

Náhrady lineárních zářivek LED trubnicemi

z pohledu
energetických
specialistů

SEVEEn


MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU


EFEKT energie efektivně

ezú elektrotechnický
zkusobní
ústav

PREMIUM
LIGHT PRO 

Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie na období 2017–2021 – Program EFEKT 2 pro rok 2018.



OBSAH

1. ÚVOD	3
2. LINEÁRNÍ ZÁŘIVKY	3
3. LED TRUBICE	4
3.1. Názvosloví	4
3.2. Výkonové řady a přehled na trhu	4
3.3. Základní typy LED trubic a kompatibilita	4
3.4. Světelně technické parametry a vlastnosti	5
3.5. Princip úspory a změny vyzařování	9
4. NORMY, PRÁVO, BEZPEČNOST	11
4.1. Změna zodpovědnosti za svítidla	11
4.2. Bezpečnost a EMC	11
4.3. Podmínky využití LED trubic jako náhrady za lineární zářivky	12
4.4. Světelně technické požadavky	13
5. NÁHRADA LINEÁRNÍCH ZÁŘIVEK JAKO ÚSPORNÉ OPATŘENÍ	14
5.1. Příkon lineární zářivky	14
5.2. Příkon LED trubice	15
5.3. Roční využití	15
5.4. Ekonomika opatření	16
5.5. Okrajové podmínky	19
5.6. Doporučená kritéria kvality LED trubic	19
5.7. Porovnání s celkovou rekonstrukcí osvětlovací soustavy	20
6. MĚŘENÍ	22
6.1. Parametry měření	22
6.2. Průběh měření	23
6.3. Výsledky měření	24
6.4. Závěr měření	25
7. ZÁVĚR	26

1. Úvod



Výrazný rozvoj světelných diod (LED) vedl i k náhradám tradičních světelných zdrojů za LED varianty. Nejčastěji se lze s tímto trendem setkat u svítidel pro domácnosti (náhrada žárovek), ale v poslední době i v profesionálních svítidlech (náhrada výbojek, kompaktních zářivek a lineárních zářivek). LED trubice, které nahrazují všudypřítomné lineární zářivky, se tedy staly novým specifickým druhem světelného zdroje.

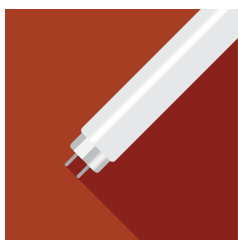
Světelné diody jsou stále rozvíjeným světelným zdrojem, účinnost se zvyšuje a trh s LED produkty je velmi dynamický. Trh ovlivňují i politické nástroje určené ke zvýšení účinnosti. V následujících letech se očekává další zpřísnění minimálních účinností světelných zdrojů, které povede mimo jiné i k postupnému ukončení prodeje běžných lineárních zářivek. Řešením bude buď celková rekonstrukce osvětlovací soustavy, nebo výměna zářivek za LED trubice. V blízké budoucnosti lze tedy očekávat další rozvoj LED trubic.

LED trubice prodělaly dynamický rozvoj, nicméně v mnoha oblastech se nabídka těchto světelných zdrojů konsolidovala. Mezi hlavní příčiny patří technická bezpečnostní normalizace tohoto segmentu. Na trhu jsou sice stále dostupné nekvalitní produkty, nicméně při splnění několika kritérií lze vybírat i mezi kvalitními produkty.

Energetičtí specialisté a správci budov obvykle navrhnou výměnu lineárních zářivek za LED trubice jako snadné úsporné opatření s rychlou návratností. Tato publikace si klade za cíl přinést celkový přehled trhu, analyzovat okrajové podmínky těchto opatření, jejich vhodnost a ekonomické posouzení. Mimo to publikace ukazuje výsledky konkrétního příkladu měření.

Publikace se věnuje především nejčastěji zastoupenými výkonovými řadami lineárních zářivek s průměrem 26 mm (T8); jedná se o výkony 18 W, 36 W a 58 W.

2. Lineární zářivky



Lineární zářivky jsou dnes jedním z nejzastoupenějších druhů světelných zdrojů. Obvyklé lineární zářivky a patice ukazuje tabulka 1.

OZNAČENÍ	PRŮMĚR	PATICE	OBVYKLÉ VÝKONOVÉ ŘADY [W]	POZNÁMKA
T12	38 mm	G13	20, 40, 65	nejstarší typ, konec uvádění na trh dle 245/2009 od roku 2012
T8	26 mm	G13	18, 36, 58	nejběžnější typy zářivek, kterými se zabývá i tato publikace a na které se bude vztahovat i zákaz od 1. 9. 2021
T5	16mm	G5	14, 21, 24, 28, 35, 39, 49, 54, 80	nejnovější typ lineárních zářivek

TABULKA 1. Běžné lineární zářivky.

3. LED trubice



LED trubice se po rozmachu světelných diod pro všeobecné osvětlení staly specifickým druhem světelného zdroje, který nahrazuje lineární zářivky. Náhrada je motivována především úsporou energie. Na LED trubice se vztahuje norma ČSN EN 62776 Dvoupaticové LED světelné zdroje konstruované jako náhrada zářivek – Požadavky na bezpečnost. Zavedení normy výrazně konsolidovalo trh s těmito světelnými zdroji.

3.1. NÁZVOSLOVÍ

Pro lineární LED moduly určené jako náhrada za lineární zářivky se ustálilo v češtině označení „LED trubice“. V některých případech se objevuje nepřesné označení „LED zářivka“, někdy také „T8 retrofit“ nebo „T5 retrofit“. Odborně dle normy je nejpřesnější termín „záměnný dvoupaticový LED světelný zdroj“. V této publikaci je užito termínu „LED trubice“.

3.2. VÝKONOVÉ ŘADY A PŘEHLED NA TRHU

LED trubice je nejpřehlednější dělit dle jejich délky a patice, což jsou parametry, které určují nahrazované lineární zářivky. LED trubice nelze dělit podle příkonu ani světelného toku, neboť výrobci nabízejí široký rozsah těchto parametrů. Běžné parametry LED trubic nahrazující nejběžnější T8 zářivky jsou patrné z tabulky 2.

DÉLKA	LINEÁRNÍ ZÁŘIVKY		LED TRUBICE		
	VÝKONOVÁ ŘADA [W]	SVĚTELNÝ TOK [lm]	JMENOVITÝ PŘÍKON [W]	SVĚTELNÝ TOK [lm]	MĚRNÝ VÝKON [lm/W]
600 mm	18	1350	8–10 (7,3)	800–1050 (1100)	90–100 (150)
1200 mm	36	3300	14–18 (15)	1600–2200 (2400)	95–135 (160)
1500 mm	58	5200	20–22 (22,5)	2000–3000 (3600)	100–145 (160)

TABULKA 2. Přehled parametrů běžně dostupných LED trubic (patice G13), v závorce jsou uvedeny nejlepší parametry prémiových výrobků

Do příkonu lineárních zářivek a případně LED trubic je třeba započítat ztrátový výkon předřadníku. Více uvádí tabulka 6 v kapitole věnované výpočtům úspor.

3.3. ZÁKLADNÍ TYPY LED TRUBIC A KOMPATIBILITA

Výrobci obvykle LED trubice dělí podle typu předřadníku ve svítidle, ve kterém nahrazují lineární zářivky. Obvyklé značení a určení:




- **EM** – LED trubice určené do svítidel s elektromagnetickým předřadníkem (je třeba nahradit původní startér) či je takové trubice možné provozovat přímo na síťovém napětí (po příslušné změně zapojení ve svítidle),

- **HF** – LED trubice určené pouze do svítidel s elektronickým předřadníkem (je vhodné u výrobce ověřit kompatibilitu s příslušným předřadníkem),
- **UN či universal** – univerzální LED trubice schopné pracovat s elektromagnetickým předřadníkem, elektronickým předřadníkem i přímo na síťovém napětí.

Poznámka: T5 zářivky (patice G5) pracují výlučně s elektronickým předřadníkem a větší na výrobců nabízí adekvátní LED trubice pro náhradu (schopné pracovat s elektronickým předřadníkem, tedy typ HF). Někteří výrobci ale nabízejí i pro T5 zářivky tzv. AC variantu, kterou je možné zapojit přímo na síťové napětí.

TIP

Kompatibilita jednotlivých typů LED trubic a typů předřadníku ve svítidle ukazuje tabulka 3. Někteří výrobci mohou mít jiné specifické požadavky na zapojení a vždy je třeba se řídit pokyny výrobce.

		TYP LED TRUBICE		
		EM ČI AC	HF	UN / UNIVERSAL
TYP SVÍTIDLA	ELEKTRO-MAGNETICKÝ PŘEDŘADNÍK	<ul style="list-style-type: none"> ■ na předřadníku budou ztráty (1–2 W) ■ není potřeba zásah do svítidla – nutná výměna startéru 	 nelze	<ul style="list-style-type: none"> ■ na předřadníku budou ztráty (1–2 W) ■ není potřeba zásah do svítidla ■ nutná výměna startéru
	ELEKTRONICKÝ PŘEDŘADNÍK	 nelze	<ul style="list-style-type: none"> ■ je vhodné zkontrolovat kompatibilitu s konkrétním předřadníkem ■ není potřeba zásah do svítidla 	<ul style="list-style-type: none"> ■ je vhodné zkontrolovat kompatibilitu s konkrétním předřadníkem ■ není potřeba zásah do svítidla
	BEZ PŘEDŘADNÍKU	<ul style="list-style-type: none"> ■ EM: pravděpodobně nebude potřeba zásah do svítidla, kontaktujte výrobce ■ AC: nebude potřeba zásah do svítidla 	 nelze	<ul style="list-style-type: none"> ■ pravděpodobně nebude potřeba zásah do svítidla, kontaktujte výrobce

TABULKA 3. Přehled běžných způsobů zapojení.

3.4. SVĚTELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY A VLASTNOSTI

Výrobci LED trubic jsou povinni dle ČSN EN 62776 a dalších norem uvádět několik parametrů, které jsou popsány dále.

Původ

LED trubice musí být označena obchodní značkou, jménem výrobce nebo jménem zodpovědného prodejce.

Jmenovité napětí, proud a příkon

Jmenovité napětí či *rozsah napětí* se uvádí ve voltech [V], *jmenovitý proud* v ampérech [A]. *Jmenovitý příkon* se udává ve wattech [W].

Jmenovitá frekvence

Jmenovitá frekvence nebo rozsah frekvencí se udává v Hz nebo kHz.

Jmenovité rozmezí okolních teplot

Udává se *rozmezí okolních teplot*, ve kterých může být LED trubice provozována. Pokud rozmezí teplot nepokrývá -20°C až $+60^{\circ}\text{C}$, je v manuálu LED trubice uvedeno: „Tento světelný zdroj nemusí být vhodný pro všechny aplikace, kde se používají lineární zářivky. Rozmezí teplot je pro tento světelný zdroj více omezeno. V případě pochybností o vhodnosti aplikace je třeba kontaktovat výrobce.“

Světelný tok

Světelný tok udává množství světla, které světelný zdroj vyzařuje (jednotkou je lumen [lm]). Běžné hodnoty dostupné na trhu uvádí tab. 2.

Vyzařovací úhel

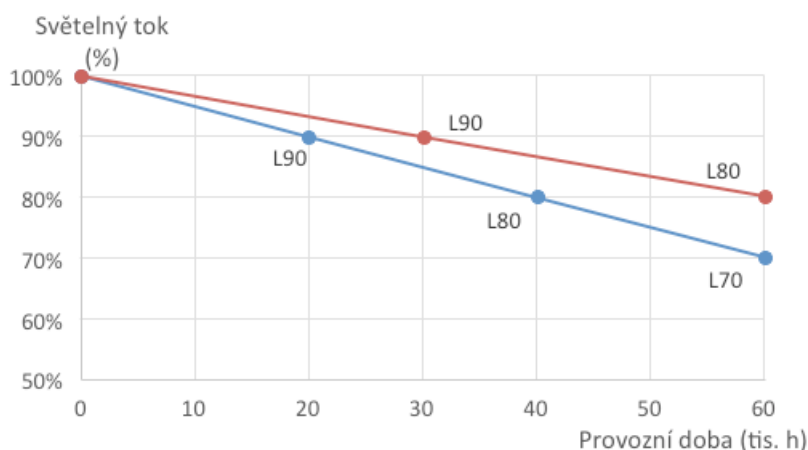
Vyzařovací úhel či lépe *úhel poloviční svítivosti* se udává ve stupních [$^{\circ}$]. Lineární zářivky vyzařují světlo kolmo k podélné ose rovnoměrně do všech směrů (360°), LED trubice oproti tomu jsou nejčastěji směrový světelný zdroj, který vyzařuje pouze do jednoho poloprostoru. Výrobci LED trubic udávají tedy úhel vymežující část prostoru, do kterého je převážná část světelného toku vyzařována. U starších modelů byla tato hodnota obvykle do 120° , u novějších výrobků se objevují hodnoty 160° i více. Přesný popis vyzařování LED trubic udávají tzv. křivky svítivosti. Více viz kapitola 3.5.

Doba života a činitel stárnutí

Doba života se udává v hodinách [h]. Doba života se u zářivek udává jako *průměrná doba života* (po uplynutí této doby je ještě 50 % vzorku funkční). U světelných diod s dlouhou dobou života s postupným poklesem světelného toku je potřeba parametr omezit na užitečnou část života, tedy omezit maximálním poklesem světelného toku. Nejčastěji se udává parametr *užitečný střední život* L_{xx} či $L_{xx}B_{50}$, který znamená, že po uplynutí uvedené doby života neklesne 50 % vzorku světelný tok pod xx % počátečního toku. Výrobci uvádějí nejčastěji hodnotu L_{70} , ale mohou uvádět i hodnoty L_{80} či L_{90} . Užitečný střední život tedy lze zapsat jako např. $L_{80}B_{50} = 40\,000$ h či $L_{90} = 30\,000$ h.

OBRÁZEK 1. Ilustrativní poklesy světelného toku dvou LED trubíc,

červená má menší pokles ($L_{80} = 60\,000$ h) než modrá ($L_{70} = 60\,000$ h) a červená je tedy kvalitnější; poznámka: skutečný pokles světelného toku není lineární



Po uplynutí užitečného středního života LED trubice mohou svítit dál, i když menším tokem. V tomto parametru tedy není zachycena možná náhlá porucha. Někteří výrobci proto uvádějí parametr *střední život*, který zahrnuje pokles světelného toku i případnou náhlou poruchu. Střední dobu života lze zapsat jako např. $M_{70} = 45\,000$ h. Pokud není uveden střední život, uvádějí někteří výrobci parametr *rozsah náhlé poruchy* (AFV), který udává pravděpodobnost náhlé poruchy během užitečného středního života (např. AFV = 5 %).

Pokles světelného toku vztažený k uvedené době života se nazývá *činitel stárnutí* (LLMF), tedy např. pro $L_{70} = 60\,000$ h je činitel stárnutí 0,7. Výrobce může také uvést více hodnot činitele stárnutí během doby života.

Počet spínacích cyklů

Počet spínacích cyklů je údaj, který udává odolnost vůči spínání. Zvláště důležitý je tento údaj, pokud se navrhují LED trubice do míst s častým spínáním. Mezi jednotlivými LED trubicemi jsou poměrně velké rozdíly (od 10 tisíc až po 200 tisíc cyklů, i více). Při návrhu je tedy velmi důležité znát přibližný počet spínacích cyklů a tento údaj po výrobci požadovat.

Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti, barevný tón či zjednodušeně *barva světla* je parametr, který označuje odstín bílého vyzařovaného světla. Teplota chromatičnosti se udává v kelvinech [K]. LED trubice mohou mít teplotu chromatičnosti stejnou jako lineární zářivky a při nahrazování je vhodné barevný tón zachovat. Nejběžnější typy uvádí tabulka. V současnosti platí, že LED trubice s nižší teplotou chromatičnosti mají nižší účinnost a obráceně.

V kódu na zářivce se uvádí první dvě číslice teploty chromatičnosti, např. 4000 K se v kódu označuje jako x40, 3000 K je x30 apod. První číslice v kódu (označená v předchozím případě jako „x“) je index podání barev.

Poznámka: U světelných zdrojů bez spojitého spektra, kam světelné diody patří, je přesnější termín náhradní teplota chromatičnosti. V některých textech se uvádí zkratka CCT.

TEPLOTA CHROMATIČNOSTI [K]	KÓD NA LINEÁRNÍ ZÁŘIVCE	SLOVNÍ POPIS, POZNÁMKA
2700	827 či 927	Teple bílá, obdobně jako obyčejná žárovka
3000	830 či 930	Teple bílá, rozšířené v kancelářích a úřadech
4000	840 či 940	Neutrálně bílá, rozšířené v kancelářích, úřadech, veřejných prostorech apod.
6500	865 či 965	Denní bílá

TABULKA 4. Běžné teploty chromatičnosti lineárních zářivek a jejich kódy

K teplotě chromatičnosti se udává také *parametr odchyšky teploty chromatičnosti*. Parametr udává, nakolik se jednotlivé LED čipy v trubici mohou lišit z hlediska barevného tónu. V extrémním případě bude patrný jiný barevný tón u každého LED čipu. Odchyška teploty chromatičnosti se obvykle označuje číslem a zkratkou SDCM nebo „MacAdam ellipses“. Menší číslo označuje menší odchyšku. Např. 2 SDCM či 3 SDCM jsou poměrně kvalitní LED trubice, u 7 SDCM již může být patrný rozdíl mezi jednotlivými LED čipy. Parametry odchyšky teploty chromatičnosti se udávají pro novou LED trubici a pro dobu života 6000 h. Stárnutím totiž dochází k větším odchyškám.

Index podání barev

Index podání barev je číslo vystihující věrnost podání barev. Označuje se R_a nebo CRI a nabývá hodnoty 0 až 100. Nejvyšší hodnotu 100 mají teplotní zdroje (žárovky), které reprodukuje barvy zcela věrně. Ostatní světelné zdroje včetně lineárních zářivek i LED trubice mají index podání barev menší než 100. V kódu lineárních zářivek je index podání barev prvním číslem ($R_a = 80$ je zkráceno na 8, apod.).

Ve vnitřních prostorech je zcela nejčastější požadavek na $R_a = 80$ (viz norma ČSN EN 12464-1) a také lineární zářivky mají nejčastěji $R_a = 80$. Ve výjimečných prostorech existují požadavky na $R_a = 90$ (galerie, ateliéry, vyšetřovny, kontroly kvality apod.). Při výměně lineárních zářivek je třeba LED trubice vybírat i s ohledem na index podání barev. Někteří výrobci nabízejí LED trubice bez označení indexu podání barev či s hodnotami menšími než 80, což je nevhodné do většiny vnitřních pracovních prostorů.

Měrný výkon

Měrným výkonem se označuje účinnost výroby světla z elektrické energie. Jednotkou je lumen na watt [lm/W]. Při porovnávání jednotlivých druhů světelných zdrojů v praxi energetických specialistů je vhodné připočítat také potřebný ztrátový příkon předřadníku. Měrný příkon T8 zářivek je v rozmezí 50–95 lm/W dle konkrétního typu zářivky a předřadníku; v případě světelných diod jsou hodnoty měrného výkonu cca 90–160 lm/W.

Rozměry

Rozměr LED trubice je dán především rozměrem nahrazované lineární zářivky. Z rozměrů je nejdůležitější *délka*, kterou jsou určeny i jednotlivé výkonové řady lineárních zářivek (viz tabulka 1).

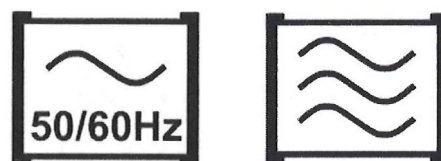
IP kód

Na LED trubici je informace o stupni krytí proti prachu a vodě.

Piktogramy

- Je uveden piktogram dle obr. 2, pokud je LED trubice vhodná pro použití pouze s některým typem předřadníku.

OBRÁZEK 2. Piktogramy označující, zda LED trubici je možné provozovat pouze s elektromagnetickým předřadníkem (vlevo) nebo pouze s elektronickým předřadníkem (vpravo)

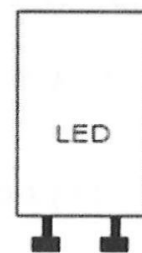


- LED trubice by měla být označena dle piktogramu na obr. 3 a následujícím textem: „Tento světelný zdroj není vhodný pro použití v nouzových svítidlech určených pro dvoupatřicové zářivky.“

OBRÁZEK 3. Piktogram označující zákaz použití LED trubice v nouzových svítidlech



- Pokud je pro provoz LED trubice potřeba nahradit startér za jinou komponentu, měla by být označena referenčním typem nahrazující startér. Tzv. „LED startér“ by měl být označen dle obr. 4.



OBRÁZEK 4. „LED startér“

- LED trubice určené do suchého prostředí nebo do svítidel, které mají krytí, se označují piktogramem dle obr. 5.



OBRÁZEK 5. LED trubice určené do suchého prostředí nebo do svítidel s krytím

- Označují se speciální podmínky nebo omezení provozu, např. provoz při stmívání. Pokud není LED trubice vhodná pro stmívání, může být označena dle obr. 6.



OBRÁZEK 6. Stmívání není povoleno

Manuál a další označení

Součástí LED trubice musí být manuál popisující nezbytné kroky pro náhradu lineární zářivky, seznam dodávaných komponent, typ nahrazované zářivky, varování upozorňující, že není možné upravovat svítidlo, rozmezí okolních teplot (s příslušným upozorněním, pokud rozmezí teplot nepokrývá -20°C až $+60^{\circ}\text{C}$), označení „Světelný zdroj je určen pro všeobecné osvětlování (mimo např. výbušné prostředí),“ grafické schematické instrukce výměny zářivky za LED trubici včetně případné výměny startéru nebo slovní popis takové výměny.

TIP

Při výběru LED trubice je vhodné dát přednost těm výrobcům, kteří uvádí o svém výrobku maximum parametrů. Neuvedení parametrů je jeden z příznaků nekvalitních výrobků či nedůvěryhodného výrobce.

3.5. PRINCIP ÚSPORY A ZMĚNY VYZAŘOVÁNÍ

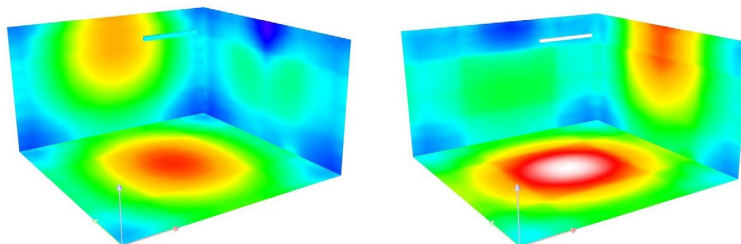
Jak je možné nahradit světelný tok zářivky přibližně polovinou? Jeden z principů spočívá ve **směrovosti světelných diod**. Ve svítidle se světlo LED trubice méně odráží a svítí hlavně požadovaným směrem (obvykle kolmo dolů). Existující svítidla určená pro lineární zářivky mají optickou soustavu navrženou pro provoz se zářivkami vyzařující rovnoměrně v úhlu 360° . Výměnou lineárních zářivek za LED trubice dochází k proměně požadovaného vyzařování – především zvýšení svítivosti v kolmém směru a snížení svítivosti do stran. Tato změna ve vyzařovacích charakteristikách je různá pro různé druhy svítidel dle jejich optických systémů. Např. v některých svítidlech s matným (difuzním) krytem může výměna zářivky za LED trubici způsobit jen nepatrné změny, protože světlo LED trubice je ve svítidle výrazně rozptylováno. Na-

opak v některých svítidlech (např. s čirým krytem nebo zcela bez krytu) při použití LED trubice může docházet ke zmenšení rovnoměrnosti osvětlení (světlo je více soustředěno pod svítidlem a méně v okolí). Každá výměna zářivky za LED trubici nicméně změní vyzařování svítidla.

OBRÁZEK 7.

Porovnání vyzařování,
ilustrativní model,

lineární zářivky a LED trubice,
vlevo zářivka, vpravo LED
trubice s malým vyzařovacím
úhlem



Výrobci LED trubice jsou si vědomi změny vyzařování při náhradě lineárních zářivek a aplikují několik opatření, které tyto změny zmenšují. Jeden ze způsobů je **zvyšování vyzařovacího úhlu**, který kompenzuje vyzařování do stran. Zvyšování vyzařovacího úhlu ale také snižuje efekt úspory za lineární zářivku způsobenou směrovostí LED. Se zvyšujícím se úhlem vyzařování LED trubice je potřeba vyšší světelný tok pro stejnou osvětlenost; tedy i vyšší příkon, což snižuje úsporu. Obecně nicméně nelze tento vztah zpřesnit, neboť výrazně souvisí s konkrétní optikou svítidla a vyzařováním LED trubice. Snižít negativní změny vyzařování svítidel způsobené náhradou zářivek za LED trubice lze také použitím **matných LED trubice**, které více rozptylují světlo a zabraňují případnému oslnění. Někteří výrobci také nabízejí možnost LED trubici ve svítidle adekvátně natočit dle potřeby a tedy si vyzařování vlastně upravit.

Původní zářivková osvětlovací soustava byla obvykle projektována pro danou aplikaci a splňovala určité světelně technické požadavky (obvykle dané normou). Výměna lineárních zářivek za LED trubice vždy povede ke změně vyzařování. To může vést i k situacím, kdy pozměněná osvětlovací soustava nebude splňovat požadavky norem v prostorech, kde jsou normy závazné (vnitřní a venkovní pracovní prostory, školní zařízení, sportoviště a některé další). V případě výměny zářivek za LED trubice v těchto prostorech je vhodné ověřit splnění norem alespoň kontrolním měřením, lépe však doplnit odborným světelně technickým výpočtem s adekvátním udržovacím činitelem. Více se touto problematikou zabývá kapitola 4.3.

Úspora při použití nevychází jen ze směrovosti LED trubice, ale také z **vyšší účinnosti světelných diod**. Se započtením ztrátového příkonu na předřadníku je měrný výkon T8 lineárních zářivek cca 50–95 lm/W dle konkrétního typu. V případě světelných diod jsou hodnoty měrného výkonu cca 90–160 lm/W. LED trubice jsou tedy účinnějším světelným zdrojem. Příklad výpočtu úspory uvádí kapitola 5.

TIP

Pro danou aplikaci zvažte:

- dostatečný vyzařovací úhel (160°)
- pro daný typ trubice co možná největší světelný tok
- matné LED trubice snižující riziko oslnění
- otočné koncovky umožňující natočení LED trubice a směrování světla
- zkoušku osvětlovací soustavy včetně měření
- pro doklad o dodržení norem světelně technický výpočet soustavy s LED trubicemi

4. Normy, právo, bezpečnost



Náhrada lineárních zářivek za LED trubice je poměrně populární, o čemž svědčí i široká nabídka LED trubic na trhu. Přesto s sebou nese náhrada několik důležitých úskalí, které je třeba znát.

4.1. ZMĚNA ZODPOVĚDNOSTI ZA SVÍTIDLA

Je-li originální zářivkové svítidlo modifikováno či nově přeinstalováno (týká se také pouhým nainstalováním LED trubic bez dalších modifikací), leží primární zodpovědnost na subjektu, který změnu provedl (nejčastěji tedy montážní firmě). Tento subjekt uvádí na trh nový výrobek a musí zajistit posouzení rizik z hlediska bezpečnosti, značení, návodu k použití apod. Subjekt, který provedl změny ve svítidle, musí převzít plnou zodpovědnost za svítidlo s ohledem na elektromagnetickou kompatibilitu, bezpečnost, fotometrické vlastnosti a na životní prostředí. Platí to také pro stav, kdy je svítidlo později vráceno do původního stavu. **Změna zodpovědnosti je důležitá při řešení případné pojistné události.**

Ve výjimečných případech někteří výrobci svítidel nabízejí na trhu svítidla, se kterými mohou pracovat i LED trubice či tuto instalaci může výrobce zprostředkovat či zajistit. Vždy je tedy vhodné, pokud to lze, kontaktovat původního výrobce zářivkových svítidel.

4.2. BEZPEČNOST A EMC

Na samotnou bezpečnost LED trubic se vztahují především harmonizované normy (týká se především výrobců LED trubic):

- ČSN EN 62776 Dvoupaticové LED světelné zdroje konstruované jako náhrada zářivek – Požadavky na bezpečnost
- ČSN EN 62031 Moduly LED pro všeobecné osvětlování – Požadavky na bezpečnost
- ČSN EN 62560 Světelné zdroje LED pro všeobecné osvětlování s integrovaným předřadníkem na napětí > 50 V – Požadavky na bezpečnost
- ČSN EN 62471 Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů.

Na LED trubice se vztahují také normy na elektromagnetickou kompatibilitu, zkratka EMC (týká se především subjektů přebírající zodpovědnost a výrobců):

- ČSN EN 61000-3-2 ed. 4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3-2: Meze – Meze pro emise proudu harmonických (zařízení se vstupním fázovým proudem ≤ 16 A)
- ČSN EN 55015 ed. 4 Meze a metody měření charakteristik vysokofrekvenčního rušení způsobeného elektrickými svítidly a podobným zařízením
- ČSN EN 61547 ed. 2 Zařízení pro všeobecné osvětlovací účely – EMC požadavky odolnosti
- ČSN EN 60598-1 ed. 6 Svítidla – Část 1: Obecné požadavky a zkoušky

Před několika lety byla řada nabízených LED trubic nekvalitních či dokonce nesplňovala ani základní bezpečnostní požadavky. Situace na trhu se značně konsolidovala a zavedením normy ČSN EN 62776 došlo ke snížení počtu nebezpečných výrobků. Přesto je třeba při výběru LED trubic opatrnosti, zvláště u menších prodejců/dovozců. Detailní informace o provedení patřičných zkoušek lze získat např. od odborníků Elektrotechnického zkušebního ústavu.

4.3. PODMÍNKY VYUŽITÍ LED TRUBIC JAKO NÁHRADY ZA LINEÁRNÍ ZÁŘIVKY

Světelně technické požadavky osvětlovací soustavy vyplývají z jejího určení a z původního projektu. LED trubice v zářivkových svítidlech způsobí změnu vyzařování, takže dojde nejen ke změně intenzity osvětlení, ale také částečně ke změně rovnoměrnosti či může dojít k nežádoucímu oslnění. Z pohledu změny osvětlovací soustavy mohou nastat při náhradě lineárních zářivek LED trubicemi tři situace:

1. Dotčená osvětlovací soustava nebude podléhat kolaudaci ani schvalovacímu řízení ze strany krajské hygienické stanice a při náhradě lze tolerovat změny osvětlení. Tento případ nastane zejména u prostorů, na které se nevztahuje žádná závazná norma (dekorační osvětlení, některé technické místnosti, domácí osvětlení apod.).
2. Dotčená osvětlovací soustava nebude podléhat kolaudaci ani schvalovacímu řízení ze strany krajské hygienické stanice, ale nelze tolerovat změny osvětlení. Tento případ nastane, pokud nebude probíhat celková rekonstrukce osvětlení ani jiná významná změna v objektu. Přesto je doporučené záměr konzultovat s krajskou hygienickou stanicí a to zvláště u pracovních prostorů a dalších prostorů, na které se vztahuje závazná norma. Pokud lze akceptovat pouhou výměnu lineárních zářivek za LED trubice, je nutné ověřit splnění požadavků měřením. Doporučená je instalace menšího pilotního vzorku, která může zachytit problémy již v počátku. Pilotní testování může také přinést cenné zkušenosti pracovníků, které nové osvětlení využívají.
3. Dotčená osvětlovací soustava bude podléhat kolaudaci nebo schvalovacímu řízení ze strany krajské hygienické stanice. V tomto případě bude potřeba doložení splnění světelně technických požadavků dle aktuálních norem výpočtem a pravděpodobně i měřením. Vzhledem k náročnosti procesu může být vhodnější celková rekonstrukce osvětlovací soustavy s novými svítidly.

Poznámka: Pokud byla dřívější osvětlovací soustava projektována dle již neplatné normy ČSN 36 0450, je možné, že v některých případech nelze pouhou náhradou lineárních zářivek za LED trubice dosáhnout požadovaných hodnot nové normy ČSN EN 12464-1. Velmi obvyklým případem jsou kancelářské prostory, které byly dříve projektovány nejčastěji na 300 lx, dle nové normy na 500 lx. To se týká především situací, kdy je potřeba doložení splnění požadavků dle platné normy.

Poznámka: Při ověřování pozměněné osvětlovací soustavy s LED trubicemi je třeba si uvědomit, že norma požaduje udržovanou osvětlenost. Jedná se o hodnotu, pod kterou nikdy osvětlenost nesmí klesnout. U všech osvětlovacích soustav, u světelných diod s dlouhou dobou života zvláště, dochází k postupnému snižování intenzity osvětlení vinou snižujícího

se světelného toku a postupného špinění. Osvětlovací soustavy jsou tedy na počátku „přesvíceny“ o koeficient, který se nazývá **udržovací činitel**. Při požadavku 300 lx a udržovacím činiteli 0,75 bychom na počátku měli naměřit 400 lx. Vzhledem k relativně dlouhé době života LED trubic dochází obvykle ke snížení udržovacího činitele a tím pádem nutnosti vyššího instalovaného světelného toku oproti lineárním zářivkám. Tento fakt je třeba zohlednit zejména u výše uvedených případů 2 a 3. Udržovací činitel je třeba respektovat také při ověřovacím měření (při instalaci nových světelných zdrojů by mělo být naměřeno více než při měření na konci doby života). Doporučena je konzultace se světelným technikem.

4.4. SVĚTELNĚ TECHNICKÉ POŽADAVKY

Světelně technické požadavky vycházejí z hygienických požadavků, které jsou zakotveny v právních předpisech:

- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- Vyhláška 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých
- Vyhláška 238/2011 Sb., hygienické požadavky na koupaliště a sauny

Vyplývající závazné normy týkající se umělého osvětlení:

- ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory
- ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory
- ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť

DRUH PROSTORU	OSVĚTLENOST E [lx]	OSLNĚNÍ UGR [-]	ROVNOMĚRNOST U_o [-]	PODÁNÍ BAREV R_a [-]
Chodba	100	28	0,4	40
Šatny, toalety	200	25	0,4	80
Hrubé montážní práce	300	25	0,6	80
Kanceláře	500	19	0,6	80
Vnitřní parkovací prostory	75	–	0,4	40
Učebny	300	19	0,6	80

TABULKA 5. Světelně technické požadavky ve vybraných prostorech

5. Náhrada lineárních zářivek jako úsporné opatření



Pro správný výpočet úspory při náhradě lineární zářivky za LED trubici je třeba znát příkony původního a nového zapojení. Tyto příkony se liší dle zapojení a jednotlivých typů.

5.1. PŘÍKON LINEÁRNÍ ZÁŘIVKY

Lineární zářivky je možné provozovat pouze s předřadníkem. Existuje řada různých předřadníků a podle typu se také liší ztráty. Nejčastější druhy předřadníků lineárních zářivek:

- **Elektromagnetický (EM) se startérem** – Jedná se pravděpodobně o nejčastější zapojení klasických T8 zářivek. Při zapnutí zářivky několikrát zablikají a po ustálení výboje zářivky dále konstantně svítí. V elektromagnetickém předřadníku je tlumivka, startér a případně kompenzující kondenzátor. Obvyklé parametry jsou: doba života zářivky 10 tisíc hodin, vlastní spotřeba cca 20 % jmenovitého výkonu zářivky. V případě použití elektronického startéru zářivka při zapínání neblíká a zvyšuje se o něco doba života zářivky (do cca 20 %).
- **Elektromagnetický (EM) rapid start** – Tento systém lze nalézt v některých starších instalacích, ve spojení s lineárními zářivkami T12 (průměr 38 mm) může být tento systém relativně běžný. Při zapnutí zářivky dojde k prodlevě, při které se zahřívají elektrody, a poté dojde k rozsvícení zářivky. Systém rapid start obvykle během provozu nepřetržitě žhaví elektrody a celkový příkon je o cca 2 W vyšší. Systém rapid start zvyšuje dobu života zářivky.
- **Elektronický předřadník (HF)** – V nových instalacích se jedná o poměrně běžný typ předřadníku. Pro T5 zářivky (průměr 16 mm) se jedná o výlučný typ předřadníku. Při zapnutí dojde k rychlému predehřátí elektrod a téměř okamžitému zapnutí s malou prodlevou. Elektronické předřadníky pracují na vysokých frekvencích (20–30 kHz) a jejich obvyklé parametry jsou: doba života zářivky 20 tisíc hodin, vlastní spotřeba je přibližně poloviční oproti elektromagnetickým předřadníkům (viz tabulka 6 a poznámka pod tabulkou).

TIP

Základní druh předřadníku lze poznat velmi snadno. Pokud při zapnutí dochází k charakteristickému blikání před trvalým zapnutím, jedná se o elektromagnetický předřadník s doutnavkovým startérem. Pokud nelze svítidlo vypnout či zkontrolovat, zda je ve svítidle startér, je možné na svítidlo namířit foťák v telefonu. Pokud je zřetelně viditelné blikání, které je vyvolané interferencí mezi síťovou frekvencí a frekvencí zpracování ve foťáku, jedná se o elektromagnetický předřadník.

Příkon lineárních zářivek včetně předřadníku lze nejpřesněji zjistit vlastním měřením, nicméně to je časově náročné a vyžaduje dodatečné náklady. Tabulka 6 uvádí příkony T8 lineárních zářivek pro jednotlivé třídy předřadníků. Pokud není známá třída, je možné určit ztrátový výkon odhadem pro elektromagnetický či elektronický předřadník.

TYPY PŘEDŘADNÍKŮ	CELKOVÉ (MAXIMÁLNÍ) PŘÍKONY PRO JEDNOTLIVÉ TYPY T8 ZÁŘIVEK A PŘEDŘADNÍKŮ		
	18 W	36 W	58 W
Elektromagnetický EEI D – velmi vysoké ztráty (zákaz 2002)	> 28,0 W	> 45,0 W	> 70,0 W
Elektromagnetický EEI C – středně vysoké ztráty (zákaz 2005)	28,0 W	45,0 W	70,0 W
Elektromagnetický EEI B2 – nízkoztrátový	26,0 W	43,0 W	67,0 W
Elektromagnetický EEI B1 – velmi malé ztráty	24,0 W	41,0 W	64,0 W
Elektronický A3*	21,0 W	38,0 W	59,0 W
Elektronický A2 – nízkoztrátový*	19,0 W	36,0 W	55,0 W
Neznámý – dle ČSN EN 15193-1 (x 1,2)	21,6 W	43,2 W	69,6 W

* **Poznámka:** Jmenovitý výkon lineárních zářivek s elektronickým předřadníkem je nižší než jmenovitý výkon s elektromagnetickým předřadníkem. Jmenovité výkony lineárních zářivek fungující s elektronickým předřadníkem jsou 16 W, 32 W a 50 W pro 18W, 36W a 58W zářivku T8.

TABULKA 6. Přehled příkonů nejužívanějších lineárních zářivek T8 (dle 2000/55/EU)

TIP

Pro svítidla, u kterých není možné blíže určit typ elektromagnetického předřadníku, je jednoduchou a rychlou možností určit příkon jako výkon zářivky × 1,2. Např. pro 36W zářivku s elektromagnetickým předřadníkem můžeme odhadnout příkon 43,2 W.

5.2. PŘÍKON LED TRUBICE

Příkon LED trubice odpovídá jmenovitému příkonu LED trubice. Při zapojení, při kterém ve svítidle zůstává elektromagnetický předřadník, je nutné připočítat ztrátu cca 1–2 W (viz tabulka 3).

5.3. ROČNÍ VYUŽITÍ

Pro výpočet ekonomiky úsporného opatření je zásadní roční doba využití. Tabulka uvádí typy prostorů a jejich roční dobu využití dle směrných hodnot z ČSN EN 15193-1. Je nicméně vhodné pracovat se skutečnou roční dobou využití.

	ROČNÍ VYUŽITÍ S PŘÍSTUPEM DENNÍHO SVĚTLA [h]	ROČNÍ VYUŽITÍ BEZ PŘÍSTUPU DENNÍHO SVĚTLA [h]	ROČNÍ VYUŽITÍ CELKEM [h]
Rezidenční budovy	1 820	1 680	3 500
Kanceláře	2 250	250	2 500
Vzdělávací budovy	1 800	200	2 000
Nemocnice	3 000	2 000	5 000
Hotely	3 000	2 000	5 000
Restaurace	1 250	1 250	2 500

	ROČNÍ VYUŽITÍ S PŘÍSTUPEM DENNÍHO SVĚTLA [h]	ROČNÍ VYUŽITÍ BEZ PŘÍSTUPU DENNÍHO SVĚTLA [h]	ROČNÍ VYUŽITÍ CELKEM [h]
Sportovní zařízení	2 000	2 000	4 000
Prodejní prostory	3 000	2 000	5 000
Výroba	2 500	1 500	4 000

TABULKA 7. Hodnoty roční doby využití dle ČSN EN 15193-1

TIP

Skutečnou roční dobu využití můžeme zjistit od správce budovy nebo je možné zjistit vzorce užívání od samotných uživatelů.

5.4. EKONOMIKA OPATŘENÍ

Pro výpočet ekonomiky opatření je třeba znát:

- příkon lineární zářivky včetně předřadníku a příkon LED trubice,
- roční dobu využití,
- cenu lineárních zářivek, cenu LED trubice,
- cenu elektrické energie,
- pro dodatečné výpočty také hodinovou mzdu a dobu života světelných zdrojů.

V následujícím příkladu proběhne demonstrativní výpočet možné úspory při výměně lineární zářivky T8 ve výkonové řadě 36 W s neznámým předřadníkem a LED trubice. Výpočet bude proveden pro dva typické příklady LED trubice: jeden zástupce levnějšího produktu (200 Kč/ks) a jeden zástupce dražšího produktu s lepšími parametry (680 Kč/ks). LED trubice pracují se zapojeným původním elektromagnetickým předřadníkem (je třeba započítat ztrátový výkon 1–2 W). Předpoklady pro výpočet:

- roční doba využití: 2 500 h,
- cena elektrické energie: 3 Kč/kWh,
- hodinová mzda: 200 Kč/h,
- čas potřebný pro výměnu světelného zdroje: 0,2 h = 12 min.,
- konstantní hodnota peněz.

	JEDNOTKA	LINEÁRNÍ ZÁŘIVKA T8	LEVNĚJŠÍ LED TRUBICE	DRAŽŠÍ LED TRUBICE
Příkon světelného zdroje	W	36	18	16
Celkový příkon	W	43,2	20	18
Cena bez DPH	Kč	40	200	680
Doba života	h	10 000	40 000	60 000
Roční spotřeba	kWh	108	50	45
Roční náklady na el. energii	Kč	324	150	135
Interval výměny sv. zdroje	rok	4	16	24
Roční náklady na sv. zdroj	Kč	10	12,5	28,3
Náklady na práci za výměnu sv. zdroje za rok	Kč	10	2,5	1,7
Celkové roční náklady	Kč	344	165	165
Celková roční úspora	Kč	–	179	179
Cena bez DPH vč. montáže	Kč	80	240	720
Prostá návratnost	rok	–	1,3	4,0

TABULKA 8. Výpočet úspory energie

Z výpočtu úspory (viz tab. 8) je patrné, že zcela dominantní úsporou je snížení spotřeby elektrické energie. Úspora mzdových nákladů způsobená snížením intervalu výměny světelných zdrojů je malá a rovněž změny ročních nákladů na nákup světelného zdroje nejsou výrazné. Pro další citlivostní analýzy jsou tyto rozdíly nákladů zanedbávány.

Citlivostní analýzy uvádí prosté návratnosti v rocích v závislosti na ceně elektrické energie a roční době provozu (viz tab. 9).

		ROČNÍ DOBA PROVOZU [h]							
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 760
CENA EL. ENERGIE [Kč/kWh]	1,0	8,6	4,3	2,9	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0
	1,5	5,7	2,9	1,9	1,4	1,1	1,0	0,8	0,7
	2,0	4,3	2,2	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5
	2,5	3,4	1,7	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
	3,0	2,9	1,4	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
	3,5	2,5	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3
	4,0	2,2	1,1	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2
	4,5	1,9	1,0	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
	5,0	1,7	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2

TABULKA 9A. Citlivostní analýzy prosté návratnosti (v rocích) v závislosti na ceně elektrické energie a roční době provozu pro levnější LED trubici (200 Kč/ks)

		ROČNÍ DOBA PROVOZU [h]							
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 760
CENA EL. ENERGIE [Kč/kWh]	1,0	27,0	13,5	9,0	6,7	5,4	4,5	3,9	3,1
	1,5	18,0	9,0	6,0	4,5	3,6	3,0	2,6	2,1
	2,0	13,5	6,7	4,5	3,4	2,7	2,2	1,9	1,5
	2,5	10,8	5,4	3,6	2,7	2,2	1,8	1,5	1,2
	3,0	9,0	4,5	3,0	2,2	1,8	1,5	1,3	1,0
	3,5	7,7	3,9	2,6	1,9	1,5	1,3	1,1	0,9
	4,0	6,7	3,4	2,2	1,7	1,3	1,1	1,0	0,8
	4,5	6,0	3,0	2,0	1,5	1,2	1,0	0,9	0,7
	5,0	5,4	2,7	1,8	1,3	1,1	0,9	0,8	0,6

TABULKA 9B. Citlivostní analýzy prosté návratnosti (v rocích) v závislosti na ceně elektrické energie a roční době provozu pro dražší trubici (680 Kč/ks)

Z citlivostní analýzy vyplývá, že nad roční dobu využití cca 3 000 hodin (některá zdravotnická zařízení, dvousměnný a třísměnný průmysl, technické prostory hotelů, některé garáže) je náhrada za LED trubice rychle návratná téměř bez ohledu na cenu elektrické energie a ceny LED trubice. Při nižších ročních dobách využití (školy, kanceláře, služby) již velmi záleží na ceně elektrické energie i ceně LED trubice.

		CENA LED TRUBICE [Kč/ks]						
		100	200	300	400	500	600	700
CENA EL. ENERGIE [Kč/kWh]	1,0	4,3	8,6	12,9	17,2	21,6	25,9	30,2
	1,5	2,9	5,7	8,6	11,5	14,4	17,2	20,1
	2,0	2,2	4,3	6,5	8,6	10,8	12,9	15,1
	2,5	1,7	3,4	5,2	6,9	8,6	10,3	12,1
	3,0	1,4	2,9	4,3	5,7	7,2	8,6	10,1
	3,5	1,2	2,5	3,7	4,9	6,2	7,4	8,6
	4,0	1,1	2,2	3,2	4,3	5,4	6,5	7,5
	4,5	1,0	1,9	2,9	3,8	4,8	5,7	6,7
	5,0	0,9	1,7	2,6	3,4	4,3	5,2	6,0

TABULKA 10. Citlivostní analýza prosté doby návratnosti (v rocích) v závislosti na ceně elektrické energie a ceně LED trubice (pro nízkou roční dobu využití 1 500 h)

Citlivostní analýza prosté návratnosti v tab. 10 ukazuje závislost mezi cenou elektrické energie a cenou LED trubice pro relativně nízkou roční dobu využití 1 500 h. Z citlivostní analýzy vyplývá, že při nízké roční době využití (do cca 2 000 h ročně) je při cenách energie nad cca 3 Kč/kWh výměna relativně rychle návratná i pro kvalitní a drahé LED trubice. Tato podmínka může být splněna zejména v některých školách a provozovnách s vyšší cenou elektrické energie.

5.5. OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Před využitím LED trubic je třeba zvážit několik důležitých aspektů.

Staří a stav původní osvětlovací soustavy

Úsporné opatření spočívající v náhradě lineárních zářivek samozřejmě **vyžaduje dobrý stav svítidel**. V případě, že jsou svítidla ve špatném stavu nebo jsou za dobou své morální životnosti (obvykle u zářivkových svítidel nad cca 20–25 let) není vhodné toto opatření doporučit.

Obvykle se lze dobře orientovat dle doby života nahrazovaných LED trubic. Pokud nelze předpokládat následující provoz v délce odpovídající době života LED trubic, není opatření doporučeníhodné. Vhodnější je tak v takových případech kompletní rekonstrukce osvětlovací soustavy zahrnující nová svítidla.

Kvalita LED trubic

Na trhu existuje velký rozptyl kvality LED trubic. Kvalitou se míní především kvalita zpracování, světelně technické vlastnosti, účinnost, doba života a předpoklad bezproblémového provozu. Při návrhu úsporného opatření je tedy vhodné navrhovat takovou LED trubicí a její cenu, která odpovídá daným požadavkům. Doporučenou kvalitou LED trubic se zabývá kapitola 5.6.

Závaznost norem, kolaudace či schvalovací řízení

Pro použití LED trubic je třeba splnění jedné ze tří podmínek provozu LED trubic:

1. na uvedený provoz neexistují závazné požadavky vyplývající z normy,
2. na provoz se vztahují požadavky vyplývající z normy a světelně technické parametry budou ověřeny měřením (ideálně po konzultaci s krajskou hygienickou stanicí),
3. na provoz se vztahují požadavky vyplývající z normy a očekává se kolaudace či schvalovací řízení ze strany krajské hygienické stanice včetně potřeby výpočtového protokolu.

Detaily uvedených podmínek rozebírá kapitola 4.3.

5.6. DOPORUČENÁ KRITÉRIA KVALITY LED TRUBIC

Poznat kvalitní LED trubicí je velmi těžké často i pro odborníky. Nicméně lze stanovit seznam parametrů, které snižují pravděpodobnost, že se jedná o nekvalitní výrobek. Jedním z prvních a hlavních aspektů je tedy **dostatek dostupných informací o LED trubicí** dle kapitoly 3.4. Jednotlivé parametry lze upravit dle konkrétního uvažovaného použití, nicméně minimální doporučené hodnoty některých parametrů jsou¹:

- měrný výkon alespoň 100 lm/W (podíl příkonu a světelného toku);
- odchylka teploty chromatičnosti 5 SDCM na počátku a 7 SDCM v 6 000 hodinách, pro zraťkové náročné úlohy 3 SDCM na počátku a 5 SDCM v 6 000 hodinách;
- index podání barev $R_a \geq 80$;
- minimální doba života (střední život) 35 000 hodin;

¹ Kvalitou LED osvětlením včetně LED trubic se zabývá projekt Premiumlight Pro, www.premiumlight.cz

- činitel stárnutí alespoň 96,2 % pro 6 000 hodin;
- účinník > 0,9;
- nejvyšší povolená teplota alespoň +40 °C;
- počet spínacích cyklů alespoň dvojnásobek doby života v hodinách;
- světelný tok souvisí s vyzařovacím úhlem a nelze doporučit konkrétní hodnotu pro náhradu, nicméně je obecně vhodné volit vyšší světelný tok z nabídky na trhu (viz tab. 2);
- vyzařovací úhel alespoň 160°.

5.7. POROVNÁNÍ S CELKOVOU REKONSTRUKCÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Jak vyplývá z analýzy okrajových podmínek a z podmínek využití LED trubice jako náhrady za lineární zářivky (viz kapitola 4.3), není vždy využití LED trubice snadné či vhodné. V mnoha případech je vhodnější zvážit celkovou rekonstrukci osvětlovací soustavy za použití nových LED svítidel.

Následuje porovnání výměny T8 lineárních zářivek 36 W v obvyklém přisazeném kancelářském svítidle 2×36 W za LED trubice a výměna celého svítidla za nové LED svítidlo s adekvátním světelným tokem.

Předpoklady jsou podobné jako v předchozím výpočtu:

- roční doba využití: 2 500 h,
- cena elektrické energie: 3 Kč/kWh,
- cena LED trubice střední ceny včetně instalace 350 Kč,
- cena LED svítidla včetně montáže 2 800 Kč.

	JEDNOTKA	LINEÁRNÍ ZÁŘIVKA T8	LED TRUBICE	LED SVÍTIDLO
Příkon světelných zdrojů	W	2x36	2x18	35
Celkový příkon s předřadníkem	W	86,4	40	35
Světelný tok	lm	2 x 3 350	2 x 2 000	3 900
Cena bez DPH vč. motnáže	Kč	120	700	2 800
Doba života	h	10 000	40 000	80 000
Roční spotřeba	kWh	216	100	88
Roční náklady na el. energii	Kč	648	300	263
Celková roční úspora	Kč	–	348	386
Prostá návratnost	rok	–	2,0	7,3

TABULKA 11. Výpočet porovnávací výměny zářivky za LED trubici s celkovou výměnou svítidla

Z výpočtu uvedeného v tabulce 11 vyplývá, že návratnost je v případě náhrady za LED svítidla vyšší než při pouhé výměně zářivek za LED trubice. Návratnost není nicméně vysoká při zhodnocení kladů, které využití LED svítidel přináší:

- podstatně vyšší doba života než v případě LED trubic,
- zcela nové svítidlo oproti již starším svítidlům s novými LED trubicemi,
- odpadají problémy s přenesením zodpovědnosti za bezpečnost svítidel,
- záruka se vztahuje na celé svítidlo, nikoliv jen na LED trubicu,
- lze zvážit využití stmívání, řízení a dalších prvků, které dále snižují spotřebu elektrické energie,
- vyšší účinnost LED svítidla než v případě svítidla na zářivky s LED trubicemi.

6. Měření



V rámci tvorby publikace došlo k demonstračnímu měření ve spolupráci s Vysokým učení technickým v Brně, Fakultou elektrotechniky a komunikačních technologií (dále VUT FEKT). Záměrem bylo praktické ověření možnosti náhrady lineárních zářivek za LED trubice v obvyklém prostoru kanceláře a poskytnutí nejdůležitějších vyplývajících zkušeností. Mezi praktické zkoumané parametry šlo především o změnu osvětlenosti na pracovišti, změnu rovnoměrnosti a změnu jasových poměrů (oslnění). Záměrem měření naopak nebylo vytvořit komplexní porovnání různých druhů lineárních zářivek a LED trubic; záměrem také nebylo nalezení vhodných uspořádání ani vhodných druhů LED trubic pro použití v praxi. Účelem měření nebylo ani testování samotných LED trubic a jejich parametrů.

6.1. PARAMETRY MĚŘENÍ

Pro praktické ověření možnosti náhrady lineárních zářivek byly vybrány typické a porovnatelné druhy světelných zdrojů: délka 1200 mm (jmenovitý výkon zářivky 36 W), náhradní teplota chromatičnosti 4000 K, index podání barev 80. Byly vybrány dva druhy LED trubic: jeden zástupce tradičních výrobců s výrobkem vyšší ceny a vyššího světelného toku z dostupné nabídky na trhu a jeden zástupce nových výrobců světelných zdrojů s ekonomickým výrobkem průměrných parametrů.

ČÍSLO	1	2	3
Druh	lineární zářivka	LED trubice	LED trubice
Výrobce	Philips	Osram/Ledvance	McLED
Typ	Master TL-D 36/840	LED SubstiTUBE UN ST8AU-1.2m-16W-840-UN	GLASS LEDTUBE T8 1198mm 18W G13 230V 4000K
Jmenovitý výkon	36 W	16 W	18 W
Jmenovitý světelný tok	3 350 lm	2 400 lm	1 850 lm
Měrný výkon	93 lm/W	150 lm/W	103 lm/W
Teplota chromatičnosti	4 000 K	4 000 K	4 000 K
Odchylka tepl. chrom.	–	≤ 4 SDCM	neuveďeno
Podání barev	80	80	80
Doba života	15 000 h	60 000 h	40 000 h
Spínacích cyklů	–	200 000	80 000
Pokles světelného toku	92 % při 12 000 h	70% při 60 000 h	neuveďeno
Teplota	25°C	–20°C až +50°C	–20°C až +40°C
Vyzařovací úhel*	360°	160°	320°
Hmotnost	135 g	232 g	neuveďeno
Cena bez DPH	43,51 Kč	682,50 Kč	207,48 Kč

* Poznámka: Tradičně se rozumí pod vyzařovacím úhlem tzv. úhel poloviční svítivosti, tedy úhel mezi maximem a 50% svítivosti. Obě LED trubice mají velmi podobnou konstrukci a je tedy pravděpodobné, že výrobcem uváděných 320° je míněn vyzařovací úhel definovaný jako úhel mezi jakýmkoliv hodnotami svítivosti většími než 0.

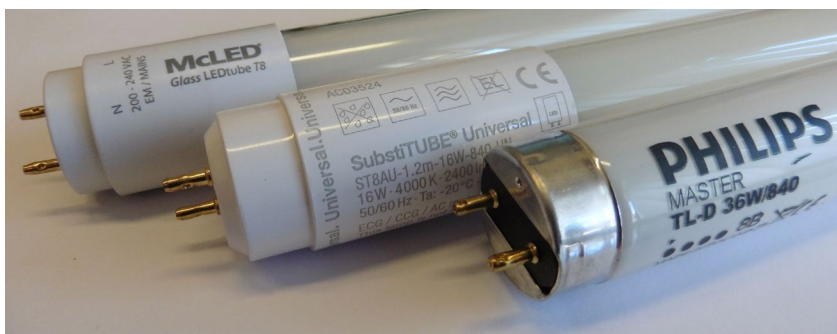
TABULKA 12. Přehled měřených světelných zdrojů (jmenovité parametry)

Před měřením byly všechny světelné zdroje zahořeny na 100 h. Světelné zdroje byly použity ve standardních kancelářských zářivkových svítidlech, které jsou přisazeny ke stropu. Svítidla pracují s klasickým elektromagnetickým předřadníkem a doutnavkovým startérem.

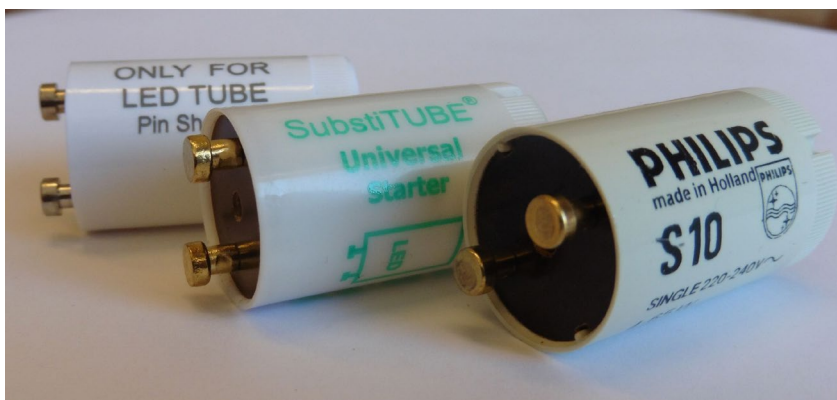
OBRÁZEK 8.
Fotografie svítidla



OBRÁZEK 9.
Fotografie zářivek,
zleva: McLED, Osram,
Philips



OBRÁZEK 10.
Fotografie startérů,
zleva: dva tzv. „LED
startéry“, vpravo klasický
doutnavkový startér



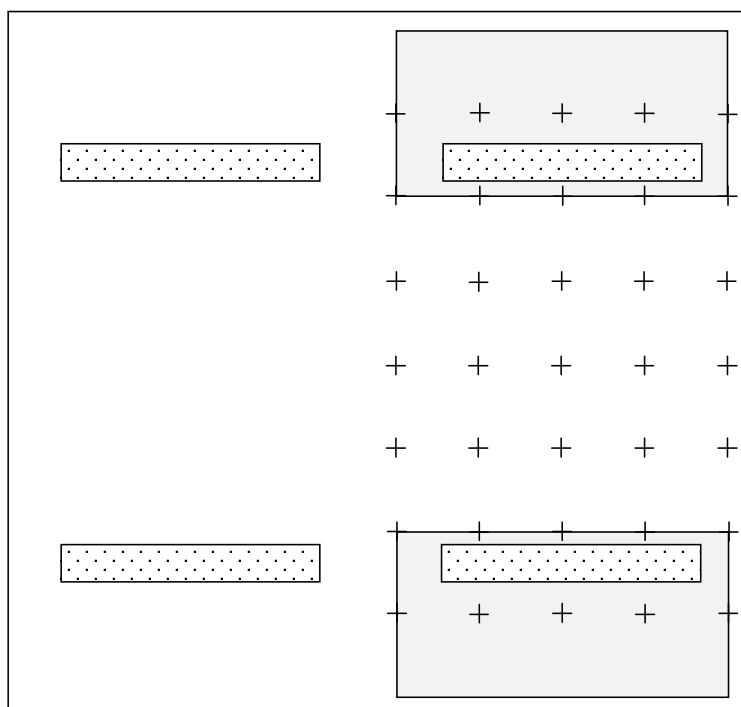
Pro měření byl použit laboratorní luxmetr PRC Krochmann RadioLux 111 a jasový analyzátor LDA – LumiDISP.

6.2. PRŮBĚH MĚŘENÍ

V kanceláři byla vytvořena síť měřících bodů (viz obr. 11). Všechny sady světelných zdrojů byly změřeny dvakrát a výsledné osvětlenosti jsou zprůměrovány. Měření probíhalo ve výšce pracovního stolu (75 cm nad podlahou). Mimo osvětlenost na rovině byla uprostřed měřících bodů změřena také střední válcová osvětlenost hodnotící celkovou osvětlenost v prostoru. Válcová osvětlenost je jedním z ukazatelů jakosti osvětlení.

OBRÁZEK 11.**Schéma měřené kanceláře**

se sítí měřicích bodů, šedivě jsou označeny pracovní stoly, tečkovaně svítidla na stropě



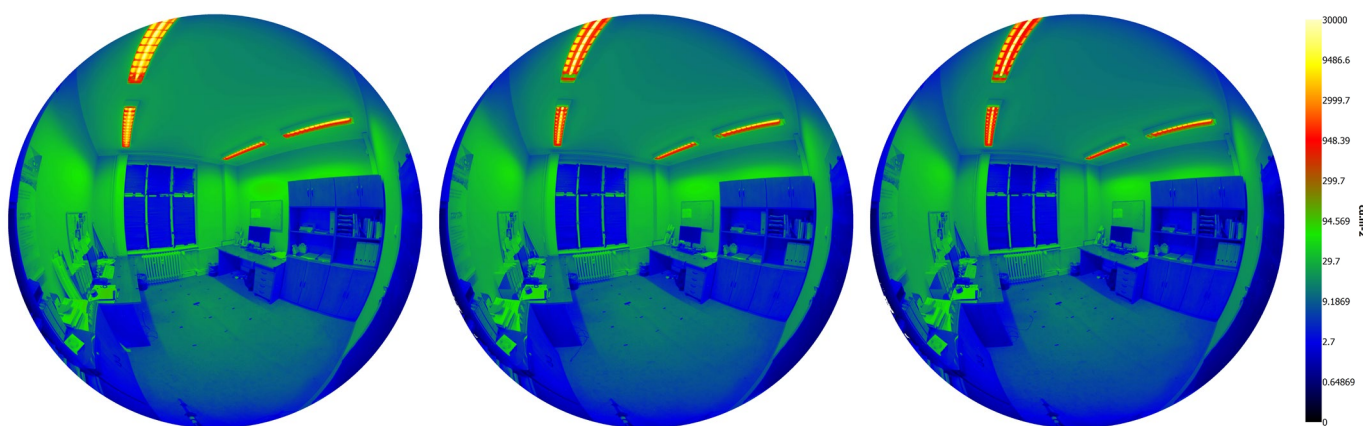
6.3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

LINEÁRNÍ ZÁŘIVKA					LED TRUBICE LEDVANCE					LED TRUBICE MCLED				
420,8	422,6	401,3	361,0	290,8	358,8	360,9	341,4	307,0	258,1	330,9	330,2	314,3	280,0	236,2
438,3	440,2	418,2	373,4	299,0	375,9	374,5	356,3	316,1	254,3	342,8	342,5	325,7	290,4	239,5
454,9	450,6	427,1	379,9	308,2	381,8	381,3	364,3	326,0	264,5	347,4	346,3	330,8	295,3	237,7
458,2	453,7	432,5	381,1	311,9	381,5	379,4	362,4	319,0	265,4	345,2	343,2	329,2	291,1	237,5
452,9	450,6	430,3	381,4	317,7	378,3	377,7	363,9	326,2	270,9	342,1	341,6	329,8	295,2	245,3
439,9	441,0	417,9	374,6	310,5	373,1	373,5	356,1	317,2	268,7	336,6	338,4	322,8	288,6	240,5
431,3	431,0	397,0	354,2	300,0	364,7	364,9	336,3	303,6	258,7	327,5	330,3	304,9	274,4	229,7

TABULKA 13. Změřené osvětlenosti pro jednotlivé měřicí body (v orientaci dle schématu obr. 11)

ČÍSLO	1	2	3
Druh	lineární zářivka	LED trubice Ledvance	LED trubice McLED
Průměrná osvětlenost E_m [lx]	395,8	336,1	305,2
Snížení [%]	-	15,1	22,9
Minimální osvětlenost E_{min} [lx]	290,8	254,3	229,7
Maximální osvětlenost E_{max} [lx]	458,2	381,8	347,4
Rovnoměrnost U_o [-]	0,73	0,76	0,75
Oslnění UGR [-]	18,9	18,2	17,2
Válcová osvětlenost E_z [lx]	126	106	95

TABULKA 14. Výsledky měření



OBRÁZEK 12. Fotografie měřené kanceláře z jasového analyzátoru, světlejší místa vyjadřují vyšší jas povrchů (zleva: lineární zářivky, LED trubice Ledvance, LED trubice McLED)

6.4. ZÁVĚR MĚŘENÍ

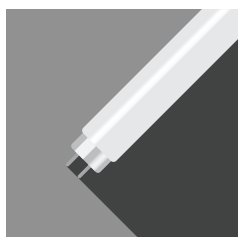
- Náhrada lineárních zářivek za LED trubice byla velmi rychlá a bezproblémová včetně výměny startéru.
- Při použití LED trubic došlo ke snížení celkové osvětlenosti oproti využití standardních lineárních zářivek; a to rovněž u LED trubice s vysokým světelným tokem.
- Použití moderních LED trubic s velkým vyzařovacím úhlem (nad 150°) téměř nezměnilo celkovou rovnoměrnost.
- Použití moderních LED trubic změnilo celkové vyzařování a rozložení jasů v místnosti, což dokládají změny ve válcové osvětlenosti. LED trubice vyzařovaly méně světla ve větších úhlech, které se odrazem od stěn vrací do místnosti. Prostor je „méně naplněn světlem“, světlo přichází převážně v jednom směru.
- Index oslnění UGR se při použití LED trubic snížil, ačkoliv se jas LED trubice oproti jasů zářivky zvýšil (viz obr. 12). Je to dáno metodikou UGR, která počítá s homogenním jasem svítidla. V případě našeho měření se průměrný jas svítidla s LED trubicemi snížil a došlo ke snížení i oslnění. Skutečné oslnění je ale jiné. Závěr měření nelze tedy interpretovat jako snížení oslnění. Poznámka: v současné době se pracuje na vylepšené metodice oslnění.

Závěry měření nelze zcela zobecnit. Změny ve vyzařování vždy souvisí s konkrétním prostorem, typem svítidla, jeho optickou soustavou a použitým světelným zdrojem. U většiny uspořádání pravděpodobně bude platit, že použití moderních LED trubic s velkým vyzařovacím úhlem (nad 150°) povede k menšímu využití směrovosti LED. Důsledkem budou menší negativní změny v rovnoměrnosti, ale bude nutné adekvátně nahradit světelný tok lineárních zářivek, aby nedošlo k celkovému snížení osvětlenosti. To může být problém, neboť i nejlepší LED trubice mají menší světelný tok než lineární zářivky. Naopak při využití LED trubic s malým vyzařovacím úhlem (např. 120° a méně) povede ke zvýšenému využití směrovosti LED. To může vést k dostatečné osvětlenosti pod samotnými svítidly, ale k větším problémům s rovnoměrností a ještě více se projeví problémy se změnou jasových poměrů. Nicméně je třeba zopakovat, že při náhradě lineárních zářivek LED trubicemi vždy dojde ke změně vyzařování, změně jasových poměrů v místnosti a uvedené změny mohou, ale také nemusí, znamenat ne-

dodržení požadovaných parametrů. V potřebných případech je tedy doporučeno pozměnou osvětlovací soustavu změřit a ověřit požadované parametry.

Z výsledků měření nelze nijak dovozovat kvalitu použitých světelných zdrojů, pro které by bylo potřeba testování dle platných standardů včetně ověření skutečného světelného toku. Měření na uvedeném uspořádání s použitými světelnými zdroji a svítidly je především ilustrativní demonstrací.

7. Závěr



KDY LZE ZVÁŽIT POUŽITÍ LED TRUBICE JAKO ZÁMĚNU ZA LINEÁRNÍ ZÁŘIVKY?

- Na prostor se nevztahují požadavky normy +++
- Nezáleží na změně zodpovědnosti za svítidla a není třeba řešit pojištění +++
- Svítidla jsou velmi špatně přístupná pro náhradu světelných zdrojů ++
- Osvětlovací soustava se využívá často +
- Lineární zářivky se nakupují za vysokou maloobchodní cenu +
- Nasmlouvaná vysoká cena za elektrickou energii +
- Svítidla jsou umístěna v chladných prostorech (chladírny apod.) +

KDY PONECHAT ZÁŘIVKY NEBO REKONSTRUOVAT CELOU OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVU?

- Prostor se bude kolaudovat včetně nových výpočtů osvětlení ---
- Jsou využita svítidla s asymetrickým vyzařováním či designová svítidla ---
- Nesmí dojít ke snížení osvětlenosti ---
- Osvětlovací soustava se využívá málo --
- Po náhradě bude nutné přeměření světelně technických parametrů --
- Původní svítidla jsou ve špatném stavu --
- Osvětlovací soustava se stmívá -

TABULKA 15. Závěrečný přehled výhod a nevýhod LED trubic s označením váhy jednotlivých argumentů

TIP

Pokud jste se rozhodli využít LED trubice, zvažte:

- pilotní projekt s ověřovacím měřením
- nastavení kritérií kvality a účinnosti (např. dle kapitoly 5.6)
- velký vyzařovací úhel a maximální světelný tok umožňující adekvátní osvětlení daného prostoru
- využití matných LED trubic snižující riziko oslnění
- kontaktovat původního výrobce svítidel a ověřit si možnost využití LED trubic
- důkladný výpočet ekonomické návratnosti
- znovu ověřit, zda technický stav svítidel umožňuje využití LED trubic po dostatečně dlouhou dobu

Využití informací z této publikace je možné s uvedením zdroje.

SEVEn, The Energy Efficiency Center, z.ú.

Americká 17/579

120 00 Praha 2

e-mail: seven@svn.cz

tel.: 224 252 115

SEVEn

**PREMIUM
LIGHT PRO**



Tento projekt je financován z programu pro výzkum a inovace Horizont 2020 Evropské unie na základě grantové smlouvy č. 695931. Výhradní odpovědnost za obsah této publikace mají její autoři. Prezentace nutně nevyjadřuje postoj Evropské unie. Agentura EASME ani Evropská komise nenesou odpovědnost za použití informací uvedených v této prezentaci.



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



ezú elektrotechnický
zkušební
ústav

Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie na období 2017–2021 – Program EFEKT 2 pro rok 2018.

prosinec 2018