

# Manuál pro vývoj LED svítidel

Tento dokument poskytuje návod a rady pro vývoj svítidel obsahujících výkonové LED diody jako zdroj světla. V textu je uveden jako příklad rozbor návrhu interiérového svítidla ale popsany postup je obecně platný pro vývoj jakéhokoli typu světelného zdroje s LED diodami.

V současnosti jsou již dostupné LED diody (výkonové LED diody), které svou intenzitou, účinností, životností a barevností umožňují použít LED technologii k osvětlení interiéru nebo exteriéru. Díky své vysoké svítivosti již LED diody pronikají i do takových oblastí jako je pouliční osvětlení, osvětlení parkovišť nebo interiérová bodová svítidla. Použití LED svítidel, díky nižšímu odběru elektrické energie a díky vysoké životnosti LED diod oproti konvenčním zdrojům světla, snižuje výrazně provozní náklady na osvětlení. Velmi důležité je rovněž výrazné snížení, případně eliminace, nákladů na servis.



Na světě více než 20 miliard svítidel, z nichž většina obsahuje vláknové, halogenové nebo žárovky nebo kompaktní zářivky. Velká část z tohoto počtu jsou směrová svítidla, ale jsou zde zahrnuty i všesměrové zdroje světla. Například v USA v novostavbách jsou nejčastějším instalovaným světelným zdrojem podhledová zapuštěná svítidla (1). Zpráva Odboru energetiky USA konstatuje, že takové svítidlo v kombinaci s všesměrovým zdrojem světla dosahuje typické účinnosti pouze 50%, to znamená, že polovina vytvořeného světla je ztracena již v samotném svítidle.

V kontrastu s tímto konstatováním již výkonové LED diody samotné nabízejí směrové světlo s životností minimálně 50.000 hodin. Interiérová svítidla navržená tak, aby využila všech výhod LED technologie, nabízejí tyto výhody :

- překonávají účinnost jakéhokoli svítidla s klasickou či halogenovou žárovkou
- výkonem se vyrovnají nejlepšímu směrovému svítidlu s kompaktními zářivkami
- nabízejí 5 až 50 krát delší životnost než konvenční zdroje světla
- snižují zátěž na životní prostředí – žádná rtuť, méně zplodin z elektráren, méně komunálního odpadu

## Obsah

<b>Východiska návrhu .....</b>	<b>2</b>
<b>Proces návrhu .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Definování světelných parametrů .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Definování požadavků na design .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Stanovení účinnosti optického, tepelného a elektrického systému .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Výpočet potřebného množství LED .....</b>	<b>9</b>
<b>5. Posouzení možností a výběr nejlepšího řešení .....</b>	<b>10</b>
<b>6. Závěrečné kroky .....</b>	<b>15</b>
<b>Kde je možno nalézt pomoc .....</b>	<b>16</b>

(1.) U.S. Department of Energy, Energy Efficient and Renewable Energy. LED Application Series : Recesses Downlights

## Východiska návrhu

### Svítilno nebo žárovka ?

Zakomponovat LED diody do návrhu osvětlení znamená rozhodnout se mezi navržením kompletního svítidla postaveného na bázi LED technologie, nebo použít LED žárovky v již existujícím svítidle. Obecně platí, že nově navržené svítidlo bude mít vždy lepší optické, tepelné a elektrické vlastnosti než LED žárovka. Je na vývojáři, aby rozhodl, zda je pro aplikaci důležitější vyšší výkon nového svítidla, nebo jednoduchost spočívající v pouhé náhradě klasické žárovky LED žárovkou.

### Stávající svítidla jako cíl

Pokud je pro aplikaci výhodnější návrh nového svítidla, které má nahradit stávající světelný zdroj, pak jeho vývoj má mnohé výhody. Existující svítidlo má již optimalizované parametry pro danou aplikaci a může tak poskytnout vodítko pro stanovení základních parametrů, které musí nový návrh splňovat jako jsou světelný výkon, cena nebo oblast použití. Rovněž design existujícího svítidla je již všeobecně akceptován. Jestliže vzhled i vlastnosti nového svítidla budou stejné, pak pro koncového uživatele bude přechod na LED osvětlení mnohem jednodušší.

Bohužel, někteří výrobci LED svítidel pozměňují nebo zveličují údaje o účinnosti a životnosti LED diod. Světelný průmysl zažil podobnou situaci v počátcích kompaktních zářivek. Absence norem a velký rozptyl parametrů prvních komerčních výrobků měly za následek několikaleté zpoždění nástupu technologie kompaktních zářivek. Úřady v USA ve snaze zabránit podobnému problému v případě LED svítidel zřídily komerční program, který anonymně testuje a ověřuje parametry LED svítidel uváděné jejich výrobci. Testovány jsou čtyři následující parametry:

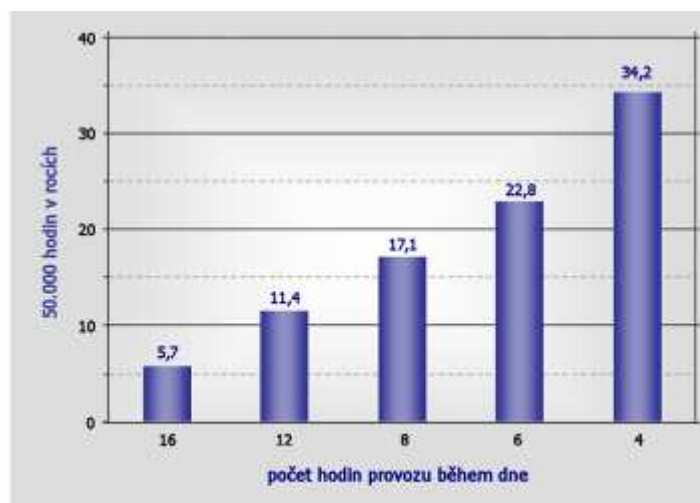
- světelný tok svítidla (lm)
- účinnost svítidla (lm/W)
- barevná teplota (K)
- index barevného podání

Výhodou tohoto přístupu je pro LED svítidla, která soustředí všechny využitelný světelný výkon do potřebného směru, že jsou hodnoceny parametry svítidla jako celku, nikoli pouze samotných světelných zdrojů.

### Koncept žárovky může být zastaralý

Dlouhá životnost LED světelných zdrojů může odsunout do pozadí tradiční žárovky. Výkonové LED diody vykazují několikanásobně nižší poruchovost než žárovky a nabízejí provozní životnost až 50.000 hodin, než jejich světelný výkon poklesne pod 70% počáteční hodnoty. To je 5,7 let nepřetržitého provozu !

Ve skutečnosti je však většina svítidel pravidelně vypínána. Doba, po kterou je svítidlo vypnuto, může prodloužit životnost LED až na 30 let, jak ukazuje graf 1. Po takové době bude již LED technologie s největší pravděpodobností opět o velký kus dál a bude nabízet nová řešení, vyšší jas, vyšší účinnost a další úspory.



Graf 1 - Co představuje 50.000 hodin v praxi

LED technologie představuje také mnohem menší zátěž životního prostředí, životnost 50.000 hodin nepřetržitého provozu LED svítidla mimo jiné znamená:

- 25x méně vláknových žárovek vyhozených na skládky a 5 krát méně spotřebované energie (asi 50% energie vyrobené v USA pochází z uhelných elektráren vypouštějících splodiny do ovzduší)
- nebo 5x méně kompaktních zářivek zaslaných k recyklaci

## Proces návrhu

Tabulka 1 shrnuje obecný postup pro návrh LED svítidla. Zbytek tohoto dokumentu pak detailně rozebírá jednotlivé body na příkladu návrhu LED svítidla jako náhrady 23W stropního svítidla s kompaktní zářivkou. Postup je samozřejmě aplikovatelný pro všechny typy svítidel.

Krok	Popis
1. Definujte světelné parametry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cíle návrhu mohou vycházet z vlastností stávajících prvků a nebo z požadavků světelné aplikace.</li> </ul>
2. Definujte požadavky na design	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design svítidla by měl být v souladu se světelnými požadavky aplikace.</li> <li>• Návrhář by měl specifikovat i dodatečná omezení, která mohou ovlivnit výsledný tvar a vzhled svítidla, jako například speciální požadavky na distribuci světelného toku či schopnost vydržet vysoké teploty.</li> </ul>
3. Stanovte účinnost optického, tepelného a elektrického podsystemu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Designové požadavky omezují optické, tepelné a elektrické vlastnosti celého svítidla.</li> <li>• Na základě znalostí těchto omezení je možno učinit dobrý odhad účinností každé z částí.</li> <li>• Kombinace světelných požadavků a účinností jednotlivých částí vede k určení počtu LED ve svítidle.</li> </ul>
4. Vypočtete potřebný počet LED	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Na základě požadavků na design a odhadovaných ztrát je možno určit počet LED, které jsou potřeba ke splnění požadavků na svítidlo.</li> </ul>
5. Vezměte v úvahu všechna možná řešení a vyberte nejlepší	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jako při každém návrhu existuje více možností dosažení cíle.</li> <li>• LED v osvětlení je stále ještě v počátcích a předpoklady platné pro konvenční zdroje světla nemusí fungovat pro návrh LED svítidel.</li> </ul>
6. Závěrečné kroky	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Navrhněte plošný spoj.</li> <li>• Otestujte vybraná řešení na prototypch.</li> <li>• Ujistěte se, že návrh splňuje všechny požadavky.</li> <li>• Použijte prototyp k dalšímu zdokonalení svítidla.</li> <li>• Zaznamenejte si postřehy a nápady pro další vylepšení.</li> </ul>

Tabulka 1 – Postup návrhu svítidla s výkonovými LED diodami

## 1. Definování světelných parametrů

LED svítidlo musí splnit nebo překročit světelné požadavky aplikace. Z toho důvodu je třeba definovat tyto parametry ještě před návrhem designu. V některých případech existují normy, které tyto parametry přesně předepisují. V jiných případech je možno vyjít z parametrů existujícího svítidla.

Tabulka 2 obsahuje důležité parametry, které je nutno vzít v úvahu při popisu svítidla. Světelný tok a příkon svítidla jsou vždy kritické. Ostatní parametry již tak významné být nemusí a jejich důležitost je závislá na konkrétní aplikaci.

Kritické parametry pro každý komponent je možno najít v katalogových listech výrobců. Potenciálně důležité parametry jsou více subjektivní a katalogový list je nemusí obsahovat. V takovém případě je charakteristika svítidla na návrháři.

Obrázek 1 popisuje kritické parametry na příkladu stropního svítidla s kompaktní zářivkou.

Tabulka 3 (na další straně) obsahuje kompletní výčet parametrů daného svítidla, ze kterých při návrhu chceme vyjít.

Důležitost	Veličina	jednotka
Kritická	Světelný výkon	lumena (lm)
	Vyzařovací úhel	steradián (sr)
	Elektrický příkon	watt (W)
Potenciálně důležité	Estetická kritéria	
	Cena	
	Doba života	hod
	Teplotní odolnost	°C
	Vlhkostní odolnost	%
	Barevná teplota	kelvin (K)
	CRI	
	Vyrobitelnost	
	Jednoduchost instalace	
Typ svítidla		

Tabulka 2 – Důležité charakteristiky výsledného svítidla



Obrázek 1 – Příklad kritických parametrů - zářivkové stropní svítidlo

	Veličina	Jednotka	Hodnota
Zářivka	Technologie		zářivka
	Světelný výkon	lm	1.500
	Příkon	W	23
	Účinnost	Lm/W	65
	Doba života		10.000
	Průměrná prodejní cena		6\$
Svítilno	Koeficient využití světla	%	54
	Světelný výkon	lm	810
	Příkon (včetně zdroje)	W	23
	Účinnost	W/lm	35
	Průměrná prodejní cena		20\$

Tabulka 3 – Příklad charakteristiky zářivkového svítidla

## 2. Definování požadavků na design

Když máme definovány požadavky na světelné parametry, můžeme přistoupit k volbě tvaru a vzhledu svítidla. Ten je do značné míry ovlivněn požadavky na výsledný světelný tok a spotřebu. Ujistěte se, že jste do návrhu svítidla zahrnuli a vzhledu i další požadavky, které mohou být pro konečnou aplikaci důležité, jako je prostředí, do kterého je svítidlo určeno, cena komponentů a životnost.

Tabulka 4 obsahuje soupis požadovaných parametrů pro náš příklad.

Veličina	Jednotka	Hodnota	Poznámka
Světelný výkon	lm	810	
Vyzařovací úhel	sr		stejný úhel, odpovídající nebo větší svítivost
Příkon (včetně zdroje)	W	23	
Účinnost	lm/W	35	
Doba života	hod	50.000	
Barevná teplota	K	4.000	
CRI		75	
Průměr	cm	15	komerční budovy s odvětranými stropy
Maximální teplota okolí	°C	55	
Materiálové náklady		50\$	

Tabulka 4 – Definování požadavků při náhradě zářivkového stropního svítidla

### 3. Stanovení účinnosti optického, teplotního a elektrického subsystému

Jedním z nejdůležitějších parametrů návrhu je počet LED, které potřebujeme ke splnění požadavků na svítidlo. Rozhodnutí o vzhledu svítidla závisí na počtu LED, neboť ten přímo určuje světelný tok, spotřebu a cenu svítidla.

Nabízí možnost se počítat potřebný počet LED z typického světelného toku uvedeného v katalogovém listě LED. Tento postup je však příliš zjednodušující a vede k návrhu, který nebude splňovat požadavky světelné aplikace.

Světelný tok LED závisí na mnoha parametrech jako jsou proud a teplota přechodu. Abychom správně určili potřebný počet LED je nezbytné nejdříve spočítat účinnost optického, tepelného a elektrického podsystému. Předchozí zkušenost nebo údaje uvedené v tomto dokumentu mohou pomoci při stanovení těchto hodnot. Tato část rozebírá postup stanovení ztrát v každém z těchto podsystémů.

#### Optická účinnost





Je možno ji určit zkoumáním světelných ztrát. Jsou dva hlavní zdroje těchto ztrát, které je třeba stanovit :

##### 1. Přídavná optika

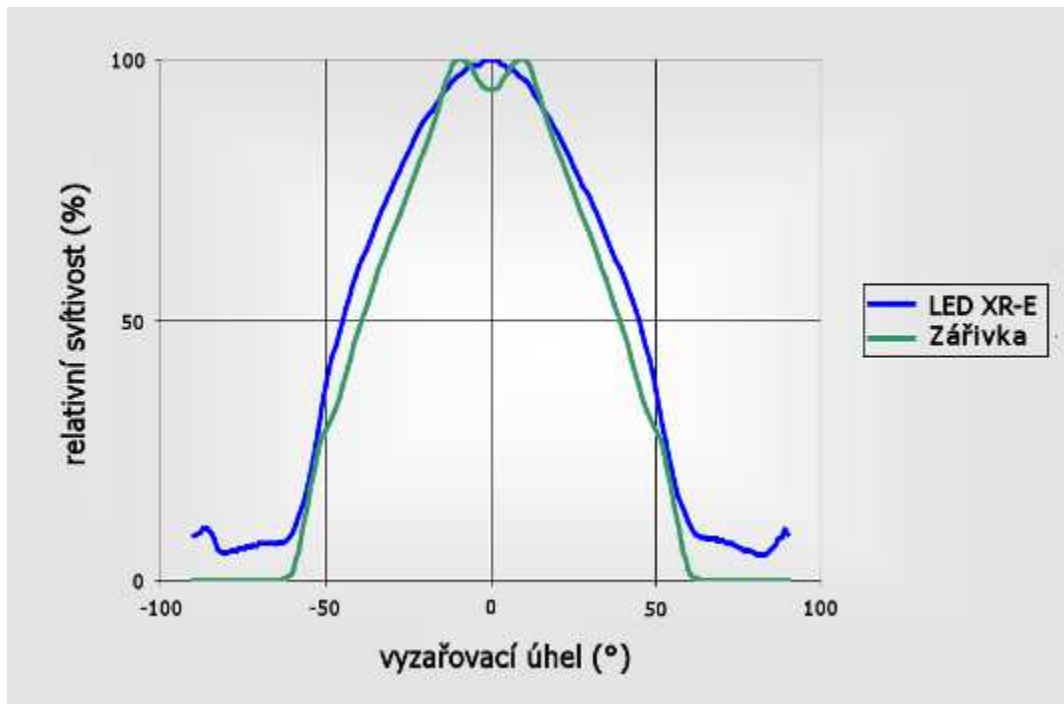
Má se na mysli jakýkoli optický systém, který není součástí LED, jako čočka nebo difuzor umístěné na LED. Tato ztráta se mírně liší v závislosti na použitém optickém komponentu. Typická účinnost těchto elementů je 85% až 90%.

##### 2. Světelná ztráta uvnitř svítidla

Nastává, pokud se paprsky ze zdroje nejdříve odráží od svítidla než dopadnou na plochu, kterou mají osvětlit. Účinnost svítidla závisí na umístění světelného zdroje, tvaru svítidla a použitém materiálu. Obrázek 2 ukazuje, jak směrová charakteristika vyzařování LED umožňuje dosáhnout daleko vyšší účinnosti svítidla, než je to možné při použití všesměrového zdroje světla.

Světelný zdroj	Účinnost světelného zdroje	Koeficient využití světla	Účinnost celkem
Zářivka	 65lm/W	 54%	35lm/W
POWER LED CREE XRE bílá- denní světlo	 58lm/W	 77%	44lm/W

Obrázek 2 – Porovnání efektivity zářivky a LED diody



Graf 2 – Světelný výkon podle vyzařovacího úhlu pro zářivku a LED XR-E

V našem příkladu nastane ztráta v přídavné optice pouze v případě, že si aplikace vyžaduje její použití. Hlavním úkolem přídavné optiky je tvarování světelného kužele LED. Graf 2 srovnává vyzařovací charakteristiky LED Cree XR-E s požadovaným světelným kuželem navrhovaného svítidla. Kužel samotné LED je natolik podobný požadovanému tvaru, že použití přídavné optiky není nutné. Ztráta v přídavné optice je tedy nulová.

Při počítání světelné ztráty uvnitř svítidla uvažujeme 85% odrazivost povrchu reflektoru a skutečnost, že na reflektor dopadne 60% vyzařeného světelného toku. Světelná účinnost svítidla tedy bude:

Zářivkové svítidlo :	optická účinnost = (100% x 40%) přímé světlo	+	(85% x 60%) odraz od reflektoru
LED svítidlo :	optická účinnost = 91%		LED svítí přímo téměř v požadovaném vyzařovacím úhlu

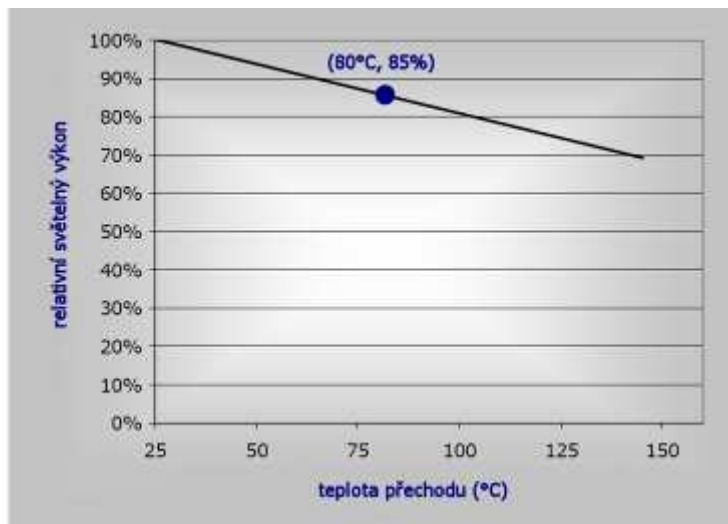
## Tepelná ztráta

Světelný tok LED klesá s rostoucí teplotou přechodu ( $T_j$ ). Většina katalogových listů uvádí světelný tok pro  $T_j = 25^\circ\text{C}$ , ale ve většině aplikací je tato teplota vyšší.

V takovém případě je potřeba určit světelný tok z grafu v katalogovém listu uvádějící vztah mezi teplotou přechodu a relativním světelným tokem, jak je znázorněno v grafu 3. Podle znalosti hodnoty, která je pro nás prioritní odečteme druhou charakteristiku.

V našem příkladu s kompaktní zářivkou je svítidlo určeno pouze pro komerční účely do budov s větraným stropem. Návrh proto upřednostňuje výsledný světelný tok, účinnost a životnost.

LED Cree XR-E nabízí svítivost 70% počáteční hodnoty po 50.000 hodinách provozu za předpokladu, že teplota přechodu je maximálně  $80^\circ\text{C}$ . Proto stanovíme maximální povolenou teplotu přechodu na  $80^\circ\text{C}$  a z grafu odečteme, že této hodnotě odpovídá relativní světelný tok 85%. Toto je hledaná účinnost tepelného podsystemu pro náš příklad.



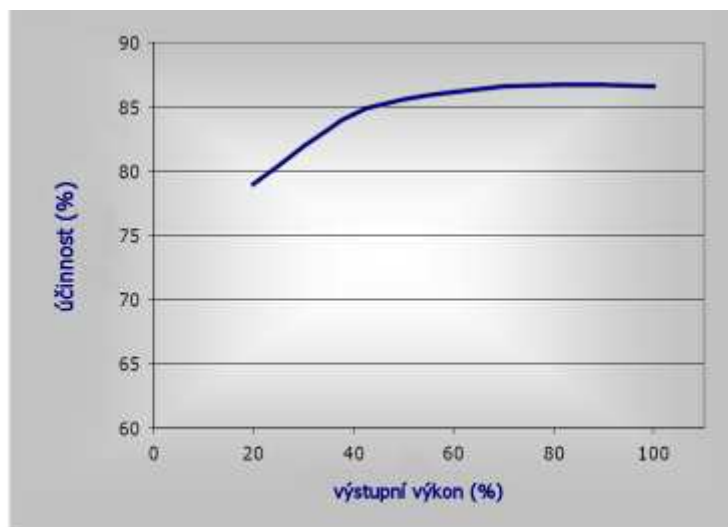
Graf 3 – Příklad závislosti relativní svítivosti na teplotě přechodu pro bílou LED XR-E

## Elektrické ztráty

Napájecí zdroje pro LED konvertují vstupní energii (ze sítě či baterií) na konstantní proud. Jako u každého konvertoru, ani tyto nepracují se 100% účinností. Elektrické ztráty ve zdroji snižují účinnost svítidla neboť převádějí část energie namísto ve světlo v teplo. Také tyto ztráty je třeba vzít v úvahu již na samotném začátku navrhování LED systému.

Typické LED napáječe pracují s účinností 80% až 90%. Zdroje s účinností nad 90% jsou již z dražší kategorie. Je třeba také vzít v úvahu, že u některých zdrojů závisí účinnost na zátěži, jak ukazuje graf 4. Zdroje by měly být navrženy tak, aby pracovaly se zátěží nad 50%, abychom dosáhli co nejvyšší účinnosti a co nejnižší ceny.

Pro vnitřní osvětlení je dobrý odhad účinnosti zdroje 87%. Napáječe pro venkovní použití nebo napáječe s velmi dlouhou životností budou mít pravděpodobně účinnost nižší.



Graf 4 – Příklad závislosti účinnosti zdroje pro LED na výstupním jeho zatížení



Tabulka 5 shrnuje všechny účinnosti - optickou, tepelnou a elektrickou - pro náš příklad:

Systém	Účinnost	Typ
Optický	91%	světlo
Tepelný	85%	světlo
Elektrický	87%	výkon

## 4. Výpočet potřebného počtu LED

### Skutečná potřeba lumenů

Poté, co jsme stanovili potřebné účinnosti, můžeme spočítat jaký celkový světelný tok LED diod potřebujeme pro dosažení požadovaného světelného toku svítidla. Pro tento výpočet použijeme jen optickou a tepelnou účinnost. Elektrická účinnost ovlivňuje pouze celkový odběr svítidla, ne jeho světelný výkon. Výpočet je uveden níže:

Skutečná potřeba lumenů = zadaný počet lumenů / (optická účinnost x tepelná účinnost)  
 Skutečná potřeba lumenů = 810 / (91% x 85%)  
 Skutečná potřeba lumenů = 1.050 lm

### Pracovní proud

Další rozhodnutí, které musíme učinit, je stanovit pracovní proud LED, neboť ten hraje důležitou roli v celkové účinnosti svítidla a jeho životnosti. Zvýšení pracovního proudu znamená zvýšení světelného toku jednotlivých LED a tím také menší celkový počet LED. Rovněž to ale přináší i nevýhody viz tabulka 6. Záleží na konkrétní aplikaci, jestli kvůli vyššímu optickému výkonu jednotlivých LED diod budeme tyto nevýhody akceptovat.

V našem příkladu jsou prioritami životnost a účinnost. Z tohoto důvodu volíme co nejnižší pracovní proud uvedený v katalogovém listu pro LED Cree XR-E, tj. 350 mA.

Nevýhody	Vysvětlení
Snížení účinnosti	Účinnost převodu elektrické energie na světlo klesá s rostoucím proudem. K vytvoření stejného světelného toku je třeba dodat více energie.
Snížení maximální teploty okolí NEBO Snížení životnosti	Zvýšení proudu má za následek zvýšení teplotního rozdílu mezi teplotou přechodu LED a její tepelnou cestou. Jelikož jsme již teplotu přechodu zvolili, znamená tato skutečnost snížení maximální povolené teploty v okolí LED. Pokud nesnížíme povolenou teplotu okolí, zvýší se teplota přechodu, což vede ke snížení životnosti LED.

Tabulka 6 – Nevýhody použití velkých proudů u LED svítidel

## Počet LED

Po volbě hodnoty pracovního proudu můžeme počítat se světelným tokem jednotlivých LED diod. Protože jsme tepelnou ztrátu již zahrnuli do výpočtu celkového potřebného světelného toku LED, můžeme přímo použít údaj uvedený v dokumentaci výrobce LED bez další interpretace.

Pro tento výpočet je důležité použít minimální hodnoty uváděné výrobcem a ne hodnoty typické. Většina výrobců LED diod je prodává s hodnotami na minimální hranici dané třídy. Pokud náš výpočet vztáhneme k této minimální hodnotě, máme jistotu, že všechna svítidla vyrobená z LED dané třídy splní podmínky zadání.

V našem příkladu použijeme LED Cree XR-E s barevnou teplotou 4000K a minimálním světelným tokem 67,2 lm (třída P2) při proudu 350 mA. Výpočet potřebného počtu LED je uveden níže.

**Počet LED = skutečná potřeba lumenů / lumenů z jedné LED**

**Počet LED = 1.050 lm / 67,2 lm**

**Počet LED = 16**

## 5. Posouzení možností a výběr nejlepšího řešení

Dalším krokem po spočtení počtu LED diod je výběr nejlepšího z možných řešení, které vedou ke splnění vstupních požadavků. Jelikož LED diody mají malé rozměry a životnost mnohonásobně převyšující tradiční zdroje světla, je možné je zakomponovat do svítidel nových a neobvyklých tvarů. Pro vytvoření originálního designu svítidla může návrhář využít také směrového charakteru světla LED diod a široké nabídky přídavných optik.

Mějte na paměti, že v závislosti na zeměpisné oblasti mohou existovat normy, které mohou mít vliv na návrh svítidla. Tabulka 7 uvádí některé normy jako příklad.

Zbytek této kapitoly rozebírá možnosti každého podsystému pro náš příklad. Pro každý podsystém jsou uvedena doporučení vedoucí k výběru nejlepšího řešení.

Typ normy	Příklady norem pro svítidla
EMC	<ul style="list-style-type: none"> <li>FCC CFR Title 47 Part 15</li> <li>EN61000</li> <li>EN55015</li> </ul>
Bezpečnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>UL 1310, Třída 2</li> <li>UL 48</li> </ul>
Účinnost	California Title 24, Part 6, of California Code of regulations : California's Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings

Tabulka 7 – Příklady norem platných pro LED svítidla

## Optické možnosti

### 1. Holé LED versus stávající reflektor

Jak bylo řečeno výše, vyzařovací charakteristika LED diod a stávajícího svítidla s kompaktní zářivkou jsou velice podobné. Jedna z možností je tedy nepoužít přídavnou optiku. Toto řešení minimalizuje ztráty v optickém podsystemu a je výrobně i finančně nejméně náročné.

Nevýhodou tohoto přístupu je efekt vícenásobného stínu, jak je popsáno na následující straně. Toto řešení rovněž nelze použít v případech, kdy se vyzařovací charakteristika LED diod výrazně liší od požadované vyzařovací charakteristiky výsledného svítidla.

### 2. LED s přídavnou optikou versus stávající reflektor

Přídavné optiky jsou optické elementy používané ke tvarování světelného kužele holé LED diody. Hlavní typy těchto optik jsou optiky odrazné, kdy se světlo odráží od zrcadlového povrchu reflektoru a optiky založené na lomu světla uvnitř optického prostředí (obvykle sklo nebo optické plasty). Tyto komponenty je možné získat ze standardní nabídky celé řady výrobců, nebo si je nechat zákaznický navrhnut na základě simulace průchodu světelných paprsků z modelového světelného zdroje.

Použití přídavných optik umožňuje tvarování světelného kužele každé LED diody do konkrétní podoby tak, aby bylo dosaženo požadované vyzařovací charakteristiky svítidla. Například světelný kužel LED diod lze přídavnou optikou zúžit tak, že výsledkem bude například bodové svítidlo.

Nevýhodou je, že tento postup zvyšuje výslednou cenu a náročnost při kompletaci svítidla. Vzhledem k tomu, že optiky jsou připevněny ke každé LED diodě, nezbavíme se tak mnohonásobného stínu. Rovněž tím snižujeme optickou účinnost svítidla.

### 3. Holé LED, stávající reflektor versus rozptylovací stínítko

Namísto použití separátní optiky ke každé LED diodě můžeme použít stínítko přes celé svítidlo. Získáme tak širší světelný kužel a zbavíme se také mnohonásobných stínů.

Stejně jako v bodě 2 jsou nevýhodou vyšší cena a snížená optická účinnost. Tento přístup není možné použít, pokud vyžadujeme užší kužel než má holá LED neboť stínítko dokáže světlo pouze rozptýlit a ne jej koncentrovat.

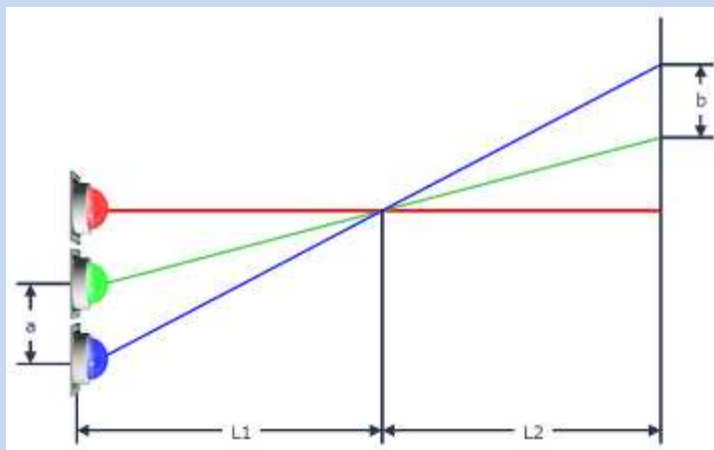
Požadavky na rozptyl světla, vícenásobné stíny a estetické požadavky zpravidla ovlivňují rozhodnutí o podobě optického podsystemu. Možnost 2 je jediná možná cesta v případě, kdy vyžadujeme užší světelný kužel, než mají holé LED. Pokud není třeba světelný kužel vyzařovaný holými LED diodami zúžit, je lepší volbou možnost 1 pro její nižší cenu, vyšší účinnost a vyšší výsledný světelný tok. Obě možnosti však vykazují efekt vícenásobného stínu.

V obou případech také platí, že pokud se uživatel podívá nahoru, uvidí jednotlivé LED. Pokud zvolíme možnost 3, uživatel uvidí pouze stejnoměrně rozptýlené světlo.

### Efekt vícenásobného stínu

Jedná se o jev, kdy předmět umístěný mezi více světelných zdrojů a matnici vytvoří více stínů. Typickým příkladem bývá koupelna, kde je nad umyvadlem instalováno více bodových světel.

LED diody umístěné blízko sebe vytvářejí vícenásobné stíny, které jsou také blízko u sebe. Tento jev může být v dané aplikaci nežádoucí. Je na návrhář, aby posoudil nakolik je jev vícenásobného stínu na závadu a zda použití stínítka vyváží optickou ztrátu spojenou s jeho použitím.



$$b = (a \times L2) / L1$$

a = rozteč LED

b = rozteč stínů

L1 = vzdálenost mezi LED a objektem

L2 = vzdálenost mezi objektem a pozadím

## Tepelné možnosti

### 1. Použití stávajícího svítidla

Nejlevnějším řešením je použít korpus svítidla, které nahrazujeme, i pro řešení s LED a jako chladič.

Toto řešení samozřejmě není vhodné, pokud navrhujeme nový tvar svítidla. Rovněž, většina korpusů je vyráběných z oceli, která je špatný tepelný vodič. Použití ocelového pouzdra jako chladiče je obecně špatnou volbou.

### 2. Běžně dostupné chladiče

Další možností je koupit některý z běžně nabízených chladičů. Takový chladič má již ověřené vlastnosti, které výrobce přesně specifikuje v dokumentaci.

Nicméně takový chladič nemusí být optimalizovaný svým výkonem, velikostí nebo tvarem pro naši aplikaci.

### 3. Návrh nového chladiče

Zákaznické řešení je nejlepší cestou k optimalizaci chladiče pro danou aplikaci, má však několik nevýhod.

Návrhář musí mít přístup ke specializovanému softwaru nebo musí spolupracovat na vývoji chladiče se specializovanými firmami. Vývoj a výroba vzorků mohou takový chladič oproti běžně dostupným typům několikanásobně prodražit.

Cílová cena svítidla, čas potřebný k vývoji chladiče a maximální povolená teplota okolí obvykle ovlivní rozhodnutí týkající se tepelného podsystemu. Možnost 2 je vhodná pro případy, kdy je prioritou nízká cena. Možnost 3 je nejlepší volbou pokud má prioritu maximální povolená teplota okolí (např. venkovní osvětlení nebo vnitřní osvětlení v neventilovaných prostorách).

Pro náš příklad použijeme běžně dostupný chladič s tepelným odporem 0,47 °C/W. Jestliže známe hodnotu tepelného odporu chladiče, můžeme spočítat maximální povolenou teplotu okolí následujícím způsobem.

$$T_j = T_a + (T_{th\ b-a} \times P_{total}) + (R_{th\ j-sp} \times P_{LED})$$

kde

$T_j$  = teplota přechodu LED

$T_a$  = teplota okolí

$R_{th\ b-a}$  = teplotní odpor chladiče

$P_{LED}$  = odběr jedné LED

= (pracovní proud) x (typické napětí v propustném směru při pracovním proudu)

$P_{total}$  = celkový odběr = počet LED x  $P_{LED}$

$R_{th\ j-sp}$  = teplotní odpor pouzdra LED

Hodnoty pro náš příklad:

$T_{j\ MAX} = 80\ ^\circ C$

$R_{th\ b-a} = 0,47\ ^\circ C/W$

$P_{LED} = 0,35\ A \times 3,3\ V = 1,155\ W$

$P_{total} = 16 \times 1,155\ W = 18,48\ W$

$R_{th\ j-sp} = 8\ ^\circ C/W$

$$T_{a\ MAX} = T_{j\ MAX} - (T_{th\ b-a} \times P_{total}) - (R_{th\ j-sp} \times P_{LED})$$

$$T_{a\ MAX} = 80\ ^\circ C - (0,47\ ^\circ C/W \times 18,48\ W) - (8\ ^\circ C/W \times 1,155\ W)$$

$$T_{a\ MAX} = 80\ ^\circ C - 8,6856\ ^\circ C - 9,24\ ^\circ C$$

$$T_{a\ MAX} = 62\ ^\circ C$$

Maximální povolená teplota okolí pro tuto aplikaci je tedy 62 °C. Pokud vyžadujeme tuto hodnotu vyšší, musíme buď zvýšit teplotu přechodu (což může ovlivnit životnost) nebo zlepšit tepelný podsystem (tztj. použít lepší chladič).

## **Možnosti elektrického pod systému**

### **1. Běžně prodávané LED napáječe**

Použití dostupných zdrojů pro napájení LED je nejrychlejším řešením. Tyto zdroje jsou navíc dodávány včetně aplikačních poznámek k zapojení a kompletní dokumentace. Všechny součásti jsou testovány na elektromagnetickou kompatibilitu a splňují bezpečnostní normy. Zpravidla se také jedná o nejlevnější řešení.

Nevýhodou je, že tyto zdroje mají účinnost pouze kolem 80%. Životnost a rozsah provozních teplot mohou také působit potíže v závislosti na výrobci a na aplikaci.

### **2. LED zdroje nové generace**

S rostoucí popularitou používání LED diod stále více výrobců obrací svou pozornost k inovaci LED napájecích zdrojů.

Ne ve všech případech má však návrhář možnost počkat na uvedení takového zdroje do běžného prodeje.

### **3. Zákaznický návrh**

Stejně jako v případě volby chladiče i zde můžeme zvolit zcela nový návrh elektrického pod systému, kdy odměnou za naše úsilí je vyšší účinnost zdroje. Je zde však mnoho potenciálních problémů.

Čas strávený vývojem může být dlouhý, investice vysoké a výsledná cena po skončení vývoje tak může velmi převyšovat cenu běžně dostupných zdrojů. Navíc výrobci zdrojů pro LED neustále pokračují ve vývoji svých produktů a je tedy možné, že v době, kdy skončíme vývoj, může být výrobek podobných vlastností již na trhu a to za nižší cenu.

Rozhodnutí spojená s elektrickým pod systémem vychází z dostupnosti vývojových prostředků a požadované výsledné účinnosti svítidla. V současné době je účinnost svítidla mnohem více ovlivněna samotnými LED diodami a ne napájecími zdroji. Zpravidla je tedy výhodnější uvést produkt na trh dříve, než ztrácet čas zdokonalováním elektrického pod systému.

## 6. Závěrečné kroky

Po splnění všech předchozích kroků můžeme přistoupit k sestrojení prototypu svítidla.

Krok	Výklad
Návrh plošného spoje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Navrhnete motiv plošného spoje (DPS).</li> <li>• Zvolte materiál DPS (FR4 nebo MCPCB). Velmi doporučujeme MCPCB (hliníkový substrát) vzhledem k mnohonásobně lepším tepelným vlastnostem.</li> <li>• Zohledněte, jak motiv plošného spoje a rozložení LED ovlivní výsledný tvar světelného kužele a tepelný tok</li> </ul>
Sestrojte prototyp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stavba prototypu je dobrým způsobem, jak otestovat celý návrh.</li> <li>• Ověřte, zda se optický, tepelný a elektrický podsystém chovají podle očekávání.</li> <li>• Vyzkoušejte jak jednoduše se svítidlo sestavuje.</li> </ul>
Otestujte, zda prototyp splňuje požadavky zadání	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ověřte, zda jsou splněny všechny požadavky zadání.</li> <li>• Testování můžete provést sami nebo u specializované firmy na testování svítidel.</li> </ul>
Finalizujte návrh a materiálovou soupisku	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Na základě informací získaných z předchozích kroků proveďte nezbytné změny.</li> <li>• Vytvořte dokumentaci a soupis materiálu.</li> </ul>
Vyvozte závěry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jak by se současný návrh zlepšil při změně řešení ?</li> <li>• Mají všechny požadavky stejnou, relevanci nebo se některé zdají méně důležité než na počátku ?</li> <li>• Jaké jsou jiné aplikace, kde můžeme použít naše nové svítidlo ?</li> </ul>

Tabulka 8 – Závěrečné kroky při návrhu LED svítidla

## Kde najít pomoc

Celý proces návrhu svítidla může být nevládnutelný. V tabulce 9 naleznete odkazy na Cree partnery, kteří Vám mohou být nápomocni při finálním návrhu svítidla.

Odkaz	Oblast možné asistence
CREE Xlamp LED Optics Solutions	<ul style="list-style-type: none"> <li>Návrh optického systému</li> </ul>
CREE Xlamp LED Driver Solutions	<ul style="list-style-type: none"> <li>Návrh napájecího systému</li> </ul>
CREE Xlamp LED Distributors	<ul style="list-style-type: none"> <li>Návrh chladiče</li> <li>Běžné optické systémy a LED zdroje</li> <li>Návrh desky plošného spoje</li> <li>Výroba</li> <li>Objednávky vzorků</li> </ul>

Tabulka 9 – Poskytovatelé Cree POWER LED řešení