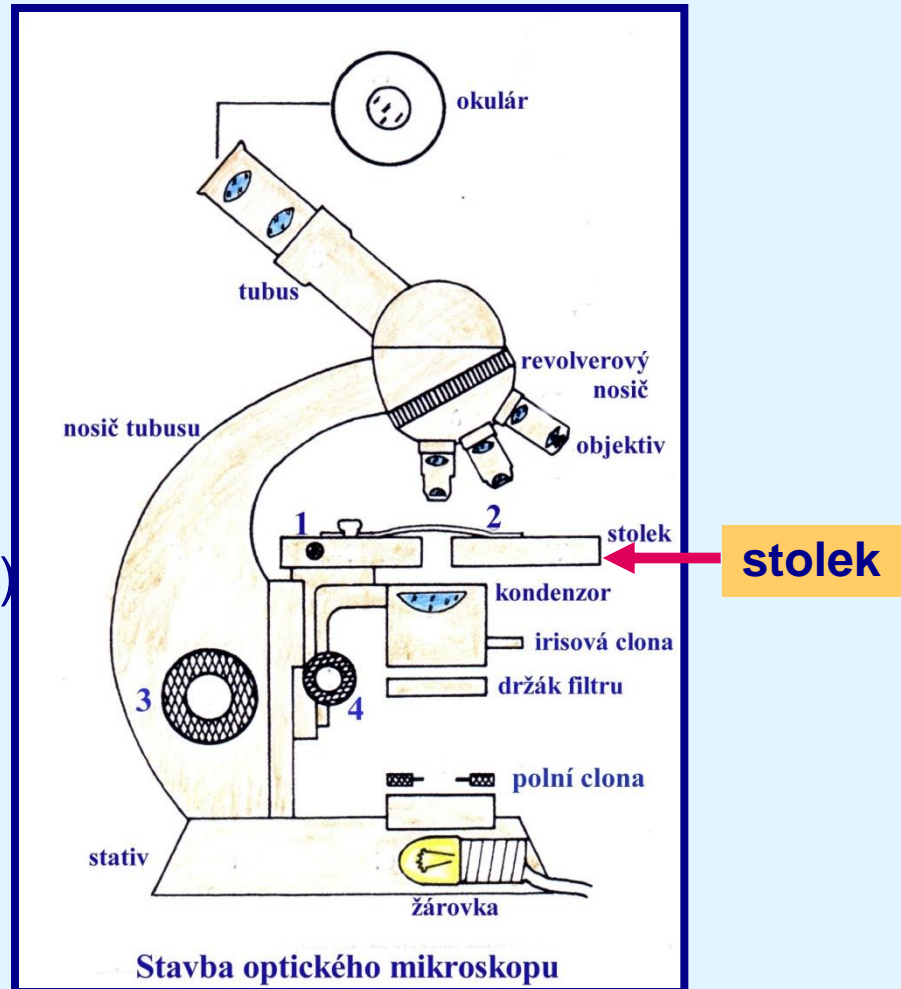
makrošroub

mikrošroub

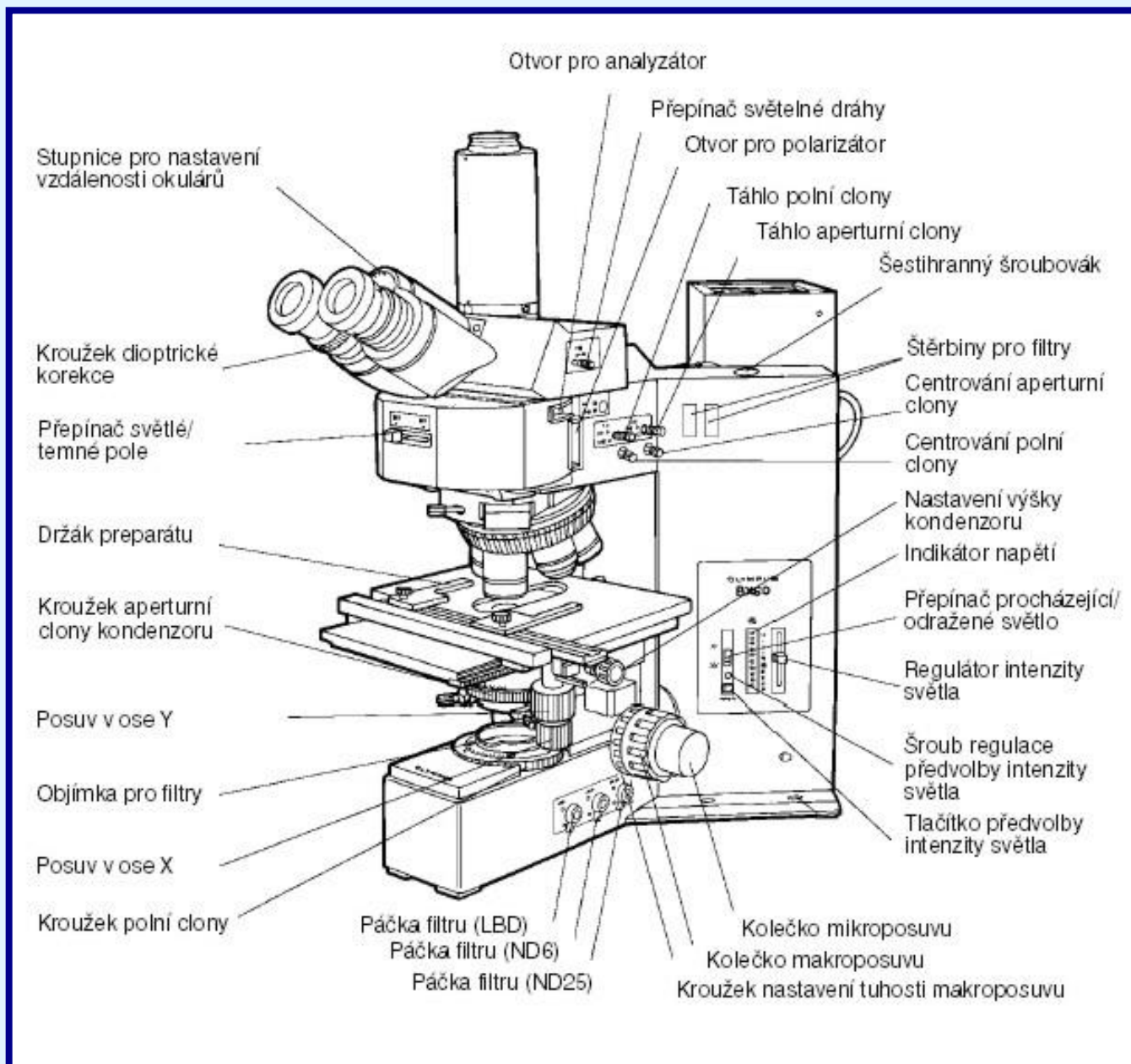


■ Stolek mikroskopu

- křížový stolek
 - + vodič preparátů
 - měřítka
- kruhový stolek
 - otočný
 - (např. u geologických mikroskopů)



Olympus BX60 – popis mikroskopu



virtuální obrázky

<http://www.olympusmicro.com/primer/index.html>

<http://www.olympusmicro.com/primer/java/>