

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)



# I. ZÁKLADY NAUKY O SVĚTLE

## 1.0 ZÁKLADNÍ POZNATKY O BAREVNÉM VIDĚNÍ

Lidstvo toužilo od pradávna zachytit zrakové vjemy i představy jako trvalé kresby, obrazy, později fotografie. Nadaní jedinci inspirováni krásou přírody či ženami, náboženstvím, ale i historickým děním se snažili jako malíři nebo sochaři dát nepomíjející podobu svým vjemům a citům. Přenášet obraz určitého dění v reálném čase na dálku zůstávalo dlouho snem a fantazií, která se uplatňovala jen v pohádkách, např. „Tisíce a jedné noci“. Na obr. 1 pozoruje princezna Jasmína, dcera bagdadského kalifa, v křišťálové kouli (vyloupenutém to oku z obrovské sochy božstva v chrámu Pravdy) osudy prince Taje ze Sakaru, jakožto „Zloděje z Bagdadu“. Ten prožívá četná dobrodružství, aby splnil kalifovy podmínky pro získání jeho dcery. Nakonec se mu to podaří a s přispěním tohoto zázračného televizního přenosu překoná intriky svého soka, proradného vezíra.

Vynálezy fotografie, kinematografie, pokroky v elektronice vakuové i polovodičové, v mikroelektronice i v technice součástek a počítačů umožnily díky průkopnickým pracím obětavých techniků a vynálezců to, že můžeme ve vrchlíkové části zázračné „skleněné koule“ pozorovat Douglase Fairbankse pádícího na koni či plujícího vzduchem na létajícím koberci a šermujícího s vezírovými strážemi, a to v klidu svého soukromí. Děje se tak přes větší vzdálenosti než v pohádkách. Přenosy přes družice Země otevřely okna do celého světa.

Chceme-li poznat tajemství přenosu barevných obrazů na dálku, musíme se seznámit nejprve se základy fyziky záření, jakož i s psychofyzikálními pojmy nauky o světle a s jeho měřením, tj. s kolorimetrií.



Obr. 1 Dcera bagdadského kalifa pozoruje v křišťálové kouli dobrodružné příběhy „Zloděje z Bagdadu“ v dalekých krajích

## 1.1 Bílé sluneční světlo

To, že vidíme, přisuzujeme svému nejdrahocennějšímu smyslu, zraku, za přispění určitého druhu záření. Toto záření je elektromagnetické vlnění. Jeho určitý frekvenční rozsah vyvolává v lidském oku podráždění, které je v mozku vyhodnoceno jako zrakový vjem čili vidění. Světlo nazýváme ono záření, které je pro nás viditelné.

Viditelné záření, tj. *světelné spektrum*, je jen velmi úzkou částí z celkového spektra elektromagnetického vlnění (obr. 2). Od dlouhých vln používaných v radiotechnice pro přenos informací se dostáváme přes střední i krátké vlny, přes oblast VHF, UHF a milimetrové vlny k *vlnění infračervenému* a přes *viditelné světlo* do pásma *ultrafialového*. Ještě kratší vlnové délky přísluší *rentgenovým paprskům*, dále *paprskům gama* a *záření kosmickému*.

Obr. 2 Délky elektromagnetických vln

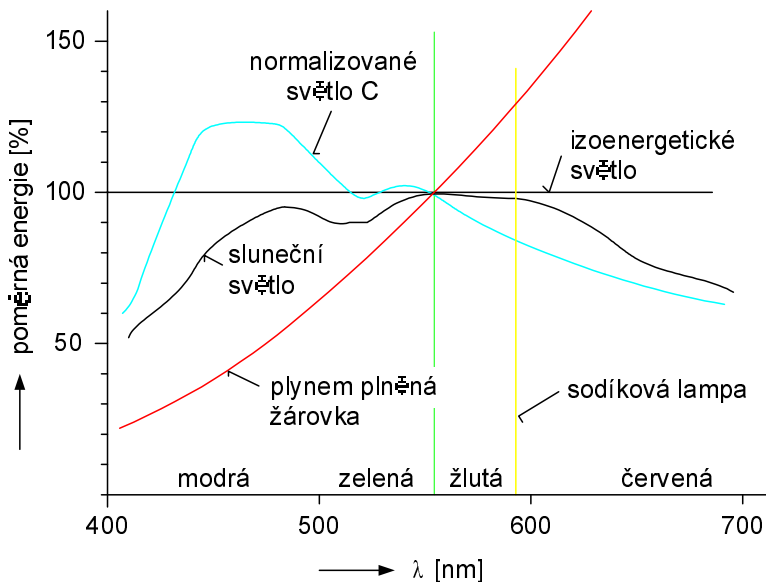
Obr. 3 Rozklad slunečního světla hranolem

Sluneční světlo způsobuje v oku podráždění, jemuž se přisuzuje vjem *bílého světla*. Toto záření vyhodnocené zrakem jako bílé světlo, není vlnění o jedné určité vlnové délce, ale je směsí velkého počtu barevných světél. Dopadá-li úzký paprsek bílého slunečního světla pod vhodným úhlem na skleněný hranol, rozloží se v *barevné spektrum* (obr. 3). Jednotlivá barevná světla, tzv. monochromatická, která budeme dále nazývat pouze *barvami*, přecházejí spojitě od červené přes oranžovou, žlutou, zelenou a modrou do fialové. Všechny tyto *spektrální barvy* jsou zářením o *stejně intenzitě* (energii), proto je sluneční světlo přibližně *světlem izoenergetickým*. Červený paprsek se hranolem odchyluje nejméně, neboť má nejdelší délku vlny 700 nm (1 nanometr =  $10^{-9}$  m, což je 1 milióntina milimetru), fialový paprsek se hranolem láme nejvíce. Délka jeho vlny 400 nm je nejkratší z viditelné části spektra. Frekvenčně to odpovídá  $750 \cdot 10^6$  MHz (750 miliónům MHz).

## 1.2 Přímé světlo a barevné filtry

Sluneční světlo, světlo čiré žárovky, hořící látky (světelné rakety) nebo světélkující luminofory televizní obrazovky jsou *přímé zdroje světla*. Jejich světelné paprsky dráždí přímo zrak, aniž se přitom mění spektrum, tj. rozložení složek světla. Podle obsahu těchto složek je určena *barva* světelného zdroje (*chromatičnost*).

Rozžhavená tělesa jsou *teplotní zdroje světla* a mají *širokopásmové spektrum*. Podle teploty těles se mění jejich barva, neboť se změnil energetický obsah spektrálních složek. Rozžhavené železo svítí při nižších teplotách červeně, při vyšších teplotách bíle až namodrale. Obvykle neudáváme energii či výkon jednotlivých složek absolutně (např. ve wattch), ale vztahujeme ji k velikosti energie pro *složku zelenou* 555 nm, při níž má oko největší citlivost. energii bereme pro úzký frekvenční obor, např.  $\Delta\lambda = 10$  nm a graficky znázorňujeme *relativní rozložení energie* (obr. 4). Zcela *izoenergetickému světlu*, které je v praxi neuskutečnitelné, se podobá *normalizované*

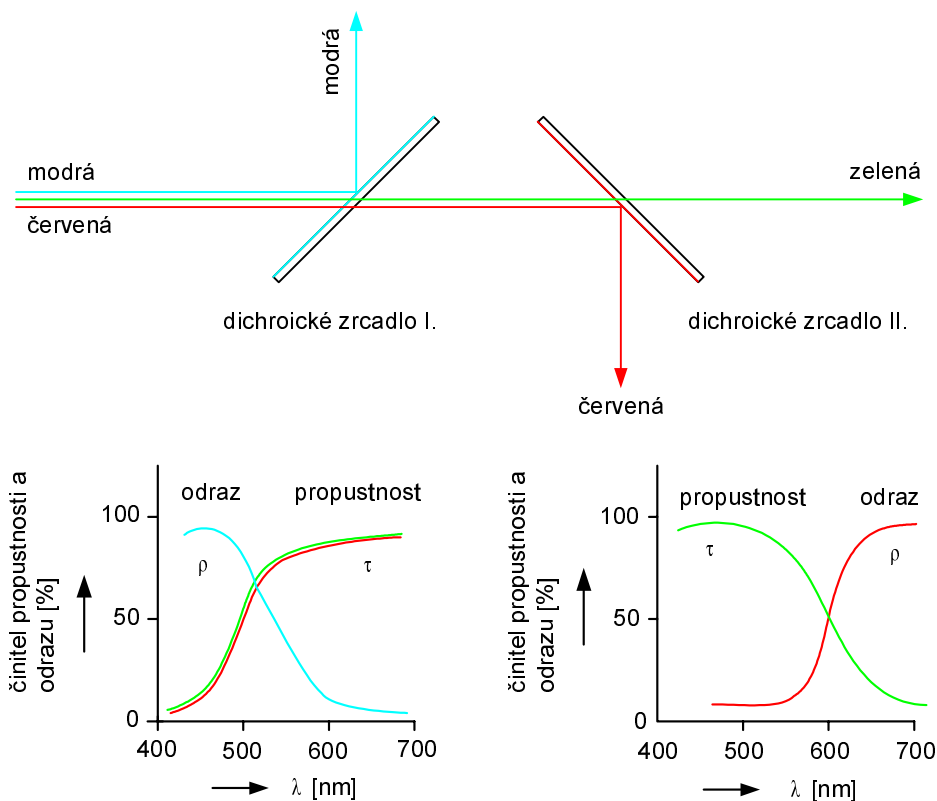


Obr. 4 Rozložení energie různých světél

světlo C. Toto světlo byl zpočátku normál pro *bílé světlo* obrazovky. Vzniká rozžhavením zářiče, který neodráží světlo (*černý zářič*), na teplotu 6770 K. Barvu světelného zdroje měníme různými barevnými filtry. Červené sklo signálních světel na křižovatce nedovolí průchod všem spektrálním složkám „bílého“ světla žárovky kromě červené. Vlastnosti filtru udává křivka jeho *spektrální propustnosti*  $\tau$  (obr. 5).

### 1.3 Nepřímé světlo - barva předmětů

*Barva předmětů (kolorita)* je dána schopností odrážet určité spektrální složky světla, které na předmět dopadá. Pozorujícíce barvu předmětu, vnímáme jen odražené složky z původního zdroje, který předmět osvětluje. Ostatní zbylé složky obsažené v přímém světle před odrazem jsou barevným předmětem pohlceny (obr. 6). Třešně vnímáme červené, neboť dopadající bílé světlo, tedy směsici spektrálních barev, povrch třešně pohltí až na složku červenou, která se odrazí. Kdybychom třešně ozářili jen *modrou* barvou, viděli bychom plody zcela *černě*. Vlastnosti barevného povrchu můžeme zachytit křivkou *spektrálního odrazu*  $\rho$  (obr. 6). Barva předmětu závisí na okolním osvětlení. Při nákupu prohlédneme „skutečnou“ barvu látky na denním světle, neboť zářivkové osvětlení zkresluje barvu (potlačuje červenou a její kombinace).



Obr. 7 Dichroická zrcadla, jejich činitele spektrální propustnosti  $\tau$  a činitele spektrálního odrazu  $\rho$

Nejčastěji jde o hrubý odrazující povrch, takže odraz světla je rozptýlený do různých směrů a povrch jeví stejné barvy, je-li osvětlen a pozorován z libovolného směru. *Projekční stěny* jsou bílé a hrubozrné, odrážejí všechny vlnové délky *rovnoměrně* a do *všech směrů*. Dokonale odrazující a rozptylující plocha se hodí k pozorování přímého světla.

*Zrcadla* odrážejí světelný paprsek jen v určitém směru podle fyzikálního pravidla, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. *Dichroická zrcadla*, používaná pro snímání barevného obrazu kamerou, odrážejí určité spektrální složky a zbytek propouštějí v původním směru dopadajícího přímého světla (obr. 7). Při odrazu se část světelné energie *pohlcuje*, jak udává *činitel spektrální pohltivosti*  $\sigma$ . Pro jednu a touž látku se *součet činitelů spektrálního odrazu, propustnosti a pohltivosti rovná jedné*.

## 1.4 Důležité veličiny a jednotky světla

Dosud jsme se nezmínili, jak množství světla měříme a jak posuzujeme jeho barvu (*chromatičnost*). U obrazovek se setkáváme s pojmem jasu (např. 100 kandel na m<sup>2</sup>), ve studiu mluvíme o osvětlení např. 100 luxů.

Objektivně bychom měli vyhodnocovat světlo jako energii záření, tj. výkon ve wattech, jako fyzikální veličinu. Kvantitativně posuzujeme světelné záření jako energii, kterou mají všechny barevné složky světla. Chromatičnost výsledného světla určujeme délkou té elektromagnetické vlny, která v záření převládá.

Lidské oko však nevnímá různá spektrální světla se stejně silným zrakovým vjemem, byť měla stejnou energii (W). Vztah mezi dopadající energií světla a zrakovým vjemem není u všech lidí stejný a liší se za šera (oko vidí jen černobíle) a za normálního osvětlení.

Uvažme normalizovaný průměr získaný z pozorování mnoha osob při světelných úrovních, kdy oko rozlišuje barvy.

*Citlivost oka* nebo jinak též *poměrná světelná účinnost*  $S_\lambda$  pro jednobarevná záření různých délek je znázorněna na obr. 8 za předpokladu, že jsou vyzařovány se *stejnou energií*. Největší citlivost (účinnost) je při vlnové délce 555 nm (žlutozelená), na obě strany směrem k červené a fialové se zmenšuje. Začátky pásma infračerveného a ultrafialového se jeví oku již tmavé.

Podle tohoto základního subjektivního vztahu považujeme světelné veličiny za psychofyzikální na rozdíl od fyzikálních veličin záření, např. *zářivého toku* uvedeného ve wattech.

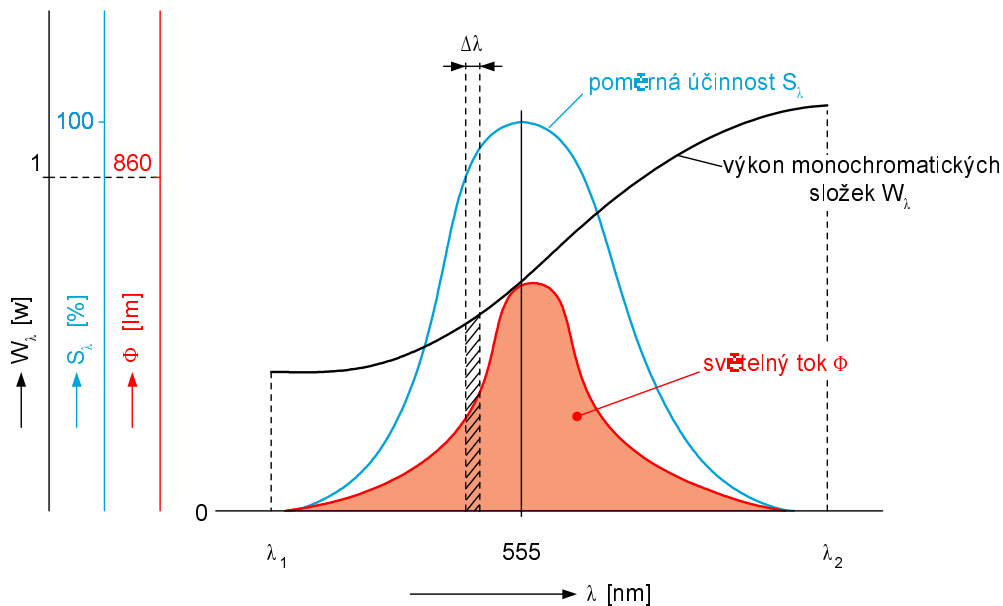
Bodový zdroj světla vyzařuje do prostoru spektrum dílčích vlnových délek (obr. 9). Jim přísluší energetické příspěvky  $W_\lambda \cdot \Delta\lambda$  uvažované vždy pro malý přírůstek vlnové délky  $\Delta\lambda$ . Násobíme-li tyto výkony příslušnou poměrnou účinností  $S_\lambda$  a tyto součiny sečteme v rozmezí krajních vlnových délek, dostaneme *světelný tok*  $\Phi$ . Jednotkou světelného toku není watt, ale *lumen* (1 lm) při zavedené konstantě  $K = 860 \text{ lumen/W}$ :

$$\Phi = 860 \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_\lambda \cdot W_\lambda \cdot \Delta\lambda \quad [lm; W]$$

Pro světlo o vlnové délce 555 nm je  $1 \text{ W} = 860 \text{ lm}$ .

Světelný tok se šíří do prostoru. Jeho část připadající na jednotkový prostorový úhel (steradián) je další světelnou veličinou a nazývá se *svítivost*. Má jednotku *1 kandela* (cd) a ta se dá realizovat jako normál. Jeden *steradián* je prostorový úhel příslušející kulové ploše 1 m<sup>2</sup> při poloměru koule 1 m.

Obr. 8 Poměrná světelná účinnost neboli citlivost oka pro monochromatická záření různých délek a stejné energie při dostatečném jasu (fotopické vidění); význam televizních základních barev ( $R_e$ ), ( $G_e$ ), ( $B_e$ ) bude vysvětlen v čl. A-3.1



Obr. 9 Stanovení světelného toku z výkonů monochromatických složek  $W_\lambda$  a z poměrné účinnosti  $S_\lambda$

Osvětlení nějaké plochy dostatečně vzdálené od bodového zdroje je dáno poměrem přírůstku světelného toku a přírůstku plochy, na kterou dopadá tok. Udává se v *luxech* (lx):  $lx = 1 \text{ lm}/1 \text{ m}^2$ . Skutečné zdroje světla nejsou bodové. Svítí celou plochou svého rovinného povrchu. Pro posouzení, jak velký světelný účinek dává plošný zdroj v určitém směru, nestačí jen posuzovat svítivost zdroje v kandelách, ale je třeba vztáhnout tuto *svítivost na jednotkový povrch zdroje*. Tak můžeme vyhodnocovat *jas* zdroje. Je to poměr svítivosti v daném směru k ploše zdroje. Tato plocha zdroje se bere jako průmět skutečné plochy zdroje do roviny kolmé ve směru uvažované svítivosti. Jednotkou jasu je *kandela na čtvereční metr* ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) dříve označovaná jako *nit*.

Svítivost plošného zdroje je různá v různých směrech. U *dokonale rozptylujících ploch* se svítivost zmenšuje úměrně s kosinem úhlu počítaného od kolmice k povrchu zdroje. Poněvadž se podle stejné úměrnosti zmenšuje průmět skutečné plochy zdroje do roviny kolmé k uvažované svítivosti, zůstává poměr obou veličin konstantní. Proto je jas u dokonale rozptylující plochy stejný ve všech směrech. Zde lze jas definovat též starší, nyní nenormalizovanou jednotkou, *apostilbem*. Dokonale rozptylující povrch má jas 1 apostilbu, když plocha  $1 \text{ m}^2$  vyzařuje světelný tok 1 lumenu. Vztah mezi oběma jednotkami jasu udává, že 1 kandela/ $\text{m}^2$  čili nit je rovna  $\pi$  apostilbu.

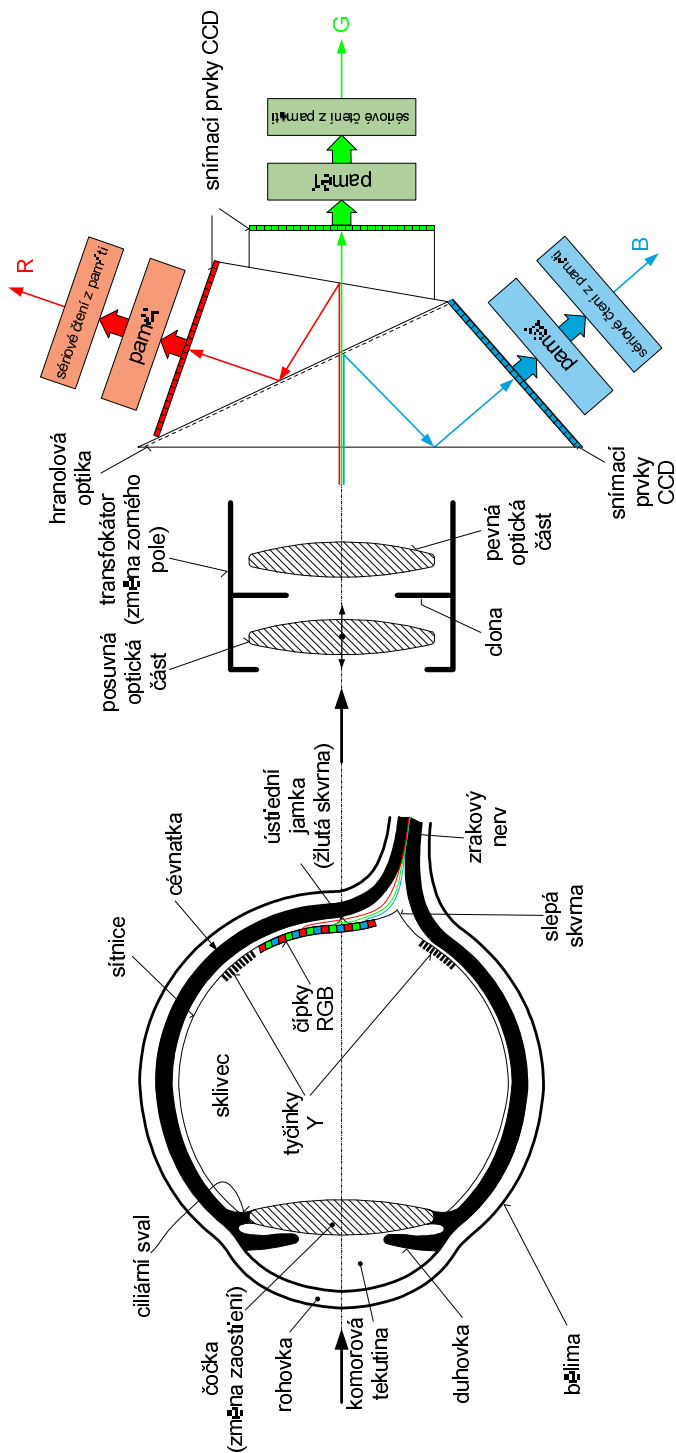
## 1.5 Lidské oko, jeho vlastnosti a televizní kamera

Své okolí vnímáme nejdůležitějším smyslem - *zrakem*. Děje se tak pomocí skvělého, nenapodobitelného zařízení - *lidského oka*. Umí rozlišit jas, tj. množství světla do něho dopadajícího ať již přímo nebo nepřímo odrazem od předmětů a informuje nás o barvě světla (chromatičnosti i koloritě). Televizní technika se snaží funkci oka napodobit (např. polovodičovou kamerou), byť nedostíže v některých jeho vlastnostech. Oko má však i své nedokonalosti související se zrakovým vjemem, které naopak pro televizní přenos s výhodou využijeme, jak si později vysvětlíme.

Průřez lidským okem je znázorněn na obr. 10. Oční *bulva* obsahuje 3 vrstvy. Povrchová *bělina* přechází vpředu oka v průhlednou *rohovku*, kterou přicházejí světelné paprsky přes *čočku* do oka. Střední vrstva *cévnatka* zásobuje celý zrakový orgán krví a přechází vpředu v *ciliární sval*. Jeho úkolem je měnit tvar čočky, a tím měnit její *ohniskovou vzdálenost* a zaostřovat obraz na vnitřní vrstvě oka - *sítnici*. Kromě toho přechází ciliární sval na vnější straně čočky v *duhovku* a podle množství dopadajícího světla (jasu) mění tento sval průměr duhovky (jako clona u fotoaparátu).

Oba prostory před a za čočkou jsou vyplněny průhlednou komorovou tekutinou, respektive *sklivcem*. Přes čočku se obraz určitého jasu promítá jako určité osvětlení na zadní části sítnice. V ose oka je na sítnici *ústřední jamka žluté skvrny*. Zde jsou rozloženy v kruhu asi do  $6^\circ$  od osy buňky citlivé na světlo, a to na jas i barvu. Nazýváme je *čípky*. V kolorimetrii dále poznáme, že téměř všechna spektrální světla i jejich směsi (tedy i bílé světlo) umíme realizovat třemi základními světly. Odtud pramení i jedna z teorií barevného vidění. Její základ tvoří předpoklad tří druhů čípků RGB, podle toho, zda jsou citlivé na červené, zelené či modré světlo. Od čípků totiž vedou do mozkového centra vidění nervová vlákna, přenášející podráždění čípků do mozku, který je, elektronicky řečeno, dekóduje jako vjem určité barvy a jasu. V *mozkové paměti* se informace zpracovávají a vytvářejí obraz, který právě vidíme. Na sítnici jsou ještě jiné buňky citlivé na světlo. Nazývají se *tyčinky*. Jejich počet (asi 120 milionů) je mnohem větší než čípků (6 milionů). Jsou umístěny v mezikruží od  $10^\circ$  do  $20^\circ$  od optické osy oka. Tyčinky jsou 200 000krát citlivější na světlo než čípky. Proto nám tyčinky umožňují vidět *za šera* (*skotopické vidění*). Vidíme však jen černobíle, a to podle *křivky poměrné účinnosti* (viz obr. 8) posunuté svým maximem asi o 40 nm směrem ke kratším vlnovým délkám. Tyčinky nás tedy informují převážně o *jasu* ( $Y$ ), čípky o barvě





Obr. 10 Schematický průřez lidským okem a zjednodušené schéma televizní kamery CCD