

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**TEPELNÁ ZÁTĚŽ OD UMĚLÉHO
OSVĚTLENÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Andryšek** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **470005**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Strojírenství**
 Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Tepelná zátěž od osvětlení

Název bakalářské práce anglicky:

Heat Gains of Lighting

Pokyny pro vypracování:

Zmapujte moderní i stávající osvětlovací soustavy dostupné na trhu. Zaměřte se na LED a zářivkové osvětlení. Uveďte přehled požadovaných intenzit osvětlení pro různé druhy místností a stanovte potřebnou intenzitu osvětlení. K tomuto účelu použijte vhodnou metodu. Zaměřte se na příkon a reálnou tepelnou zátěž osvětlovacích soustav pro různé typy klimatizovaných prostor.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HABEL, J., DVOŘÁČEK, K., DVOŘÁČEK, V., ŽÁK, P. Světlo a osvětlování. FCC Public. Praha 2013.
- [2] DAŠEK, M., DVOŘÁČEK, K., HÁJEK, M. a kol. Osvětlování vnitřních prostorů. SEVEN. 2002
- [3] ČSN 730548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. 1985
- [4] Podklady výrobců osvětlovacích soustav

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou tepelné zátěže od umělého osvětlení pro účely projektování klimatizačních zařízení. Práce shrnuje požadavky na osvětlení a v praxi k nim používané zdroje a svítidla. Hlavním výstupem je porovnání produkce tepla od osvětlení uvedené v normě ČSN 73 0548 s produkcí tepla, vypočtenou v této práci.

Klíčová slova

Osvětlení, svítidla, osvětlovací technika, tepelná zátěž, zářivková svítidla, LED diodová svítidla, výbojky

Annotation

The bachelor thesis deals with heat gains of artificial lighting from the point of view of the air conditioning designer. The thesis also summarizes the Lighting requirements and describes the characteristics of light sources and luminaires. The major output is a comparison of heat production from the illumination specified in ČSN 73 0548 and the heat production calculated in this thesis.

Keywords

Light, lighting, luminaires, illuminating engineering, heat gains of lighting, lamp, luminous intensity, fluorescent lamp, LED

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci pod názvem „Tepelná zátěž od osvětlení“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Vladimíra Zmrhala, Ph.D. a že jsem uvedl veškeré použité zdroje a literaturu v souladu s metodickým postupem o dodržování etických principů při tvorbě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne:

Podpis:

Matěj Andryšek

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této bakalářské práce, panu doc. Ing. Vladimíru Zmrhalovi Ph.D, za odborné vedení, připomínky a vstřícnost při vypracování této práce. Také bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu při studiu a při tvorbě tohoto dokumentu.

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Základní fotometrické veličiny	12
2.1	Světelný tok Φ	12
2.2	Svítivost I	12
2.3	Prostorový úhel Ω	13
2.4	Intenzita osvětlení E	13
2.5	Měrný výkon η	13
3	Světelné zdroje.....	14
3.1	Teplotní zdroje.....	14
3.1.1	Obyčejné žárovky	14
3.1.2	Halogenové žárovky	15
3.2	Výbojové zdroje	16
3.2.1	Lineární zářivky	16
3.2.2	Kompaktní zářivky.....	17
3.2.3	Nízkotlaké sodíkové výbojky	18
3.2.4	Vysokotlaké rtuťové výbojky	18
3.2.5	Vysokotlaké sodíkové výbojky.....	19
3.2.6	Halogenidové výbojky	20
3.3	Elektro-luminiscenční zdroje.....	21
3.3.1	LED světelné diody.....	21
4	Svítlidla	22
4.1	Světelně činné části svítidel.....	22
4.1.1	Reflektory	23
4.1.2	Difuzory	23
4.1.3	Čočky a refraktory	23
4.1.4	Holografické optické prvky	23

4.1.5	Clony a stínidla	23
4.1.6	Filtry.....	23
5	Požadavky na osvětlení.....	23
5.1	ČSN EN 12464-1 – Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory	24
6	Výpočtová metoda	26
6.1	Toková metoda	26
6.1.1	Příklad výpočtu tepelné zátěže zářivkového svítidla	30
6.1.2	Příklad výpočtu tepelné zátěže LED svítidla	31
6.2	Parametry svítidel	31
7	Analýza jednotlivých prostor	33
7.1	Seznam posuzovaných místností	34
7.2	Administrativní prostory.....	34
7.2.1	Kancelář jednotlivá	34
7.2.2	Kancelář halová	35
7.2.3	Zasedací místnost.....	36
7.2.4	Chodby	37
7.2.5	Recepce	38
7.2.6	Přehled tepelné zátěže pro administrativní prostory	39
7.3	Průmyslové prostory	39
7.3.1	Sklady	39
7.3.2	Slévárny	40
7.3.3	Kadeřnictví.....	41
7.3.4	Haly pro zpracování kovů	42
7.3.5	Přehled tepelné zátěže pro průmyslové prostory	43
7.4	Školské a vzdělávací prostory	43
7.4.1	Komunikační a shromažďovací prostory	43

7.4.2	Mateřské školy	44
7.4.3	Knihovny.....	45
7.4.4	Učebny	46
7.4.5	Přehled tepelné zátěže pro školní a vzdělávací prostory	47
7.5	Obchodní prostory	47
7.5.1	Prodejny potravin.....	47
7.5.2	Běžné obchody.....	48
7.5.3	Autosalony	49
7.5.4	Přehled tepelné zátěže pro obchodní prostory	50
7.6	Zdravotnické a nemocniční prostory	50
7.6.1	Čekárny	50
7.6.2	Vyšetřovny	51
7.6.3	Operační sály	52
7.6.4	Přehled tepelné zátěže pro nemocniční a zdravotnické prostory	53
7.7	Prostory pro potravinářskou činnost.....	53
7.7.1	Školní jídelny	53
7.7.2	Restaurace	54
7.7.3	Kuchyně	55
7.7.4	Přehled tepelné zátěže pro potravinářské prostory	56
8	Vyhodnocení	56
8.1	Výsledky analýzy	56
8.2	Porovnání výsledků analýzy s ČSN 73 0548 a ASHRAE.....	57
9	Závěr	59
	Seznam citované literatury.....	60
	Seznam grafů	63
	Seznam obrázků.....	63
	Seznam rovnic.....	64

Seznam příloh	64
---------------------	----

Seznam použitého značení

I	Svítivost	[cd]
Φ	Světelný tok	[lm]
Φ_{sv}	Světelný tok svítidla	[lm]
Φ_c	Potřebný celkový světelný tok	[lm]
Φ_z	Světelný tok zdroje svítidla	[lm]
Ω	Prostorový úhel	[sr]
E	Intenzita osvětlení	[lx]
\bar{E}_m	Požadovaná průměrná intenzita osvětlenosti povrchu	[lx]
ρ	Činitel odrazivosti povrchu	[-]
η	Měrný výkon	[lm/W]
η_{sv}	Účinnost svítidla	[%]
η_E	Činitel využití místnosti	[-]
m	Index místnosti	[-]
n_{sv}	Počet svítidel	[-]
n_z	Počet zdrojů ve svítidle	[-]
z	Udržovací činitel	[-]
z_z	Činitel stárnutí světelných zdrojů	[-]
z_s	Činitel znečištění svítidel	[-]
z_p	Činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru	[-]
z_{fs}	Činitel funkční spolehlivosti zdrojů	[-]
P_{sv}	Příkon svítidla	[W]
P_c	Celkový instalovaný výkon	[W]
Q	Tepelná zátěž prostoru	[W/m ²]
A	Plocha	[m ²]
r	Poloměr	[m]
h_s	Výška srovnávací roviny	[m]
h_v	Výška svítidla nad srovnávací rovinou	[m]
Ra	Index podání barev	[-]
UGR_L	Index oslnění	[-]
U_0	Rovnoměrnost osvětlení	[-]

1 Úvod

S vývojem biologie, fyziologie, psychologie a se stále rozsáhlejším zkoumáním dopadu tepelné pohody na efektivitu práce člověka a zkvalitňování pracovního prostředí z hlediska tepelného komfortu je dnes klimatizace považována za nedílnou součást budov. Pořizovací a provozní náklady jsou však velmi vysoké, proto je kladen důraz na přesnost návrhu klimatizačního zařízení, při kterém projektant zohledňuje tepelnou zátěž, tedy tepelné zisky klimatizovaného prostoru. Tepelné zisky vnější, především tepelné zisky od sluneční radiace lze snižovat volbou moderních vyspělých materiálů s nízkým součinitelem prostupu tepla, vhodným osazením oken kvalitním zasklením s nízkou propustností slunečního záření, stíněním oken či fasády objektu, popřípadě zateplením, nebo výsadbou zeleně v okolí. V důsledku vývoje informačních technologií a jejich stále masivnějšího používání se na tepelné bilanci výrazně podílí vnitřní tepelné zisky, které nelze tak snadno eliminovat. Ty jsou dány především produkcí tepla od lidí, zařízení, motorů, ventilátorů, teplých povrchů, kancelářské techniky a svítidel.

Umělé osvětlení doplňuje nebo zcela nahrazuje denní osvětlení a tím i stoupá význam tepelných zisků od svítidel v klimatizovaných prostorách. V dnešní době počítají projektanti tepelnou zátěž klimatizovaných prostor na území České republiky podle normy ČSN 73 0548 schválené dne 11.1. 1985. Zde je uveden přehled typů prostor a provozů a k nim vztažená tepelná zátěž od osvětlení pro žárovková a zářivková svítidla. Tato norma je ale poplatná datu svého vydání a můžeme předpokládat, že s vývojem svítidel, materiálů a technologií výroby se hodnoty tepelné zátěže změnily.

Cílem této práce je poskytnutí aktuálních údajů tepelné zátěže od umělého osvětlení pro vztažené referenční místnosti a typy provozů, především pro zářivková a LED svítidla. Tepelné zisky od osvětlení se podílí na tepelné bilanci prostor a mají velký význam pro projektanty klimatizačních systémů.

V *Tab. 1.1* jsou uvedeny doporučené intenzity osvětlení a odpovídající produkce tepla pro různá pracoviště podle normy ČSN 73 0548 vydané roku 1985.

Tab. 1.1: Produkce tepla pro různá pracoviště podle ČSN 73 0548 [1]

Pracoviště	Intenzita osvětleností [lx]	Produkce tepla	
		žárovky [W/m ²]	zářivky [W/m ²]
Skladiště, byty, restaurace, divadla	120	20 až 30	7 až 9
Učebny, pokladny, jednoduchá montáž	250	40 až 55	13 až 18
Kanceláře, čítárny, výpočetní střediska, výzkum. Pracoviště	500	75 až 105	25 až 35
	750	115 až 160	38 až 53
Výstavy, obchodní domy, jemná montáž			
Montáž elektrotechniky, retuš	1000	-	50 až 70
Nejnáročnější jemná montáž	1500	-	75 až 105
Hodinářství, subminiaturní elektronika	2000	-	100 až 140
Televizní studia	nad 2000	-	nad 140

2 Základní fotometrické veličiny

2.1 Světelný tok Φ

Světelný tok je světelně technická veličina, která udává celkové množství světla emitovaného zdrojem světla do všech směrů. Měří se v jednotkách lumen [lm] a 1 lumen je definován jako světelný tok vyzářený zdrojem o svítivosti 1 kandela do prostorového úhlu 1 steradián.

2.2 Svítivost I

Svítivost je světelný tok vztažený na prostorový úhel steradián a vyjadřuje množství světelného toku emitovaného bodovým zdrojem jen určitým směrem. Udává se v jednotkách kandela [cd]. Svítivost neboli hustota světelného toku zdroje se liší v různých směrech, proto se charakterizuje křivkou svítivosti, kterou udává výrobce v katalogovém listu svítidla.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad [\text{cd}] \quad (2.1)$$

kde Φ je světelný tok [lm]

Ω je prostorový úhel [sr]

2.3 Prostorový úhel Ω

Prostorový úhel je geometrická veličina a vyjadřuje vrcholový úhel kužele. Jeho velikost je určena velikostí plochy vyřaté obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule. Jednotkou je steradián [sr].

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad [\text{sr}] \quad (2.2)$$

kde A je plocha vyřatá úhlem Ω [m^2]
 r je poloměr koule [m]

2.4 Intenzita osvětlení E

Intenzita osvětlení je základní kvantitativní veličina definovaná jako podíl dopadajícího světelného toku na plochu. Měří se luxmetrem a její jednotkou je lux [lx]. Norma ČSN 12 464-1 udává minimální hodnoty osvětlenosti pro dané prostory, aby byla zaručena světelná pohoda mikroklimatu osob.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad [\text{lx}] \quad (2.3)$$

kde Φ je světelný tok bodového zdroje [lm]
 A je osvětlovaná plocha [m^2]

2.5 Měrný výkon η

Měrný výkon udává množství světelného toku v lumenech, které je zdroj schopen vyrobit z 1 wattu elektrické energie. Udává se v lumenech na watt [lm/W].

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad [\text{lm/W}] \quad (2.4)$$

kde Φ je světelný tok [lm]
 P je elektrický příkon [W]

3 Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou základem osvětlovacích soustav. Transformují elektrickou energii na energii elektromagnetického záření v oblasti viditelného světla. Tuto vlastnost charakterizuje veličina měrný výkon η [lm/W]. Nejrychleji se rozvíjející oblastí světelných zdrojů jsou LED světelné diody, které dnes při laboratorním měření vykazují hodnoty účinnosti nad 230 lm/W. Přehled měrných výkonů základních skupin světelných zdrojů je uveden v *Tab. 3.1*.

Dělení je pro účely této práce zbytečně složité, protože se práce věnuje především dvěma typům vlastních umělých světelných elektrických zdrojů, a to konkrétně lineárním zářivkám a LED světelným diodám. Ale pro úplnost jsou zde uvedeny základní typy a rozdělení.

Tab. 3.1: Měrný výkon základních skupin světelných zdrojů [2]

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

3.1 Teplotní zdroje

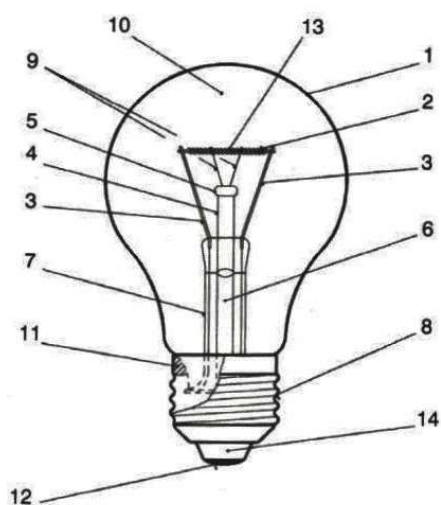
V teplotních zářičích vzniká viditelné světlo rozžhavením pevné látky. Tento jev se nazývá inkandescence. Charakteristickou vlastností teplotních zdrojů je nízká účinnost přeměny elektrického příkonu na světlo, které emitují zpravidla ve spojitém spektru.

3.1.1 Obyčejné žárovky

Obyčejné žárovky se stále řadí mezi nejpopulárnější a nejrozšířenější světelné zdroje vůbec. Je tomu tak díky široké škále nabízených výkonů a tvarů, nízké ceně, snadné údržbě, snadné montáži a vysokému indexu podání barev. Nevýhodou je ale nízký měrný výkon, nízká životnost a výrazně klesající světelný tok v průběhu života. Celosvětově se jich ale prodá

v řádech miliard kusů ročně a renomovaní světoví výrobci osvětlovací techniky je stále řadí mezi své hlavní produkty. [2]

Vlastním zdrojem záření je pak wolframové vlákno o tloušťce od 10 do 120 μm . To je upevněno na tzv. nožce a společně zataveno do baňky ze sodo-vápenatého skla. Toto vakuově těsné spojení zajišťuje inertní prostředí po dobu celé životnosti žárovky, která činí přibližně 1000 hodin. Měrný výkon se většinou pohybuje okolo 10 lm/W . Je to dáno tím, že většinu energie vyzařují v oblasti ultrafialového záření, namísto viditelného spektra. [2]



Konstrukce obyčejné žárovky

- 1 – baňka
- 2 – wolframové vlákno
- 3 – přívody
- 4 – tyčinka
- 5 – čočka
- 6 – čerpací trubička
- 7 – talířek
- 8 – patice
- 9 – háčky
- 10 – plynná náplň
- 11 – tmel
- 12 – pájka
- 13 – getr
- 14 – izolace patice

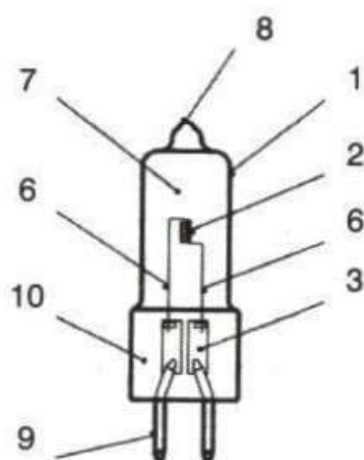
Obr. 3.1: Konstrukce obyčejné žárovky [3]

3.1.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou dalším evolučním krokem v oblasti teplotních zářičů. Dosahují vyšších měrných výkonů, delší životnosti a při jejich užívání dochází k nízkému úbytku světelného toku v průběhu života. Baňka je naplněna inertním plynem s příměsí halogenů. Oproti klasickým žárovkám, u kterých docházelo k dominantnímu jevu odpařování wolframového vlákna a usazování wolframu na povrchu baňky, se zde navíc ještě uplatňuje tzv. halogenový cyklus, při kterém se odpařený wolfram naváže na halogen a působením tepelného pole se přenesa a usadí na nejteplejším místě vlákna. [4]

Mezi výhody tedy patří kompaktnost, snadná dostupnost, jednoduchá instalace, lepší stabilita světelného toku, delší životnost (běžně se udává 2000 hodin), vyšší dosahované hodnoty měrného výkonu okolo 20 lm/W a vysoký index podání barev. Nevýhody jsou vyšší

cena, markantní závislost jejich vlastností na připojovacím příkonu a značně náročnější technologie výroby. [2]



Konstrukce halogenové žárovky

- 1 – baňka
- 2 – wolframové vlákno
- 3 – molybdenová folie
- 4 – molybdenový přívod
- 5 – podpěrka
- 6 – koncečky vlákna
- 7 – plynná náplň
- 8 – odpálek čerpací trubičky
- 9 – kolík
- 10 – stisk
- 11 – keramická patice

Obr. 3.2: Konstrukce halogenové žárovky [4]

3.2 Výbojové zdroje

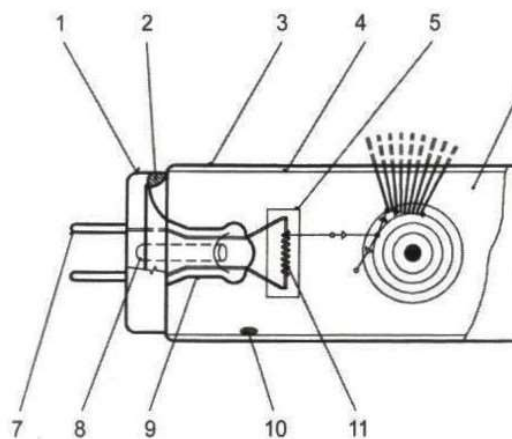
Ve výbojových zdrojích vzniká světlo na principu průchodu elektrického proudu prostředím vhodného složení. Nejčastěji jsou to páry sodíku a rtuti společně se vzácnými plyny, jako jsou argon, krypton a neon ve sloučení s dalšími chemickými prvky. Výboje způsobí přeměnu elektrického proudu na kinetickou energii pohybujících se elektronů, které do sebe vrážejí. Při těchto kolizích se pak uvolňuje energie ve formě záření. Pro jejich provoz jsou nezbytná předřadná a startovací zařízení. [2]

3.2.1 Lineární zářivky

Lineární zářivky jsou nízkotlaké výbojky naplněné parami rtuti a vzácnými plyny, které snižují zápalné napětí výboje. Při výbojích v parách rtuti se energie uvolňuje ve formě ultrafialového záření, které je pro lidské oko neviditelné. Proto se na vnitřní povrch trubic nanáší luminofor v jedné nebo dvou vrstvách, který ultrafialové záření převádí na viditelné světlo. [2]

Jedná se o jednu z nejpoužívanějších zdrojů v osvětlovacích soustavách, zejména v administrativních budovách, průmyslu, školách, restauracích, chodbách, sportovních prostorách, nemocnicích a obchodech. Je tomu tak díky široké nabídce příkonů, velikostí a barev podávaného světla. Disponují dlouhou životností až 20 000 hodin a vysokou účinností

přeměny elektrické energie na světelnou. Ta se s vývojem elektrických předřadníků, tj. vysokofrekvenčním napájením, výrazně zvýšila a dosahuje hodnot okolo 104 lm/W. Mezi nedostatky zářivek patří neekologická likvidace trubic kvůli obsahu toxické rtuti, závislost světelného výkonu na teplotě okolí a potřeba předřadných zařízení. [2]



Konstrukce lineární zářivky

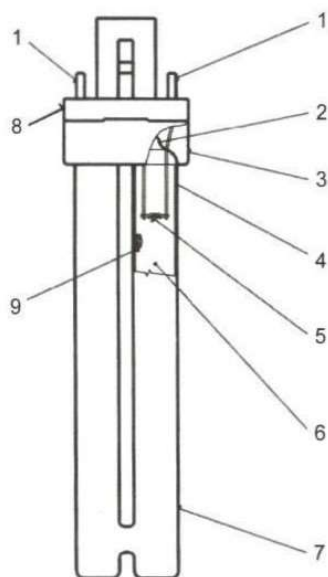
- 1 – patice
- 2 – tmel
- 3 – trubice
- 4 – vrstva luminoforu
- 5 – ochranná clonka
- 6 – plynná náplň
- 7 – kolík patice
- 8 – čerpací trubička
- 9 – nožka
- 10 – rtuť
- 11 – elektroda

Obr. 3.3: Konstrukce lineární zářivky [5]

3.2.2 Kompaktní zářivky

Kompaktní zářivky fungují na stejném fyzikálním principu jako lineární zářivky. Vykazují ale podstatně menší kompaktnější rozměry, což je dáno rozložením výbojové dráhy do dvou, čtyř, šesti, osmi nebo více paralelně umístěných trubic, které jsou však elektricky v sérii. Dalším rozšířeným případem konstrukčního řešení jsou zářivky s výbojovou trubicí ve tvaru různých šroubovic, nebo písmene U. Jejich cílem je co nejvíce se rozměrově přiblížit méně šetrným klasickým žárovkám. [2]

Mezi jejich přednosti patří až 80% úspora elektrické energie oproti obyčejným žárovkám, vysoký měrný výkon dosahující 87 lm/W vysoký index podání barev, dlouhá životnost 20 000 hodin, možnost provozu se stmívači a nepřeborné množství nabízených výkonů, barev a tvarů. Jako hlavní nedostatky se uvádí závislost okolní teploty na světelném výkonu a závislost počtu startů na celkovou životnost. [2]



Konstrukce kompaktní zářivky

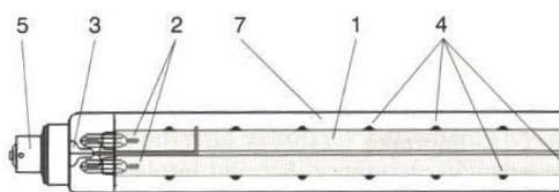
- 1 – kolíky
- 2 – čerpací trubička
- 3 – díl plastové patice s tmelem
- 4 – vrstva luminoforu
- 5 - elektroda
- 6 – plynná náplň
- 7 – trubice
- 8 – díl plastové patice se startérem
- 9 - rtuť

Obr. 3.4: Konstrukce kompaktní zářivky
[6]

3.2.3 Nízkotlaké sodíkové výbojky

Nízkotlaké sodíkové výbojky dosahují v současné době měrného výkonu 200 lm/W, což z nich činí neúčinnější svítidla vůbec. Děje se tak při pracovní teplotě 270 °C a tlaku 0,5 Pa. Avšak vyzařují téměř monochromatické světlo s indexem podání barev $Ra = 0$, při kterém lidské oko vnímá všechny barvy osvětlovaných předmětů, kromě oranžové, jako odstíny šedé.

[2]



Obr. 3.5: Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky [7]

Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky

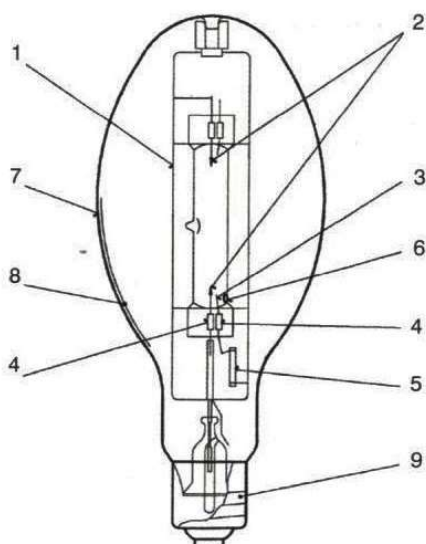
- 1 – výbojová trubice
- 2 – elektrody
- 3 – nožka
- 4 – chladná místa
- 5 – patice
- 6 – vnější baňka
- 7 – vakuum

3.2.4 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou světelné zdroje baňkovitého tvaru, využívající vlastností vzniku světla ve rtuťovém výboji při působení tlaku převyšujícího 100 kPa. Při

narůstajícím tlaku par rtuti roste měrný výkon, vyzařované spektrum je spojitě a roste jeho vlnová délka. Výbojky s čirou vnější baňkou vyzařují modro-zelené spektrum a zcela chybí jeho červená část. Proto se obdobně jako u předešlých případů nanáší vnitřní vrstva luminoforu buzená ultrafialovým zářením. [8]

Výhodou je dlouhá životnost 12 000 až 16 000 hodin, stálá míra světelného toku v průběhu života, nízká cena a spolehlivost bez ohledu na okolní teplotu (i při nízkých teplotách pohybujících se do $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Vysokotlaké rtuťové výbojky se používají především pro osvětlování sportovišť, komunikací a průmyslových komplexů. To je dáno jejich dlouhou dobou náběhu (až 5 min) a možností opětovného zapnutí až po vychladnutí. [8]



Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky

- 1 – nosný rámeček
- 2 – hlavní elektrody
- 3 – pomocná elektroda
- 4 – molybdenová folie
- 5 – rezistor
- 6 – rtuť
- 7 – vnější baňka
- 8 – vrstva luminoforu
- 9 – patice

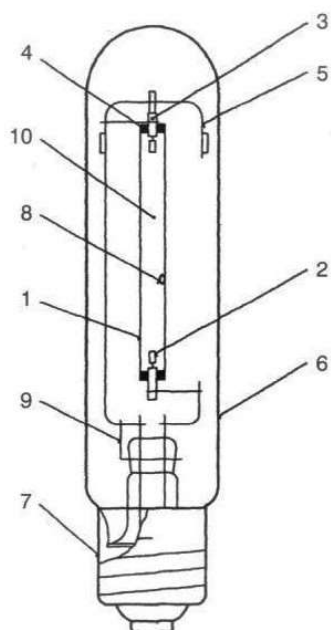
Obr. 3.6: Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [8]

3.2.5 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou světelné trubicové zdroje, ve kterých záření vzniká v sodíkových parách s provozním parciálním tlakem 3 až 6 kPa. Jak již bylo zmíněno v odstavci 3.2.3, dlouholetým zkoumáním vlastností výboje v parách sodíku za nízkého tlaku lze dosáhnout hodnot měrného výkonu až 200 lm/W. Při zvyšování parciálního tlaku sodíkových par světelná účinnost nejprve klesá a následně opět roste a okolo tlaku 10 kPa prochází svým druhým maximem, které u špičkových výrobců odpovídá 150 lm/W.

S rostoucím tlakem roste i index podání barev. Vyzařují světlo v oblasti žlutého spektra a výbojová trubice tedy nemusí být potažena luminoforem. [9]

K výhodám řadíme dlouhou životnost dosahující 30 tis. hodin, malý úbytek světelného výkonu v průběhu života, snadnou údržbu a příznivou cenu. Ve většině případů se používají pro světlení tunelů, komunikací, letišť a rozlehlých průmyslových hal. Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou ale postupně nahrazovány halogenidovými výbojkami pro své lepší vlastnosti v oblasti podání barev při podstatně vyšší světelné účinnosti. [9]



Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky

- 1 – korundová trubička
- 2 – elektroda
- 3 – niobová průchodka
- 4 – pájecí kroužek
- 5 – nosný rámeček
- 6 – vnější baňka
- 7 – patice
- 8 – amalgám sodíku
- 9 – getr
- 10 – plynná náplň

Obr. 3.7: Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky [9]

3.2.6 Halogenidové výbojky

Halogenidové výbojky se vyvinuly ze rtuťových vysokotlakých výbojek a jejich světlo vzniká zářením par kovů, hlavně rtuti, vzácných plynů a produktů štěpení halogenidů. Vhodným výběrem a kombinací nových příměsí lze dosáhnout širší barevné škály a specifické úpravy spektra pro speciální využití v nejrůznějších vědních oblastech, jako jsou medicína, pěstivatelství, výrobní technologie a další. [10]

Halogenidové výbojky vynikají možností úpravy spektrálního složení světla, velkým rozsahem příkonů, dlouhou životností 10 000 hodin a vysokým měrným výkonem až 130 lm/W. Mezi nevýhody řadíme technologickou náročnost výroby a z toho plynoucí vysoké pořizovací náklady, nutnost použití zapalovacího zařízení a pomalý náběh okolo 10 minut. [10]

3.3 Elektro-luminiscenční zdroje

Jsou to elektrotechnické prvky s polovodičovým přechodem, který při průchodu elektrického proudu emituje optické záření. Řadí se sem světelné LED diody, laserové diody a elektroluminiscenční panely. Prakticky všichni významní výrobci osvětlovací techniky je v posledním desetiletí zařadili do svého portfolia a financují vývoj těchto dynamicky se rozvíjejících světelných zdrojů. Jedná se o ekologickou a úspornou technologii. [2]

3.3.1 LED světelné diody

Světelná dioda LED (z anglického Light Emitting Diode) je polovodičová součástka, která mění elektrickou energii na viditelné světlo. Ke generování světelného toku dochází rekombinováním nosičů náboje, které procházejí polovodičovým přechodem. [11] Dnes už je zvládnuta výroba prakticky všech barev spektra od modré až po červenou, což je možné ovlivňovat několika způsoby. Prvním způsobem je omezení šířky zakázaného pásma použitého polovodiče. Dalším je míšení základních tří barev modré, zelené a červené za použití složitého hardwaru a softwaru. Krystaly základních polovodičů jsou současně nejdražším prvkem tohoto typu generování světelného výkonu. [2]

LED diody disponují nejširší oblastí využití vůbec, od osvětlení vnitřních a venkovních prostorů, přes signalizační osvětlení ve vypínačích a kontrolkách až po čtečky, displeje, dezinfekce vzduchu zářením a mnoho dalších. Je tomu tak hlavně pro jejich výborné geometrické, elektrické, světelné, kolorimetrické a provozní parametry. Dosahují životnosti přes 10 000 hodin a měrného výkonu okolo 160 lm/W. [2]

4 Svítidla

Svítidla jsou elektrotechnická zařízení skládající se ze světelného zdroje a komponent, které slouží k usměrnění světelného toku, připojení zdroje k elektrickým rozvodům, upevnění tělesa a k ochraně a krytí zářiče před vlivy vnějšího prostředí. Pro jejich charakterizaci se používá poměrně rozsáhlý soubor světelně-technických, elektrických, provozně-technických a energetických parametrů. Nelze zanedbat ani estetické hodnocení, jemuž se mnohdy ostatní parametry podřizují. Na trhu se dnes pohybuje ohromné množství nejen výrobců samostatných svítidel, ale také firem, které kompletují svítidla z produktů jiných výrobních společností. Existuje proto nespočetné množství druhů a variací s různou geometrií, elektrickou a světelně činnou výbavou. [12]

Volba zdroje světla, předřadných zařízení a světelně činných částí svítidla má zásadní význam na výslednou hodnotu tepelné zátěže. Jako další ovlivňují přírůstek zátěže světelně-technické vlastnosti svítidla, a to zejména míra vyzářeného světelného toku, měrného výkonu, znečištění a příkonu.

4.1 Světelně činné části svítidel

Světelně činné části svítidel zajišťují základní funkci svítidel, kterou je osvětlování určitého předmětu nebo prostoru tím, že upravují rozložení světelného výkonu emitovaného světelnými zdroji. Některé skupiny slouží k rovnoměrnému rozptýlení světelného toku, jiné naopak k jeho usměrnění do specifického svazku, nebo zabraňují přímému oslnění cloněním nebo filtrací spektrálního složení světla. Ovlivňují tak fotometrické vlastnosti daných svítidel. Nejvýrazněji pak celkovou účinnost svítidla, která je definována jako podíl užitečného toku vyzářeného svítidlem a celkového světelného toku zdrojů svítidla, neboť světelný tok svítidla je vždy menší než součet světelných toků zdrojů svítidla. Účinnost vyjadřujeme vztahem

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} \quad [\%] \quad (4.1)$$

kde Φ_{sv} je světelný tok vyzářovaný svítidlem [lm]

Φ_z je celkový světelný tok zdrojů svítidla [lm]

Poznámka: Například opálový kryt svítidla, mající zabraňovat přímému oslnění pohledem do svítidla, snižuje jeho účinnost až o 40 %. [2]

4.1.1 Reflektory

Reflektor je světelně činná část svítidla, která principem odrazu mění prostorové rozložení světla. Pro výrobu se nejčastěji používá válcovaný eloxovaný hliníkový plech. [2]

4.1.2 Difuzory

Difuzory jsou průhledné části svítidel, které při průchodu světla mění prostorové rozložení světelného toku rozptylem. Vyrábí se z opálového skla nebo průsvitného plastu. [2]

4.1.3 Čočky a refraktory

Čočky a refraktory lámou světelné paprsky a tím mění prostorové rozložení světelného toku. Zhotovují se ze skla, polymethylmetakrylátu (PMMA), polykarbonátu a polystyrenu. Nejčastější je ale použití prizmatických krytů u zářivkových svítidel. [2]

4.1.4 Holografické optické prvky

Holografické optické prvky, podobně jako čočky a refraktory, mění směr světelných paprsků lomem. Ty ale využívají lomu na rozhraní materiálů, zatímco HOE (z anglického Holographic Optical Elements) mění směr toku při průchodu reliéfní mikroskopickou strukturou vytvořenou holografickým záznamem. [2]

4.1.5 Clony a stínidla

Clony a stínidla jsou světelně činné prvky svítidel z neprůsvitného nebo rozptylného materiálu zabraňující přímému oslnění od světelného zdroje. Mohou být také částečně využívány k usměrňování světelného toku. [2]

4.1.6 Filtry

Filtry propouštějí jen určitou část viditelného spektra. Používají se například k filtraci ultrafialového záření, infračerveného záření nebo barvy. [2]

5 Požadavky na osvětlení

Osvětlení je velmi důležité pro optimální fyziologické, biologické, biochemické a psychologické funkce celého organismu a jednotlivých orgánů. Světelná nepohoda neovlivňuje jen efektivitu práce a soustředěnost, ale může mít za následek vážné zdravotní problémy. Proto jsou minimální hodnoty intenzity osvětlení ošetřeny legislativou.

Hygienické požadavky na osvětlení pracoviště stanovuje nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Konkrétně §45 a §45a, které odkazuje na normu ČSN EN 12464-1

5.1 ČSN EN 12464-1 – Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory

Tato evropská norma udává požadavky na osvětlení taxativně tabelárně pro většinu prostorů, zrakových úkonů a činností ve vnitřním prostředí. Byla schválena 1. 3. 2012 a vešla v platnost 1. 4. 2012.

V následujících odstavcích je uvedeno několik málo příkladů požadavků na osvětlení vyňatých z ČSN EN 12464-1 Část 1, použitých pro získání výsledků této práce.

Tab. 5.1: Světelně technické požadavky v administrativních prostorách [13]

Typ prostoru, úkolu a činnosti	Požadované světelně technické parametry			
	\bar{E}_m [lx]	U_0 [-]	UGR_L [-]	R_a [-]
archivy	200	0,4	25	80
recepce	300	0,6	22	80
zakládání dokumentů, kopírování atd.	300	0,4	19	80
psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat	500	0,6	19	80
konferenční a zasedací místnosti	500	0,6	19	80
technické kreslení	750	0,7	16	80

Tab. 5.2: Světelně technické požadavky pro skladové prostory [13]

Typ prostoru, úkolu a činnosti	Požadované světelně technické parametry			
	\bar{E}_m [lx]	U_0 [-]	UGR_L [-]	R_a [-]
Skladiště a zásobárny	100	0,4	25	60
Expedice a balírny	300	0,6	25	60
Regálové sklady – uličky s obsluhou	150	0,4	22	60

Tab. 5.3: Světelně technické požadavky pro průmyslové prostory [13]

Typ prostoru, úkolu a činnosti	Požadované světelně technické parametry			
	\bar{E}_m [lx]	U_0 [-]	UGR_L [-]	R_a [-]
Válcovny, železárny a ocelárny	500	0,6	28	80
Slévárny a výrobky odlitků	500	0,6	25	80
Kadeřnictví	500	0,6	19	90
Zpracování kovů	1000	0,7	25	80
Výroba a opravy automobilů	1000	0,7	22	90
Elektrotechnický průmysl	1500	0,7	25	80
Tiskárny	2000	0,7	19	90

Tab. 5.4: Světelně technické požadavky pro potravinářské prostory [13]

Typ prostoru, úkolu a činnosti	Požadované světelně technické parametry			
	\bar{E}_m [lx]	U_0 [-]	UGR_L [-]	R_a [-]
Školní jídelny	200	0,4	22	80
Restaurace	300	0,6	22	80
Pekárny	500	0,7	22	80
Kuchyně	500	0,6	22	80
Konzervárny, čokoládovny, pivovary	200	0,4	25	80

Tab. 5.5: Světelně technické požadavky pro školy a vzdělávací zařízení [13]

Typ prostoru, úkolu a činnosti	Požadované světelně technické parametry			
	\bar{E}_m [lx]	U_0 [-]	UGR_L [-]	R_a [-]
Komunikační a shromažďovací prostory	200	0,4	25	80
Knihovny, čítárny	500	0,6	19	80
Sportovní haly, tělocvičny, bazény	300	0,6	22	80
Místnosti vyučujících	300	0,6	19	80
Mateřské školky a jesle	300	0,6	22	80
Učebny, konzultační místnosti,	300	0,6	19	80
Učebny pro vzdělávání dospělých	500	0,6	19	80

Tab. 5.6: Světelně technické požadavky pro nemocnice a zdravotnické zařízení [13]

Typ prostoru, úkolu a činnosti	Požadované světelně technické parametry			
	\bar{E}_m [lx]	U_0 [-]	UGR_L [-]	R_a [-]
Lůžkové pokoje	100	0,4	19	80
Čekárny	200	0,4	22	80
Místnosti zobrazovacích metod	300	0,6	19	80
Ošetřovny (obecně)	500	0,6	19	80
Jednotky intenzivní péče	1000	0,7	19	90
Vyšetřovny (obecně)	1000	0,7	19	90
Pítevný a prosektury	5000	0,6	19	90
Operační pole	100000	0,6	19	90

Tab. 5.7: Světelně technické požadavky pro obchodní prostory [13]

Typ prostoru, úkolu a činnosti	Požadované světelně technické parametry			
	\bar{E}_m [lx]	U_0 [-]	UGR_L [-]	R_a [-]
Prodejní prostory	300	0,4	22	80
Prostory u pokladen	500	0,6	19	80
Balící stoly	500	0,6	19	80

6 Výpočtová metoda

Pro výpočet tepelné zátěže prostoru je nejprve nutné určit počet daných svítidel splňujících požadavek na intenzitu osvětlení a tím i celkový instalovaný výkon. Vycházíme tedy z předpokladu, že se veškerý elektrický příkon svítidel přemění na tepelnou energii beze ztrát. Pro tento účel použijeme tokovou metodu.

6.1 Toková metoda

Toková metoda výpočtu průměrné osvětlenosti prostoru v celkové osvětlovací soustavě určuje potřebný počet svítidel a hodnotu celkového počátečního světelného toku světelných zdrojů Φ_c nutného ke splnění světelně technických požadavků v bodech srovnávací roviny. U této metody se zanedbává vliv zastínění srovnávací plochy předměty instalovanými do prostoru.

Stanovení světelného toku Φ_c , který je v uvažovaném prostoru potřeba instalovat, se určí z obecného vztahu

$$\Phi_c = \frac{\bar{E}_m \cdot A}{\eta_E \cdot z} \quad [\text{lm}] \quad (6.1)$$

kde \bar{E}_m [lx] je požadovaná intenzita osvětlení [lx]

A je půdorysná plocha uvažované místnosti [m²]

η_E je činitel využití místnosti [-]

z je udržovací činitel [-]

Činitel využití η_E závisí na geometrických vlastnostech místnosti, rozložení světelného toku svítidel a odrazivosti stěn, stropu a podlahy. Určuje se pro každé svítidlo zvlášť v závislosti na indexu místnosti m definovaného jako

$$m = \frac{a \cdot b}{h_v \cdot (a+b)} \quad [-] \quad (6.2)$$

kde a, b jsou půdorysné rozměry místnosti

h_v je výška svítidla nad srovnávací rovinou

Srovnávací rovina se volí pro místo zřakového pracovního úkonu. Pomocí indexu místnosti m a činitelů odrazu ρ_1 stropu, ρ_2 stěn a ρ_3 podlahy lze určit činitel využití η_E podle *Tab. 6.1*.

Tab. 6.1: Tabulka činitelů využití [2]

m	Činitele odrazu								
	ρ_1	0,7				0,5		0,3	0,0
	ρ_2	0,7	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,0
	ρ_3	0,1							0,0
0,8	η_E	0,51	0,47	0,43	0,41	0,43	0,40	0,36	0,33
1,0		0,56	0,52	0,48	0,46	0,47	0,44	0,40	0,37
1,5		0,63	0,60	0,57	0,54	0,54	0,52	0,46	0,42
2,0		0,68	0,65	0,62	0,60	0,58	0,56	0,50	0,45
2,5		0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59	0,53	0,46
3,0		0,72	0,70	0,68	0,66	0,63	0,61	0,55	0,48
4,0		0,74	0,72	0,71	0,69	0,65	0,64	0,57	0,49
5,0		0,75	0,74	0,73	0,71	0,66	0,65	0,58	0,49

Za účelem univerzalizace výpočtu byla na základě Tab. 6.1 sestavena parametrická rovnice výpočtu činitele využití η_E . Pro všechny variace ρ_1 , ρ_2 a ρ_3 byla sestrojena grafická závislost činitele využití η_E na indexu místnosti m . Z rovnic lineární regrese (polynomů 4. stupně) byly odečteny koeficienty a , b , c , d , e . Znovu byla sestrojena grafická závislost těchto koeficientů na činiteli odrazu ρ_2 a opět bylo využito regrese. Po dosazení koeficientů nové regrese do polynomu 4. stupně dostáváme univerzální parametrickou rovnici pro výpočet činitele využití místnosti $\eta_E = f(m)$.

Poznámka: Detailní postup získání parametrické rovnice je uveden ve výpočtovém excelu (Příloha 1).

Hodnoty činitelů odrazu ploch pro různé povrchy udává norma ČSN 73 0580-1 v Tab. 6.2.

Tab. 6.2: Hodnoty činitelů odrazu [13]

Druh povrchu	Činitel odrazu světla ρ	
Povrch konstrukce	bílá	0,70 až 0,80
	krémová, béžová	0,60 až 0,70
	světle žlutá	0,60 až 0,70
	tmavě žlutá	0,50 až 0,60
	světle červená	0,40 až 0,50
	tmavě červená	0,15 až 0,30
	světle zelená	0,45 až 0,65
	tmavě zelená	0,05 až 0,30
	světle modrá	0,40 až 0,60
	tmavě modrá	0,05 až 0,20
	hnědá	0,12 až 0,25
	světle šedá	0,40 až 0,60
	tmavě šedá	0,15 až 0,20
	černá	0,01 až 0,03
cihla červená	0,25	
písek světlý	0,5	
sádra bílá	0,80 až 0,92	
mramor bílý	0,55 až 0,80	
žula	0,40 až 0,50	
dřevo světlé	0,30 až 0,50	
dřevo tmavé	0,10 až 0,25	
tráva, zeleň	0,03 až 0,10	
zemina	0,08 až 0,20	
smalt bílý	0,60 až 0,75	
beton světlý	0,20 až 0,50	
beton tmavý	0,10 až 0,25	
betonová dlažba	0,30	
nerez ocel	0,55 až 0,65	
hliník eloxovaný, leštěný	0,80 až 0,85	
chrom leštěný	0,60 až 0,70	
mědění plech s měděnkou	0,15 až 0,45	
sklo hladké hloubka 1 až 4 mm	0,06 až 0,08	
sklo s drátěnou vložkou (hloubka 5 mm)	0,15 až 0,27	
plexisklo kalné (hloubka 1 až 2 mm)	0,20 až 0,40	
skleněné zrcadlo	0,80 až 0,90	
okno s čirým sklem	0,1	
sníh	0,75 až 0,80	

Udržovací činitel z zohledňuje skutečnost poklesu světelného toku svítidla v průběhu jeho života. Je definován jako

$$z = z_z \cdot z_s \cdot z_p \cdot z_{fz} \quad [-] \quad (6.3)$$

kde z_z je činitel stárnutí světelných zdrojů

z_s je činitel znečištění svítidel

z_p je činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru

z_{fz} je činitel funkční spolehlivosti zdrojů světla

Udržovací činitel se pohybuje v rozmezí 0,5 až 0,75. Spodní hodnota $z \geq 0,5$ tohoto intervalu je předepsána normou.

Nyní je nutné určit světelný tok samotného svítidla Φ_{sv} ze vzorce

$$\Phi_{sv} = n_z \cdot \Phi_z \cdot \eta_{sv} \quad [\text{lm}] \quad (6.4)$$

kde n_z je počet zdrojů ve svítidel [ks]

Φ_z je světelný tok zdroje svítidla [lm]

η_{sv} je účinnost svítidla udávaná výrobcem [%]

Podělením rovnice (6.1) světelným tokem svítidla a tím dostáváme počet svítidel n_{sv} nutných k instalaci

$$n_{sv} = \frac{\Phi_c}{\Phi_{sv}} \quad [\text{ks}] \quad (6.5)$$

Zbývá už jen určit celkový instalovaný výkon ze vztahu

$$P_c = n_{sv} \cdot P_{sv} \quad [\text{W}] \quad (6.6)$$

kde n_{sv} je celkový počet instalovaných svítidel [ks]

P_{sv} je celkový příkon svítidla [W]

Výslednou tepelnou zátěž Q dostaneme poměrem celkového instalovaného výkonu P_c a půdorysné plochy místnosti A

$$Q = \frac{P_c}{A} \quad [\text{W/m}^2] \quad (6.7)$$

6.1.1 Příklad výpočtu tepelné zátěže zářivkového svítidla

Je dáno konvenční kancelářské zářivkové svítidlo BELTR T8 OP od firmy Trevos. Těleso je vybaveno elektronickým předřadníkem, dvěma světelnými trubicovými zdroji T8/G13 o příkonu 2 x 18 W, difuzorem z opalizovaného polykarbonátu a reflektorem z ocelového bíle lakovaného plechu. Celkový světelný tok dodávaný svítidlem je 2700 lm a celkový příkon svítidla je 44 W. Účinnost svítidla je 75 %. Pro zadanou referenční místnost, tj. kancelář platí:

Rozměry místnosti	10 x 9 x 2,9 m
Požadavek na intenzitu osvětlení	$\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$
Činitel odrazu stropu	$\rho_1 = 0,7$
Činitel odrazu stěn	$\rho_2 = 0,5$
Činitel odrazu podlahy	$\rho_3 = 0,1$
Udržovací činitel	$z = 0,6$
Výška srovnávací roviny	$h_v = 0,85 \text{ m}$ (výška stolu)

- Výpočet indexu místnosti m :

$$m = \frac{a \cdot b}{h_v \cdot (a + b)} = \frac{10 \cdot 9}{(2,9 - 0,85) \cdot (10 + 9)} = 2,3$$

- Určení činitele využití místnosti η_E podle *Tab. 6.1*:

$$\eta_E = 0,67$$

- Výpočet hodnoty potřebného světelného toku Φ_c :

$$\Phi_c = \frac{\bar{E}_m \cdot A}{\eta_E \cdot z} = \frac{500 \cdot 90}{0,67 \cdot 0,6} = 111\,940 \text{ lm}$$

- Světelný tok svítidla:

$$\Phi_{sv} = n_z \cdot \Phi_z \cdot \eta_{sv} = 2 \cdot 1350 \cdot 0,75 = 2025 \text{ lm}$$

- Návrh počtu svítidel n_{sv} :

$$n_{sv} = \frac{\Phi_c}{\Phi_{sv}} = \frac{111\,940}{2025} = 55 \text{ ks}$$

- Celkový instalovaný výkon P_c :

$$P_c = n_{sv} \cdot P_{sv} = 55 \cdot 44 = 2420 \text{ W}$$

- Výsledná tepelná zátěž Q :

$$Q = \frac{P_c}{A} = \frac{2420}{90} = 26,8 \text{ W/m}^2$$

6.1.2 Příklad výpočtu tepelné zátěže LED svítidla

Zadání je stejné jako v 6.1.1 s tím rozdílem, že pro výpočet použijeme LED kancelářské svítidlo BELTR LED shodných rozměrů, které výrobce nabízí jako přímou náhradu předchozího svítidla. Těleso vyzářuje světelný tok 2350 lm při celkovém příkonu 22 W.

- Výpočet hodnoty potřebného světelného toku Φ_c :

$$\Phi_c = \frac{\bar{E}_m \cdot A}{\eta_{E \cdot z}} = \frac{500 \cdot 90}{0,67 \cdot 0,6} = 111\,940 \text{ lm}$$

- Návrh počtu svítidel n_{sv} :

$$n_{sv} = \frac{\Phi_c}{\Phi_{sv}} = \frac{111\,940}{2350} = 48 \text{ ks}$$

- Celkový instalovaný výkon P_c :

$$P_c = n_{sv} \cdot P_{sv} = 48 \cdot 22 = 1056 \text{ W}$$

- Výsledná tepelná zátěž Q :

$$Q = \frac{P_c}{A} = \frac{1056}{90} = 12 \text{ W/m}^2$$

U diodových LED svítidel výrobce udává celkový světelný tok vyzářený svítidlem, tzn. v této hodnotě je již zahrnuta účinnost svítidla. Naopak u zářivkových svítidel udává jen účinnost a typ zdroje, pro který je těleso určeno. Je tedy nejdříve potřeba vyhledat zdroj, zjistit jeho parametry, tj. světelný tok, a ten vynásobit účinností a počtem zdrojů v tělese podle vzorce (6.4).

6.2 Parametry svítidel

Databáze svítidel byla vytvořena na základě podkladů poskytovaných výrobcí a čítá okolo 6 500 svítidel. Svítidla jsou rozdělena do kategorií podle použití pro specifické prostory. V následujících tabulkách je uveden seznam výrobců použitých svítidel a jejich počet v dané kategorii. Detailní souhrn jednotlivých svítidel a jejich parametrů je determinován v příloženém výpočtovém excelu (*Příloha_01*).

Tab. 6.3: Přehled výrobců svítidel – administrativní prostory

Výrobci svítidel pro použití v administrativních prostorech			
LED	Počet	Zářivková	Počet
Halla, a.s.	167	Trevos	253
Modus	129	Nasli	5
Trevos	142	Modus	404
Elektro-Lumen	97	NBB Bohemia	30
Thorn Lighting	30	-	-
Thome Lighting	8	-	-

Tab. 6.4: Přehled výrobců svítidel – průmyslové prostory

Výrobci svítidel pro použití v průmyslových prostorech			
LED	Počet	Zářivková	Počet
Modus	138	Trevos	136
Dia Light	83	Modus	68
Trevos	154	Thorn Lighting	17
NBB Bohemia	24	NBB Bohemia	20
Thome Lighting	25	Elektro-Lumen	26
Elektro-Lumen	120	-	-

Tab. 6.5: Přehled výrobců svítidel – skladovací prostory

Výrobci svítidel pro použití ve skladových prostorech			
LED	Počet	Zářivková	Počet
Trevos	161	Trevos	147
Elektro-Lumen	120	-	-
Thorn Lighting	30	-	-
Opplé Lighting	88	-	-

Tab. 6.6: Přehled výrobců svítidel – potravinářské prostory

Výrobci svítidel pro použití v potravinářských prostorech			
LED	Počet	Zářivková	Počet
Trevos	209	Trevos	309
Opplé Lighting	81	Nasli	5
Thorn Lighting	30	NBB Bohemia	30
-	-	Modus	472

Tab. 6.7: Přehled výrobců svítidel – školní prostory

Výrobci svítidel pro použití ve vzdělávacích prostorech			
LED	Počet	Zářivková	Počet
Halla, a.s.	14	Trevos	253
Trevos	193	Modus	404
Opplé Lighting	86	NBB Bohemia	30
Thorn Lighting	28	-	-

Tab. 6.8: Přehled výrobců svítidel – zdravotnické prostory

Výrobci svítidel pro použití ve zdravotnických prostorech			
LED	Počet	Zářivková	Počet
Trevos	175	Trevos	253
Opplé Lighting	16	NBB Bohemia	30
Thorn Lighting	30	Modus	404
-	-	Nasli	5

Tab. 6.9: Přehled výrobců svítidel – obchodní prostory

Výrobci svítidel pro použití v obchodních prostorech			
LED	Počet	Zářivková	Počet
Halla, a.s.	9	Trevos	331
Modus	83	Nasli	5
Trevos	234	Modus	404
Oppl Lighting	66	NBB Bohemia	30
Thorn Lighting	30	-	-
Thome Lighting	3	-	-

7 Analýza jednotlivých prostor

Pro analýzu tepelné zátěže od umělého osvětlení byl sestaven seznam referenčních typických místností daných rozměrů (Tab. 7.1), odrazivosti povrchů a požadované intenzity osvětlení. Dále byla vytvořena databáze svítidel (viz Příloha_01) pro specifické využití podle typu místnosti, resp. podle typu činnosti v místnosti probíhající.

7.1 Seznam posuzovaných místností

Seznam posuzovaných místností je uveden v *Tab. 7.1*.

Tab. 7.1: Seznam řešených místností

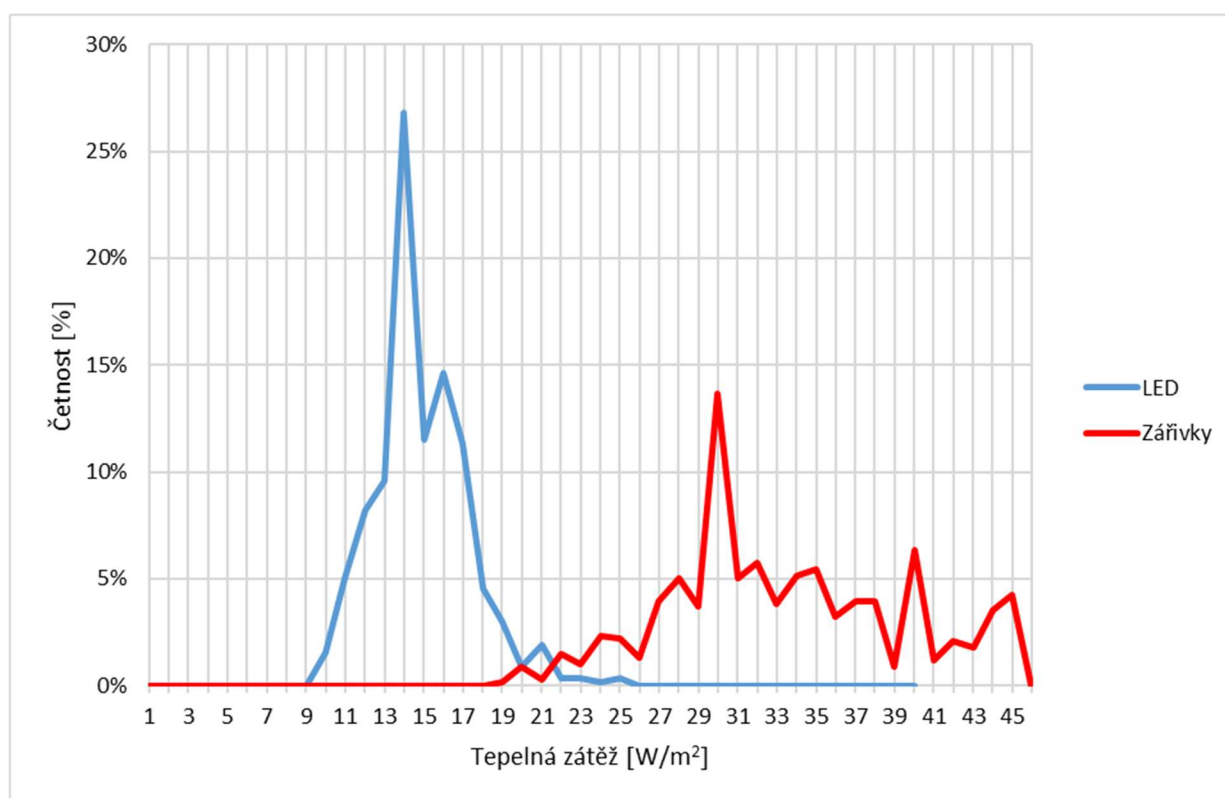
Vybrané prostory		\bar{E}_m [lx]	a [m]	b [m]	A [m ²]	h [m]	h_s [m]
Administrativní budovy	Kancelář jednotlivá	500	4	4	16	2,8	0,85
	Halová kancelář	500	10	12	120	2,9	0,85
	Zasedací místnost	500	8	9	72	2,9	0,85
	Chodba	200	3	12	36	2,7	0
	Recepce	300	3,5	5	17,5	3	1,5
Průmyslové prostory	Sklad	150	10	22	220	4	0
	Slévárny	200	20	17	340	4	0
	Kadeřnictví	500	4	6	24	2,8	1,2
	zpracování kovů	750	100	95	9500	10	0,3
Školy a vzdělávací prostory	komunikační prostory	200	8	9	72	2,9	0,85
	Mateřské školy	300	10	9	90	2,7	0,3
	Knihovny	500	8	10	80	3	0
	učebny	500	6,5	9	58,5	2,9	0,85
Obchodní prostory	Prodejny potravin	300	12	25	300	2,8	0,3
	Autosalony	1000	15	20	300	3	0
	Běžné obchody	500	6	5	30	2,8	0,3
Nemocnice a zdravotnická zařízení	Čekárny chodby	200	4	8	32	3,2	0
	Vyšetřovny	500	4	5,5	22	3	0,6
	operační prostory	1000	7	5,5	38,5	3	0,8
Prostory pro potravinářskou činnost	Školní jídelny	200	10	13	130	3	0,8
	Restaurace	300	7	12	84	2,8	0,85
	Kuchyně	500	5	7	35	2,8	0,3

7.2 Administrativní prostory

7.2.1 Kancelář jednotlivá

Posuzovaná místnost o rozměrech 4 x 4 x 2,8 m odpovídá požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500$ lx. Výška srovnávací roviny odpovídá výšce roviny prováděného zrakového a pracovního úkolu, tj. výšce desky stolu $h_s = 0,85$ m. Strop je natřen vnitřní interiérovou bílou barvou $\rho_1 = 0,7$, stěny jsou natřeny béžovou barvou odpovídající hodnotě $\rho_2 = 0,5$ a podlaha je ze světlého betonu s činitelem odrazu $\rho_3 = 0,1$. Pro osvětlení místnosti jsou použita svítidla k tomu určená, tzn. kancelářská. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.1 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.



Graf 7.1: Četnosti hodnot tepelné zátěže – jednotlivá kancelář

Z grafu je patrné, že LED svítidla tepelně zatěžují prostor podstatně méně než svítidla zářivkového typu. Jednotlivé vrcholky křivek četností odpovídají skupinám svítidel rozdělených podle účinnosti, která je závislá výbavou světelně činnými částmi svítidla.

U LED svítidel první vrcholek odpovídá svítidlům vybaveným parabolickými mřížkami, reflektory a holografickými prvky, tedy svítidlům s vyšší účinností. Druhý vrcholek pak zahrnuje skupinu svítidel s především mikroprismatickými kryty, které výrazně snižují jejich účinnost.

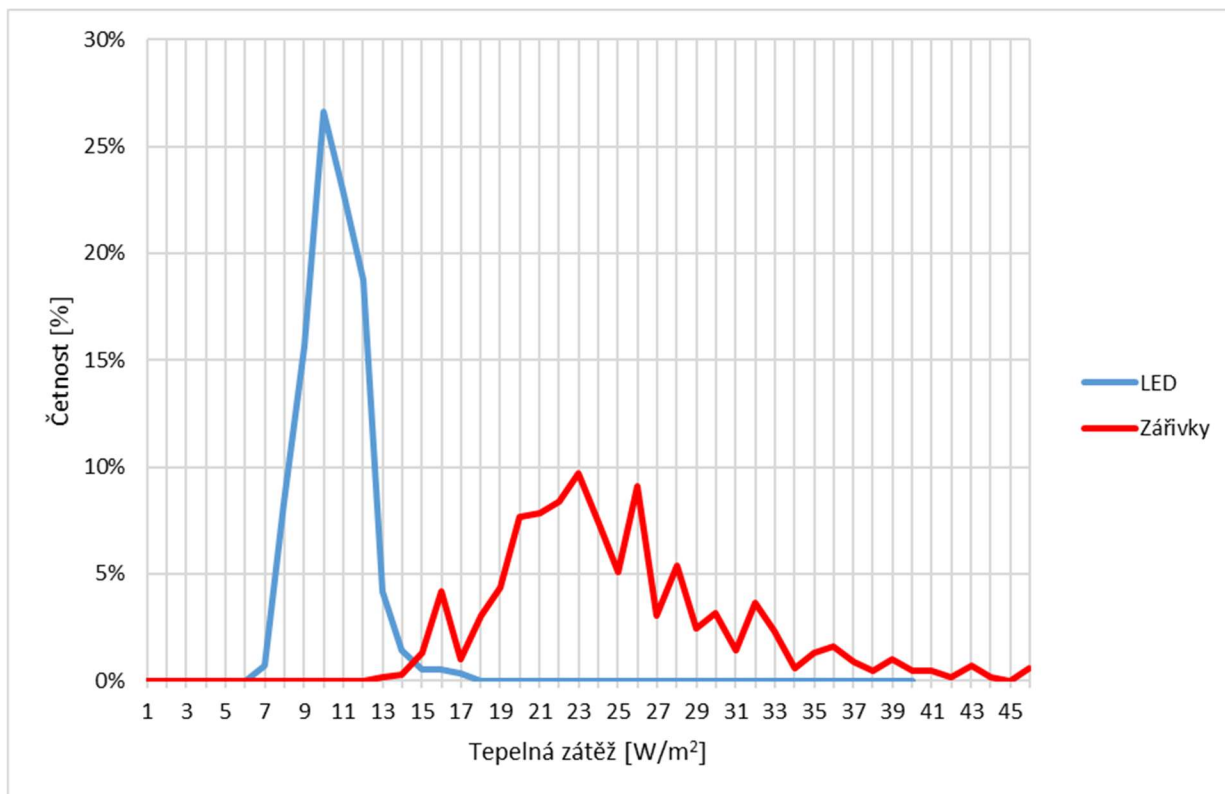
Pro zářivková konvenční svítidla platí stejná teze. První vrcholek odpovídá svítidlům s parabolickými mřížkami z vysoce leštěného hliníku s příčnými lamelami a druhý výrazný vrchol svítidlům s mikroprismatickým PET, nebo opálovým krytem.

7.2.2 Kancelář halová

Posuzovaný prostor halové kanceláře odpovídá stejnému požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500$ lx. Dále stejné výšce srovnávací roviny, tj. výšce desky stolu $h_s = 0,85$ m a stejným činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy: $\rho_1 = 0,7$,

$\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$ jako v případě 7.2.1. Rozměrově je však větší a to 10 x 12 x 2,9 m. Je zde dosazena shodná skupina svítidel. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.2 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

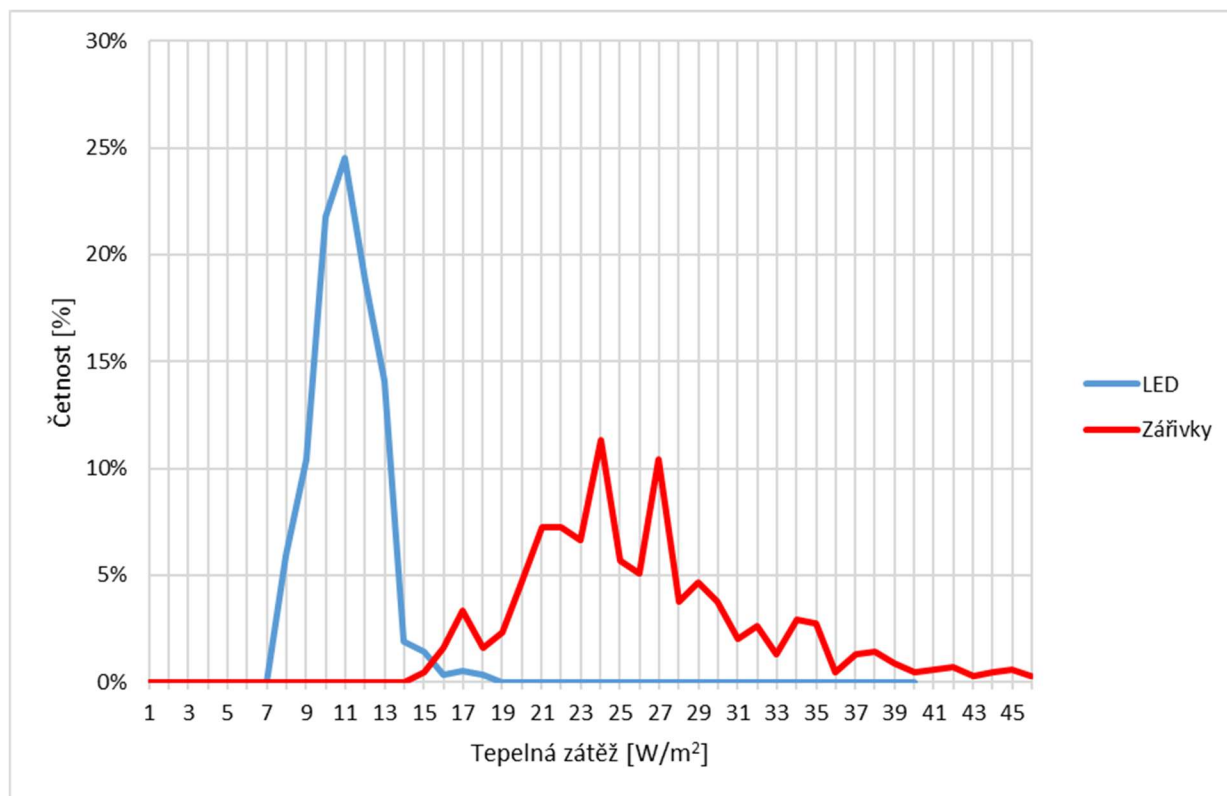


Graf 7.2: Četnosti hodnot tepelné zátěže – kancelář halová

7.2.3 Zasedací místnost

V posuzované zasedací místnosti o rozměrech 8 x 9 x 2,9 m je požadavek na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500$ lx. Povrch stropu, stěn a podlahy je stejný jako v předchozích kancelářích, tedy: $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Výška srovnávací roviny nad podlahou je rovněž $h_s = 0,85$ m. Použit je stejný soubor kancelářských svítidel jako v předešlých případech. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.3 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

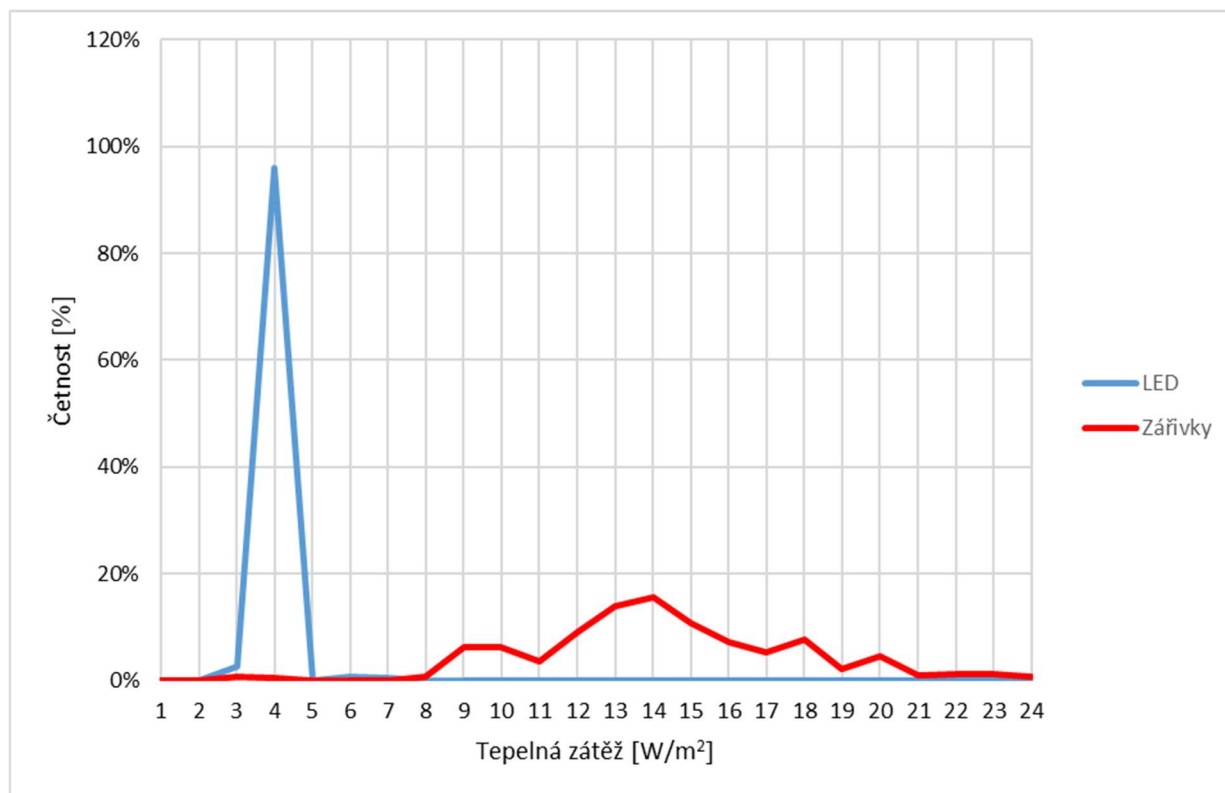


Graf 7.3: Četnosti hodnot tepelné zátěže – zasedací místnost

7.2.4 Chodby

Typická chodba v administrativní budově o rozměrech 13 x 3 x 2,7 m a výšce srovnávací roviny, která je rovna výšce podlahy $h_s = 0$ m odpovídá požadavek průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 200$ lx. Strop bílý, stěny krémové a podlaha ze světlého betonu mají činitele odrazu $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.4 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

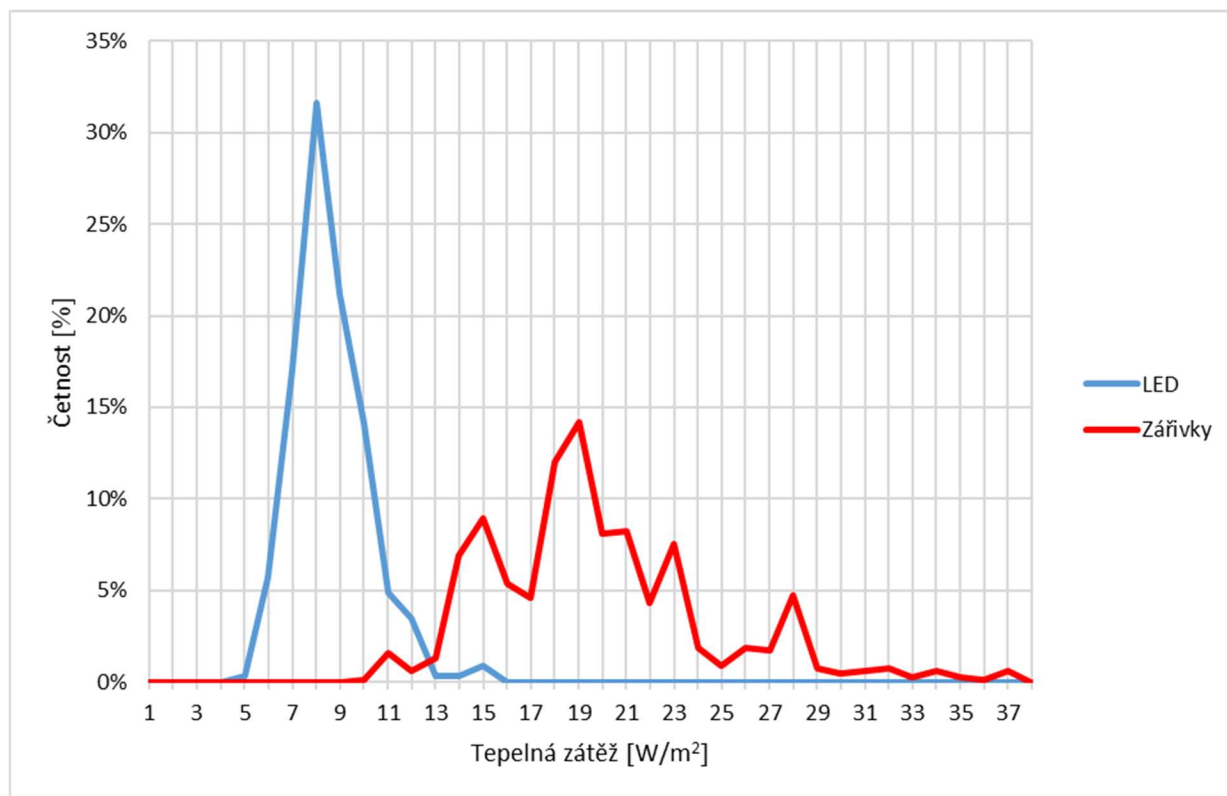


Graf 7.4: Četnosti hodnot tepelné zátěže – chodby

7.2.5 Recepce

Vybraná posuzovaná administrativní recepce má rozměry 3,5 x 5 x 3 m, výšku srovnávací roviny $h_s = 1,5$ m nad úrovní podlahy a požadavek na průměrnou udržovanou osvětlenost povrchu $\bar{E}_m = 200$ lx. Činitele odrazivosti ploch odpovídají $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Udržovací součinitel je $z = 0,6$.

Graf 7.5 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.



Graf 7.5: Četnosti hodnot tepelné zátěže – recepc

7.2.6 Přehled tepelné zátěže pro administrativní prostory

Tab. 7.2: Výsledná tepelná zátěž – administrativní prostory

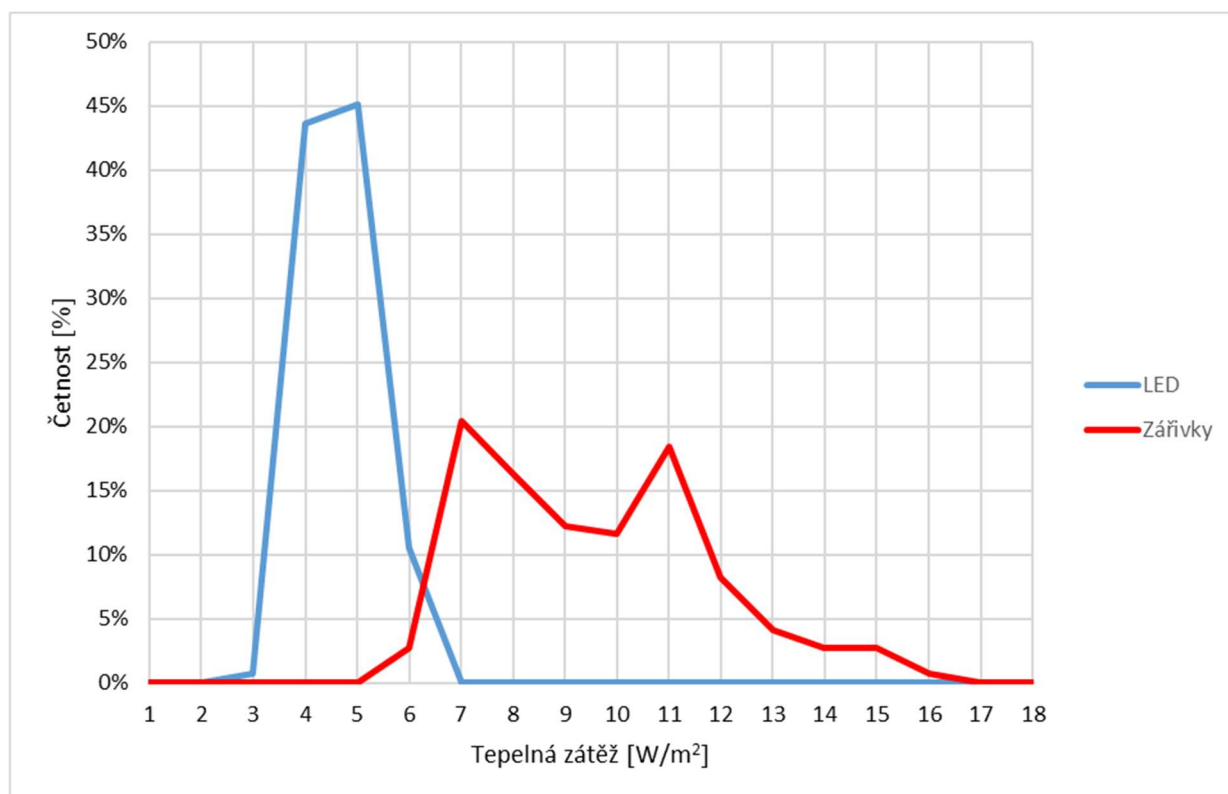
Pracoviště	\bar{E}_m [lx]	Tepelná zátěž [W/m²]			
		LED svítidla		Zářivková svítidla	
		S reflektory	S kryty	S reflektory	S kryty
Kancelář jednotlivá	500	13 až 14	15 až 16	28 až 32	34 až 37
Halová kancelář	500	9 až 11	12 až 13	22 až 24	25 až 27
Zasedací místnost	500	9 až 11	12 až 13	21 až 24	26 až 29
Chodba	200	3 až 4	4 až 5	13 až 14	15 až 18
Recepce	300	7 až 8	9 až 11	14 až 16	18 až 23

7.3 Průmyslové prostory

7.3.1 Sklady

Vybraný sklad o velikosti 10 x 22 x 4 m odpovídá požadavku na průměrnou udržovanou osvětlenost povrchu $\bar{E}_m = 150$ lx. Výška srovnávací roviny je shodná s výškou podlahy $h_s = 0$ m. Činitele odrazivosti povrchu stěn a podlahy jsou $\rho_1 = 0,3$, $\rho_2 = 0,1$ a $\rho_3 = 0,1$. Udržovací součinitel činí $z = 0,6$.

Graf 7.6 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

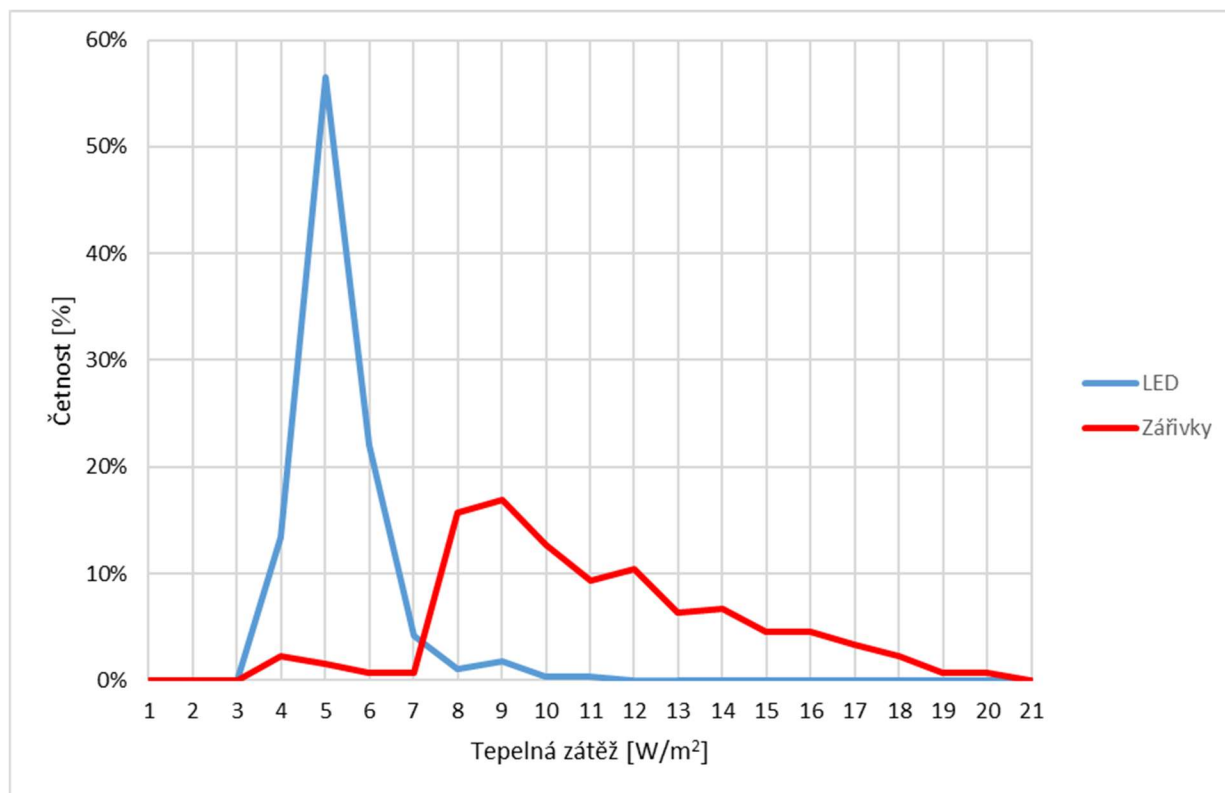


Graf 7.6: Četnosti hodnot tepelné zátěže – sklady

7.3.2 Slévárny

Prostor slévárny o rozměrech 20 x 17 x 4 m podléhá požadavku na průměrnou udržovanou osvětlenost povrchu $\bar{E}_m = 200$ lx. Výška srovnávací hladiny je $h_s = 0$ m a činitele odrazivosti povrchu stropu stěn a podlahy jsou $\rho_1 = 0,3$, $\rho_2 = 0,1$ a $\rho_3 = 0,1$. Udržovací součinitel činí $z = 0,6$.

Graf 7.7 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

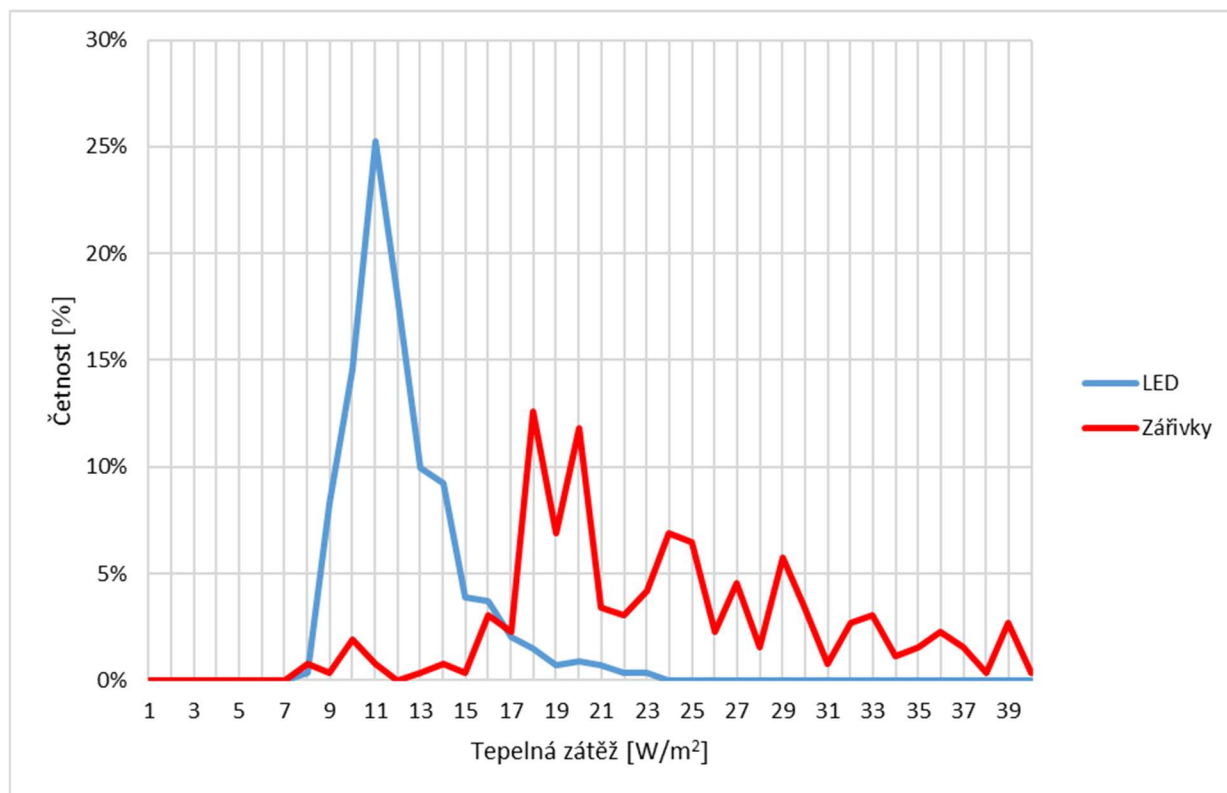


Graf 7.7: Četnosti hodnot tepelné zátěže – slévárny

7.3.3 Kadeřnictví

Typizované kadeřnictví má rozměry 4 x 6 x 2,7 m a výšku srovnávací roviny pro zrakový úkol $h_s = 1,2$ m. Podléhá požadavku na průměrnou udržovanou osvětlenost povrchu $\bar{E}_m = 500$ lx. Činitele odrazivosti povrchu stropu stěn a podlahy jsou $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Udržovací součinitel činí $z = 0,6$.

Graf 7.8 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

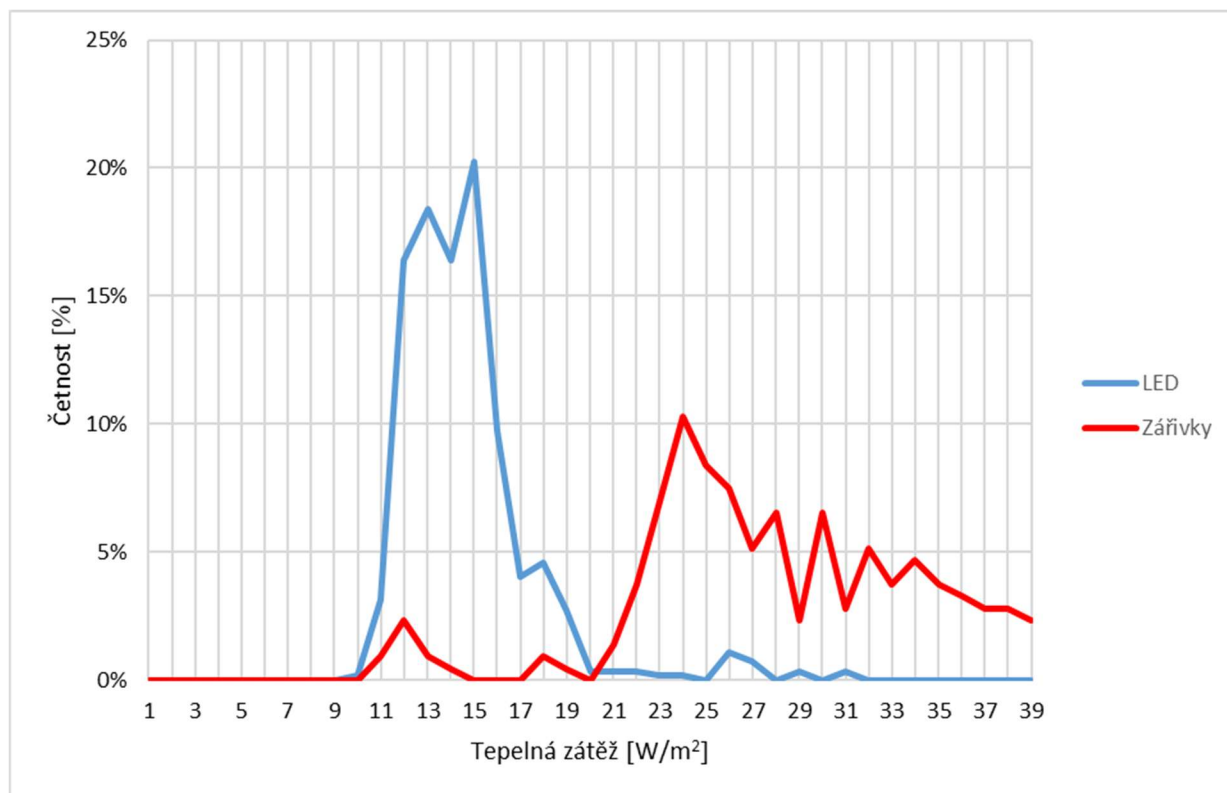


Graf 7.8: Četnosti hodnot tepelné zátěže – kadeřnictví

7.3.4 Haly pro zpracování kovů

Typická hala pro zpracování kovů o rozměrech 100 x 95 x 10 m podléhá požadavku na průměrnou osvětlenost povrchu $\bar{E}_m = 750 \text{ lx}$. Srovnávací rovina je ve výšce $h_s = 0,3 \text{ m}$. Činitele odrazivosti povrchu stropu stěn a podlahy jsou $\rho_1 = 0,5$, $\rho_2 = 0,3$ a $\rho_3 = 0,1$. Udržovací součinitel činí $z = 0,6$.

Graf 7.9 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.



Graf 7.9: Četnosti hodnot tepelné zátěže – hala pro zpracování kovů

7.3.5 Přehled tepelné zátěže pro průmyslové prostory

Tab. 7.3: Výsledná tepelná zátěž – průmyslové prostory

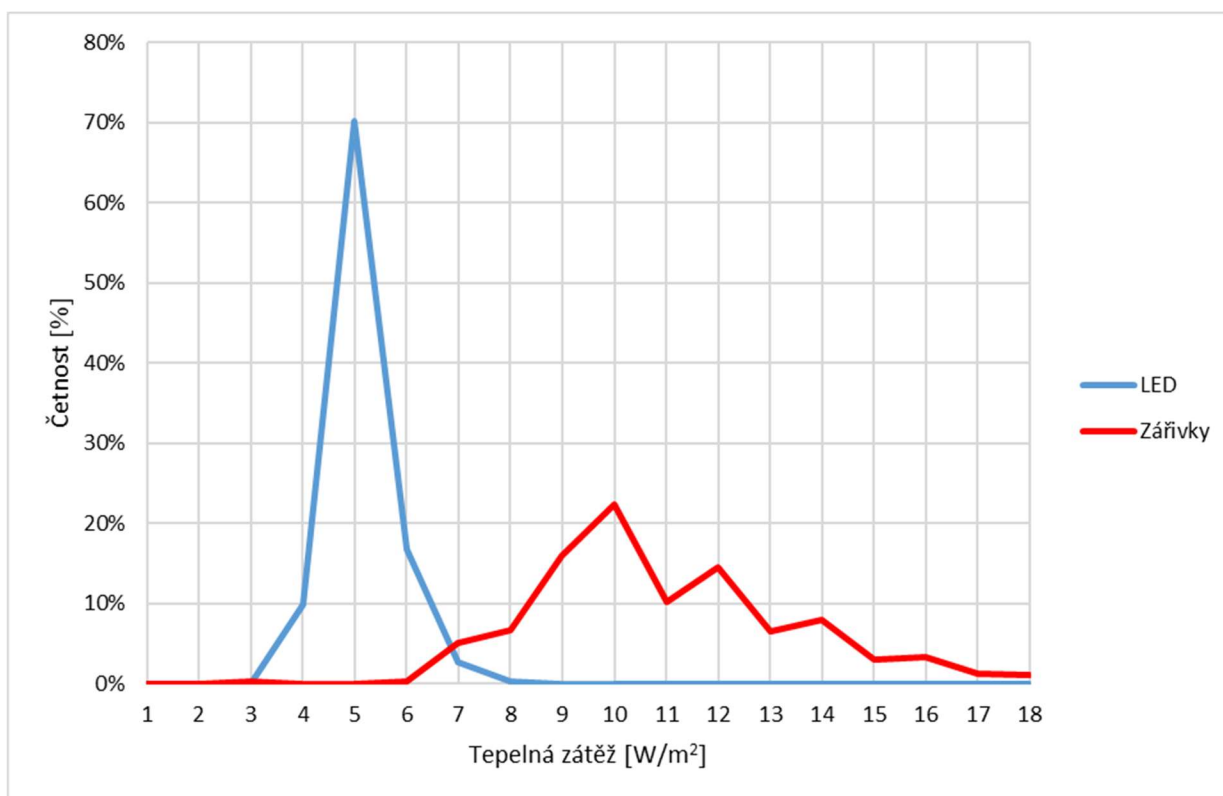
Pracoviště	\bar{E}_m [lx]	Tepelná zátěž [W/m²]			
		LED svítidla		Zářivková svítidla	
		S reflektory	S kryty	S reflektory	S kryty
Skład	150	3 až 4	4 až 5	6 až 8	9 až 12
Slévárny	200	4 až 5	5 až 6	8 až 9	10 až 12
Kadeřnictví	500	10 až 11	12 až 14	17 až 19	20 až 24
zpracování kovů	750	12 až 13	14 až 16	23 až 25	26 až 30

7.4 Školské a vzdělávací prostory

7.4.1 Komunikační a shromažďovací prostory

Posuzovaný prostor o velikosti 8 x 9 x 2,9 m odpovídá požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 200$ lx, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,85$ m a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.10 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

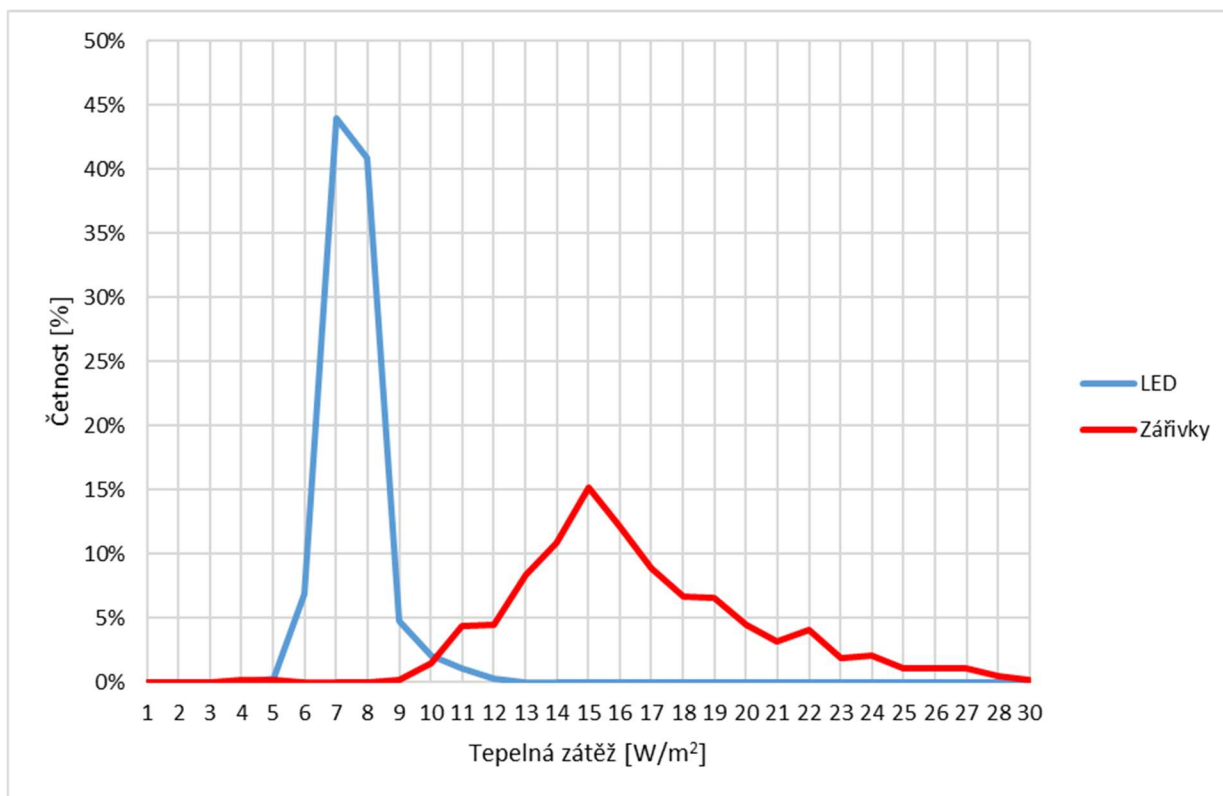


Graf 7.10: Četnosti hodnot tepelné zátěže – komunikační prostory

7.4.2 Mateřské školy

Prostor mateřské školy o velikosti 10 x 9 x 2,7 m odpovídá požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 300 \text{ lx}$, výšce srovnávací roviny $h_s = 0 \text{ m}$ a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.11 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

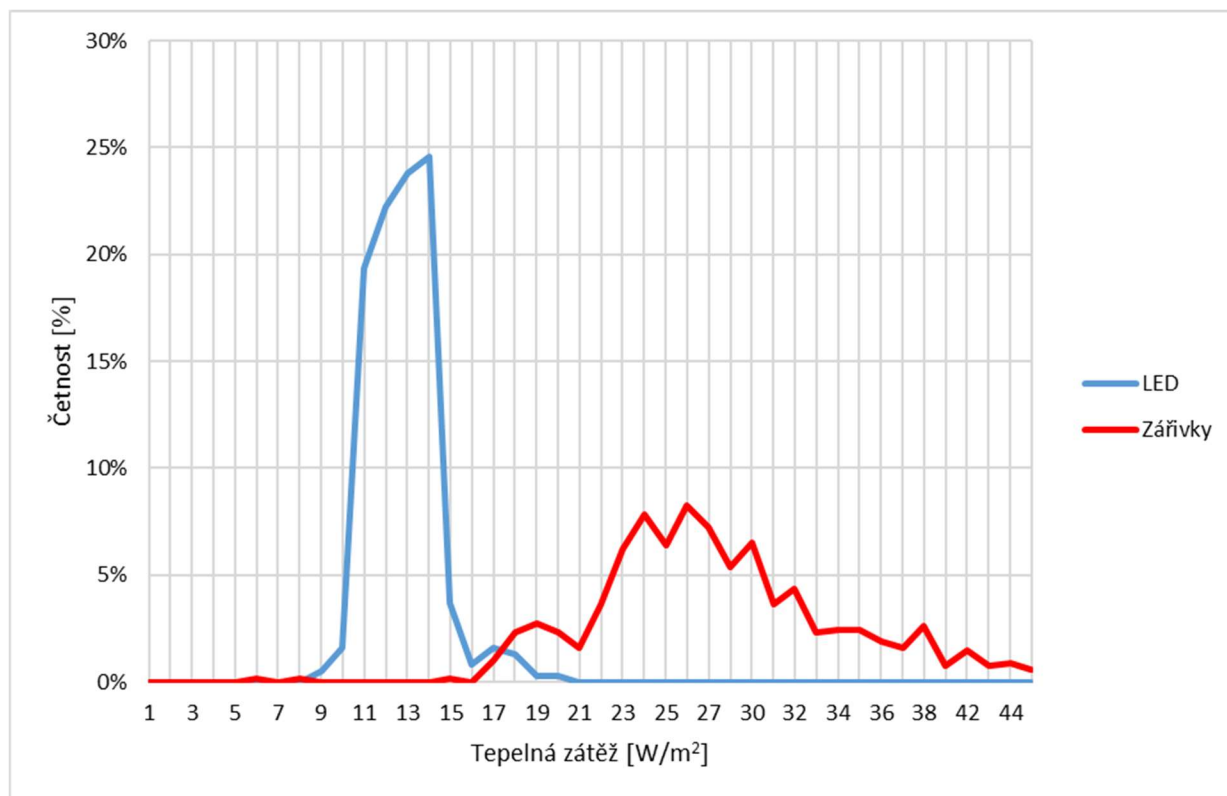


Graf 7.11: Četnosti hodnot tepelné zátěže – mateřské školy

7.4.3 Knihovny

Knihovna o rozměrech 8 x 10 x 3 m odpovídá požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$, výšce srovnávací roviny $h_s = 0 \text{ m}$ a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.12 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

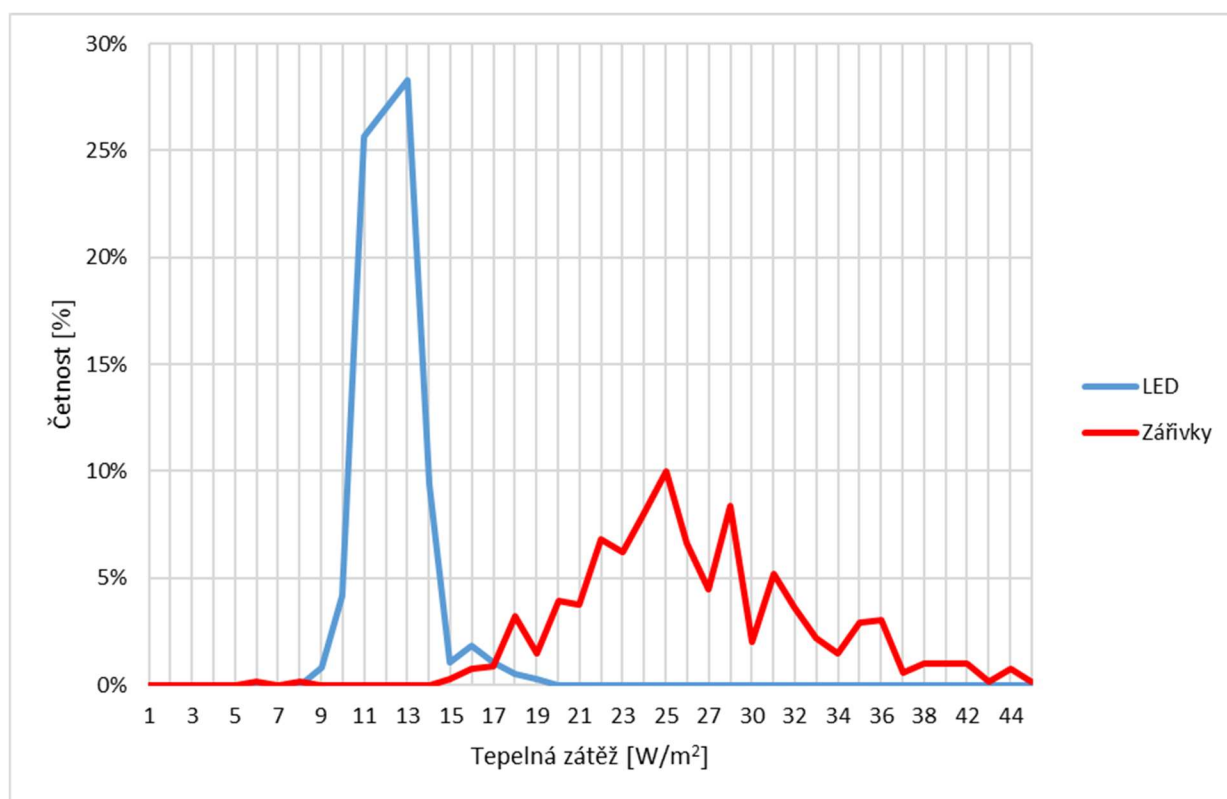


Graf 7.12: Četnosti hodnot tepelné zátěže – knihovny

7.4.4 Učebny

Typické školní učebny o rozměrech 6,5 x 9 x 2,9 m odpovídají požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500$ lx, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,85$ m a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.13 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.



Graf 7.13: Četnosti hodnot tepelné zátěže – učebny

7.4.5 Přehled tepelné zátěže pro školní a vzdělávací prostory

Tab. 7.4: Výsledná tepelná zátěž – vzdělávací prostory

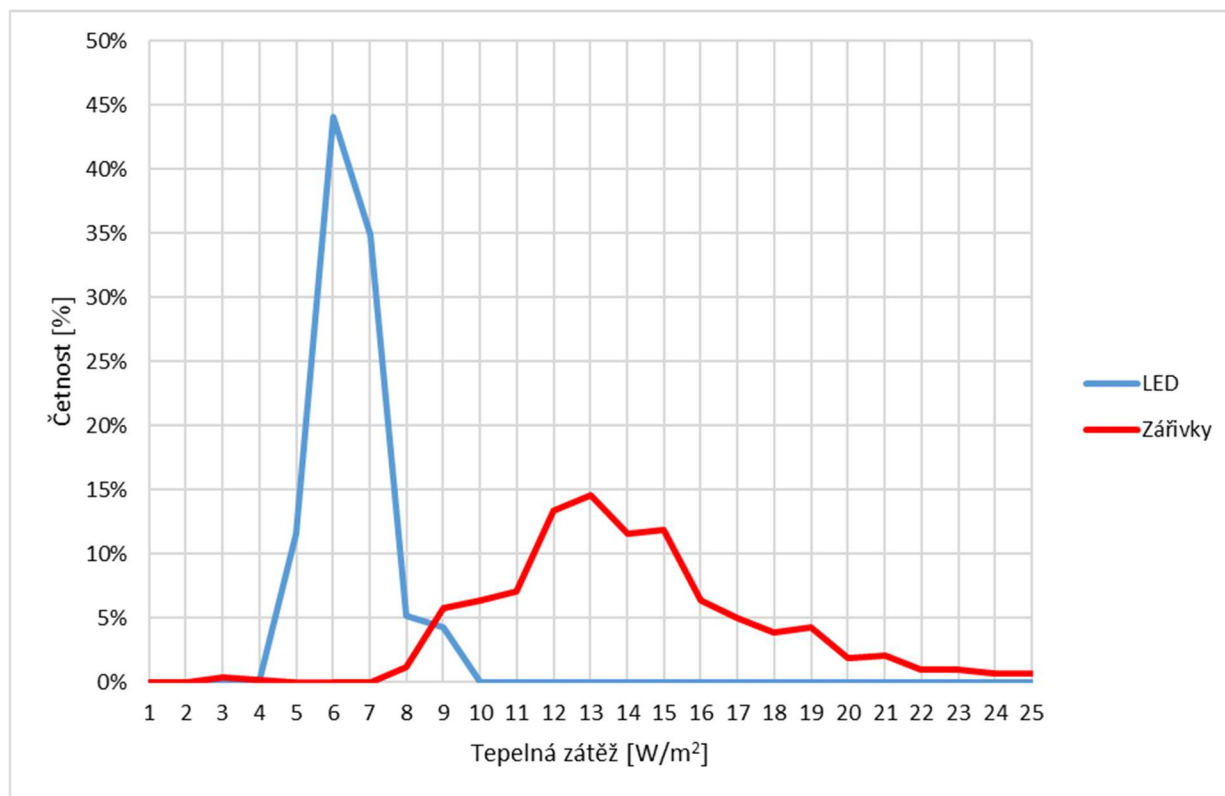
Pracoviště	\bar{E}_m [lx]	Tepelná zátěž [W/m ²]			
		LED svítidla		Zářivková svítidla	
		S reflektory	S kryty	S reflektory	S kryty
komunikační prostory	200	4 až 5	6 až 7	9 až 11	12 až 13
Mateřské školy	300	6 až 7	8 až 9	13 až 15	16 až 19
Knihovny	500	10 až 12	13 až 15	23 až 25	26 až 31
učebny	500	10 až 12	13 až 15	22 až 25	26 až 31

7.5 Obchodní prostory

7.5.1 Prodejny potravin

Prodejna potravin o rozměrech 12 x 25 x 2,8 m odpovídá požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 300$ lx, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,3$ m a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,7$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.14 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

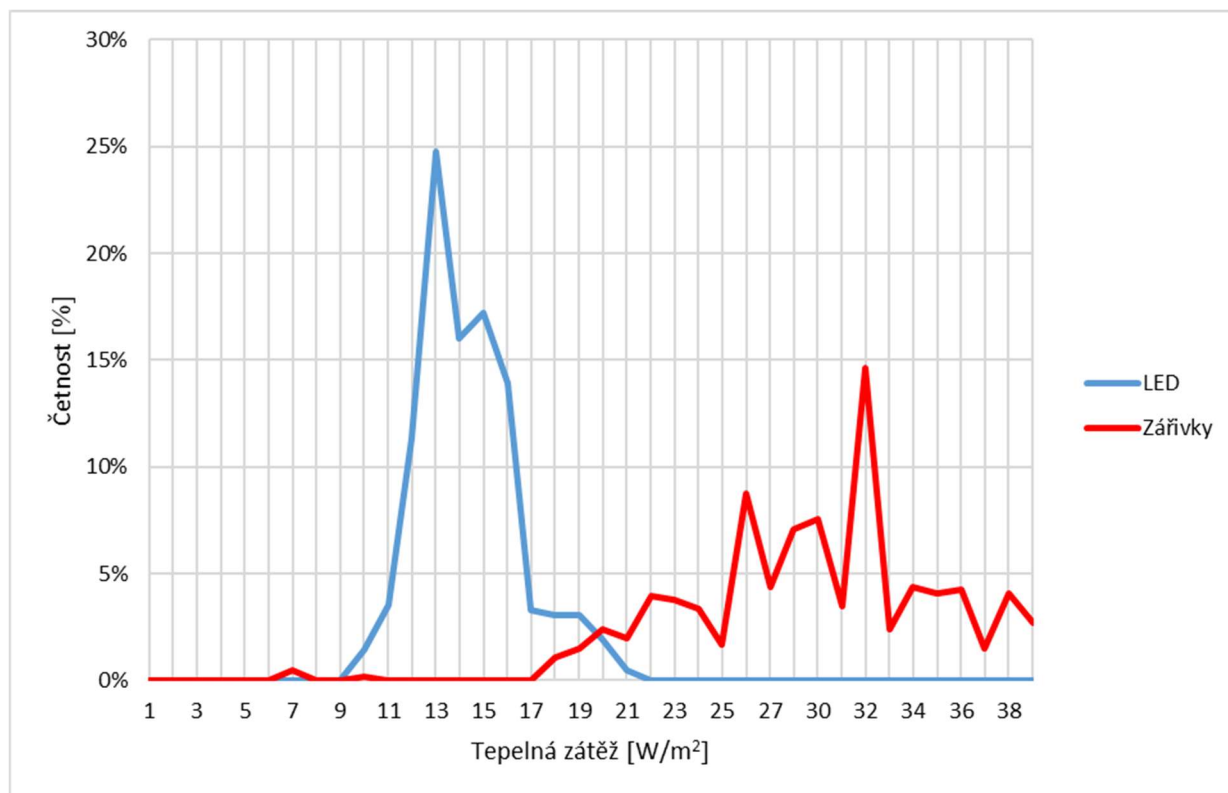


Graf 7.14: Četnosti hodnot tepelné zátěže – prodejny potravin

7.5.2 Běžné obchody

Běžné obchody o rozměrech 6 x 5 x 2,8 m odpovídají požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,3 \text{ m}$ a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.15 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

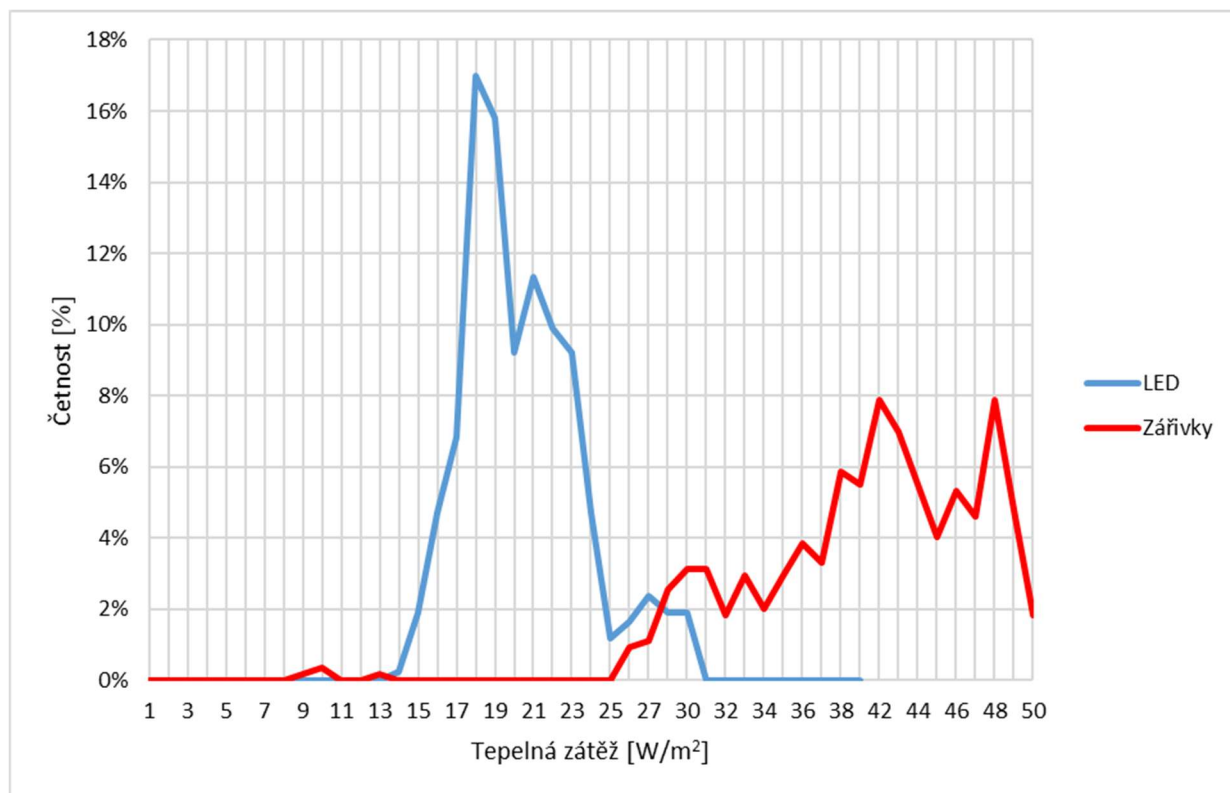


Graf 7.15: Četnosti hodnot tepelné zátěže – běžné prodejny

7.5.3 Autosalony

Autosalony o velikosti 15 x 20 x 3 m odpovídají požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$, výšce srovnávací roviny $h_s = 0 \text{ m}$ a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,7$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.16 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.



Graf 7.16: Četnosti hodnot tepelné zátěže – autosalony

7.5.4 Přehled tepelné zátěže pro obchodní prostory

Tab. 7.5: Výsledná tepelná zátěž – obchodní prostory

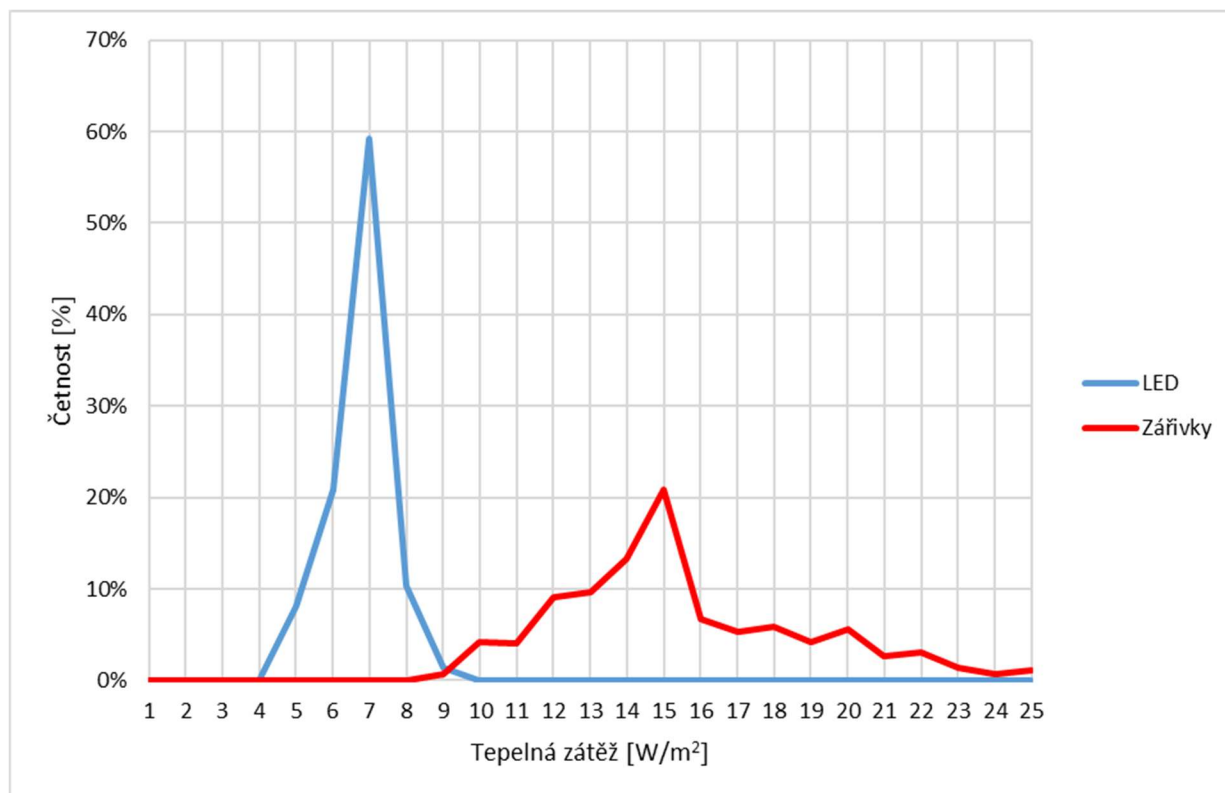
Pracoviště	\bar{E}_m [lx]	Tepelná zátěž [W/m²]			
		LED svítidla		Zářivková svítidla	
		S reflektory	S kryty	S reflektory	S kryty
Prodejny potravin	300	5 až 6	6 až 8	11 až 13	14 až 16
Běžné obchody	500	12 až 14	15 až 17	23 až 27	28 až 34
Autosalony	1000	17 až 19	20 až 22	36 až 43	46 až 49

7.6 Zdravotnické a nemocniční prostory

7.6.1 Čekárny

Čekárny o velikostech 4 x 8 x 3,2 m odpovídají požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 200$ lx, výšce srovnávací roviny $h_s = 0$ m a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.17 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

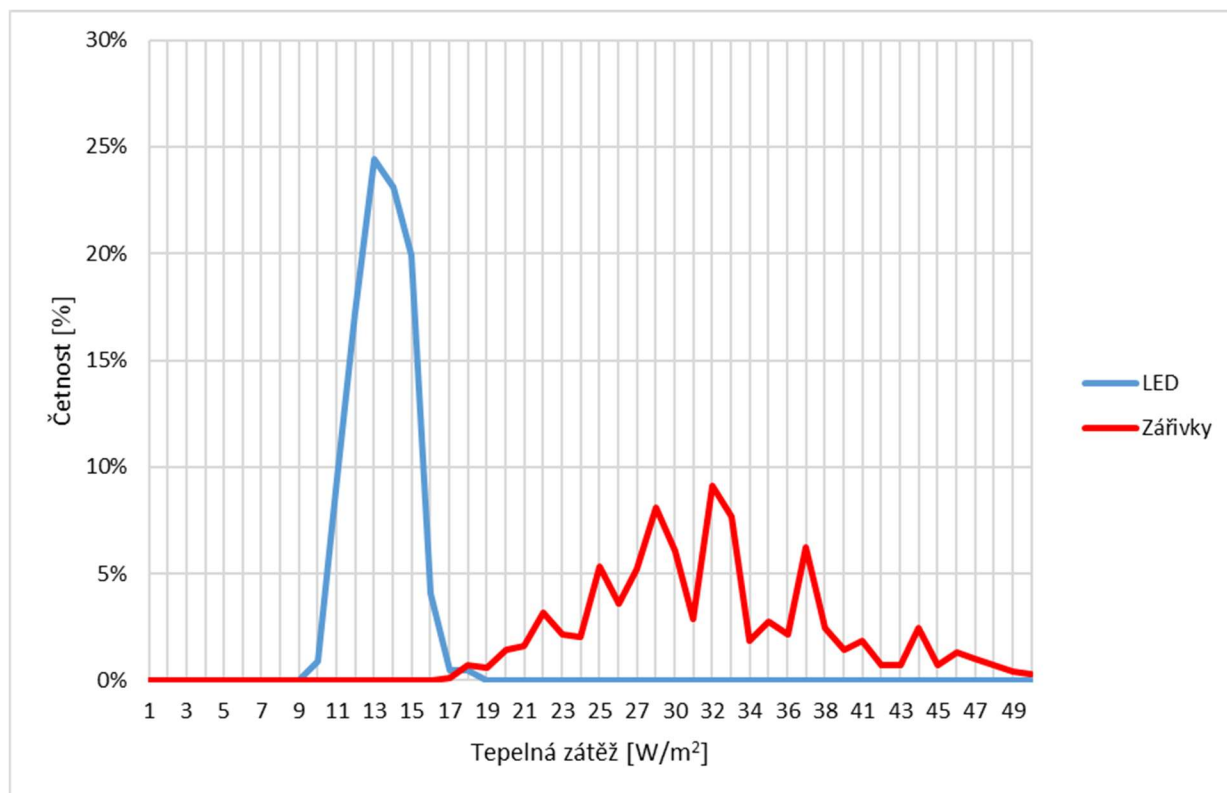


Graf 7.17: Četnosti hodnot tepelné zátěže – čekárny

7.6.2 Vyšetřovny

Vyšetřovny o velikostech 4 x 5,5 x 3 m odpovídají požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,6 \text{ m}$ a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,7$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.18 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

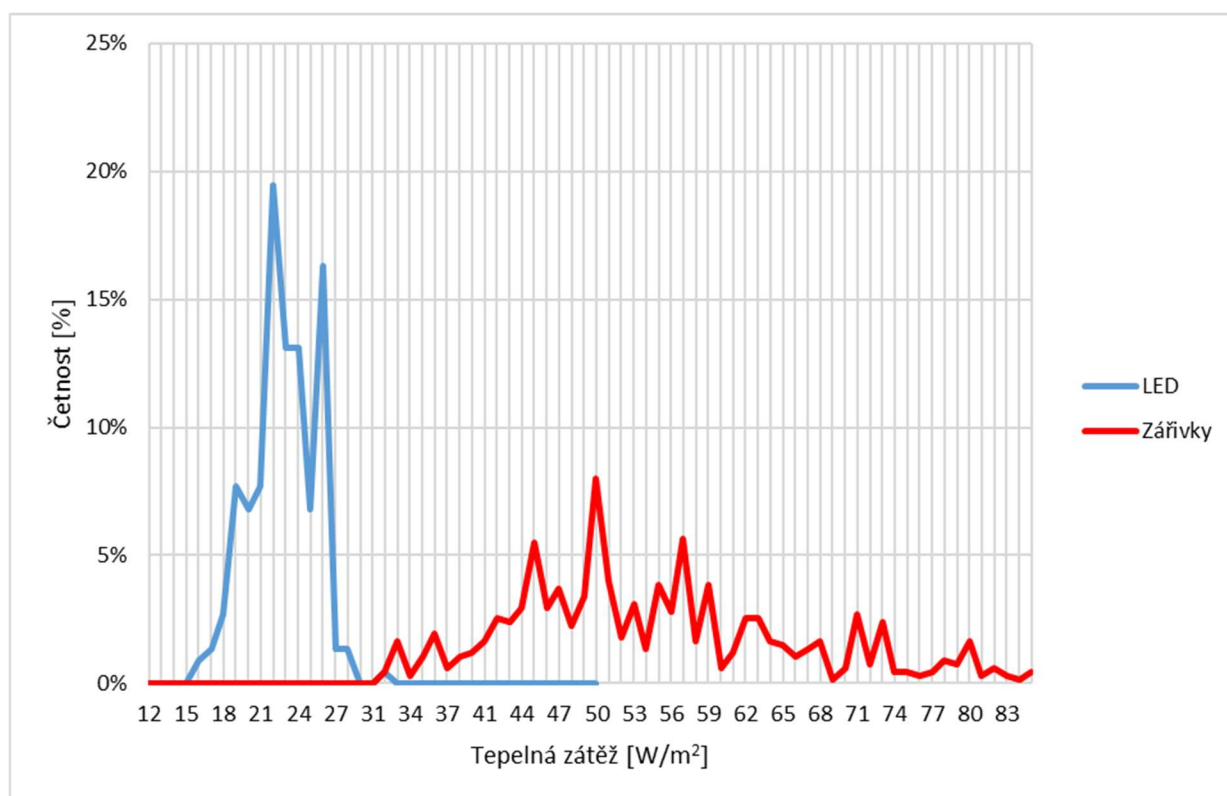


Graf 7.18: Četnosti hodnot tepelné zátěže – vyšetřovny

7.6.3 Operační sály

Operační sály o velikostech 7 x 5,5 x 3 m odpovídají požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 1000 \text{ lx}$, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,8 \text{ m}$ a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,7$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.19 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.



Graf 7.19: Četnosti hodnot tepelné zátěže – operační sály

7.6.4 Přehled tepelné zátěže pro nemocniční a zdravotnické prostory

Tab. 7.6: Výsledná tepelná zátěž – zdravotnické prostory

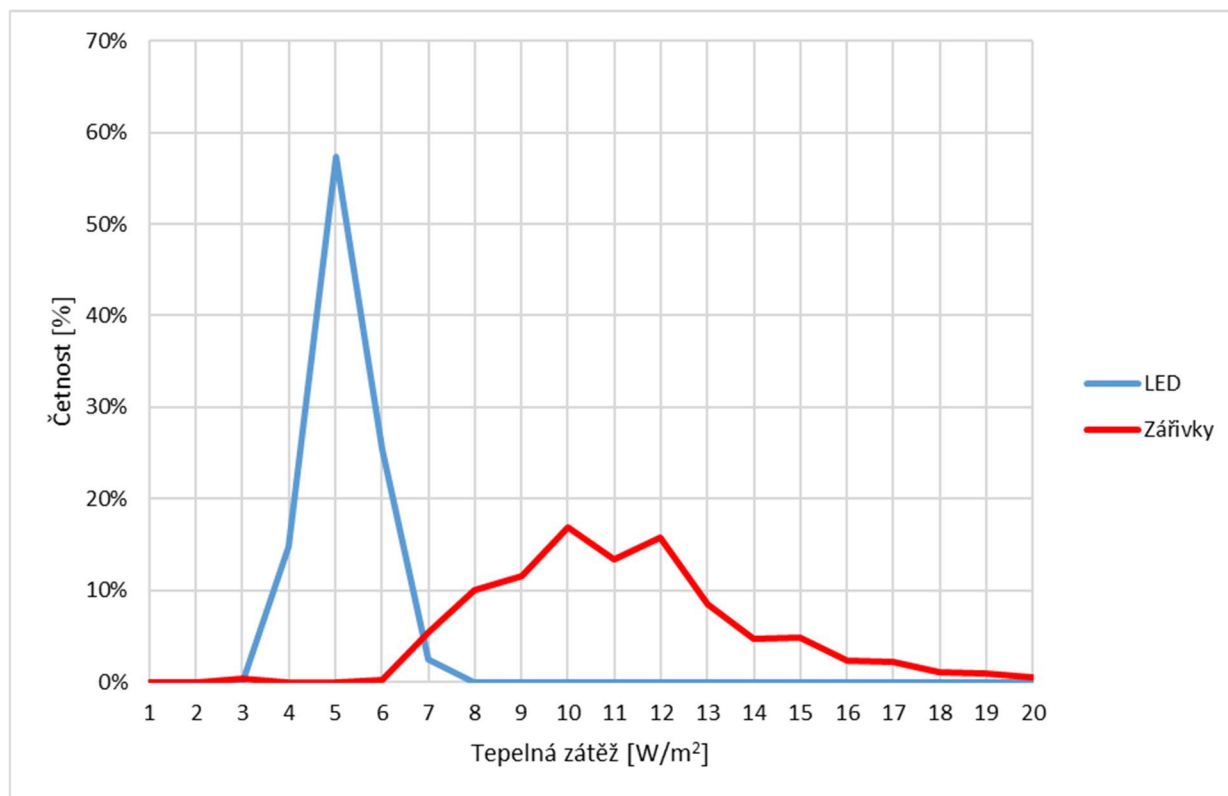
Pracoviště	\bar{E}_m [lx]	Tepelná zátěž [W/m ²]			
		LED svítidla		Zářivková svítidla	
		S reflektory	S kryty	S reflektory	S kryty
Čekárny	200	6 až 7	7 až 8	12 až 15	16 až 20
Vyšetřovny	500	12 až 14	14 až 16	21 až 28	31 až 37
Operační sály	1000	21 až 24	25 až 27	42 až 53	55 až 63

7.7 Prostory pro potravinářskou činnost

7.7.1 Školní jídelny

Typická školní jídelna má rozměry 10 x 13 x 3 m a odpovídá požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 200$ lx, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,8$ m a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,5$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.20 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

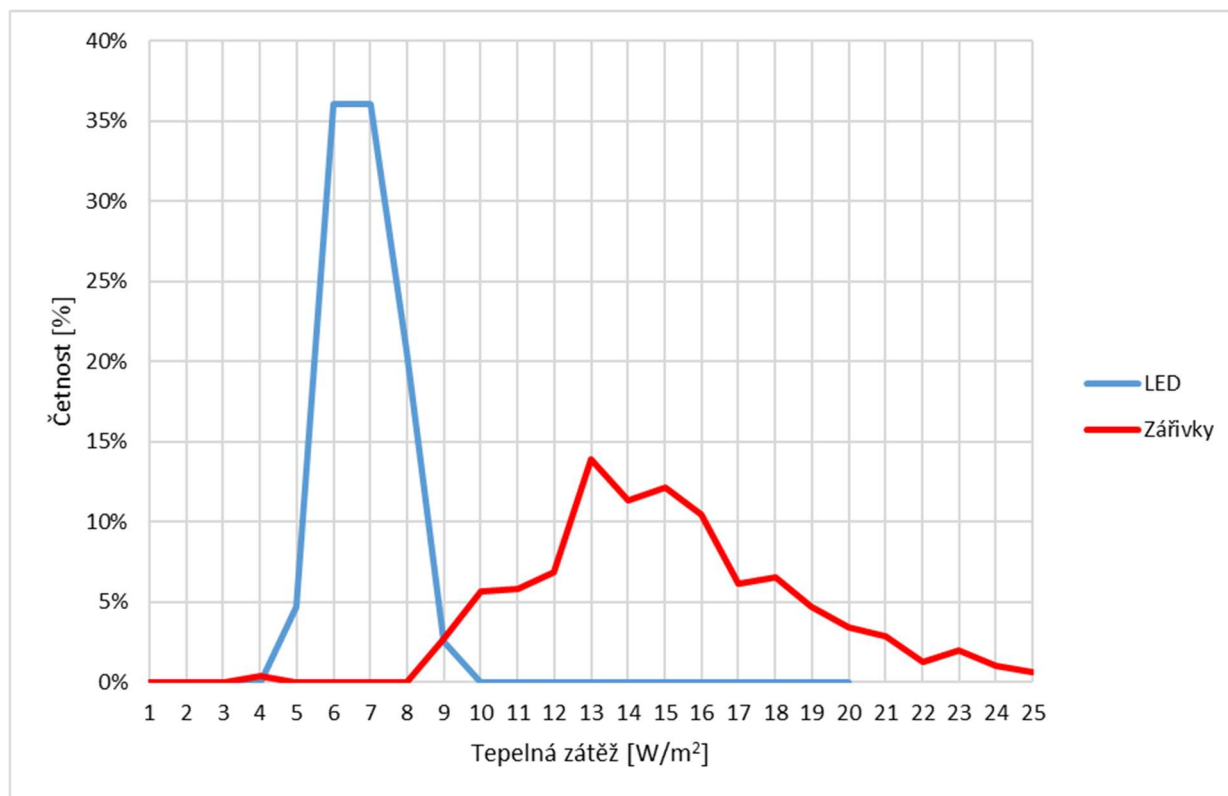


Graf 7.20: Četnosti hodnot tepelné zátěže – školní jídelny

7.7.2 Restaurace

Restaurace o velikosti 7 x 12 x 2,8 m odpovídají požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 300 \text{ lx}$, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,85 \text{ m}$ a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,5$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.21 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.

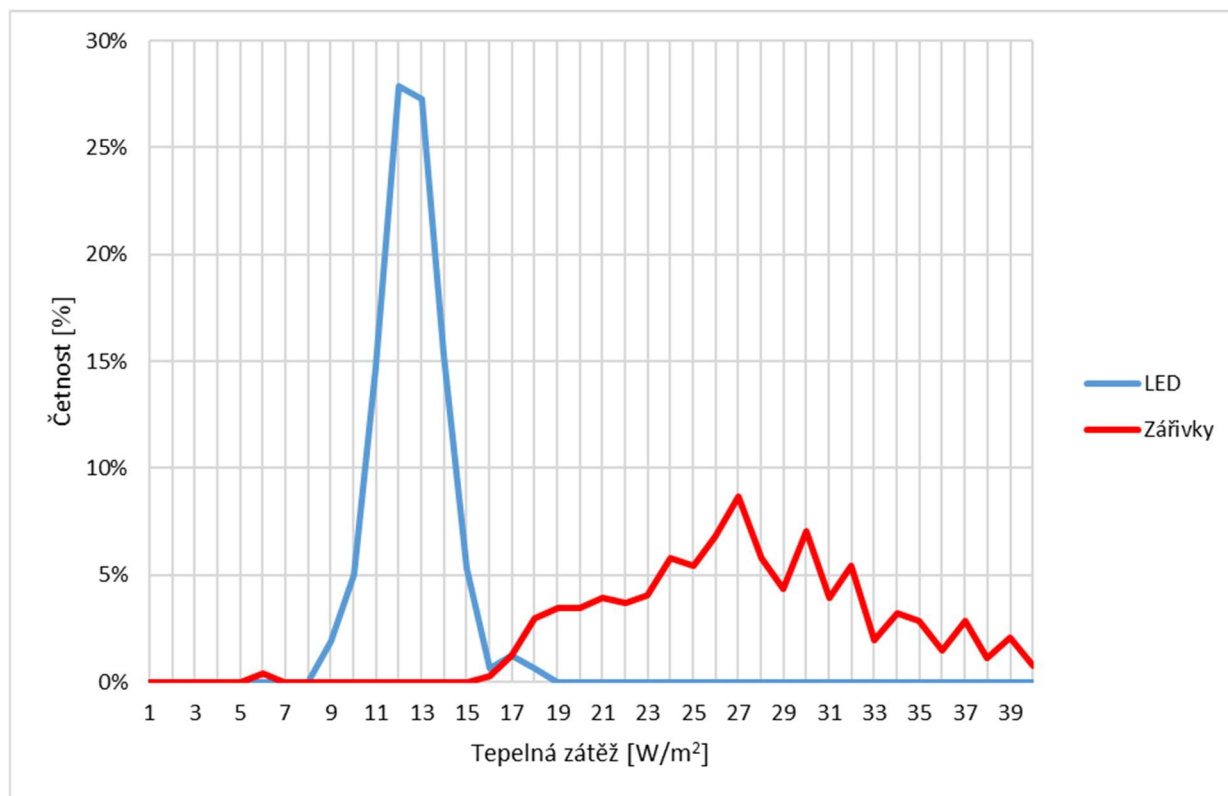


Graf 7.21: Četnosti hodnot tepelné zátěže – restaurace

7.7.3 Kuchyně

Profesionální kuchyně o rozměrech 5 x 7 x 2,8 m odpovídají požadavku na hodnotu průměrné udržované osvětlenosti povrchu $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$, výšce srovnávací roviny $h_s = 0,3 \text{ m}$ a činitelům odrazu stropu, stěn a podlahy $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,7$ a $\rho_3 = 0,1$. Hodnota udržovacího součinitele je $z = 0,6$.

Graf 7.22 uvádí četnosti výskytu hodnot tepelné zátěže pro řešený prostor.



Graf 7.22: Četnosti hodnot tepelné zátěže – kuchyně

7.7.4 Přehled tepelné zátěže pro potravinářské prostory

Tab. 7.7: Výsledná tepelná zátěž – potravinářské prostory

Pracoviště	\bar{E}_m [lx]	Tepelná zátěž [W/m²]			
		LED svítidla		Zářivková svítidla	
		S reflektory	S kryty	S reflektory	S kryty
Školní jídelny	200	4 až 5	5 až 6	8 až 10	11 až 13
Restaurace	300	6 až 7	7 až 8	12 až 14	15 až 17
Kuchyně	500	11 až 12	13 až 14	22 až 28	29 až 34

8 Vyhodnocení

8.1 Výsledky analýzy

Tab. 8.1 uvádí požadované hodnoty průměrné udržované osvětlenosti povrchu podle nové normy ČSN EN 12 464-1 a k nim odpovídající hodnoty tepelné zátěže pro různé typy prostor získané analýzou popisovanou v této práci. [14]

Tab. 8.1: Výsledky analýzy tepelné zátěže

Vybrané prostory		\bar{E}_m [lx]	Tepelná zátěž [W/m ²]	
			LED	Zářivky
Administrativní budovy	Kancelář jednotlivá	500	13 až 16	28 až 37
	Halová kancelář	500	9 až 13	22 až 27
	Zasedací místnost	500	9 až 13	21 až 29
	Chodba	200	3 až 5	13 až 18
	Recepce	300	7 až 11	14 až 23
Průmyslové prostory	Sklad	150	3 až 5	6 až 12
	Slévárny	200	4 až 6	8 až 12
	Kadeřnictví	500	10 až 14	17 až 24
	zpracování kovů	750	12 až 16	23 až 30
Školy a vzdělávací prostory	komunikační prostory	200	4 až 7	9 až 13
	Mateřské školy	300	6 až 9	13 až 19
	Knihovny	500	10 až 15	23 až 31
	Učebny	500	10 až 15	22 až 31
Obchodní prostory	Prodejny potravin	300	5 až 8	11 až 16
	Běžné obchody	500	12 až 17	23 až 34
	Autosalony	1000	17 až 22	36 až 49
Nemocnice a zdravotnická zařízení	Čekárny	200	6 až 8	12 až 20
	Vyšetřovny	1000	12 až 16	21 až 37
	operační sály	1000	21 až 27	42 až 63
Prostory pro potravinářskou činnost	Školní jídelny	200	4 až 6	8 až 13
	Restaurace	300	6 až 8	12 až 17
	Kuchyně	500	11 až 14	22 až 34

8.2 Porovnání výsledků analýzy s ČSN 73 0548 a ASHRAE

Při porovnání v Tab. 8.2 pozorujeme navýšení dnešního požadavku na intenzitu osvětlení oproti staré normě. Ze srovnání vyplývá skutečnost, že hodnoty tepelné zátěže podle ČSN 73 0548 dosahují i dnešní zářivková svítidla s účinností pod 50 %. Ale při zvolení vhodných svítidel je dosahováno nižší tepelné zátěže. LED diodová svítidla produkují podstatně méně tepla, a to až o 65 % oproti zářivkovým svítidlům uváděným v ČSN 73 0548 a o 45 % méně než současná zářivková svítidla. Obecně lze říci, že čím je svítidlo účinnější, tedy čím lépe je schopno přenášet světelný tok zdroje do požadovaného místa, tím menší počet svítidel je zapotřebí instalovat do prostoru pro dosažení požadavku na osvětlení. Hodnoty uváděné v ASHRAE Fundamentals jsou maximální přípustné hodnoty tepelné zátěže pro daný typ prostoru o dané velikosti podle ASHRAE Standard 90.1–2007, ale nejsou přiřazeny

k požadovaným intenzitám osvětlení, což může mít za následek odchylku od výsledků získaných v této práci.

Tab. 8.2: Porovnání výsledků tepelné zátěže s ČSN 73 0548 a ASHRAE Handbook [1], [15]

Vybrané prostory		Výsledky analýzy			ČSN 73 0548		ASHRAE
		\bar{E}_m [lx]	LED [W/m ²]	Zářivky [W/m ²]	\bar{E}_m [lx]	Zářivky [W/m ²]	Zářivky [W/m ²]
Kancelářské prostory	Kancelář jednotlivá	500	13 až 16	28 až 37	500	25 až 35	12
	Halová kancelář	500	9 až 13	22 až 27	500	25 až 35	12
	Zasedací místnost	500	9 až 13	21 až 29	500	25 až 35	14
	Chodba	200	3 až 5	13 až 18	120	7 až 9	12
	Recepce	300	7 až 11	14 až 23	250	25 až 35	12
Průmyslové prostory	Sklad	150	3 až 5	6 až 12	120	7 až 9	10
	Slévárny	200	4 až 6	8 až 12	120	7 až 9	13
	Kadeřnictví	500	10 až 14	17 až 24	250	25 až 35	18
	zpracování kovů	750	12 až 16	23 až 30	250	38 až 53	23
Školy a vzdělávací prostory	Komunika – ční prostory	200	4 až 7	9 až 13	250	13 až 18	14
	Mateřské školy	300	6 až 9	13 až 19	250	13 až 18	14
	Knihovny	500	10 až 15	23 až 31	500	25 až 35	18
	Učebny	500	10 až 15	22 až 31	250	13 až 18	15
Obchodní prostory	Prodejny potravin	300	5 až 8	11 až 16	250	13 až 18	15
	Běžné obchody	500	12 až 17	23 až 34	250	13 až 18	18
	Autosalony	1000	17 až 22	36 až 49	750	38 až 53	25
Nemocnice a zdravotnická zařízení	Čekárny	200	6 až 8	12 až 20	120	7 až 9	8
	Vyšetřovny	1000	12 až 16	21 až 37	500	50 až 70	29
	operační sály	1000	21 až 27	42 až 63	1000	50 až 70	29
Potravinářské prostory	Školní jidelny	200	4 až 6	8 až 13	120	7 až 9	14
	Restaurace	300	6 až 8	12 až 17	120	7 až 9	14
	Kuchyně	500	11 až 14	22 až 34	250	13 až 18	13

9 Závěr

V práci je uvedena podrobná analýza osvětlovacích soustav moderních LED diodových a zářivkových svítidel z pohledu produkované tepelné zátěže pro účely dimenzování klimatizačního zařízení do pracovních prostor.

V první jsou uvedeny základy světelné a osvětlovací techniky nezbytně nutné pro pochopení funkce a návrhu osvětlovací soustavy, ze kterých při výpočtech vycházím. Práce dále porovnává výstupy provedené analýzy s hodnotami tepelné zátěže uvedenými v normě ČSN 73 0548 z roku 1985, podle níž většina projektantů počítá tepelné zisky klimatizovaného prostoru. Jak ukazují výsledky práce, tyto hodnoty množství produkovaného tepla od umělého osvětlení jsou pro dnešní dobu již zastaralé a jejich zahrnutí do výpočtu návrhu chladícího výkonu, vede ke značnému předimenzování klimatizačního zařízení. Z nových výsledků je patrné, že s moderními svítidly lze jednoznačně dosáhnout výrazně nižší tepelné zátěže prostoru. Avšak při nevhodné volbě málo účinných svítidel s vysokou spotřebou elektrické energie, lákajících investora především svou nízkou cenou, je možné dosáhnout hodnot produkce tepla uváděných starší normou. Na tomto jevu se částečně podílí i neustále se zvyšující nároky na intenzitu osvětlenosti prostoru.

Uvedené rozsahy tepelné zátěže jednotlivých prostor slouží k předběžnému odhadu. Detailní návrh klimatizačního zařízení by měl vycházet z podrobného projektu osvětlovací soustavy. Tepelné zisky od umělého osvětlení se výrazně projeví v prostorách, kde je nutno dodržet relativně vysoké nároky na intenzitu osvětlení a kde současně dochází k celodennímu zastíňování oken například z důvodu lesknoucích se obrazovek počítačů.

Je nutné brát v potaz, že metoda předpokládá dosažení požadované intenzity na osvětlení prostoru pouze umělým stropním osvětlením. Například požadavku 10 000 až 100 000 lx na operačním sále v operačním poli nelze prakticky tímto způsobem dosáhnout. Za tímto účelem se používají lokální přisvětlovací zdroje. Vhodnou kombinací stropních, nástěnných, lokálních přisvětlovacích a přírodních zdrojů světla je možné dosáhnout ještě nižší tepelné zátěže. Dalšího snižování lze docílit tzv. „chytrým“ řízením osvětlovací soustavy, kdy je soustava napojena na senzory, které sledují požadovanou intenzitu osvětlení v daných bodech a v závislosti na ní korigují jas svítidel, vypínají je nebo zapínají. Současně multisenzory ovládají i stínící prvky budov k dosažení optimální kombinace přírodního a umělého osvětlení. Rostoucí kvantitativní i kvalitativní požadavky na umělé osvětlení je nezbytně nutné řešit s maximálním ohledem na energetickou náročnost.

Seznam citované literatury

- [1.] ČSN 73 0548. Praha 10 - Hostivař : UNM - Úřad pro normalizaci a měření, 1985.
- [2.] HABEL Jiří, DVOŘÁČEK Karel, DVOŘÁČEK Vladimír, ŽÁK Petr. *Světlo a osvětlování*. Praha : FCC Public s.r.o., 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [3.] *Světelné zdroje - obyčejné žárovky*. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2008/4, Praha : FCC Public s.r.o., 2008, Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování, Sv. 4. ISSN 1212-0812.
- [4.] *Světelné zdroje - halogenové žárovky*. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2008/5, Praha : FCC Public s.r.o., 2008, Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování, Sv. 5. ISSN 1212-0812.
- [5.] *Světelné zdroje - lineární zářivky*. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2008/2, Praha : FCC Public s.r.o., 2008, Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování, Sv. 2. ISSN 1212-0812.
- [6.] *Světelné zdroje - kompaktní zářivky*. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2008/3, Praha : FCC Public s.r.o., 2008, Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování, Sv. 3. ISSN 1212-0812.
- [7.] *Světelné zdroje - nízkotlaké sodíkové výbojky*. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2009/6, Praha : FCC Public s.r.o., 2009, Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování, Sv. 6. ISSN 1212-0812.
- [8.] *Světelné zdroje-vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky*. DVOŘÁČEK, Vladimír. 06/2008, Praha : FCC Public s.r.o., 2008, Světlo:časopis pro světelnou techniku a osvětlování, Sv. 6. ISSN 1212-0812.
- [9.] *Světelné zdroje-vysokotlaké sodíkové výbojky*. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2009/3, Praha : FCC Public s.r.o., 2009, Světlo:časopis pro světelnou techniku a osvětlování, Sv. 3. ISSN 1212-0812.
- [10.] *Světelné zdroje-halogenidové výbojky (část 1)*. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2009/1, Praha : FCC Public s.r.o., 2009, Světlo:časopis pro světelnou techniku a osvětlování, Sv. 1. ISSN 1212-0812.
- [11.] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické obvody a elektronika*. Vyd. 2 přeprac. Praha : Česká technika-nakladatelství ČVUT, 2008. str. 158. ISBN 978-80-01-03932-8.

[12.] LAIN Miloš, LIŠKA Přemysl. TZB-info. *tzbinfo*. [Online] 6. Srpen 2007. [Citace: 11. Červen 2020.] <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/4276-tepelna-zatez-od-umeleho-osvetleni>. ISSN 1801-4399.

[13.] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Praha : autor neznámý, 2012.

[14.] ČSN 73 0580-1. Praha : Český normalizační institut, 2007.

[15.] American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers. *ASHRAE Handbook*. Atlanta : autor neznámý, 2013. 978-1-936504-46-6.

[16.] Dialight.com. *Katalog produktů Dialight*. [Online] <https://www.dialight.com/>.

[17.] Halla.cz. *Katalog produktů Halla, a.s.* [Online] <https://www.halla.cz/>.

[18.] Modus.cz. *Katalog produktů Modus spol. s.r.o.* [Online] <https://www.modus.cz/>.

[19.] NBB Bohemia.cz. *Katalog produktů NBB Bohemia s.r.o.* [Online] <https://www.nbb.cz/>.

[20.] Thome Lighting.com. *Katalog produktů THOME Lighting s.r.o.* [Online] <https://www.thomelighting.com/>.

[21.] Thorn Lighting.cz. *Katalog produktů Thorn Lighting s.r.o.* [Online] <http://www.thornlighting.cz/cs-cz>.

[22.] Trevos.cz. *Katalog produktů Trevos, a.s.* [Online] <https://trevos.eu/cz/>.

[23.] Nasli.cz. *Katalog produktů Nasli spol. s.r.o.* [Online] <https://www.nasli.cz/>.

[24.] Oppl Lighting.com. *Katalog produktů Oppl Lighting*. [Online] <https://eu.opple.com/en>.

[25.] Ecophon.com. *Katalog produktů Ecophon Lighting*. [Online] <https://www.ecophon.com/cz/>.

[26.] Lumen Lights.cz. *Katalog produktů Elektro-Lumen s.r.o.* [Online] <https://www.el-lumen.cz/>.

[27.] Philips. *Katalog produktů Philips s.r.o.* [Online] <https://www.lighting.philips.cz/domov>.

[28.] Sylvania.com. *Katalog produktů Sylvania-Lighting*. [Online] <https://www.sylvania-lighting.com/en-int>.

Seznam tabulek

Tab. 1.1: Produkce tepla pro různá pracoviště podle ČSN 73 0548 [1]	12
Tab. 3.1: Měrný výkon základních skupin světelných zdrojů [2].....	14
Tab. 5.1: Světelně technické požadavky v administrativních prostorech [13]	24
Tab. 5.2: Světelně technické požadavky pro skladové prostory [13]	24
Tab. 5.3: Světelně technické požadavky pro průmyslové prostory [13].....	24
Tab. 5.4: Světelně technické požadavky pro potravinářské prostory [13].....	25
Tab. 5.5: Světelně technické požadavky pro školy a vzdělávací zařízení [13].....	25
Tab. 5.6: Světelně technické požadavky pro nemocnice a zdravotnické zařízení [13] ..	25
Tab. 5.7: Světelně technické požadavky pro obchodní prostory [13]	25
Tab. 6.1: Tabulka činitelů využití [2]	27
Tab. 6.2: Hodnoty činitelů odrazu [13].....	28
Tab. 6.3: Přehled výrobců svítidel – administrativní prostory.....	32
Tab. 6.4: Přehled výrobců svítidel – průmyslové prostory.....	32
Tab. 6.5: Přehled výrobců svítidel – skladovací prostory.....	32
Tab. 6.6: Přehled výrobců svítidel – potravinářské prostory	32
Tab. 6.7: Přehled výrobců svítidel – školní prostory	32
Tab. 6.8: Přehled výrobců svítidel – zdravotnické prostory	32
Tab. 6.9: Přehled výrobců svítidel – obchodní prostory.....	33
Tab. 7.1: Seznam řešených místností.....	34
Tab. 7.2: Výsledná tepelná zátěž – administrativní prostory.....	39
Tab. 7.3: Výsledná tepelná zátěž – průmyslové prostory	43
Tab. 7.4: Výsledná tepelná zátěž – vzdělávací prostory.....	47
Tab. 7.5: Výsledná tepelná zátěž – obchodní prostory	50
Tab. 7.6: Výsledná tepelná zátěž – zdravotnické prostory	53
Tab. 7.7: Výsledná tepelná zátěž – potravinářské prostory	56
Tab. 8.1: Výsledky analýzy tepelné zátěže.....	57
Tab. 8.2: Porovnání výsledků tepelné zátěže s ČSN 73 0548 a ASHRAE Handbook [1], [15]	58

Seznam grafů

Graf 7.1: Četnosti hodnot tepelné zátěže – jednotlivá kancelář.....	35
Graf 7.2: Četnosti hodnot tepelné zátěže – kancelář halová.....	36
Graf 7.3: Četnosti hodnot tepelné zátěže – zasedací místnost.....	37
Graf 7.4: Četnosti hodnot tepelné zátěže – chodby	38
Graf 7.5: Četnosti hodnot tepelné zátěže – recepce.....	39
Graf 7.6: Četnosti hodnot tepelné zátěže – sklady.....	40
Graf 7.7: Četnosti hodnot tepelné zátěže – slévárny.....	41
Graf 7.8: Četnosti hodnot tepelné zátěže – kadeřnictví	42
Graf 7.9: Četnosti hodnot tepelné zátěže – hala pro zpracování kovů.....	43
Graf 7.10: Četnosti hodnot tepelné zátěže – komunikační prostory.....	44
Graf 7.11: Četnosti hodnot tepelné zátěže – mateřské školy	45
Graf 7.12: Četnosti hodnot tepelné zátěže – knihovny	46
Graf 7.13: Četnosti hodnot tepelné zátěže – učebny.....	47
Graf 7.14: Četnosti hodnot tepelné zátěže – prodejny potravin.....	48
Graf 7.15: Četnosti hodnot tepelné zátěže – běžné prodejny.....	49
Graf 7.16: Četnosti hodnot tepelné zátěže – autosalony.....	50
Graf 7.17: Četnosti hodnot tepelné zátěže – čekárny	51
Graf 7.18: Četnosti hodnot tepelné zátěže – vyšetřovny	52
Graf 7.19: Četnosti hodnot tepelné zátěže – operační sály.....	53
Graf 7.20: Četnosti hodnot tepelné zátěže – školní jídelny	54
Graf 7.21: Četnosti hodnot tepelné zátěže – restaurace.....	55
Graf 7.22: Četnosti hodnot tepelné zátěže – kuchyně.....	56

Seznam obrázků

Obr. 3.1: Konstrukce obyčejné žárovky [3].....	15
Obr. 3.2: Konstrukce halogenové žárovky [4].....	16
Obr. 3.3: Konstrukce lineární zářivky [5].....	17
Obr. 3.4: Konstrukce kompaktní zářivky [6].....	18
Obr. 3.5: Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky [7].....	18
Obr. 3.6: Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [8].....	19
Obr. 3.7: Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky [9]	20

Seznam rovnic

Rovnice 2.1: Svítivost	12
Rovnice 2.2: Prostorový úhel	13
Rovnice 2.3: Intenzita osvětlení	13
Rovnice 2.4: Měrný výkon	13
Rovnice 4.1: Účinnost svítidla	22
Rovnice 6.1: Potřebný celkový světelný tok	26
Rovnice 6.2: Index místnosti	26
Rovnice 6.3: Udržovací činitel	29
Rovnice 6.4: Světelný tok svítidla	29
Rovnice 6.5: Potřebný počet svítidel	29
Rovnice 6.6: Celkový instalovaný výkon	29
Rovnice 6.7: Tepelná zátěž prostoru	29

Seznam příloh

Příloha_01 CD Výpočtový excel