

**STŘEDNÍ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ,
OSTRAVA, NA JÍZDÁRNĚ 30, p. o.**

UŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE

OBSAH

1. VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	1
1.1. Základní pojmy	1
1.1.1. Elektrizační soustava.....	1
1.1.2. Diagram denního zatížení.....	1
1.1.3. Bilance výroby a spotřeby el. en.	3
1.2. Energetické zdroje.....	4
1.3. Tepelné elektrárny.....	4
1.3.1. Kondenzační elektrárna.....	6
1.3.2. Teplárna.....	6
1.3.3. Plynová elektrárna.....	7
1.3.4. Paroplynová elektrárna.....	8
1.4. Jaderné elektrárny	8
1.4.1. Jaderný reaktor	9
1.4.2. Štěpení jádra a fúze	10
1.5. Vodní elektrárny.....	11
1.5.1. Rozdělení vodních elektráren.....	11
1.5.2. Turbíny vodních elektráren	12
1.6. Sluneční elektrárny.....	14
1.6.1. Fotovoltaické elektrárny.....	15
1.6.2. Sluneční elektrárna věžová.....	16
1.6.3. Sluneční elektrárna parková	17
1.6.4. Solární kolektor	18
1.6.5. Palivový článěk	18
1.7. Větrné elektrárny.....	19
1.8. Další alternativní elektrárny	22
2. ELEKTRICKÝ OHŘEV A CHLAZENÍ.....	23
2.1. Základní veličiny a jednotky tepla	23
2.2. Elektrické zdroje tepla.....	23

2.3.	Šíření tepla.....	25
2.4.	Elektrotepelná technika v domácnostech	26
2.4.1.	Tepelné spotřebiče na vaření.....	26
2.4.2.	Tepelné spotřebiče pro výhřev místností	27
2.4.3.	Tepelné spotřebiče na ohřev teplé užitkové vody	28
2.4.4.	Ostatní tepelné spotřebiče pro domácnosti.....	29
2.5.	Elektrotepelná technika v průmyslu	30
2.5.1.	Elektrické pece v průmyslu	31
2.5.2.	Elektrické svařování.....	33
2.5.3.	Indukční ohřev.....	34
2.5.4.	Dielektrický ohřev.....	35
2.6.	Elektrické chlazení a klimatizace	35
2.6.1.	Kompresorové chlazení.....	36
2.6.2.	Absorbční chlazení.....	38
2.6.3.	Peltierovo chlazení	38
2.7.	Klimatizace.....	38
2.8.	Tepelná čerpadla	40
3.	ELEKTRICKÉ SVĚTLO A OSVĚTLENÍ.....	43
3.1.	Rozdělení elektromagnetických vln, rozdělení světelného spektra	43
3.2.	Veličiny a jednotky světla	44
3.3.	Elektrické zdroje světla	46
3.3.1.	Označování světelných zdrojů energetickými štítky.....	47
3.3.2.	Žárové zdroje světla	49
3.3.3.	Výbojové zdroje světla.....	50
3.3.4.	Polovodičové zdroje světla – LED dioda.....	56
3.3.5.	Vývojové trendy v oblasti světelných zdrojů	58
3.4.	Osvětlovací technika	59
3.4.1.	Světelné technické parametry svítidel.....	60
3.5.	Výpočet osvětlení	64

3.5.1.	Tokové metody.....	65
3.5.2.	Bodové metody	67

1. VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE

1.1. Základní pojmy

1.1.1. Elektrizační soustava

Je složena z části výrobní, tedy elektráren všeho druhu, dále z přenosné a rozvodné soustavy a ze spotřebičů el. en. Přenosové soustavy slouží k přenosu velkých výkonů mezi hlavními uzly elektrizační soustavy. Rozvodné soustavy mají za úkol rozdělit el. en. z napájecích uzlů do jednotlivých skupin nebo oblastí spotřebičů (popř. k jednotlivým spotřebičům). Veřejné rozvodné soustavy slouží k napájení oblastí terciální sféry (byty) a jsou z nich napájeny i rozvodné sítě průmyslové, zemědělské a dopravní.

El. soustava i každá její část musí nejvhodnějším způsobem plnit tyto požadavky:

- a) zajišťovat dostatečnou, spolehlivou a kvalitní dodávku el. en. spotřebitelům
- b) pracovat s velkou účinností
- c) výrazně snižovat pracnost prací v provozu a údržbě soustavy
- d) zajišťovat bezpečnost osob
- e) zabraňovat nepříznivým vlivům soustavy na okolí (na životní prostředí)
- f) využívat odpadního tepla
- g) umožňovat řízení odběru el. en.
- h) být materiálově nenáročná

1.1.2. Diagram denního zatížení

Je to závislost okamžitého výkonu na čase

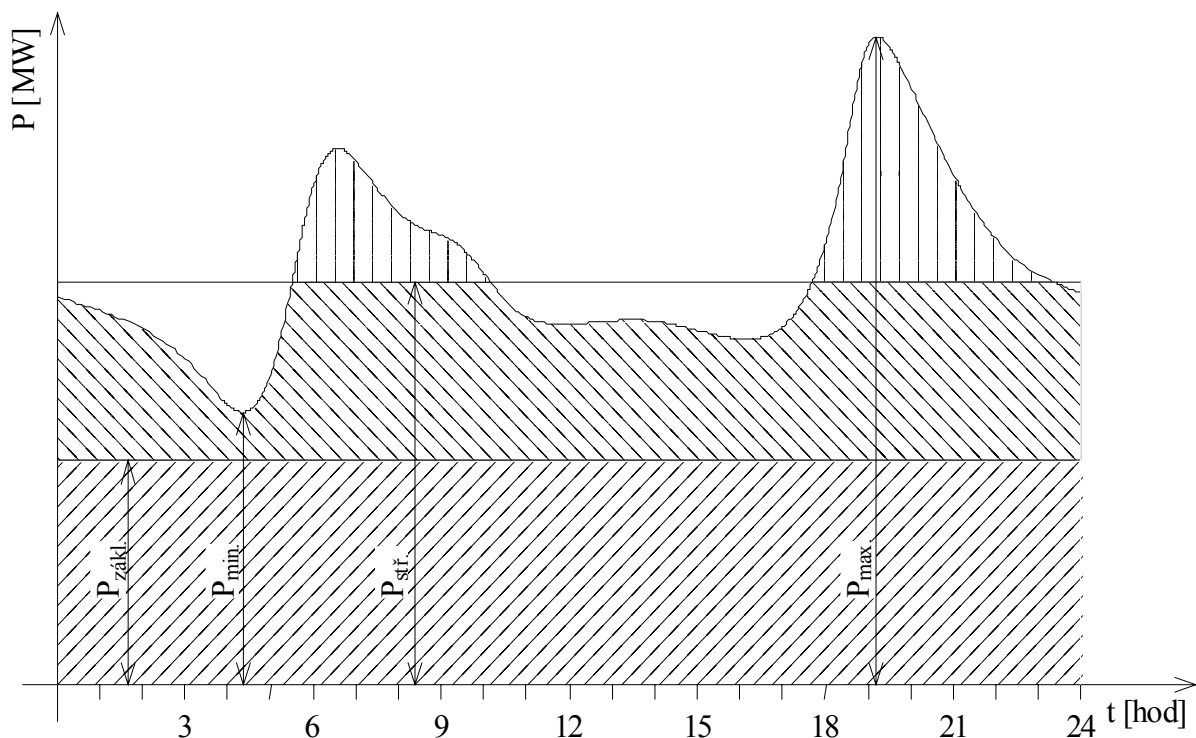
Z diagramu denního zatížení lze zjistit tyto hodnoty:

Maximální zatížení $P_{\max}$ – je to maximální zatížení za sledované období a je určeno nejvyšší okamžitou hodnotou.

Minimální zatížení $P_{\min}$ – je to minimální zatížení za sledované období a je určeno nejnižší okamžitou hodnotou.

Základní zatížení $P_{\text{zákl}}$ – je to výkon, který dodávají základní elektrárny, leží pod  minimálním zatížením.

Střední zatížení $P_{\text{stř}}$ – je to trvalé zatížení odpovídající zatížení, při kterém by zařízení dosáhlo za celé sledované období téže práce jako podle průběhu diagramu denního zatížení. $P_{\text{stř}} = W / T$.



Pološpičkové zatížení – je to část zatížení nacházející se mezi základním zatížením a zatížením středním.

Špičkové zatížení – je to zatížení nad středním zatížením.

Čtvrthodinové maximum – největší zatížení trvající 15 minut

Doba využití maxima τ – je to doba ve které se při maximálním zatížení vyrábí stejná el. en. jako při proměnlivém zatížením za zkoumané období T (τ se zároveň dá určit jako strana obdélníka o ploše odpovídající vykonané práci W a jehož druhou stranou je maximální zatížení P_{max})

Zatěžovatel ξ – je to poměr středního a maximálního výkonu nebo poměr doby využití maxima a celkové doby zkoumaného období

$$\xi = \frac{P_{\text{stř}}}{P_{\text{max}}} = \frac{\tau}{T} \leq 1$$

Energetický rok – trvá 8 760 hodin

Základní elektrárny – kryjí spotřebu elektrické energie danou základním zatížením, doba využití maxima je u nich víc jak 6000 hodin za rok. Patří sem jaderné, velké tepelné a průtočné elektrárny.

Pološpičkové elektrárny – kryjí spotřebu danou střední částí diagramu zatížení, doba využití maxima je u nich až 4500 hodin za rok. Jedná se o tepelné elektrárny na dovážené palivo a vodní elektrárny s denní akumulací.

Špičkové elektrárny – pracují ve špičkové části diagramu denního zatížení, doba využití maxima je u nich až 1500 hodin za rok. Jsou většinou plně automatizované, dálkově řízené, jsou schopny už během několika minut dodávat elektrickou energii do sítě. Patří sem například vysokotlaké vodní elektrárny s akumulací, přečerpávací vodní elektrárny, plynové elektrárny či elektrárny s leteckými motory.

1.1.3. Bilance výroby a spotřeby el. en.

Převážná část elektráren dnes pracuje paralelně do el. soustavy. Ta se skládá ze tří částí – výrobní, přenosové a spotřební, přičemž výroba a přenos závisí na spotřebě elektrické energie a to jak co do množství tak i časového rozložení výkonu. V zásadě tedy platí tzv. bilanční rovnice výroby a spotřeby elektrické energie:

$W_V - W_E - W_Z = W_S$, kde W_V je el. en. vyrobená v elektrárnách,

W_E je el. en. spotřebovaná na provoz elektrárny,

W_Z je el. en. ztracená v přenosové soustavě,

W_S je el. en. odebraná spotřebiteli.

Podobně pro každý časový okamžik platí rovnice výkonová:

$P_V - P_E - P_Z = P_S$, kde P_V je el. výkon na výstupu z generátorů,

P_E jsou výkonové ztráty dané provozem elektrárny,

P_Z jsou ztráty výkonu v přenosové soustavě,

P_S je el. příkon všech spotřebitelů v elektrizační soustavě.

V samotné elektrárně rozeznáváme několik druhů výkonů:

Instalovaný výkon elek. – je to součet jmenovitých činných výkonů všech alternátorů elektrárny.

Dosažitelný výkon elek. – je to nejvyšší činný výkon, kterého může elektrárna dosáhnout. U dnešních moderních elektráren se rovná

výkonu instalovanému.

Pohotový výkon elek. – je to nejvyšší činný výkon, kterého může elektrárna dosáhnout v určitém období s ohledem na všechny technické a provozní podmínky. Je to tedy dosažitelný výkon mínus výkon strojů odstavených z důvodu plánovaných oprav nebo poruchy (u vodních elek. závisí též na stavu vody).

1.2. Energetické zdroje

Energetické zdroje nám poskytuje sama příroda (tzv. primární zdroje), tyto často upravujeme pro jejich efektivnější využití (tzv. sekundární zdroje).

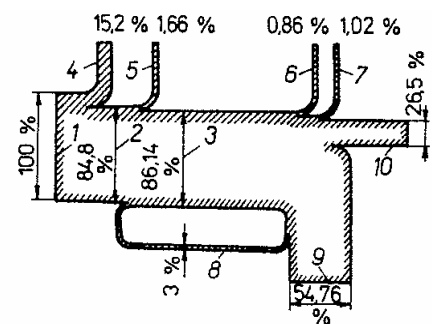
Primární zdroje elektrické energie jsou například: fosilní paliva, jaderná reakce, voda, sluneční záření, vzduch, rostlinstvo, geofyzikální teplo, mořský příliv a odliv, mořský příboj. Mezi zdroje sekundární patří například: koks, nafta, mazut, dřevní štěpka, peletky a další.

Prvotní zdroje energie rozdělujeme též podle jejich množství v přírodě na vyčerpatelné zdroje (fosilní paliva, látky pro jadernou reakci) a zdroje nevyčerpatelné neboli obnovitelné (voda, sluneční záření, vzduch, rostlinstvo, ...).

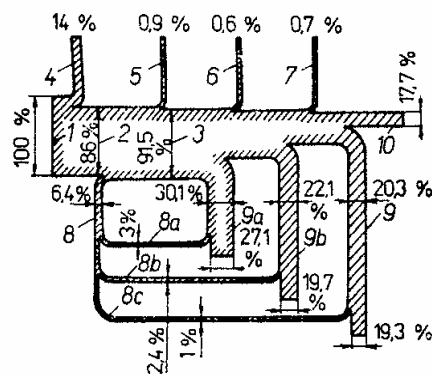
Podle možnosti dopravy dělíme zdroje na zdroje schopné přepravy (fosilní paliva i upravená, látky pro jadernou reakci, dřevěná štěpka, peletky, ...) a zdroje neschopné přepravy (voda, geotermální teplo, sluneční záření, vzduch, ...).

1.3. Tepelné elektrárny

Všechny tepelné elektrárny využívají přeměny energie paliva na vytvoření ostré páry, která pohání turbínu (výjimku tvoří plynová turbíny poháněná přímo spaliny). Principiálně lze parní elektrárny rozdělit podle paliva (pevné, kapalné, plynné), podle druhu kotle (velkoprostorové, vodotrubné, průtočné), podle druhu turbíny (kondenzační, rovnotlaké, protitlakové, přetlakové, jednostupňové vícestupňové). Existuje tedy velká škála různých tepelných elektráren, které často bývají doplněny pro zvýšení celkové účinnosti o výrobu tepla.



a) $\eta_e = 26.5$ až 32 %



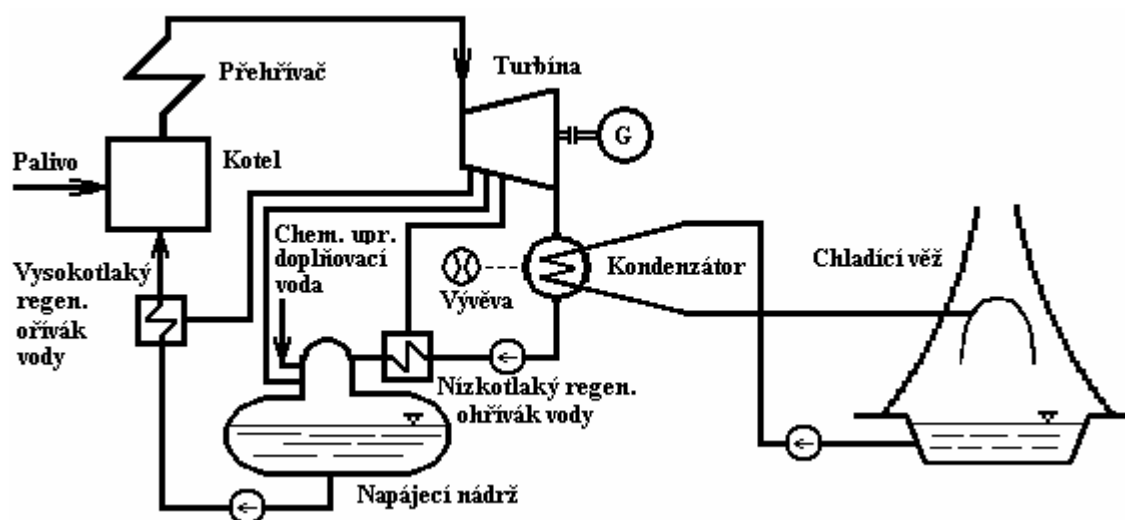
b) $\eta_{cl} = 64.5$ až 80 %

Diagram rozdělení a využití tepla v kondenzační elektrárně (a) teplárně (b);
 1 teplo obsažené v palivu, 2 teplo předané páře, 3 teplo odevzdané turbině, 4 ztráta v kotli, 5 ztráta(-ty) v potrubí, 6 ztráta(-ty) mechanické v turbině, 7 ztráta(-ty) v generátoru, 8 teplo v kondenzátu (napájecí vodě), 8a teplo kondenzátu páry 1. odběru, 8b teplo kondenzátu páry 2. odběru, 8c teplo kondenzátu páry turbinového kondenzátu, 9 ztráty v kondenzátoru, 9a teplo páry 1. odběru (dodaného spotřebiteli), 9b teplo páry 2. odběru dodané spotřebiteli, 10 teplo přeměněné v elektrickou energii

V kondenzačních elektrárnách se pro výrobu elektrické energie využije asi 25-35% tepla obsaženého v palivu. Stejná je i tepelná účinnost elektrárny, neboť teplo z kondenzátoru jde do chladících věží a uniká do ovzduší (okolo 3% tepla se vrací do elektrárny pro jeho technologické využití např. pro předehřev napájecí vody, pro vyhřívání prostoru strojovny atd.).

V teplárnách je situace značně příznivější i přesto, že pro výrobu elektrické energie se využije jen 15-20% energie obsažené v palivu. Ale protože část tepelné energie se dodává spotřebitelům k vytápění domácností a část se využívá k technologickým účelům (odebírání se z jednotlivých stupňů odběrových turbin) dosahuje tím celková účinnost až k 80%.

1.3.1. Kondenzační elektrárna



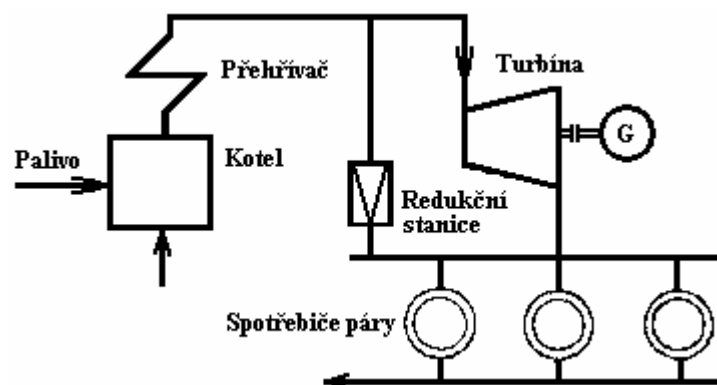
Sytá pára vyrobená v kotli se přehřeje v přehříváči na vyšší teplotu a tlak čímž vzniká tzv. ostrá pára. Ostrá pára je přiváděna do kondenzační turbíny, kterou roztáčí. Turbína je spojena s hřídelí turbogenerátoru a ten vyrábí pomocí otáčejícího se rotoru elektrickou energii. Pára která v turbíně vykonala práci odchází do kondenzátoru (umístěného pod turbínou), kde je vývěvou držen nízký tlak. Pára omývá trubky s chladicí vodou a na jejich stěnách kondenzuje. Z kondenzátoru je voda čerpadlem přiváděna přes nízkotlaký regenerační ohřívák vody do napájecí nádrže, odtud pak přes vysokotlaký regenerační ohřívák vody zpět do kotle.

Palivo spalované v kotli odevzdává tepelnou energii vodě a páře a část nevyužitého tepla je ve formě spalín odváděna jako komínová ztráta do ovzduší (přes mechanické a elektrostatické odlučovače). Účinnost kondenzační elektrárny na uhlí je nejvýše asi 42%.

1.3.2. Teplárna

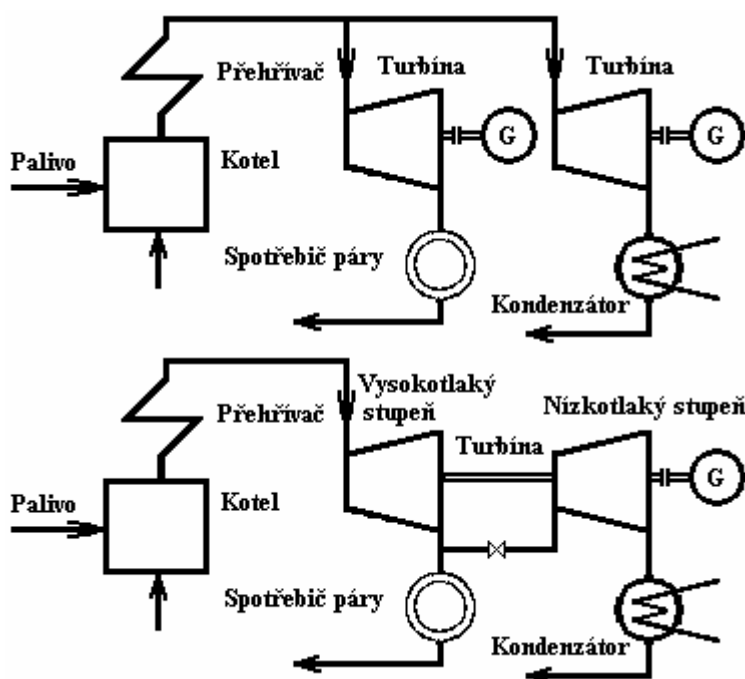
Jak již bylo řečeno teplárna má oproti kondenzační elektrárně větší celkovou účinnost, neboť část tepelné energie páry ještě využije pro ohřev domácností nebo pro technologické účely.

Teplárny využívají pro výrobu elektrické energie například tzv. rovnotlaké turbíny, tedy turbíny u kterých je tlak páry na výstupu téměř stejný jako na vstupu a tato pára se dále



využívá pro ohřev. Další možností je pak použití dvou turbín rovnotlaké a kondenzační, případně několika stupňové turbíny, kde z vysokotlakých stupňů se odebírá pára pro ohřev a nízkotlaký stupeň je zakončen kondenzátorem.

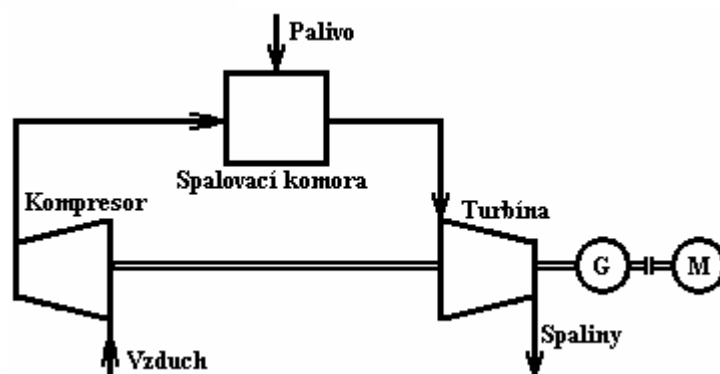
Pára z kotle se vede do protitlakové turbíny a odtud po expanzi k vnějšímu spotřebiteli tepla. Kondenzát od spotřebičů se dopravuje zpět do kotle. Teplo v páře za protitlakovou turbínou se zcela využije u spotřebitele a neztrácí se. Okamžitý elektrický výkon turbosoustrojí je určen průtokem páry turbínou nastaveným podle odebíraného tepelného výkonu u spotřebitelů. Redukční stanice slouží pro zajištění požadovaného tepelného výkonu tehdy, když při čistém provozu přes protitlakovou turbínu tento nelze zajistit. Nevýhodou tohoto druhu teplárny je závislost výroby elektrické energie na dodávce tepla a tedy při nulovém odběru tepla nelze vyrábět ani elektrickou energii.



Pokud chceme zajistit větší nezávislost výroby elektrické energie a tepla (s cílem zvýšit výrobu elektrické energie) pak teplárna musí být kromě protitlakové turbíny vybavena i kondenzační turbínou nebo musí být vybavena vícestupňovou kondenzační turbínou s regulovaným vysokotlakým odběrem.

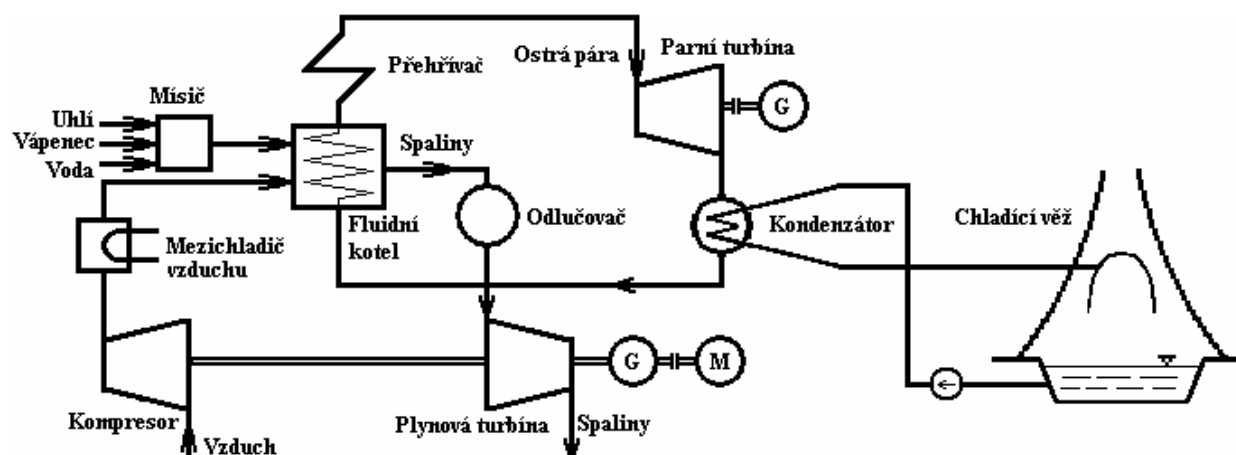
1.3.3. Plynová elektrárna

Generátor pohání plynová turbína roztáčená spaliny vzniklémi hořením paliva ve spalovací komoře (obvykle spalují plyn, lehký topný olej, petrolej, mazut, apod.). Celý



agregát se musí nejdříve roztočit motorem, který se po rozběhu odpojí spojkou. Motor roztáčí kompresor, který stlačuje přiváděný vzduch a vhání jej do spalovací komory, tam dojde k hoření a spaliny odchází do turbíny, která po odpojení motoru sama točí kompresorem. Výhodou plynové elektrárny je její pohotovost – do dvou minut je přivedena do provozu a náfázována na síť. Nevýhodou pak malá účinnost.

1.3.4. Paroplynová elektrárna

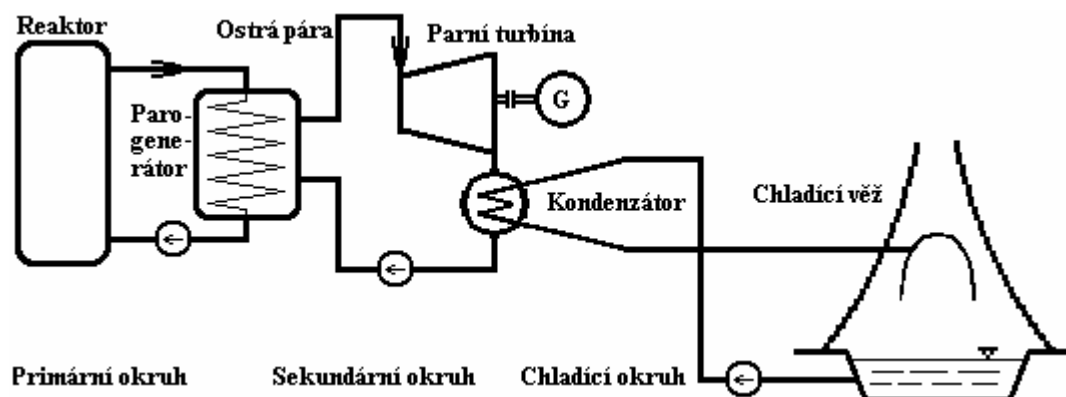


Jedná se o kombinaci plynové turbíny a klasického parního oběhu, čímž se podstatně zvyšuje účinnost výroby elektrické energie. Důvodem k sestrojení takové elektrárny na uhlí vedla konstruktéry vysoká cena plynu a ropy. Jednou z možností je tzv. tlakové fluidní spalování.

Vzduch je stlačován v kompresoru s mezichladičem (zvyšuje účinnost) a je vháněn do tlakového kotle. Uhlí je do kotle dopravováno pomocí čerpadla v podobě pasty s vodou a vápencem (slouží k odsíření). Spaliny předávají teplo parnímu okruhu. V cyklónových odlučovačích se zbaví větší části popílku a poměrně „čisté“ vstupují do plynové turbíny, kde konají práci. Před vstupem do komína ještě ohřívají napájecí vodu v parním okruhu a procházejí odlučovači popílku, kde se definitivně vyčistí. Parní oběh se principiálně neliší od klasické parní elektrárny. Účinnost takového paroplynového cyklu může dosahovat až 55%.

1.4. Jaderné elektrárny

Jedná se v podstatě opět o tepelnou elektrárnu, jejíž turbína je poháněna ostrou párou, ale tato pára je vyráběna v parogenerátoru teplem primárního média ohřátého v reaktoru.



Jaderná elektrárna se skládá z hlavního výrobního bloku, chladicích věží a mnoha dalších pomocných provozů, jako je např. čisticí stanice chladicí vody, dieselaagregát, hospodářství

s čerstvým a vyhořelým palivem atd. Vlastní výroba elektrické energie probíhá v tzv. hlavním výrobním bloku, který se v sobě ukrývá primární, sekundární a chladicí okruh.

Primární okruh je celý uložen v ochranné obálce kontejnmentu z předpjatého betonu. Skládá se z vlastního reaktoru, bazénu vyhořelého paliva, kompenzátoru objemu, parogenerátoru a hlavních cirkulačních čerpadel. V parogenerátoru se pomocí chladicí vody z reaktoru o teplotě asi 324°C ohřívá voda sekundárního okruhu a mění se na ostrou páru.

Sekundární okruh vede z parogenerátoru páru do turbíny, kde roztáčí elektrický generátor. Pára odchází z turbíny do kondenzátoru ve kterém je chlazena prostřednictvím třetího chladicího okruhu. Chladicí voda se z kondenzátoru vede do chladicích věží, kde se z výšky asi 15 m rozstříkuje a chladí protitahem proudícího vzduchu.

1.4.1. Jaderný reaktor

Existuje mnoho různých typů jaderných reaktorů. Nejrozšířenějším typem jsou tlakovodní reaktory (PWR - pressurized water reactors). U nás se jedná o reaktory označené VVER 440 (Dukovany) a VVER 1000 (Temelín).

Palivem je zde oxid uraničitý ve formě tabletek seřazených do palivových proutků. Proutky tvořené zavařenými trubkami ze zirkoniové slitiny tvoří palivovou kazetu. Paliva je v reaktoru přibližně 80 tun a jednou ročně se vymění asi jedna čtvrtina vyhořelého paliva za čerstvé.

V palivu dochází ke štěpné reakci. Jádra atomu uranu se štěpí pomalým neutronem na dvě lehčí jádra a dva nebo tři další neutrony. Štěpné úlomky odlétají velkou rychlostí a díky jejich kinetické energii se ohřívá chladivo. Vylétající neutrony jsou rychlé, a proto aby mohly rozštěpit další jádra uranu, musí být zpomaleny tzv. moderátorem, což je opět voda.

Průběh štěpné reakce se řídí tzv. regulačními tyčemi. Tyče obsahují látku, která pohlcuje neutrony, tzv. absorbátor (bór, kadmium). Pomocí zasouvání a vysouvání tyčí se řídí počet volných neutronů, které se účastní dalších štěpných reakcí. Řetězová štěpná reakce se tak dá zpomalit, nebo úplně zastavit.

Chladivem i moderátorem zároveň je u tlakovodních reaktorů obyčejná, neboli lehká voda. Ta je udržována pod tlakem asi 15 MPa a její teplota při výstupu z reaktoru se pohybuje kolem 324°C (u reaktorů jiných typů se jako moderátor používá například těžká voda D₂O či grafit, jako primární médium se kromě vody používá D₂O, CO₂, He).

Reaktor je tvořen tlakovou nádobou se silnými stěnami (asi 20 cm) z nerez oceli. Má hmotnost 320 tun a rozměry: výška 11 m, průměr 4,5 m. I s nadstavbou, kterou tvoří regulační tyče a jejich pohony, je celý reaktor vysoký asi 20 m. Aktivní zóna, v níž jsou umístěny

palivové kazety, má výšku 3 m a průměr 3,5 m. Ocelová tlaková nádoba je zároveň prvním krytem reaktoru, který chrání proti úniku radioaktivních látek při menších poruchách. Dále je tlustý betonový kryt proti biologickým účinkům záření. Mezi ocelovým a betonovým krytem bývá vodní izolace. Vedle toho mívá reaktor tepelnou izolaci, podobnou jako u obyčejných kotlů. Celý reaktor i s ochrannými kryty bývá někdy uzavřen do velké ocelové tlakové nádoby, aby se při nejvážnějších haváriích zabránilo pronikání intenzivního radioaktivního záření ven do okolí. Tento kryt mívá značné rozměry a může být zpřístupněn obsluhujícím pracovníkům.

Pro bezpečnost provozních pracovníků jsou prostory jaderné elektrárny rozděleny na prostory se stálou obsluhou (např. strojovna, elektrická dozorna, rozvodna apod.), s občasnou obsluhou (reaktorový sál, prostory s měřicími přístroji, apod.) a na prostory bez obsluhy (prostory primárního okruhu).

1.4.2. Štěpení jádra a fúze

V přírodě dochází u některých těžkých jader k spontánnímu štěpení. Samovolné štěpení je jedním z druhů přírodní radioaktivity. Jádro se rozpadá na dvě lehčí jádra samo, bez toho, že by do něho musel narazit neutron. Tento typ radioaktivity se vyskytuje u uranu a transuranových prvků.

Umělé štěpení jader uranu pomocí neutronů objevil německý profesor Otto Hahn v roce 1939.

Pomalý neutron narazí do jádra uranu, jádro se stane nestabilním a rozpadne se na dva přibližně stejné štěpné produkty, přičemž vylétne několik neutronů. Proces štěpení probíhá přibližně 10 až 14s. Odlétající nová jádra mají velkou kinetickou energii, čehož se využívá v jaderném reaktoru, kde se pomocí této energie ohřívá chladicí médium. Vzniklé neutrony po zpomalení mohou rozštěpit další jádra uranu. Rozvíjí se tak řetězová štěpná reakce. Enrico Fermi stanovil podmínky samovolného štěpení jader - neutrony musí mít určitou rychlost a musí být pohromadě určité tzv. kritické množství štěpného prvku.

Příklad: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{139}\text{Ba} + {}_{36}^{95}\text{Kr} + 2{}_0^1\text{n}$, $E_r = 200 \text{ MeV}$

Opakem štěpení je slučování jader, tzv. fúze. Probíhá samovolně v nitru Slunce a dalších hvězd. Lehká jádra se slučují při vysokých tlacích a teplotách 40 až 350 milionů °C podle typu reakce, vzniká těžší jádro a uvolňuje se energie. Této reakci se také říká termojaderná syntéza.

Příklady: ${}_1^2\text{D} + {}_1^2\text{D} \rightarrow {}_2^3\text{He} + {}_0^1\text{n}$, $E_r = 3,26 \text{ MeV}$

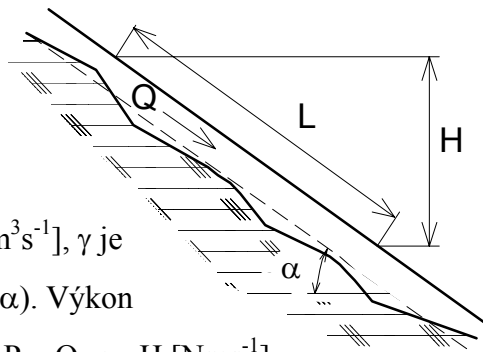
${}_1^2\text{D} + {}_1^3\text{T} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$, $E_r = 17,6 \text{ MeV}$

1.5. Vodní elektrárny

Budování vodních děl má mimořádný význam pro regulaci vodních toků, pro hospodaření s vodou, zajištění zavlažování, plavbu i pro vytváření rekreačních oblastí. Stavba a provozování elektráren znamená využití nevyčerpatelných vodních zdrojů pro výrobu elektrické energie. V naší zemi, kde není dostatek velkých vodních zdrojů pracují především jako doplňkové elektrárny k velkým energetickým kolosům, kterými jsou tepelné elektrárny na fosilní paliva nebo uran. Doplňují a vyrovnávají tedy okamžitou energetickou bilanci v elektrizační síti. Jejich velkou předností je možnost náběhu ve velmi krátké době, s velkým výkonem (i odstavování). Výhodou vodních elektráren je kromě toho možnost akumulace elektrické energie ve větším měřítku vytvářením akumulčních vodních nádrží a jejich využitím pro pohon vodních turbín ve vhodných obdobích podle potřeby diagramu elektrického zatížení.

Mechanická práce vodního toku v určitém úseku L za libovolný čas t je úměrná jak množství vody, protékající průřezem koryta za jednotku času, tak i sklonu řečiště neboli spádu v uvedeném úseku:

$W = Q \cdot \gamma \cdot H \cdot t \cdot 1000$ [Nm], kde Q je množství vody [m^3s^{-1}], γ je měrná tíha vody 9810 Nm^{-3} a H je spád [m] ($H = L \cdot \sin \alpha$). Výkon vodního toku ve kterém se přemístí množství vody Q je $P = Q \cdot \gamma \cdot H$ [Nms^{-1}], nebo-li $P = 9,81 \cdot Q \cdot H$ [kW].



1.5.1. Rozdělení vodních elektráren

Paleta vodních elektráren je velmi široká, jsou elektrárny ledovcové, elektrárny přečerpávací, elektrárny velké i elektrárny malé. Nelze zcela vyčerpat všechna hlediska, podle kterých jsou vodní elektrárny tříděny a rozlišovány. Všechny bez rozdílu však využívají přeměnu polohové a pohybové energie vody v mechanickou energii turbíny a tu pak v energii elektrickou pokud možno s co nejmenšími ztrátami. K tomu je potřeba soustředit spád vody na turbínu v některém místě využívaného úseku. Při daném průtočném množství Q lze zvětšit výkon elektrárny a tím i výrobu elektrické energie zvýšením spádu.

Podle spádu se vodní elektrárny rozdělují na:

Nízkotlaké, u nichž voda přitéká do budovy elektrárny přiváděčem s volnou hladinou se spádem do 20 m. Přičemž tyto elektrárny mají minimální akumulaci vody a hltnost jejich turbín je menší než průtok vody. Pracují v základním režimu zatěžovacího diagramu, tedy asi

6000 h ročně.

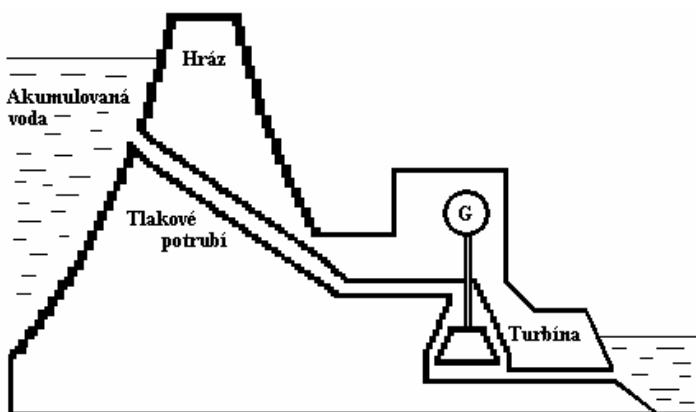
Středotlaké, u nichž je přívod vody před budovou elektrárny proveden nejčastěji potrubím se spádem do 100 m. Hltnost jejich turbín je menší než maximální průtok vody a pracují okolo 4500 h za rok.

Vysokotlaké, u nichž je přívod vody před budovou elektrárny proveden tlakovým potrubím se spádem nad 100 m. Budují se v oblastech s možností velké akumulace vody, hltnost turbín je větší než maximální průtok a jsou využívány ročně asi 1000 h.

Podle způsobu provozu se dělí vodní elektrárny na:

Průtočné (bez akumulace), které využívají řečištěm protékající množství vody až do úplné hltnosti turbín, na něž je elektrárna dimenzována a zbytek průtoku nad využitelnou mez danou hltností vodních turbín přepadá jalově přes jez. Takové elektrárny pracují vždy v základní části diagramu denního elektrického zatížení.

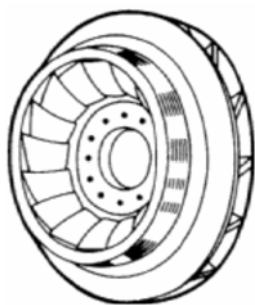
Akumulační s přirozenou akumulací (regulační), jež jsou schopny udržovat a regulovat vodní průtoky. Voda pro turbíny se odebírá z nádrží, v nichž lze s vodou hospodařit. Voda k turbínám se přivádí potrubím. Při nadbytku vody se tato přepouští přes přepad hráze. Regulační elektrárny tedy pracují v pološpičkové popřípadě ve špičkové části diagramu denního zatížení.



Akumulační s umělou akumulací (přečerpávací) v těchto elektrárnách se voda přečerpává v dobách mimo elektrickou špičku (v noci, v poledne) do výše položené nádrže, z níž se pak ve špičkách odebírá pro pohon vodních turbín vyrábějících elektrickou energii.

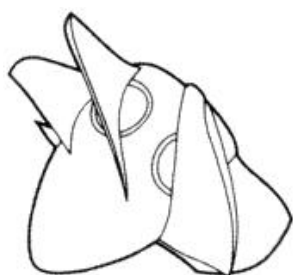
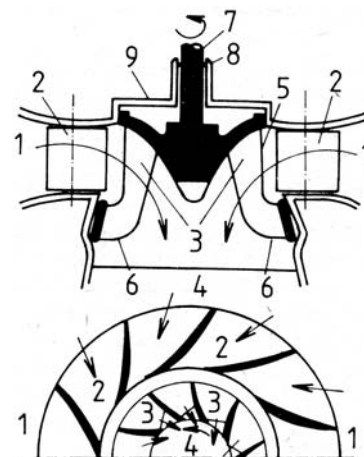
1.5.2. Turbíny vodních elektráren

Pro provoz vodních elektráren se používají čtyři základní typy turbín, a to Francisova turbína, Kaplanova turbína, Peltonova turbína (Peltonovo kolo) a Bánkiho turbína.

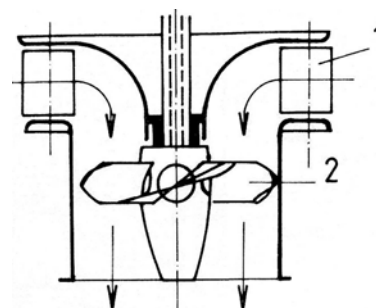


Francisova turbína je přetlaková turbína (tlak vody před turbínou je větší než za ní), která je schopná zajišťovat současnou přeměnu kinetické a tlakové energie vody na mechanickou energii rotujícího hřídele. U Francisovy turbíny přitéká voda do spirály ve tvaru ulity¹,

v níž je rovnoměrně po celém obvodu rozdělována do prostoru natáčivých rozváděcích lopatek 2 (natáčením lopatek se reguluje výkon turbíny), dále vchází na vstupní hrany 5 pevných oběžných lopatek 3 rotujícího oběžného kola turbíny, kterému předává části své kinetické i tlakové energie. Po předání této energie vytéká voda z výstupních hran oběžných lopatek turbíny 6 a vstupuje do savky (sací trouby) turbíny 4, v níž předává ještě další malou část energie.

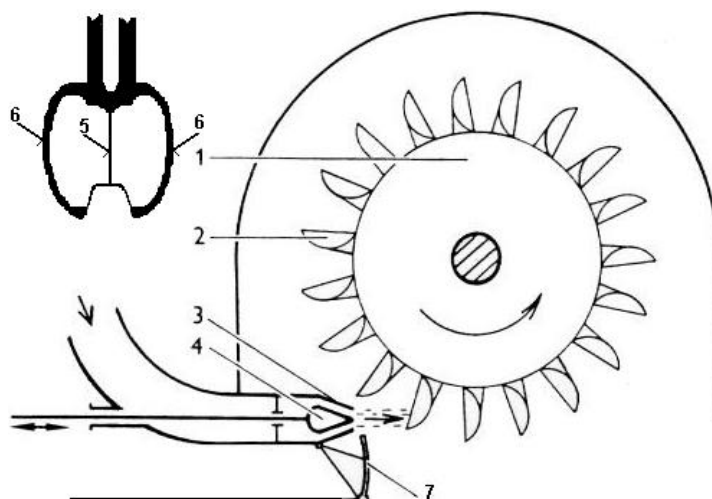


Kaplanova turbína je rovněž přetlaková turbína a má vedle natáčivých rozváděcích lopatek též natáčivé lopatky oběžného kola, čímž je



umožněno dodržení stále dobré účinnosti (přes 90%) při velikém provozním kolísání spádu a průtoku. Kaplanova turbína s rozváděcími lopatkami 1 a oběžnými 2 se používá pro malé a střední spády od 1 do 80 m.

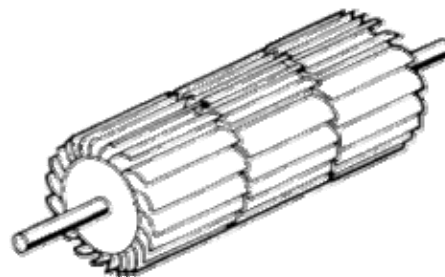
U Peltonovy turbíny přitéká voda tlakovým potrubím k regulační trysce (dýze) 3 v níž se zvyšuje rychlost vody a tím i její kinetická energie. Množství protékající vody se reguluje pomocí jehlového uzávěru 4. Po opuštění trysky vykonává vodní proud krátkou cestu vzduchem



a přichází na střechovitě upravenou vstupní hranu 5 oběžné lopatky 2, kterou je rozdělován na dvě části. Dále

jsou obě části proudu vedeny vnitřními, lžícovitě tvarovanými stěnami lopatky, přičemž dochází k plynulé změně směru proudění, a tím i k předávání kinetické energie vody oběžnému kolu turbíny. Obě části proudu pak opouštějí oběžnou lopatku na jejich dvou

výstupních hranách 6. Peltonova turbína je tedy akční rovnotlaká turbína (tlak vody před a za turbínou je stejný), schopná využívat v oběžném kole pouze kinetickou energii vody a proto se používá pro vysoké spády 300 až 1500 m.

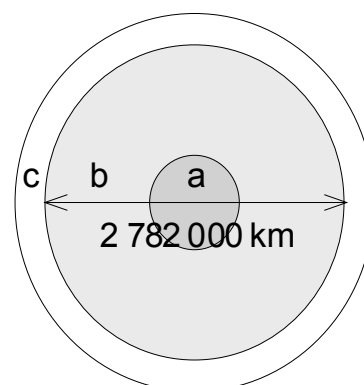


Bánkiho turbína je taktéž rovnotlaká vodní turbína s dvojnásobným průtokem vody (voda protéká oběžné kolo). Je výrobně nenáročná a proto je vhodná pro malé vodní elektrárny se spádem 1 až 50 m, při průtoku 50 až 5000 l.s⁻¹.

1.6. Sluneční elektrárny

Slunce je v podstatě obrovský termojaderný reaktor, ve kterém dochází k syntéze (slučování) jader vodíku na jádra helia v tzv. "vodíkovém cyklu". Vodíkový cyklus probíhá při teplotě 10 milionů K, což odpovídá poměrům ve středu slunce (a). Kolem středu je vrstva horké sluneční hmoty, která tvoří izolaci aktivní oblasti (b) a kolem ní je pak sluneční atmosféra (c). Termojaderné procesy na Slunci probíhají již 5 miliard let. Zásoba vodíku vystačí ještě na dalších 15 miliard let.

Povrchová teplota Slunce:	6 000 K
Měrný zářivý výkon Slunce:	64 MW/m ²
Celkový zářivý tok emitovaný Sluncem:	3,8.10 ²⁶ W



Sluneční energii je obsažena téměř ve všech druzích energie. Ať už se jedná o fosilní paliva (především uhlí) tedy dávnou sluneční energii zachycenou fotosyntézou nebo o vodní a větrné elektrárny jejichž zdrojem je sluneční energie skrytá v síle vodních toků a větrů (jaderná energie nepochází ze slunce).

Elektřinu lze získat ze sluneční energie různými způsoby a to buď přímo nebo nepřímo.

Přímá přeměna využívá fotovoltaického jevu. Je to jev, při kterém se v látce působením světla (fotonů) uvolňují elektrony. Tento důležitý jev může nastat v některých polovodičích (např. křemíku, germaniu, selenu, kadmia aj.) Fotovoltaický článek je tvořen nejčastěji tenkou destičkou nařezanou z monokrystalu křemíku, který i přes pracnou a nákladnou výrobu má stále nejvyšší dosahovanou účinnost (cca 35%). Lze použít i materiál polykrystalický, jehož účinnost je okolo 15%, ale je levnější na výrobu nebo ještě levnější materiál amorfni s

účinností sice jen kolem 8%, ale s velkou absorpční schopností (postačí tenká vrstva na levném nosném materiálu). Destička je z jedné strany obohacena atomy trojmocného prvku (např. bóru) a z druhé strany atomy pětimocného prvku (např. arzenu) a mezi nimi vznikne přechod P-N. Když na destičku dopadnou fotony slunečního záření vytvářejí z neutrálního atomu páry elektron-díra. Vnitřní elektrické pole náboje opačných znamének rozdělí a vyvolá po uzavření elektrického obvodu stejnosměrný elektrický proud. Jeden cm^2 dává proud o výkonu kolem 12 mW. Jeden m^2 slunečních článků tak může v letní poledne vyprodukovat stejnosměrný proud o výkonu až 150 W. Sluneční články se zapojují buď za sebou (sériově), abychom dosáhli potřebného napětí (na jednom článku je 0,5 V) nebo vedle sebe (paralelně), abychom získali větší proud. Spojení mnoha článků vedle sebe a za sebou se nazývá sluneční panel.

Nepřímá přeměna je založena na získání tepelné nebo chemické energie. Teplo získáváme snadno pomocí slunečních sběračů, a to dvojím způsobem:

- V ohnisku sběračů umístíme termočlánky, které mění teplo v elektřinu pomocí termoelektrické přeměny tedy na základě tzv. Seebeckova jevu. V obvodu složeném ze dvou různých kovů vzniká elektrický proud, jestliže jejich spoje mají různou teplotu, takové jednoduché zařízení se nazývá termoelektrický článek. Jeho účinnost závisí na vlastnostech obou kovů a na rozdílu teplot mezi teplým a studeným spojením. Větší množství termoelektrických článků vhodně spojených se nazývá termoelektrický generátor. Teplé spoje generátoru se umístí v ohnisku fokusačního sběrače, studené spoje bývají ve vodě či v půdě.
- Do ohniska umístíme buď přímo kotel s vodou, která se vypařuje a pára pohání turbínu nebo trubky obsahující teplotonosnou látku, která absorbuje teplo a předává jej vodě, která se opět vypaří a pára pohání turbínu.

Chemické získávání sluneční energie se provádí pomocí palivových článků. Sluneční záření rozloží vodu na vodík a kyslík. Tím se původní energie záření uskladní jako energie chemická do obou plynů. Poté při slučování obou plynů tj. při okysličování vodíku vzniká opět voda a zároveň se uvolní nahromaděná energie jako elektrický proud.

1.6.1. Fotovoltaické elektrárny

Na plochu velikou 1 m^2 a vodorovně položenou dopadá u nás přibližně 1200 kWh sluneční energie za rok. Na stejně velkou plochu nad zemskou atmosférou a postavenou kolmo ke slunečním paprskům dopadá ročně 12 000 kWh, tedy 10x více než k nám. V kosmickém prostoru se navíc nestřídá den a noc, nejsou tam žádná oblaka, tedy sluneční záření není ničím

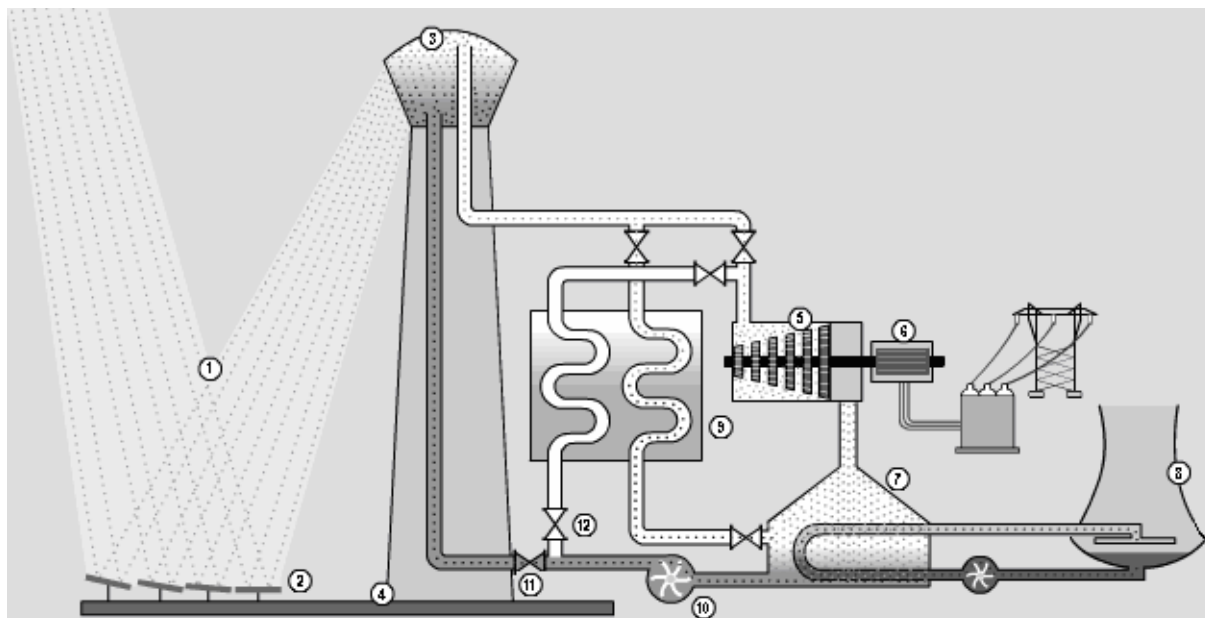
zeslabováno. Proto využití fotovoltaických článků u nás má význam jen tam, kde je problematická doprava elektrické energie a navíc její dodávka není potřeba v noci (například v parkovacích automatech), nebo jako doplňkový zdroj elektrické energie k jinému zdroji. Ve světě pak existují i několika mega wattové fotovoltaické elektrárny (USA, Japonsko, Saúdská Arábie). Další velké využití přímé přeměny sluneční energie je v družicích nebo kosmických lodích, kde fotovoltaické články poskládané do fotovoltaických panelů dodávají potřebnou energii pro všechny přístroje na palubě.

Existují i studie, podle kterých by se na geostacionární oběžné dráze (36 000 km nad zemí) umístilo několik fotovoltaických elektráren o rozloze panelů 5 x 12 km, tedy 60 km². Ny tyto panely by dopadalo neustále sluneční záření o energii 84 GW. Toto záření vyrobí při třiceti procentní účinnosti 25,2 GW stejnosměrného proudu, který se přemění na decimetrové radiové vlny (snadno procházejí atmosférou i oblaky), které budou vysílány směrem k Zemi. Na Zemi bude energie decimetrových vln zachycena přijímací anténou a přeměněna ve střídavý proud rozváděný normální sítí. Při dalších ztrátách při vysílání, příjmu a přeměně energie vln na střídavou elektrickou energii bychom mohli využít okolo 10 GW elektrické energie (tj. asi 1/8 celkové spotřeby ČR).

1.6.2. Sluneční elektrárna věžová

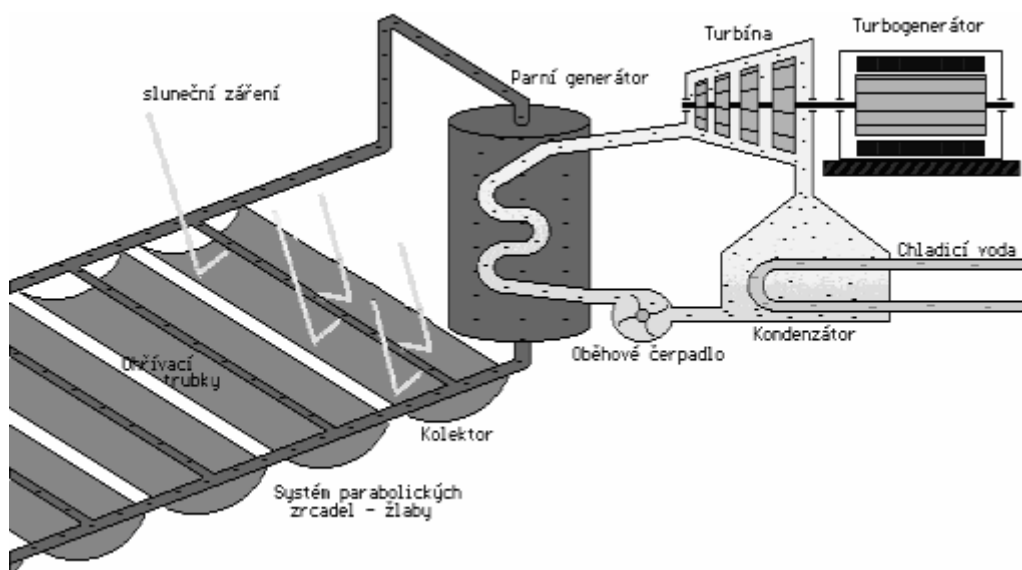
Sluneční elektrárna věžová je zařízení, ve kterém se mění sluneční záření na elektrickou energii ve velkém měřítku. Sluneční elektrárna je vlastně tepelná elektrárna, která potřebné teplo získává přímo ze slunečního záření 1 a soustavou rovinných zrcadel tzv. heliostatů 2, automaticky sledujících pohyb slunce, se zářivá sluneční energie koncentruje na kotel 3 umístěný na vrcholu vysoké věže 4. Pro zvýšení množství předané energie slunečního záření se heliostaty otáčejí automaticky tak, že přijímané záření odrážejí směrem k jihu, kde je umístěno velké parabolické zrcadlo a teprve to odráží veškerou energii na sluneční kotel, umístěný v jeho ohnisku. Sluneční kotel zachytává sluneční záření a odevzdává absorbované teplo látce nejčastěji vodě cirkulující v uzavřeném okruhu. Typickým slunečním kotlem (kolektorem) používaným v našich zeměpisných šířkách je černá kovová nebo plastová deska. V kotli se absorbovaným teplem generuje pára, která pohání turbínu 5 spojenou s elektrickým generátorem 6 a zároveň ohřívá vodu v tepelném akumulátoru 9, odkud odchází do kondenzátoru 7. Pára se po průchodu turbínou, tedy po vykonání mechanické práce taktéž sráží na trubkách kondenzátoru 7, Trubky kondenzátoru jsou stejně jako u tepelných elektráren ochlazovány chladícím okruhem pomocí chladících věží 8. Zkondenzovaná voda je zpět do slunečního kotle dopravována pomocí čerpadla 10 přes ventil 11.

V případě zamračeného počasí, tedy v době, kdy nedopadá sluneční záření na soustavu zrcadel se uzavře ventil 11 a zkondenzovaná voda je přes ventil 12 přiváděna do tepelného akumulátoru 9, kde se mění v páru. Ta je vháněna do turbíny, kterou roztáčí.



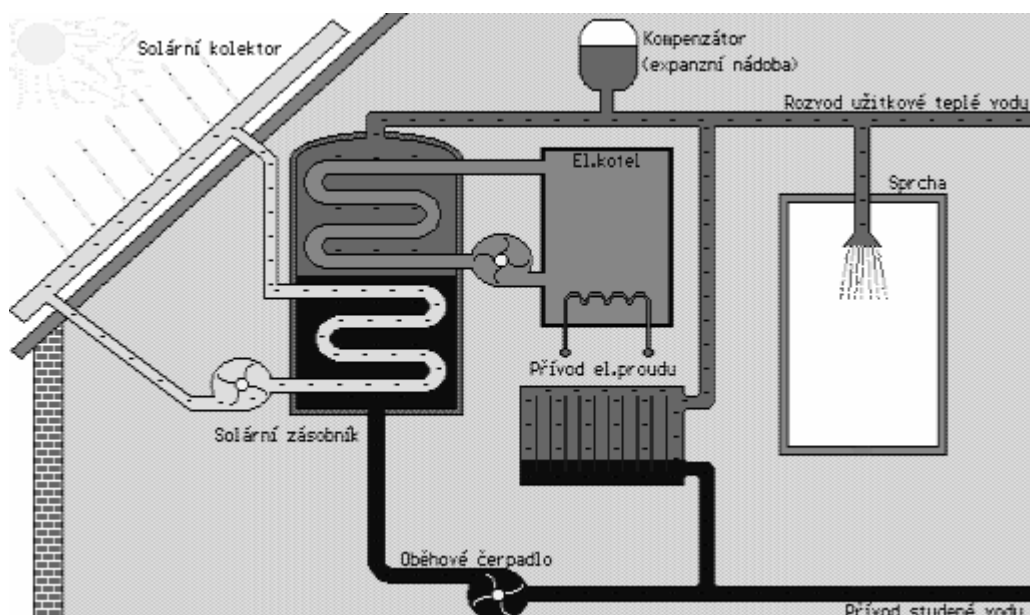
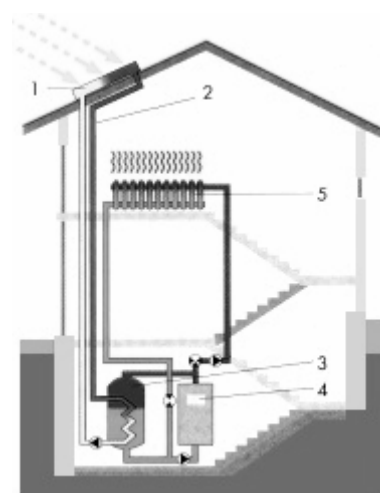
1.6.3. Sluneční elektrárna parková

Zářivá sluneční energie se koncentruje pomocí dlouhých žlabů parabolického průřezu na trubky procházející ohnisky těchto zrcadel. Parabolické žlaby se buď automaticky natáčejí za sluncem, nebo jsou umístěny staticky severo-jihním směrem. Trubkami protéká teplotnosná látka (olej), ohřívá se a přenáší teplo do parního generátoru. Zde v trubkách vzniká pára, která pohání turbínu s elektrickým generátorem. Voda se za turbínou opět sráží v kondenzátoru a odtud je oběhovým čerpadlem vrácena do parního generátoru.



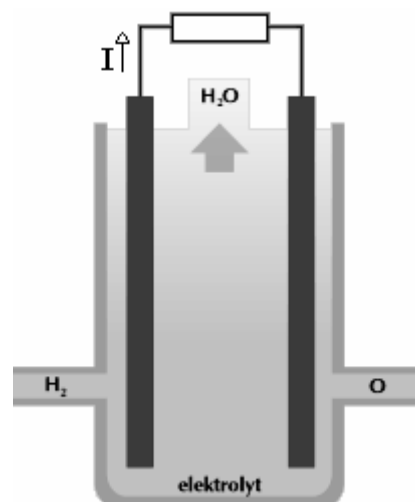
1.6.4. Solární kolektor

Sluneční záření dopadá na sluneční kolektor 1, který jej zachycuje a předává absorbované teplo látce cirkulující v uzavřeném okruhu 2. Typickým slunečním kolektorem používaným v našich zeměpisných šířkách je černá kovová nebo plastová deska. Teplo se soustavou trubek odvádí do solárního zásobníku 3, kde je předáváno vodě. Teplá voda je rozváděna rozvodem teplé užitkové vody do teplovodních spotřebičů 5 (koupelny, radiátory apod.). V době nepříznivého počasí nebo v noci je zdrojem tepla elektrický nebo plynový kotel 4, protože tepelná energie naakumulovaná v solárním zásobníku je velice malá.



1.6.5. Palivový článek

Klasický palivový článek je kyslíko-vodíkový článek, který má dvě pórovité platinové elektrody, mezi nimiž je elektrolyt. Napětí článku je asi 1,1 až 1,23 V. Aby mohl pracovat dostává na rozdíl od jiných článků látky a katalyzátor, během provozu lze však u palivových článků palivo doplňovat, takže mohou pracovat trvale. Z jedné strany se do článku přivádí vodík, z druhé kyslík, přičemž vniká voda, která je odváděna z článku pryč. Elektrony odevzdané vodíkem katodě, se pohybují vnějším obvodem



ke kyslíkové anodě a zde jsou přebírány kyslíkem. Obvodem tedy protéká elektrický proud získaný z chemické energie.

Palivové články budou pravděpodobně důležitým zdrojem elektrické energie v budoucnosti. Představují uskladněnou sluneční energii a lze je získávat v neomezeném množství. Výhodou palivových článků je jejich vysoká účinnost (až 90 %), bezhlučný a čistý provoz (jejich produktem je voda). Palivové článkové baterie pracující v domácnostech dodávají výkon kolem 12 kW. Vyrábějí se však už baterie mnoha palivových článků s výkonem až 12 MW (užívají se zejména v astronautice).

1.7. Větrné elektrárny

Vítr je pohyb vzduchu vůči zemskému povrchu. Na pravidelnost tohoto proudění silně působí nerovnoměrné zahřívání vzduchu slunečním zářením, střídání teplot a tepelné rozdíly mezi mořem a pevninou, horami a údolími, zalesněnými a holými plochami a podobně. V proudění vzduchu pak nastávají časté výkyvy, které se v krajním případě projevují větrnými bouřemi.

V pohybu větru výrazně převládá vodorovná složka. Je charakterizován jednak směrem, odkud vane (ve stupních nebo sektorech - sever 360° nebo 0°, východ 90°, jih 180°, západ 270°), jednak rychlostí (měřenou v ms⁻¹ nebo kms⁻¹).

Převládající větry nad velkými územími určují všeobecnou cirkulaci atmosféry. zatímco místní větry určitého směru a charakteru se vyskytují nad menšími územími. V tropických a subtropických pásmech je proudění větru pravidelné, směrem k rovníku proudí pasáty a v horních vrstvách opačným směrem antipasáty, v oblasti jihovýchodní Asie je typické půlroční střídání monzunů vanoucích na pevninu z moře s antimonzuny směřujícími opačně.

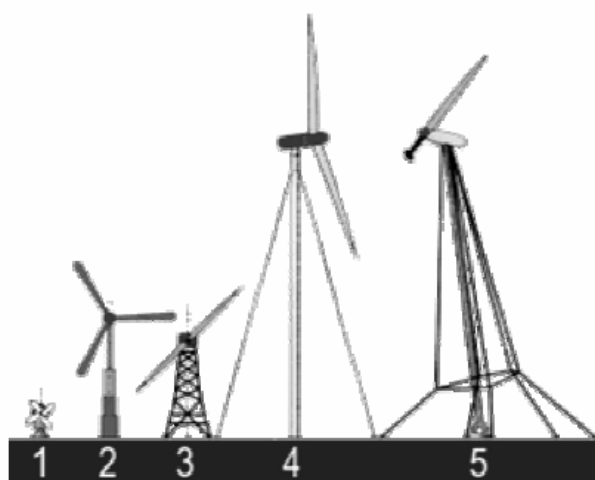
Výkon větru je dán rovnicí $P = \frac{1}{2} \rho v^3 S$, kde P je výkon [W], ρ hustota vzduchu [kg.m⁻³] (souvisí mimo jiné s tlakem, výškou a teplotou) a S je plocha, kterou vítr proudí [m²].

Z rovnice pro výkon větru je patrné, že zvýší-li se rychlost dvakrát podává vítr osminásobný výkon (roste s třetí mocninou rychlosti).

Větrné kolo snižuje rychlost vzdušného proudu, čímž se část pohybové energie přeměňuje na energii mechanickou. Nejvyššího výkonu se dosahuje při zpomalení vzdušného proudu na jednu třetinu z čehož pak plyne i teoretický limit větrných kol tedy ideální větrná elektrárna může přeměnit 6/27 energie vzdušného proudu v energii mechanickou a její teoretická účinnost dosahuje 59 %. Skutečné účinnosti jsou nižší, protože otáčky kola jsou zpomalovány třením v jeho vlastním mechanismu, třením větru a vznikem vírů. Současné větrné elektrárny mívají jednu až tři lopatky a v nejlepším případě dosahují účinnosti 45%.

Za využitelné se považují větry dující rychlostí mezi 3 až 26 ms⁻¹ ve výškách do 200 metrů. Tak široké rozmezí rychlostí nemůže jedno zařízení efektivně pokrýt, protože by se musely výrazně měnit otáčky rotoru, a tím i připojeného generátoru. Samotné generátory s proměnnou rychlostí otáček vykazují vysokou účinnost, ale vyžadují elektroniku, která udržuje konstantní kmitočet nezbytný pro připojení k veřejné distribuční síti.

Obrovská vrtule moderní větrné turbíny je upevněna na zpravidla vodorovně uložené hřídeli na vrcholu štíhlé věže. Rovina, v níž se několik desítek metrů dlouhý jednolistý až třílistý rotor otáčí, se nastavuje pohybem celé aerodynamicky krytované gondoly, ve které je uložen také generátor s převodovkou. Konce lopatek dosahují obrovských obvodových rychlostí, což způsobuje krajní namáhání materiálu. Náhlé náporů větru, stejně jako jistá asymetrie vrtule mohou způsobit nebezpečné rozkmitání celé konstrukce. Dosáhnou-li náporů větru kritické rychlosti, hrozí havárie a turbínu je třeba odstavit, zapojí se brzdění rotoru a vrtulové listy se nastaví proti větru svým nejužším profilem. Tato opatření odpadají u turbín se svisle uloženým rotorem. Systém Darrieus má navíc tu přednost, že celé velmi hmotné technické zařízení spočívá nízko pod rotorem, což zvyšuje stabilitu konstrukce.



Porovnání několika možných velikostí a typů větrných elektráren:

- 1) malý typ o výkonu kolem 90 kW,
- 2) dánská větrná elektrárna TVIND s třílistou vrtulí o výkonu 2 MW,
- 3) dvoulistá větrná elektrárna ze Severní Karoliny,
- 4) německá větrná elektrárna GROWIAN o výkonu 2 až 3 MW,
- 5) německý projekt jednolisté větrné elektrárny o výkonu až 10 MW.

Jednu z možností, jak zabránit nežádoucímu rozkmitání velkých větrných generátorů, představuje atypická jednolistá vrtule. Rozdíly rychlosti větru v horní a spodní části kruhu, který opisuje dvoulistá vrtule, mohou totiž dosahovat až 2,8 ms⁻¹. Na každou polovinu tak působí rozdílné síly, které rozkmitají listy. Takový stav nemůže u jednolisté vrtule nastat a lze ji navíc dokonale vyvážit protizávažím (v Německu vznikl dokonce projekt jednolisté turbíny o výkonu 10 MW).

Větrná mapa orientačně ukazuje mnohaleté celoroční průměrné rychlosti větru přes 4 ms⁻¹ (ve výšce 10 m) a přes 5,3 ms⁻¹ (ve výšce 30 m). Vznikla podle podkladů Českého

hydrometeorologického ústavu. Větrný atlas ČR vytvořený Ustavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR podrobně mapuje dlouhodobě rozložení energie větru nad naším územím a umožňuje vybrat nejvhodnější lokality pro stavbu větrných farem. Počítá se s plochami 3 x 3 nebo 4 x 6 km v nadmořských výškách zpravidla nad 700 m nad mořem. Až na řídke výjimky se energeticky příhodné lokality nacházejí v horských pohraničních pásmech a v oblasti Českomoravské vrchoviny.



Větrná mapa

Čísla přibližně označují místa osmi větrných turbín o instalovaném výkonu větším než 50 kW (v závorkách výrobce nebo dodavatel):

- 1) Boží Dar v Krušných horách - 75 kW (Vítkovice)
- 2) Dlouhá Louka nad Osekem v Krušných horách - 315 kW (Energovars z Dobré)
- 3) Hory u Karlových Var - 75 kW (Vítkovice)
- 4) Hrubá Vrbka u Kuželova v podhůří Bílých Karpat - 175 kW (Winpower. Dánsko)
- 5) Strabenice v podhůří Chřibů - 315 kW (Vítkovice)
- 6) Staříč u Frýdku-Místku - různé výkony (zkušební polygon finiiy Energovars)
- 7) Bílý Kříž v Beskydech - 60 kW (Tacke. SRN)
- 8) Mravenečník u Loučné nad Desnou v podhůří Jeseníků - 250 kW (Worldwind. Dánsko)

Mezi hlavní výhody těchto zařízení patří především minimální provozní náklady a nevytváření žádného škodlivého odpadu ani jinak neohrožují životní prostředí. Jejich nevýhody jsou například vysoké pořizovací ceny nosné konstrukce, větrného motoru s generátorem a zařízení na regulaci kmitočtu střídavého proudu (při dodávce do veřejné elektrizační soustavy), značná změna rázu krajiny (určité nebezpečí pro tažné ptáky, kteří zase naopak mohou ohrozit jejich bezporuchový chod) a poměrně nesnadná akumulace získané elektrické energie.

1.8. Další alternativní elektrárny

Mezi další alternativní elektrárny patří především, různé typy příbojových, přílivových, absorpčních či geotermálních elektráren.

2. ELEKTRICKÝ OHŘEV A CHLAZENÍ

Elektrickým ohřevem vzniká teplo přeměnou elektrické energie. K jeho výhodám patří především pohotovost dodávky tepla, přesnost ohřevu, snadnost řízení nebo čistota provozu. Elektrickým chlazením je naopak teplo odebíráno z prostoru za použití elektrické energie.

2.1. Základní veličiny a jednotky tepla

<i>Veličina</i>	<i>Značka</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Zn. jedn.</i>	<i>Vyjádření</i>
Teplo	Q	Joule	J	Jedná se o druh energie vyjadřující vnitřní kinetickou energii látky.
Teplota	t, ϑ T, Θ	°Celsiův Kelvin	°C K	Teplota vyjadřuje stav látky a je mírou vnitřní kinetické energie látky.
Měrná tepelná kapacita látky	C_m	Joule na kilogram a Kelvin	$\frac{J}{kg \cdot K}$	Je to teplo potřebné k ohřátí jednoho kilogramu látky o jeden Kelvin (není konstantní mění se s teplotou látky).
Skupenské teplo	L	Joule na kilogram	$\frac{J}{kg}$	Je to teplo potřebné k izotermické změně skupenství jednoho kilogramu látky.
Součinitel tepelné vodivosti	λ	Watt na metr a Kelvin	$\frac{W}{m \cdot K}$	Udává kolik tepla projde za jednotku času rovnou stěnou jeden metr silnou, o ploše jeden metr čtvereční a při rozdílu teplot stěn jeden Kelvin.
Teplotní součinitel odporu	α	Kelvin na minus první	K ⁻¹	Udává o kolik se změní elektrický odpor látky při změně teploty o jeden Kelvin.

2.2. Elektrické zdroje tepla

Jouleovo teplo – vzniká průchodem proudu vodičem a je dáno vztahem $Q = R \cdot I^2 \cdot t$.

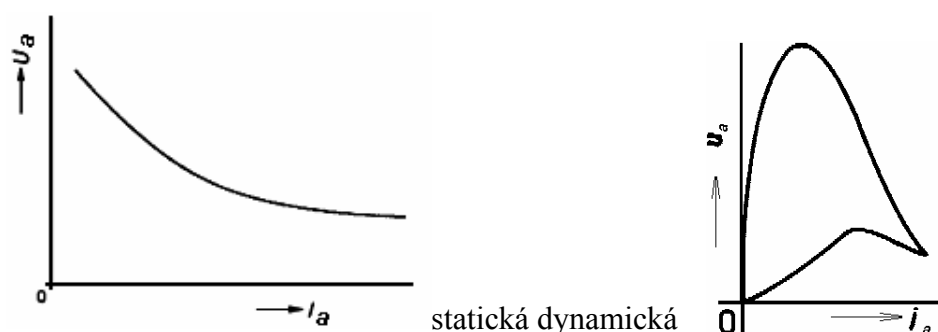
Při průchodu proudu elektrolytem se v teplo mění jen část příkonu, neboť přiložené napětí musí překonávat polarizační napětí U_r . Proud elektrolytem je tedy dán vztahem $I = \frac{U - U_r}{R}$.

Infračervené záření – Jedná se elektromagnetické záření (nejlépe o vlnových délkách 0,7 až 1,7 μm), které vysílá každé těleso teplejší než nula Kelvin. Snadno proniká látkami a prohřívá je zhloubky. Elektrickým zdrojem infračerveného záření je například infražárovka s wolframovou spirálou, která při teplotě vlákna 2550°C vysílá záření o vlnové délce 1,05 μm (každé teplotě odpovídá jiná vlnová délka záření).

Elektrický oblouk – je to výboj v plynu hořící mezi dvěma elektrodami.

Plyn se ionizuje a stává se vodivým. Teplota oblouku je 3000 až 6000 °C. Oblouk je charakterizován statickou (stejnoseměrný) V-A

charakteristikou (záporná - s rostoucím proudem procházejícím obloukem klesá napětí mezi jeho patami) nebo dynamickou (střídavý) V-A charakteristikou

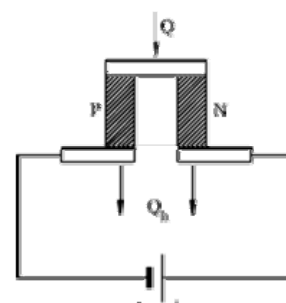


Elektrická jiskra – teplo vzniká při střídavém nebo stejnosměrném jiskrovém výboji a je dostatečné pro místní roztavení kovů.

Vířivé proudy – indukují se do vodivých předmětů nacházejících se v proměnném magnetickém poli. Proudů se indukují v rovinách kolmých na magnetický tok. Velikost vzniklého tepla závisí na rezistivitě ohřívané látky a na magnetické indukci působícího magnetického pole. Hustota proudu indukovaného do látky není stejná v celém jejím průřezu neboť se uplatňuje tzv. povrchový jev neboli skeenefekt.

Hysterezní ztráty – vznikají ve feromagnetických materiálech při střídavé magnetizaci. Jsou úměrné frekvenci a magnetické indukci působícího magnetického pole.

Peltierův jev – Při průchodu stejnosměrného proudu spojem dvou kovů s různou výstupní prací se tento spoj zahřívá nebo ochlazuje podle směru proudu. Pokud elektrony přecházejí z materiálu s větší výstupní prací, do materiálu s menší výstupní prací, je elektronům kladen menší odpor a mají přebytek energie, kterou odevzdávají v podobě tepla. Změníme-li smysl proudu, budou elektrony ke svému přestupu potřebovat více energie a tu si vezmou v podobě energie tepelné, což znamená, že se spoj ochladí. Tento jev se v dnešní době používá zejména pro chlazení. Používají se například $\text{PbSe} \rightarrow \text{Cu}$; $\text{PbTe} \rightarrow \text{Cu}$; $\text{BiTe}_3 \rightarrow \text{Cu}$. Tohoto jevu se využívá v tzv. Peltierově článku, který se skládá ze dvou polovodičových tělísek a spojovacích můstků, které zprostředkovávají jednak přívod elektrické energie a jednak absorbují (Q) a vyzařují teplo (Q_h).



Dielektrické teplo – vzniká vlivem vodivosti a polarizace izolantu vloženého do elektrického

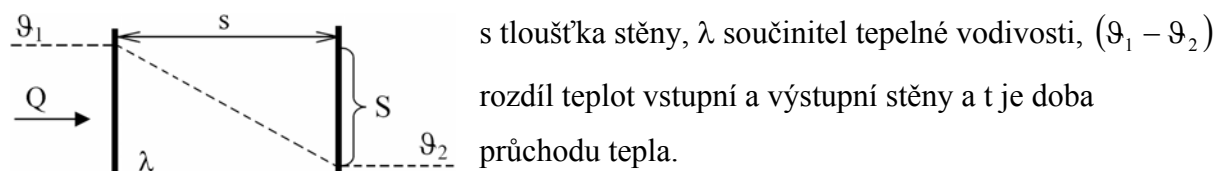
pole. Ohřev probíhá v celém objemu izolantu. Velikost vyvinutého tepla závisí na frekvenci elektrického pole, na přiloženém napětí, na tloušťce izolantu a na ztrátovém čísle dielektrika ($\epsilon_r \cdot \operatorname{tg} \delta$ – není konstantní závisí na frekvenci elektrického pole a na teplotě a vlhkosti materiálu).

2.3. Šíření tepla

Teplo se šíří vždy z teplejšího prostředí do prostředí chladnějšího. Teplo se může šířit vedením, prouděním nebo sáláním. Ve většině případů se ale teplo šíří všemi způsoby současně, přičemž jeden z nich převládá.

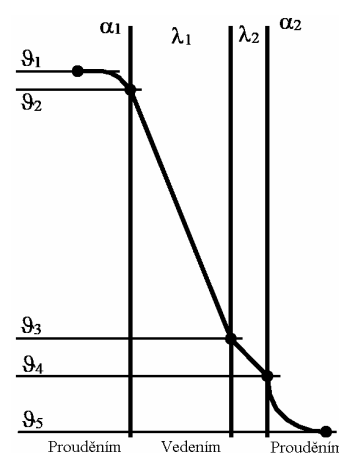
Vedením (kondukcí) – jedná se šíření tepla v pevných látkách. Teplo, které projde rovinnou

stěnou je dáno tzv. Furierovým vztahem: $Q = \frac{S}{s} \lambda (\vartheta_1 - \vartheta_2) t$, kde S je,



Prouděním (konvencí) – nastává tehdy šíří-li se teplo z pevné látky do kapaliny nebo plynu.

Pohyb kapaliny nebo plynu může být buď přirozený (závisí na rozdílu teplot) nebo umělý (vyvolaný čerpadlem nebo ventilátorem). Teplo přestupující z pevné látky do kapaliny či plynu je dáno vztahem: $Q = S \cdot t \cdot \alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_{k(p)})$, kde S je plocha stěny, t doba průchodu tepla, α součinitel přestupu tepla a $(\vartheta - \vartheta_{k(p)})$



je rozdíl teploty stěny a teploty kapaliny (plynu).

Sáláním (radiací) – je přenos tepla prostředím pomocí tepelného záření tedy

elektromagnetického vlnění o vlnových délkách 0,75 až 10 μm . Velikost tepla pohlceného tělesem na něhož dopadá tepelné záření závisí na materiálu, povrchu a tvaru tělesa. Konkrétně se jedná o množství tepelné energie, kterou těleso pohltí, odrazí a kterou propustí dál bez ohřevu. Tyto vlastnosti látek jsou dány tzv. poměrnou pohltivostí, odrazivostí a propustností.

2.4. Elektrotepelná technika v domácnostech

V domácnostech se používají tepelné spotřebiče na vaření, na vytápění místností, na ohřev teplé užitkové vody a mnoho dalších činností.

2.4.1. Tepelné spotřebiče na vaření

Mezi tyto spotřebiče řadíme elektrické sporáky, elektrické trouby, horkovzdušné trouby, plotýnkové vařiče, mikrovlnné trouby, rychlovarné konvice, ponorné vařiče a další.

Elektrické sporáky – mívají 1 až 4 varné plotýnky (nejčastěji o průměru 14,5 a 18 cm) ve

kterých jsou zabudovány

2 až 3 topné rezistory a

jejich sériovým nebo

paralelním spojením se

dosáhne až šesti poloh

topného výkonu. Některé

sporáky mají místo

plotýnek topné rezistory

zabudovány do

sklokeramické desky,

jejíž výhodou je velká

akumulace tepla. Musí

však být vybaveny

termostatem na hlídání

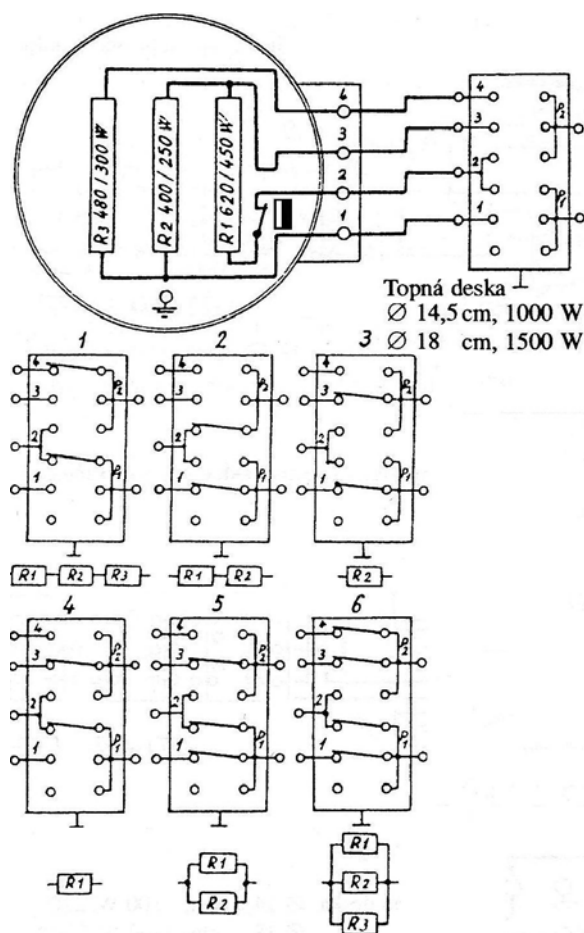
dovolené teploty desky.

Další součástí

elektrického sporáku je

elektrická pečicí trouba,

nebo horkovzdušná trouba (popř. jejich kombinace).



Elektrické trouby – bývají vybaveny horními a dolními topnými tělesy, popřípadě grilem (maximální výkon horních topných těles zapojených paralelně). Řízení teploty se provádí termostatem umístěným uprostřed trouby v jedné ze stěn. Signalizaci stavu hřeje – nehřeje zajišťuje žárovka nebo doutnavka.

Horkovzdušné trouby – bývají vybaveny jen jedním topným tělesem a ventilátorem, který ohřátý vzduch rozvádí v prostoru pečení.

Plotýnkové vaříče – nejčastěji jsou vybaveny jedním nebo dvěma varnými místy, které jsou tvořeny buď plotýnkami obdobnými jako u elektrických sporáků nebo spirálami tvořenými jedním topným tělesem.

Mikrovlnné trouby – k přípravě pokrmů využívají působení vysokofrekvenční energie o frekvenci 2450 MHz. Do chodu se uvádí přes časový spínač po předchozím nastavení velikosti vysílané energie. Každá mikrovlnná trouba musí být vybavena bezpečnostním dveřím kontaktem, který zajistí vypnutí vysílané energie při otevření dvířek. Do mikrovlnné trouby se nesmí vkládat kovové předměty ani keramické předměty s kovovými ozdobami, neboť by tvořily zkrat.

Rychlovarná konvice – využívá k ohřevu vody topnou spirálu nebo topný článek uzavřený nerezovým dnem. Jsou vybaveny termostatem, který ukončí vaření po překročení bodu varu vody. Rychlovarná konvice se nesmí nikdy zapnout bez vody, která odebírá topným článkům teplo.

Ponorný vaříč – jedná se o topnou spirálu která může být zapnutá až po ponoření do ohříváné vody.

2.4.2. Tepelné spotřebiče pro výhřev místností

Nejčastěji se používají jako doplňkový ohřev místností k dálkovému vytápění. Mezi zařízení pro výhřev místností patří například akumulční kamna, přímotopné konvertory, hybridní kamna, infrazářiče, infrazářovky, podlahové topení a další.

Akumulční kamna – (mohou se použít i jako hlavní zdroj vytápění místností) jsou osazena topnými články, které vyhřívají v povolené sazbě tepelně akumulční tělíska (keramika, šamot) a ty potom vyhřívají místnost. Časový spínač zajišťující nahřívání akumulčních tělísek jen v povolené sazbě nebývá součástí kamen, ale připojovacího zařízení. Dynamický výdej tepla je zajišťován ventilátorem řízeným prostorovým termostatem. Některé typy akumulčních kamen jsou vybaveny kamnovým termostatem, který hlídá míru akumulace tepla a tepelnou pojistkou, která kamna chrání proti přehřátí topných článků do havarijního stavu.

Přímotopné konvertory – jedná se o topné články různých tvarů, které předávají teplo sáláním do prostoru buď přirozenou nebo nucenou (ventilátorem) konvencí.

Hybridní kamna – jedná se o akumulční kamna doplněná o většinou jedno přímotopné těleso zapojené samostatně přes tepelnou pojistku.

Infrazářiče – jedná se o různé tyče, spirály či vlákna, které se průchodem elektrického proudu rozžhají na teplotu okolo 2000 °C, při které vysílá topný člen tepelné a světelné záření (převážně červené barvy).

Infražárovky – jedná se o baňky ve kterých je wolframové vlákno, které se průchodem proudu rozžhají na teplotu okolo 2600 °C a vydává tepelné záření o vlnové délce 1 μm. Toto záření výborně proniká pokožkou a vyvolává hlubkový teplý pocit, napomáhá krevnímu oběhu, urychluje hojení a zvětšuje obsah ochranných látek v těle. Baňka infražárovky je vybavena červeným filtrem, který pohlcuje asi 75 % zároveň vysílaného bílého světla.

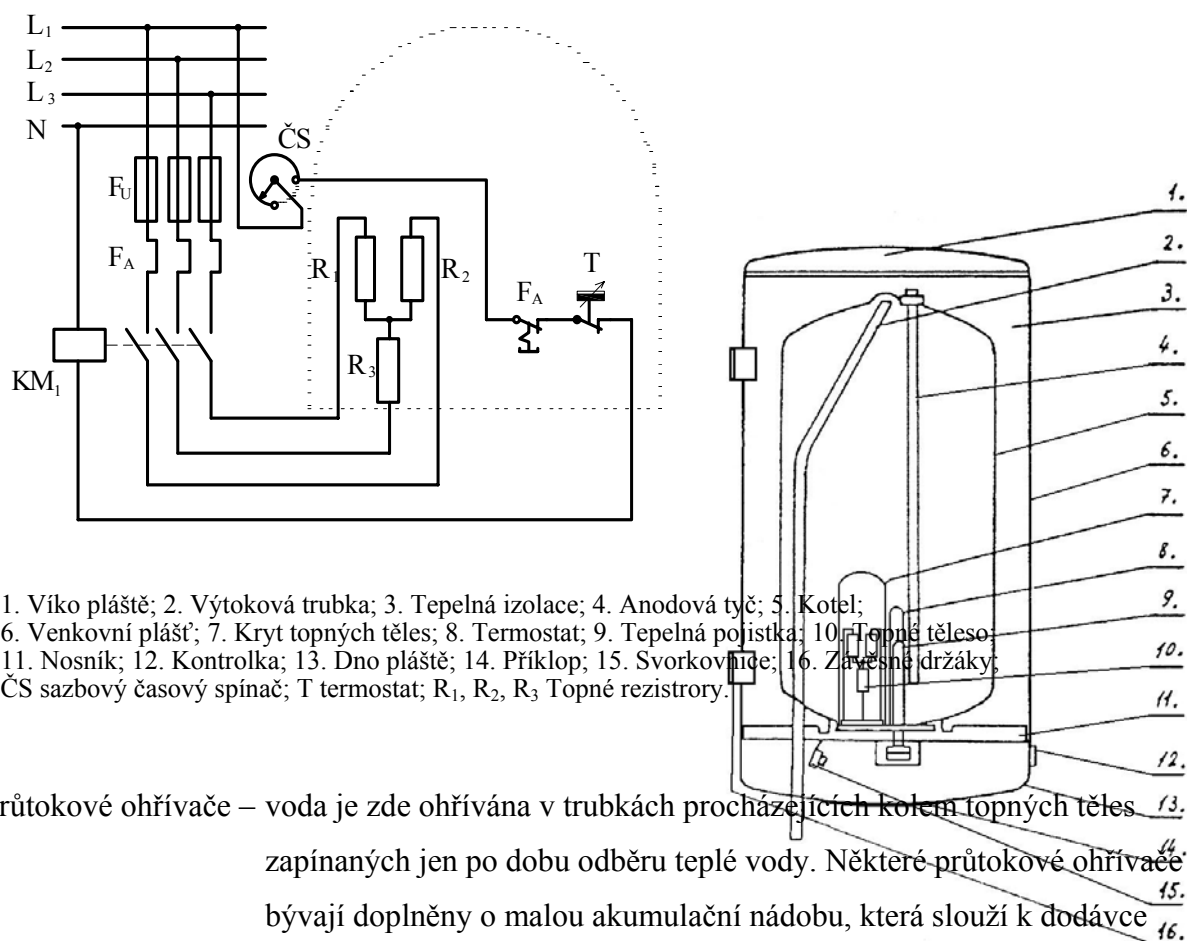
Podlahové vytápění – je vyrobeno z odporových drátů, rohoží nebo fólií uložených pod vrstvou betonu s obsahem šamotu. Velmi často se ukládá topný vodič ze dvou paralelně vedených větví dimenzovaných na plný výkon pro případ přerušení jednoho vodiče. Pro lepší účinnost podlahového topení je vhodné pod topné vodiče umístit tepelnou izolaci směrem dolů. Množství dodávaného tepla je řízeno prostorovým termostatem.

2.4.3. Tepelné spotřebiče na ohřev teplé užitkové vody

Do této skupiny tepelných spotřebičů patří různé druhy akumulčních a průtočných ohříváčů.

Akumulční ohříváče – voda napuštěná do zásobníku je zde ohřívána topnými články ovládanými termostatem a její teplota je udržována v tepelně izolované nádobě. Ohříváče bývají doplněny o časový spínač (nad 50 l), který zajistí, že k ohřevu může dojít jen v povolené sazbě a tepelnou pojistku, která odpojí ohříváč od napájení při havárii (například v případě selhání termistoru – odpojí se L i N vodič). Akumulční ohříváče se dělí podle mnoha hledisek: podle tlaku na nízkotlaké (přepadové nebo výpustné) a tlakové, podle umístění na nástěnné, stojaté a ležaté a podle velikosti na malé (5 až 20 l), střední (50, 80 l) a velké (125, 250, 1000 l). Příkon ohříváčů bývá asi 1kW na 100 l objemu, jen u malých ohříváčů pro rychlejší ohřev je příkon asi dvojnásobný. Akumulční ohříváče mají při provozu vždy zaplněný zásobník a při odběru teplé vody je tato vytlačována

studenou vodou do horní části a odtud výtokovou trubku ven.



Průtokové ohřívače – voda je zde ohřívána v trubkách procházejících kolem topných těles zapínaných jen po dobu odběru teplé vody. Některé průtokové ohřívače bývají doplněny o malou akumulaci nádobu, která slouží k dodávce teplé vody ihned po požadavku na teplou vodu. Výhodou oproti akumulacím ohřívačům jsou především menší rozměry, nevýhodou je pak především větší příkon odebíraný i v době vyšší sazby.

2.4.4. Ostatní tepelné spotřebiče pro domácnosti

Do této skupiny patří velká spousta různých spotřebičů, které slouží buď přímo k ohřevu (vysoušeč vlasů, žehlička) nebo mají ohřev jen jako doplněk své činnosti (pračka). Několik příkladů:

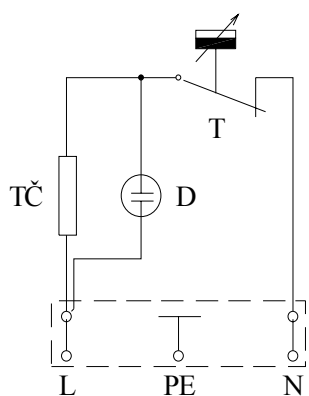
Vysoušeč vlasů (fén) – jedná se o spotřebič, který je vybaven jedním nebo dvěma topnými dráty stočenými do spirály, která ohřívá vzduch foukaný pomocí ventilátoru. Některé vysoušeče bývají vybaveny vypínačem topných drátů a ventilátor pak fouká jen vzduch o okolní teplotě. Obdobou je tzv. kulmovém, která má jako zakončení kruhový kartáč s otvory, kterými proudí horký vzduch.

Kulma – jedná se o kovové kleště jejichž jedna část je vyhřívána topným odporem a druhá vedením tepla. Musí se dát pozor na přehřátí – nemívají tepelnou pojistku.

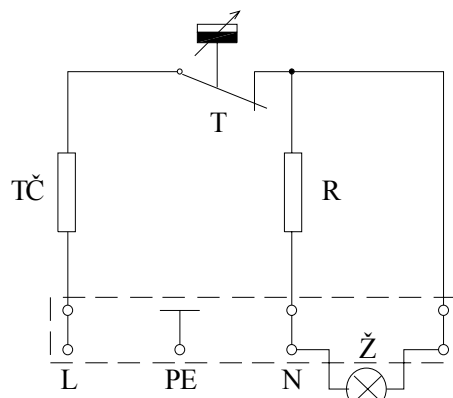
Sušiče prádla – jedná se o vlnovitě stočené topné tyče nebo trubky, sloužící k sušení prádla.

V případě použití trubek jsou tyto napojené na dálkové topení a elektrický ohřev slouží k sušení prádla pouze v období mimo topnou sezónu.

Žehlička – je tepelný spotřebič ovládaný nastavitelným termostatem řídícím teplotu spodní žehlicí plochy podle druhu žehleného prádla.



Žehličky pro signalizaci stavu zapnuto-vypnuto používají buď do série k topnému tělesu zapojenou žárovku, ke které je paralelně připojený rezistor sloužící jako bočník, nebo paralelně k topnému tělesu zapojenou doutnavku.



Pračka – každá pračka je vybavena topným tělesem, které slouží pro ohřev vody na teplotu odpovídající druhu prádla a intenzitě praní. V přívodu k topnému tělesu je zapojena tepelná pojistka odpojující oba vodiče v případě přehřátí tělesa a doutnavka soužící k signalizaci stavu ohřevu.

2.5. Elektrotepelná technika v průmyslu

Elektrické teplo se používá především v těžkém průmyslu – v hutnictví a v kovozpracujících provozech, ale uplatňuje se i v jiných oblastech průmyslu, jako například chemický průmysl, průmysl plastů, sklářský a keramický průmysl, potravinářský průmysl a v mnoha jiných odvětvích.

Nejvíce elektrické energie se na výrobu tepla spotřebovává v elektrických pecích, které mají oproti pecím s fosilními palivy mnoho výhod, jako například pohotovost a rychlost ohřevu, čistotu provozu, snadnou regulaci požadované teploty, možnost použití umělého ovzduší (může být pasivní, sloužící jako ochranná atmosféra zabraňující nežádoucím chemickým vlivům, nebo aktivní, které naopak způsobuje žádoucí chemické změny – nitridování, cementování).

Dále se elektrické teplo v průmyslu používá pro svařování (obloukové nebo odporové),

k různým technologickým úpravám kovů – indukční nebo odporový ohřev (kalení, popouštění, žíhání k odstranění pnutí, nahřívání náolků, předehřev výkovků atd.), odporový ohřev k tavení skla a keramických hmot a v potravinářském průmyslu, dielektrický ohřev se používá pro práci s plasty (tavení, lisování, svařování, vytvrzování atd.) a pro mnoho dalších využití.

2.5.1. Elektrické pece v průmyslu

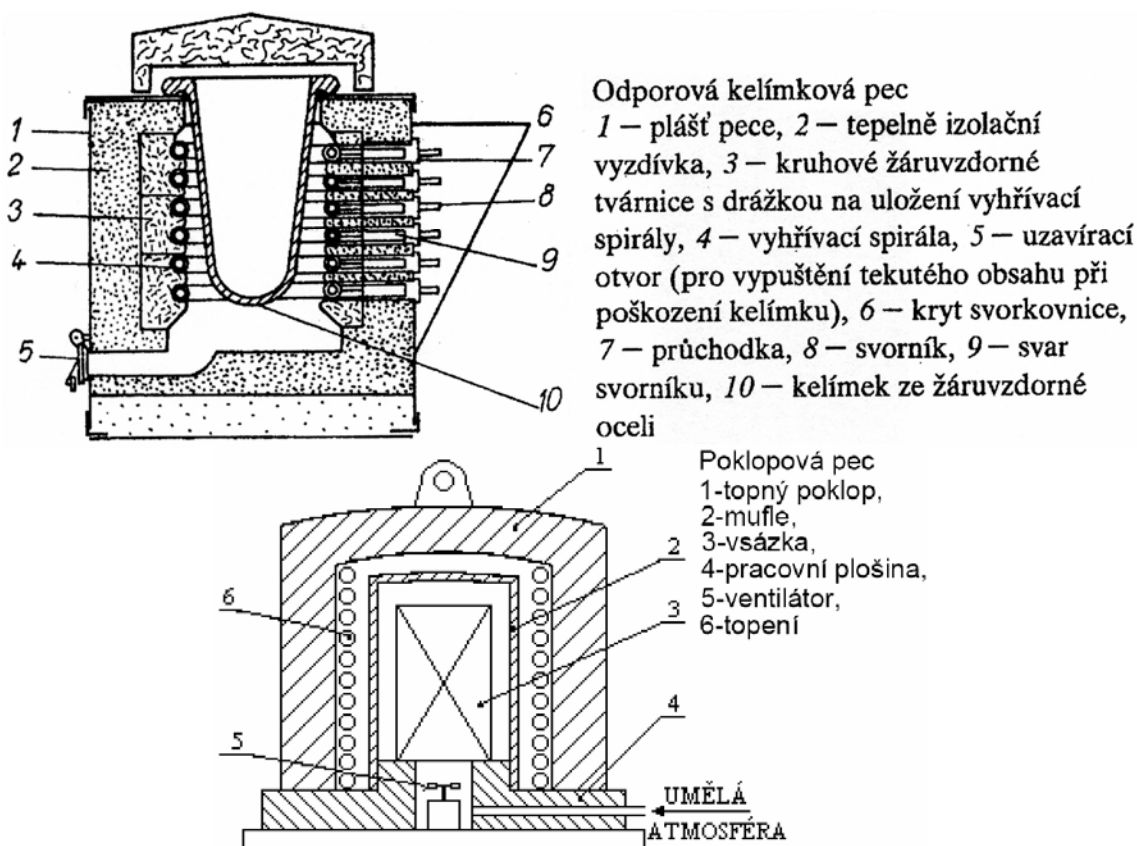
Odporové pece – k vytvoření tepla využívají topné odporové články. Dělí se podle teplot do tří skupin:

Pece pro nízké teploty (do 250 °C) – používají se například pro sušení vinutí před i po impregnaci, k sušení nátěrů a potravin, k pečení atd.

Pece pro střední teploty (do 1050 °C) – používají se pro technologické úpravy kovů (popouštění, žíhání, kalení).

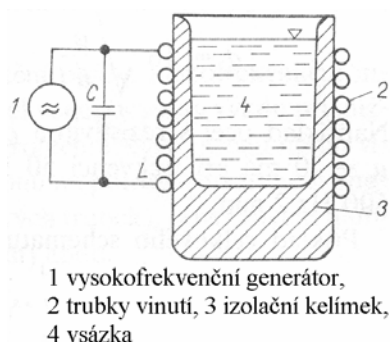
Pece pro vysoké teploty (do 1350 °C) – používají se pro tavení kovů s nižšími teplotami tání, ke kalení speciálních ocelí, ve sklářském a keramickém průmyslu.

Podle uspořádání se dělí pece na šachtové, kelímkové, pokloповé, rotační, zvonové, komorové a další.



Indukční pece – jsou dvojího druhu. Buď využívají Jouleovo teplo vzniklé v závitu nakrátko transformátoru nebo teplo vzniklé vířivými proudy indukovanými ve vsázce. První mají magnetický obvod a jsou nízkofrekvenční, druhé nemají železné jádro a pracují se zvýšenou frekvencí (500 až 3000 Hz).

Nízkofrekvenční (50 Hz) se používají k tavení neželezných kovů, na výrobu jemnozrnné šedé litiny, na výrobu oceli na odlitky a podobně. K síti se připojují přes regulační transformátor.

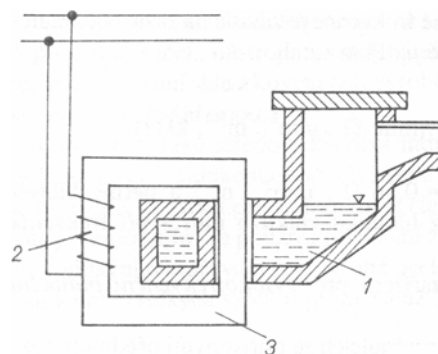


1 vysokofrekvenční generátor,
2 trubky vinutí, 3 izolační kelímek,
4 vsázka

Pec s vyšší frekvencí je to

kelímek z izolačního
vysoce tepelně odolného

materiálu vloženého do cívky z měděných trubek protékaných
chladicí vodou. Pro napájení se používají různé druhy měničů
kmitočtu nebo vysokofrekvenční generátory.

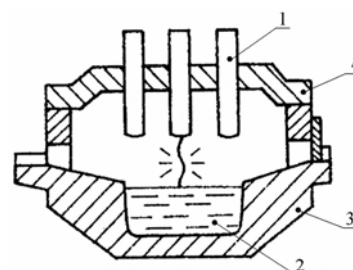


1. vsázka tvořící závit nakrátko, 2 primární
vinutí, magnetický obvod

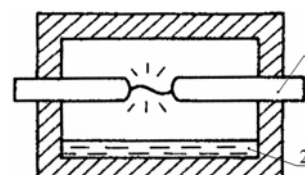
Obloukové pece – jsou napájeny pecovými transformátory, které musí snášet časté a velké proudové rázy. Výkon se reguluje změnou napětí sekundárního vinutí, toho se dosahuje přepínáním počtu závitů (dva až čtyři stupně), navíc má primární vinutí možnost přepínání z trojúhelníku do hvězdy (celkem má tedy transformátor čtyři až osm regulačních stupňů). Transformátory jsou olejové často s ofukováním chladícím vzduchem. Před pecový transformátor se zařazuje tlumivka (reaktor), která slouží ke stabilizaci oblouku a k omezení zkratů. Obloukové pece se vyrábějí jako jednofázové dvoufázové nebo trojfázové.

Podle působícího oblouku rozdělujeme pece na:

Pec s přímo působícím obloukem – oblouk hoří mezi elektrodami 1 a vsázkou 2 (jsou dvojího druhu s vodivou nebo izolační nístějí 3, 4 je víko). Používají se pro tavení oceli a litiny.



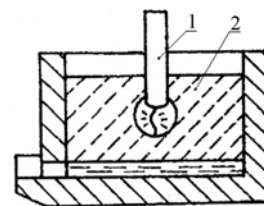
Pec s nepřímo působícím obloukem – oblouk hoří mezi dvojicemi elektrod 1 a do vsázky 2 se teplo předává sáláním. Používají se především



pro tavení barevných (neželezných) kovů.

Pece se zakrytým obloukem – oblouk hoří pod vrstvou vsázky ve vzduchových prostorech, ale větší část tepla vzniká průchodem proudu mezi

elektrodou a vsázkou (Jouleovo teplo). Používají se pro výrobu surového železa z rud.



2.5.2. Elektrické svařování

Elektricky můžeme svařovat buď obloukem (za využití tepla oblouku), nebo odporově (pomocí Jouleova tepla).

Obloukové svařování

Je tavné svařování. Dělí se na dva hlavní způsoby:

- svařování netavící (uhlíkovou) elektrodou
- svařování tavící elektrodou

Obloukovým svařováním můžeme zhotovit všechny druhy svarů a spojů.

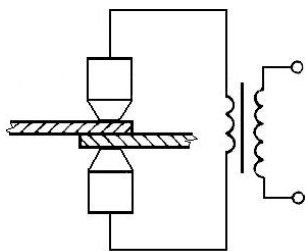
Ve většině případů se používá svařování tavící elektrodou, kde oblouk vzniká mezi svařovaným materiálem a kovovou elektrodou, která současně dodává přídavný kov. Oblouk se zapaluje dotykem elektrody připojené k jednomu pólu zdroje se svařovaným materiálem spojeným s druhým pólem zdroje. Průchodem proudu se kov v místě dotyku rozžhaví a po rychlém oddálení elektrody vznikne oblouk. Aby se oblouk vytvořil musí se napětí zdroje rovnat tzv. zápalnému napětí (20 – 100 V při proudu 40 – 400 A). Teplota oblouku dosahuje až 5 000 °C.

Svařovací proud musí být co nejméně závislý na délce oblouku, proto se jako zdroje napájecího napětí používá speciálních svařovacích transformátorů (s oddalovacím nebo natáčivým jádrem) nebo svařovacích dynam (sérivé dynamo nebo dynamo se smíšeným buzením).

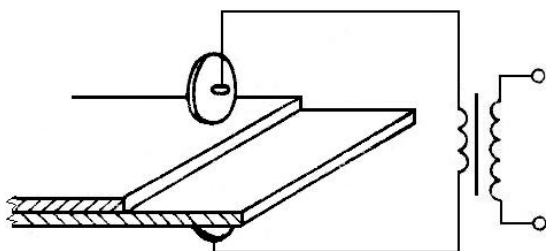
Odporové svařování

Využívá Jouleovo teplo vzniklé průchodem proudu přes svařovaný materiál mezi elektrodami. Rozlišujeme čtyři základní způsoby odporového svařování:

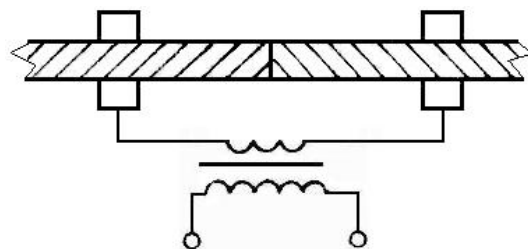
- Bodové svařování



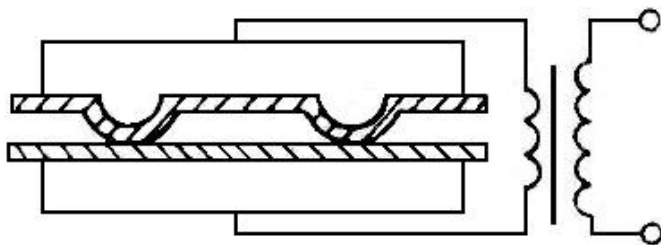
- Švové svařování



- Svařování na tupo



- Bradavkové svařování



Svařovací proud bývá 1 – 100 A, proto napájecí transformátor má obvykle jenom jeden výstupní závit odlitý z mědi nebo bronzu a velikost svařovacího proudu se řídí přepínáním odboček na vstupní straně transformátoru.

Výhodou odporového svařování je např. menší spotřeba elektrické energie, snadná příprava svařování, nejsou nutné svařovací elektrody, lze takto svařovat téměř všechny kovy a další.

2.5.3. Indukční ohřev

Při indukčním ohřevu se využívá teplo vzniklé indukovanými vířivými proudy a hysterezními ztrátami. Používají se zařízení napájené zdroji s různými frekvencemi: frekvence sítě (50 Hz), nízké frekvence (do 500 Hz), střední frekvence (do 10 kHz) a vysoké frekvence (nad 10 kHz).

Jako zdroje síťové a malé frekvence se používají alternátory, střední a vysoké frekvence jsou vytvářeny elektronickými generátory. Velikost frekvence má spolu s rezistivitou ohřívaného materiálu vliv na hloubku ohřevu (čím vyšší frekvence tím menší hloubka ohřevu).

Indukčního ohřevu síťovou, nízkou a střední frekvencí se využívá pro žíhání svarů na potrubí k odstranění pnutí, k indukčnímu svařování při výrobě ocelových trubek, k hlubšímu povrchovému kalení válců velkých průměrů, k zahřívání nákoků a koster menších elektrických strojů a podobně. Vysokofrekvenčního indukčního ohřevu se využívá pro povrchové kalení (čepů, ozubených kol, nástrojů apod.), na žíhání po tváření za studena, na ohřev před lisováním hlav šroubů, na zátavy skla s kovem při výrobě elektronek, k zonální rafinaci při výrobě monokrystalu, k vypalování smaltů a laků na vodičích (teplo vychází zevnitř) a další.

2.5.4. Dielektrický ohřev

Slouží k ohřevu materiálů špatně vodících teplo i elektrický proud (izolanty). Teplo vzniká v celém objemu materiálu vlivem vysokofrekvenční polarizace. Pro napájení se používají elektronické generátory generující frekvence 10 až 40 MHz. Dielektrického ohřevu se používá pro předehřívání lisovacích hmot, k vytvrzování termosetových pojiv, k svařování termoplastů, k dielektrickému sušení a podobně.

2.6. Elektrické chlazení a klimatizace

Účelem chladicího zařízení je trvale udržovat teplotu určitého prostředí nebo předmětu na hodnotě nižší, než je teplota okolí. Nejčastěji se využívá odpařování vhodného chladiva, které odebírá teplo z chlazeného prostoru, případně lze k chlazení využít Peltierova jevu. Chlazení s odpařováním probíhá vždy v uzavřeném cyklu. Využíváme dva principy odpařovacího chlazení: kompresorový a absorpční. Při kompresorovém chlazení se plynné chladivo zkapalňuje kompresorem a za redukčním ventilem se zase odpařuje. Při absorpčním chlazení se páry pohlcují vhodnou absorpční látkou, z ní se ohřevem vytěsňují, ochlazením kondenzují a znovu se vypařují. Chlazení na bázi Peltierova jevu využívá odebrání tepelné energie z okolí nutné pro průchod proudu přes spoj dvou kovů s různou výstupní prací.

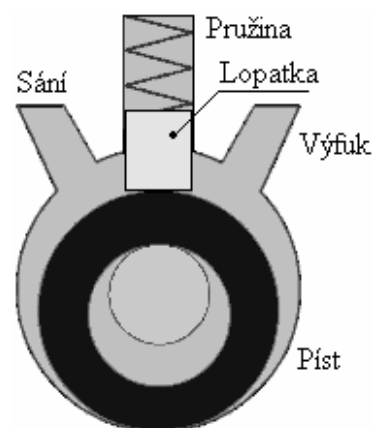
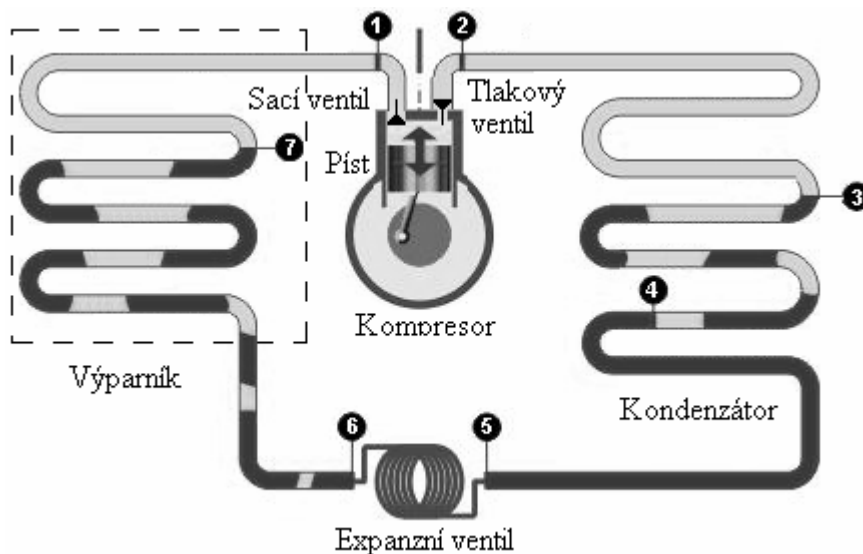
2.6.1. Kompresorové chlazení

Jedná se o nejpoužívanější systém chlazení. Výparník je uložen v chladicím prostoru chladničky, vypařuje se

v něm tekutina a odebírá teplo z výparníku (mezi body 6 a 7). V bodě 7 je tekutina již 100% parou, přesto se v oblasti 7 – 1 přehřívá, aby se chránil kompresor proti kapičkám kapaliny, které by mohly kompresor poškodit či naprosto zničit (přehřátí

má být mezi 5 až 8°C - podle zařízení). Páry jsou nasávány kompresorem při pohybu pístu směrem dolů přes otevřený sací ventil. Při pohybu pístu směrem nahoru se sací ventil uzavře, pára se stlačí ve válci a tím se ohřeje. Při určitém tlaku se otevře tlakový ventil a pára odchází do kondenzátoru (oblast 2 – 3). V bodě 3 se objevují první kapky chladiva a pára postupně kondenzuje v trubkách kondenzátoru (umístěného vně chladničky) přičemž odevzdává teplo okolnímu vzduchu. Od bodu 4 je přítomna jen kapalina, která se dále ochlazuje (4 – 5) a dochlazená přichází k expanznímu ventilu. Přes expanzní ventil se zkapalněné chladivo vypařuje zpět do výparníku. Mezi body 5 a 6 tedy dochází k prudkému poklesu tlaku a následnému poklesu teploty s částečným vypařením kapaliny a celý proces se opakuje. Nevýhodou kompresorového chlazení je vyšší hlučnost provozu.

Hlučnost se dá výrazně snížit použitím tzv. rotačního kompresoru. Komprese je zde dosaženo dutým válcovým pístem, který je excentrický vůči ose, na níž je osazena lopatka, která je pružinou tlačena na píst a tím zajišťuje těsné oddělení obou komor: sací a výfukové.



Pro snížení rizika vniku tekutého chladiva do kompresoru a i hlučnosti se dnes začínají více využívat systémy scroll nebo invertor. Systém scroll je tvořen dvěma spirálami, jedna je fixní,

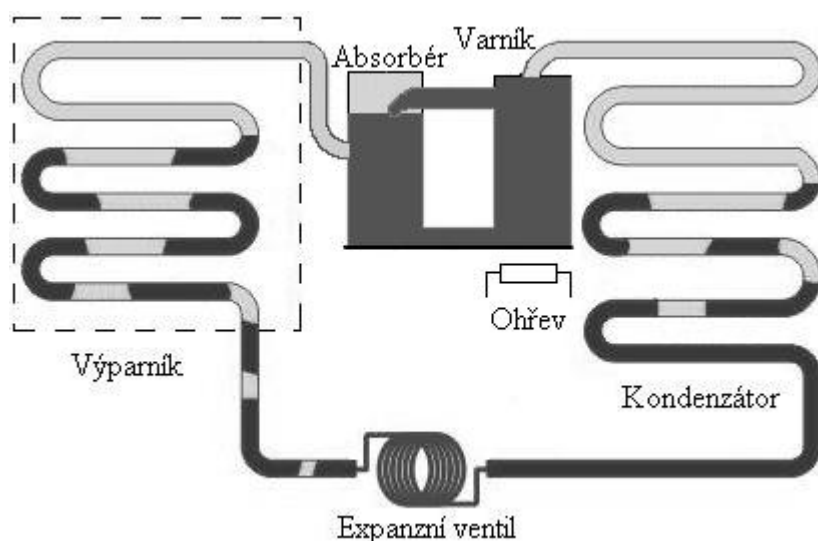
druhá kolem ní obíhá, a tím dochází ke kompresi. Sací komora je kolem těchto spirál, výtlačná komora je ve středu, odkud plyn vychází kanálem. Systém invertor je obdobou systému scroll doplněnou o schopnost přizpůsobit svou rychlost potřebě, změnou frekvence elektrického proudu (ostatní systémy pracují v režimu zapnuto – vypnuto).



Jako chladicí médium se používala a používá spousta směsí, které většinou nejsou příjemné pro životní prostředí. Jedná se o látky na bázi fluorovaných uhlovodíků, které ochuzují ozónovou vrstvu (CFC – 2001 zakázáno vyrábět, HCFC – 2010 bude zakázáno) nebo přispívající ke zhoršování skleníkového jevu (HFC – nejsou omezeny, ale hlídají se případné úniky). V dnešní době se používají k chlazení kapaliny typu HFC jako například látka R134A (je určená k aplikacím v chladicí technice pro domácnosti, obchod, průmysl, zemědělství, pro vzduchotechniku, prochlazení kapalin, pro tepelná čerpadla nebo pro klimatizace automobilů), nebo látka R404A (je hlavním produktem mrazicí techniky pro oblast chladicí techniky v obchodu, průmyslu a pro chlazení v přepravních vozidlech), popřípadě látka R507 (je zejména používána v mrazicí technice a v zařízeních se skrytými výparníky, jako jsou např. kluziště).

Pro zvýšení chladicího výkonu se používá například ofukování kondenzátoru vzduchem nebo jeho ponoření do oleje či vody (s přirozenou nebo umělou cirkulací).

2.6.2. Absorbční chlazení



Princip je obdobný jako u kompresorové chladničky, tekuté chladivo se z kondenzátoru přes expanzní ventil vypařuje do výparníku a ochlazuje prostor chladničky. Vypařené chladivo je v absorbéru pohlceno vodou a dostává se do varníku. Ve varníku je voda spolu s chladivem ohřívána a chladivo se pod tlakem vypařuje do kondenzátoru, kde odevzdává teplo okolí a kondenzuje na kapalinu. Existují dva systémy a to periodický a nepřetržitý. Výhodou oproti kondenzátorové chladničce jsou tišší chod a nižší pořizovací náklady, ale velkou nevýhodou je větší provozní spotřeba a proto se dnes téměř nevyužívá.

2.6.3. Peltierovo chlazení

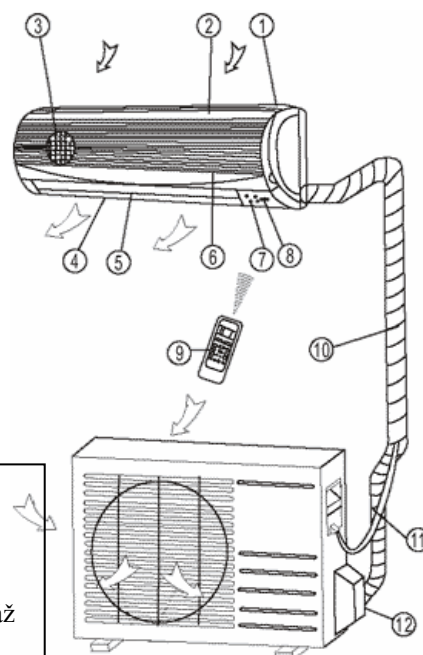
Využívá se především pro chlazení elektroniky, výpočetní techniky, v malých přenosných chladničkách nebo aquamatech (výdejní automaty chladné vody). Princip tohoto chlazení je založen na Peltierově jevu, kdy při průchodu proudu z kovu s menší výstupní prací do kovu s větší výstupní prací potřebují elektrony dodat energii. energii ve formě tepla odebírají z okolí a tím spoj kovů ochlazují.

2.7. Klimatizace

Pod pojmem klimatizace si můžeme představit zařízení, které udržuje v místnosti, budově či automobilu stálou teplotu (na hodnotě nižší nebo vyšší než je teplota okolí). Jedná se o zařízení na bázi kompresorového chlazení a elektrického nebo teplovodního ohřevu. Podle výkonu a použití rozdělujeme klimatizace do několika skupin jako například tzv. split systém, střešní systém, systém s proměnným objemem apod.

Split systém se relativně snadno instaluje, je estetický, má správné akustické vlastnosti a komfort, který zajišťuje je dobrým důvodem pro klimatizaci pokoje, jídelny či kanceláře při rozumných nákladech. Skládá se ze dvou rozdílných částí: vnější a vnitřní. Vnější část (jednotka) obsahuje kompresor (rozdává chladivo do celého systému), kondenzátor (převádí plyn na kapalinu), expanzní jednotka (kapalina se převádí na plyn), a to vše je doplněno

1: Nasávání vzduchu v horní části	2: Kryt vnitřní jednotky
3: Filtř	4: Výfuk
5: Nastavitelná výfuková klapka	6: Nasávání vzduchu
7: Kontrolky provozu	8: Infračervené čidlo
9: Infračervené dálkové ovládání	10: Propojovací potrubí a kabeláž
11: Tepelná izolace	12: Připojení venkovní jednotky



regulačními a bezpečnostními prvky. Vnitřní část obsahuje výparník (rozdává upravovaný vzduch do místnosti pomocí ventilátoru) a dále ovládací orgány (často elektronické).

Propojení obou částí systému je provedeno izolovanými chladicími trubkami a elektrickými kabely. Split systém umožňuje výhodně klimatizovat jednu místnost, pro klimatizaci více místností z jedné venkovní jednotky existuje tzv. multisplit systém.

Bloková střešní jednotka je vzduchotechnickým zařízením osazeným na střeše klimatizovaného prostoru, která je určena výhradně pro úpravu vzduchu velkoprostorových objektů (supermarkety, sklady, prostory bez příček apod.). Představuje tu výhodu, že všechna zařízení nezbytná pro funkci jsou obsažena pod jedním krytem a ke svému provozu potřebuje pouze napojení na elektrickou energii a na vzduchové potrubí (případně vodní potrubí). Další výhodou je velmi rychlá a snadná montáž.

Systém s proměnným objemem (VRV systém), jedná se o systém používaný spíše pro hotely, vícepodlažní kancelářské budovy, konferenční místnosti, velké obytné vily apod., obecně pro prostory, které potřebují různé typy koncových prvků. Koncová zařízení mohou být různých provedení (na konzoli, stropní, v potrubí, nástěnná, kazetová atd.) a různých výkonů, přičemž všechna jsou napojena na jednu venkovní jednotku. Princip funkce je založen na technologii Invertor, což umožní venkovní kompresorové jednotce přizpůsobit svou frekvenci (tedy rychlost otáček, tím objem stlačeného chladiva za jednotku času a tedy výkon) požadovanému příkonu vnitřních koncových zařízení. Toto řešení je provozně velmi pružné a šetří energii. Existují dvě řešení VRV systémů: tzv. VRV dvoutrubka (všechny vnitřní jednotky napojené na jeden venkovní zdroj jsou ve shodném režimu topení/chlazení) a tzv. VRV třítubka

(vnitřní jednotky jsou zcela nezávislé, včetně volby provozního režimu, mohou tedy být buď v režimu chlazení nebo topení). Výhodou těchto systémů je vysoký koeficient výkonu, provoz i za záporných venkovních teplot (do $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$), možnost dlouhých rozvodů (až 150 m s výškovým rozdílem až 50 m), široká škála vnitřních jednotek různých výkonů, snadná regulace (i přes internet či gsm) a podobně.

2.8. Tepelná čerpadla

V zemi, vodě i ve vzduchu je obsaženo nesmírné množství tepla, avšak jeho nízká teplotní hladina neumožňuje jeho přímé využití pro účely vytápění. Tepelná čerpadla, která se řadí mezi alternativní zdroje energie, umožňují odnímat toto teplo z okolního prostředí, převádět ho na vyšší teplotní hladinu a následně účelně využít pro vytápění nebo ohřev teplé užitkové vody. Principiálně je tepelné čerpadlo vlastně obrácená chladnička. Ochladzuje vzduch, půdu v okolí domu či vodu v potoce a dodává teplo do systému ústředního vytápění nebo systému teplé užitkové vody. Ke svému provozu tepelné čerpadlo potřebuje elektřinu pro pohon kompresoru avšak největší jeho kouzlo spočívá v několikanásobně vyšší dodávce tepla, než je jeho spotřeba elektřiny. Poměr mezi elektrickým příkonem a tepelným výkonem se nazývá topný faktor a pohybuje se od 2 do 4 (čím vyšší tím lepší).

Tepelná čerpadla získávají nízkopotenciální teplo různými způsoby:

Teplo z povrchu země - využívá se plošného kolektoru, který je proveden z plastových trubek uložených v hloubce 1,5 m a roztečí 1 m od sebe. Velikost plošného kolektoru pro vytápění běžně velkého domu je $400\text{--}500\text{ m}^2$. Výhodou plošného kolektoru jsou jeho nižší pořizovací náklady, než u hloubkového vrtu. Na druhé straně se na ploše kolektoru zkrátí vegetační období a vyloučí další případné dostavby (altán, bazén, garáž atd.).

Teplo z hloubky země - využívá se hloubkového vrtu, ve kterém je uložena plastová sonda. Po vložení sondy se vrt (pro normálně velký dům 70-120m) zasype. Je to nejčastěji používaný způsob odběru tepla. Výhodou je úplná nezávislost na venkovní teplotě, není potřeba téměř žádná volná plocha pozemku (jako u zemního kolektoru).

Teplo z venkovního vzduchu - je to jedna z levnějších možností odběru tepla. Zařízení může být umístěno v zahradě, na terase, na střeše, nebo i uvnitř vytápěného objektu. Nevýhodou je nižší účinnost v období,

kdy je potřeba nejvíce tepla (pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) a nutnost umístit výměník mimo dům. Venkovní výměník má též při svém provozu dosti vysokou hlučnost.

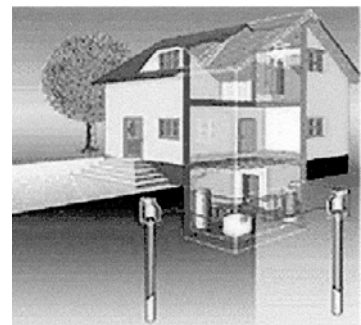
Teplo z podzemní vody - pokud je v okolí budovy studna s dostatkem spodní vody, je možné ji využít k odběru tepla. Po odebrání tepla se voda vrací do další vsakovací studny. Podmínkou tohoto způsobu je dostatečná vydatnost studny a nízká minerální bohatost vody. Teplota podzemní vody se pohybuje v rozmezí $8\text{ až }10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a je stálá po celý rok, proto se jedná o jeden z nejúčinnějších způsobů.

Teplo z povrchové vody - kolektor se uloží na dno rybníka či řeky. S ohledem na klesající teploty povrchových vod v zimním období musí ve výměníku proudit nemrzoucí směs. Tento způsob se také mnoho nevyužívá z důvodu potřeby povolení majitele rybníka či povodí řeky.

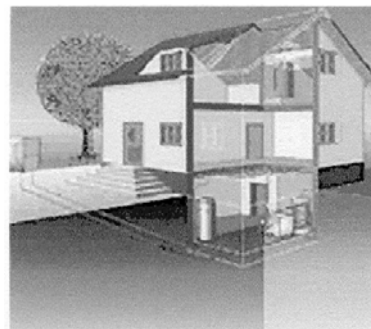
Teplo z větracího vzduchu - Pokud je v domě instalováno nucené větrání, lze energii odpadního vzduchu znovu využít. Lze využít speciální tepelné čerpadlo s malým výkonem ($1,5\text{ až }2\text{ kW}$), které odebírá teplo pouze z odpadního vzduchu, nebo výkonnější, které je kombinací s jiným způsobem odběru tepla.

Tepelná čerpadla se často označují podle primárního zdroje tepla a sekundárního média přenášejícího teplo, jedná se například o systém:

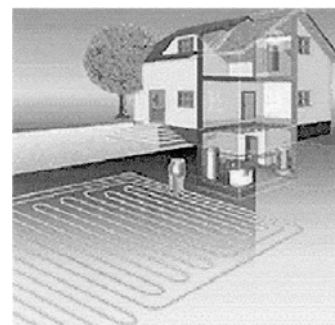
Voda-voda - jako primární zdroj používají vodu. Většinou se používají tzv. otevřené systémy. Tedy odebíráme vodu ze zdroje (většinou ze studny), necháme ji projít výměníkem tepelného čerpadla, který z ní odebere část tepla a zase ji vracíme zpět do země. Pro rodinný domek s běžnými tepelnými ztrátami potřebujeme této vody asi $0,5\text{ l/sec}$. Kdo má takovéto podmínky, dává většinou systému voda - voda přednost. Výhodou jsou nižší finanční nároky na vybudování (často studna již existuje) a hlavně se díky relativně vysoké teplotě podzemní vody dosahuje vysokých topných faktorů, tedy vysoké efektivity.



Vzduch-voda - používá se tam, kde nemáme k dispozici dostatek vody, nemáme vhodný, nebo dostatečně velký pozemek a nechceme, nebo nemůžeme vrtat do země. Nejvíce se používají tzv. split jednotky - tepelná čerpadla dělená na vnější a vnitřní jednotku. Vnější jednotkou (kompresor, ventilátor, výparník) umístěnou venku, je nasáván vzduch ze kterého je odebírána tepelná energie a opětně je tento vzduch (ochlazený) vyháněn do venkovního prostoru. Vnitřní jednotka (kondenzátor, bivalentní elektrokotlík, oběhové čerpadlo) umístěná v objektu, zabezpečuje výrobu topné vody, eventuelně i teplé užitkové vody. Moderní tepelná čerpadla pracují spolehlivě i při velmi nízkých venkovních teplotách, ale jejich efektivnost je pak nízká.



Země-voda - konstrukčně jsou tato tepelná čerpadla téměř shodná s tepelnými čerpadly voda - voda. V plastovém zemním kolektoru cirkuluje voda (nemrznoucí směs), která se ohřeje o několik stupňů Celsia a kterou výměník tepelného čerpadla pak ochladí čímž z ní odebere teplo. Odebírat nízkopotenciální energii ze země můžeme buď z horizontálního uložení, tj. z rýh, kde v hloubce cca 1,5 m jsou uloženy plastové hadice, nebo ze svislého vrtu. Ten má tu výhodu, že nepotřebuje téměř žádný pozemek, ale vrtací práce z něho činí nákladnější variantu.



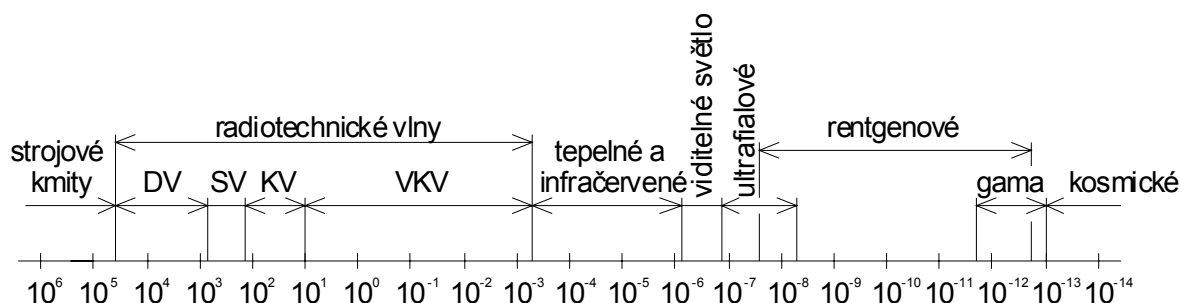
3. ELEKTRICKÉ SVĚTLO A OSVĚTLENÍ

Světlo je elektromagnetické záření, které je schopno prostřednictvím zrakového orgánu vzbudit zrakový vjem. Záření lze charakterizovat frekvencí anebo vlnovou délkou. Vlnové délky viditelného světla jsou v rozmezí $0,38 \div 0,78 \mu\text{m}$.

Proces vnímání zrakového vjemu je velice složitý, větší vliv při něm mají fyziologické a také psychofyzikální vlivy než jevy čistě optické. Zrakový orgán je definován jako soubor složený z oka, optických nervových drah, podkorových zrakových center a části mozkové kůry, jenž mění světelný podnět (záření) v komplex nervových podráždění vytvářejících zrakový vjem. Oko je smyslový orgán obsahující optický aparát a přijímající systém - sítnici, sloužící k vytvoření převráceného, souměrného a neskutečného obrazu. Sítnice je tvořena systémem fotoreceptorů (čípky, tyčinky) a dále velmi složitým systémem neuronů (nervových buněk) a nervových (reléových) spojů, které dopadající obraz registrují, provádějí jeho selekci, užitečnou část informace o obrazu zpřesní a transformují do přenosového systému nervových vláken formou nervových podráždění. Nervová vlákna z celé sítnice se sjednocují ve zrakovém nervu, který vyústí ve konečné fázi ve zrakovém mozkovém centru. Centrum nejen pasivně přijímá informace, nýbrž také systémem zpětných vazeb řídí funkci jak optického aparátu oka, tak i sítnice, aby přijímaná informace byla co nejpřesnější a zároveň aby byla oproštěna v co největší míře od rušivých vlivů působících na vstup zrakového ústrojí.

Vidění neboli zrakové vnímání je proces poznávání okolního prostředí. Jedná se o proces příjmu zrakové informace, rozlišení rozdílů (kontrastu) jasů a barev, tvarů, a na základě tohoto identifikace a analýza. To je poznávání předmětů a vztahů mezi nimi a nakonec zařazení do našeho vědomí, buď k okamžitému použití pro danou činnost, nebo k uložení do paměti. Cílem vidění je tedy poznávání.

3.1. Rozdělení elektromagnetických vln, rozdělení světelného spektra



Druh záření	Označení	Vlnová délka λ [μm]
<i>Ultrafialové</i>	UV-C	$0,1 \div 0,28$
	UV-B	$0,28 \div 0,315$
	UV-A	$0,315 \div 0,38$
<i>Viditelné</i>	fialová	$0,38 \div 0,43$
	modrá	$0,43 \div 0,49$
	zelená	$0,49 \div 0,57$
	žlutá	$0,57 \div 0,6$
	oranžová	$0,6 \div 0,63$
	červená	$0,63 \div 0,78$
<i>Infračervené</i>	IR-A	$0,78 \div 1,4$
	IR-B	$1,4 \div 3$
	IR-C	$3 \div 10$

3.2. Veličiny a jednotky světla

Veličina	Značka	Jednotka	Zn. jedn.	Vyjádření
Svítivost	I	Kandela	Cd	Prostorová hustota světelného toku. Svítivost je tedy podíl světelného toku vyzářeného zdrojem v některém směru do elementárního prostorového úhlu $d\omega$ a tohoto prostorového úhlu.
Světelný tok	Φ	Lumen	Lm	Světelný tok vyjadřuje schopnost zářivého toku vzbudit zrakový vjem.
Intenzita osvětlení (Osvětelnost)	E	Lux	Lx	Osvětlenost je plošná hustota světelného toku dopadajícího na plochu.
Jas	L	Kandela na metr čtvereční	$\frac{\text{Cd}}{\text{m}^2}$	Jas je podíl svítivosti dI zdroje vdaném směru a průmětu plošky do roviny kolmé na daný směr ($dS \cos \alpha$).
Světlení	M	Lumen na metr čtvereční	$\frac{\text{Lm}}{\text{m}^2}$	Světlení v daném bodě plochy je podíl světelného toku $d\Phi$ vyzařovaného elementem této plochy (obsahujícím daný bod) a velikosti tohoto plošného elementu dS .
Měrný výkon světelného zdroje	η	Lumen na watt	$\frac{\text{Lm}}{\text{W}}$	Je to podíl vyzařovaného světelného toku a příkonu světelného zdroje.
Teplota chromatičnosti	T_c	Kelvin	K	Udává ekvivalentní teplotu tzv. černého zářiče.
Index barevného podání	R_a	-	-	Udává věrohodnost barev podávaných zdrojem světla vzhledem k přirozenému světlu.

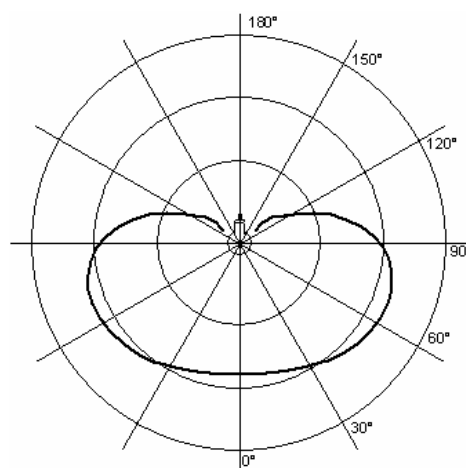
Svítivost

Je jednou z veličin tabulky SI. Světelný tok vycházející ze zdroje nebo svítidla má zpravidla nerovnoměrné rozložení do různých směrů prostoru. Z těchto důvodů je nutno kromě celkového (úhrnného) toku znát prostorovou hustotu světelného toku v různých směrech. Ve světelné technické praxi je třeba, abychom znali svítivost zdroje anebo svítidla do všech směrů. Jsou-li tyto hodnoty známy (a výrobce svítidel by je měl uvádět ve svém katalogu), vytvářejí koncové body vektorů jednotlivých svítivostí tzv. fotometrickou plochu svítivosti. *Fotometrická plocha svítivosti* je plocha, která vznikne tak, že se zjistí hodnoty svítivosti zdroje světla ve všech směrech prostoru a nanese se prostorově od bodu zdroje jako tzv. radiusvektory. Spojením všech koncových bodů těchto radiusvektorů dostaneme zmíněnou fotometrickou plochu svítivosti. Při výpočtech obvykle postačuje znát jen některé řezy touto plochou, a to rovinami procházejícími bodovým zdrojem. V rovinách řezů se tím vytáčí tzv. čáry (křivky) svítivosti

Je to podíl světelného toku vyzářeného zdrojem v některém směru do elementárního prostorového úhlu $d\omega$ a tohoto

$$\text{prostorového úhlu } I = \frac{d\Phi}{d\omega}.$$

Jednotka 1 cd představuje svítivost absolutně černého tělesa ve směru kolmém k jeho povrchu o velikosti $1/600\,000 \text{ m}^2$ při teplotě tuhnutí platiny (2042K) a při tlaku 101 325 Pa.



Světelný tok

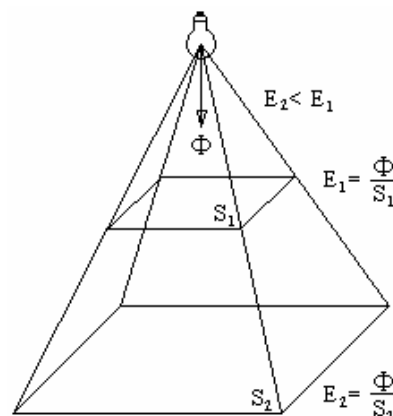
Elektromagnetické záření ve viditelné oblasti je energetickou veličinou, která působí na zrakový orgán a vyvolává zrakový vjem. Zrak tedy transformuje energetické veličiny na veličinu fotometrickou a tou je světelný tok. Světelný tok představuje světelný výkon vyzářený světelným zdrojem. Světelný tok jeden lumen představuje světelný tok vyzářený do prostorového úhlu jednoho steradiánu z bodového světelného zdroje o svítivosti jedna kandela.

Světelný tok Φ , který dopadá na povrch nějakého tělesa se od tohoto povrchu částečně odrazí Φ_p , částečně projde Φ_τ a část tohoto toku je tělesem pohlcena Φ_α . Velikost jednotlivých částí jsou dány činiteli odrazu ρ , propustnosti τ a pohlcení α .

Intenzita osvětlení (Osvětelnost)

Intenzita osvětlení je podíl části světelného toku $d\Phi$, který dopadá na

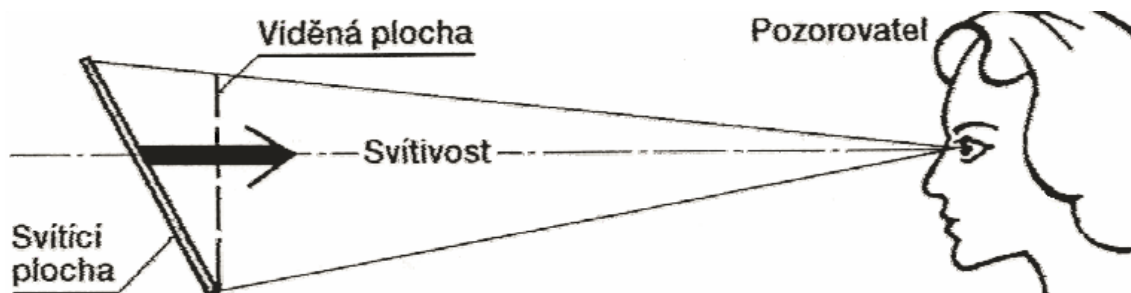
$$\text{plošku } dS \text{ povrchu tělesa, a obsahu této plošky } E = \frac{d\Phi}{dS}.$$
 Osvětlení



jeden lux vyv Index barevného podání [R_a]olá světelný tok jeden lumen rovnoměrně dopadající na plochu jeden metr čtvereční ve vzdálenosti jeden metr. Osvětlení klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje.

Jas

Jas je měřítkem pro vjem světlosti svítícího nebo osvětlovaného povrchu.



Teplota chromatičnosti

Teplotou chromatičnosti zdroje je označována ekvivalentní teplota tzv. černého zářiče (Planckova), při které je spektrální složení záření těchto dvou zdrojů blízké. Zvýší-li se teplota absolutně černého tělesa, zvýší se podíl modré části spektra a sníží se červený podíl. Žárovka s teple bílým světlem má např. teplotu chromatičnosti 2700 K, zářivka se světlem podobným dennímu má teplotu chromatičnosti 6000 K. Spektrum žárovek a halogenových žárovek je velmi blízké černému zářiči, takže je zřejmá souvislost mezi spektrem a teplotou chromatičnosti.

Index barevného podání

Každý světelný zdroj by měl podávat svým světelným tokem barvy okolí věrohodně, jak je známe u přirozeného světla nebo od světla žárovek. Měřítkem pro tuto vlastnost se stává všeobecný index barevného podání R_a daný rozsahem $100 \div 0$.

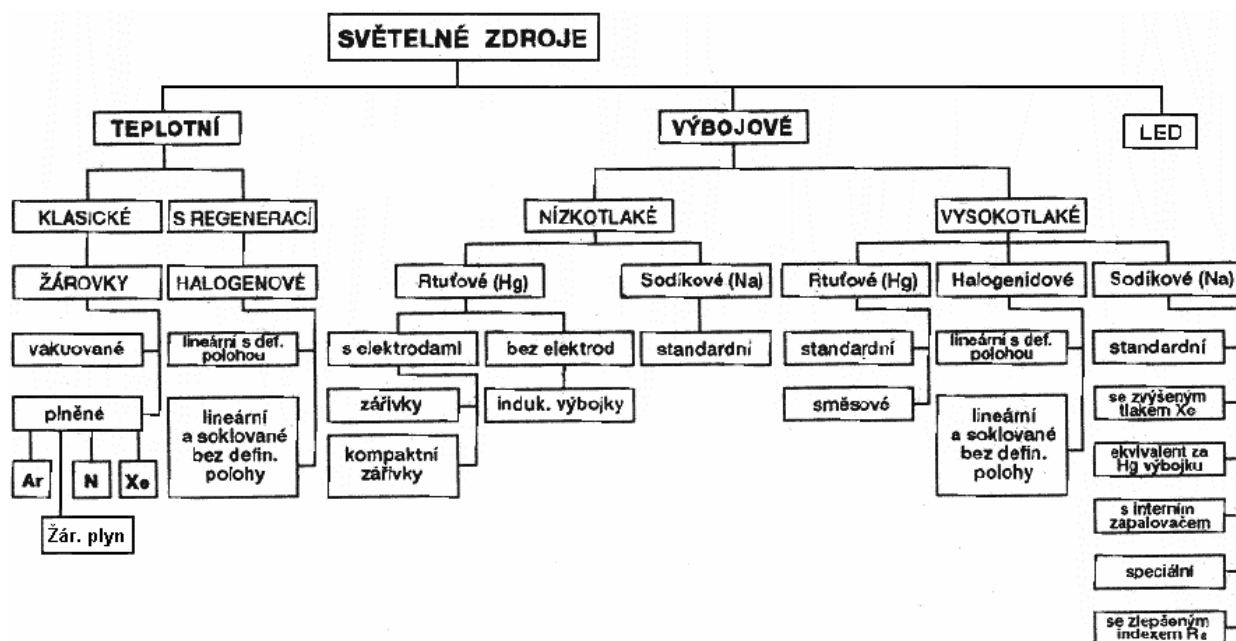
3.3. Elektrické zdroje světla

Ke vzniku světla v současných světelných zdrojích dochází z hlediska druhu dodávané energie a látky, ve které se tato energie mění na světelnou na těchto třech základních principech:

- inkandescencí neboli tepelným buzením vznikajícím při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu
- vybuzením atomů v elektrickém výboji
- luminiscencí pevných látek

Elektrické zdroje světla využívají průchodu elektrického proudu k rozžhavení vlákna, výboje hořícího v plynu (průchod proudu přes plyn), nebo průchodu proudu přes přechod PN. Podle toho rozdělujeme zdroje světla na žárové, výbojové a polovodičové.

Rozdělení elektrických zdrojů světla je patrné z obrázku (v tomto textu se zmíníme jen o některých druzích).



3.3.1. Označování světelných zdrojů energetickými štítky

Vyhláška č. 442/2004, kterou se stanoví podrobnosti označování energetických spotřebičů energetickými štítky a zpracování technické dokumentace, jakož i minimální účinnost užití energie pro elektrické spotřebiče uváděné na trh, zasahuje svou účinností také do oblasti světelných zdrojů.

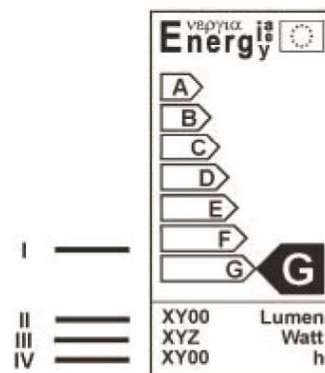
Povinnost označování se týká elektrických zdrojů světla napájených z elektrické sítě:

- žárovek a integrálních kompaktních zářivek,
- zářivek pro domácnost včetně lineárních a neintegrálních kompaktních zářivek.

Nevztahuje se na:

- světelné zdroje se světelným tokem vyšším než 6500 lm,
- světelné zdroje s příkonem nižším než 4 W,
- reflektorové žárovky,
- zdroje světla pro použití s jinými zdroji energie, např. bateriemi.

Energetický štítek musí obsahovat tyto údaje:



- třídu energetické účinnosti světelného zdroje (I.)
- světelný tok světelného zdroje – pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn (II.)
- příkon světelného zdroje (ve wattech) - pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn (III.)
- jmenovitou střední dobu života zdroje světla - pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn (IV.)

Pro racionalizaci světelných zdrojů je velmi důležité určení třídy energetické účinnosti světelných zdrojů.

Třída energetické účinnosti se určuje takto:

Do třídy A se zařazují zdroje světla, jestliže platí:

- u zářivek bez vestavěného předřadníku (zdroje světla, které vyžadují předřadník nebo jiné zařízení, abychom je mohli připojit k síti) $W \leq 0,15 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,0097 \cdot \Phi$
- u jiných zdrojů světla $W \leq 0,24 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,0103 \cdot \Phi$, kde Φ je světelný tok zdroje světla v lumenech a W je příkon zdroje světla ve wattech.

Není-li zdroj světla zařazen do třídy A, vypočítá se tzv. referenční příkon W_R :

- Je-li $\Phi > 34 \text{ lm}$, pak $W_R = 0,88 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,049\Phi$.
- Jestliže bude $\Phi = 34 \text{ lm}$, pak $W_R = 0,2 \cdot \Phi$, kde Φ je opět světelný tok zdroje světla v lumenech.

Na základě znalosti skutečného elektrického příkonu a vypočteného referenčního příkonu se

stanoví tzv. index energetické účinnosti E_I ze vztahu: $E_I = \frac{W}{W_R}$ a třídy energetické účinnosti

se pak určují z následující tabulky

Třída energetické účinnosti	Index energetické účinnosti E_I
B	$E_I < 60 \%$
C	$60 \% \leq E_I < 80 \%$
D	$80 \% \leq E_I < 95 \%$
E	$95 \% \leq E_I < 110 \%$
F	$110 \% \leq E_I < 130 \%$
G	$E_I > 130 \%$

3.3.2. Žárové zdroje světla

Klasické žárovky

Obyčejné žárovky jsou stále nejpopulárnějším světelným zdrojem. Jejich teplé světlo vytváří příjemnou atmosféru a jsou stále nejvyhledávanější ve výběru světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování.

Měrný výkon žárovek se pohybuje okolo $10 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Se vzrůstající teplotou vlákna vzrůstá jeho hodnota a také teplota chromatičnosti. Životnost žárovek se pohybuje okolo 1 000 hodin. Vlivem nových technologií navíjení vlákna a plnění baněk inertními plyny doba života dále vzrůstá.

Jelikož většina vyzářené energie se nepohybuje ve viditelné části spektra, ale až v oblasti záření infračerveného, jejich světelná účinnost je tedy jen okolo 10 %.

Světlo žárovek se může řídit nenákladnými stmívajícími zařízeními.

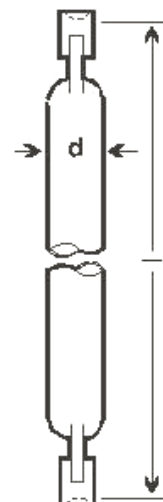
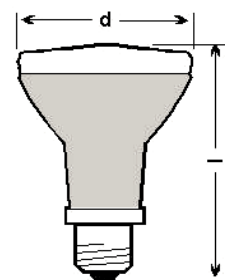
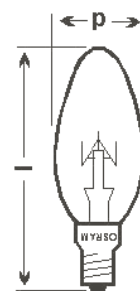
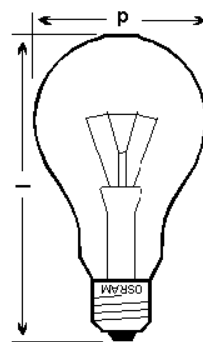
Vzhledem k nízké teplotě chromatičnosti T_c a vysokému indexu barevného podání $R_a = 100$ jsou stále oblíbené a hojně využívané hlavně v domácnostech, ale i ve společenských prostorách. Žárovky se vyrábějí v širokém sortimentu výkonů, rozměrů a tvarů pro speciální úlohy osvětlení a zvláštní nároky. Nové tvary a barevné odstíny dávají bytovým a společenským prostorám příjemnou atmosféru.

Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou velmi kompaktní z čehož vyplývají široké možnosti jejich použití, zejména v přesném směřování světelných paprsků a proto se hodí pro osvětlování kanceláří a bytů.

Baňka žárovky je vyrobena z těžkotavitelného materiálu, nejčastěji z křemenného skla, je naplněna směsí argonu s dusíkem, kryptonem, xenonem nebo sloučeninami bóru (bórmethan, bórfosfornitrid, ...), dříve se plnili i jódem, ale to pak vydávaly světlo s purpurovým nádechem.

Halogenové žárovky mají měrný výkon asi o 20 % vyšší než standardní žárovky. Jejich výhodou je, že se vypařený wolfram při povrchu baňky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací zpět na nejteplejší místo vlákna, kde dochází k disociaci, tj. wolfram se usazuje zpět a halogen se vrací k povrchu baňky. Tím se nejen zvyšuje světelný tok, prodlužuje se doba



života halogenových žárovek a nedochází ani ke snižování světelného toku během doby života,

Tyto žárovky poskytují příjemné svěží, bílé světlo s teplotou chromatičnosti 3000 K. Index barevného podání světla halogenových žárovek je $R_a = 100$. Halogenové žárovky jsou hospodárnější než standardní žárovky, jejich měrný výkon je cca $22 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a doba života se udává kolem 2000 hodin.

3.3.3. Výbojové zdroje světla

Rozdělují se především podle tlaku plynu nebo kovových par na nízkotlaké a vysokotlaké. Dále se dělí podle náplně na plynové (dusík, , s kovovými parami a smíšené, podle druhu elektrod na výbojové zdroje světla se studenými elektrodami (elektrody nejsou žhaveny a výboj je naprosto samostatný, např. sodíkové výbojky), se žhavenými elektrodami po celou dobu svícení (výboj je nesamostatný a bez žhavení elektrod zanikne) a s elektrodami žhavenými jen pro zapálení výboje (bez nažhavení elektrod by nedošlo k vytvoření výboje, ale poté už existuje samostatně, např. zářivka).

Nízkotlaké výbojové zdroje světla

Zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, ve kterých světlo vzniká působením ultrafialového záření na luminofor, který toto záření transformuje v záření viditelné. Jejich výhodou je především ekonomika provozu, daná vysokým měrným výkonem.

Zářivky se připojují na síťové napětí 230V/50Hz trubice je zapojená v sérii s tlumivkou.

Napětí na trubici tak nestačí při studených elektrodách k zapálení výboje, proto se musí

elektrody před zapálením

nažhavit a poté se zvýšeným

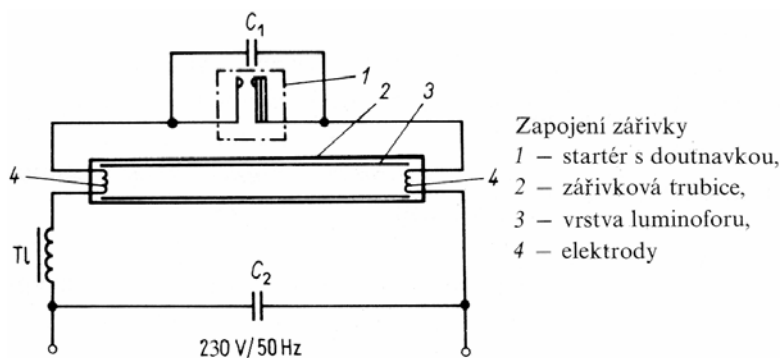
napětím zapálí výboj. U

běžných svítidel, které ve svém

zapojení obsahují tlumivku, se k tomuto účelu používá

doutnavkový startér. Doutnavka

startéru je plněná neonem a má dvě v klidu rozpojené elektrody, jedna je pevná a druhá z bimetalu. Po připojení zářivky na síťové napětí, vznikne v doutnavce startéru doutnavý výboj a elektroda z bimetalu se zahřeje a prohne. Tím se obě elektrody doutnavky spojí a dojde k



průchodu většího proudu elektrodami zářivky, které se rozžhaví na teplotu kdy dochází k emisi (kolem 800°C). Náplň zářivky se ionizuje a zároveň se v doutnavce ochlazuje elektrody až bimetal rozpojí obvod. Rozpojením elektrod doutnavky vznikne v obvodu spínací přepětí (vypínáním obvodu s indukčností), které indukuje napětí ve vinutí tlumivky (cca 500V) a to se sčítá s napětím síťovým. Součet obou napětí se objeví na elektrodách zářivky, čímž dojde k zapálení výboje a páry rtuti jsou tedy vybuzeny k emisi neviditelného UV záření. V okamžiku průchodu proudu zářivkou se síťové napětí rozdělí mezi trubici a tlumivku a protože napětí na trubici bude menší než napětí na výboji doutnavky startéru, doutnavka již znovu nezapálí. UV záření je pomocí luminoforu umístěného na vnitřním povrchu skleněné trubice přeměněno na viditelné světlo. Volbou luminoforu je možné ovlivnit barvu světla zářivky.

Ve startéru je kromě skleněné baňky doutnavky ještě kondenzátor C_1 (5 nF), který plní funkci odrušovací a navíc zlepšuje zapalovací podmínky. Účinník zářivky vlivem tlumivky je menší než 0,5 proto jej kompenzujeme na hodnotu 0,95 paralelně připojeným kondenzátorem C_2 (až 20 μ F).

V dnešní době se místo klasického zapojení zářivek začínají čím dál tím víc používat elektronické předradníky. Jejich hlavní výhodou je výrazně menší spotřeba elektrické energie než u klasického zapojení s tlumivkou. Další výhody jsou rychlejší rozsvícení zářivky a delší životnost.

Nevýhodou všech typů zářivek je možnost vzniku stroboskopického jevu, který se odstraňuje u vícetrubicových svítidel vřazením "posouvacího" kondenzátoru do obvodu jedné trubice nebo se jednotlivá svítidla, popřípadě jednotlivé trubice rozfázují. Další nevýhodou je, že jejich doba života je silně ovlivněna počtem zapnutí. Doporučuje se používat zářivky tam, kde je potřeba jejich zapnutí maximálně šest až osmkrát za den, při dvaceti a více sepnutí za den se jejich životnost zkrátí cca na polovinu.

Nejčastěji se používají zářivky s běžným širokopásmovým luminoforem, ale existují i speciální zářivky s úzkopásmovým luminoforem, který je namíchán tak, že vydává v podstatě jakoukoliv barvu. Existují například zářivky pro chytání hmyzu svítící modrým světlem, které vyzařují dlouhovlnné ultrafialové záření. V barech a na diskotékách se používají zářivky s trubicí z černého skla, které propouští jen dlouhovlnné ultrafialové záření. Pro dezinfekci se používají tzv. germicidní zářivky, které vyzařují krátkovlnné ultrafialové záření (poškozuje oči, kůži atd.).

Kompaktní zářivky

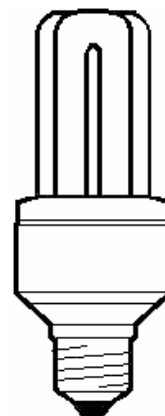
Kompaktní zářivky představují skupinu nových světelných zdrojů, které mají ve srovnání se žárovkami podobné geometrické rozměry, téměř stejnou kvalitu podání barev, zároveň mají podstatně vyšší účinnost, dosahují tedy výrazné úspory elektrické energie a mají podstatně delší život (okolo 15 000 hodin). Jejich světelný tok se pohybuje v rozmezí 450 až 3200 lm při měrném výkonu 50 až 80 lm.W⁻¹.

Kompaktní zářivky můžeme rozdělit do tří skupin:

- kompaktní zářivky s implementovaným předřadníkem jako úsporná alternativa žárovek,
- kompaktní zářivky pro zvlášť malá svítidla,
- kompaktní zářivky jako zmenšená alternativa lineárních zářivek.

Provoz s kompaktních zářivek s elektronickým předřadníkem zabezpečuje vysoký komfort:

- okamžitý start bez blikání,
- odolnost proti častému spínání,
- delší doba života,
- odstranění stroboskopického efektu a kmitání světelného toku.

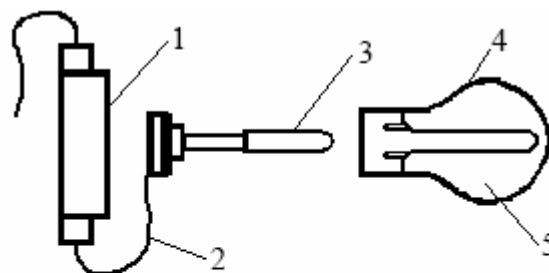


Výraznou nevýhodou kompaktních zářivek v porovnání s žárovkami, je rychlost jejich startu. Zatímco žárovky nabíhají na jmenovitý světelný tok téměř okamžitě, kompaktní zářivky po připojení napájecího napětí naběhnou rychle pouze na cca 50 % světelného toku a teprve po nějakém čase (někdy i několik minut) vydávají 100 % světelného toku.

Indukční výbojky

Do okruhu nízkotlakých výbojových zdrojů patří i světelný zdroj využívající principu indukce. Tento zdroj lze právem považovat za světelný zdroj třetí generace nebo světelný zdroj budoucnosti. I když na principu vysokofrekvenčního buzení výboje v bezelektrodevém výbojovém prostoru se pracuje v laboratořích světových firem již po desetiletí, výbojku použitelnou se podařilo uvést na trh teprve v roce 1993.

Princip funkce : Do hruškovité baňky je zatavena z jedné strany otevřená trubice, do níž se vkládá feritové jádro s indukční cívkou napájenou proudem o frekvenci 2,65 MHz. Baňka nemá žádné elektrody,



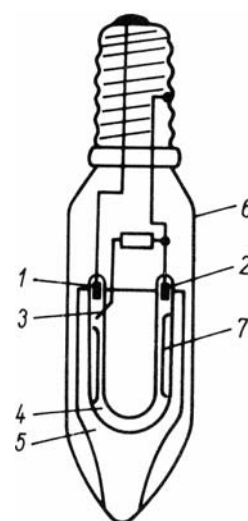
Konstrukce indukční výbojky

- 1 – vf generátor, 2 – koaxiální kabel,
- 3 – feritové jádro s indukční cívkou,
- 4 – bezelektrodevá výbojka s luminoforem,
- 5 – plynná náplň

obsahuje pouze inertní plyn a páry rtuti. Atomy rtuti vybuzené vysokofrekvenčním polem vytvářeným cívkou, emitují ultrafialové záření, které je transformováno luminoforem na viditelné světlo. Vlivem bezelektrodové konstrukce se dosahuje extrémně dlouhého života, podle údajů výrobce až 60 000 h, a to při velmi dobré stabilitě světelného toku v průběhu svícení. Výbojky se vyznačují všemi přednostmi, které poskytuje provoz na vysoké frekvenci. V současné době jsou výbojky vyráběny s příkonem od 50 do 150 W s účinností asi 65 lm.W⁻¹ až 90 lm.W⁻¹ při $R_a \geq 80$. Doba náběhu činí 0,5 s, doba znovuzápalu je rovněž asi 0,5 s. Důležitou výhodou výbojek je jejich konstantní světelný tok v širokém teplotním rozsahu. Jejich aplikace zároveň podstatně snižuje náklady související s údržbou osvětlovací soustavy.

Nízkotlaké sodíkové výbojky

U nízkotlakých sodíkových výbojek nastává výboj ve výbojové trubici vyhotovené z polykrystalického anebo monokrystalického kysličníku hlinitého, která je naplněna argonem, neonem a sodíkem. Při tlaku sodíkových par 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice 270 až 300 °C vyžáří monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 až 589,6 nm ve žluté oblasti spektra. Záření sodíkové výbojky je v blízkosti maxima spektrální citlivosti lidského oka (555 nm) s vysokým měrným výkonem 130 až 200 lm.W⁻¹. V jejich světle není možné rozlišovat barvy $R_a = 0$, životnost výbojky dosahuje až 24 000 hod.. Výbojová trubice (hořák) 4 sodíkových výbojek má kruhový průřez a ohýbá se do tvaru písmena U nebo W a je umístěna ve skleněném válci 5. Venkovní baňka 6 je vyčerpaná na vysoké vakuum a tepelně izoluje výbojovou trubici. Po připojení výbojky k napětí se nejprve zapálí doutnavý výboj v neónu mezi hlavní elektrodou 1 a pomocnou elektrodou 3. Po několika minutách a po zvýšení tlaku sodíkových par se pomocí zapalovacích elektrod 7 přenesou výboj mezi hlavní elektrody 1 a 2. Nízkotlaké sodíkové výbojky se někdy konstruují bez pomocné elektrody a k zapálení se používá rozptylový transformátor.



Směsové výbojky

Směsové výbojky poskytují světlo z emise elektronů wolframového vlákna a elektrického výboje ve výbojové trubici a plní funkci záměny přímo za žárovky bez používání předřadníku. Poskytují příjemné teple bílou barvu světla s teplotou chromatičnosti $T_c = 3500$ K a mají životnost až 16 000 hodin. Mají vyšší výkon a 5-ti násobnou dobu života ve srovnání s klasickou žárovkou. Jsou ideální pro cenově výhodnou výměnu zdrojů u stávajících svítidel osazených běžnými žárovkami.

Vysokotlaké výbojové zdroje světla

Vysokotlaké rtuťové výbojky

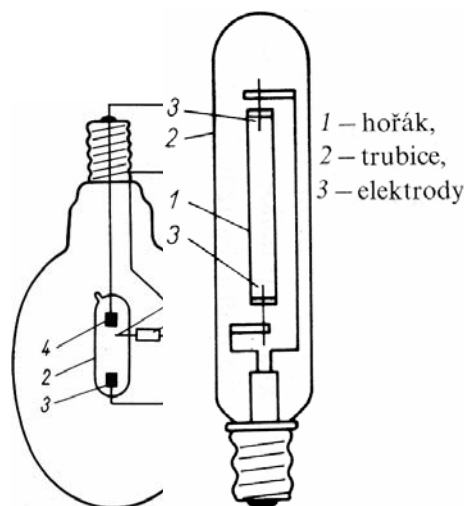
Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařují do viditelné oblasti asi 15% přivedené energie, jejich světlo je modrobílé a modrozelené. Červená složka světla chybí a z tohoto důvodu se nanáší na vnitřní stěnu venkovní baňky ortofosfátový luminofor pro zabezpečení transformace UV záření do červené oblasti spektra. Baňka 1 má tvar elipsoidu a je naplněna směsí argonu a dusíkůdami, v ní 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. 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. K ustálení výboje rtuťových výbojek dochází po 3 až 5 minutách. Po přerušení výboje dojde k opětovnému znovuzapálení až po 7 minutách. Výhodou těchto výbojek je malý pokles světelného toku během života, odolnost proti změnám teploty, odolnost proti otřesům a menší poruchovost v důsledku menšího počtu kontaktů ve srovnání se zářivkami. Doba života je 12 000 až 15 000 hod, index barevného podání $R_a = 50$, měrný výkon 50 až 80 $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Jelikož se výboj ustálí až po přibližně pěti minutách, nehodí se k osvětlování vnitřních prostorů, ale používají se k osvětlení průmyslových prostorů, ulic a sportovišť.

Halogenidové vysokotlaké výbojky

Jsou obdobou rtuťových výbojek s přidavkem halogenidů různých kovů. Vlivem dávkování různých prvků a jejich halogenidů do hořáků rtuťových výbojek se zvýšil jejich měrný výkon a také barevné podání $R_a > 90$. Životnost halogenidových výbojek je až 6000 hod. a vyrábí se v široké škále příkonů od 40 W do 3,5 kW. Tyto výbojky nalézají uplatnění ve veřejném a průmyslovém osvětlení, ale hlavně při osvětlování sportovišť, a to i při televizních přenosech. Vyžadují však vysokonapěťové zapalovače.

Vysokotlaké sodíkové výbojky

Výboj v parách sodíku je ze světelně technického hlediska velmi zajímavý, ale při nízkých tlacích podává monochromatické záření ve žluté oblasti spektra. Při zvyšování tlaku par sodíku světelná účinnost klesá, prochází minimem a dále opět stoupá, takže při tlaku kolem 27 kPa dosahuje druhého maxima a v závislosti



na dalších parametrech (složení amalgamu sodíku, druh a tlak plnicího plynu, geometrické parametry hořáku, příkon výbojky apod.) může dosáhnout hodnoty až $150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Při rostoucím tlaku par sodíku dochází k výraznému rozšíření spektrálních čar a ke vzniku silného spojitého záření. Spektrum záření je bohatší, což má za následek i lepší podání barev osvětlovaných předmětů. Tento druh výboje je využíván u moderních vysokotlakých sodíkových výbojek, které se výrazně prosadily zejména v uličním, ale i v průmyslovém osvětlení.

V evakuované trubici 2 je umístěn hořák 1 naplněný sodíkem, argonem, xenonem a rtutí. Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením dodávajícím napěťové impulsy okolo 3kV. Po vytvoření impulzu se nejdříve zapálí výboj v plynech (xenonu a argonu) a zniklým teplem se vypařuje sodík a rtuť. Teprve po nějaké době přeberou výboj kovové páry a to především sodík. Plného výkonu dosáhne výbojka asi po deseti minutách. Po vypnutí lze výbojku s malým výkonem znovu rozsvítit asi po dvou minutách, výbojky se středním výkonem asi po deseti minutách a nejvýkonnější výbojky až po asi dvaceti minutách.

Při dodržování provozních podmínek (povolené kolísání napětí menší než 5%, správně dimenzované tlumivky) výbojky předních výrobců dosahují života 16 000 až 28 000 hod. Ukončení života je dáno postupným nárůstem napětí na výboji. Při překročení určitého poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí sítě výboj zhasne. Po vychladnutí výbojka znovu zapálí a celý cyklus se opakuje. Periodické zhasínání výbojek je příznakem ukončení života a výbojku je nutné vyměnit.

Vysokotlaké sodíkové výbojky mají ve VO univerzální použití, tj. jsou vhodné pro osvětlování veškerých komunikací, pěších zón i osvětlování fasád objektů. Určitou nevýhodou těchto zdrojů je barva vyzařovaného světla, která způsobuje horší barevné podání osvětlovaných předmětů, zvláště pak zeleně.

Sodíkoxenonové vysokotlaké výbojky

Díky elektronickým předřadníkům a vysokofrekvenčnímu provozu byl umožněn rozvoj a uvedení na trh vysokotlakých sodíkoxenonových výbojek bez obsahu rtuti, s vynikající barevnou stabilitou, a výborným barevným podáním a velmi dobrým měrným výkonem systému. Pro dosažení podstatně lepšího barevného podání bez přítomnosti rtuti je nutno vybudit vyšší energetické přechody sodíku. Dosáhne se toho zvýšením teploty plazmy v hořáku pomocí vyšší frekvence cca 20 kHz. Hořák ovšem nemůže být vystaven tak vysoké teplotě po celou dobu provozu, a proto je základní frekvence cca 20 kHz modulována ještě

frekvencí cca 200 Hz. Znamená to, že impulzy 20 kHz o délce kolem 1 ms jsou od sebe vzdáleny cca 5 ms. Elektronický předřadník je řízen mikroprocesorem a kontroluje parametry výboje po celou dobu života výbojky tak, že je zaručena konstantní teplota chromatičnosti a podání barev. Jelikož výbojka neobsahuje rtuť lze ji snadno recyklovat.

Doba života těchto zdrojů dosahuje až 15 000 hodin, měrný výkon 56 lm.W^{-1} , index podání barev $R_a = 75$ až 85. Jelikož se jedná o světlo bez ultrafialové složky sníží se tak vábení létavého hmyzu oproti rtuť obsahujícím výbojkám až o 80 %. a tím se také redukuje špinění svítidla

Sírné výbojky

Jedná se o vysokotlaké výbojky s náplní síry a kulovým svíticím tělesem o průměru od 5 do 29 mm. Vlastní výboj je buzen v křemenném hořáku mající tvar koule, která rotuje v elektromagnetickém poli magnetronu (2,45 GHz). Výboj probíhá v parách síry, přičemž spektrum vyzařovaného světla se blíží slunečnímu, při vynikající účinnosti dosahující až 130 lm.W^{-1} a vysokém indexu podání barev $R_a = 85$. Život výbojky je limitován spolehlivostí magnetronu a dosahuje rovněž hodnot převyšujících 50 000 hodin. Zatím jsou tyto výbojky používány v kombinaci s dutými světlovody. Toto řešení je výhodné při osvětlování místností s nebezpečím výbuchu, kdy světelný zdroj lze umístit mimo tuto místnost. Úbytek světelného toku na konci života je menší než 10 %.

3.3.4. Polovodičové zdroje světla – LED dioda

V posledních letech se stále více v nejrůznějších světelně technických aplikacích prosazují svítící diody (LED- Light Emitting Diode). Luminiscenční dioda se dříve využívala v elektrotechnice k indikaci provozních stavů, jako výkonný světelný zdroj se začala využívat v posledním desetiletí, kdy jsme zaznamenali enormní nárůst měrného výkonu. Na trhu jsou k dispozici vysokovýkonné modré a bílé LED.

LED dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Tento polovodičový přechod generuje velmi úzké spektrum to znamená, že záření je v podstatě monochromatické. Vzhledem k fyzikálnímu principu tohoto světelného zdroje se předpokládají široké možnosti volby spektrálního složení záření a jeho plynulá změna během provozu. V současnosti mohou mít LED diody v podstatě libovolnou barvu světla. Současný vývoj pokračuje směrem k organickým LED diodám a poznatky z LED diod se zkouší aplikovat do klasických luminoforů, dá se tedy předpokládat významný nárůst měrného výkonu zářivek a možná také žárovek.

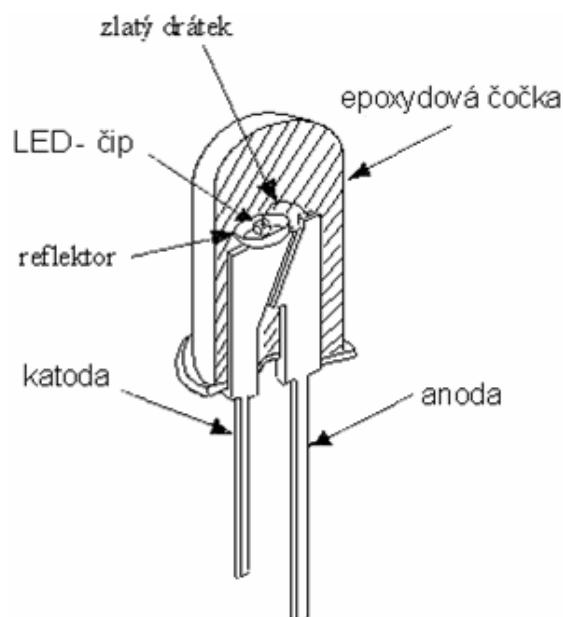
Bílé světlo lze získat například složením tří čipů různých barev (červená, zelená a modrá) a z nich namíchat bílou barvu. Další způsob jak dosáhnout bílé barvy je použití modrého čipu, který má vrstvu aktivní hmoty. Tato vrstva převede modré záření na jiné vlnové délky viditelného spektra.

Doba života dosahuje u barevných LED diod až 100 000 hodin a u bílých LED diod 50 000 hodin, přičemž v průběhu této doby intenzita světla mírně klesá. V zařízeních s LED diodami se tedy nepočítá s výměnami světelných zdrojů.

Mezi výhody LED diod především patří:

- minimální spotřeba elektrické energie,
- velmi malé rozměry (jedná se prakticky o bodové zdroje),
- malá závislost parametrů na teplotě okolí,
- poměrně dobrá účinnost (kolem $10 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ v závislosti na barvě) převyšující účinnost trpasličích žárovek,
- široký sortiment výrazných (sytých) barev,
- malé napájecí napětí,
- nízká povrchová teplota,
- možnost dosáhnout velké směrové svítivosti použitím vhodné čočky,
- dlouhá životnost, atd.

V poslední době se již na trhu objevují konstrukce, v nichž jsou svítivé diody zabudovány do baňky normální žárovky, mluvíme pak o tzv. LED žárovce. V jejich patici se nachází nezbytná elektronika k úpravě napájecího napětí, k ochraně proti statické energii a napětíovým špičkám. Tento světelný zdroj pracuje při stejnosměrném i střídavém napětí. Rozhodně se jedná o velmi perspektivní světelný zdroj se všemi výhodami LED a s vhodným použitím v řadě oblastí. Pro domácnosti, kanceláře a školní prostory mají LED diody uplatnění zejména ve stolních lampách, dekorativním osvětlení interiéru, osvětlení chodeb a orientačním osvětlení. Široké využití LED diod je také v mobilních prostředcích, v dopravním průmyslu, ručních svítilnách atd.. Provozní teplota LED diod je nízká, proto se nabízí aplikace pro osvětlení teplem degradujících předmětů (např. potraviny).



Příklad konstrukce LED diody

Využití svítících LED diod ve všeobecném osvětlování tedy s největší pravděpodobností velmi významně ovlivní konstrukci svítidel. Použití reflektorů pro úpravu rozložení světelného toku svítidel ztratí význam, neboť u svítících LED diod je světelný tok již usměrněn. Způsob vyzařování bude možné ovlivnit použitými typy svítících diod, jejich polohou a nasměrováním. Použití čoček a refraktorů v optických systémech svou funkci pravděpodobně neztratí, naopak možná bude mít větší využití než u svítidel pro běžné světelné zdroje. Využití svítících diod umožní nejen měnit intenzitu osvětlení, teplotu chromatičnosti a barvu světla, ale teoreticky bude možné měnit i vyzařovací charakteristiky, spínáním diod rozdělených do různých skupin. Vzhledem k tomu, že svítící diody pracují na malém napětí bude poměrně snadné jejich použití v kombinaci s akumulátorovými články, například v systémech nouzového světlení nebo se systémem fotovoltaických článků.

3.3.5. Vývojové trendy v oblasti světelných zdrojů

V oblasti světelných zdrojů lze očekávat tento pokrok:

Žárovky

- vylepšení emise spirál povlakem z hafnia
- reflektorové multivrstvy (zpětný odraz vyhřívá spirálu)
- žárovky multi mirror o průměru 51 mm na síťové napětí
- vylepšení mechanických vlastností spirál pro lepší stabilitu vlákna

Halogenové žárovky

- zejména IR multivrstvy pro zpětný odraz záření na vlákno – zvýšení měrného výkonu
- dávkování xenonu
- dotace „certic“-u do křemenného skla baňky na potlačení UV záření
- žárovky na síťové napětí
- různé tvary baněk pro různé aplikace
- nízkotlaké halogenové žárovky
- až o 30% vyšší měrný výkon
- vyšší životnost
- stabilita světelného toku po celou dobu životnosti
- stabilita teploty chromatičnosti
- rovnoměrnější svítivost ve svazku v případě reflektorových halogenových žárovek

Zářivky

- snižování množství rtuti viz obr. 2.18

- vývoj bezrtuťových technologií
- program T5 – vývoj
- vývoj nových typů luminoforů

Kompaktní zářivky

- přebírání nových technologií platných pro zářivky
- 3/8“ technologie
- tvarované KZ
- KZ s reflektorem či difuzorem
- KZ s velkým příkonem

Halogenidové výbojky

- keramický hořák jako všeobecné řešení
- dávkování Na – sbližování vlastností
- nové plynové náplně
- miniaturizace příkonu

Sodíkové výbojky

- ekologické bezrtuťové výbojky
- dávkování jiných prvků na zlepšení barevného podání
- vícehořákové výbojky
- možnosti přepínání barvy světla nebo příkonu
- miniaturizace příkonu
- nasazování v interiérech

Luminiscenční diody (LED)

- enormní nárůst měrného výkonu
- modré LED
- široké možnosti spektrálního složení
- organické LED

3.4. Osvětlovací technika

Svítidla jsou přístroje, které tvoří základní prvky osvětlovacích soustav. Skládají se z části světelně činných a částí konstrukčních. Světelně činné části slouží ke změně rozložení světelného toku, k rozptylu toku, k zábraně oslnění, snížení jasu, po případě ke změně spektrálního rozložení světla. Konstrukční části svítidla slouží k upevnění zdroje, k upevnění

světelně činných částí, ke krytí zdrojů i světelně činných částí před vniknutím cizích předmětů a vody, musí vyhovovat z hlediska ochrany před nebezpečným dotykovým napětím. Svítidla musí splňovat podmínky jednoduché a snadné montáže, jednoduché údržby, dlouhého života a spolehlivosti. Kromě svítidel se ve světelné technice používají světlomety, které se od svítidel liší tím, že vyzařují směrově soustředěný svazek paprsků a používají se k osvětlování z velkých vzdáleností.

3.4.1. Světelné technické parametry svítidel

Světelný tok svítidla

Světelný tok svítidla Φ_{SV} , který je svítidlem opticky upraven, je dán rozdílem světelného toku všech zdrojů Φ_Z umístěných ve svítidle a světelného toku ztraceného Φ_{ZTR} , který se ztratil při optickém zpracování.

Účinnost svítidla

Účinnost svítidla charakterizuje hospodárnost svítidla a její hodnota je dána poměrem

$$\text{světelného toku svítidla ke světelnému toku všech zdrojů } \eta = \frac{\Phi_{SV}}{\Phi_Z}$$

Maximální účinnost by měl z tohoto hlediska holý světelný zdroj v objímce. Ten však není možné použít s ohledem na oslnění, nevhodné směřování vyzařovaného světla a ochrany před povětrnostními vlivy. Z hlediska maximálního využití dodávané elektrické energie je třeba dosahovat vysokých hodnot této veličiny. U běžných svítidel se pohybuje účinnost v rozmezí od 0,3 do 0,9.

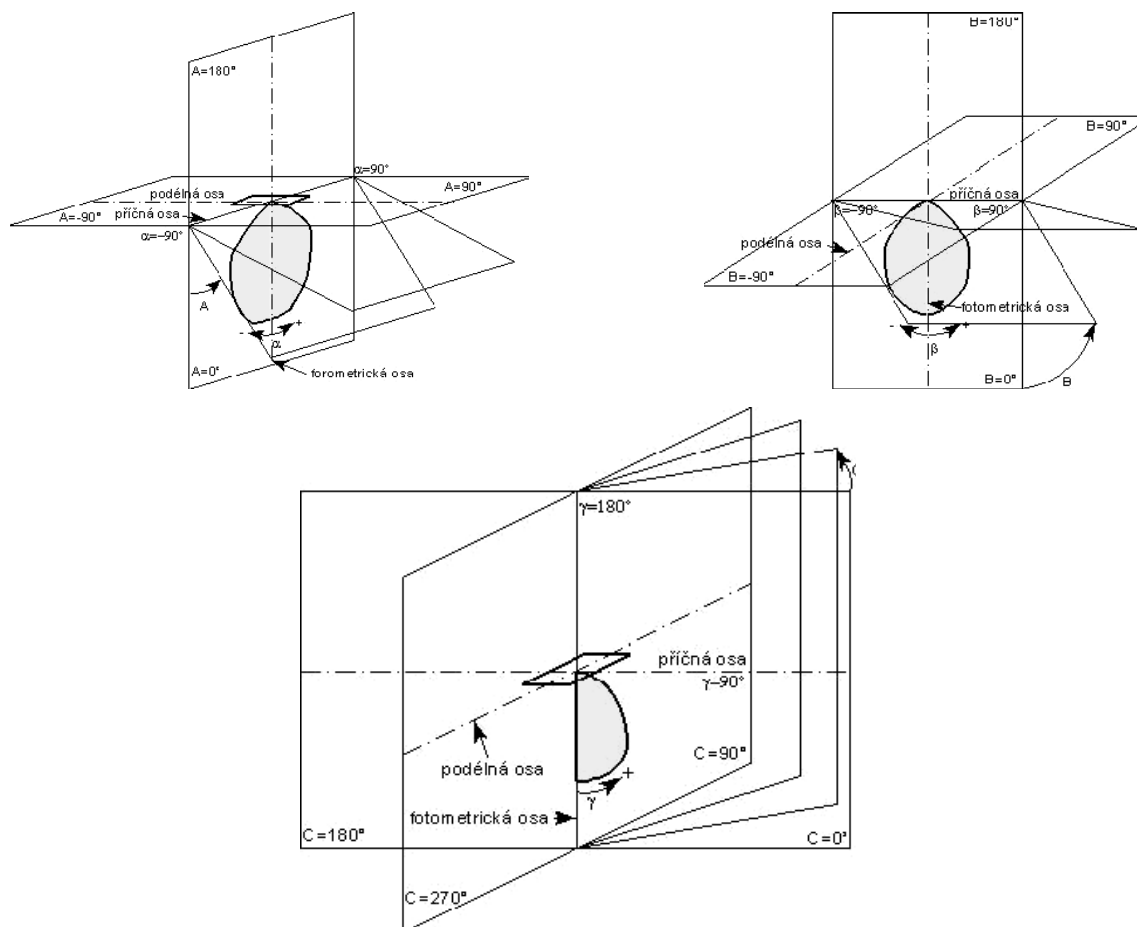
Zářivky mají světelný tok závislý na teplotě a dle CIE se pro zářivková svítidla definuje optická a provozní účinnost. Optická účinnost se stanovuje z hodnot světelného toku svítidla a zdrojů při provozních teplotách. Provozní účinnost je určena tokem svítidla při provozní teplotě a tokem zdroje při jmenovité teplotě, která se uvažuje pro zářivky 25 °C.

Svítivost svítidel

Prostorové rozložení svítivosti svítidla je souměrné nebo nesouměrné. Souměrné rozložení může být rotační anebo souměrné k jedné anebo více axiálním rovinám.

Svítivosti se udávají nejčastěji pomocí fotometrického systému C- γ . U svítidel s rotačně symetrickou plochou svítivosti postačí křivka v jedné fotometrické rovině. U zářivkových svítidel se zpravidla udávají dvě křivky a to v rovinách C_0 a C_{90} . U venkovních svítidel se z důvodů zábrany oslnění předepisují pro dané stupně oslnění maximální hodnoty svítivosti a to

pro určité směry ve vybraných rovinách v soustavě C- γ . Rozložení svítivosti daného svítidla lze též znázornit pomocí izokandelového diagramu.



Pro vystižení tvaru čáry svítivosti svítidla se používá činitel tvaru křivky K_F a úhlové pásmo maximální svítivosti. Činitel tvaru křivky je dán poměrem maximální svítivosti $I_{\max}$ a střední svítivosti $I_{\text{stř}}$ $K_F = \frac{I_{\max}}{I_{\text{stř}}}$

Jas svítidel

Jas svítidla je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průměru svítící

plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru $L_\gamma = \frac{I_\gamma}{A \cdot \cos \gamma}$, kde I_γ je svítivost svazku

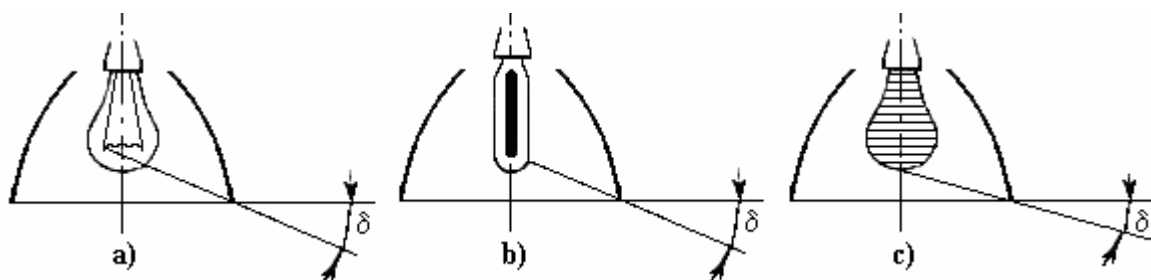
světelných paprsků (svítící plochy), A je velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem a γ je velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem.

U svítidel pro osvětlování vnitřních prostorů se pro kontrolu na oslnění udávají často jasy v kritické oblasti úhlů od 45° do 85° ve vodorovném směru pohledu.

Geometrické parametry

Patří sem především úhel clonění δ , který udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem.

Je to nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem. U čiré žárovky je to její vlákno, u opálové zářivky nebo výbojky je to povrch baňky. Doplnkový úhel do 90° k úhlu clonění se nazývá úhel otevření svítidla.



Konstrukční prvky svítidel

Konstrukční prvky a materiály, používané pro všechny druhy svítidel, mají kromě svých vlastních funkcí splňovat ještě další požadavky, jakojsou to především:

- světelná stálost
- tepelná stálost
- odolnost proti korozi
- mechanická pevnost

Světelná stálost je důležitou veličinou, která určuje u mnoha materiálů jejich životnost. Stálým působením světelného a ultrafialového záření, zesíleného teplem a vlhkostí, dochází k trvalým změnám, např. žloutnutí, vybělení, zkřehnutí, tvoření trhlin nebo praskání.

Tepelná stálost konstrukčních prvků má zvláštní význam, protože provozní teploty na svítidle dosahují často hodnot na hranicích přípustnosti. Pokud jsou tyto hodnoty překročeny, dochází k trvalým změnám, např. k deformaci, zkřehnutí, zuhelnění a praskání - tvoření trhlin.

Odolnost kovů proti korozi musí být zajištěna účelnou povrchovou ochranou, která mimo to ovlivní ještě vzhled a světelně technické vlastnosti materiálu. Aby bylo vyhověno přípustným podmínkám použití, požadovaným světelnotechnickým parametrům a estetickým požadavkům, používají se následující povrchové úpravy: lakování poniklování, pochromování, emailování, pozinkování, kadmiování, nanášení umělých hmot, leštění a eloxování. U plastů je odolnost proti korozi zaručena, a proto nevyžadují dodatečná opatření.

Mechanická pevnost je mírou stability konstrukčních prvků, především u plastů a křemenných skel. Vlivem záření, tepla, chladu a vlhkosti se může změnit mechanická pevnost, a tím i spolehlivost svítidla.

Konstrukční prvky svítidel se podle své funkce ve svítidle dělí do tří skupin:

- světelnětechnické (světelně činné)
- elektrotechnické
- mechanické

Světelně technické prvky zajišťují vlastní předávání světla do prostoru, jako například odrazové a propustné materiály. Mezi používané odrazové materiály patří například skleněná zrcadla, lakované povrchové plochy, opálová světlo rozptylující skla, plasty nebo tkaniny. K propustným materiálům světelně činných částí například patří křemenné sklo (čiré sklo, ornamentní sklo, opálové sklo, matované sklo, refraktorové sklo), světlo propouštějící plasty nebo světlo propouštějící tkaniny.

Elektrotechnické části svítidel slouží k připojení, upevnění a provozu světelných zdrojů a svítidel. Patří sem: objímky žárovek, vypínače, zásuvky a vidlice, vnitřní vedení vodiče, vnější vedení, připojovací a propojovací svorky, svítidlová krabice, předřadné přístroje, zapalovač, kondenzátory. Jednotlivé části musí odpovídat použitým světelným zdrojům. Použitím jiných světelných zdrojů se mění i připojovací podmínky. Některé části se vyskytují u všech svítidel, jiné jen tam, kde to vyžadují podmínky použití nebo světelné zdroje.

Mechanické části svítidel slouží nejen jako ochranné nebo nosné části světelných zdrojů, ale i světelně technických a elektrotechnických konstrukčních prvků. Slouží k upevnění svítidel. Podstatné konstrukční díly svítidel, které se počítají k mechanickým konstrukčním prvkům, jsou: Ochranná skla, ochranná mříž, nosná konstrukce, zaostřovací zařízení, závěsy, upevňovací části, vidlice, klouby a stojany pro svítidla pro místní osvětlení. Protože jednotlivé díly mají velmi rozdílný význam a jsou různě zatíženy, najdou zde použití různé materiály. Jako ochranná skla jsou převážně používána křemenná skla. Svítidla musí mít potřebnou mechanickou pevnost a musí být odolná vůči korozi, vyhovět předepsaným oteplovacím zkouškám a být elektromagneticky slučitelná.

Třídění svítidel

Svítidla je možné rozdělit do skupin podle jejich vlastností, přičemž lze volit různá kritéria. Podle použitého světelného zdroje rozeznáváme svítidla žárovková, zářivková, výbojková, popř. i jiná. Podle oblasti použití je možné rozlišit svítidla vnitřní a venkovní. Podstatné vlastnosti aplikační jsou ovšem dány světelně technickými vlastnostmi. Nejjednodušší světelně technické třídění svítidel je třídění založené na prostorovém rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru.

Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru [%]	Světelný tok do horního poloprostoru [%]	Značení podle DIN 5040
přímé	90 až 100	0 až 10	A
převážně přímé	60 až 90	10 až 40	B
smíšené	40 až 60	40 až 60	C
převážně nepřímé	10 až 40	60 až 90	D
nepřímé	0 až 10	90 až 100	E

Pro rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti se v praxi používá několik způsobů.

Například třídění podle tzv. BZ - klasifikace svítidel. Svítidla jsou rozdělena podle tvaru křivek svítivosti do 10 tříd.

Označení	Tvar křivky svítivosti
BZ 1	$I_\gamma = I_0 \cos^4 \gamma$
BZ 2	$I_\gamma = I_0 \cos^3 \gamma$
BZ 3	$I_\gamma = I_0 \cos^2 \gamma$
BZ 4	$I_\gamma = I_0 \cos^{1,5} \gamma$
BZ 5	$I_\gamma = I_0 \cos \gamma$
BZ 6	$I_\gamma = I_0 (1 + 2 \cos \gamma)$
BZ 7	$I_\gamma = I_0 (2 + \cos \gamma)$
BZ 8	$I_\gamma = \text{konst.}$
BZ 9	$I_\gamma = I_0 (1 + \sin \gamma)$
BZ 10	$I_\gamma = I_0 \sin \gamma$

Toto třídění do jisté míry odpovídá i způsobu podle dřívějších čs. norem. Jde o zařazení svítidel podle tabulky do 7 typů, přičemž je dáno úhlové pásmo, v němž může ležet maximum svítivosti, a pro každý typ též činitel tvaru křivky svítivosti.

Tvar křivky svítivosti		Úhlové pásmo maximální svítivosti [°]	Činitel tvaru křivky svítivosti
označení	název		
a	koncentrovaná	0 až 15	$K_F \geq 3$
b	hluboká	0 až 30, 150 až 180	$2 \leq K_F < 3$
c	kosinusová	0 až 35, 145 až 180	$1,3 \leq K_F < 2$
d	pološiroká	35 až 55, 125 až 145	$1,3 \leq K_F$
e	široká	55 až 85, 95 až 125	$1,3 \leq K_F$
F	rovnoměrná	0 až 180	$K_F \leq 1,3$, přičemž $I_{\min} > 0,7 I_{\max}$
g	sinusová	70 až 90, 90 až 110	$1,3 < K_F$, přičemž $I_{\min} < 0,7 I_{\max}$

Svítidla můžeme dále dělit například podle elektrotechnických vlastností na svítidla třídy 0, I, II a III, podle krytí (IP XX) a podle mnoha dalších hledisek.

3.5. Výpočet osvětlení

Metody výpočtů osvětlení lze v zásadě rozdělit do dvou základních skupin, na metody tokové a bodové. Obě tyto skupiny se zásadně liší svým principem a také svými možnostmi. Tokové metody umožňují snadno spočítat průměrné osvětlení srovnávací roviny prostoru, jsou

technicky i časově zpravidla méně náročné a umožňují rovněž funkci návrhu. Naproti tomu bodové metody poskytují možnost výpočtu osvětlení v konkrétních bodech prostoru, bývají časově i technicky náročnější, vyžadují větší množství vstupních dat a ve funkci návrhu jsou jen těžko použitelné.

Pokud budeme zpracovávat cenovou nabídku nebo pokud budeme potřebovat vědět, kolik asi svítidel bude nutno v prostoru instalovat, pak nejspíše zvolíme některou z tokových metod. Pokud ovšem potřebujeme znát hodnoty osvětlení v určitých bodech prostoru a to třeba i s respektováním jeho skutečného tvaru, pokud budeme chtít znát rovnoměrnost, jak to vyžaduje norma, pak nezbytně budeme muset použít metodu bodovou. Velmi často je vhodné oba druhy metod kombinovat, tokovým výpočtem získáme představu o potřebném počtu svítidel a bodovým výpočtem pak provedeme konečné detailní výpočty v důležitých místech prostoru.

3.5.1. Tokové metody

Tokové neboli účinnostní metody jsou založeny na použití fyzikálního vztahu mezi osvětleností, světelným tokem a plochou ve tvaru:

$E = \frac{\Phi}{S}$, kde Φ je světelný tok dopadajícího na plochu [lm], S je plocha [m^2], E je průměrné osvětlení plochy [lx].

Tokové metody zpravidla předpokládají, že vlastnostmi místnosti a typem svítidla je dána určitá hodnota světelné účinnosti, se kterou se využije světelný tok nebo elektrický příkon osvětlovací soustavy pro osvětlení srovnávací roviny. Tento princip lze popsat jednoduchým vzorcem:

$E = \frac{\eta \cdot \Phi_s}{S}$ kde Φ_s je světelný tok všech svítidel soustavy [lm], S je plocha [m^2], E je průměrné osvětlení srovnávací roviny [lx] a η je světelná účinnost prostoru.

Veškerá složitost a přesnost těchto metod je dána přesností určení hodnoty světlené účinnosti η , která v sobě zahrnuje světelné vlastnosti svítidel, osvětlovacích soustav, prostoru i údržbu. Je zřejmé, že z uvedeného vzorce lze snadno vyjádřit potřebný výkon či tok pro návrh potřebného počtu svítidel. Podle způsobu získání a použití této účinnosti existuje poměrně velké množství různě přesných metod.

Odhadní účinnostní metoda

$E = \frac{\eta \cdot \Phi_1 \cdot n_s}{S}$, kde Φ_1 je světelný tok jednoho svítidla soustavy [lm] a n_s je počet svítidel soustavy.

Tuto metodu lze použít zejména pro rychlý odhad. Pro přímé osvětlení se používá hodnota η kolem 0,3 a je zřejmé, že se zde jedná o odhadní metodu. Je dobré si uvědomit, že je to metoda, která nemá okrajové podmínky (podmínky použití), její použitelnost je dána možnostmi správného stanovení hodnoty světelné účinnosti.

Toková metoda dle ČSN 36 0450

$E = \frac{\Phi_3}{S}$, kde Φ_3 je světelný tok dopadající na srovnávací rovinu [lm].

Veškerá složitost metody je dána výpočtem toku dopadajícího na srovnávací rovinu Φ_3 .

Lze uvést zjednodušující předpoklady a použitelnost této metody:

- v tvar místnosti blíží se čtverci,
- svítidla jsou v místnosti pravidelně rozmístěna a osazena v jedné výši,
- předpokládá se jednoduchá orientace svítidel dolů popř. nahoru,
- jasy odrazných ploch jsou uvažovány jako konstantní,
- nelze uvažovat se zařizovacími předměty (překážkami) místnosti.

V případě nedodržení těchto předpokladů je třeba počítat s určitou chybou ve výpočtu, která v některých případech nemusí být významná. Ve většině případů je tato metoda poměrně velmi přesná, ale pro poměrně složitý výpočet, zejména integrálních odrazů, je vhodná spíše pro počítačové aplikace.

Tokové metody pro výpočet denního osvětlení

Jsou složitější v tom, že zpravidla nejsou známy charakteristiky svítivosti osvětlovacích otvorů. Tyto metody se zpravidla používají pouze pro výpočet vnitřní odražené složky činitele denního osvětlení. Jednodušší je situace u horního osvětlení, protože lze většinou předpokládat konstantní hodnotu odražené složky v prostoru. U bočních soustav je nutno náhradním způsobem určit její rozložení v prostoru. Těmito výpočty se zabývá několik metod, jako například:

- toková metoda pro horní soustavy
- toková metoda pro boční soustavy
- metoda Krochmann - Kittler pro boční soustavy
- metoda B. R. S. pro boční soustavy

Všeobecně lze říci, že se jedná o empirické metody, jejichž přesnost a použitelnost je závislá na dodržení daných předpokladů nebo okrajových podmínek.

3.5.2. Bodové metody

Všechny bodové metody jsou založeny na použití jednoduchého fyzikálního vztahu pro výpočet místního osvětlení v daném bodě:

$E = \frac{I}{l^2}$, kde I je svítivost svítidla ve směru svítidla bod [cd], l je vzdálenost bodu od svítidla [m] a E je místní osvětlení v bodě ve směru spojnice svítidla bod, neboli absolutní hodnota světelného vektoru [lx].

Bude-li nás zajímat horizontální složka osvětlení E_h , pak lze uvedený vzorec upravit na tvar:

$E_h = \frac{I}{l^2 \cdot \cos \alpha}$, kde α je úhel mezi spojnici svítidla – bod a vertikálou

Uvedený vzorec je přímo použitelný pouze pro bodové zdroje světla nebo pro takové dostatečně malé zdroje, které lze za bodové považovat. Pro zdroje, které pro své rozměry nelze považovat za bodové, existují dvě metody, které lze použít. Obě metody spočívají v rozdělení zdroje světla na menší části a liší se ve způsobu, jak to učinit.

Numerická integrace neboli metoda dělení - metoda spočívá v rozdělení zdroje světla na dostatečně malé (elementární) části tak, aby je bylo možno považovat za bodové zdroje, podle normy ČSN 360450 lze za bodový zdroj považovat takový, jehož největší rozměr je minimálně 3x menší než vzdálenost od bodu výpočtu. V praxi je vhodnější použít hodnotu vyšší (např. 5 až 10), tato hodnota je významná pro přesnost i délku výpočtu a nazývá se v praxi dělicím poměrem. Výhody metody dělení jsou:

- možnost používání přímo změřené snadno ověřitelné hodnoty svítivosti uvedené v katalogovém listu výrobce,
- větší přesnost v případě překážek v místnosti, protože jednotlivé části svítidel mohou být vyhodnocovány samostatně,
- nezávislost na rozměrech svítidla,
- je jednodušší na zadání do databáze

Analytická integrace neboli integrální charakteristiky - metoda spočívá v analytické lineární nebo plošné integraci, tedy v součtu dílčích příspěvků elementárních nekonečně malých částí svítidla. Aby bylo možno metodu použít, musí být známo vyjádření křivky svítidla a to takové, které lze integrovat, protože křivky svítivosti mají zcela obecné a rozličné tvary. Je třeba je nahradit (proložit) náhradními funkcemi. V praxi se s výhodou používá polynomu goniometrických funkcí. Těmto funkcím se po integraci říká integrální charakteristiky. Výhodou této metody je poměrně rychlý výpočet neboť, každé svítidlo se počítá pouze

jedním, i když složitějším výpočetním cyklem

Obě metody používají jeden základní zjednodušující předpoklad - pokládají svítivost všech částí zdrojů světla za konstantní.

Pro přesnost výpočtu osvětlení je nutné počítat též se světlem odraženým od odrazných ploch (stěny, strop, podlaha, předměty) do osvětlovaného prostoru. Pro jednoduchost se nejčastěji uvažuje s tzv. difúzními plochami, jako např. omítky, v případě lesklých ploch musíme počítat s chybou výpočtu. Existují dvě základní metody, jak lze vypočítat jas svítící plochy. První jej získá jako výsledek výše uvedené tokové metody, kdy považujeme jas celé plochy za konstantní, nelze však počítat s jasy stínících předmětů. Druhou je dále popsaná numerická metoda mnohonásobných odrazů.

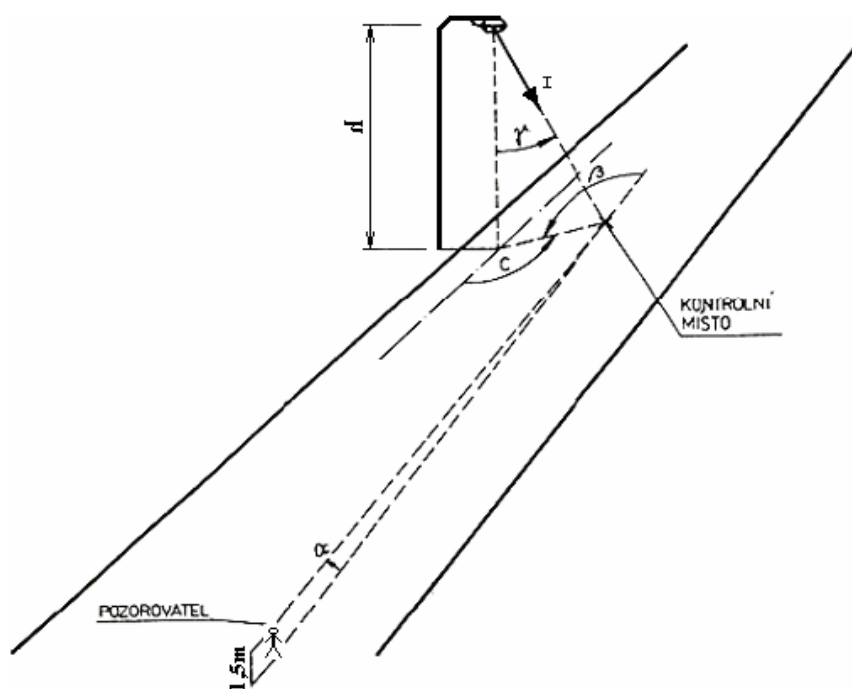
Numerická metoda mnohonásobných odrazů - tato metoda se snaží přiblížit skutečnému fyzikálnímu ději a spočívá v tom, že po prvotním výpočtu přímé složky na elementárních částech odrazných ploch prostoru se ve zvoleném počtu výpočetních cyklů počítají kumulující se příspěvky jednotlivých částí odrazných ploch. Přesnost výpočtu záleží jednak na jak malé elementární části se jednotlivé odrazné plochy dělí a také na zvoleném počtu cyklů. Podle zkušeností se ukazuje, že při třech cyklech je již dosahovaná chyba jen kolem jednoho procenta odražené složky.

Bodová metoda výpočtu horizontální intenzity osvětlení vozovky dle ČSN 36 0400

Má-li řidič rozlišit určitou překážku na vozovce, pak musí mít komunikace jas odpovídající velikosti této překážky. Povrch vozovky se za normálních okolností (suchá vozovka, po minimálně ročním provozu) vyznačuje smíšeným odrazem světla. Při bodovém způsobu výpočtu se počítá intenzita osvětlení, popř. jas povrchu vozovky na srovnávací rovině v poli kontrolních míst, přičemž pro volbu pole kontrolních míst platí tyto zásady:

- pole kontrolních míst pokrývá celou plochu jednoho prvku osvětlovací soustavy (u komunikací směrově rozdělených pouze jednu stranu komunikace),
- v příčném směru je dostačující provést výpočet ve třech kontrolních místech v každém jízdním pruhu,
- v podélném směru, při rozteči světelných míst do 50 m je dostačující provést výpočet v 10 kontrolních místech a při rozteči větší než 50 m smí být rozteč kontrolních míst maximálně 5 m.

Při předepsaném rozmístění kontrolních míst se průměrná hodnota intenzity osvětlení, popř. jas určí jako aritmetický průměr hodnot v jednotlivých kontrolních místech. Horizontální



intenzita osvětlení v kontrolním místě na srovnávací rovině se pak počítá podle vzorce:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \text{ kde } E_i \text{ je}$$

horizontální intenzita osvětlení od i-tého svítidla a n je počet svítidel.

Jednotlivé intenzity jsou dány vztahem:

$$E_i = \frac{I_i}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_i, \text{ kde } I_i$$

je svítivost svítidla ve směru určeném úhly C a γ , h je závěsná výška svítidla a γ_i je úhel mezi normálou srovnávací roviny a daným směrem svítivosti.

Ve výpočtech se používá několik veličin definovaných podle obrázku: γ je úhel který svírá dopadající paprsek s normálou vozovky, β je úhel, který svírá rovina kolmá na vozovku a procházející zdrojem světla a místem dopadu paprsku s rovinou kolmou na vozovku, která prochází kontrolním bodem a okem pozorovatele. Úhel α je úhel, který svírá směr pozorování s rovinou osvětlované plochy. (výška očí řidiče je průměrně 1,5 m nad vozovkou a zrak řidiče se upírá do vzdálenosti 50 - 170 m, pak se úhel mění v rozmezí 0,5 - 1,7° a ve výpočtech se proto uvažuje s konstantní velikostí úhlu $\alpha = 1^\circ$). I je svítivost od zdroje světla směrem ke kontrolnímu místu a h je výška svítidla.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] Z. Hradílek: Elektroenergetika, VŠB-TU Ostrava 1992