



Střední žďár nad Sázavou
škola **technická**

W W W . S S T Z R . C Z

ELEKTRICKÁ ZAŘÍZENÍ

6

ELEKTRICKÉ SVĚTLO, TEPLO A CHLAZENÍ

JIŘÍ LIBRA

**UČEBNÍ TEXTY
PRO VÝUKU ELEKTROTECHNICKÝCH OBORŮ**



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

CZ.1.07/1.1.36/01.0008

ZVYŠOVÁNÍ KVALITY VÝUKY V ELEKTROTECHNICKÝCH OBORECH

Obsah

1.	Elektrické světlo	4
1.1.	Fyzikální podstata světla	4
1.1.1.	Viditelné světlo	4
1.1.2.	Barva světla a vlnová délka.....	4
1.1.3.	Veličiny vztahující se ke světlu.....	6
1.2.	Světelné zdroje	7
1.2.1.	Vlastní a nevlastní zdroje	7
1.2.2.	Přírodní zdroje světla	8
1.2.3.	Umělé zdroje světla.....	9
1.2.4.	Barva světla ze zdroje a její vnímání	11
1.3.	Elektrické zdroje světla	11
1.3.1.	Patice elektrických světelných zdrojů	12
1.3.2.	Žárovky	14
1.3.3.	Halogenové žárovky.....	15
1.3.4.	Zářivky	16
1.3.5.	Rtuťové vysokotlaké výbojky	19
1.3.6.	Halogenidové výbojky	20
1.3.7.	Nízkotlaké sodíkové výbojky.....	22
1.3.8.	Vysokotlaké sodíkové výbojky	22
1.3.9.	Indukční výbojky.....	23
1.3.10.	Xenonové výbojky	24
1.3.11.	Světelné trubice	25
1.3.12.	Doutnavky	26
1.3.13.	Světelné diody – LED	26
1.4.	Parametry světelných zdrojů	28
1.5.	Svítlidla	30
1.5.1.	Úvod ke svídlům	30
1.5.2.	Světelně činné a konstrukční části svítidel.....	30
1.5.3.	Třídění svítidel	31
1.5.4.	Světelná účinnost svítidel.....	32
1.5.5.	Nejdůležitější zásady osvětlování	32

2.	Elektrické teplo	34
2.1.	Teoretické základy šíření tepla.....	34
2.2.	Zdroje tepla v elektrotechnice – elektrický ohřev	34
2.3.	Způsoby elektrického ohřevu	35
2.3.1.	O odporový ohřev.....	35
2.3.2.	Obloukový ohřev	37
2.3.3.	Indukční ohřev.....	38
2.3.4.	Dielektrický ohřev	39
2.3.5.	Infračervený ohřev	40
2.3.6.	Elektrická jiskra.....	40
3.	Elektrické chlazení a klimatizace	40
3.1.	Princip elektrického chlazení	40
3.1.1.	Absorpční chlazení.....	41
3.1.2.	Adsorpční chlazení.....	41
3.1.3.	Kompresorové chlazení.....	41
3.2.	Klimatizace.....	42
3.2.1.	Snižování teploty.....	42
3.2.2.	Vytápění klimatizační jednotkou	43
3.2.3.	Chladicí médium	43
4.	Použité zdroje.....	44

1. Elektrické světlo

1.1. Fyzikální podstata světla

1.1.1. Viditelné světlo

Viditelné světlo je elektromagnetické záření o vlnové délce přibližně 390 – 790 nm. Vlnové délky světla leží mezi vlnovými délkami ultrafialového záření a infračerveného záření.

Základní vlastnosti světla jsou svítivost, barva a polarizace. Studium světla a jeho interakcí s hmotou se zabývá optika.

Frekvence viditelného světla je v rozsahu $3,9 \cdot 10^{14}$ až $7,9 \cdot 10^{14}$ Hz. Rychlost světla je dána vztahem: $c = f\lambda$

kde jsou:

c	rychlost světla
f	frekvence
λ	vlnová délka

Rychlost světla ve vakuu c je konstanta. Její hodnota je $c = 299\,792\,458 \text{ ms}^{-1}$.

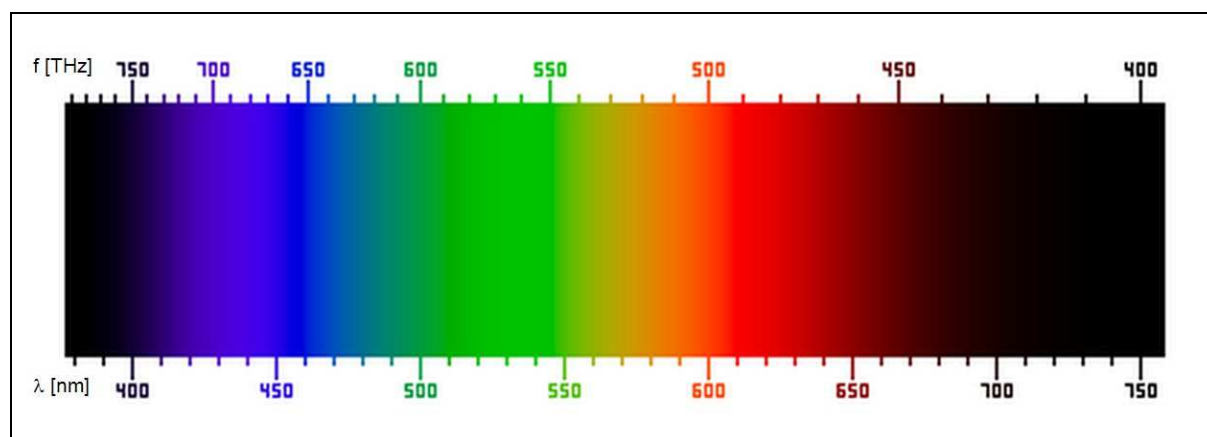
Vzhledem k tomu, že rychlost světla ve vakuu je univerzální konstantou a čas lze měřit v současné době s vysokou přesností, je jednotka délky metr definována právě pomocí rychlosti světla ve vakuu.

Vlnová délka viditelného světla ve vakuu je tedy 390 nm až 790 nm. Přesněji řečeno, tento rozsah je viditelným světlem pro člověka. Některé druhy živočichů vnímají rozsah jiný, například včely jej mají posunut směrem ke kratším vlnovým délkám (ultrafialové záření), naopak někteří plazi vnímají i infračervené záření.

Rozsah vnímaných vlnových délek je dán především tím, že v oblasti viditelného světla je maximum elektromagnetického záření ze Slunce dopadajícího na zemský povrch, a tudíž je v tomto rozsahu nejlépe vidět.

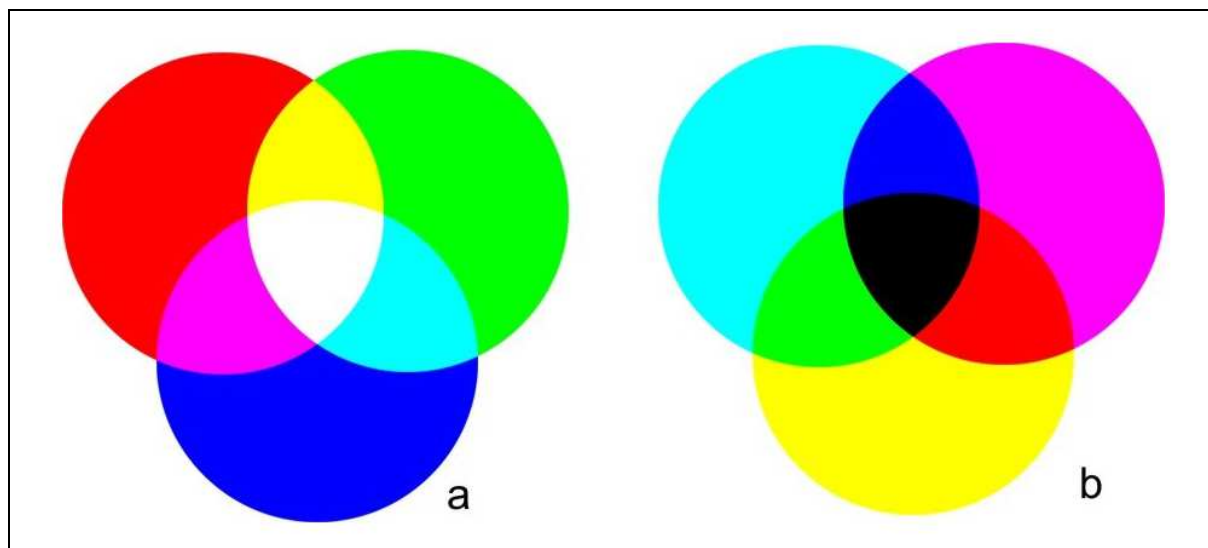
1.1.2. Barva světla a vlnová délka

Různé frekvence světla vidíme jako barvy, od červeného světla s nejnižší frekvencí a nejdelší vlnovou délkou, po fialové s nejvyšší frekvencí a nejkratší vlnovou délkou. Světelné spektrum je viditelné na následujícím obrázku.

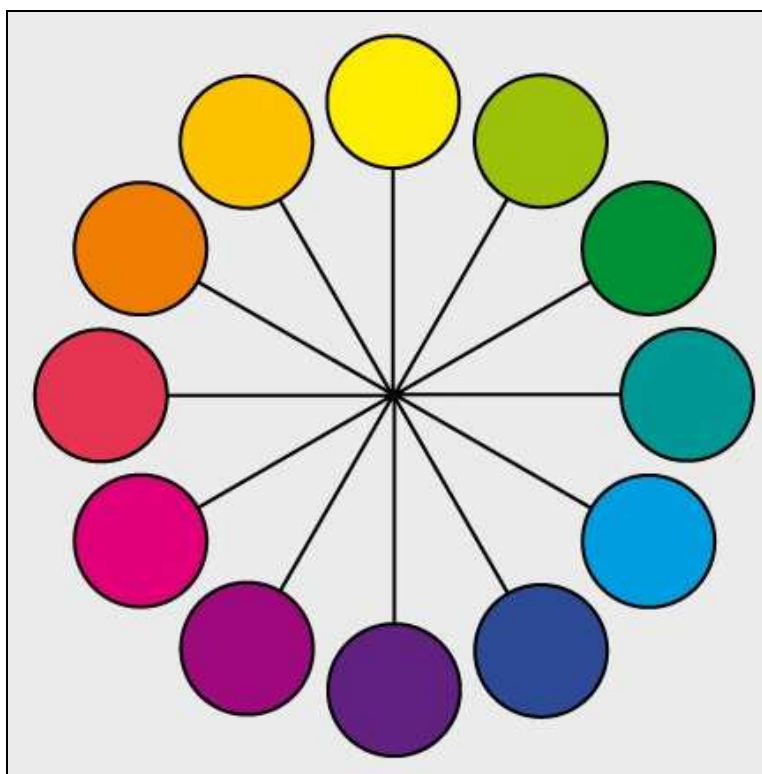


Kratší vlnové délky než viditelné světlo má ultrafialové záření (UV), delší vlnové délky má infračervené záření (IR). Přestože lidé nevidí infračervené záření, mohou jej cítit jako teplo svými receptory v pokožce. Ultrafialové záření se zase na člověku projeví zvýšením pigmentace pokožky, tj. opálením.

Barva je vjem, který je vytvářen viditelným světlem dopadajícím na sítnici lidského oka. Barevné vidění lidského oka zprostředkují receptory zvané čípky trojího druhu – citlivé na tři základní barvy: červenou, zelenou a modrou (tzv. RGB). Základní barvy jsou na obrázku a. Doplnkovými barvami jsou žlutá (k modré), purpurová (k zelené) a azurová (k červené). Doplnkové barvy jsou na obrázku b.



Další odstíny barev se získají mícháním těchto základních barev s různým jasem.



1.1.3. Veličiny vztahující se ke světlu

Následujícími veličinami popisujeme světlo:

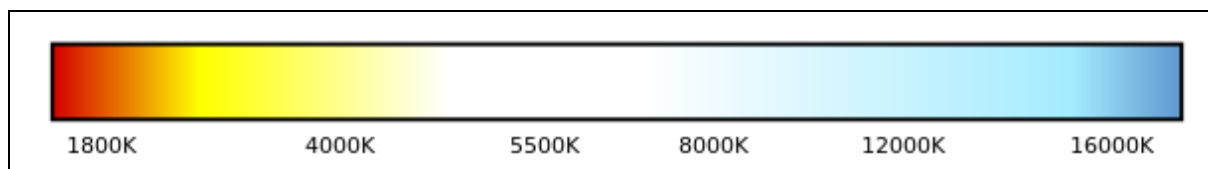
Jas svazku světelných paprsků

Veličinou, na kterou bezprostředně reaguje zrakový orgán, je jas svazku světelných paprsků. Jas je jedna z fotometrických veličin, definovaná jako měrná veličina svítivosti. Jas svazku paprsků v nerozptylujícím a nepohlcujícím prostředí je roven prostorové a plošné hustotě světelného toku přenášeného tímto svazkem paprsků. Označuje se L a udává se v cd/m^2 (kandelách na m^2).

Barevná teplota

Barevná teplota (též teplota chromatičnosti) charakterizuje spektrum bílého světla. Světlo určité barevné teploty má barvu tepelného záření vydávané černým tělesem, zahřátým na tuto teplotu.

Barevná teplota se měří v kelvinech.



Příklady barevných teplot různých světelných zdrojů

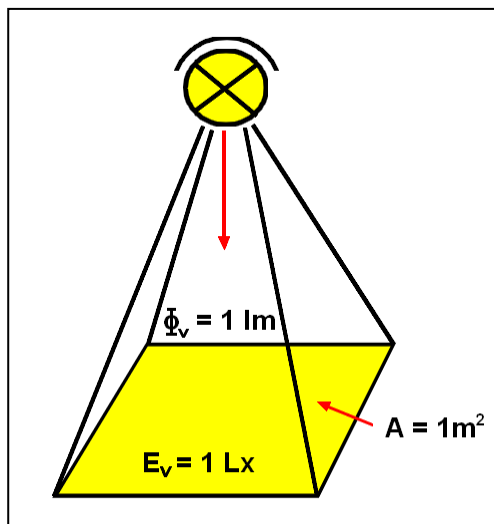
- 600 K červená dioda
- 800 K solární teplomet
- 1200 K žhavé uhlíky
- 1900 K svíčka
- 2300 K ztlumená žárovka
- 2700 K žárovka, slunce při východu a západu
- 3000 K studiové osvětlení
- 3400 K halogenová žárovka
- 4200 K zářivka
- 5000 K obvyklé denní světlo
- 5500 K fotografické blesky, výbojky
- 6000 K jasné polední světlo
- 6500 K standardizované denní světlo
- 8000 K oblačno, mlhavo (mraky zabarvují světlo do modra), světlo blesků
- 12 000 K modrá obloha v zenitu, světlo svářecího elektrického oblouku
- 14 000 K světlo UV trubic v soláriu

Osvětlení

Osvětlení je fotometrická veličina závislá na světelném toku a ploše měřená v luxech. Je dáno poměrem světelného toku a plochy, na kterou dopadá. Označuje se E a jednotkou je lux (lx). Pro různé prostory jsou doporučovány minimální hodnoty osvětlení, zaručující dobré podmínky viditelnosti.

Světelný tok

Světelný tok vyjadřuje množství světelné energie, kterou přenese záření nebo zdroj vyzáří za časovou jednotku s přihlédnutím k citlivosti průměrného lidského oka na různé vlnové délky světla. Světelný tok je tedy fotometrická veličina charakterizující světelný výkon záření či jeho zdroje. Označuje se Φ a jednotkou světelného toku je 1 lumen (lm).



Svítivost

Při nerovnoměrném rozložení světelného toku zdroje či svítidla do různých směrů prostoru je třeba kromě hodnoty úhrnného světelného toku znát ještě prostorovou hustotu světelného toku v různých směrech, tj. **svítivost** zdroje v těchto směrech. Svítivost je možno stanovit pouze pro bodový zdroj, jehož svíticí plocha má rozměry prakticky zanedbatelné ve srovnání se vzdáleností zdroje od kontrolního bodu. Svítivost bodového zdroje je rovna světelnému toku obsaženému v jednotkovém prostorovém úhlu. Svítivost značíme I , její jednotkou je 1 kandela (cd), která patří k základním jednotkám soustavy SI.

Měrný světelný výkon

Měrný světelný výkon vyjadřuje poměr světelného toku a elektrického příkonu. Udává efektivnost světelného zdroje. Označuje se η a jednotkou je $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$

1.2. Světelné zdroje

Světelný zdroj je zdroj elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek přibližně od 380 do 780 nm. Toto záření můžeme pozorovat lidským okem jako viditelné světlo. Zpravidla rozlišujeme světelné zdroje přírodní a zdroje umělé.

1.2.1. Vlastní a nevlastní zdroje

Za vlastní zdroje označujeme taková tělesa nebo látky, v jejichž struktuře dochází ke vzniku světla. Za vlastní zdroj světla tedy můžeme považovat např. Slunce, hvězdy, žárovky, výboje, plamen apod.

Nevlastní zdroje jsou tělesa nebo látky, které samy světlo nevytvářejí, ale pouze odrážejí a rozptylují dopadající světlo. Mezi nevlastní zdroje lze zařadit např. Měsíc, mraky, všechny osvětlené předměty apod.

Nevlastní zdroje lze dále rozlišovat jako:

- **reflektory** – odrážejí světelné paprsky požadovaným směrem, pro paprsky jsou neprůchodné
- **refraktory** – ohýbají nebo lámou světelné paprsky (např. optické hranoly)
- **poloprůhledná stínítka, matnice** – část světelných paprsků odrážejí a část propouštějí



1.2.2. Přírodní zdroje světla

K přírodním zdrojům patří například:

Kosmická tělesa

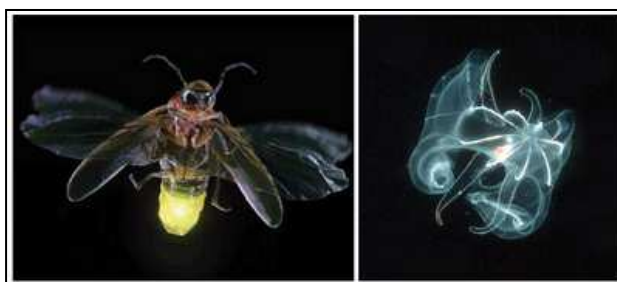
Mezi primární zdroje, které světlo skutečně vytvářejí, patří Slunce a hvězdy. Mezi sekundární zdroje patří Měsíc, který sám nesvítí, pouze odráží světlo, které na jeho povrch dopadá ze Slunce.

Chemické reakce

Mezi nejběžnější chemické reakce, při kterých vzniká světlo, patří hoření. Zdrojem světla je oheň.

Biologické zdroje

Mezi primární biologické zdroje patří luminiscence. Je známá u světlušek a různých mořských živočichů, objevuje se také u některých druhů hub. Mezi sekundární zdroje lze zařadit např. odrazy světla v očích, které jsou viditelné ve tmě nebo při záblesku.



Elektrické výboje

Mezi přírodní elektrické výboje patří blesky, Eliášovo světlo, výboje v plynech apod.

Tektonické jevy

Zdrojem světla je v tomto případě žhnoucí láva.

1.2.3. Umělé zdroje světla

Nejznámější a nejrozšířenější umělé zdroje světla se rozdělují podle dalších hledisek. Jedno z nich je podstata vzniku světla. Rozeznáváme zdroje na principu teplotního záření (např. žárovky), záření elektrického výboje v plynech a parách kovů (zářivky, výbojky) anebo luminiscence (např. svítivé diody).

Mezi hlavní parametry, které charakterizují vlastnosti umělých světelných zdrojů, patří:

- životnost světelného zdroje udávaná v hodinách
- hodnota světelného toku a jeho spektrální složení
- svítivost a její prostorové rozložení
- jas, teplota chromatičnosti a index podání barev

U umělých světelných zdrojů, jejichž činnost závisí na elektrické energii, pak také příkon, napětí, proud a především měrný výkon, což je podíl vyzařovaného světelného toku a příkonu (vyjadřuje se tedy v lm.W^{-1}). Měrný výkon charakterizuje efektivnost přeměny energie elektrické na světelnou.

Teplotní zdroje světla

Největší a nejstarší skupinu tvoří zdroje teplotní, tzv. inkandescenční. Vyzařování světla je způsobeno teplem. V těchto zdrojích vzniká světlo jako jedna ze složek elektromagnetického záření vyvolaného vysokou teplotou povrchu hořícího tělesa. Patří sem oheň (plamen svíčky nebo lampy), v němž září rozžhavené částice (nejčastěji uhlíku), popř. slabě i žhavé plyny.

Elektrické teplotní zdroje světla

Elektroinkandescence vzniká průchodem elektrického proudu pevnou vodivou látkou s vysokou teplotou tání např. platina, wolfram, atd. Pevná látka se rozžhaví na požadovanou teplotu, při které dochází k emisi viditelného záření. Na tomto principu pracují klasické žárovky s wolframovým vláknem.

Společnou vlastností výše uvedených teplotních zdrojů je:

- velmi nízká účinnost přeměny jiného druhu energie na světlo,
- velký podíl energie vyzářené v podobě tepla,
- spojitě rozložení světla ve spektru podle fyzikální křivky teplotního zářiče,
- subjektivně příjemné vnímání světla lidským okem,
- závislost barvy světla na teplotě zářiče,
- závislost účinnosti zdroje na teplotě zářiče.

Chemické zdroje světla

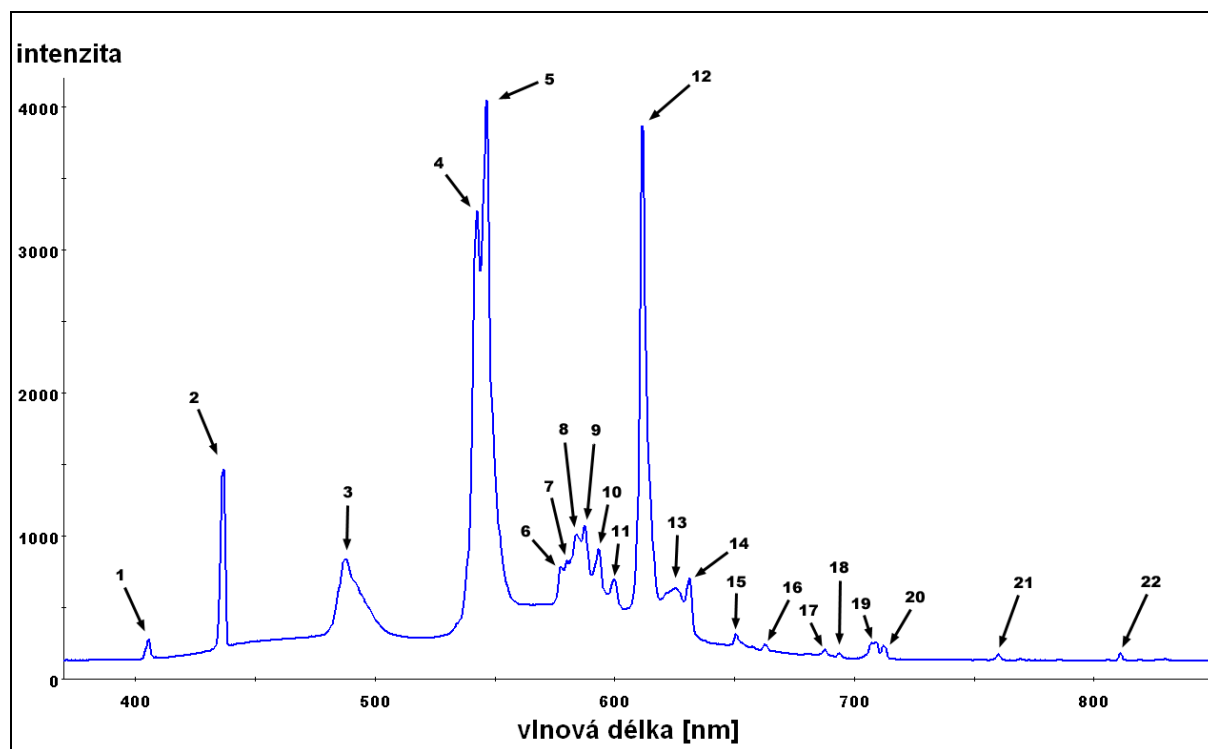
Jsou založeny na luminiscenci. Obvykle se s nimi lze setkat ve formě trubic, sloužících pro nouzové osvětlení.



Elektrické zdroje světla s nespojitým spektrem

Na rozdíl od elektrických teplotních zdrojů zde vzniká světlo jinými mechanismy. Obvykle jde o proud fotonů jednotlivě vyzářených při elektrickém výboji. Mezi tyto zdroje patří zářivky a výbojky. Spektrální křivka vyzářené energie má ostrá lokální maxima, na rozdíl od hladké křivky teplotního zdroje.

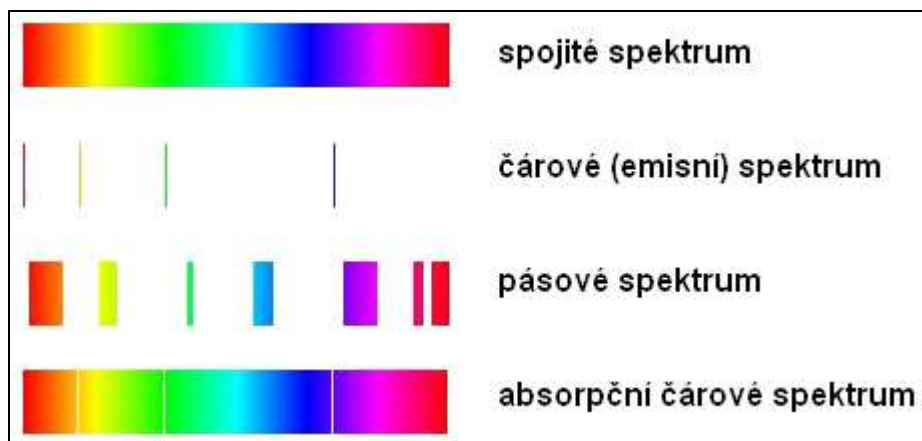
Na obrázku je spektrální křivka zářivky.



Ke zdrojům světla s nespojitým spektrem patří i lasery.

Barva světla popsaných zdrojů obvykle nebývá bílá. Podle polohy svítivých částí spektra má zdroj výraznou převažující barvu. Např. neonka, zvaná tak podle plynové náplně neonu nebo podle barvy výboje doutnavka, svítí červeně. Rtuťové výbojky a zářivky svítí převážně v neviditelné ultrafialové části spektra a pro získání viditelného světla je třeba použít optickou transformaci pomocí vrstvy luminoforu na vnitřní straně baňky či trubice. Nízkotlaké sodíkové výbojky svítí převážně na žlutooranžových sodíkových čarách spektra.

Na obrázku jsou znázorněny spektra různých druhů světelných zdrojů.



1.2.4. Barva světla ze zdroje a její vnímání

Jak již bylo výše uvedeno, zdroj světla obvykle nevyzařuje rovnoměrně na všech vlnových délkách vnímaných lidským okem. Oko pak vnímá světlo ze zdroje ne jako bílé, ale barevné. Nejvýrazněji se zbarvení uplatňuje u zdrojů s nespojitým spektrem.

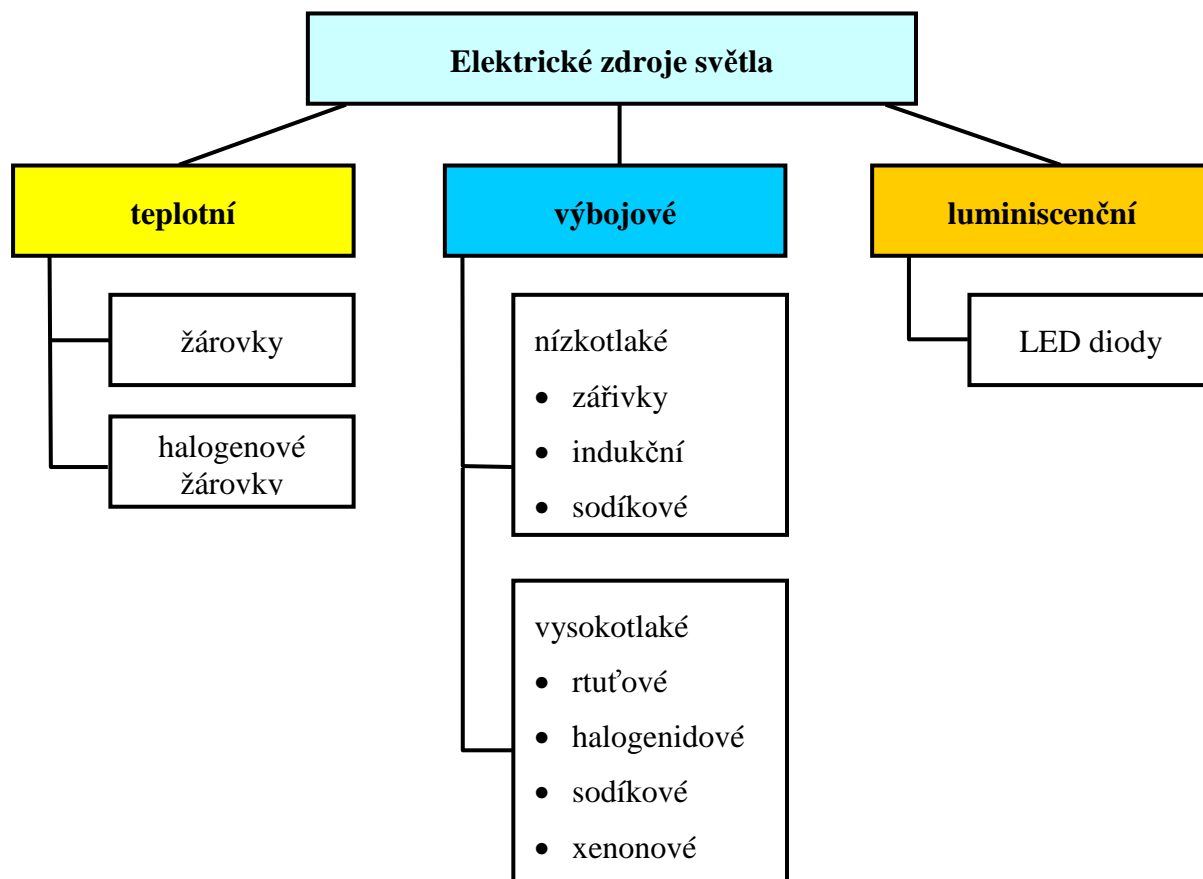
Při vnímání barvy světla se projevují dvě protichůdné schopnosti.

Jedním je **pozvolná adaptace oka** a jeho vyhodnocovacího orgánu (část mozku) na barvu světla. Projevuje se zde vůlí neovlivnitelná snaha upravit vnímání světla tak, aby převažující barva byla neutralizována a světlo se jevílo jako bílé. Je to jev známý např. z lyžařských či slunečních brýlí. Po nasazení barevného filtru na oči se nejprve vše jeví obarveno vlivem filtru, postupně pak výrazná barva mizí a člověk začíná vnímat svět kolem sebe v téměř přirozených barvách.

Druhým jevem je **schopnost správného vnímání a rozlišování barevných odstínů**, která je nutná pro celou řadu lidských činností (dopravní signály, práce malíře nebo grafika, výběr barvy látek a nití švadlenou). Čím je barva světla více nevyvážená ve prospěch jednoho převažujícího odstínu, tím obtížnější je správné rozlišení barevných odstínů pozorovaných předmětů odrážejících toto světlo.

1.3. Elektrické zdroje světla

Elektrické zdroje světla se rozdělují podle celé řady dalších hledisek. Jedno z nich je podstata vzniku světla. Podle ní rozeznáváme následující světelné zdroje:



1.3.1. Patice elektrických světelných zdrojů

Žárovky, zářivky a výbojky se vyrábějí v celé řadě provedení. Kromě elektrických parametrů, jako je napětí a výkon, je důležité znát, jakou patici příslušný zdroj světla má. Provedení patic je uvedeno na následujících obrázcích.

Nejběžnější patice:

E14 miňonka		E27 běžná žárovka		E40 goliáš	
G5 zářivky T5		G13 zářivky T8		GU10 bajonet	
GU5,3 bodovky		R7s halogen		G9 halogen	

Další druhy patic:

 2GX13	 G10Q	 2G10	 2G11	 2G7
 2G8	 B15	 B15d	 BA15d	 BA9s
 BAU15s	 BAX9s	 BAY15d	 BAZ15d	 BY22
 FA4	 FC2	 G4	 G12	 G24d
 G24q	 G53	 G6,35	 G8,5	 GR10q



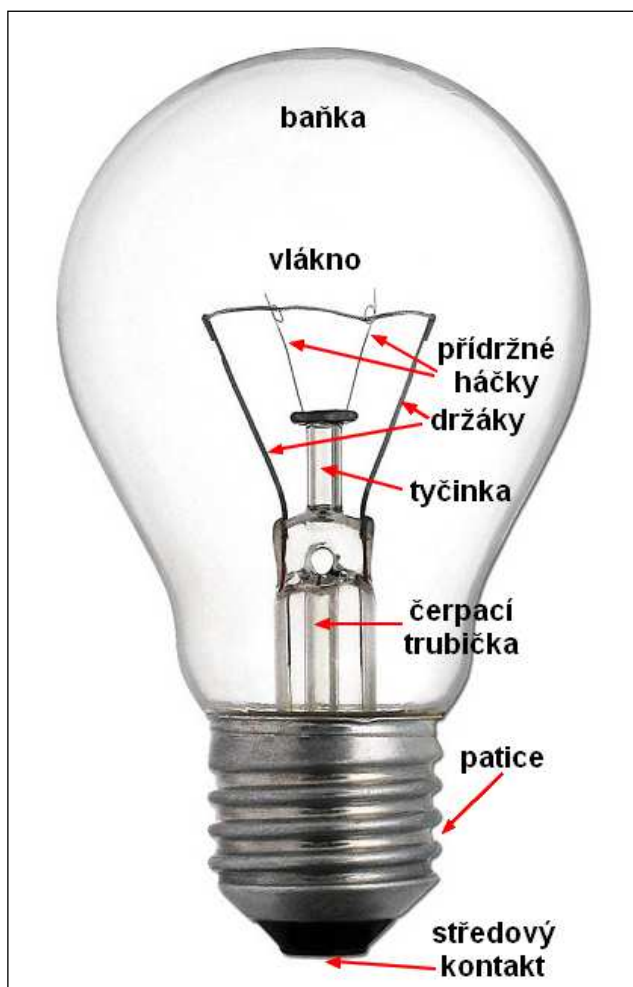
1.3.2. Žárovky

Žárovky jsou nejobvyklejšími představiteli teplotních zdrojů. Pro svůj široký sortiment, malé nároky na instalaci a údržbu jsou i dnes nejrozšířenějšími zdroji světla. Obvyklé konstrukční provedení žárovky je znázorněno na obrázku.

Hlavní části žárovky jsou vlákno, nosný systém vlákna, baňka a patice. Vlákno je nejčastěji provedeno z tvrdého těžkovytaveného wolframu a má tvar jednoduché nebo dvojité šroubovice. Nosný systém vlákna se skládá z držáků, které slouží jako přívody a skleněné nožky vytvořené ze skleněné tyčinky a čerpací trubičky.

Čerpací trubička ústí do baňky otvorem, kterým se z baňky vyčerpá vzduch a baňka se plní plynem. Tyčinka je na horním konci zploštělá do tvaru čočky, do které jsou zataveny držáky s přídržnými háčky z molybdenového drátku. Na volných koncích jsou stočeny a do vzniklých smyček je zavěšeno vlákno. Konce vlákna jsou obvykle bodovým svarem připojeny k držákům, které slouží jako přívody.

Po vyčerpání baňky a zatavení čerpací trubičky se k baňce přitmelí patice a konce přívodních drátků se připájí k patici a středovému kontaktu. Středový kontakt je na spodku patice a je oddělen izolantem z vitritu.



Jako materiál vlákna zatím nejlépe výrobně a technologicky vyhovuje wolfram, i když se u žárovek s tímto vláknem dosahuje měrného výkonu jen 8 až 20 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ a jejich spínací proud je více než desetkrát větší než proud provozní.

Baňky žárovek mohou být nejrůznějšího tvaru a jsou buď čiré, mléčné (opálová baňka je z homogenního nebo vrstveného opálového skla), opalizované (čirá baňka s vnitřním bílým minerálním povlakem) apod. V některých případech se využívá i žárovek se zrcadlenou baňkou.

Určitého snížení vypařování wolframu z vlákna se docílí plněním baňek žárovek směsí inertního plynu (obvykle argonu, popřípadě kryptonu či xenonu) s dusíkem. Vakuové žárovky se vyrábějí jen s příkony do 25 W.



Teplota vlákna obyčejných žárovek se podle příkonu žárovky (40 – 200 W) pohybuje v rozmezí 2 000 až 2 640 °C. Teplota na povrchu baňky a teplota patice jsou velmi závislé na poloze žárovky.

Dobu života žárovek nepříznivě ovlivňuje proudový náraz při zapnutí žárovky, k němuž dochází vlivem poměrně malého odporu studeného vlákna. V prvním okamžiku po zapnutí dosahuje proud až 12x větší hodnoty než v provozním stavu. Tuto skutečnost je třeba respektovat při návrhu jistění obvodů se žárovkami. Jsou již vyvinuty elektronické regulační systémy, které po zapnutí žárovky zajišťují plynulé zvyšování proudu na provozní hodnotu. Takto lze dosáhnout i několikanásobného zvýšení doby života žárovky. Zatím však jsou taková zařízení poměrně drahá.

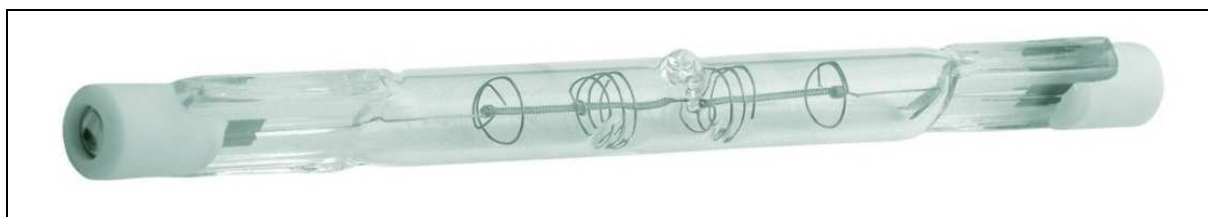
1.3.3. Halogenové žárovky

Halogenové žárovky představují významný vývojový stupeň teplotních zdrojů. V plynné náplni halogenové žárovky je příměs halogenů (obvykle jod, brom, chlor a jejich sloučeniny). Při určité teplotě a vhodném konstrukčním uspořádání probíhá v takové žárovce vratná chemická reakce mezi odpařeným wolframem a halogenem (halogenový regenerační cyklus). Molekuly odpařeného wolframu putující ke stěně baňky se v její blízkosti slučují na halogenid wolframu, který difunduje směrem k vláknům. Poblíž vlákna, v místě dosažení disociační teploty, se molekula halogenidu wolframu štěpí na wolfram a halogen. Halogen se vrací zpět ke stěně baňky.

Wolfram přispívá ke zvýšení koncentrace jeho par poblíž vlákna, a tím snižuje rychlost vypařování wolframu z vlákna. Je-li rychlost rozkladu halogenidu stejná jako rychlost odpařování wolframu z vlákna, nemělo by vlákno ubývat. To však platí jen v radiálním směru u vlákna se stejnou teplotou po celé délce. Protože tato podmínka není splněna, přemísťuje se u cyklu s jodem, bromem či chlorem wolfram z relativně teplejších míst na místa chladnější a po určité době dojde pochopitelně k přerušení vlákna. Pouze cyklus s fluorem by teoreticky měl zajistit návrat molekul wolframu tam, odkud byly odpařeny, a tím zajišťovat téměř nekonečnou dobu života. Fluor je však velmi korozivní, a proto jeho využití vyvolává značné, zejména technologické, problémy.

Stejně jako klasické žárovky plní se i žárovky halogenové inertním plynem, čímž se podstatně snižuje rychlost vypařování wolframu. Halogenový regenerační cyklus je zajištěn při teplotě baňky vyšší než 2 500 °C a při vodorovné poloze žárovky ($\pm 4^\circ$). Při dodržení správné polohy žárovky je v halogenovém cyklu odpařený wolfram vázán, baňka takové žárovky nečerná a její průměr je možno volit malý. Musí být ovšem vyrobena z tepelně odolnějších materiálů, např. z křemenného skla nebo z tvrdého skla s velkým obsahem SiO_2 . Malý objem halogenové žárovky dovoluje zvýšit tlak inertního plynu v žárovce, a tím buď prodloužit život zdroje nebo zvýšit jeho měrný výkon. Malý objem halogenové žárovky umožňuje hospodárné využití kryptonové náplně a tedy další zvýšení měrného výkonu.

Halogenové žárovky se vyrábějí buď dvoupaticové (lineární) nebo jednopaticové. Lineární žárovka má baňku ve tvaru válečku, v jehož ose je několika podpěrkami uchyceno vlákno.



U jednopaticového zdroje (obrázek vpravo nahoře) jsou přívody na jednom konci. Tyto žárovky mají kompaktnější vlákno a v optických soustavách mohou být využity jako bodové zdroje (např. projekční žárovky). Rozšířeny jsou halogenové žárovky pro automobily (obrázek vpravo dole), pro fotografické účely i pro osvětlování letištních přistávacích ploch.



Ze širokého sortimentu halogenových žárovek pro všeobecné osvětlování je třeba jmenovat žárovky na síťové napětí zejména lineární dvoupatkové, ale i jednopaticové s paticí E27 (příkony 50 a 78 W, životnost 2000 hod.) a jednopaticové žárovky na malé napětí (příkony 5 až 75 W, životnost 2000 až 3000 hod., měrný výkon 11 až 17 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$).

Oblíbené jsou také jednopaticové halogenové žárovky s tzv. studeným světlem (20, 35 a 50 W; 12 V; životnost 3 000 až 4 000 h; úhel vyzařování 10°, 24°, 38°, 60° apod.) opatřené dichroickým zrcadlem, které usměrňuje viditelné záření na osvětlovaný předmět a propouští infračervené záření směrem k objímce žárovky. Osvětlovaný předmět pak není vystaven tak velké tepelné zátěži. Reflektor tvoří se žárovkou kompaktní jednotku opatřenou paticí (např. dvoukolíkovou typu GU 5,3).



Různá provedení halogenových žárovek vidíme na následujících obrázcích. Nalevo je halogenová žárovka v čiré baňce, následuje žárovka s baňkou opatřenou vnitřní zrcadlovou plochou. Třetí žárovka je reflektorová. Tyto tři halogenové žárovky mají patici E24 a jsou na síťové napětí. Další žárovka je určena na malé napětí. Následuje lineární halogenová žárovka na malé napětí a reflektor s lineární žárovkou na síťové napětí.

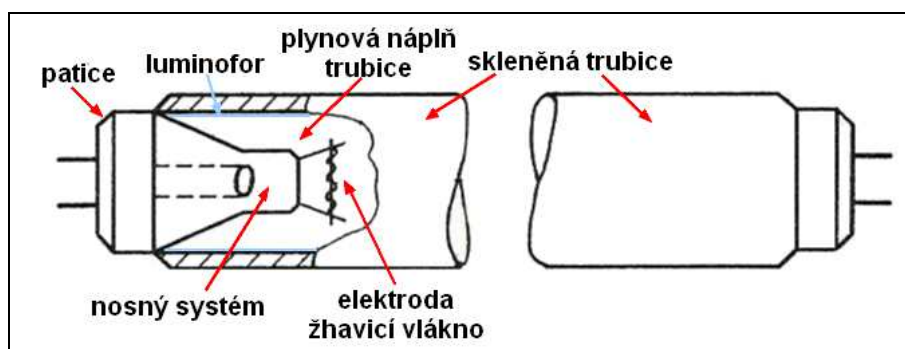


1.3.4. Zářivky

Zářivky jsou nízkotlakové rtuťové výbojky se žhavenými elektrodami. Nízkotlaký výboj v parách rtuti vyzařuje jen asi 2% přivedené energie v oblasti viditelného záření a více než 60% v oblasti ultrafialového záření. Část ultrafialového záření odpovídající asi 19% příkonu tohoto výboje se v zářivce transformuje ve viditelné záření luminoforem, který je v tenké vrstvě nanesen na vnitřním povrchu skleněné trubice.

Trubice je na obou koncích opatřena elektrodou, nosným systémem a kolíčkovou paticí. Trubice je naplněna rtutí a vzácným plynem (např. argon, popřípadě směs argonu s neónem).

Tlak vzácného plynu v zářivce je přibližně $4 \cdot 10^2$ Pa, přičemž optimální tlak par rtuti je asi 0,6 Pa.



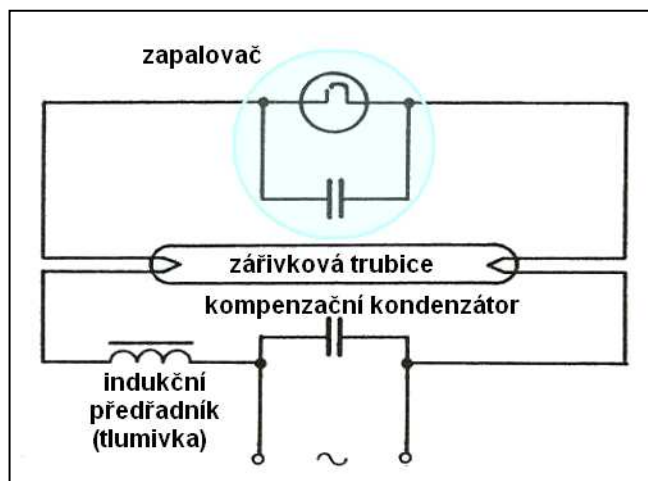
Vzácný plyn snižuje zápalné napětí, zabraňuje rozprašování materiálu elektrod a zvyšuje intenzitu vyzařování v okolí rezonančních čar rtuti (253,7 nm a 185 nm). S rostoucím tlakem vzácného plynu roste výrazně život zářivky (emisní hmota elektrod ubývá pomaleji), ovšem zapalování je obtížnější a v důsledku vyššího gradientu na trubici klesá měrný výkon. Při nižším tlaku plynu zapalují zářivky snáze (i při nižších teplotách), jejich život je ovšem kratší.

Elektrody zářivek jsou z dvojité vinutého wolframového drátku a pokrývají se vrstvou kyslíčků (např. barya, stroncia, vápníku), čímž se dosahuje velké emisní schopnosti při malém výstupním potenciálu elektronů a usnadňuje se tak zapalování.

Světelný tok zářivek během prvních 100 h provozu poklesne asi o 10%, potom již klesá pomaleji. Proto se jmenovitý světelný tok zářivek udává právě po 100 hodinách hoření. Po zažehnutí vyzařuje zářivka jen asi 90% toku. Plné hodnoty se dosahuje asi po 3 minutách provozu. Během stárnutí zářivky světelný tok klesá. Příčinou poklesu je postupná ztráta účinnosti luminoforu, zčernání vnitřního povrchu trubice rozprášeným materiálem elektrod (tmavý prstenec v prostoru elektrod), popřípadě i usazováním jemných částí rtuti a rovněž absorpce plynné náplně materiálem elektrod a rtuti. Mnohem rychleji než při svícení zářivky se materiál elektrod rozprašuje při zažehování, zvláště v zapojení s běžně využívaným doutnavkovým zapalovačem. Proto má na celkovou dobu života zářivky rozhodující vliv doba svícení připadající na jedno zažehnutí. Obvykle se za srovnávací hodnotu považují 3 hod. provozu na jedno zažehnutí. Každým zažehnutím se životnost zářivky provozované s indukčním předřadníkem a s doutnavkovým zapalovačem zkracuje asi o 1,5 hod. Proto se takto zapojené zářivky nehodí tam, kde se osvětlení často vypíná a zapíná.

Při tříhodinovém cyklu dosahuje život zářivek i 16 000 hod.

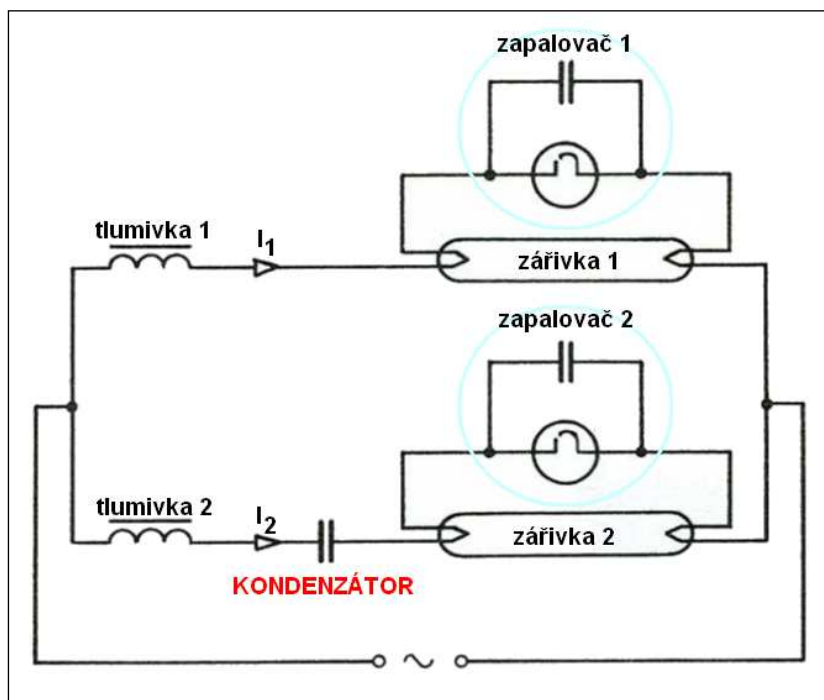
Zapálení výboje v zářivce při studených elektrodách je nesnadné. Proto se většinou před zapálením výboje zajišťuje vhodným elektrickým zapojením nažhavení elektrod. Nejčastěji se využívá doutnavkového zapalovače (viz obrázek), který je proveden jako doutnavka s bi-metalovou elektrodou. Doutnavkový zapalovač musí mít zapalovací napětí nižší než zářivka s nenažhavenými elektrodami, ale současně vyšší než je pracovní napětí zářivky. Po připojení zářivky na síťové napětí se zapálí mezi elektrodami zapalovače doutnavý výboj.



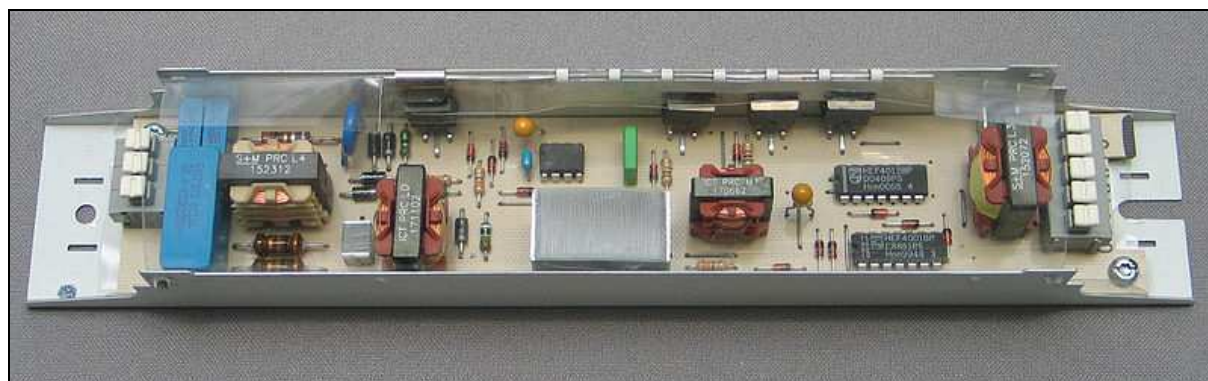
Tím se ohřívá elektroda z dvojkovu a postupně se ohne tak, že se spojí s druhou elektrodou doutnavky. Tím se připojí elektrody zářivky přes tlumivku na síťové napětí a začnou se žhavit. Současně však spojením elektrod v zapalovači uhasne mezi nimi výboj a elektroda z dvojkovu se ochlazuje až se po určité době odkloní od druhé elektrody a tak přeruší okruh žhavení elektrod zářivky. Přerušením tohoto obvodu se mezi elektrodami zářivky objeví napětí zvýšené vlivem přechodného děje na tlumivce a dojde k zapálení výboje. Protože pracovní napětí na výboji v zářivce je nižší než je zápalné napětí zapalovače, výboj v zapalovači už nezapálí. Pokud zářivka při prvním pokusu nezapálí, celý postup se opakuje. Pro snadnější rozpínání kontaktů na elektrodách zapalovače a pro odrušení se zapalovač vybaven kondenzátorem. Kondenzátor připojený k přívodu slouží ke kompenzaci účinníku.

U zářivek napájených střídavým proudem může vlivem míhání světla vzniknout stroboskopický jev. Nejlepší ochranou proti vzniku stroboskopického jevu je rozdělení zářivek do různých fází instalace tak, aby každý pohybující se předmět byl osvětlen alespoň dvěma zářivkami napájenými z různých fází.

U svítidel se dvěma zářivkami (viz obrázek) se vzniku stroboskopického jevu brání fázovým posunutím proudů v obvodu obou zářivek zařazením kondenzátoru do série k jedné zářivce.



U zářivek a kompaktních zářivek se používá elektronický předřadník, který umožňuje okamžitý start zářivky bez blikání typického pro výše popsaná svítidla. S elektronickými předřadníky je provoz svítidel bezhlučný, není nutné instalovat zapalovače a kompenzační kondenzátory. Zářivky zapalují bez blikání, vlivem napájení zářivek proudem vysoké frekvence (30 až 40 kHz) je zabráněno možnosti vzniku stroboskopického jevu. Prakticky je odstraněno rušivé kolísání světelného toku. Elektronický předřadník pro zářivkové svítidlo je na následujícím obrázku.



Na obrázku vpravo je elektronický předřadník kompaktní zářivky, tzv. úsporné žárovky.

V porovnání s provozem s indukčními předřadníky se docílí až 25% úspory energie. Výrazně se zpomaluje pokles světelného toku během života zářivky. Např. u některých typů lineárních zářivek po 12 000 hod. provozu klesne světelný tok na 90% jmenovité hodnoty, zatímco při provozu s indukčními předřadníky za stejnou dobu asi na 80% jmenovité hodnoty.

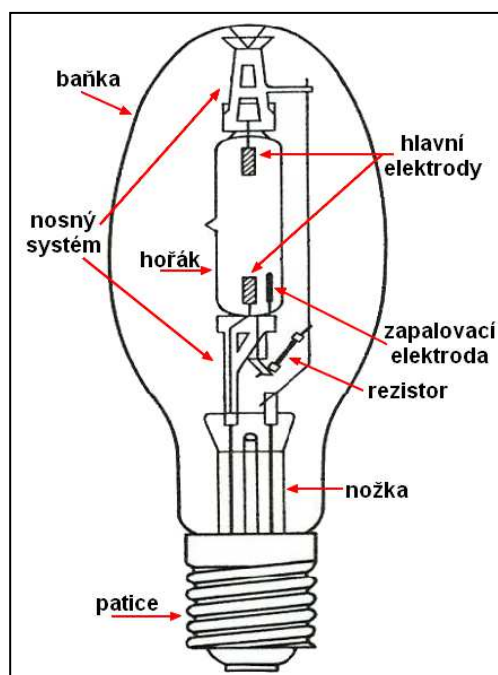
Křivka úmrtnosti zářivek klesá na 50% po odhoření 13 000 až 15 000 hod., u indukčních předřadníků je to po 8 000 až 11 000 hod. Doba života zářivek vzrůstá až o 30 – 50%, čímž se prodlužují intervaly výměny zářivek.

Sortiment zářivek vyráběných v současné době je velmi široký, a to jak z hlediska příkonů, tak z hlediska barevného tónu vyzařovaného světla – viz obrázek.



1.3.5. Rtuťové vysokotlaké výbojky

Viditelné záření vzniká u těchto výbojek zářením výboje v parách rtuti o tlaku obvykle vyšším než 0,1 MPa. Konstrukce rtuťové vysokotlaké výbojky je na obrázku vpravo. Výbojová trubice (hořák) provedená z křemenného skla je nosným systémem upevněna na nožce. Hlavní elektrody jsou ze svinutého wolframového drátu a pokrývají se emisní vrstvou kysličníků barya, stroncia nebo vápníku. Zapalovací molybdenová elektroda je zapojena přes rezistor 10 až 25 k Ω k protilehlé hlavní elektrodě. Vnější baňka má většinou eliptický (izotermický) tvar, je z tvrdého borosilikátového skla (u výbojek nad 250 W) a opatřuje se patičí buď typu E27 pro příkony do 125 W, nebo E40 od 250 W výše.



Vnější baňka se plní směsí argonu a dusíku na tlak 45 až 52 kPa a chrání nosný systém před oxidací, nepropouští ultrafialové záření a tvoří dobrou tepelnou izolaci pro udržení tlakových podmínek v hořáku. Hořák se plní rtutí (provozní tlak 0,2 až 0,9 MPa) a pro usnadnění zápalu ještě argonem (obvykle na tlak 2 až 3 kPa). Teplota v ose výboje bývá asi 5 500 K a teplota stěny hořáku asi 600 až 800 °C.

Rtuťové vysokotlaké výbojky vyzařují do viditelné části spektra téměř 15% přivedené energie. Jejich světlo je modrozelené až modrobílé. Chybí v něm červená složka (zvláště v oblasti nad 600 nm). To je z hlediska osvětlování nevhodné, neboť vnímání barev je velmi zkresleno. Proto se na vnitřní stěnu baňky nanáší luminofor, který část UV záření transformuje do červené oblasti spektra, čímž se podíl červené složky zvýší na 6 až 12%. Tak vznikne rtuťová vysokotlaká výbojka s luminoforem.

Pravděpodobnost poruchy je u výbojkového osvětlení menší než u instalací se zářivkami, neboť na jednu výbojku připadá poloviční počet kontaktů v napájecím obvodu. Výbojky lze použít ve vnitřním i venkovním průmyslovém osvětlení, při osvětlování komunikací, sportovišť i při slavnostním osvětlování významných objektů. V průmyslových provozech je z bezpečnostních důvodů osvětlovací soustavu s vysokotlakými rtuťovými výbojkami většinou nutno doplnit náhradní soustavou se zářivkami či žárovkami. Tyto výbojky se nehodí pro osvětlování prostorů s vysokými nároky na barevné podání (např. obrazárny, muzea, společenské místnosti, byty apod.). Postupně jsou však rtuťové vysokotlaké výbojky v různých aplikacích nahrazovány efektivnějšími výbojkami halogenidovými.

Hořák rtuťové vysokotlaké výbojky opatřený vhodným krytem může sloužit jako zdroj ultrafialového záření např. pro horská slunce. Proto vysokou hodnotu tohoto záření se nesmí používat ke svícení výbojky s rozbitou vnější baňkou.



1.3.6. Halogenidové výbojky

Halogenidové výbojky jsou vysokotlaké rtuťové výbojky, u nichž viditelné záření vzniká nejen zářením par rtuti, ale převážně zářením produktů štěpení halogenidů, tj. sloučenin halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Získá se tím podstatně zvětšení měrného výkonu při dobrém podání barev a zůstává zachována výhoda vysokotlakých rtuťových výbojek, tzn. malé rozměry a velký výkon v jednom světelném zdroji.

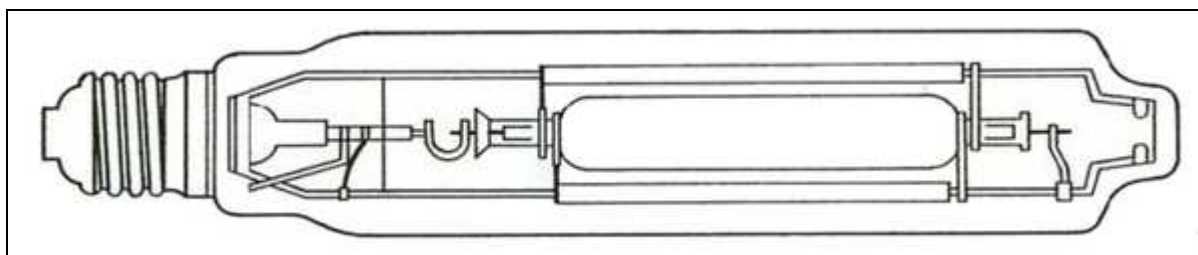
Minimální provozní teplota hořáku výbojky je 700 až 750 °C, která je nezbytná pro vypařování příměsí. Provozní tlak rtuťových par bývá asi 0,5 MPa a tlak příměsí vyšší než $1,33 \cdot 10^2$ Pa. Zapálení výboje usnadňuje náplň argonu (u bezrtuťových výbojek xenonu), ale spolehlivě se ho dosahuje jen vnějším zapalovačem (doutnavkovým, tyristorovým, vysokonapětovým či impulzním). Amplituda napětových impulzů bývá 1,8 až 5 kV. Výbojky pracují při teplotě okolí v rozmezí od -25 °C až do +60 °C.

Po zapálení probíhá výboj nejdříve v parách rtuti a inertního plynu. S nárůstem teploty se zvyšuje koncentrace halogenidů ve výboji. Při pracovní teplotě se v oblasti osy hořáku s vysokou teplotou halogenidy štěpí na atomy halogenu a příslušného kovu, které se vybudí a září.

Současně se vytváří gradient koncentrace těchto atomů v radiálním směru. Atomy následně difundují ke stěnám hořáku s nižší teplotou, kde opět slučují na původní sloučeniny. Vzniká tak uzavřený cyklus, jehož existence je nezbytným předpokladem dosažení vysokého měrného výkonu, požadovaného spektrálního složení záření i dostatečně dlouhého života výbojky.

Halogenidové výbojky vyzařují dostatek energie i v červené oblasti spektra a mají tudíž poměrně vysoký index barevného podání.

Konstrukce halogenidových výbojek je až na určité úpravy v zásadě podobná konstrukci obyčejných vysokotlakých rtuťových výbojek. Vnější čirá baňka výbojky je z tvrdého borosilikátového skla a může mít obvyklý elipsovitý tvar. U některých typů výbojek se baňky pokrývají luminoforem nebo rozptýlnou vrstvou. Baňka může mít také tvar trubice – viz následující obrázek.



Hořák halogenidové výbojky je buď z křemenného skla nebo v současnosti nejčastěji z keramického materiálu (např. průsvitný polykrystalický oxid hlinitý – tzv. umělý korund, oxid yttritý aj.).

Halogenidové výbojky se napájí přes tlumivku a zapalovací zařízení – viz obrázek vpravo.

Vysokonapěťový vodič musí být vždy připojen na střední kontakt objímky.

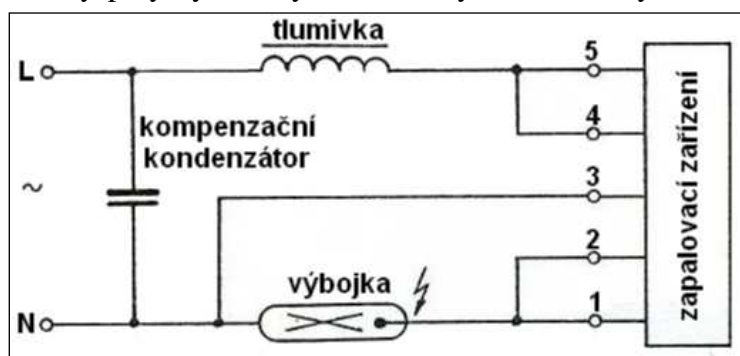
Ukázka halogenidových výbojek je na obrázku vpravo dole.

V horní části obrázku je výbojka se závitovou patičí a hořákem z křemenného skla.

Ve spodní části je lineární dvou-paticová výbojka s keramickým hořákem.

Doba dosažení plného světelného toku po zapálení se u halogenidových výbojek pohybuje podle typu od 2 do 10 minut po připojení.

Po zhasnutí výbojky je možné nové její zapálení až po dostatečném snížení tlaku rtuťových par v hořáku. Bývá to asi po 15 minutách chladnutí.



1.3.7. Nízkotlaké sodíkové výbojky

Podobně jako výboje v parách rtuti mohou být i výboje v parách sodíku zdroji viditelného záření. Charakteristickou vlastností nízkotlakých sodíkových výbojek je, že při parciálním tlaku sodíkových par asi 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice okolo 270 až 300 °C vyzařují prakticky monochromatické záření v pásmu dvou blízkých vlnových délek 589,0 a 589,6 nm (sodíková rezonanční dvojčára) ve žluté oblasti spektra. Jde o záření v blízkosti maxima spektrální citlivosti oka, což na jedné straně podmiňuje vysoký měrný výkon těchto výbojek dosahující až 200 lm.W⁻¹), ale na druhé straně to znamená, že v jejich světle nelze rozlišovat barvy.

Proto je použití nízkotlakých sodíkových výbojek omezeno na místa, kde není hustý provoz a pohyb lidí, např. výpadové silnice, dálnice, seřaďovací nádraží apod. a dále na místa, kde se jejich světla využívá jako barevného signálu.

Ve žlutém světle se dobře rozeznávají podrobnosti, vytvářejí se větší kontrasty jasů, je vyloučena chromatická vada oka a proto jsou nízkotlaké výbojky vhodné i pro osvětlování v mlze (např. povrchové doly apod.).

Výbojová trubice nízkotlakých sodíkových výbojek má buď kruhový průřez a ohýbá se do tvaru U či W (vnější baňka má pak jednu patici) nebo má nekruhový průřez a pak se vnější baňka výbojky opatřuje dvěma zářivkovými paticemi (lineární provedení). Vnější baňka musí výbojovou trubici dobře tepelně izolovat, a proto se provádí buď dvojítá, nebo je sice jednoduchá, ale s vysokým vakuem.

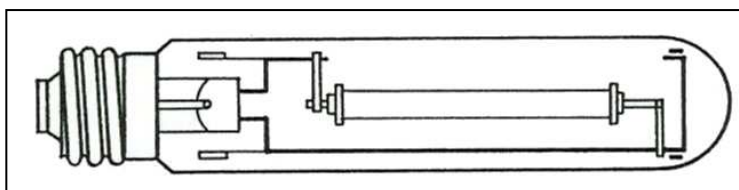
Nízkotlaké sodíkové výbojky se u nás používají jen výjimečně. Obvykle se vyrábějí o příkonech 37, 55, 89, 129 a 180 W.



1.3.8. Vysokotlaké sodíkové výbojky

Zvýšením tlaku par sodíku (asi na 26,6 kPa) v hořáku sodíkové výbojky se dosahuje podstatného zlepšení chromatičnosti vyzařovaného světla, ovšem i nižšího měrného výkonu (cca 120 lm.W⁻¹) než u nízkotlaké výbojky. S ohledem na velkou chemickou aktivitu sodíku a vysoké provozní teploty (800 °C) musí být hořák výbojky proveden z polykrystalického či monokrystalického kysličníku hlinitého (korundu). Hořák se plní netečným plynem (argonem nebo xenonem) a amalgamem sodíku. Náplň xenonu zvyšuje měrný výkon zdroje asi o 5%, ale zvyšuje zápalné napětí. Přítomnost rtuti přispívá ke zlepšení chromatičnosti světla zdroje a zejména zvyšuje napětí na výboji asi na 100 V (bez rtuti činí asi 42 V) a tudíž snižuje přibližně na polovinu proud výbojkou, což usnadňuje konstrukci předřadné tlumivky.

Konstrukční uspořádání vysokotlaké sodíkové výbojky je patrné z obrázku. Vnější baňka se provádí většinou čirá válcovitá a čerpá se na vysoké vakuum, které



se v průběhu života udržuje baryovým getrem. Baňka může mít i kapkovitý tvar s rozptýlnou vrstvou nanesenou na vnitřní stěně, čímž se docílí optických vlastností podobných vysokotlakým rtuťovým výbojkám.

Vysokotlaké sodíkové výbojky s vnější eliptickou baňkou pokrytou rozptýlnou vrstvou mají nižší jas svítícího povrchu a mohou být po výměně předřadníku a doplnění zapalovače použity v některých typech svítidel původně určených pro vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem.

Některé typy vysokotlakých sodíkových výbojek mohou být provozovány bez zapalovače. Mohou se použít pro přímou náhradu za vysokotlaké rtuťové výbojky beze změny předřadných přístrojů. Zapálení výboje v těchto případech umožňuje speciální náplň hořáku (tzv. Penningova směs) a pomocná elektroda navinutá kolem hořáku.

Velmi dlouhá životnost vysokotlakých sodíkových výbojek dosahující např. až 30 000 hod. a minimální pokles světelného toku v průběhu jejich provozu řadí tyto zdroje k nejhospodárnějším vysokotlakým výbojovým světelným zdrojům.

Vysokotlaké sodíkové výbojky se napájejí přes tlumivku a zapalovací zařízení. Pro zapálení výboje zajišťuje zapalovací zařízení napěťové impulzy 3 až 4,5 kV. Kapacita vedení mezi výbojkou a zapalovačem nesmí ovšem překročit 100 pF.

Zapalovací zařízení je řešeno tak, že po zapálení výboje přestane dodávat napěťové impulzy. Provoz vysokotlakých sodíkových výbojek, včetně zapalovacího zařízení je možný při teplotě okolí od -40°C do $+65^{\circ}\text{C}$. Při krátkodobém přerušení elektrického proudu výbojka zhasne. Zapalovač začne pracovat a po celou dobu chladnutí výbojky (asi 1 minutu) dává vysokonapěťové impulzy.

Při provozu výbojek je třeba dbát, aby nedošlo ke zvýšení jejich provozní teploty, neboť to vyvolá zvýšené napětí na výbojce a při překročení jeho určité hodnoty výbojka zhasíná. Po částečném ochladnutí výbojka znovu zapálí a tento cyklus se pak stále opakuje. Opakované zhasínání a rozsvěcení je doprovodným jevem objevujícím se též na konci životnosti vysokotlaké sodíkové výbojky.

Po zapálení dosahují vysokotlaké sodíkové výbojky plného světelného toku asi po 8 až 10 minutách.

1.3.9. Indukční výbojky

Indukční výbojky patří do skupiny nízkotlakých výbojových zdrojů. Využívá se u nich principu elektromagnetické indukce k vysokofrekvenčnímu buzení výboje v bezelektrodevém prostoru baňky naplněné inertním plynem a parami kovů (např. amalgám indium a vizmutu).

Vnitřní povrch baňky je opatřen luminoforem zajišťujícím transformaci vzniklého ultrafialového záření do viditelné oblasti spektra. Střídavý proud protékající primárním vinutím budicí cívky, indukuje střídavé magnetické pole uvnitř a vně ferritového jádra cívky. Toto střídavé magnetické pole pak indukuje proud v „sekundárním vinutí“, které je v tomto případě představováno parami rtuti uvnitř bezelektrodevého výbojového prostoru baňky.



Indukovaný sekundární proud protéká parami kovu a rozkmitává volné elektrony. Ty se pak srážejí s atomy par kovů a vybudují je. Při návratu vybudzeného atomu na jeho původní energetickou hladinu se emituje ultrafialové záření. To je po dopadu na vrstvu luminoforu transformováno na záření viditelné, vycházející z vnějšího povrchu baňky zdroje, obdobně jako u běžných zářivek.

Provedení indukčních výbojek je zřejmé z následujících obrázků.



Indukční výbojky vykazují všechny přednosti, které poskytuje provoz při napájení proudem vysoké frekvence. Vlivem bezelektrodové konstrukce mají extrémně dlouhou životnost (až 60 000 hod.) při velmi dobré stabilitě světelného toku během provozu, čímž se podstatně snižují náklady na údržbu osvětlovací soustavy.

Důležitou výhodou indukčních výbojek je též teplotní stabilita jejich světelného toku, a to v širokém teplotním rozsahu. Součástí svítidel pro indukční výbojky, popřípadě samotných výbojek, musí být filtry pro potlačení zpětných nepříznivých vysokofrekvenčních vlivů na napájecí síť.

Indukční zdroje představují novou generaci světelných zdrojů. Na jejich vývoji se pracuje v laboratořích světových výrobců již po desetiletí. Prakticky využitelné typy těchto zdrojů se však postupně objevují teprve v posledních asi sedmi letech.

Nízkotlaké indukční rtuťové výbojky zajišťují při velmi dobrém barevném podání vysoké měrné výkony blížící se 100 lm.W^{-1} . I při větších příkonech jde o rozměrově kompaktní zdroje. Jejich předností je i dlouhý život (u některých typů již dnes výrobci uvádějí až 100 tisíc hodin), okamžitý start a znovuzápal, dobrá stabilita světelného toku v průběhu života a malý vliv kolísání napájecího napětí na změnu světelného toku. Jejich nevýhodou je jejich vysoká cena a skutečnost, že dosud není vyřešena možnost jejich stmívání. Nevýhodou je také omezení zvyšovat jejich příkon, neboť k dosažení vyšších světelných toků je zapotřebí zvětšení plochy pokryté luminoforem a tedy i zvětšení rozměrů výbojky.

1.3.10. Xenonové výbojky

Xenonová výbojka je zdrojem silného světla o velkém světelném toku.

Tento druh výbojek se používal v kinech jako zdroj světla pro promítačky. Postupně úplně vytlačil dřívější obloukové lampy s pohyblivými uhlíky, jež byly náročné na obsluhu a skýtal horší kvalitu obrazu.

Předností xenonové výbojky je dlouhá životnost, až několik tisíc provozních hodin. Velkou výhodou je teplota chromatičnosti světla 5 600 až 6 000 K, tedy jako přirozené světlo.



Baňka výbojky je z taveného křemene. Je naplněna xenonem pod tlakem. Wolframové elektrody jsou pevně ukotveny. Zdrojem světla je oblouk mezi elektrodami. Zážeh oblouku obstarává impuls vysokého napětí o hodnotě až 60 000 voltů, který pomůže vytvořit ionizovanou cestu (obrázek nahoře).

Xenonové výbojky (obrázek dole) se také používají ve světlometech automobilů. Tyto světlometry mají vysoký světelný výkon, kompaktní rozměry a dlouhou životnost.

Zdrojem světla u xenonových světlometů je výbojka. Světlo se vytváří vznikem výboje mezi dvěma elektrodami, které jsou umístěny v baňce naplněné xenonem. V oblasti vzniku elektrického výboje má baňka zhruba velikost hrášku.

Elektrický oblouk je zapálen vysokonapětovým impulzem několik tisíc voltů. Zdrojem tak velkého napětíového impulsu je zapalovací modul. Barvu vzniklého elektrického oblouku ovlivňuje složení použitého inertního plynu. V případě xenonových světlometů je použit právě plyn zvaný Xenon. Barevné spektrum xenonové výbojky se pak blíží spektru denního světla. Barevná teplota denního světla je 5 200 K, xenonových výbojek 4 100 K a u halogenových žárovek přibližně 3 200 K. Xenon také pomáhá rychlému náběhu elektrické výbojky do plného výkonu tak, aby výbojka splnila náročná kritéria automobilového provozu.



1.3.11. Světelné trubice

Světelné trubice jsou plynem plněné výbojky s zapalovacím i provozním napětím 1 až 10 kV. Světelné trubice mají dlouhou životnost, ale malý světelný výkon. Z těchto důvodů se nepoužívají k osvětlování, ale nejčastěji se využívají k světelným reklamám. Barva trubice závisí na plynové náplni a na luminoforu. Např. neon vytvoří modrou barvu. Dále je možné plnit argonem. V kombinaci s barevnými skly trubic je možno dosáhnout všech barev.



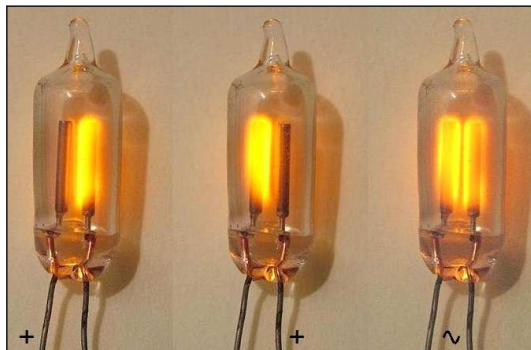
Vysoké napětí je zajištěno jednofázovými transformátory. Vzhledem k vysokému provoznímu napětí je nutné dbát na zvýšenou bezpečnost. Elektrické příводы k zařízení se světelnými trubicemi mohou stěnami budovy procházet jen ochrannými průchodkami. Všechny neživé části je nutné zemnit. Maximální povolené napětí na výstupu transformátoru je 10 kV. Napětí proti zemi nesmí překročit 5 kV.

Světelné trubice jsou v současnosti nahrazovány LED diodami, zářivkami nebo výbojkami.

1.3.12. Doutnavky

Doutnavka je nízkotlaká plynem plněná výbojka se studenou katodou pracující v oblasti samostatného doutnavého výboje. Odtud pochází její název. Ve skleněné baňce naplněné zpravidla neonem (ale i argonem, heliem, dusíkem, CO_2) o tlaku desetin kPa jsou dvě elektrody, mezi nimiž vzniká výboj nezávislý na polaritě přiloženého napětí.

Fyzikální podstatou doutnavky je přenos elektrického náboje plynem. Plyn se vlivem různých záření ionizuje a vzniklý ion a elektron se mohou působením elektrického pole pohybovat mezi anodou a katodou. Po připojení doutnavky na zdroj střídavého napětí svítí obě elektrody, u stejnosměrného zdroje jen elektroda připojená na zápornou svorku – katoda. Toho je možné využít k indikaci polarity a rozlišení střídavého a stejnosměrného napětí – viz obrázek napravo.



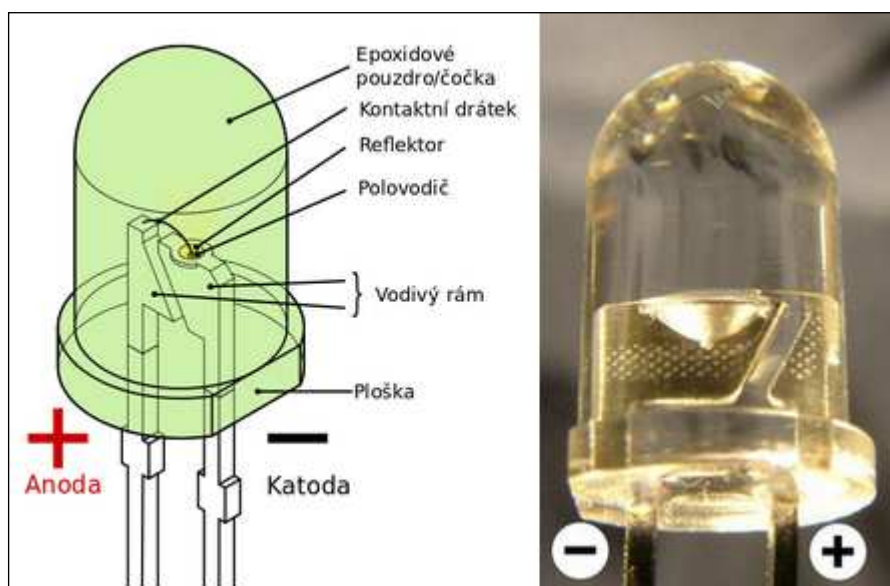
Princip doutnavky se dříve využíval také pro zobrazování číslic nebo písmen v digitronech. Digitron je podobně jako doutnavka plynem plněná výbojka se studenou katodou. Obvykle obsahuje jednu společnou anodu v podobě průhledné mřížky z tenkého drátu a více samostatných katod v tvaru číslic nebo písmen. Po přiložení záporného napětí (obvykle okolo 170V) mezi anodu a některou z katod se plyn v okolí katody rozzáří. Z výše uvedeného je zřejmé že doutnavky se používají především k signalizaci.



1.3.13. Světelné diody – LED

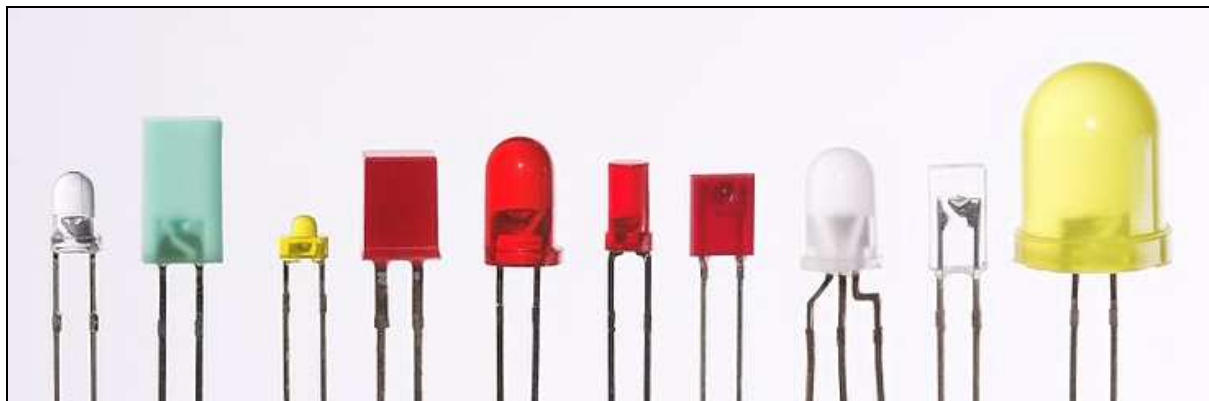
Jde o elektroluminiscenční diody známé pod označením LED (Light Emitting Diode), které jsou v současnosti považovány za nejperspektivnější světelný zdroj.

Světelná dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem v propustném směru. Při rekombinaci elektronu



(spojení elektronu s iontem) se uvolňuje určité kvantum energie (přibližně rovné šířce zakázaného pásma), které se může vyzářit buď mimo krystal, nebo může být absorbováno v mřížce krystalu (což se projeví zvýšenou teplotou) a je odváděno přes pouzdro diody do okolního prostoru.

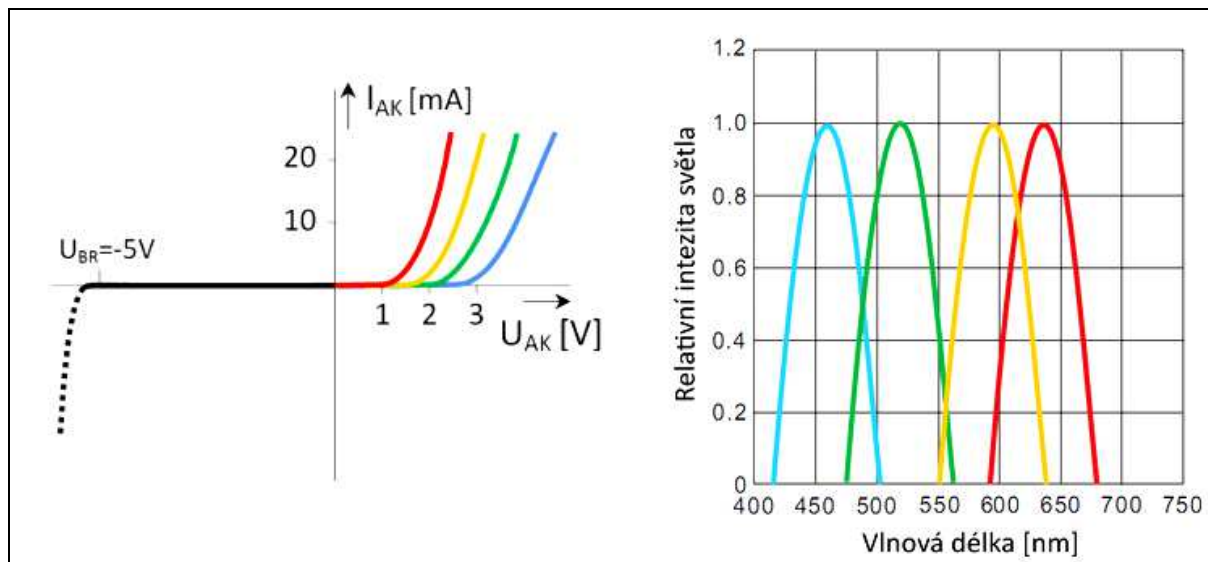
Záření je vždy omezeno na velmi úzké spektrum (v podstatě je tedy monochromatické). Např. kombinací materiálu GaAs (galium arsenid) s fosforem vzniká GaAsP (galium arsenid fosforid). Vytvoří-li se z tohoto materiálu přechod PN, získá se LED, která je zdrojem červeného záření.



Teoretické maximum měrného výkonu světlo emitujících diod je 220 lm.W^{-1} ; běžně se dosahuje $50 \text{ až } 60 \text{ lm.W}^{-1}$ při teplotě chromatičnosti $4\,000 \text{ K}$. Předpokládá se, že nové technologie umožní dosáhnout hodnoty 150 lm.W^{-1} při době životnosti $100\,000 \text{ hod}$.

Důležitá je závislost světelného toku světelných diod na teplotě. Při rostoucí teplotě tok klesá a naopak. U modré LED je závislost toku na změně teploty menší než u červené a největší změny vykazuje žlutá dioda.

Na obrázku vlevo jsou voltampérové a vpravo spektrální charakteristiky LED diod.



Světelnou diodu vyzařující bílé světlo lze získat dvěma způsoby:

- Aditivním míšením tří základních barev (červené, zelené, modré) – tak se tvoří body zobrazovacích panelů. Řízením jasu a podílu složek se ovlivňuje barevný tón.
- Použije se čip modré LED a ještě uvnitř pouzdra se opatří vrstvou aktivní hmoty (speciální luminofoxy označované jako typ RGB nebo OYGB), která na principu

obdobném jako u luminoforu zářivek převede část modrého záření do oblastí jiných vlnových délek (zvláště žluté).

Výsledkem míšení modré a žluté je téměř bílý barevný tón vyzařovaného světla.

Jednou z předností světelných diod je skutečnost, že vyzařovaný světelný tok je již usměrněn do určitého prostorového úhlu, zpravidla s vrcholovým úhlem 120° .

Vzhledem k tomu že jediná dioda LED má poměrně malý výkon, je třeba pro dosažení požadovaného výkonu diody sdružovat do celků. V důsledku toho nelze ve svítidle s diodami LED soustředit velký výkon zdrojů koncentrovaný do malého objemu. Na druhou stranu je však možno vytvářet svítidla s libovolně tvarovanými vyzařovacími plochami.

Na následujícím obrázku jsou ukázky různého provedení světelných zdrojů s LED diodami.



1.4. Parametry světelných zdrojů

Množství světla, které vydává žárovka, zářivka, kompaktní zářivka nebo jakýkoliv jiný zdroj světla, se udává v jednotkách světelného toku lumenech (značka lm). Výrobci zpravidla tento údaj uvádějí na obalu, např. pro obyčejnou žárovku 100 W udává výrobce světelný tok 1 340 lm. Jen o málo nižší světelný tok 1 230 lm dává úsporná žárovka s příkonem 21 W.

Množství lumenů, které světelný zdroj vysílá, udává velikost světelného toku, nebo-li, jak moc bude svítit. Výkon ve wattech, který je na obale svítidla také uveden, udává, co za svícení budeme platit. Je zřejmé, že rozumnou snahou je pořídit požadované množství světla z co nejnižšími náklady.

Nejvýhodnější je tedy světelný zdroj, který bude dávat nejvíce lumenů na 1 watt elektrického příkonu.

Počet lumenů na jeden watt je důležitá veličina, která se jmenuje měrný světelný výkon a značí se P. Naopak, známe-li měrný světelný výkon a spotřebu světelného zdroje ve wattech, pouhým vynásobením obou číselných údajů získáme tok světla v lumenech.



Měrný světelný výkon a světelná účinnost	P [lm.W ⁻¹]	K [%]
Svíčka	0,3	0,04
Žárovka wolframová, 5 W	5	0,7
Žárovka wolframová, 40 W	10,5	1,5
Žárovka wolframová, 60 W	11,7	1,7
Žárovka wolframová, 100 W	13,4	2,0
Halogenová žárovka křemenná	24	3,5
Vysokoteplotní žárovka	35	5,1
Kompaktní zářivka (úsporná žárovka) 5 - 24 W	45 - 60	6,6 - 8,8
Zářivka trubicová	50 - 104	7 - 15,2
Výbojka metalhalogenidová	100	15
Výbojka vysokotlaká, sodíková	150	22
Výbojka nízkotlaká, sodíková	183	27
Svítidlo LED20	do 140	do 20,5
denní světlo	41	6,0

V tabulce jsou údaje o měrném světelném výkonu P v lm.W⁻¹ a světelné účinnosti K v % pro různé zdroje světla. Známe-li energetický příkon zdroje ve W a vynásobíme jím měrný světelný výkon P ve druhém sloupci, dostaneme celkový světelný tok zdroje v lm.

Následující tabulka umožňuje stanovit počet světelných zdrojů tak, abychom jimi pokryli optimální osvětlení pro požadovaný účel.

Světelný zdroj	E [lx]	I [W.m ⁻²]
Osvětlení v noci při úplňku	$2 \cdot 10^{-1}$	$3,08 \cdot 10^{-4}$
Osvětlení k pohodlnému čtení	50	0,074
Kancelářské osvětlení	300	0,44
Výborné osvětlení v místnosti	700	1,02
Sluneční světlo, hodinu před západem	1 000	1,47
Denní světlo, zataženo	3 000	4,41
Slunný den ve stínu stromu	10 000	14,7
Ostrý sluneční svit v poledne	100 000	147

V tabulce vidíme některá typická osvětlení E v luxech a související intenzity světelného toku I ve W.m⁻². Osvětlení E v luxech ve druhém sloupci získáme jako hodnotu intenzity světelného toku I ve třetím sloupci vynásobenou maximální světelnou účinností záření $K_m = 680$ lm/W.

1.5. Svítidla

1.5.1. Úvod ke svítidlům

Světelné zdroje většinou samy o sobě nevyhovují pro osvětlovací účely, neboť obvykle mají nevhodné rozdělení světelného toku, příliš vysoký jas a ani nejsou odolné proti různým vlivům prostředí. Proto se světelné zdroje umísťují do svítidel. Svítidla jsou světelná zařízení, která slouží jednak k úpravě prostorového rozložení světelného toku zdrojů, k rozptýlení jejich světla, popřípadě i ke změně spektrálního složení záření a jednak k napájení zdrojů elektrickou energií, k jejich upevnění a k ochraně světelných zdrojů před nepříznivými vlivy obklopujícího prostředí.

Vhodná konstrukce svítidel a jejich správné umístění jsou hlavními prostředky ke snížení jasu světelných zdrojů v určitých směrech a k odstranění nebezpečí oslnění. Kromě zmíněných světelně technických požadavků musí svítidla umožňovat jednoduchou montáž a údržbu, musí být dostatečně trvanlivá a funkčně spolehlivá, musí vyhovovat i z hlediska ochrany před úrazem elektrickým proudem, ochrany před vniknutím cizích předmětů či vody, popřípadě ochrany před nebezpečím výbuchu a musí odolávat dalším namáháním a nepříznivým vlivům prostředí.

Při konstrukci svítidel je však nutno respektovat i estetické požadavky a požadavek maximální hospodárnosti.

Kromě svítidel pro běžné osvětlovací účely se v praxi často využívá též světlometů. Světlometry jsou světelné přístroje, které vyzařují směrově soustředěný svazek světelných paprsků. Používají se převážně pro osvětlování na velké vzdálenosti. Ke světelným zařízením patří také návěstidla, používaná ke světelnému značení a signalizaci, zejména v dopravě. Svým použitím i konstrukcí se ke svítidlům řadí také ozařovače pro oblast optického záření. Jde o zařízení, která mění rozložení optického záření zdrojů, rozptylují je, popř. mění jeho spektrální složení.

1.5.2. Světelně činné a konstrukční části svítidel

Svítidla se skládají z částí světelně činných a z částí konstrukčních. *Světelně činné části* slouží ke změně rozložení světelného toku, popřípadě i ke změně spektrálního složení světla. Konstrukční části slouží k upevnění samotných světelných zdrojů a světelně činných částí, dále k jejich ochraně a k napájení zdrojů světla.

Podle charakteru potřebné úpravy prostorového rozdělení světelného toku se svítidla vybavují různými světelně činnými částmi, a to stínidly, reflektory, refraktory, čočkami, difuzory či filtry.

Stínidla jsou clony z neprůsvitné nebo rozptýlné látky, jejichž účelem je bránit přímému pohledu na světelný zdroj. Stínidla mohou mít i tvar mřížky složené z pásků.

Reflektory jsou části svítidel, které mění prostorové rozložení světelného toku odrazem světla, zatím co *refraktory* a *čočky* mění rozdělení toku prostupem a lomem světelných paprsků a *difuzory* (rozptylovače) pak prostupem a rozptylem světla. *Filtry* jsou světelně činné části svítidel, které mění spektrální složení jimi procházejícího světelného záření nebo zmenšují světelný tok tohoto záření.

Ke *konstrukčním částem* svítidla patří především *těleso* (nosná část) *svítidla*, *objímka* pro instalaci, mechanické uchycení a elektrické připojení světelného zdroje, dále *držák objímky*

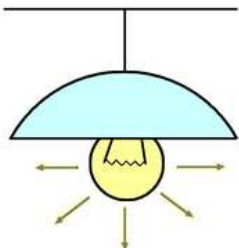
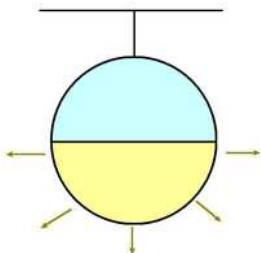
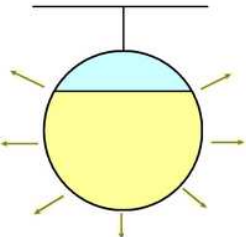
připevňující objímku k tělesu svítidla, **elektrické příslušenství** jako např. předřadníky, zapalovací zařízení, kompenzační kondenzátory, dále **elektroinstalační součásti**, např. svorkovnice, vývodky, vodiče, **ochranné kryty** zdrojů a světelně činných částí včetně upevňování příruby a těsnění, a konečně také **upevňovací prvky** pro připevnění svítidla k nosné konstrukci, např. závěsná oka, výložníky, šňůry, trubky, řetízky, dotykové spojky, čepy, montážní lišty apod.

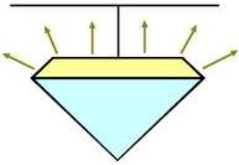
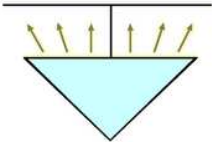
1.5.3. Třídění svítidel

Svítidla se rozdělují podle druhu použitého světelného zdroje, podle rozložení světelného toku, stupně clonění, druhu krytí, upevnění a účelu použití svítidel. Podle světelného zdroje, pro který jsou určena, se rozeznávají zejména svítidla žárovková, zářivková a výbojková.

Svítidla jsou zařízení, jejichž úkolem je usměrnit světelný tok dle požadavků. Jsou to vlastně doplňující výstroje ke zdrojům světla, s nimiž tvoří jeden celek. Mají za úkol nasměrovat tok světla, zabránit oslnění a chránit zdroj světla před vlivem okolí.

Rozdělení svítidel je v následující tabulce:

Svítidla pro přímé osvětlení	
	vyzařují nejméně 90% světelného toku do spodního poloprostoru, používají se ve vysokých a tmavých prostorech
Svítidla pro polopřímé osvětlení	
	vyzařují 40 – 90% světelného toku do spodního poloprostoru
Svítidla pro smíšené osvětlení	
	vyzařují 40 – 60% světelného toku do spodního poloprostoru

Svítlidla pro polonepřímé osvětlení	
	vyzařují 40 – 90% světelného toku do horního prostoru
Svítlidla pro nepřímé osvětlení	
	vyzařuje více jak 90% světelného toku do horního poloprostoru, netvoří stíny

1.5.4. Světelná účinnost svítidel

Světelný tok vycházející ze svítidla je vždy vlivem ztrát v optickém systému svítidla menší než světelný tok zdrojů instalovaných ve svítidle. Hospodárnost svítidla ze světelně technického hlediska charakterizuje světelná účinnost svítidla definovaná poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku zdrojů. Hodnoty účinnosti svítidel se pohybují v širokých mezích, přibližně od 0,3 do 0,9.

Účinnost svítidla je závislá jak na druhu zdroje a jeho fotometrické ploše svítivosti, tak i na jeho poloze ve svítidle. Na účinnost svítidla má vliv tvar a konstrukce svítidla, světelné technické vlastnosti materiálů částí svítidla, které odrážejí či propouštějí světlo. U otevřených svítidel vychází sice část světelného toku zdrojů ze svítidel přímo a tedy beze ztrát, ovšem zbylá část světelného toku dopadající na světelně činné části svítidel, vychází ze svítidel otevřených zmenšena o tok pohlcený v optickém systému svítidel. Účinnost svítidla je tedy tím vyšší, čím větší část světelného toku zdrojů vychází ze svítidel přímo, aniž by byla podrobena odrazům, lomům či prostupu jakoukoliv vrstvou. Podíl toku přímo vycházejícího ze svítidel je též závislý na úhlu clonění.

Je-li světelný tok použitého světelného zdroje závislý na teplotě okolí, jako je tomu např. u zářivkových svítidel, udává se jednak optická účinnost svítidla a jednak účinnost provozní. Optická účinnost se stanovuje z hodnot světelných toků svítidla a zdrojů určených za stejných podmínek a pracovní teploty jako při provozu svítidla. Provozní účinnost svítidla je pak určena poměrem toku vyzařovaného svítidlem při provozní teplotě k toku zdrojů, který se stanoví z předepsaných podmínek (normalizovaný předřadník, normalizovaná teplota).

1.5.5. Nejdůležitější zásady osvětlování

Cílem osvětlení určitého prostoru je vytvořit v něm v souladu s jeho určením co nejvýhodnější podmínky pro požadovanou činnost lidí a pro vznik jejich zrakové pohody. Dobré osvětlení v průmyslových podnicích je jedním z důležitých činitelů racionalizace výroby, umožňujících

zvyšování produktivity práce i kvality výroby. Kvalitní osvětlení komunikací přináší výrazné zvýšení bezpečnosti provozu a obvykle vede ke snížení počtu dopravních nehod po setmění asi o 30%. Správně vyřešené osvětlení nejen že vytváří co nejlepší podmínky pro jakoukoliv činnost lidí, ale značně ovlivňuje i estetický dojem o prostředí, a to jak na nejrůznějších pracovištích, tak v prostorech odpočinkových a kulturně společenských.

Kvalita osvětlení se hodnotí podle toho, jak daná osvětlovací soustava splňuje kvantitativní a kvalitativní požadavky kladené na osvětlení uvažovaného prostoru. Při návrhu osvětlení se tvoří světelné prostředí, jehož cílem je uspokojit tři základní lidské potřeby:

- **zrakovou pohodu**, to je stav, kdy pracovníci nejen dobře vidí a rozlišují potřebné detaily, ale také se v daném prostředí cítí příjemně; což nepřímo přispívá k vysoké úrovni produktivity; jde tedy o tvorbu zrakově příjemného prostředí podporujícího psychologickou pohodu lidí.
- **zrakový výkon**, kdy i v relativně špatných podmínkách jsou pracovníci po dlouhou dobu schopni přijímat a zpracovávat stejné množství informací za jednotku času, tzn. vykonávat požadované zrakové úkoly; jde tedy o vytvoření předpokladů zejména pro potřebnou ostrost vidění, správné rozlišování tvaru a barev předmětů a jejich detailů i pro dostatečnou rychlost vnímání, aby fyziologická námaha a únava spojená s prací zraku byla co nejnižší a aby se v pracovních místnostech dosáhlo vysoké produktivity práce při minimální únavě.
- **bezpečnost**, především zábranou vzniku oslnění, vyloučením stroboskopického jevu, eliminací nevhodných stínů či kontrastů ze zorného pole pozorovatelů atd.



2. Elektrické teplo

2.1. Teoretické základy šíření tepla

Teplo je forma energie, která se navenek projevuje v makroskopickém měřítku jen teplotou tělesa, v němž je akumulována. Mezi tělesy s různými teplotami dochází ke sdílení (přenosu) tepla vždy z tělesa teplejšího na těleso chladnější. K přenosu tepla dochází vždy pomocí tří základních principů:

- vedením (kondukcí)
- prouděním (konvekcí)
- sáláním (radiací)

Zpravidla se šíří všemi těmito způsoby současně, ale některý z nich může převládat. Nutnou podmínkou pro sdílení tepla vedením nebo prouděním je existence hmotných částic ve sledovaném prostoru. K přenosu sáláním dochází i ve vakuu a nositelem tepelné energie pak je elektromagnetické vlnění. Všechny ostatní způsoby přenosu tepla jsou kombinacemi těchto základních principů.

Vedení tepla – kondukce

Vedení tepla se vyskytuje u pevných látek. Dobrymi vodiči tepla jsou kovy. Hovoříme o tzv. prostupu tepla.

Proudění tepla – konvekce

Proudění tepla nastává tehdy, jestliže prostředím, které přenáší teplo, je plyn nebo kapalina a prostředím, které teplo přivádí, je tuhé těleso nebo naopak. Teplo se přitom přenáší prostřednictvím pohybujících se částic plynu nebo kapalin. Pohyb částic může být přirozený – nestejnoměrným rozdělením v kapalině nebo plynu, popř. nucený – zrychlujeme-li částice čerpadlem nebo ventilátorem. Jako příklad lze uvést přenos tepla v elektrické odporové peci z roztopených stěn nebo rezistorů na vsázku prouděním plynného prostředí.

Sálání tepla – radiace

Těleso, jehož teplota je vyšší než 0 K, vyzařuje (sálá) všemi směry infračervené paprsky s vlnovou délkou $\lambda = 750$ až 10 000 nm a paprsky s vlnovou délkou $\lambda = 10\,000$ až 1 000 000 nm (tzv. tepelné). Pro sálání platí tytéž zákony jako pro světelné záření.

2.2. Zdroje tepla v elektrotechnice – elektrický ohřev

Elektrické teplo vzniká přeměnou z elektrické energie. Známe tyto druhy přeměny:

- **odporový ohřev** – teplo vzniká průchodem elektrického proudu rezistorem, např. topné rezistory, odporové pece, elektrické vytápění, odporové svařování
- **obloukový ohřev** – teplo vytváří elektrický oblouk, využívá se v obloukových pecích, při obloukovém svařování

- **indukční ohřev** – teplo vzniklé indukovanými proudy, využívá se v indukčních pecích nebo u indukčních vařičů
- **dielektrický ohřev** – využívá dielektrické teplo, které vzniká v předmětu z elektricky nevodivého materiálu vloženého do silného vysokofrekvenčního elektrického pole, používá se například při ohřívání plastů, vulkanizaci kaučuku nebo vysoušení potravin
- **infračervený ohřev** – infrazářiče vyzařují paprsky s vlnovou délkou 750 až 10 000 nm, infračervené záření proniká do hloubky a ohřívá látku

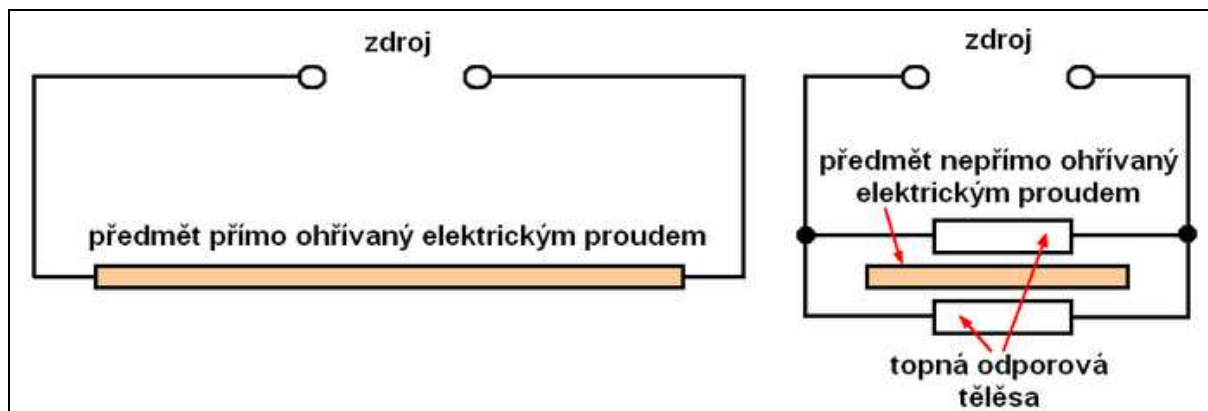
2.3. Způsoby elektrického ohřevu

2.3.1. Odporový ohřev

Elektrické odporové teplo zde vzniká průchodem elektrického proudu I v elektricky vodivém prostředí. Přeměna elektrické energie v teplo je dána Joulovým zákonem, dle kterého lze určit množství tepla Q dle vztahu $Q = RI^2t$ [$J; \Omega, A, s$], kde je:

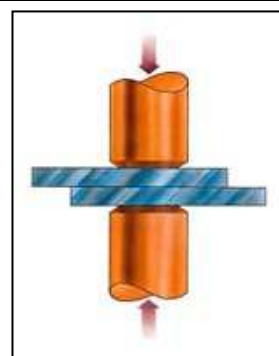
- R odpor vodiče, vodivého materiálu, prostředí
- I proud procházející vodičem
- t doba průchodu proudu elektricky vodivým materiálem

Podle vzniku a využití odporového tepla rozeznáváme **přímý a nepřímý odporový ohřev**.



Přímý odporový ohřev

Teplo zde vzniká přímým průchodem proudu ohřívaným materiálem. Používá se např. při ohřevu dlouhých tyčí, drátů a pásů, nebo při bodovém svařování (obrázek napravo). Podmínkou je, že ohřívané těleso musí mít velký odpor, přívodní vodiče musí mít co nejmenší odpor aby se nezahřívaly, a zdroj musí být schopen dodat velký proud.



Nepřímý odporový ohřev

Je-li materiál nevodivý nebo je-li jeho činný odpor velmi malý, je nutné použít nepřímý odporový ohřev a využít proudění tepla, které vzniká v topných rezistorech. Materiály používané pro jejich výrobu musí mít velkou měrnou rezistivitu, malý teplotní součinitel odporu, vysoký bod tavení, odolnost proti oxidaci a dobrou zpracovatelnost.

Nejpoužívanější materiály pro výrobu topných rezistorů:

- do 350 °C – slitiny mědi a niklu (nikelin, konstantan)
- do 800 °C – chromová litina, křemíková litina
- do 1350 °C – slitina železa, chromu, manganu, slitina železa, chromu, hliníku (kanthal), slitina železa, chromu, kobaltu
- nad 1350 °C – kovy platina, molybden, wolfram

Na následujícím obrázku jsou příklady provedení elektrických topných odporových těles.

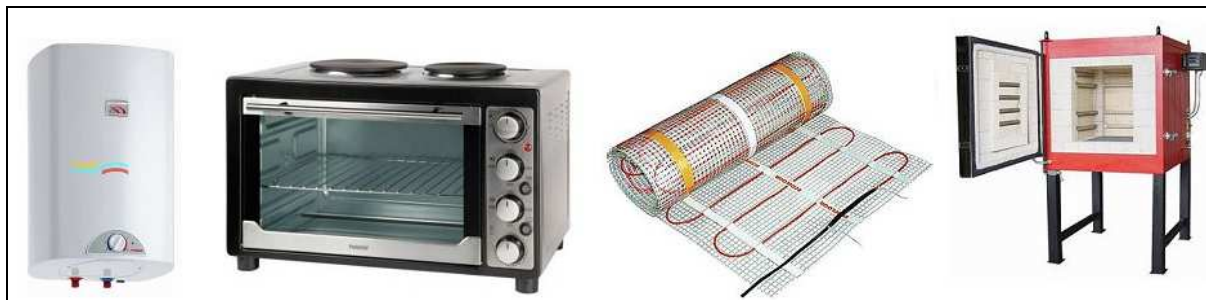


Použití odporového ohřevu

V domácnosti se odporový ohřev používá v celé řadě spotřebičů, jako jsou žehličky, elektrické sporáky a vařiče, rychlovarné konvice, fritézy, automatické pračky, fény atd. Odporový ohřev se používá také k ohřevu teplé užitkové vody a k vytápění.

V průmyslu je odporový ohřev využíván v odporových pecích, které se používají např. k sušení, tepelnému zpracování kovů (např. žhánání, kalení, popouštění), tavení kovů s nižším bodem tání, smaltování nebo sterilizaci ve zdravotnictví.

Odporový ohřev se využívá také při bodovém svařování. Protože v místě spoje svařovaných dílů je největší odpor, vzniká zde největší teplo. Svařované části na sebe přitlačí elektrodami a průchodem proudu se místo spoje ohřeje na požadovanou teplotu a svaří.



2.3.2. Obloukový ohřev

Při tomto ohřevu teplo vzniká v elektrickém oblouku. Oblouk se napájí střídavým nebo stejnosměrným proudem. Proud přitom prochází plyny, které jsou za normálních podmínek elektricky nevodivé. Teprve po ionizaci prostředí (např. vlivem vysoké teploty) se stanou elektricky vodivými. Teplota oblouku dosahuje hodnoty až několika tisíc kelvinů (až 5000 K). Plyny při takové teplotě jsou velmi vodivé, nazýváme je plazma. Vysoká teplota se uplatňuje v průmyslu při obloukovém svařování a v obloukových pecích.

Elektrické obloukové peci – rozdělení podle hoření oblouku

Peci s přímým obloukem

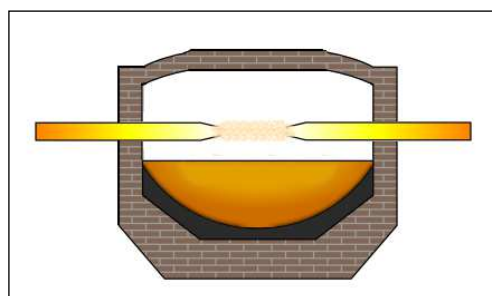
V těchto pecích oblouk hoří mezi elektrodou a vsázkou. Tyto peci se používají především k výrobě oceli a litiny.



Peci s nepřímým obloukem

Oblouk hoří mezi dvěma elektrodami a teplo se do vsázky dostává výlučně sáláním. Proto se tyto peci nazývají peci se sálavým obloukem.

Peci se používají k výrobě litiny, bronzu, mědi, feroslitin, karbidů a některých legovaných ocelí.



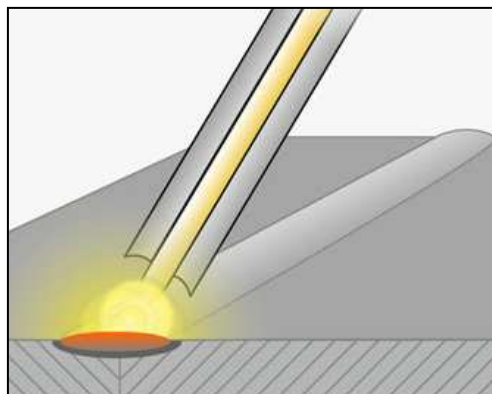
Peci se zakrytým obloukem

V nich oblouk hoří mezi elektrodami a vsázkou, ale elektrody jsou ponořeny do roztavené strusky a obsypány závrškem rud a příměsí. Oblouk je tedy zcela zakryt.

Obloukové svařování

Při obloukovém svařování se využívá teplo vznikající v elektrickém oblouku. Existuje celá řada metod svařování. Všechny jsou z elektrického hlediska založeny na stejném principu.

Elektrický oblouk vzniká mezi koncem kovové elektrody a svařencem. Roztavené kapky kovu z elektrody se přenášejí obloukem do svarové lázně na svařenci. Tím vzniká svar spojující svařované materiály.

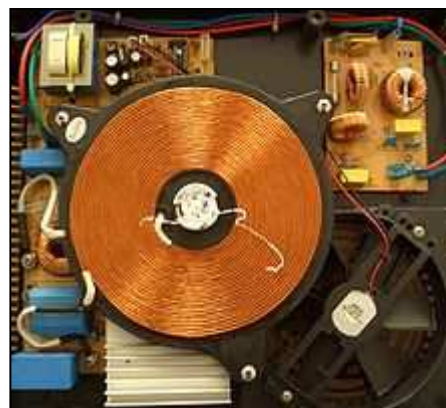


2.3.3. Indukční ohřev

Podstatou indukčního ohřevu je ohřev vodivého materiálu (obvykle kovu) vířivými proudy, které se v něm indukují elektromagnetickým polem. Používá se na pájení, žhánání a tavení kovových materiálů. Využívá se od malých laboratorních zařízení až po tavicí pece s obsahem stovek tun. Hlavní výhodou jsou úspory energie, protože se materiál ohřívá přímo, dále možnost provádět ohřev v ochranné atmosféře nebo ve vakuu a především čistý provoz.

Indukční ohřev při vaření

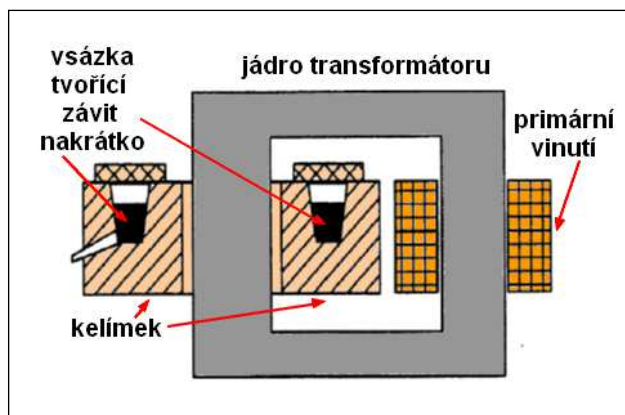
Indukční ohřev se také začíná uplatňovat při vaření, kdy dochází k ohřevu kovového dna hrnců vířivými proudy vznikajícími vlivem elektromagnetického vlnění vytvořeného v cívce umístěné ve vařiči (viz obrázek). Výhodou indukčních vařičů je vysoká účinnost, bezpečnost a rychlost vaření. Nevýhodou tohoto způsobu vaření je, že nelze použít nekovové nádoby vyrobené z materiálů jako je sklo či keramika.



Nízkofrekvenční pece

Při tomto ohřevu teplo vzniká působením indukovaných vířivých proudů. Indukční pec je vlastně transformátor, jehož výstupní vinutí je tvořeno kusem kovu.

Vstupní primární vinutí je tvořeno závit z měděné trubky, kterou protéká chladicí tekutina. Střídavý magnetický tok buzený vstupním proudem vytvoří ve výstupním sekundárním závitě nakrátko tvořeným obsahem tavicího kelímku tak velké vířivé proudy, že se kov v kelímku roztaví.

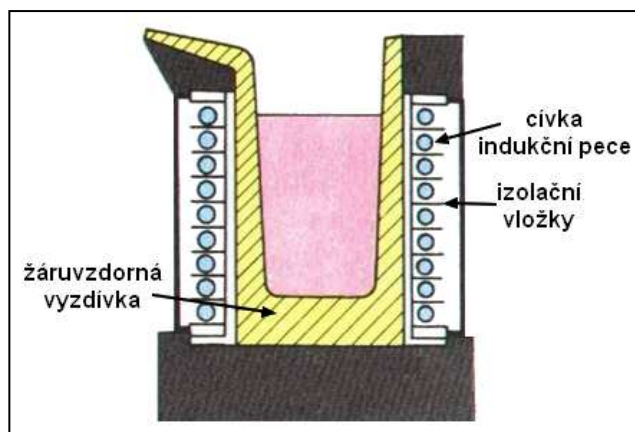


Tyto pece se používají k výrobě speciálních slitin, neboť ohřev je velmi čistý, tj. nezpůsobuje žádné znečištění slitiny. Používá se pro teploty 1 500 až 2 500 °C a výkony až 1 MW.

Středofrekvenční pece

Středofrekvenční pece pracují na kmitočtech 500 až 3 000 Hz. Pec nemá železné jádro, je kelímková.

Vsázkou jsou kovy, železné i neželezné. Vsázka se zahřívá vířivými proudy a u železné vsázky navíc ještě hysterezními ztrátami.



Vysokofrekvenční ohřev

Princip vysokofrekvenčního ohřevu je obdobný jako u středofrekvenčního. Při tomto ohřevu se využívají vyšší kmitočty, až 500 kHz. Elektromagnetické pole vytvořené v cívce působí na ohřívané předměty, které tvoří jádro a vlivem ztrát se ohřívají.

Při vysokých kmitočtech magnetické pole vytlačuje proudy na povrch kovových předmětů. Hustota proudů indukovaných ve vloženém kovovém předmětu se zmenšuje se vzdáleností od povrchu. Tímto lze regulovat hloubku ohřevu.

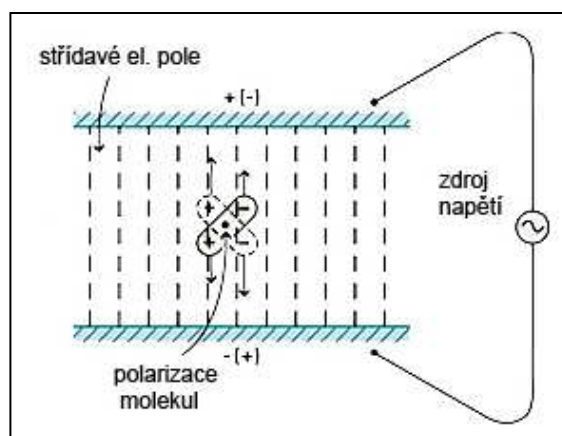


Nejvyšších kmitočtů se používá např. pro povrchové kalení. Naopak pro tavení se volí nižší kmitočty.

2.3.4. Dielektrický ohřev

Používá se k sušení nebo ohřevu nekovových látek. Ty se vkládají do elektrického vysokofrekvenčního pole. Rychlým prepolarizováním částic ohřívané látky, která tvoří dielektrikum, vznikají tzv. dielektrické ztráty, které se mění v teplo (viz obrázek napravo).

Velikost ztrát závisí na intenzitě elektrického pole, kmitočtu, permitivitě ohřívané látky a ztrátovém úhlu dielektrika.



Množství vyvinutého tepla je přímo úměrné napětí a kmitočtu, a nepřímo úměrné vzdálenosti elektrod. Jeho praktické použití je:

- v dřevařském průmyslu (výroba překližek, sušení, apod.)
- pro ohřev plastických hmot pro jejich tvarování
- pro svařování plastických hmot (včetně fólií)
- pro ohřevy při výrobě sklolaminátu.

Používají se kmitočty od 1 MHz až do 100 MHz, spád napětí je 500 V až 1 500 V na 1 cm tloušťky dielektrika. Dielektrický ohřev se v současné době též využívá k tepelnému zpracování potravin v tzv. mikrovlnných troubách. Výhodou je zkrácení doby přípravy na několik sekund.



2.3.5. Infračervený ohřev

Infračervené záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou 750 až 1 0000 nm. Zdrojem infračerveného záření jsou infrazářiče (viz obrázky dole). Infračervené záření proniká do hloubky a rychle prohřívá látku. Tento ohřev se používá převážně k sušení.

Příkladem infrazářiče je podžhavená žárovka (1 500 °C). Infrazářivky mají na horní části baňky na pařenou kovovou vrstvu, tzv. reflektor.



2.3.6. Elektrická jiskra

Teplo vzniklé po dopadu elektrické jiskry způsobí odpaření nebo spálení materiálu. Používá se na obrábění i velmi tvrdých kovů. Jiskra se tvoří v prostoru vyplněném deionizovanou (nevodivou) vodou mezi elektrodou a opracovávaným materiálem. Voda chladí a odvádí zbytky spáleného materiálu. Elektrody se vyrábějí z mědi nebo mosazi. Mohou mít má tvar drátu nebo tyče pro řezání nebo vypalování děr. Mohou také mít přímo tvar, který se má vyhloubit do obrobku.



3. Elektrické chlazení a klimatizace

3.1. Princip elektrického chlazení

Většina chladících zařízení využívá skutečnosti, že k vypaření kapaliny je nutné jí dodat určité teplo, tzv. skupenské teplo vypařování. Kapalina, která se používá v chladících zařízeních jako pracovní médium (tzv. chladivo), přitom toto teplo odebírá svému okolí, tj. prostoru, který má být ochlazen.

Chladicí a mrazicí zařízení jsou stroje určené k přenosu tepla z vnitřního prostoru do okolí. Teplo se přenáší chladicí kapalinou s nízkým bodem varu, zhruba 20 °C při atmosférickém tlaku. Donedávna se používalo jako chladicí kapaliny chlorovaných a fluorovaných uhlovodíků. Tyto sloučeniny ale způsobují kromě jiného i odbourávání ozonu v horních vrstvách atmosféry. Proto se začaly nahrazovat méně škodlivými hydrogenovanými CFC uhlovodíky, které se rozkládají dříve než dosáhnou výšky, kde je ozonová vrstva.

3.1.1. Absorpční chlazení

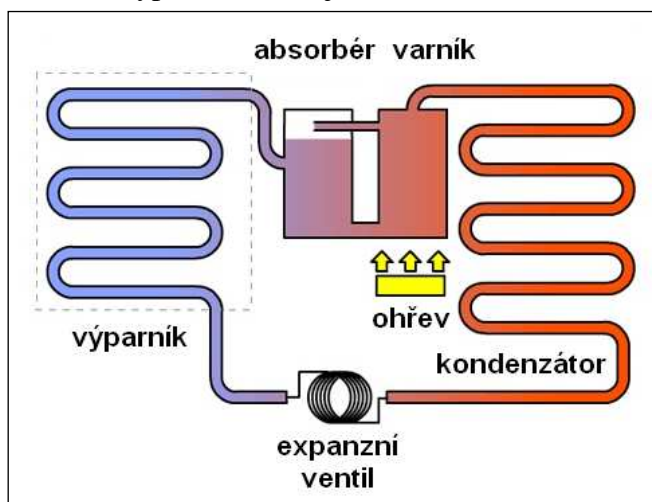
Absorpční chlazení pracuje na principu, při kterém se plynné chladivo nejdříve pohlcuje a následně vypuzuje z pomocné kapaliny. Silný roztok amoniaku přichází z absorpční nádoby do varníku. Po zahřátí stoupají páry amoniaku vzhůru do kondenzátoru a slabý roztok amoniaku jde do trubice. Vzduch cirkulující žebry kondenzátoru ochlazuje páry amoniaku na tekutý amoniak, který teče do výparníku. Vodík ve výparníku snižuje tlak amoniaku a nutí ho k odpařování.

Při tomto procesu amoniak odebírá teplo z výparníku, který zase odebírá teplo z ochlazovaného prostoru, ve kterém se tímto teplota se snižuje. Slabý roztok amoniaku, který je udržován v trubici z varníku, pohlcuje páry chladiva. Směs vodíku a amoniaku jde zpět do absorbérů, kde se vodík a amoniak oddělí a cyklus se opakuje.

Výhodou chladniček pracujících na absorpčním principu je, že neobsahují žádný kompresor, žádný motor či jinou pohyblivou část. Nedochází zde tedy k žádnému mechanickému opotřebení a k žádným vibracím. Chladničky pracují zcela bezhlučně a prakticky bez jakékoliv údržby. Při provozu je jen třeba dbát na to, aby byla chladnička umístěna ve vodorovné poloze, jinak ztrácí výkon. Chladicí směs neobsahuje freon, či jiné příměsi poškozující životní prostředí.

Chladicí výkon je většinou vyšší než u termoelektrických chladniček a jen o něco nižší než u chladniček kompresorových. Nevýhodou je velký odběr proudu.

Provoz absorpčních chladniček je možný i na plyn (propan-butan, propan).



3.1.2. Adsorpční chlazení

Princip adsorpčního chlazení je podobný jako u absorpčního. Při adsorpčním chlazení je chladivo adsorbováno pevným adsorbentem (chladivo přilne k povrchu adsorbentu) a uvolňováno jeho ohřátím. Jako chladivo se obvykle používá amoniak, jako adsorbent silikagel nebo zeolit. Uvolněný plynný amoniak za zvýšeného tlaku v kondenzátoru zkapalní a přitéká do výparníku, kde se odpařuje teplem odebíraným okolí, které tím ochlazuje. Vzniklá pára proudí do adsorbéru, kde je adsorbována adsorbentem. Vznikající teplo je odváděno žebry do vzduchu. Tento oběh se opakuje, neprobíhá plynule, ale po přítržích, po kratší době přípravy a delší době chladící.

3.1.3. Kompresorové chlazení

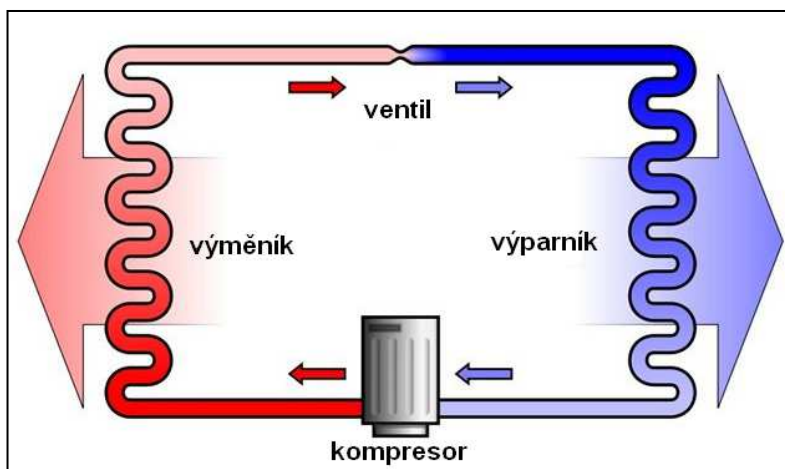
Kompresor vtláčuje chladicí médium v plynném stavu do výměníku, který je tvořen dlouhou tlustostěnnou kovovou trubicí (černá mřížka na zadní straně ledničky). Ve výměníku se plyn ochladí a změní na kapalinu. Při kondenzaci páry na kapalinu musí pára odevzdat část své vnitřní energie (tzv. skupenské teplo kondenzační) okolí.

Odvádění par z prostoru nad kapalinou zintenzivňuje vypařování proto, že se molekuly páry unikající z kapaliny „nemusí tísnit“ v prostoru nad kapalinou s molekulami již vypařenými. Odpařování kapaliny je doprovázeno odebráním tepla z okolního prostoru proto, že molekuly kapaliny musí získat větší energii, než mají v kapalině, aby se mohly od kapaliny odpoutat.

Teplo, které odebírá kapalina z prostoru výparníku, se totiž mění na energii, kterou potřebují molekuly kapaliny k vypaření (tj. k „odtržení“ od kapaliny). Proto se kapalina, která se zatím v trubkách nevypařila, ochlazuje.

Pára, která se v trubkách ve výparníku vypařila, má nižší teplotu, než je teplota okolního prostoru (výparníku). Proto pára absorbuje teplo

z prostoru výparníku a ohřívá se. Z prostoru výparníku tak odebírá teplo a ochlazuje vnitřní prostory chladničky až na teplotu -20°C . Ohřátá pára se vrací do kompresoru a celý cyklus se opakuje.



Kompresor domácích chladniček je spojen v jeden hermeticky uzavřený celek spolu s motorem. Toto uspořádání má několik výhod:

- není potřeba žádné speciální těsnění pro přechod hřídele motoru do kompresoru
- chladivo částečně chladí i motor
- hermetické uzavření systému zaručuje, že náplň chladiva (zhruba 100 g) vydrží v chladničce několik desítek let beze změny.

3.2. Klimatizace

3.2.1. Snižování teploty

Klimatizace je zařízení pro úpravu vzduchu v celých budovách či jednotlivých místnostech a v dopravních prostředcích. Nasává venkovní vzduch, který filtruje, upravuje jeho teplotu a vlhkost na požadované hodnoty a pomocí ventilátorů je dopravuje na příslušná místa. Velká klimatizační zařízení používají k odjímání tepla cirkulující vodu. Klimatizace automaticky udržuje stálé podmínky (především teplotu) bez ohledu na venkovní prostředí.

Klimatizace se nejvíce užívá pro průmyslové účely, v chirurgických sálech, inkubátorech, v laboratořích, ve výpočetních střediscích (serverovnách), nákupních centrech a dopravních prostředcích.

Klimatizační zařízení pro vytvoření tepelné pohody v místnosti využívá několika fyzikálních principů, konkrétně pak:

- komprese (stlačování plynů)
- kondenzace (zkapalnění plynů)
- vypařování

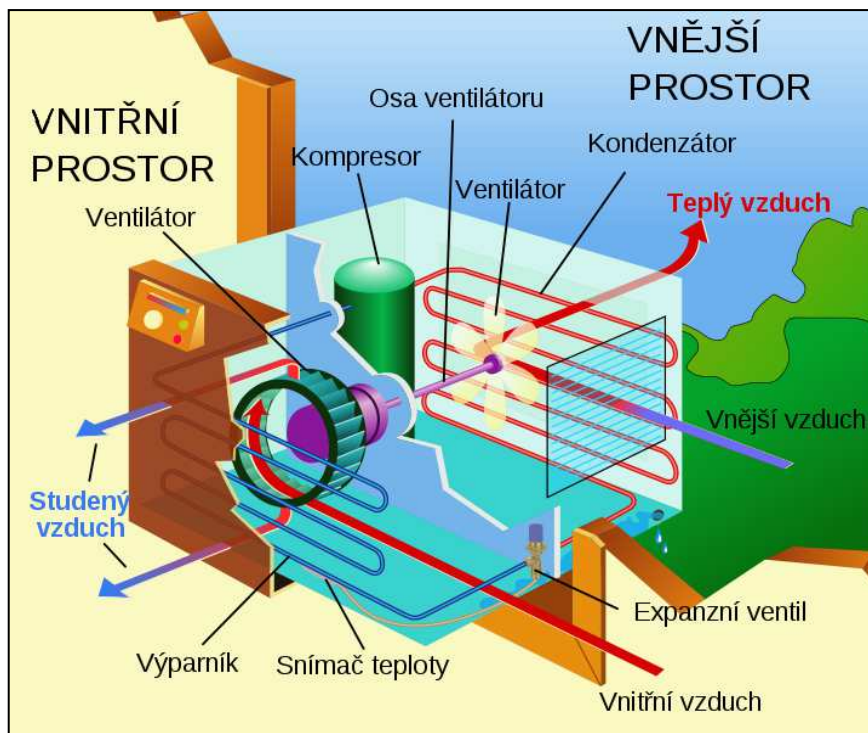
V první fázi jsou páry chladicí látky přivedeny do kompresoru, kde jsou stlačovány a důsledkem toho i zahřívány. Teplý vzduch je ventilátorem hnán do venkovního prostoru.

Ve druhé fázi je chladicí médium o vysoké teplotě a tlaku přivedeno do výměníku (kondenzátoru), kde je ochlazováno – médium kondenzuje. Uvolněné odpadní teplo je ventilátorem odváděno do venkovního prostoru.

Ve třetí fázi je kapalina transportována pod tlakem přes kapiláru nebo expanzní ventil do výparníku, místa s nižším tlakem a vyšší teplotou.

Zde se rozpíná (expanduje) a tím i prudce ochlazuje. Kapalina se začne odpařovat, ohřívá se, a tím odebírá teplo z prostoru výparníku.

Výparník je ochlazován. Pro distribuci studeného vzduchu do místnosti slouží ventilátor, který je umístěn kolem výparníku. Poté je chladivo v plynném skupenství přiváděno do kompresoru a cyklus se opakuje.



3.2.2. Vytápění klimatizační jednotkou

Klimatizace umožňuje pracovat i v opačném režimu – vytápěcím. Z jednotky se stane tepelné čerpadlo, kdy se odpadní teplo přivádí zpět do místnosti. Z kondenzátoru se stává výparník a z výparníku kondenzátor. Vnější jednotka je tak ochlazována a vnitřní naopak topí. Tohoto způsobu ohřevu vzduchu v místnosti se však využívá pouze příležitostně v období podzimu a velmi mírné zimy. Při nižších teplotách je ohřev pomocí klimatizační jednotky neefektivní.



3.2.3. Chladicí médium

Na chladicí médium jsou kladeny obdobné požadavky jako u chladicích zařízení. Chladicí médium je tekutina, která proudí skrz zařízení, aby ho ochránila před přehřátím a přenášela teplo produkované tímto zařízením do jiného zařízení, kde se využije nebo rozptýlí. Ideální

médium má velkou tepelnou kapacitu, nízkou viskozitu, je levné, chemicky inertní, nehořlavé a nezpůsobuje ani nepodporuje korozi chladicího systému. Některé aplikace navíc vyžadují, aby bylo chladicí médium elektrickým izolantem.

Typ chladicího média se liší od použití pro konkrétní aplikaci. Běžnými chladivými jsou amoniak, CO₂, fluorovodíky a fluoruhlovodíky. Použití chladiv na bázi freonů je z důvodu ochrany ozonové vrstvy postupně vylučováno.

4. Použité zdroje

Klaus Tkotz a kolektiv: Příručka pro elektrotechniku

Hubert Meluzin: Otázky a odpovědi z elektrotechniky 2

Ing. Tomáš Kostka, Střední škola, Havířov-Šumbark: Užití elektrické energie, kapitoly Elektrotepelná technika, Elektrické světlo

Doc.Ing. Václav Vrána, CSc., VŠB – TU Ostrava: Elektrické teplo

Webové stránky:

- Wikipedie, cs.wikipedia.org
- Žárovky.cz, www.zarovky.cz
- ALPHA Servis, www.alphaservis.cz
- Galerie fotografií na www.google.cz
- Volně přístupné zdroje na internetu