

# VYUŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE

## 1. ELEKTRICKÉ SVĚTLO A OSVĚTLENÍ

Světlo je záření schopné vzbudit zrakový vjem. Použití světla k dosažení viditelnosti nazýváme osvětlení nebo osvětlování. Stav předmětu, na který dopadá světlo, je charakterizován intenzitou osvětlení, směrem dopadu světla, stupněm rozptýlení světla, barvou světla atd. Podle zdroje světla rozeznáváme osvětlení umělé a denní.

### 1. Základní světelné veličiny a jednotky

Umělým světelným zdrojem je zdroj záření určený pro přeměnu některé energie na světlo. Základní jednotkou světelné techniky je jednotka svítivosti. Její velikost byla stanovena fyzikálně. Všechny ostatní jednotky světelné techniky z ní byly odvozeny. Pojem svítivost je ale založen na pojmu světelný tok, a proto je nutné nejprve definovat světelný tok a teprve potom svítivost.

**Světelný tok  $\Phi$**  je výkon záření určitého zdroje zhodnocený normálním lidským zrakem. Hodnocení normálním lidským zrakem bylo mezinárodně dohodnuto podle spektrální citlivosti zraku při čípkovém vidění. Světelný tok jako fotometrická veličina je analogický pojmu zářivý tok jako fyzikální veličina.

Jednotkou světelného toku je **lumen (lm)**. Je to světelný tok vyzařovaný do prostorového úhlu jednoho steradiánu z bodového zdroje, jehož **svítivost** je ve všech směrech jedna **kandela**.

**Svítivost  $I$**  je podíl světelného toku vyzářeného zdrojem v některém směru do nekonečně malého prostorového úhlu a velikosti tohoto úhlu.

Platí

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (cd; lm; sr)$$

kde  $\Omega$  je prostorový úhel ve steradiánech.

(Poznámka: 1 steradián (sr) je prostorový úhel, který na kulové ploše vytíná plochu rovnou čtverci poloměru. Prostorový úhel kulové plochy je  $4\pi$  sr.) Svítivost jednoho zdroje může být v každém směru jiná. Proto u svítidel kreslíme čáru svítivosti, která zobrazuje rozdělení svítivosti v prostoru. Jednotkou svítivosti je **kandela (cd)**. Je to svítivost černého tělesa svítícího kolmo směrem k povrchu, jehož velikost je  $1/600\,000$  m<sup>2</sup> při teplotě tuhnutí platiny (2 042 K). Zdroj světla, který má ve všech směrech svítivost jedna kandela, dává světelný tok  $4\pi$  lm.

**Intenzita osvětlení plochy (zkráceně osvětlení)  $E$**  je podíl světelného toku, který dopadá na určitou plochu, a velikost této plochy.

Platí

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (lx; lm; m^2)$$

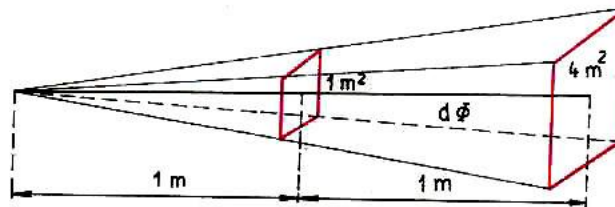
Jednotkou osvětlení je **lux (lx)**. Osvětlení 1 lx získáme ze zdroje, který má svítivost jedna kandela ve směru plochy 1 m x 1 m vzdálené 1 m a stojící tak, aby na ni světlo dopadalo kolmo. V takovém případě na plochu dopadá světelný tok jeden lumen. Jestliže rozměry plochy zdvojnásobíme a plochu odsuneme do vzdálenosti 2 m, dopadne též světelný tok (tj. 1 lm) na plochu čtyřikrát větší a osvětlení se zmenší na jednu čtvrtinu. Jinými slovy - osvětlení kleslo s druhou mocninou vzdálenosti.

**Měrný výkon světelného zdroje**  $\eta$  je podíl vyzařovaného světelného toku a příkonu světelného zdroje

$$h = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}; \text{W})$$

Jednotkou měrného výkonu světelného zdroje je **lumen na watt**.

Největšího teoreticky dosažitelného měrného výkonu (tzv. mechanického ekvivalentu světla) bychom dosáhli, kdyby se všechna energie vyzářila při vlnové délce 555 nm, kdy je zrak při čípkovém vidění (fotopickém vidění) nejcitlivější. Jeho hodnota by byla  $680 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ .



Obr. 1 Intenzita osvětlení plochy (Pokles osvětlení s druhou mocninou vzdálenosti)

## 2. Zdroje elektrického světla

Zdroje elektrického světla rozeznáváme:

- § žárové (teplotní),
- § výbojkové.

### a) Žárové (teplotní) zdroje

Jsou to umělé světelné zdroje, vyzařující světlo z vlákna rozžhaveného elektrickým proudem. Do teploty vlákna  $500^\circ\text{C}$  vydává zdroj převážně záření infračervené a tepelné (pocítujeme ho jako sálavé teplo).

Při teplotě vlákna vyšší než  $500^\circ\text{C}$  vysílá zdroj kromě infračerveného a tepelného záření ještě záření s kratšími vlnovými délkami, tj. viditelné záření.

- § Od  $1\ 000^\circ\text{C}$  je zabarvení světla červené,
- § od  $1\ 300^\circ\text{C}$  má světlo zabarvení žlutočervené,
- § od  $1\ 600^\circ\text{C}$  má světlo barvu žlutou až bílou.

Žárové zdroje mají spektrum bez mezer, spojitě. Obsahuje všechny barvy. Z vyzářené energie žárových zdrojů je 92% energie tepelná a pouze 8% energie světelná.

**Žárovky.** Vlákno se vyrábí z wolframu práškovou metalurgií. Průměr vlákna je asi  $14 \mu\text{m}$ . Na vlákno se před montáží nanese tzv. **getr** (nejčastěji červený fosfor). Ten se po rozžhavení vlákna vypaří a společně s plyny nečistot, které se nepodařilo z žárovky odstranit, se srazí na stěnách baňky.

Teplota vlákna je u žárovek vakuových asi  $2\ 000^\circ\text{C}$ , u žárovek plněných plynem přibližně  $2\ 600^\circ\text{C}$  a u žárovek promítacích a fotografických kolem  $3\ 000^\circ\text{C}$ . Čím větší je teplota vlákna, tím větší je měrný výkon. S teplotou vlákna se však zkracuje technický život žárovky. Nejvyšší zatím dosažená teplota vlákna je  $3\ 000^\circ\text{C}$ . Při teplotě  $4\ 000^\circ\text{C}$  se již všechny materiály, které by přicházely v úvahu pro výrobu vlákna, taví.

U žárovek do příkonu 25 W je prostředím v baňce vakuum, u žárovek s příkonem nad 25 W je prostředím plyn. Jako plyn se používá směs buď argonu, nebo kryptonu (tj. plyn, který špatně vede teplo) s dusíkem (který zabraňuje odpařování vlákna).

**Maximální hodnota měrného světelného výkonu je:**

- § 10  $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$  u vakuových žárovek,
- § 18  $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$  u žárovek plněných plynem,
- § 30  $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$  u promítacích žárovek.

Žárovky se uvnitř nebo vně matují (leptáním skla kyselinami nebo pískováním). Zmenšuje se tím jas, ale také světelný tok.

Odpor vlákna zatepla je více než 10krát větší než odpor zastudena. Technický život vakuových žárovek a plynem plněných žárovek je asi 1 000 hodin.

**Patice** běžných osvětlovacích žárovek jsou závitové a bajonetové. Závitové mají Edisonův závit - označuje se písmenem E a průměrem závitu:

- § E 10 - trpasličí závit
- § E 14 - malý závit (mignon)
- § E 27 - střední závit (normál)
- § E 40 - velký závit (goliáš)

**Bajonetová patice** se používá u žárovek, u kterých je třeba zajistit určitou polohu žárovky při svícení nebo ji zajistit proti otřesům (žárovky pro automobily a vlaky).

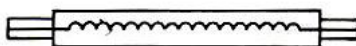
**Halogenová žárovka.** Je to žárovka plněná plynem s příměsí určitého množství halogenu. Podstatou je využití termochemické vratné reakce wolframu a halogenu. Jako halogen se nejčastěji používá jód.

Halogenový cyklus je vratná termochemická reakce. Atomy wolframu se po vypaření ze spirály vlákna pohybují ke stěně baňky. Přitom procházejí přes oblast s velkým teplotním spádem - nejvyšší teplota je na vlákně a nejnižší teplota je na baňce. Na baňce je právě taková teplota, při které se atomy wolframu slučují s atomy halogenu na halogenid. Ten se pak vlivem koncentračního spádu vrací od stěny baňky zpět k vlákně (u stěny je větší koncentrace halogenidu než u vlákna). Zde se dostane do oblasti teploty, při které se rozkládá na wolfram a halogen. Atomy wolframu se usazují na vlákně, vlákno se tedy nezmenšuje, a tím se jeho technický život prodlužuje. Velká hustota par wolframu v těsném okolí vlákna zmenšuje vypařování wolframu z vlákna. Cyklus se plynule opakuje.

**Výhody halogenových žárovek lze shrnout do těchto bodů:**

- a) teplota vlákna se může zvolit vyšší než u obyčejných žárovek, a to zvětšuje měrný světelný výkon;
- b) stěna baňky nečerná, protože se na ní neudrží vypařený wolfram; měrný světelný výkon je po celý život žárovky stejný;
- c) protože se na baňce nekondenzuje wolfram, může se průměr baňky volit menší; to dává menší rozměry žárovky.

Měrný výkon halogenové žárovky je až  $30 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ .



**Obr. 2 Halogenová žárovka (lineární tvar)**

Místo klasického provedení žárovky ve tvaru elipsoidu nebo koule má halogenová žárovka tvar přímé trubice. Trubice je z křemenného skla.

### **b) Výbojové zdroje.**

Jsou to světelné zdroje, u nichž světlo vzniká při elektrickém výboji v ionizovaných plynech nebo v kovových parách nebo v jejich směsi. Jakýkoliv horký plyn je ionizovaný, tj. valenční elektrony některých atomů se pohybují v plynu volně, nezávisle na jádru atomu. Ionizovaný plyn tedy obsahuje nosiče elektrického náboje - elektrony a ionty - a stává se elektricky vodivým. Narazí-li volný elektron, urychlený v elektrickém poli, na atom plynu, přeskóčí jeho valenční elektron na vyšší energetickou hladinu, do zakázaného pásma. Na této hladině se ale elektron nemůže trvale udržet a vrací se na původní hladinu. Přebytkovou energii přitom uvolní v podobě záření (atomy se tzv. vybudí). Záření, které přitom vzniká, má určitou vlnovou délku, charakteristickou pro danou náplň.

Typickou vlastností výboje v plynu je záporná odporová charakteristika výboje (odpor výboje klesá s rostoucím proudem). Proto nemůžeme výbojové zdroje připojovat na síť přímo, ale jen v sérii s předřadníkem. Předřadníkem může být rezistor (např. i žárovkové vlákno zapojené do série s výbojkou) nebo cívka (např. tlumivka nebo rozptylový transformátor).

### ***Rozdělení výbojových zdrojů:***

#### **a) podle elektrod**

- se studenými elektrodami; výboj je v nich samostatný, neboť se při něm ionizuje prostředí, takže se po zapálení sám udrží (např. neónové, rtuťové a sodíkové výbojky);
- s elektrodami žhavenými po celou dobu svícení; výboj je nesamostatný, sám se bez žhavení elektrod neudrží (některé nízkonapětové výbojky);
- se žhavenými elektrodami jen pro zapálení výboje; výboj je samostatný; žhaví se pouze při zapálení (zářivky);

#### **b) podle náplně**

- plyn; dusík, oxid uhličitý, vzácné plyny (neón, hélium, argon, krypton);
- kovové páry; rtuť a sodík.

U moderních výbojek se používá především rtuť a sodík. U rtuťových výbojek se získá požadované zabarvení světla povlakem vnitřních stěn trubice a baněk látkami zvanými luminofory. Luminofor je látka, která po ozáření luminiskuje, tj. vydává zářivou energii na vyšších vlnových délkách, než je záření, které přijala. U výbojových zdrojů (se rtuťovou náplní) mění luminofor ultrafialové záření na viditelné záření. Jako luminofor se nyní používá ortofosforečnan stroncia a zinku.

***Svítilí trubice.*** Jsou to výbojové zdroje se studenými elektrodami, plněné vzácným plynem s nízkým tlakem. Mají tvar trubice a zapojují se do série; na 1 m délky trubice je zapotřebí napětí 500 V až 1 000 V.

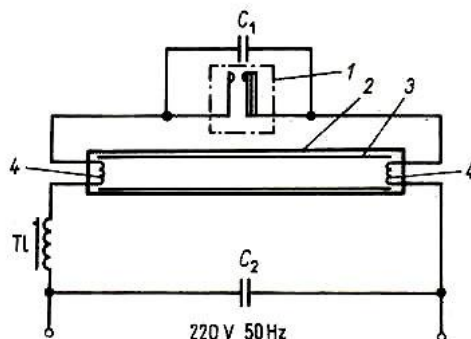
Zbarvení je závislé na náplni:

- § neón - červené
- § hélium - bíle oranžové
- § neón se rtutí - modré
- § neón s argonem - zelené.

***Zářivky.*** Jsou to nízkotlaké svítilí trubice plněné rtuťovými parami, v nichž se ultrafialové záření výboje mění vrstvou luminoforu ve viditelné záření. Hlavní náplní je rtuť, k usnadnění zapálení se přidává argon.

Zářivky dávají smíšené spektrum; čárové ze rtuťových par a spojité z luminoforů. Zbarvení je růžové, denní a bílé; dosáhne se ho volbou vhodného luminoforu.

Připojují se na napětí 220 V, 50 Hz v sérii s tlumivkou. Toto napětí nestačí k zapálení výboje při studených elektrodách, a proto se musí elektrody před zapálením nažhavit a potom zvýšeným napětím zapálit. K tomu se používá startér, provedený nejčastěji jako doutnavkový.



Obr. 3 Zapojení zářivky

1 - startér s doutnavkou, 2 - zářivková trubice, 3 - vrstva luminoforu, 4 - elektrody

K zářivce je připojen *startér*, který obsahuje *doutnavku* (plněnou neónem). Doutnavka má dvě *elektrody*, jedna je pevná, druhá je z dvojkovu. Zastudena se elektrody nedotýkají. Připojí-li se zářivka na síť, nestačí napětí 220 V k zapálení výboje v zářivkové trubici. V doutnavce startéru ale vznikne doutnavý výboj, kterým se elektroda z dvojkovu zahřeje a prohne, až se obě elektrody spojí. Od toho okamžiku prochází *elektrodami zářivky* velký proud (až o 50% větší, než je jmenovitý proud zářivky) a elektrody zářivky se rozžhaví na teplotu, při které dochází k emisi (800°C). Náplň zářivkové trubice se ionizuje. Mezitím se ale v doutnavce ochlazují elektrody, neboť již nejsou zahřívány doutnavým výbojem. Elektroda z dvojkovu se po vychladnutí opět napřímí a elektrody se rozpojí. Při rozpojení elektrod vznikne v obvodu přepětí (vypíná se obvod s indukčností). Napětí, které se přitom indukuje do vinutí *tlumivky* (kolem 500 V), se sčítá s napětím sítě a součet obou napětí se objeví na elektrodách zářivky. V zářivce se zapálí výboj.

Jakmile zářivkou začne procházet proud, rozdělí se síťové napětí mezi zářivkou (100 V až 120 V) a tlumivkou (160 V až 180 V). Protože napětí na zářivce je menší než napětí na výboji doutnavky ve startéru, doutnavka již nezapálí. Paralelně k doutnavce je připojen *kondenzátor*  $C_1$  s kapacitou 0,005  $\mu\text{F}$ , který zlepšuje zapalovací podmínky a omezuje rušení rozhlasu.

*Účinnost* zářivky s předřazenou tlumivkou je menší než 0,5 a kompenzuje se na hodnotu 0,95 kondenzátorem  $C_2$ .

*Kapacita* kondenzátoru  $C_2$  je u zářivky s jmenovitým příkonem:

§ 40 W - 4,5  $\mu\text{F}$ ,

§ 120 W - 20  $\mu\text{F}$ .

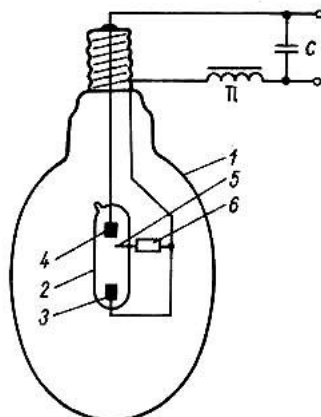
Na povrchu trubice někdy bývá vodivý bronzový proužek, který je protažen téměř k elektrodám. Mezi jeho konci a elektrodami prochází kapacitní proud, který pomáhá ionizovat prostor u elektrod.

Energetický rozběr zářivky bez luminoforu je takovýto:

Z 60% ultrafialového záření se jedna třetina (tj. 20%) mění v luminoforu ve viditelné záření, zbytek se přemění v teplo.

Na viditelné záření tedy připadá 22% záření, na teplo 78%. Měrný světelný výkon zářivky je až 40  $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ .

**Rtuťové výbojky.** Jsou to výbojové zdroje se rtuťovými parami. Baňka 1 má tvar elipsoidu a je naplněna směsí argonu a dusíku. V baňce je křemenný hořák 2 s hlavními elektrodami 3 a 4 a s pomocnou elektrodou 5, která je přes rezistor 6 spojena se vzdálenější hlavní elektrodou 3. Vnitřní povrch baňky je pokryt luminoforem, který mění ultrafialové záření na viditelné. Náplň hořáku je rtuť a argon.



**Obr. 4 Rtuťová výbojka**

**1 - baňka, 2 - hořák, 3 a 4 - hlavní elektrody, 5 - pomocná elektroda, 6 - předřadný rezistor pomocné elektrody**

Připojíme-li rtuťovou výbojku na napětí, vznikne nejprve doutnavý výboj v argonu mezi **pomocnou elektrodou** a bližší **hlavní elektrodou**. Ten ionizuje prostředí a zahřívá výbojku. Zahříváním se vypařuje rtuť, až výboj přeskočí na hlavní elektrody. Zápalné napětí je asi 180 V.

V sérii s výbojkou je **tlumivka**, na které je po zapálení výboje část síťového napětí. Při provozu je vnitřní přetlak v hořáku až  $10^6$  Pa.

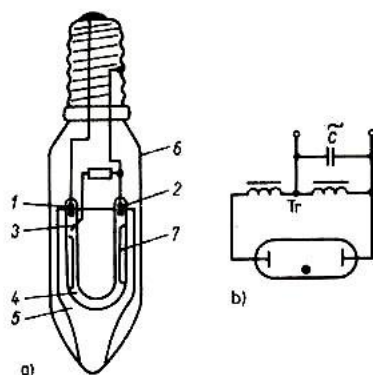
Plného světelného toku se dosáhne až asi za 5 minut. Po zhasnutí je nutné vyčkat s dalším zapnutím asi 3 minuty, až klesne tlak rtuťových par. Měrný světelný výkon je u rtuťových výbojek malých výkonů až  $60 \text{ lm.W}^{-1}$ .

Zvláštním provedením rtuťové výbojky je směšová výbojka. Ve společné baňce je výbojka a žárový zdroj (žárovkové vlákno), sloužící současně jako předřadník. Spektrum je smíšené.

**Sodíkové výbojky.** Princip je podobný jako u rtuťových výbojek. Dělí se na nízkotlaké a vysokotlaké.

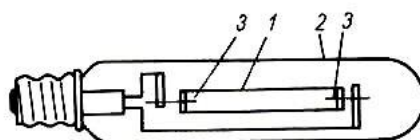
U **nízkotlakých sodíkových výbojek** má hořák nejčastěji tvar U a je ze skla. Tlak sodíkových par při provozu je jen několik pascalů. Hlavní náplň hořáku je sodík, pomocnou náplň pro zapálení pomocného výboje je neón.

**Hlavní elektrody** 1 a 2 jsou z wolframu, na němž je vrstva oxidu barya pro usnadnění emise. K zapálení slouží **pomocná elektroda** 3. **Hořák** 4 je ve skleněném **válci** 5, který je uložen ve vyčerpané **baňce** 6. Nejprve se zapálí doutnavý výboj v neónu mezi pomocnou elektrodou 3 a hlavní elektrodou 1. Z pomocného výboje se za několik minut, po náležitém zvýšení tlaku sodíkových par, přenesou výboj pomocí **zapalovacích elektrod** 7 mezi hlavní elektrody. Některé výbojky se dnes vyrábějí bez pomocné elektrody a k síti se připojují přes rozptylový transformátor, který zvyšuje napětí při zapálení na více než dvojnásobek.



Obr. 5 Nízkotlaká výbojka

- a) Provedení; 1 a 2 - hlavní elektrody, 3 - pomocná elektroda, 4 - hořák, 5 - skleněný válec, 6 - baňka, 7 - zapalovací elektrody;  
 b) Zapojení; Tr - rozptylový transformátor, C - kompenzační kondenzátor



Obr. 6 Vysokotlaká sodíková výbojka

- 1 - hořák, 2 - trubice, 3 - elektrody

Spektrum nízkotlaké sodíkové výbojky je čárové, jednobarevné; čáry jsou v oblasti vlnových délek žluté barvy. V jejím světle mizí barevnost, všechny barvy kromě žluté se jeví jen jako různá šed'

Po zhasnutí lze nízkotlakou sodíkovou výbojku ihned zapálit.

Měrný světelný výkon nízkotlaké sodíkové výbojky je až  $150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ .

Jakostnější světlo dává **vysokotlaká sodíková výbojka**. Zvyšováním tlaku sodíkových par se totiž rozšiřují spektrální čáry a dokonce vzniká spojité spektrum.

Tlak par dosahuje hodnoty až  $10^4 \text{ Pa}$ , teplota hořáku je až  $1250^\circ\text{C}$ . K výrobě hořáku se používá spékaný oxid hlinitý (obyčejné sklo by nevydrželo tlak, křemenné sklo sodík leptá). Měrný světelný výkon je menší než u nízkotlakých výbojek, pohybuje se kolem  $100 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ .

**Hořák** 1 je v **trubici** 2. V hořáku je kromě sodíku ještě argon, xenon a rtuť. Výboj hoří mezi **dvěma elektrodami** 3. V baňce je vakuum. K zapálení výboje slouží speciální zapalovací zařízení (tranzistorové a tyristorové), dávající napěťové impulsy s hodnotou  $3000 \text{ V}$ . Po zapálení hoří nejprve výboj ve vzácném plynu a vzniklým teplem se vypařuje rtuť a sodík. Hlavním zdrojem záření jsou páry sodíku.

Plného výkonu dosáhne výbojka asi za 10 minut, po zhasnutí lze zapálit výbojky nízkých výkonů až asi po 2 minutách a výbojky vyšších výkonů až po 10 až 20 minutách.

**Halogenidové výbojky**. Od rtuťových výbojek se liší tím, že v hořáku jsou kromě rtuti další kovy, a to v halogenidových sloučeninách. Nejčastěji se používají jodidy, bromidy a chloridy kovu (např. sodíku, thalia a india).

Využívá se toho, že atomy halogenu a atomy kovových příměsí se za určité teploty slučují v halogenidy a za jiné (vyšší) teploty se halogenidy opět rozkládají na atomy halogenu a kovu.

Páry halogenidů, vzniklé na stěnách hořáku, postupují do oblasti výboje s vysokou teplotou a tam se rozkládají na atomy halogenu a atomy příslušného kovu. Atomy kovu se vybudí a září.

Potom se atomy halogenu a kovu dostávají na chladnější místa na stěnách hořáku, kde se opět slučují na halogenidy. Ty se znovu dostávají do oblasti výboje a cyklus se plynule opakuje. Baňka má tvar trubice nebo elipsoidu.

U výbojek menších výkonů se na stěně baňky používají luminofory. Zapalovací napětí je vyšší než u výbojek bez halogenidů, a sice 1,5 kV až 3 kV. K zapálení se používají zvláštní obvody.

Měrný světelný výkon se pohybuje mezi  $75 \text{ lm.W}^{-1}$  a  $80 \text{ lm.W}^{-1}$ .



## 2. ELEKTRICKÉ TEPLLO

### 1. Šíření tepla

Teplo se šíří z teplejšího prostředí do chladnějšího prostředí vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací). Zpravidla se šíří všemi těmito způsoby současně, ale některý z nich může převládat.

#### a) Vedení tepla (kondukcce)

Vedení tepla se vyskytuje u pevných látek (hovoříme o tzv. prostupu). Důležitou veličinou vedení tepla je tepelný tok  $\Phi$ . Je to množství tepla, které projde pevnou látkou za jednotku času

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (W; J; s)$$

Jednotkou tepelného toku je watt.

#### b) Proudění tepla (konvekce)

Proudění tepla nastane, jestliže prostředím, které teplo přenáší, je plyn nebo kapalina a prostředím, které teplo přivádí, je tuhé těleso nebo naopak. Teplo se přitom přenáší prostřednictvím pohybujících se částic plynu nebo kapaliny.

Pohyb částic v kapalině nebo v plynu může být přirozený - je způsoben nestejným rozdělením teploty v kapalině nebo plynu, nebo nucený - zrychlujeme-li ho čerpadlem nebo ventilátorem.

Příkladem přenášení tepla prouděním je přenos tepla v elektrické odporové peci z roztopných stěn nebo z rozžhavených rezistorů na vsázku prouděním plynného prostředí (vzduchu nebo ochranné atmosféry), popř. kapalného prostředí (solné lázně).

#### c) Sálání tepla (radiace)

Těleso, jehož teplota je vyšší než 0 K, vyzařuje všemi směry tepelné paprsky s vlnovou délkou  $\lambda = 750 \text{ nm}$  až  $10\,000 \text{ nm}$ , tj. infračervené záření, a s vlnovou délkou  $\lambda = 10\,000 \text{ nm}$  až  $1\,000\,000 \text{ nm}$ , tj. tepelné záření.

## 2. Elektrické zdroje tepla

Elektrické teplo vzniká přeměnou z elektrické energie a využívá se k elektrickému ohřevu. Známe tyto druhy ohřevu:

- odporový ohřev,
- obloukový ohřev,
- indukční ohřev,
- dielektrický ohřev,
- infračervený ohřev.

#### a) Odporový ohřev

Odporový ohřev využívá přeměny elektrické energie na elektrické teplo při průchodu proudu odporovou součástí.

### Elektrický příkon

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = RI^2 \quad (W; V; A; V; \Omega; \Omega; A)$$

se přitom mění v teplo, zvané **Joulovo teplo**.

$$Q = RI^2 t \quad (J; \Omega; A; s)$$

**Na materiály používané pro výrobu topných rezistorů klademe tyto požadavky:**

- velká rezistivita,
- malý teplotní součinitel odporu,
- vysoký bod tání,
- odolnost proti oxidaci,
- dobrá zpracovatelnost.

**K výrobě topných rezistorů se nejčastěji používají tyto materiály:**

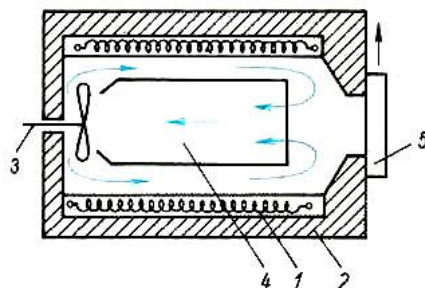
- § do teploty 350°C: slitiny Cu-Ni (nikelin, konstantan)
- § do teploty 800°C: chrómová litina s 2% až 7% Cr  
křemíková litina s 5% Si  
slitina Fe-Cr-Ni (cekas, ferrochronin)
- § do teploty 1 350°C: slitina Fe-Cr-Mn  
Fe-Cr-Al (kanthal, chromal)  
Fe-Cr-Co
- § nad 1 350°C: kovy: Pt, Mo, W  
nekovy: silit, kryptol, globar, tuha.

### Odporové pece

V odporových pecích probíhají tyto děje:

- sušení vinutí elektrických strojů a celých elektrických strojů (asi do teploty 250°C),
- tepelné zpracování kovů, např. žhánání, kalení, popouštění (asi do teploty 1 050°C),
- tavení kovů s nižším bodem tání,
- smaltování.

Nejrozšířenějším druhem odporové pece je tzv. komorová pec.



**Obr. 7 Komorová pec s nuceným oběhem vzduchu**

1 - topný rezistor, 2 - vyzdívka, 3 - ventilátor, 4 - vsázka, 5 - dvířka

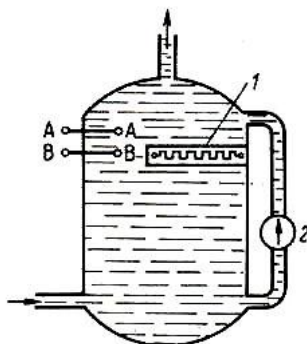
Aby došlo k tepelné rovnováze, musíme při nižších venkovních teplotách vytápět prostory, v nichž člověk pobývá.

Nejčastější způsob elektrického vytápění místností je vytápění Joulovým teplem. Vytápění je přímé a nepřímé.

Při **přímém vytápění** se topí přímotopnými spotřebiči. K nim patří:

- holé odporové dráty, např. v některých elektrických kamínkách,
- radiátory: plněné vodou nebo olejem a vyhřívané topným článkem,
- topné plášťové dráty: na stěny do omítky,
- teploměty,
- topné ventilátory.

U **nepřímého topení** se topnými články zahřívá keramické jádro, teplo se v něm akumuluje a později se předává do místnosti. Jádro se ohřívá v nočních hodinách až na teplotu  $650^{\circ}\text{C}$  a ve dne se pomocí ventilátoru jádrem prohání vzduch, jehož ohříváním se teplo z jádra předává do místnosti (dynamická kamna). Akumulační keramické jádro dynamických kamen je obloženo vrstvami tepelně izolujícího materiálu, který zamezí samovolnému unikání tepla do prostoru. K nepřímému topení patří ještě akumulace tepla do vody. Topné radiátory se vytápějí vodou z akumulací elektrických ohřivačů. Překročí-li teplota v horních vrstvách zásobníku nastavenou hodnotu, zapíná termostat A čerpadlo 2 a zespodu se čerpá studená voda. Klesne-li teplota v horních vrstvách pod nastavenou hodnotu, vypíná termostat B čerpadlo.



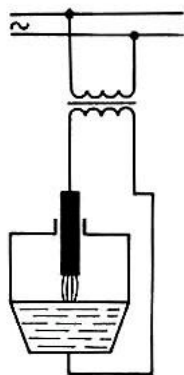
Obr. 8 Akumulace do horké vody  
1 - topný článek, 2 - čerpadlo, A a B - termostaty

### **b) Obloukový ohřev**

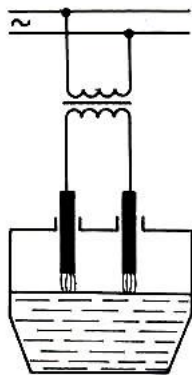
Oblouk napájíme střídavým nebo stejnosměrným proudem. Proud přitom prochází plyny, které jsou za normálních podmínek elektricky nevodivé. Teprve po ionizaci prostředí (např. vlivem vysoké teploty) se stanou elektricky vodivými. Teplota dosahuje hodnoty až několika tisíc kelvinů. Plyny při takové teplotě jsou velmi vodivé - nazýváme je plazma.

### **Podle způsobu hoření oblouku v peci rozlišujeme:**

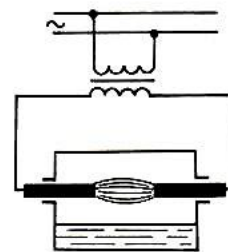
- pece s přímým topením: oblouk v nich hoří mezi elektrodou a taveninou;
- pece s nepřímým topením: teplo se v nich přenáší do vsázky nepřímo - sáláním.



Obr. 9 Oblouková pec s  
přímým topením



Obr. 10 Oblouková pec s přímým  
topením s dvěma oblouky



Obr. 11 Oblouková pec s  
nepřímým topením

### c) Indukční ohřev

Pece založené na ohřevu indukovanými proudy rozlišujeme podle použitého kmitočtu. Mohou být:

- nízkofrekvenční,
- středofrekvenční,
- vysokofrekvenční.

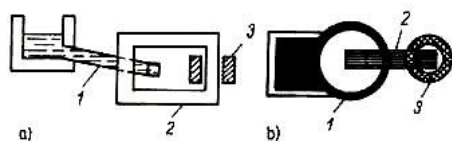
#### *Nízkofrekvenční pece*

Napájecí napětí má kmitočet 50 Hz. Pec má železné jádro. V podstatě je to transformátor se závitem nakrátko. Závit nakrátko je proveden jako kanálek nebo žlábek ze šamotu, proudy se indukují do vsázky. Tekutá vsázka se ohřívá Joulovým teplem.

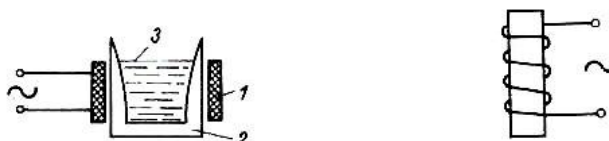
Pece se železným jádrem se používají především pro tavení neželezných kovů (s licí teplotou nižší než 1 450°C), ale i pro tavení litiny a oceli. Někdy se tyto pece používají jen na zušlechťování litiny a oceli, které se do pece dávají již v roztaveném stavu. Z takových pecí se nevytvoří všechen kov, ale nechává se v nich tekutý závit nakrátko, tzv. hnízdo. Někdy se do kanálku vkládá pomocný kovový prsteneček.

Účinnost je asi 0,3 a kompenzuje se na 0,9.

Obr. 14 Vysokofrekvenční ohřev (princip)



Obr. 12 Nízkofrekvenční indukční pec  
a) Řez  
b) Pohled shora  
1 - kanálek, 2 - jádro transformátoru,  
3 - vstupní vinutí



Obr. 13 Středofrekvenční indukční pec  
1 - vstupní vinutí, 2 - grafitový kelímek,  
3 - tavenina

#### *Středofrekvenční pece (na zvýšený kmitočet)*

Kmitočet je 500 Hz až 3 000 Hz, pec je bez železného jádra, kelímková. Vsázkou jsou kovy, železné i neželezné. Vsázka se zahřívá vířivými proudy a u železné vsázky navíc ještě hysterezními ztrátami.

Také účinnost středofrekvenčních pecí je velmi malý.

### **Vysokofrekvenční ohřev**

Kmitočet je až 500 kHz. Používají se pro povrchové kalení. Hustota proudů indukovaných do vloženého kovového předmětu ubývá se vzdáleností od povrchu. Hloubka, ve které se vyvíjí 86,4% tepla, se nazývá hloubka vniku a označuje se  $d$ .

Je dána vztahem

$$d = \sqrt{\frac{2r}{\omega\mu}} \quad (m; \Omega \cdot m; \text{rad} \cdot s^{-1}; H \cdot m^{-1})$$

kde  $\rho$  je rezistivita ohřívaného materiálu ( $\Omega \cdot m$ ),  
 $\omega$  úhlový kmitočet ( $\text{rad} \cdot s^{-1}$ ),  
 $\mu$  permeabilita ohřívaného materiálu ( $H \cdot m^{-1}$ ).

Ze vztahu je zřejmé, že pro tavení budeme volit nižší kmitočet a pro povrchové kalení vyšší kmitočet.

### **d) Dielektrický ohřev**

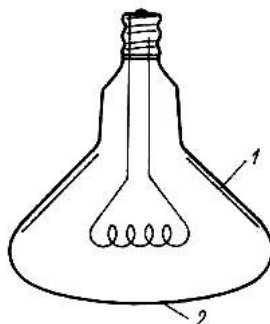
Nekovy jsou vloženy do elektrického vysokofrekvenčního pole. Rychlým prepolarizováním částic ohřívané látky vznikají tzv. dielektrické ztráty, které se mění v teplo. Velikost ztrát závisí na intenzitě elektrického pole (spádu napětí), na kmitočtu, na permitivitě ohřívané látky a na ztrátovém úhlu dielektrika.

Používaný kmitočet je 1 MHz až 100 MHz, spád napětí je 500 V až 1 500 V na 1 cm tloušťky dielektrika.

### **e) Infračervený ohřev**

Zdrojem infračerveného záření jsou infrazářiče. Vyzařují paprsky s vlnovou délkou 750 nm až 10 000 nm. Infračervené záření proniká do hloubky a rychle prohřívá látku.

Příklad infrazářiče je podžhavená žárovka.



**Obr. 15 Infrazářič**

**1 - kovová vrstva s velkým činitelem odrazu, 2 - malý vrchlík**

### 3. ELEKTRICKÉ CHLAZENÍ

Je to v podstatě přečerpávání tepla. Teplo odnímáme vychlazované látce a převádíme ho do jiné látky, která se otepluje.

Množství tepla, které odvedeme za 1 sekundu, se nazývá chladicí výkon ( $J \cdot s^{-1}$ ).

Základní součástí chladicích zařízení, chladíren, mrazíren, a chladniček je chladicí systém. Rozumíme jím systém, který je schopný absorbovat teplo ze studeného zdroje a předat je zdroji teplému.

**Nejpoužívanější chladicí systémy jsou:**

- kompresorový,
- absorpční s čerpadlem mezi absorbérem a generátorem,
- absorpční s kontinuálním oběhem,
- polovodičový.

#### Chladničky

Jsou to tepelně izolované skříně, vychlazované chladicím zařízením. Podle použitého chladicího zařízení známe chladničky kompresorové, absorpční a polovodičové.

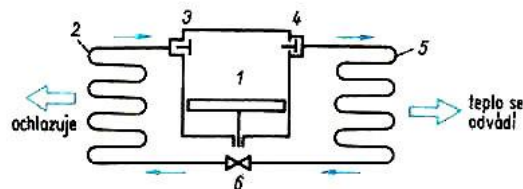
#### 1. Kompresorová chladnička

V chladicím okruhu kompresorové chladničky se uskutečňuje tento chladicí oběh: látka vykonávající chladicí oběh v chladicím okruhu (chladiivo) se nejprve v plynném stavu stlačuje v kompresoru, potom se zkapalňuje v kondenzátoru a nakonec se za redukčním ventilem odpařuje ve výparníku.

**Kompresorová chladnička se skládá z těchto částí:**

- kompresor,
- kondenzátor (srážník),
- redukční ventil,
- výparník.

**Kompresor** nasává z výparníku páry chladiva, stlačí je a dopraví je do **kondenzátoru**. Kondenzátor je soustava trubek s chladicími žebry. V něm se páry chladiva zkapalňují a uvolněné kondenzační teplo se prostřednictvím kondenzátoru předává do okolí. Jako **chladiivo** se používají látky, které za nepříliš vysokého tlaku zkapalňují při teplotě  $32^{\circ}\text{C}$ . Kapalné chladiivo postupuje **redukčním škrticím ventilem** (popř. kapilární trubičkou) do odčerpaného **výparníku**. Za redukčním ventilem chladiivo expanduje. Jeho tlak se snižuje, a tím se chladiivo ochladí na potřebnou nízkou teplotu. Redukční ventil odděluje různé tlaky v kondenzátoru a ve výparníku. Ve výparníku se chladiivo vypařuje, tj. přechází z kapalného stavu do plynného stavu. Potřebné výparné teplo odebírá stěnám výparníku a prostoru, v němž se výparník nachází. Chladiivo se tedy při nízké teplotě a za nízkého tlaku odpařuje.



Obr. 16 Kompresorová chladnička

1 - kompresor, 2 - výparník, 3 - ventil sání, 4 - ventil ve výtlaku,  
5 - kondenzátor, 6 - redukční ventil

Jako **chladiivo** se používá: čpavek (amoniak), oxid siřičitý, etylchlorid, metylchlorid, a odvozeniny z uhlovodíku (freon a ledon).

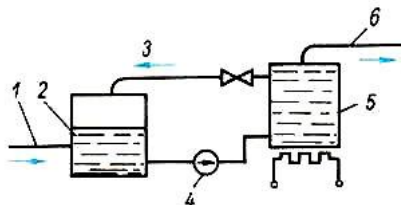
Kapalina potřebuje, k přeměně do plynného stavu teplo. To je jí buď přivedeno, nebo ho odnímá svému okolí (v takovém případě musí být ovšem teplota okolí vyšší, než je bod varu této kapaliny). Čím nižší je tlak chladiva, tím nižší je bod (teplota) varu, při kterém dochází k odpařování. Např. voda má bod varu při tlaku  $10^5$  Pa  $100^\circ\text{C}$ , ale při tlaku  $2 \cdot 10^3$  Pa již  $20^\circ\text{C}$  a při tlaku 600 Pa dokonce  $0^\circ\text{C}$ .

Z toho vidíme, že vodu také můžeme použít jako chladivo, ovšem při odpařování musíme pracovat s velmi nízkými tlaky a nejnižší dosažitelnou teplotou je  $0^\circ\text{C}$ .

Proto je výhodnější použít takové látky, jejichž bod varu je při stejných tlacích podstatně nižší než u vody, a to dokonce takové látky, jejichž bod varu leží pod  $0^\circ\text{C}$  při tlaku větším, než je  $10^5$  Pa. Takovou látkou je čpavek. Při tlaku  $3 \cdot 10^5$  Pa má bod varu  $-10^\circ\text{C}$  a při tlaku  $10^5$  Pa dokonce  $-30^\circ\text{C}$ . Naopak čpavek zkapalňuje při tlaku 1,2 MPa a při teplotě  $+32^\circ\text{C}$  a přitom odevzdává teplo do okolí. Jiné používané chladivo, ledon, má při teplotě  $-10^\circ\text{C}$  tlak  $2,2 \cdot 10^5$  Pa a při teplotě  $+32^\circ\text{C}$  tlak  $7,6 \cdot 10^5$  Pa. Stlačíme-li ho tedy na vyšší tlak, bude při teplotě okolí  $32^\circ\text{C}$  kondenzovat.

## 2. Absorpční chladnička s čerpadlem

Princip je stejný jako u kompresorové chladničky. Rozdíl je ve stlačování par chladiva. U absorpční chladničky se páry chladiva pohlcují absorpční látkou, ta se zahřívá, a tím se z ní pod tlakem vypuzují páry chladiva.



Obr. 17 Část chladicího okruhu absorpční chladničky s čerpadlem

1 - přívod z výparníku, 2 - absorbér, 3 - absorbent (voda, olej), 4 - čerpadlo, 5 - generátor, 6 - přívod do kondenzátoru

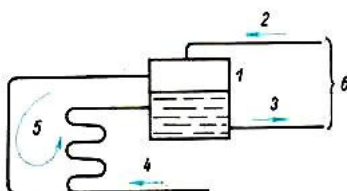
Plynné **chladiivo** přechází z **výparníku** do **absorbéru** (pohlcovače), kde je pohlceno pomocnou kapalinou - **absorbentem** (přitom se snižuje tlak). Dále je zde **čerpadlo**, které čerpá kapalinu s pohlceným chladivem do **generátoru** (kotle), kde se zahřívá elektrickým **topným rezistorem**. Tím se z kapaliny vypuzují páry (pod tlakem). Absorbent se vrací zpět do pohlcovače a plynné stlačené chladivo se vede do kondenzátoru.

Použije-li se jako chladivo čpavek, je absorbentem voda. Použije-li se freon, je absorbentem olej.

## 3. Absorpční chladnička s kontinuálním oběhem

Od absorpční chladničky s čerpadlem se liší tím, že místo čerpadla a redukčního ventilu má mezi absorbérem a výparníkem ještě jeden okruh, ve kterém obíhá netečný plyn - vodík. Ten vyrovnává tlakový rozdíl chladiva mezi výparníkem a kondenzátorem. Chladivo se při odpařování ve výparníku mísí s vodíkem. Páry chladiva s vodíkem vstupují do absorbéru a odtud se vodík vrací zpět do výparníku, zatímco chladivo s absorbentem postupuje do generátoru.

Vodík je v okruhu pod takovým tlakem, který odpovídá rozdílu tlaku chladiva v kondenzátoru a ve výparníku.



Obr. 18 Část chladicího okruhu absorpční chladničky s kontinuálním oběhem  
1 - absorbér, 2 - absorbent, 3 - absorbent s chladivem, 4 - chladivo, 5 - vodík, 6 - generátor

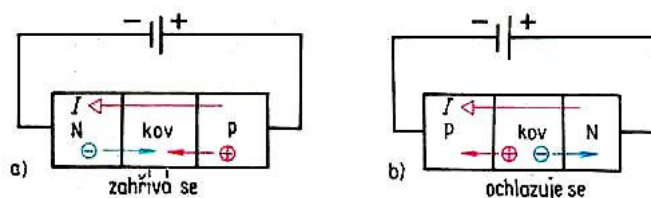
#### 4. Polovodičová chladnička

Základem funkce polovodičové chladničky je využití **Peltierova termoelektrického jevu**.

Peltierův jev je inverzním jevem k Seebeckově termoelektrickému jevu. Peltier zjistil, že při průchodu stejnosměrného proudu rozhraním dvou různých kovů se styk obou kovů ochlazuje nebo ohřívá, podle toho, zda proud prochází přes styk v jednom nebo ve druhém směru. Peltierův jev vzniká při styku dvou kovů. Poměrně velké účinnosti oteplení a ochlazení se dosáhne, použijeme-li místo kovů dvě polovodičové látky, jednu s vodivostí typu P a druhou s vodivostí typu N, a styk provedeme měděnou mezivložkou.

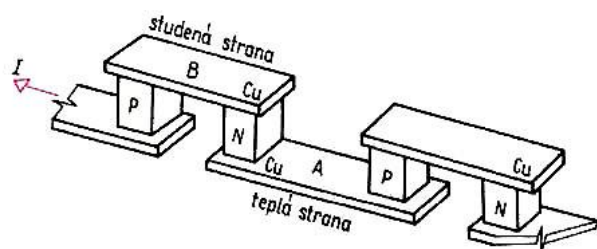
Jako polovodiče se používají sloučeniny materiálů z páté a šesté skupiny Mendělejevovy soustavy. Nejčastěji se používá telurid vizmutu.

Provedme uspořádání polovodič N - kov - polovodič P podle obrázku a nechme procházet proud naznačeným směrem. Do kovu budou z jedné strany vstupovat elektrony z polovodiče N a z druhé strany díry z polovodiče typu P. Oba druhy nosičů budou v kovu rekombinovat (setká-li se elektron s dírou, oba nosiče zaniknou - rekombinují). Jejich rychlost přitom klesne na nulu a jejich kinetická energie se uvolní v podobě tepla. Místo styku se bude zahřívat.



Obr. 19 Peltierův jev v polovodičích a) Zapojení při zahřívání b) Zapojení při ochlazování

Změníme-li směr proudu, budou z místa styku obou polovodičových vrstev (tj. z kovu) odsávané elektrony do vrstvy N a díry do vrstvy P. Oba druhy nosičů se přitom musí urychlit.



Obr. 20 Polovodičový chladicí článek

Energii k tomu potřebnou odebírají kovu v podobě tepla. Takto získanou energii přemění v kinetickou a přenášejí ji do polovodičových částí, kde ji postupně opět mění v teplo. Kov se ochlazuje. Skutečné provedení chladicího článku s polovodiči P a N je na dalším obrázku. V místě B se článek ochlazuje, v místě A se zahřívá.