

Elektrické světlo KEE/ESV

Lenka Raková

3. přednáška

2015/2016

1

Obsah

- Světelné vlastnosti látek - **dokončení**
- Základní parametry světelných zdrojů
- Fyzikální základy výroby světla

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

2

SVĚTELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

3

Prostup světla

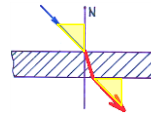
❖ Světelný tok, který projde vrstvou látky je charakterizován

- Způsobem jakým vystupuje do prostoru
- Velikosti činitele prostupu světla - $\tau \in (0; 1)$

Dokonale propustné látky
(vzduch, voda, sklo)

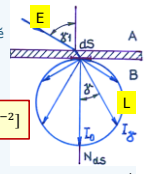
• Přímý prostup

- Čiré či dokonale průhledné látky
- Úhel dopadajícího a vycházejícího paprsku je shodný
- Vycházející paprsek je pouze rovnoběžně posunut



• Rovnoměrně rozptylný prostup

- Procházející paprsek je rovnoměrně rozptýlen v prostředí B do celého poloprostoru
- Jako rovnoměrně rozptylný odraz



$$L = \frac{\tau}{\pi} E \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$$

3. přednáška KEE/ESV

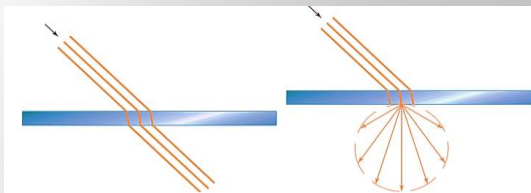
1. března 2016

4

Prostup světla

• Přímý prostup

• Rovnoměrně rozptylný prostup

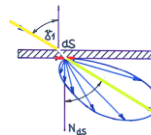


3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

5

Směšený prostup světla a polarizace světla odrazem

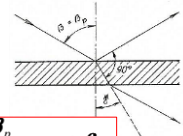


• Smíšený prostup

- Většina materiálů
- Uplatnění **přímého i rozptylného prostupu**
- Čísel je roven součtu jednotlivých čísel prostupu (přímého a rozptylného)

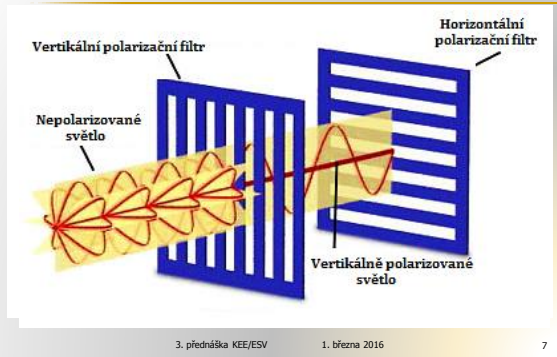
• Polarizace světla odrazem

- Odraz světla na povrchu průhledných látek (např. sklo)
- Při průchodu světla dochází k lomu paprsku a současně k částečnému odrazu



$$\beta + \gamma = 90^\circ \Rightarrow \text{index lomu } n = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \Rightarrow n = \frac{\sin \beta_p}{\sin(90^\circ - \beta_p)} = \text{tg} \beta_p$$

Polarizace světla odrazem a zpětný odraz



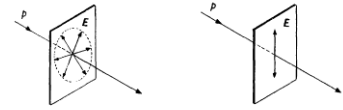
3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

7

Polarizace světla odrazem a zpětný odraz

- Polarizace odrazem je většinou pouze částečná a závisí na úhlu dopadu světla

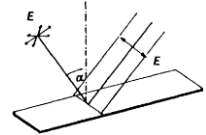


Nepolarizované a polarizované světlo

- Brewsterův (polarizační) úhel**

= úhel při které nastává úplná polarizace

- Závisí na indexu lomu a tím i na vlnové délce, proto nemůže být přirozené světlo odrazem úplně polarizováno.



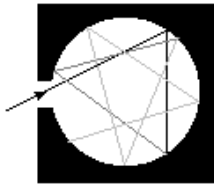
3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

8

Pohlcování světla

- Ztrátová složka** – co nejmenší hodnota
 - Velikost činitele pohlcení světla



© http://fyzika.greischl.com, 2008

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

9

3. přednáška KEE/ESV 1. března 2016

ZÁKLADNÍ PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Elektrické světelné zdroje

- Světelné zdroje SZ** = tělesa vyzařující optické, zpravidla viditelné záření (primární X sekundární, umělé X přírodní) – viz 1. přednáška
- Elektrické světelné zdroje**
 - = přeměňují elektrickou energii na světelnou a jsou základním prvkem každé osvětlovací soustavy
- Neustálý vývoj a zlepšování parametrů SZ:**
 - Nárůst účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou
 - Prodlužování doby života
 - Zlepšování spolehlivosti a kolorimetrických vlastností
 - Rozšiřování výrobního sortimentu
- Pouze teplotní a malá část výbojových zdrojů** vyčerpaly své fyzikální možnosti



klesá jejich podíl v celkovém množství používaných SZ

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

11

Parametry světelných zdrojů

- Konstrukční**
 - rozměry, hmotnost, výška světelného středu, tvar baňky a její optické vlastnosti, typ patice, konstrukce přívodů, aj.
- Elektrické**
 - Příkon světelného zdroje
 - Napětí napájecí sítě a napětí na zdroji
 - Velikost a druh proudu
 - U výbojových zdrojů: zápalné napětí, ztráty v předřadníku, účinek, nábohový proud, zhášecí napětí, atd.
- Světelné technické parametry**
 - Světelný tok a jeho spektrální složení
 - Svitivost a její prostorové rozložení
 - Jas
 - Kolorimetrické vlastnosti

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

12

Hlavní parametry světelných zdrojů

• Život světelného zdroje $T(h)$

= celková doba jeho svícení do okamžiku, kdy je v praxi nepoužitelný nebo se za nepoužitelný považuje

❖ **Užitečný život** = doba během které si **SZ zachová parametry** ve stanovených mezích

❖ **Průměrný život** = časový úsek, během něhož **činitel funkční spolehlivosti** klesne na 50% při referenčních podmínkách.

• **Činitel funkční spolehlivosti** = počet zdrojů, které z celkového množství zkoušených zdrojů zapínáním a vypínáním zůstává ještě funkční

❖ **Fyzický život** = celková doba svícení **do ukončení provozuschopnosti** (např. přerušení vlákna u žárovky)

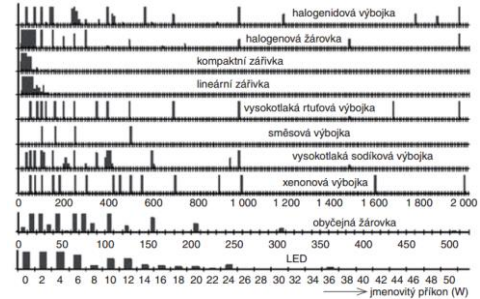
3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

13

Elektrické světelné zdroje – příkon

• Příkon $P(W)$



3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

14

Parametry světelných zdrojů

• Měrný výkon (lm/W)

= jedním z nejdůležitějších ukazatelů jakosti zdroje

• je srovnávacím parametrem jednotlivých typů světelných zdrojů

• charakterizuje jakost přeměny elektrické energie na světelnou

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

• Počáteční světelný tok

= světelný tok měřený na počátku stárnutí světelného zdroje.

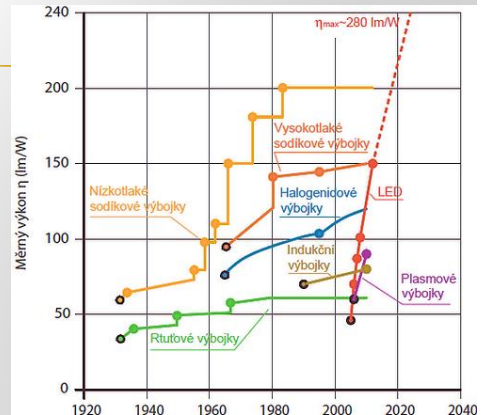
- žárovky po 1h svícení, výbojky po 100 h svícení při referenčních podmínkách

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

15

Elektrické světelné zdroje – měrný výkon



Hlavní parametry světelných zdrojů

Měrný výkon základních skupin světelných zdrojů

| Světelný zdroj | Měrný výkon (lm/W) |
|------------------------------|-------------------------|
| světelný zdroj | 10 až 18 |
| obyčejné žárovky | 20 až 30 |
| halogenové žárovky | 60 až 160 ^{*)} |
| světelné diody (LED) | 20 až 28 |
| směšové výbojky | 40 až 60 |
| vysokotlaké rtuťové výbojky | 60 až 97 |
| indukční výbojky | 40 až 87 |
| kompaktní zářivky | 50 až 104 |
| lineární zářivky | 50 až 130 |
| halogenidové výbojky | 135 |
| sírné výbojky | 70 až 150 |
| vysokotlaké sodíkové výbojky | 100 až 200 |
| nizkotlaké sodíkové výbojky | |

^{*)} Tato skupina světelných zdrojů zaznamenává v posledním období bouřlivý rozvoj, takže lze očekávat, že uváděné hodnoty měrného výkonu budou v krátké době opět významně překonány (v oficiální zprávě firmy CREE z počátku r. 2011 je uvedeno, že u jednotlivých čipů v laboratorních podmínkách bylo již dosaženo hodnoty 230 lm/W).

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

17

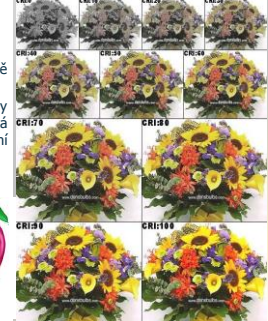
Hlavní parametry světelných zdrojů

Index podání barev $R_a(-)$ = CRI - Color Rendering Index

= kvalita vjemu barev (jak moc věrně vnímáme dané barvy)

- Hodnoty **od 0** (nerozlišujeme barvy vůbec, např. nízkotlaká sodíková výbojka) **do 100** (Slunce a teplotní zdroje)

• Rozlišení 14 barevných vzorků



1. března 2016

18

Hlavní parametry světelných zdrojů

• Teplota chromatičnosti T_c (K)

= teplota černého zářiče, jehož záření má tutéž chromatičnost jako uvažované záření

- pro teplotní zdroje
- barevná jakost vyzařovaného světla



← Utlumuje → Povzbuzuje →

Barevná teplota - teplota chromatičnosti - barva světla žárovek



3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

19

Soustava XYZ

1. března 2016

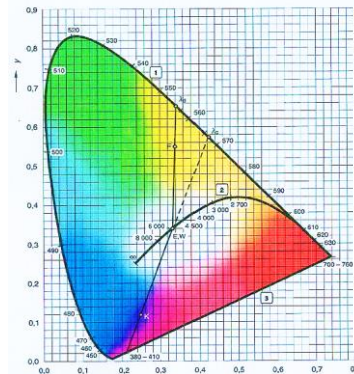


Diagram chromatičnosti mezinárodní kolorimetrické soustavy XYZ v pravotočivých souřadnicích x, y, z :

- 1 - **krivka spektrálních světél** s vyznačenými vlnovými délkami v nm,
- 2 - **čára teplotních zářičů** se stupnicí v kelvinech (K),
- 3 - **přímka purpuru** (spojnice koncových bodů křivky spektrálních světél).

W - bod charakterizující chromatičnost bílého slunečního světla,

F - příklad bodu chromatičnosti světla vzniklého mísením spektrálního světla určeného náhradní vlnovou délkou λ_d s bílým slunečním světlem W,

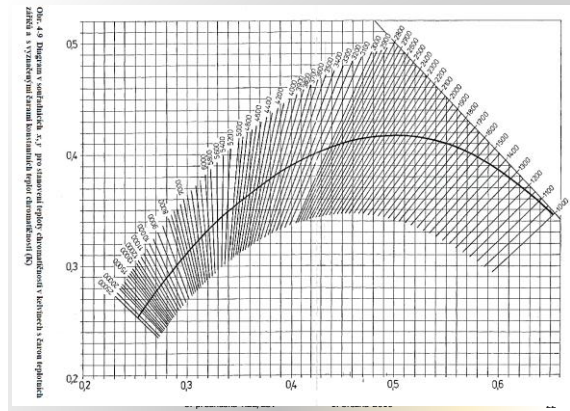
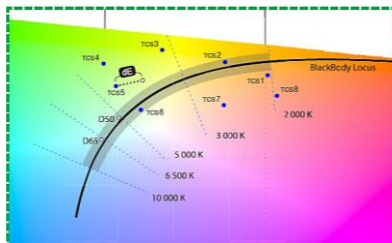
K - příklad bodu chromatičnosti purpurového podnětu, který smísen se spektrálním světlem doplnkové délky λ_c dává bílé sluneční světlo W.

20

Hlavní parametry světelných zdrojů

• Náhradní teplota chromatičnosti (K)

- Pro ostatní světelné zdroje s čárovým spektrem
- Hodnoty leží na kolmicích k čáře teplotních zářičů
- Použití jiné diagramy pro odečet či přepočít (více viz KEE/ES)



Chromatičnost a světelné zdroje

Tab.4.4 Třídění světelných zdrojů podle chromatičnosti světla

| Rozmezí teplot chromatičnosti (K) | Barevný tón světla | světelné zdroje |
|-----------------------------------|--------------------|---|
| < 3300 | teple bílý | žárovky, halogenové žárovky, zářivky (teple bílé), výbojky vysokotlaké sodíkové, halogenidové výbojky |
| 3300 až 5300 | bílý | zářivky (bílé), výbojky rtuťové s lumínoforem, výbojky halogenidové |
| > 5300 | denní | zářivky (denní), výbojky rtuťové čiré, halogenidové výbojky |

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

23

Tab. 16.8. Barevné vlastnosti světelných zdrojů pro osvětlování vnitřních prostorů

| Světelný zdroj | Obrázek | Teplota chromatičnosti T_c (K) | Index podání barev R_a (-) |
|--------------------|---------|----------------------------------|------------------------------|
| žárovka | | 2 700 | 100 |
| halogenová žárovka | | 2 800 až 3 100 | 100 |
| kompaktní zářivka | | 2 700 až 6 500 | 80 až 90 |
| lineární zářivka | | 2 700 až 8 000 | 60 až 98 |
| indukční výbojka | | 2 700 až 4 000 | 80 |

24

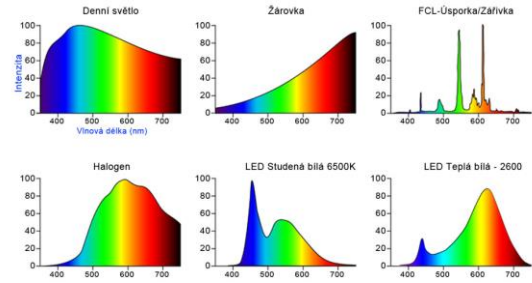
Tab. 16.8. Barevné vlastnosti světelných zdrojů pro osvětlování vnitřních prostorů

| Světelný zdroj | Obrázek | Teplota chromatičnosti T_c (K) | Index podání barev R_a (-) |
|---|---|----------------------------------|------------------------------|
| halogenidová výbojka |  | 3 000 až 5 900 | 60 až 90 |
| rtuťová výbojka |  | 3 200 až 4 200 | 40 až 60 |
| vysokotlaká sodíková výbojka |  | 2 000 | 25 |
| vysokotlaká sodíková výbojka se zlepšeným podáním barev |  | 2 500 | 80 |
| světelná dioda |  | 2 600 až 8 000 | 70 až 90 |

25







Elektrické světelné zdroje

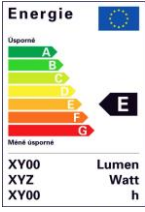
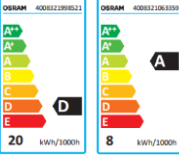
• Spektrum světelných zdrojů



Elektrické světelné zdroje

• Energetický štítek a základní typy patič

| | |
|---------------------------|---|
| malý Edisonův závit (E14) |  |
| Edisonův závit (E27) |  |
| bajonetový uzávěr (B22) |  |
| GU10 |  |
| G9 |  |
| GX53 |  |

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

27

3. přednáška KEE/ESV 1. března 2016

FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY VÝROBY SVĚTLA

28

Fyzikální základy výroby světla

- Fyzikální princip stavby atomů
- Vazebná energie elektronu
 - Atom získá energii → elektron přejde na dráhu s vyšším poloměrem (vyšší energetickou hladinu) – atom ve **výbuzeném stavu** (krátkodobě) → **návrat elektronu** na původní dráhu → **přebytečná energie** se uvolní ve formě **fotonů**
 - Přechod na vnějších vrstvách → **optické záření**

Základní principy výroby světla

- Tepelné buzení látek (inkandescence)
- Elektromagnetická indukce
- Elektrický výboj
- Luminiscence

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

29

Tepelné buzení látek

- Tělesa **s teplotou vyšší než 0 K** vysílají do okolí tepelné záření
- Množství vyzařovaného záření **závisí na teplotě zdroje a schopnosti záření pohlcovat**
 - **nejvyšší emisivitu** má těleso, které pohltí všechnu energii, která dopadne na jeho povrch tzv. **ABSOLUTNĚ ČERNÉ TĚLESO** (zákonů záření absolutně černého tělesa)



Planckův (vyzařovací) zákon

- Závislost spektrální intenzity vyzařování $M_{e\lambda}$ na teplotě zářiče T a vlnové délce záření λ .

$$M_{e\lambda} = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda T} - 1}$$

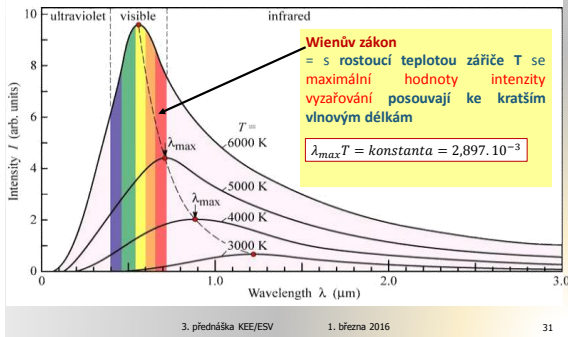
- k – Boltzmanova konstanta
- h – Planckova konstanta

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

30

Tepelné buzení látek



Tepelné buzení látek

Stefan – Boltzmannův zákon

- Určuje celkovou intenzitu vyzařování absolutně černého tělesa
- Intenzita vyzařování se zvyšuje se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářiče

$$M_e = \sigma \cdot T^4 \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2}\text{)}$$

$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ je tzv. **Stefan-Boltzmannova konstanta**

- Povrch teplotního zářiče má vždy nižší spektrální intenzitu vyzařování než absolutně černé těleso

• Spektrální emisivita

$$\epsilon_\lambda = \frac{M'_e \lambda}{M_{e\lambda}}$$

Spektrální hodnota vyzařování skutečného povrchu

Spektrální hodnota vyzařování AČT

3. přednáška KEE/ESV

32

Tepelné buzení látek

Kirchhoffův zákon

- Spektrální emisivita teplotního zářiče se rovná velikosti spektrálního činitele pohlcení pro záření, které dopadá na vyzařující povrch zářiče ve směru vyzařování

$$\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

Spektrální emisivita - hodnoty

- AČT $\epsilon_\lambda = 1$ a je nezávislá na vlnové délce.
- Šedý zářič $\epsilon_\lambda < 1$ konstantní pro všechny vlnové délky.
- Selektivní zářič $\epsilon_\lambda < 1$ závislá na vlnové délce. (kovy)

Tepelné zářiče mají spojité spektrum (přirozené vnímání barev).

Teplotní zářič má mít vysokou emisivitu v oblasti viditelného záření a nízkou pro IČ a

UV záření = selektivní zářiče (nejlepší wolframové vlákno).

Elektrický výboj

- Vedení proudu v plynech, které neobsahují volné elektrony lze uskutečnit **pouze ionizací atomů plynů** (= rozštěpení neutrálních molekul na kladné a záporné ionty). Jinak jsou plyny za **normálních podmínek velmi dobrými izolanty**.

PRVEK Ionizační energie (eV)

| | |
|-------------|------|
| vodík | 13,6 |
| kyslík | 13,6 |
| neon | 21,6 |
| sodík | 5,1 |
| rtuť (páry) | 10,4 |

Cíl = vybuzení atomů plynů a kovových par v elektrickém poli

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

34

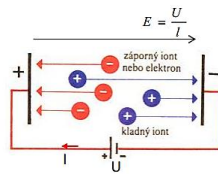
Elektrický výboj

Přenos proudu mezi elektrodami **elektrony, zápornými a kladnými ionty**.

- Iontový proud** - 1% z celkového proudu výboje (velká hmotnost – pomalý pohyb)
- Zvyšujícím se počtem ionizovaných molekul se zvyšuje vodivost plynu → pokud je plyn mezi dvěma opačně nabitými elektrodami → **výboj**
- Záření produkuje především **plazma výboje** (částečně či zcela ionizovaný plyn)

• Látky pro výrobu světla

- Kovové páry – Hg, Na
- Vzácné plyny – Xe, Ar, Kr, Ne, He

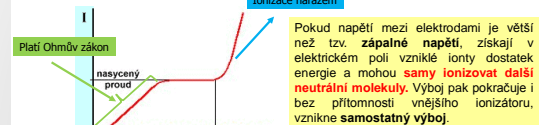


Elektrický výboj

Zápalné napětí U_z = nejmenší potřebné napětí pro vznik výboje

- Závisí na:
 - materiálu a vzdálenosti elektrod
 - teplotě, průměru výbojové trubice, druhu a tlaku náplně
- Narůstá při klesajícím průměru trubice (rekombinace elektronů a iontů na stěnách trubice – omezení jejich podílu na existenci výboje).

• V-A charakteristika výboje

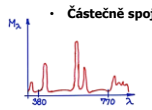
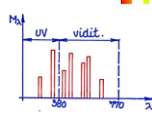
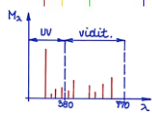


Elektrický výboj – vyzařované spektrum

Vyzařované **spektrum je nespojité** → zkresení barev pozorovaných předmětů

• **Čárové** – látky s atomární strukturou

• **Pásové** – molekuly plynů



Luminiscence

= jev při kterém se **po absorpci** určitého druhu energie **uvolní z pevné látky** určité kvantum světelného záření (**fotony**).

= schopnost molekul určitých látek pohlcovat kvanta s vhodnými kmitočty a pohlcenou energii pak z části vysílat jako viditelné záření (změna vlnové délky)

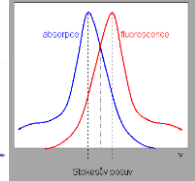
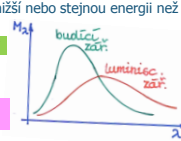
Stokesovo pravidlo

= emitovaný foton má nižší nebo stejnou energii než foton absorbovaný

Kmitočet emitovaného záření

$$h \cdot \nu_b = h \cdot \nu + Q$$

Tepelné ztráty v krystalické mřížce



- Neřídí se zákony tepelného záření neboť probíhá při nízkých teplotách
- Luminiscenční záření je vždy vyšší než tepelné záření dané látky

3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

38

Luminiscence

Rozdělení dle druhu budící energie

- **Fotoluminiscence** – dopad optického záření
 - **Fluorescenci** – pouze během dopadu budící energie
 - **Fosforescenci** – záření i po určité době po ukončení dopadu budícího záření = **dosvit**
- **Elektroluminiscence** – působení elektrického pole (LED)
- **Radioluminiscence** – působení radioaktivního záření (nukleární záření)
 - signalizační světelná zařízení (nevyžadují přívod energie)

Luminofoxy = anorganické látky v krystalickém stavu, ve kterých se uskutečňuje luminiscence



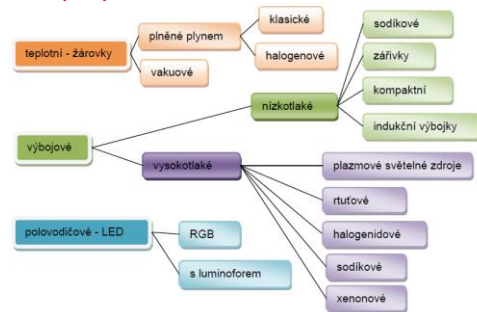
3. přednáška KEE/ESV

1. března 2016

39

Elektrické světelné zdroje

• **Dělení dle principu vzniku světla**



Příště

VLASTNOSTI SVĚTLNÝCH ZDROJŮ

41