

LED a OLED – budoucnost světelné techniky

Ing. Petr Žák, Ph.D./ČVUT FEL Praha



Energetická náročnost

- ☐ legislativní opatření: EU, USA, Austrálie, Čína, Taiwan
- ☐ omezení ne hospodárných světelných zdrojů (měrný výkon, doba života, pokles sv. toku, Ra, obsah Hg)
- ☐ Evropa – Ecodesign (EC 244/2009, EC 245/2009)
- ☐ Důsledky – x (žárovky, rtuťové výbojky, halogenové žárovky)

24.3.2009	CS	Úřední věstník Evropské unie	L 76/17
NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 245/2009 ze dne 18. března 2009,			
24.3.2009	CS	Úřední věstník Evropské unie	L 76/3
NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 244/2009 ze dne 18. března 2009, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2005/32/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign nesměrových světelných zdrojů pro domácnost (Text s významem pro EHP)			
		2005/32/ES, pokud jde o požadavky na intenzivních výbojek a předřadníků výbojek, a kterým se zrušuje směrnice 2000/55/ES p)	

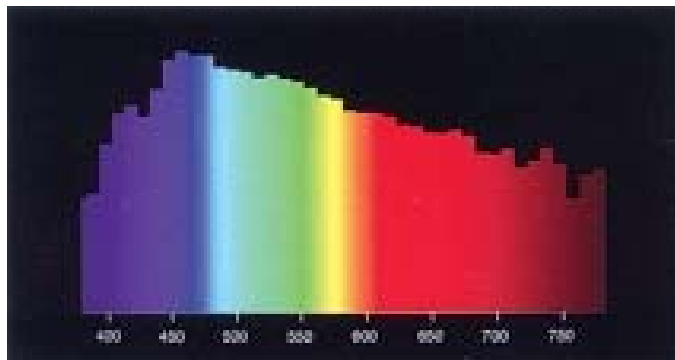


Rozdělení světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování

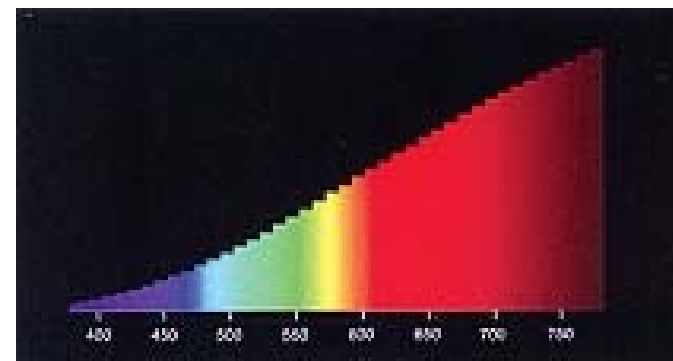


Základní parametry světelných zdrojů

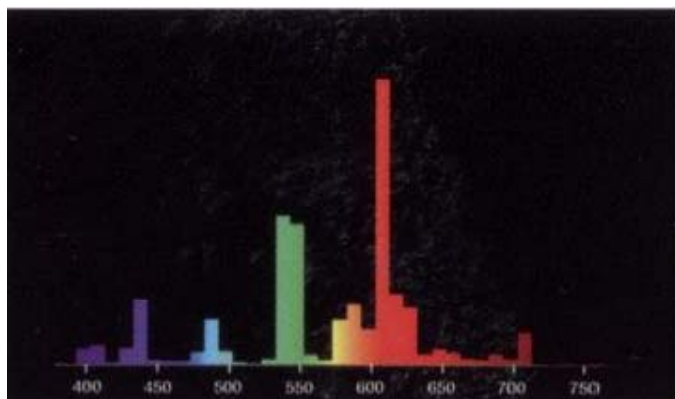
SPEKTRÁLNÍ PRŮBĚH:



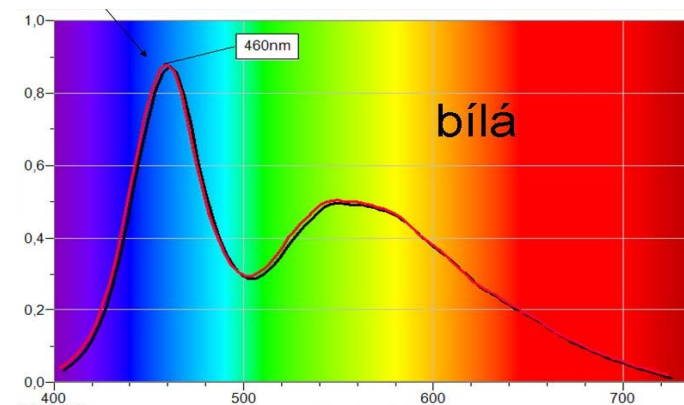
Teplotní zdroj - Denní světlo



Teplotní zdroj – Halogenová žárovka



Výbojový zdroj - zářivka 3000 K



Polovodičový zdroj – LED 4000 K

Základní parametry světelných zdrojů

Světelné technické parametry:

Spektrální průběh: $\Phi_e(\lambda)$

Světelný tok: Φ (lm)

Teplota chromatičnosti: T_{cp} (K)

Index podání barev: R_a (-)

Energetické a provozní parametry:

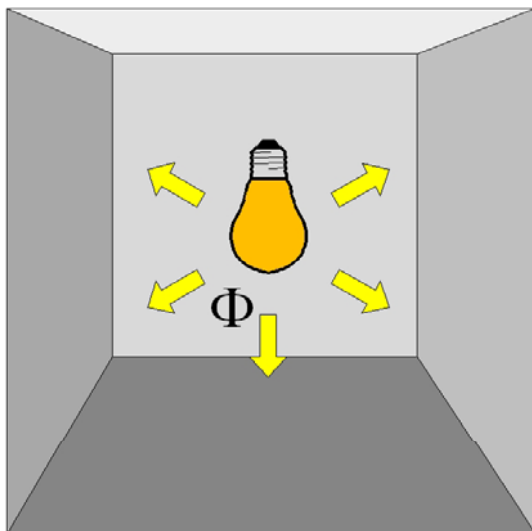
Příkon: P (W)

Měrný příkon: η (lm/W)

Doba života: t (hod)

Udržovací činitel: z (-)

Základní parametry světelných zdrojů



Světelný tok Φ (lm)

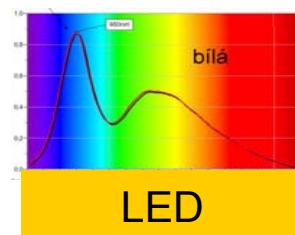
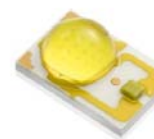
zářivý tok (W) zhodnocený
zrakem podle spektrální
citlivosti oka – neumí
vyjádřit kvalitu světla



1000 lm $\Rightarrow$ 45 W



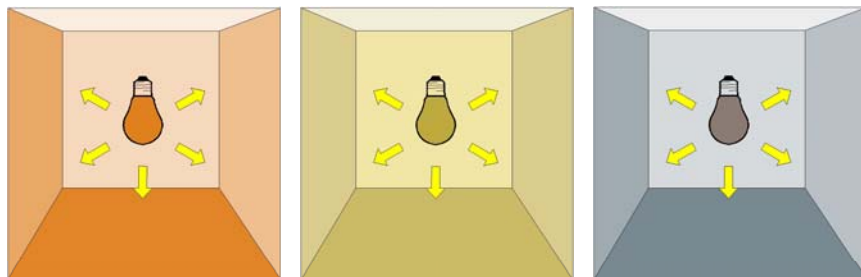
1000 lm $\Rightarrow$ 14 W



1000 lm $\Rightarrow$ 10 W

Využití: vyjádření množství světla vyzářeného světelnými zdroji

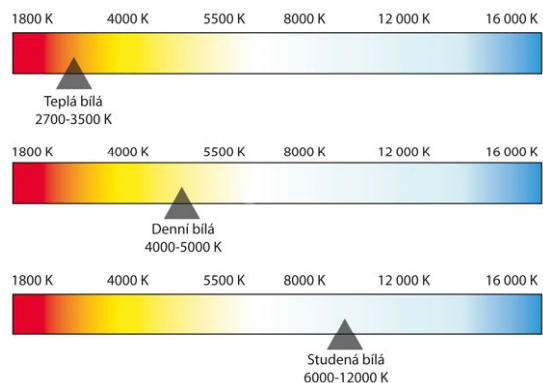
Základní parametry světelných zdrojů



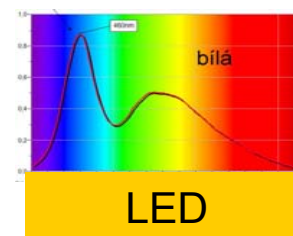
3 000 K

Teplota chromatičnosti T_c (K)

Barevný tón bílého světla.



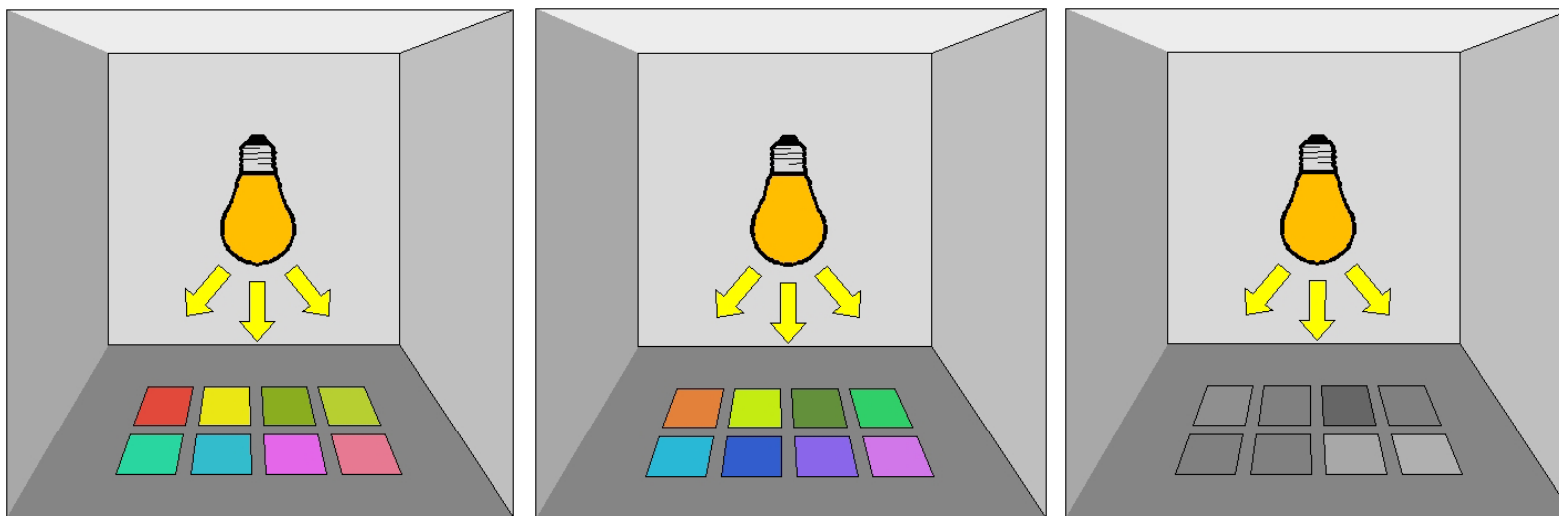
2 700 K– 5 500 K



2 400 K– 8 000 K

Využití: popis barevného tónu světla (chromatičnosti)

Základní parametry světelných zdrojů



Index podání barev R_a (-)

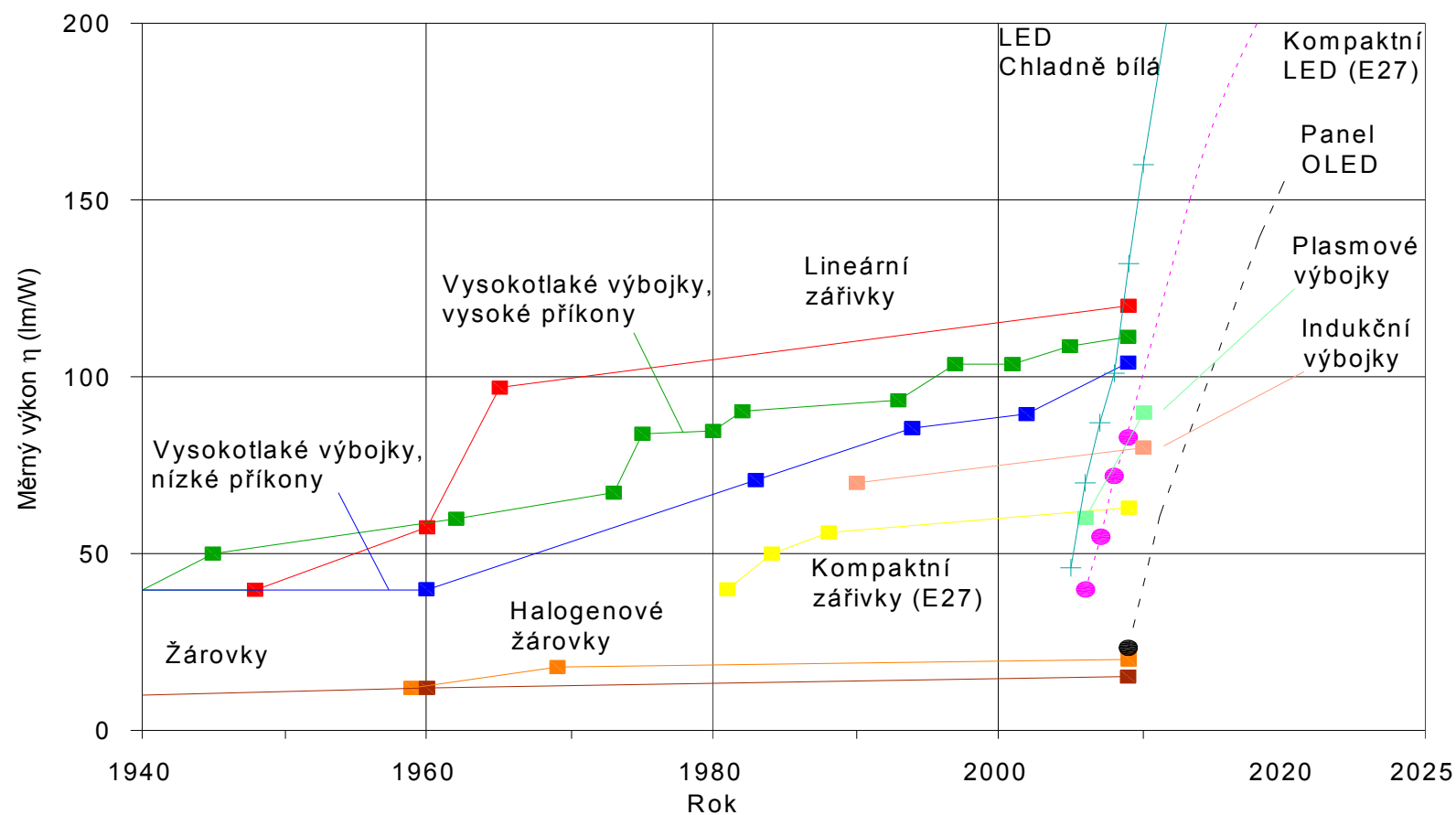
charakterizuje vliv spektrálního složení světla zdrojů na vjem barvy osvětlených předmětů. Věrný vjem barev je v denním světle a ve světle teplotních zdrojů. Věrný vjem barev $R_a = 100$, barvy nelze rozlišit $R_a = 0$

Využití: hodnocení podání barev ve světle posuzovaného světelného zdroje

Základní parametry světelných zdrojů

MĚRNÝ VÝKON:

η (lm/W)



Základní parametry světelných zdrojů

Tab. 1 Orientační hodnoty parametrů vybraných zdrojů pro všeobecné osvětlování

Typová skupina světelných zdrojů	Příkon (W)	Měrný výkon ($lm \cdot W^{-1}$)	Život (h)	Index podání barev R_a	Teplota chromatičnosti (K)
Žárovky klasické	25 - 100	9 - 13	1000	100	2700
Žárovky halogenové	20 - 300	10 - 20	2000 - 3000	100	3000
Zářivky lineární	14 - 80	70 - 100	až 20 000	80 - 98	2700 - 6500
Zářivky kompaktní	5 - 80	50 - 100	až 20 000	80 - 90	2700 - 6500
Výbojky halogenidové	20 - 2000	65 - 100	až 18 000	65 - 90	3000 - 6000
Výbojky Na vysokotlaké	50 - 1000	75 - 150	až 28 000	24	2000
Výbojky Na nízkotlaké	18 - 180	100 - 175	16 000	10 - 20	1700
Bezelektrodové výbojky	35 - 300	50 - 80	~ 60 000	80	2700 - 6500
Světelné diody (LED)	0.01 - 3	100 - 130	~ 100 000	70 - 90	2700 - 6500

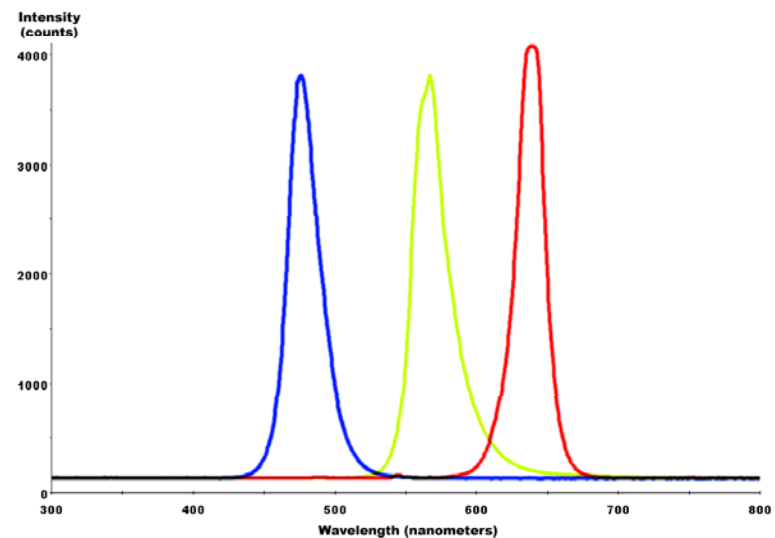
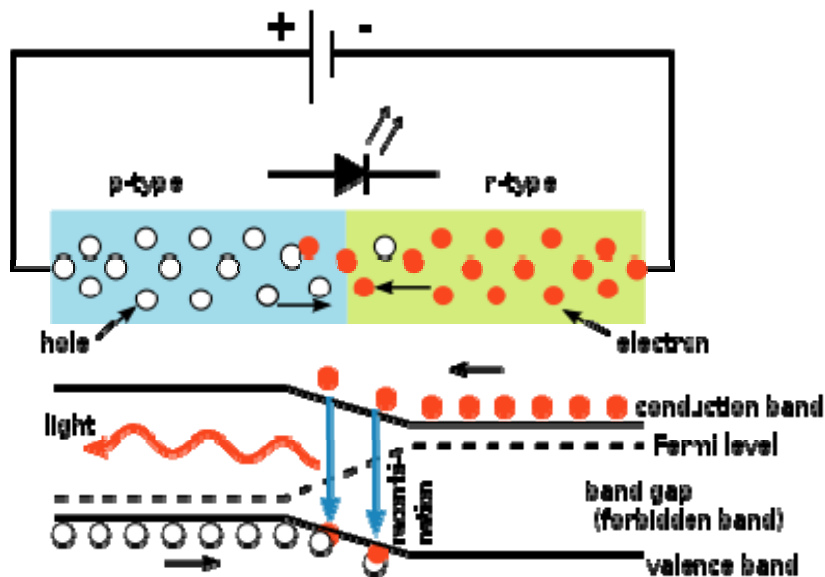
Vývoj LED

Historický vývoj LED

- 1907 – objev elektroluminescence
- 1962 – první světelná dioda – červená (N. Holonyak, GE)
- 1979 – modrá dioda v laboratoři (Nakamura)
- 1993 – modrá dioda (Nakamura, Nichia)
- 1995 – bílá dioda, 20mA , YAG luminofofor (Nichia)
- 1999 – výkonová dioda 350 mA (Lumileds)
- 2005 – 2010: COB LED

Vývoj LED

- ☐ polovodičový PN přechod
- ☐ energetická bariéra
- ☐ úzké pásmo vyzařovaného spektra



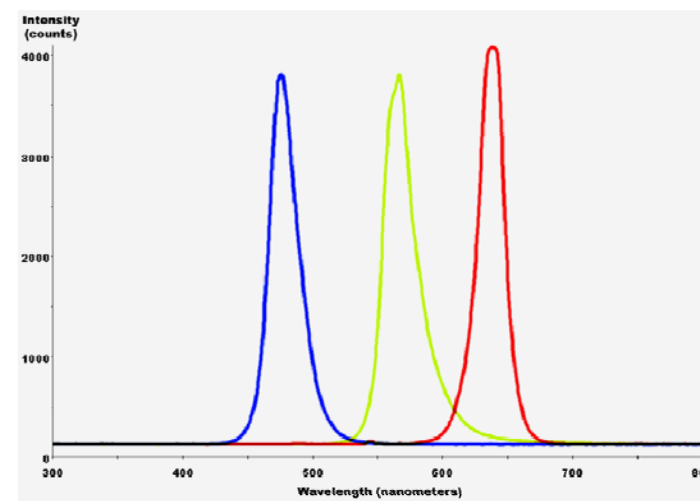
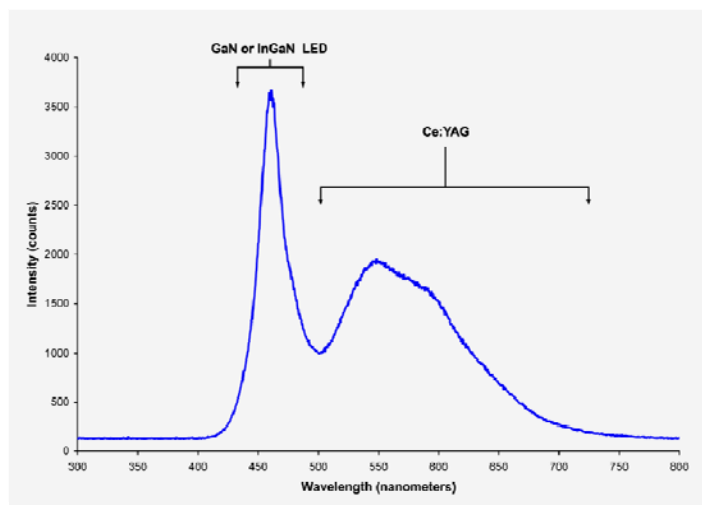
Obr. 10 Spektrum barevných LED

Typy LED

ROZDĚLENÍ SVĚTELNÝCH DIOD PODLE VZNIKU BÍLÉHO SVĚTLA

Modrá LED
+ luminofor

RGB LED



Typy LED

ROZDĚLENÍ SVĚTELNÝCH DIOD PODLE VÝKONU

Standardní
LED



$P = 0.1 - 1 \text{ W}$
 $\Phi = 10 - 100 \text{ lm}$

Lineární a plošné
zdroje světla

Výkonové
HP LED



$P = 1 - 5 \text{ W}$
 $\Phi = 100 - 700 \text{ lm}$

Bodové a lineární
zdroje světla

Vícečipové
COB LED



$P = 5 - 180 \text{ W}$
 $\Phi = 0,7 - 18 \text{ klm}$

Bodové zdroje
světla

Parametry LED

Standardní LED

Využití v lineárních pevných nebo pružných LED modulech a plošných modulech

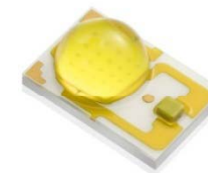


Barva světla	Výrobce	Typ	Parametry		
			$R_a (-)$	$\Phi (lm)$	$\eta (lm/W)$
Chladně bílá	Cree	ML-C	80	31	96
	Osram	DURIS P5	80	36	119
	Sharp	Double dome	80	36	120
	Nichia	NSSW	85	33	107
Neutrálně bílá	Cree	ML-C	80	31	96
	Osram	DURIS P5	80	33	110
	Sharp	Double dome	80	34	114
Teple bílá	Cree	ML-C	80	31	96
	Osram	DURIS P5	80	33	110
	Sharp	Double dome	80	31	105
	Nichia	NSSL	85	30	96

Parametry LED

Výkonové HP LED

Využití ve svítidlech s přesnými optickými systémy pro směrové osvětlení (reflektory, čočky)



Barva světla	Výrobce	Typ	Parametry		
			$R_o (-)$	$\Phi (lm)$	$\eta (lm/W)$
Chladně bílá	Cree	XLM	65	150	154
	Nichia	NS9W	x	151	149
	Citizen	CL-L430	65	144	133
	Osram	Oslon SSL	70	140	130
	Philips	Rebel ES	70	135	129
Neutrálně bílá	Cree	XL-M	75	130	134
	Citizen	CL	80	121	111
	Osram	Oslon SSL	70	130	121
	Philips	Rebel ES	65	130	124
Teple bílá	Cree	XL-M	80	110	113
	Nichia	NS9L	80	124	122
	Citizen	CL	80	113	104
	Osram	Oslon SSL	82	115	107
	Philips	Rebel A	95	97	92

Parametry LED

vícečipové LED (COB)

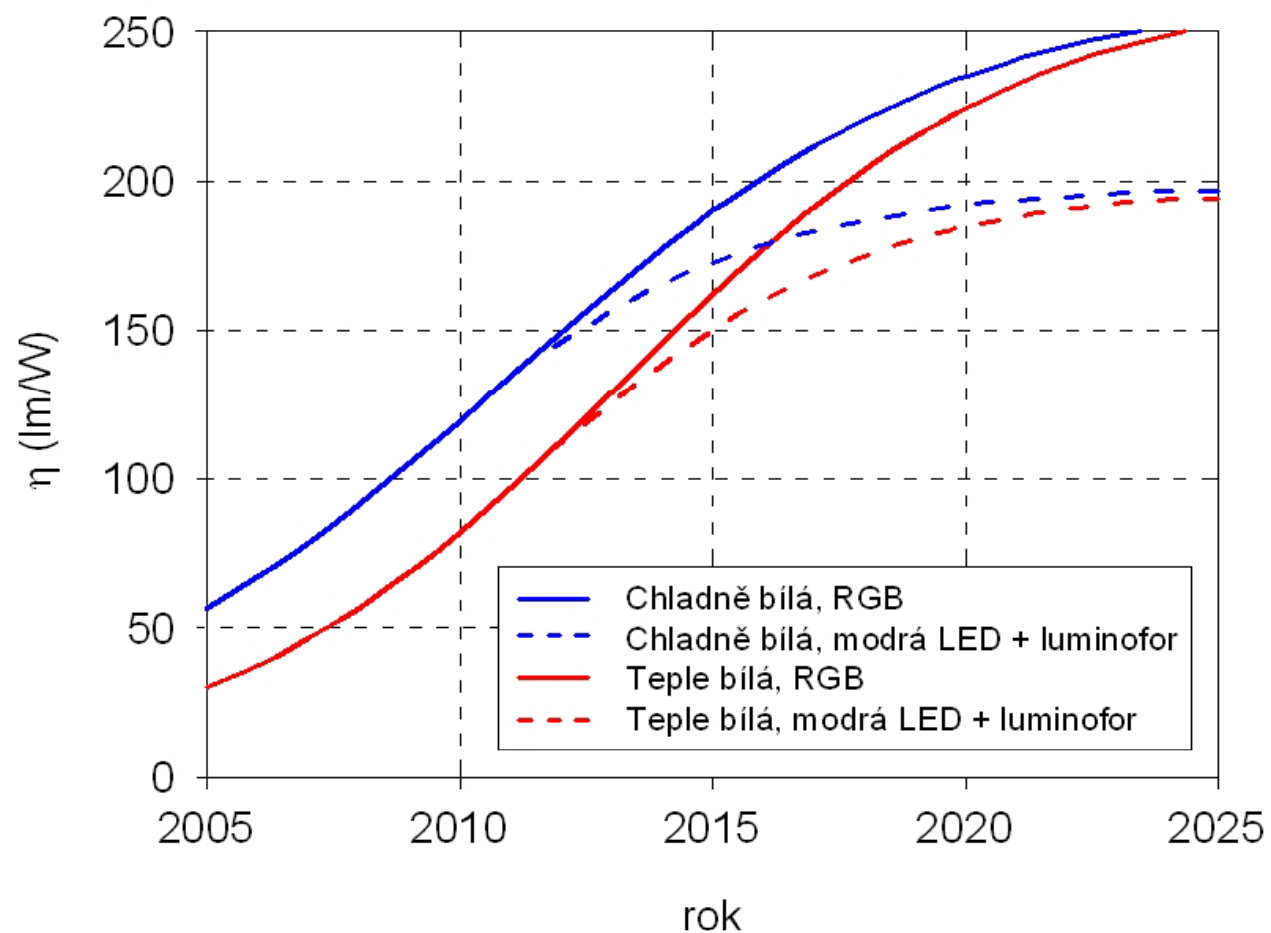
Směrová a přímá svítidla, optický systém - reflektory



Parametry vybraných typů vícečipových diod COB, $R_a > 80$

Barva světla	Výrobce	Typ	1 000 lm		2 000 lm		3 000 lm	
			P (W)	η (lm/W)	P (W)	η (lm/W)	P (W)	η (lm/W)
Neutrálně bílá	Citizen	CLL	7,9	123	16,8	119	24,6	120
	Sharp	Zenigata	10,0	100	26	79	42	71
	Osram	Solericq E	7,5	130	20	118	29,3	110
Teple bílá	Citizen	CLL	7,9	120	17,7	119	26,3	114
	Sharp	Zenigata	11,4	88	26	76	44	68
	Osram	Solericq E	9,0	110	20	100	32	94

Parametry LED



Obr. 7 Odhady vývoje měrného výkonu sériově vyráběných diod, 350 mA (zdroj: DOE, 2013)

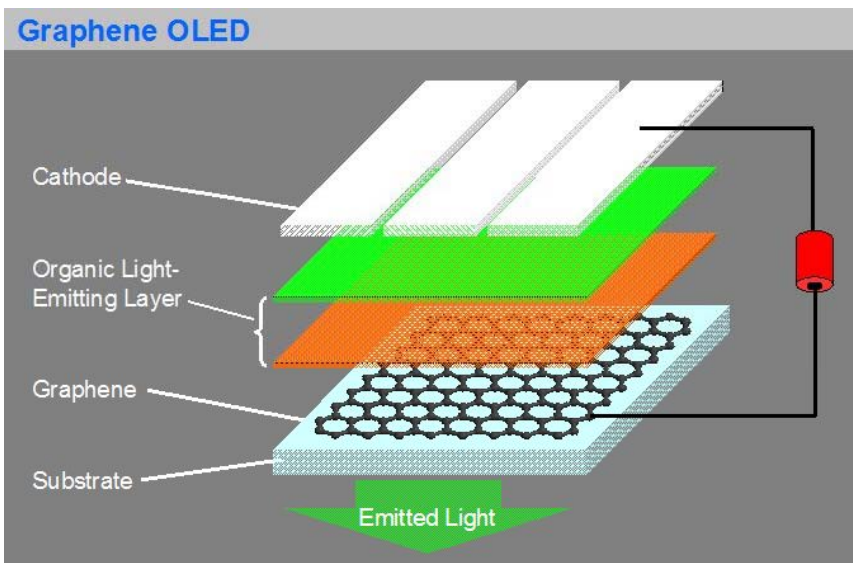
Parametry LED

Prakticky dosažitelné hodnoty měrného výkonu LED v závislosti na teplotě chromatičnosti a indexu podání barev (zdroj: DOE 2012)

T_{cn} (K)	RGB			modrá LED + luminofor		
	R_a (-)			R_a (-)		
	70	85	90	70	85	90
2 700	287	273	264	211	200	196
3 800	273	261	254	199	190	189
5 000	255	245	239	189	182	179

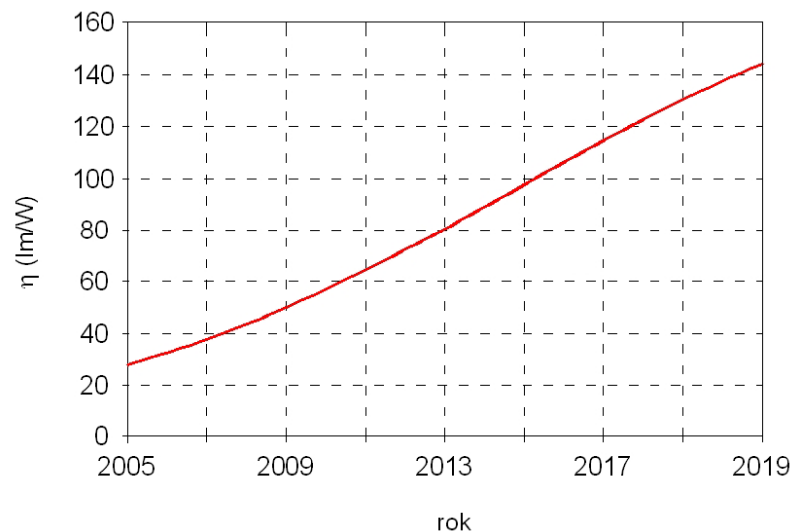
Princip OLED

- ☐ polovodičový zdroj světla
- ☐ plošné zdroje světla
- ☐ kovová katoda, světlo propustná anoda
- ☐ různé typy nosných materiálů pro světlo vyzařující vrstvy

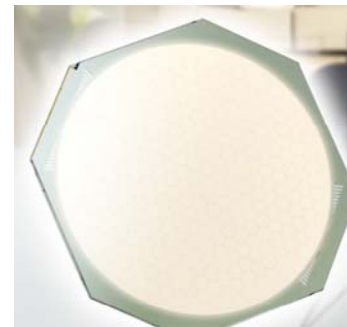


Princip OLED

- ❑ plošné zdroje světla
- ❑ dnes: stadium výzkumu a vývoje
- ❑ testovací sady vzorků
- ❑ sériová výroba typ Orbeos (Osram)
- ❑ 2011 – nové výrobní závody fy. GE, Konica Minolta (56 lm/W), Osram



Odhad vývoje OLED (DOE, 2012)



OLED moduly Orbeos (Osram), Lureon (Tridonic)

Náhrada klasických světelných zdrojů LED zdroji

NÁHRADA KLASICKÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Náhrada klasických světelných zdrojů LED zdroji

- ❑ velké rozšíření žárovkových svítidel $\Rightarrow$ snaha o účinnější náhradu
- ❑ 80. léta 20. století – kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem
- ❑ 90. léta 20. století - indukční výbojky (Thorn Lighting, Intersource Technologies, Matsushita), ale nedošlo ke spuštění výroby
- ❑ 1994 Genura (GE) – indukční světelný zdroj pro náhradu reflektorových žárovek
- ❑ zač. 21. století – rozšíření výroby v Asii (Čína)
- ❑ indukční výbojky v “kompaktním” provedení –
 - tepelný vliv předřadný přístroj x světelný zdroj
 $\Rightarrow$ vliv na dobu života (cca 15 000 h)
 - v porovnání s kompaktními zářivkami výrazně vyšší cena.
- ❑ 2009/2010 – světelné diody pro náhradu žárovek 40 – 60 W (400 – 700 lm)

Náhrada klasických světelných zdrojů LED zdroji

Příklady světelných diod pro náhradu klasických žárovek



Philips



Osram



Sharp



Toshiba

Náhrada klasických světelných zdrojů LED zdroji

Vybrané typy světelných diod pro náhradu klasických žárovek (2012)

Výrobce	Náhrada za žárovku	Příkon P (W)	Světelný tok Φ (lm)	Měrný výkon η (lm/W)	Doba života t (hod)	Index podání barev R_a (-)	Teplota chromatičnosti T_{cp} (K)
Osram	Parathom	12	810	68	25 000	90	2 700
Philips	Master LED bulb	12	806	67	25 000	80	2 700
Sylvania	ToLEDo	10,5	806	77	25 000	80	2 700
GE	GE Energy Smart	13	800	62	25 000	82	3 000
Lighting Science	DNF A19	13,5	800	59	50 000	85	2 700
Philips (USA)	A-Style	10	940	94	30 000	92	2 700
LEDnovation	LEDH-A19	7.8	810	104	50 000	93	2 700

Náhrada klasických světelných zdrojů LED zdroji

Vítěz soutěže L Prize



Porovnání kompaktních zdrojů (2012)

Parametr	Označení	Požadavky soutěže L Prize	Klasická žárovka	Kompaktní zářivka	Kompaktní induční výbojka	Kompaktní LED, Philips
Světelný tok	Φ (lm)	> 900	710	900	750	910
Příkon	P (W)	> 10	60	16	15	9.7
Měrný výkon	η (lm/W)	> 90	11.8	56	50	94
Teplota chromatičnosti	T_{cp} (K)	2 700 - 3 000	2 700	2 700	2700	2 727
Index podání barev	R_a (-)	> 90	100	82	80	93
Doba života	t (hod)	> 25 000	1 000	12 000	60 000	> 25 000

Náhrada klasických světelných zdrojů LED zdroji

SVĚTELNÉ ZDROJE PRO NÁHRADU LINEÁRNÍCH ZÁŘIVEK



Příklady lineárních světelných diod pro náhradu lineárních zářivek

Náhrada klasických světelných zdrojů LED zdroji

Výsledky měření a hodnocení lineárních LED zdrojů, 600 mm, ČVUT FEL Praha (2010)

Ozn.	Hodnocené parametry								
	Příkon			Světelný tok			Měrný výkon		
	$P_{z,k}$ (W)	$P_{z,m}$ (W)	ΔP_z (%)	Φ_k (lm)	Φ_m (lm)	$\Delta \Phi$ (%)	η_k (lm/W)	η_m (lm/W)	$\Delta \eta$ (%)
T06	12.0	11.2	-7%	983	864	-14%	82	77	-6%
T07	12.0	9.1	-32%	859	642	-34%	72	71	-1%
T08	12.0	12.0	0%	983	1007	2%	82	84	2%
T10	9.0	8.2	-10%	557	557	0%	62	68	9%
T11	12.0	11.3	-6%	859	804	-7%	72	71	-1%
T16	9.0	9.2	2%	736	661	-11%	82	72	-14%
T21	12.0	12.9	7%	1050	1097	4%	88	85	-3%
T22	10.0	10.0	0%	800	470	-70%	80	47	-70%
T24	8.0	8.4	5%	800	453	-77%	100	54	-85%
T25	8.0	8.7	8%	700	377	-85%	88	43	-102%

Svítlidla pro světelné diody

SVÍTLIDLA

Svítlidla pro světelné diody

SVĚTELNÉ DIODY

- ☐ bodové zdroje se směrovým charakterem vyzařování;
- ☐ malý jednotkový světelný tok;
- ☐ dlouhá doba života;
- ☐ vysoký měrný výkon (150 lm/W);
- ☐ plynulá regulace světelného toku;
- ☐ dobré až velmi dobré barevné vlastnosti

Aplikační oblasti

- ☐ nouzové osvětlení (nízká hladina osvětlení)
- ☐ místní osvětlení (blízká vzdálenost)
- ☐ směrové osvětlení - VO, směrová svítidla, přímá svítidla bodová
- ☐ celkové osvětlení – převedení bodového zdroje na plošný

Svítidla pro světelné diody

1. Kompaktní zářivky x LED - Downlight (Dolnozářič)

Typ svítidel	Obrázek	Popis	Účinnost	Světelný tok		Příkon svítidla (W)	Měrný výkon svítidla (lm/W)
				sv. zdrojů (lm)	svítidla (lm)		
Downlight		Cloněné podhledové svítidlo pro kompaktní zářivky 2x26W (UGR<19)	64%	3600	2289,6	57	40,2
		Cloněné podhledové svítidlo pro LED 32W (UGR<19)	94%	3000	2817	36,6	77,0

Svítlidla pro světelné diody

1. Kompaktní zářivky x LED - Downlight (Dolnozářič)

Přímá svítidla pro kompaktní zářivky (4000K):

Typový světelný tok	Svítlidlo pro kompaktní zářivky ($\eta = 60\%$)			
	Vzorek	Φ_{sv} (lm)	P_{sv} (W)	η_{sv} (lm/W)
1000 lm	26W	1080	28	39
2000 lm	2x26W	2160	60	36
3000 lm	2x32W	2880	72	40

Svítidla pro světelné diody

1. Kompaktní zářivky x LED - Downlight (Dolnozářič)

Přímá svítidla LED (4000K):

Typový světelný tok	Svítidla pro LED (4 000 K)				
	Vzorek	Φ_{sv} (lm)	P_{sv} (W)	η_{sv} (lm/W)	
1000 lm	A1	1012	13	77	71
	A2	980	18	54	
	A3	1231	15	82	
2000 lm	A6	1840	26	71	66
	A8	2074	32	65	
	A9	2124	34	63	
3000 lm	A11	2700	25	105	86
	A13	2810	49	57	
	A14	2529	27	94	

Svítlidla pro světelné diody

2. Halogenidová výbojka x LED - Spotlight (směrová svítidla)

Typ svítidel	Obrázek	Popis	Účinnost	Světelný tok		Příkon svítidla (W)	Měrný výkon svítidla (lm/W)
				sv. zdrojů (lm)	svítidla (lm)		
Spotlight		Směrové svítidlo pro halogenidovou výbojku 35W, 3000K, F	74%	3400	2514	39	64
		Směrové svítidlo pro LED W, 3000K, F	80%	3000	2397	36,2	66

Svítidla pro světelné diody

2. Halogenidová výbojka x LED - Spotlight (směrová svítidla)

- ☐ úhel poloviční svítivosti: flood (20° - 40°)
- ☐ teplota chromatičnosti: 3 000 K
- ☐ příkon: 20 W HIT

Zdroj	Vzorek	P_{sys} (W)	Φ_z (lm)	η_{sys} (lm/W)
LED	A1	17	870	51
	A2	16	983	61
	A3	17	1000	59
	A4	32	1100	34
	A5	44	1120	25
	A6	28	1747	62
	A7	44	1958	45
HIT	D	23	1700	74

Svítlidla pro světelné diody

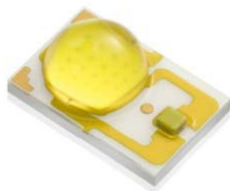
Halogenidová výbojka x LED - Spotlight (směrová svítidla)

Typ svítidel	Obrázek	Popis	Účinnost	Světelný tok		Příkon svítidla (W)	Měrný výkon svítidla (lm/W)
				sv. zdrojů (lm)	svítidla (lm)		
Spotlight		Směrové svítidlo pro halogenidovou výbojku 35W, 3000K, F	74%	3400	2514	39	64
		Směrové svítidlo pro LED W, 3000K, F	80%	3000	2397	36,2	66

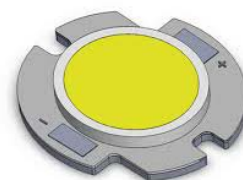
Svítidla pro LED

Halogenidová výbojka x LED - Spotlight (směrová svítidla)

1. HP LED



2. COB LED



Svítlidla pro světelné diody

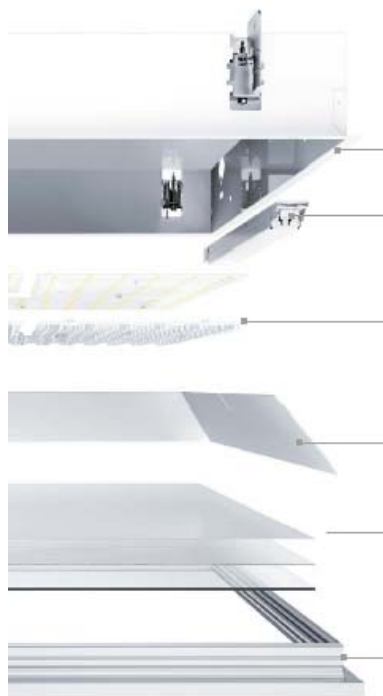
Lineární zářivka x LED - Celkové osvětlení

Typ svítidel	Obrázek	Popis	Účinnost	Světelný tok		Příkon svítidla (W)	Měrný výkon svítidla (lm/W)
				sv. zdrojů (lm)	svítidla (lm)		
Celkové osvětlení		Svítlidlo pro celkové osvětlení T5, 2x28W, 4000K	70%	5 200	3 640	61	60
		Svítlidlo pro celkové osvětlení, LED 44W, 4000K	100%	3 715	3 715	36	103

Svítlidla pro světelné diody

Lineární zářivka x LED - Celkové osvětlení

1. Zadní prosvětlení (standard LED)



1. Boční prosvětlení (Standard LED)



Hlavní problematické oblasti při aplikaci LED

HLAVNÍ PROBLEMATICKÉ OBLASTI LED

1. Nedokončený vývoj (účinnost $\uparrow$, cena $\downarrow$, náhradní díly)
2. Barevné vlastnosti:
 - kvalita podání barev
 - barevná tolerance
3. Teplotní poměry:
 - vliv na barevné vlastnosti
 - vliv na světelný tok
 - vliv na dobu života
3. Časová stabilita:
 - barevné vlastnosti
 - světelný tok
4. Měrný výkon:
 - nedokončený vývoj
 - závislost na T_{cp}
 - závislost na R_a

Svítlidla pro OLED



Děkuji za pozornost