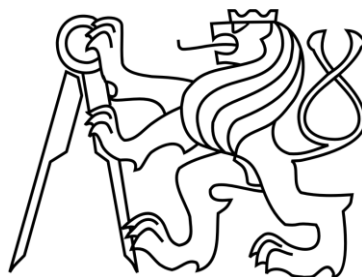


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Posouzení osvětlení interiérových  
prostor vybrané budovy**

**Svobodová Klára**

**2019**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Linda Veselá, Ph.D.**

**Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.**

**V Praze dne .....**

**.....  
Svobodová Klára**

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat paní Ing. Lindě Veselé Ph.D. za odborné vedení a rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat vedení Gymnázia ve Velkém Meziříčí, za umožnění měření osvětlení v budově školy.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Svobodová

Jméno: Klára

Osobní číslo: 460372

Zadávací katedra: Katedra technologie staveb

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Posouzení osvětlení interierových prostor vybrané budovy

Název bakalářské práce anglicky: Assessment of the interior lighting of the chosen building

Pokyny pro vypracování:

- 1) Provedení rešerše dané problematiky
- 2) Návrh měření
- 3) Provedení měření ve vybrané budově
- 4) Vyhodnocení měření
- 5) Návrh optimalizace osvětlení vybraných prostor

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory  
ČSN EN 12665 Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení  
ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Linda Veselá, Ph.D

Datum zadání bakalářské práce: 19.2. 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5. 2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Anotace**

Tato práce se zabývá posouzením umělého osvětlení školní budovy. V teoretické části je přehled používaných světelných zdrojů a sepsán postup měření umělého osvětlení včetně posuzovaných veličin. Obsahuje také shrnutí normových požadavků pro osvětlování škol. V praktické části je posouzen konkrétní případ osvětlení učeben. Na závěr práce je provedeno vyhodnocení návratnosti investice v případě rekonstrukce pomocí LED zdrojů.

## **Klíčová slova**

umělé osvětlení, světelné zdroje, osvětlovací soustava, škola

## **Annotation**

The aim of this thesis is to consider the artificial lighting of a public school building. The theoretical part contains the summary of light resources and the individual steps of measurement methods considerable physical quantities included. There is also the list of standards for lighting at schools. The practical part deals with appraisal of the particular classroom case. The results reveal evaluation of the rate of return in the case of the replacement of a standard light source by a light-emitting diode light source.

## **Key words**

Artificial lighting, light sources, lighting system, school

# Obsah

ÚVOD .....	9
1. Světlo obecně .....	11
1.1. Světlo [1] .....	11
1.1.1. Zdroje světla .....	11
1.2. Základní veličiny a užívané ve světelné technice [2].....	12
1.2.1. Světelný tok $\Phi$ [lm] (lumen) .....	12
1.2.2. Svítivost I [cd] (kandela).....	12
1.2.3. Prostorový úhel $\Omega$ [sr] (steradián).....	13
1.2.4. Intenzita osvětlení (Osvětlenost) E [lx] (lux).....	13
1.2.5. Jas L [cd/m <sup>2</sup> ] (Candela na metr čtvereční).....	13
1.2.6. Měrný světelný výkon $m_{zd}$ [lm/W] (lumen na watt).....	14
1.2.7. Teplota chromatičnosti $T_c$ [K] (Kelvin) .....	14
1.2.8. Index barevného podání $R_a$ .....	15
2. Světelné zdroje .....	16
2.1. Teplotní .....	17
2.1.1. Klasické žárovky .....	17
2.1.3. Halogenové žárovky.....	18
2.2. Výbojové .....	18
2.2.1. Lineární zářivky .....	18
2.2.2 Kompaktní zářivky .....	19
2.2.3. Nízkotlaké sodíkové výbojky.....	21
2.2.4. Vysokotlaké rtuťové výbojky.....	21
2.2.5. Vysokotlaké sodíkové výbojky .....	22
2.2.6. Halogenidové výbojky .....	23
2.3. Led diody.....	23

3. Osvětlování v praxi .....	25
3.1. Normy pro osvětlování .....	25
3.1.1. Posuzované parametry .....	25
3.2. Legislativní požadavky na umělé osvětlení školských budov .....	27
3.2.1. Požadavky normy ČSN EN 12464-1 [7] .....	27
3.2.2. Požadavky vyhlášky 410/2005 [8] .....	28
4. Měření umělého osvětlení .....	30
4.1. Měřený objekt .....	30
4.2. Vyhodnocení měření .....	31
5. Návrh optimalizace osvětlení vybraných prostor .....	34
5.1. Stávající stav .....	34
5.2. Nový stav .....	35
5.3. Výpočet ekonomické návratnosti .....	35
ZÁVĚR .....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	41
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	43
SEZNAM TABULEK .....	44

Příloha 1 - Protokol z měření

Příloha 2 – Půdorys 1NP s rozmístěním svítidel



# ÚVOD

Osvětlování vnitřních prostor se vyvíjí již velmi dlouho dobu. Zásadní změna přišla v 19. století, kdy došlo k vynálezu žárovky. Od té doby se z osvětlování postupným vývojem stal samostatný obor – světelná technika. Primárním účelem osvětlení je dodat dostatečné množství světla k plnění daného úkolu.

Typ a intenzita osvětlení podle psychologických průzkumů významně ovlivňují mimo jiné pracovní výkon, zrakové funkce a další. Při kvalitním osvětlení se lépe soustředí, zvyšuje se koncentrace a schopnost přijímání informací.

V dnešní době se klade velký důraz na omezení spotřeby elektrické energie a tvorby skleníkových plynů. Při návrhu osvětlovací soustavy je tedy důležité spojení kvalitativní, finanční a ekologické stránky věci. Propojení všech těchto stránek není jednoduchá záležitost. Již při projektování budovy by se mělo dbát na návrh kvalitního osvětlení.

V této práci se konkrétně zabývám problematikou osvětlování škol. Stav umělého osvětlení v českých školách je často na úrovni, kdy nevyhovuje normovým požadavkům a vzniká tím nezdravé prostředí jak pro žáky taky pro pedagogy. Důvodem odkládání rekonstrukce mohou být větší finanční investice do pořízení nové osvětlovací soustavy. Při návrhu úsporného osvětlení (např. pomocí LED diod) však může dojít k úsporám elektrické energie až o 80 %. Při stále se snižující ceně Led technologie se ve většině případů investice do úsporného osvětlení vyplatí a finanční návratnost není příliš dlouhá, nemluvě o vlivu na životní prostředí. Nejedná se pouze o finanční stránku věci, ale i o již zmíněný vliv světla na člověka. Budovy školy jsou jedno z míst, kde by se na kvalitu osvětlení měl brát největší důraz. Právě škola je místo, kde je nutné žákům vytvořit ideální podmínky pro učení, příjem informací a neohrožovat nesprávným osvětlením jejich zrak.

Cílem práce je naměřit hodnoty umělého osvětlení ve vybrané budově školy a porovnat je s normovými požadavky. Dle zjištěných výsledků pak provést návrh optimalizace osvětlení, pokud bude potřebné.

Vybraná budovy školy před dvěma roky již částečnou rekonstrukcí osvětlovací soustavy prošla. Z naměřených hodnot bude tedy možné porovnat, zda rekonstrukce

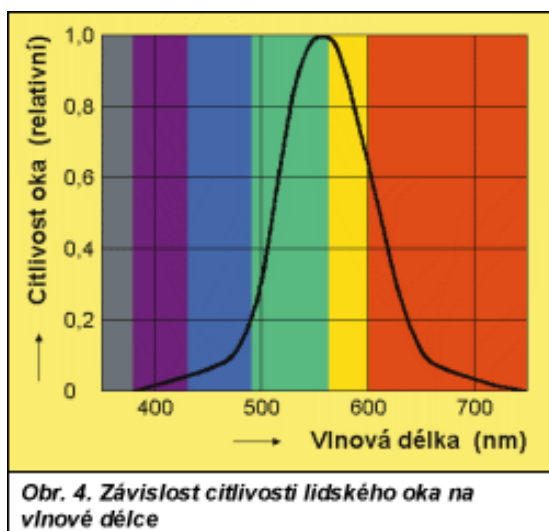
proběhla úspěšně a jaký je rozdíl kvality osvětlení mezi novou a starou soustavou. Vzhledem k tomu, že v nejbližších letech dojde pravděpodobně k opravám dalších učeben, bude možné vypočtený návrh optimalizace použít jako podklad pro tuto rekonstrukci. Školy se stále často pouští do rekonstrukce pomocí svítidel s lineárními zářivkami. Předpokládám, že úspornější bude již teď investovat do soustavy s LED diodami. Pro ni bude vypočtena doba návratnosti a porovnání s nynějším stavem. To by škole mělo pomoci při rozhodování, jakým směrem se bude rekonstrukce ubírat.

# 1. Světlo obecně

## 1.1. Světlo [1]

Světlo jsou elektromagnetické vlny, které se nacházejí v úzké oblasti vlnových délek  $\lambda$  [m], tj. vlnové délky přibližně od 700nm (červené světlo) až do 400nm (fialové světlo). Závislost citlivosti lidského oka na vlnové délce popisuje obrázek 1.

Elektromagnetické vlny mají dualistický charakter, chovají se zároveň jako vlny i jako částice. Vlnovým chováním světla se zabývá vlnová optika. Současně se světlo ale projevuje i jako tok fotonů, tímto se zabývá geometrická (též paprsková) optika. Na geometrické optice je založeno chování většiny základních optických přístrojů, jako je dalekohled, fotoaparát, mikroskop.



Obr. 1 Závislost citlivosti lidského oka na vlnové délce (Převzato z [8])

### 1.1.1. Zdroje světla

**Primárními** zdroji světla jsou zdroje, které samy svítí jako např. Slunce a další hvězdy, plameny, výbojky atd. Různé předměty kolem nás mohou odrážet a rozptylovat dopadající světlo. Tyto zdroje se pak nazývají **sekundární**.

**Přirozené zdroje světla:** Nejdůležitějším zdrojem světla je pro nás Slunce. Mnohé další hvězdy jsou intenzivnějšími zdroji než Slunce, ale jsou od nás tak vzdálené, že na Zem dopadá jen velmi malá část jejich světla. Povrchová teplota Slunce, díky které svítí, je 6000 K.

**Umělé zdroje světla:** Díky vysoké teplotě září i některé umělé zdroje, jako např. žárovka s teplotou do 3000 K. Teplotě Slunce se nejvíce přibližuje oblouková lampa.

## 1.2. Základní veličiny a užívané ve světelné technice [2]

### 1.2.1. Světelný tok $\Phi$ [lm] (lumen)

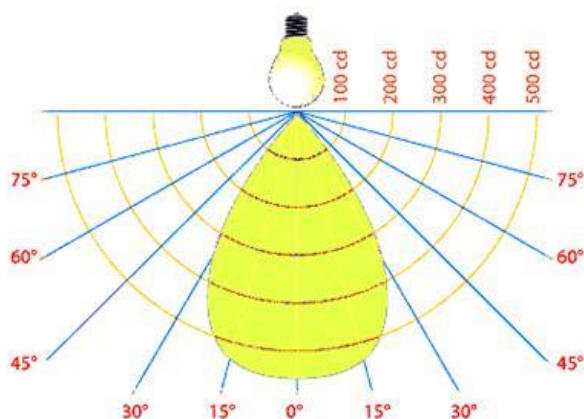
Světelný tok udává, kolik světla celkem vyzáří zdroj do všech směrů. Jde o světelný výkon, který je posuzován z hlediska lidského oka.



Obr.2 Grafické znázornění světelného toku (Převzato z [9])

### 1.2.2. Svítivost $I$ [cd] (kandela)

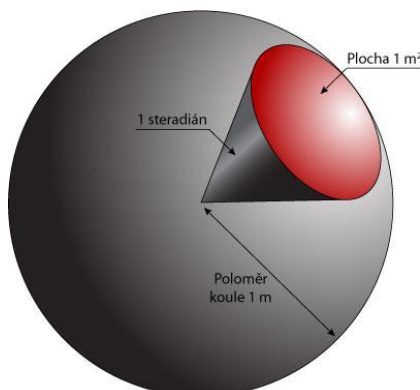
Udává, kolik světelného toku vyzáří světelný stroj nebo svítidlo do prostorového úhlu v určitém směru. Jeden cd odpovídá přibližně svítivosti obyčejné svíčky, klasická vláknová žárovka o příkonu 100 W má svítivost přibližně 200 cd.



Obr. 3 Křivka rozptýlenosti osvětlení (Převzato z [10])

### 1.2.3. Prostorový úhel $\Omega$ [sr] (steradián)

Prostorový úhel je úhel při vrcholu kužele. Jeho velikost je definována jako poměr kulové plochy  $A$ , kterou vyřezává úhel  $\Omega$  v kulové ploše o poloměru  $r$ , a druhé mocniny tohoto poloměru. Jednotkou prostorového úhlu je steridián, určený jednotkovou plochou ( $1 \text{ m}^2$ ) na povrch jednotkové koule (o ploše  $1 \text{ m}^2$ ).



$$\Omega = \frac{A^2}{r}$$

Obr. 4 Definice prostorového úhlu (Převzato z [11])

### 1.2.4. Intenzita osvětlení (Osvětlenost) $E$ [lx] (lux)

Veličina udává, jak je určitá plocha osvětlována, tj. kolik lm světleného toku dopadá na  $1 \text{ m}^2$ . Osvětlenost je to, co uvnitř budovy nejčastěji posuzujeme. Minimální hodnoty osvětlenosti pro jednotlivé typy místností jsou dány normou ČSN EN 12 464-1.

Tab. 1 Hodnoty osvětlenosti pro různé světlené zdroje

Osvětlení	Příklad situace
< 1 lux	Měsíční svit
10 luxů	Svíčka ve vzdálenosti 30 cm
400 luxů	Typická kancelář
50 000 luxů	Slunný den

### 1.2.5. Jas $L$ [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] (kandela na metr čtvereční)

Jas je měřítkem pro vjem světlosti svítícího nebo osvětlovaného tělesa, jak je vnímá lidské oko. Ploché těleso o obsahu  $1 \text{ m}^2$  samo září nebo paprsky odráží a jas nám říká, jaká je svítivost tohoto zdroje (hustota světlených paprsků).

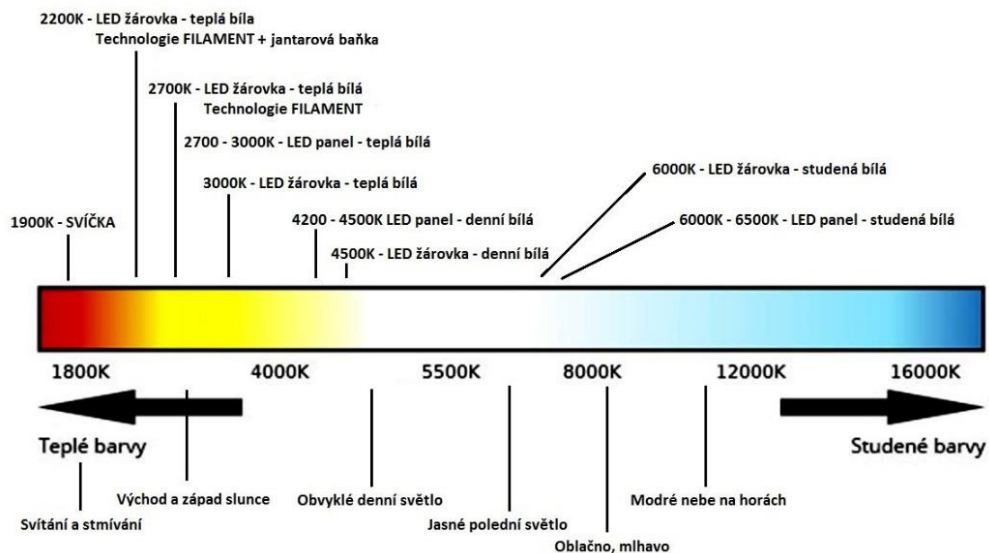
### 1.2.6. Měrný světelný výkon $m_{zd}$ [lm/W] (lumen na watt)

Udává kolik lm světelného toku se získá z 1 W elektrického příkonu. Jinými slovy, s jakou účinností svítí světelné zdroje. Veličina je důležitá především z energetického hlediska. Měrný světelný tok svíčky se pohybuje v desetinách lm/W.

### 1.2.7. Teplota chromatičnosti $T_c$ [K] (kelvin)

Teplota chromatičnosti, je teplota černého zářiče (tzv. Planckova zářiče) která vytváří zrakově nejpodobnější vjem jako teplota daného světelného zdroje. Pro každý typ místnosti se hodí různé teploty chromatičnosti. S ohledem na účel místnosti rozlišujeme tři rozmezí teploty chromatičnosti pro volbu svítidel.

- 2700-3500 K – teplé bílé světlo. Světlo má žlutou až oranžovou barvu a člověkem je vnímáno jako teplé. Používá se v obývacích místnostech, ložnicích apod.
- 4000-5000 K – neutrální bílé světlo. Při tomto světle, není zkresleno vnímání barev. Označuje se také jako denní světlo. Vhodné použití je do kuchyní, obchodních domů.
- 5800-7000 K – studené světlo. Podporuje soustředění a zvyšuje produktivitu. Používá se v učebnách, kancelářích atd.



Obr. 5 Barevné spektrum teplot chromatičnosti (Převzato z [12])

### 1.2.8. Index barevného podání $R_a$

Index podání barev určuje věrohodnost barevného vjemu použitého světelného zdroje. Hodnota  $R_a$  se pohybuje v rozmezí 0-100. Při hodnotě  $R_a=100$  nedochází k žádnému zkreslení, čím nižší hodnota, tím k většímu zkreslení vnímání barev dochází. Při  $R_a=0$  dochází k velkému zkreslení a některé barvy nejsme schopni rozeznat vůbec. Pro většinu běžných úkonů je požadována hodnota kolem 80. Hodnoty pro určité typy činností jsou stanoveny v normě ČSN EN 12 464-1.

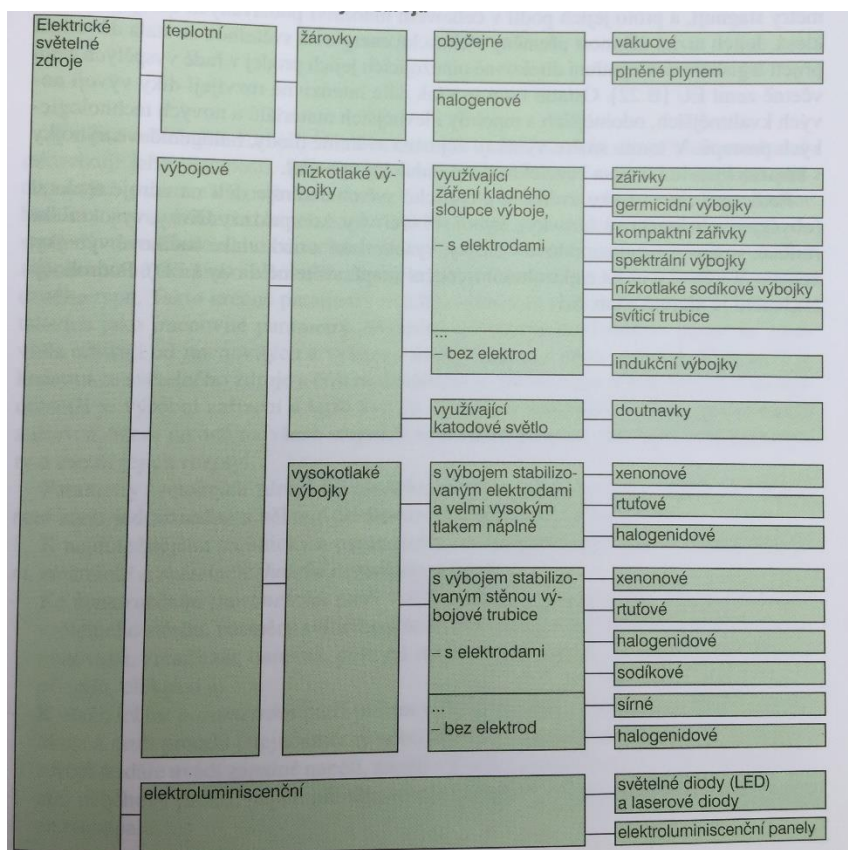


Obr. 6 Zobrazení barev při různém Indexu podání barev (Převzato z [13])

## 2. Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou optická zařízení, která přeměňují některé druhy energie (elektrickou, chemickou, biologickou) na světelnou. V dnešní době využíváme především energii elektrickou.

Světelné zdroje mají různé parametry, dle kterých je můžeme rozdělovat – teplota chromatičnosti, index podání barev atd. Jedním z nejdůležitějších parametrů poslední doby je účinnost. Přibližně 19 % celosvětově vyrobené energie se využívá k osvětlování. [2] Klasická žárovka přemění velkou část elektrické energie na teplo, proto je legislativně omezován jejich prodej v některých zemích. Dnes máme spoustu nových typů světelných zdrojů (světelné diody LED, halogenové žárovky atd.). Při výběru osvětlení je důležité hodnotit světelné zdroje i z hlediska účinnosti a životnosti.



Obr. 7 Struktura třídění světelných zdrojů (Převzato z [1])



## 2.1. Teplotní

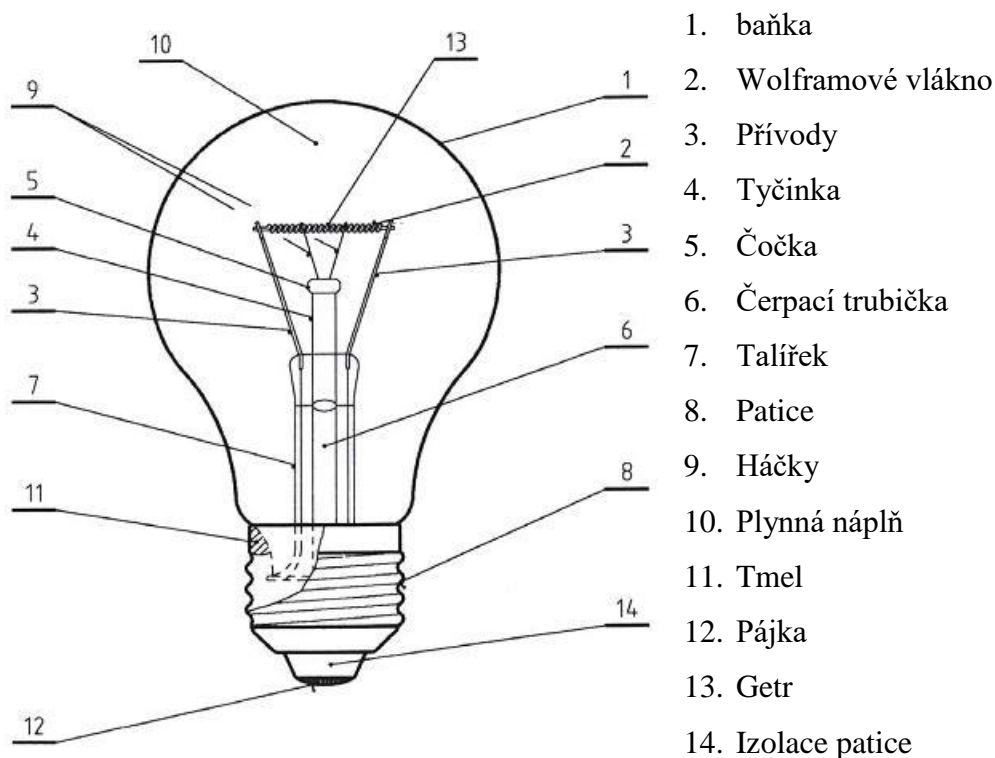
### 2.1.1. Klasické žárovky

Klasické žárovky jsou stále celosvětově nejpoužívanějším zdrojem světla, ale jejich produkce i distribuce se omezuje, a to i legislativně. Vlastním zdrojem záření je wolframové vlákno, které se u novějších typů namotává do spirály.

Jejich výhodou je nízká pořizovací cena a většinou jednoduchá výměna. Teplota chromatičnosti se pohybuje kolem 2700 K (oranžový barevný odstín) – vhodné použití v domácnosti. Faktor podání barev je  $R_a = 100$ , to znamená, že podání barev nezkrslují. Jednou z dalších hlavní výhod je téměř okamžitý start svícení a jejich cena.

Zásadními nedostatky jsou vysoký měrný výkon (malá účinnost přeměny elektrické energie na světelnou) a krátká doba životnosti (pohybuje se kolem 1000 provozních hodin).

Téměř všechny fyzikální vlastnosti již byli vyčerpány a dnes vývoj směřuje jinými směry.



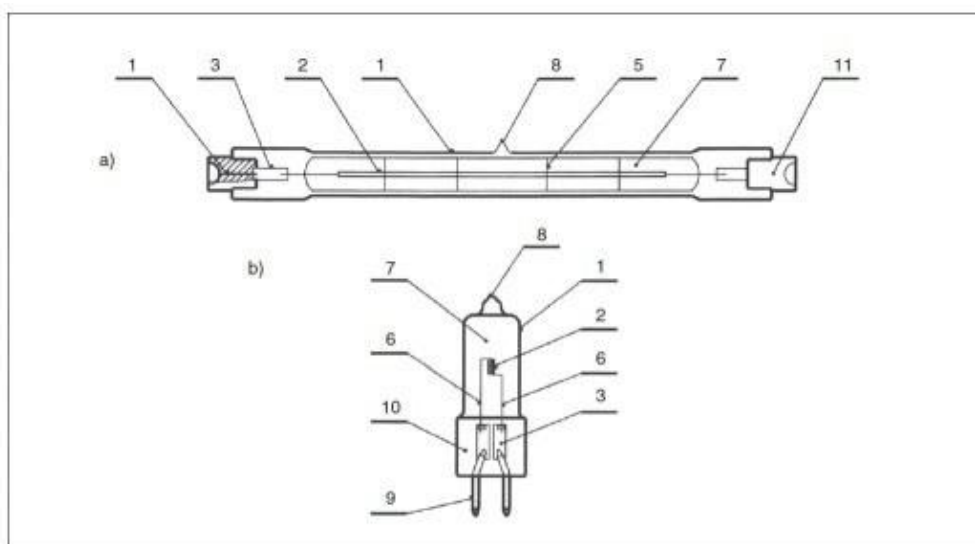
Obr. 8 Schéma klasické žárovky (Převzato z [14])

### 2.1.3. Halogenové žárovky

Jedná se o žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. U klasických žárovek se wolfram usazuje na vnitřní straně baňky, ale u halogenových reaguje s halogenidem a vlivem teplotního pole se vrací zpět na vlákno, dochází tedy k tzv. kruhovému procesu. Díky tomuto procesu se zvyšuje stabilita světelného toku.

Mezi výhody patří delší životnost než u klasických žárovek (asi 2000 h), větší účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, dlouhodobá stabilita světelného toku. Kompaktní rozměry umožňující konstrukci menších a materiálově úspornějších svítidel.

Jejich technologie výroby je ale podstatně náročnější. Tomu odpovídá i cena, která je si a 100% vyšší než u klasických žárovek.



Obr. 1. Konstrukce halogenové žárovky  
a - dvoustisková žárovka, b - jednostisková žárovka  
1 - baňka, 2 - wolframové vlákno, 3 - molybdenová fólie, 4 - molybdenový přívod, 5 - podpěrka,  
6 - koncečky vlákna, 7 - plynná náplň, 8 - odpalek čerpací trubičky, 9 - kolík, 10 - stisk,  
11 - keramická patice

Obr. 9 Schéma halogenové žárovky (Převzato z [15])

## 2.2. Výbojové

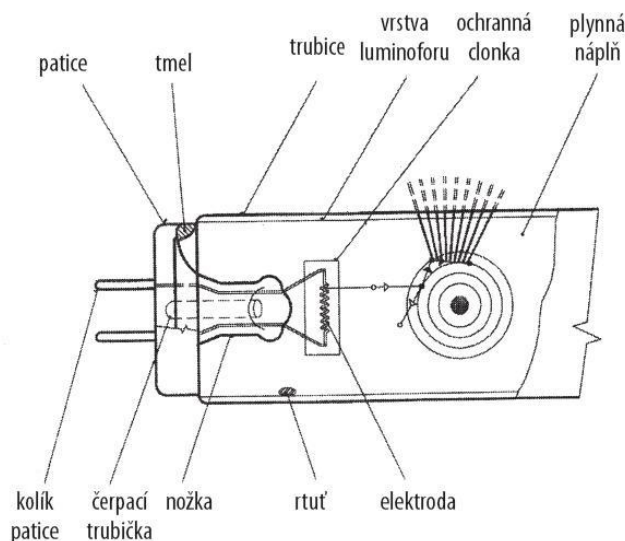
### 2.2.1. Lineární zářivky

Zářivka je nízkotlaká rtuťová výbojka. Většinu záření (cca 60 %), které vyzařuje, je ultrafialové. Je tvořena skleněnou trubicí potřenou jednou nebo dvěma vrstvami luminoforu. Ten mění ultrafialové záření na viditelné. Na obou koncích má

trubice elektrodu. Kolem elektrod je ochranná clona, která omezuje černání konců zářivek a ustálí světelný tok během svícení.

Hlavní výhodou používání zářivek je vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou (až přes 100 lm/W). V kvalitnějších typech se pohybuje index barevného podání kolem 98. Dle použitého typu luminoforu můžeme dosáhnout teploty chromatičnosti od 2700 do 17 000 K. Zářivky o nejvyšších teplotách chromatičnosti se pak mohou používat do provozů, kde je omezený přístup denního světla.

Životnost zářivek je závislá na počtu rozsvícení. Při častém zapínání a vypínání se rychle snižuje životnost až na 50 %. Tepelný tok je závislý na teplotě okolí. (negativně je ovlivňuje nízká i vysoká teplota okolí). Zářivky obsahují rtuť, která je toxická, a proto nastává problém s likvidací. Nelze je vyhodit do komunálního odpadu.



Obr. 10 Konstrukce lineární zářivky (Převzato z [16])

### 2.2.2 Kompaktní zářivky

Cílem výrobců zdrojů bylo navrhnout světelný zdroj co nejpodobnější obyčejným žárovkám, který by měl zároveň pozitivní vlastnosti zářivek. Kompaktní zářivky se staly prvním konkurentem klasických žárovek, přiblížili se jim indexem podání barev ( $R_a = \max 90$ ), geometrickými vlastnostmi i používaným příkonem (15–200 W).

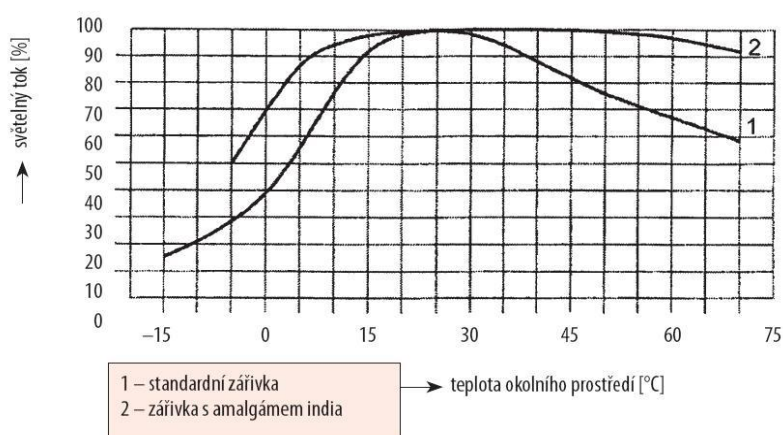
Dělí se na dva typy – zářivky s vnějším předřadníkem a zářivky s elektronicky integrovaným předřadníkem. U prvního typu je třeba přizpůsobit konstrukci svítidla. Typ s integrovaným předřadníkem lze používat do stejných svítidel jako klasické žárovky, proto je může plně nahradit.

Výhody jsou stejné jako u lineárních zářivek – vysoká účinnost (87 lm/W), životnost, vysoký index podání barev. Hlavní výhodou jsou geometrické vlastnosti kompaktních zářivek a možnost nahrazení obyčejných žárovek. Oproti obyčejným žárovkám je úspora elektrické energie až 80 %.

Špatné vlastnosti mají také stejné jako lineární zářivky – toxická rtuť, tepelný tok závislý na teplotě okolí, závislost životnosti na počtu rozsvícení a zhasnutí.



Obr. 11 Vliv počtu zapnutí na životnost zářivek (Převzato z [16])



Obr. 12 Vliv teploty okolí na světelný tok zářivek (Převzato z [16])

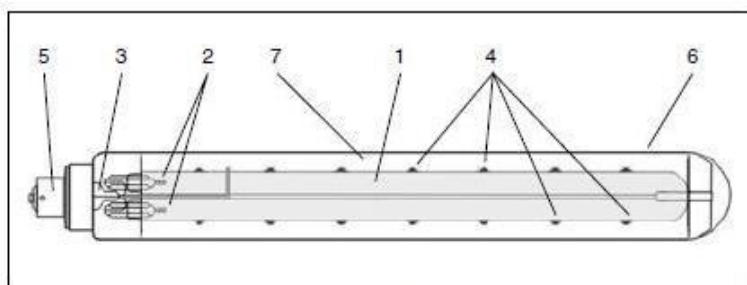
### 2.2.3. Nízkotlaké sodíkové výbojky

V nízkotlakých sodíkových výbojkách je světlo sodíkovými parami. Jedná se o neúčinnější sériově vyráběné umělé světelné zdroje. Nutné používat speciální předřadní obvody.

Výhodami je vysoký měrný výkon až 200 lm/W, životnost kolem 20 000 h a vysoká stabilita světelného toku.

Nízkotlaké sodíkové výbojky mají velmi špatný index podání barev. Téměř všechny barvy, až na oranžovou, se jeví jako různé odstíny šedé. Index podání barev se přibližuje 0. Kvůli této vlastnosti se téměř nepoužívají při osvětlování budov. Jediným využitím je osvětlení silničních tunelů a komunikací.

Během jejich života narůstá jejich příkon až o 40 % a kvůli malé setrvačnosti výboje může docházet k pulzování světla.

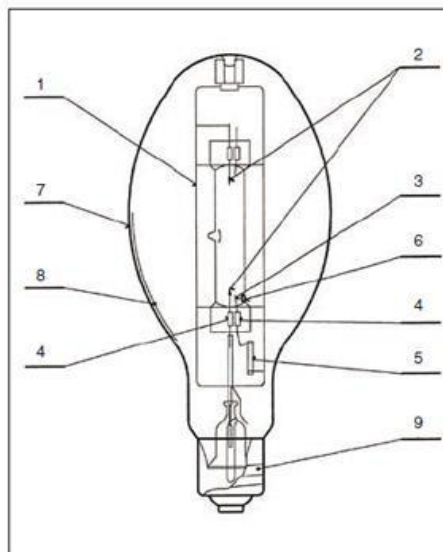


Obr. 2. Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky  
1 - výbojová trubice, 2 - katoda, 3 - nožka, 4 - chladná místa,  
5 - patice, 6 - vnější baňka s odraznou vrstvou, 7 - vakuum

Obr. 13 Schéma nízkotlaké sodíkové výbojky (Převzato z [17])

### 2.2.4. Vysokotlaké rtuťové výbojky

Světlo vzniká rtuťovým výbojem. Buňka se používá čirá nebo s luminoforem (zde vzniká světlo částečně výbojem a částečně reakcí s luminoforem). Vysokotlaké výbojky pracují s vyššími teplotami i vyššími pracovními tlaky, proto je nutné použití odolnějších materiálů (křemenné sklo pro výrobu trubice).



Obr. 2. Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky  
 1 - nosný rámeček, 2 - hlavní elektrody,  
 3 - pomocná elektroda, 4 - molybdenová fólie,  
 5 - rezistor, 6 - rtuť, 7 - vnější baňka, 8 - vrstva  
 luminoforu, 9 - patice

Obr. 14 Schéma vysokotlaké sodíkové výbojky (Převzato z [17])

Mezi jejich klady patří životnost (12000–16000 h), stabilita světelného toku, jednoduché schéma zapojení a z toho vyplývající spolehlivost, nízká cena.

Hlavními nevýhodami je nízká účinnost oproti ostatním moderním světelným zdrojům, obsah toxické rtuti. Světlo je možné po vypnutí znovu zapnout až po vychladnutí výbojky.

Dnes podíl vysokotlakých rtuťových výbojek na využití při osvětlování soustavně klesá.

### 2.2.5. Vysokotlaké sodíkové výbojky

Světelné zdroje, kde světlo vzniká především zářením sodíkových par. Spektrum záření je bohatší než u nízkotlakých sodíkových výbojek,  $R_a$  se pohybuje do 25.

Jejich předností je především dlouhá životnost, spolehlivý provoz a snadná údržba a vysoký měrný výkon. Dnes jsou nahrazovány LED diodami a halogenidovými výbojkami. Mají příjemně teplou barvu světla, proto se používají pro venkovní veřejná osvětlení, kde podání barev nehraje důležitou roli.



*Obr. 15 Použití vysokotlaké sodíkové výbojky ve veřejném osvětlení (Převzato z [18])*

### **2.2.6. Halogenidové výbojky**

Jedná se o vysokotlaké výbojky, kde světlo vzniká zářením par kovů (popř. vzácných plynů) a produktů štěpení halogenidů. Vznikly z rtuťových výbojek, přidání dalších chemických prvků pozitivním způsobem ovlivnilo barevné spektrum rtuti. Různými kombinacemi můžeme získat teplé i studené světlo. Používá se korundový nebo novější keramický hořák.

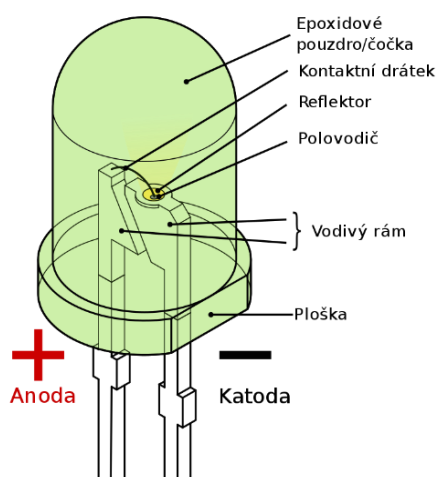
Jednou z hlavních nevýhod je technologická náročnost výroby a tím i vyšší pořizovací cena. Stejně jako u rtuťových výbojek nelze zářivky vypnout a ihned znovu zapnout.

Výhodami jsou velmi dobré podání barev ( $R_a = 95$ ), velký rozsah příkonů, široké možnosti v spektrálního složení světla (dle použitých sloučenin).

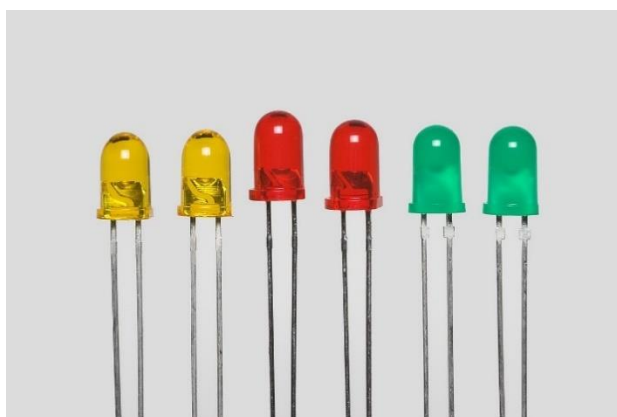
### **2.3. Led diody**

Led diody v dnešní době zaznamenávají největší vývoj ze všech světelných zdrojů. Patří do skupiny elektroluminiscenčních světelných zdrojů (do této skupiny patří ještě laserové diody a elektroluminiscenční panely). Stále se vyvíjí nové materiály a postupy, které umožňují zvyšování měrného výkonu.

Led dioda se skládá z polovodičového čipu připojeného na elektrické napětí. Kolem je vrstva materiálu, který dává diodě optické vlastnosti. Svítí v poměrně úzkém spektru světla (jednobarevně), které je závislé na chemickém složení polovodiče.



Obr. 16 Schéma LED diody (Převzato z [19])



Obr. 17 Různé barvy LED diod (Převzato z [19])

LED diody mají spoustu pozitivních vlastností. Geometrické parametry (malé rozměry) umožňují vytvářet velké množství různých světelných zdrojů. Hlavní výhody světelných parametrů jsou možnost častého vypínání a zapínání bez vlivu na životnost, rychlý start svícení, vysoký jas, možnost zajištění energeticky úsporného osvětlení, velká účinnost a teoretické možnosti dalšího zvyšování měrného výkonu. (Dnes až 160 lm/W, v laboratorních podmínkách bylo již dosaženo měrného výkonu 200 lm/W). Dalšími výhodami je jejich spolehlivost, široké spektrum barev, a extrémně dlouhá životnost (60 až 100 tis.h.). Nejsou toxické (neobsahují rtuť) a velká část materiálů je recyklovatelná.



### 3. Osvětlování v praxi

Při návrhu osvětlení dnes dbáme na snižování spotřeby elektrické energie, zvýšení úspor a snížení emisí skleníkových plynů. Je velmi důležité neopomíjet vliv na biologický systém člověka (světlo prokazatelně ovlivňuje lidské zdraví, stres a další nemoci spojené s moderní dobou). Při spojení všech těchto podmínek je navíc třeba respektovat primární funkci osvětlení, tj. vhodné osvětlení dané zrakové činnosti.

#### Návrh osvětlení by se měl skládat z více částí:

- Požadavky na světelně technické parametry uvedené v normách
- Ekonomická a ekologická stránka osvětlení
- Vytvoření podmínek pro zrakovou pohodu – zraková pohoda je psychofyzilogický stav, který příznivě ovlivňuje organismus a je způsoben optickou situací prostředí

#### 3.1. Normy pro osvětlování

ČSN EN 12665 Světlo a osvětlení – Základní kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení

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

ČSN EN 1838 Světlo a osvětlení – Nouzové osvětlení

##### 3.1.1. Posuzované parametry

Parametry uváděné v normách vycházejí ze znalostí o zákonitostech zrakového vnímání a z aplikačních výzkumů v reálných situacích. S novými poznatky se hodnoty pro posuzované parametry stále mění. [2]

- *Rozložení jasu* – Jas a jeho prostorové rozmístění ovlivňuje celkové vnímání prostoru. Různé úrovně jasu nutí zrak se neustále přizpůsobovat (adaptovat) danému pozadí. V normách je jas udáván pomocí činitele odrazu hlavních ploch prostoru.
- *Osvětlenost* – V prostoru posuzujeme tři typy osvětlenosti. Minimální osvětlenost pracovního úkolu, minimální osvětlenost okolí a maximální povolený rozsah osvětlení v pracovních prostorech. Na základě výzkumů je

vytvořena řada osvětleností, které je lidské oko schopno rozlišovat (20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500, hodnoty jsou uváděné v luxech). Tyto osvětlenosti jsou v normě přiřazovány konkrétním úkolům. Hodnoty by se měly přizpůsobovat i dle osob, které se budou v prostorech pohybovat, např. u starších osob je dobré hodnoty osvětlenosti o řadu zvýšit.

**Tabulka 1 – Rovnoměrnost osvětlení a poměr osvětlenosti bezprostředního okolí a úkolu**

Osvětlenost úkolu (lx)	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)
≥750	500
500	300
300	200
≤200	$E_{\text{okolí}}$
rovnoměrnost osvětlení: ≥0,7	rovnoměrnost osvětlení: ≥0,5

*Obr. 18 Vztah mezi osvětlením úkolu a bezprostředním okolím úkolu (Zdroj [4])*

- *Oslnění* – Oslnění je stav, kdy je oko vystavováno vyššímu jasu, než na který je adaptováno. Snížení oslnění od světelných zdrojů (clonění svítidel, nepřímé osvětlení, antireflexní povlaky svítidel) má přímý vliv na jejich účinnost a tím se zvyšuje energetická náročnost. K oslnění dochází i přímým slunečním světlem prostupujícím okny. Pro praktické řešení se používá systém  $UGR_L$  (Jednotný systém hodnocení oslnění), který se stanovuje pro danou osvětlovací soustavu. Maximální mezní hodnoty indexu  $UGR_L$  jsou stanoveny v normě.
- *Směrnost osvětlení* – Směrnost osvětlení je dána převažujícím směrem světla. Světlo v místnosti by nemělo být příliš směrované, aby nevytvářelo ostré stíny. Doporučuje se pracovní plochu neosvětlovat přímo, ale zleva, aby světlo dopadalo přes levé rameno. V normě je pro popis směrových vlastností uveden poměr vřícové a vodorovné osvětlenosti, který by se měl pohybovat mezi hodnotami 0,3 až 0,6.
- *Barevné vlastnosti osvětlení* – Pro popis barevných vlastností světelných zdrojů se používá Index podání barev a teplota chromatičnosti. Teplota chromatičnosti není v normách předepsaný parametr. Světelné zdroje je třeba volit dle vhodnosti pro dané využití prostoru. Jedinou výjimkou uvedenou v normě jsou sportoviště, která mají chromatičnost stanovenou kvůli kvalitě televizních přenosů a to 3500 K až 6500 K. Index podání barev se udává dle

náročnosti zrakového úkolu i pro zrakové činnosti, které s rozeznáváním barev přímo nesouvisí. Pro většinu vnitřních prostor se volí index podání barev vyšší než 80. Byli stanovena i všeobecná pravidla pro vhodnou volbu barev povrchových úprav, např. strop má být bílý nebo světlý, barvy potravin jsou lépe hodnoceny v teplém světle. Tyto pravidla nejsou normou stanovena.

- *Stálost osvětlení* – Blikání a jiné změny světla v místnosti nepříznivě působí na soustředění a pohodu člověka. Světelné zdroje je nutné pravidelně kontrolovat a případným problémům předejít. Vlivem pulsace světelného toku světelných zdrojů může docházet k tzv. stroboskopickému jevu, kdy se některé pohyby můžou jevit jako statické nebo být vnímány s jinou rychlostí. V důsledku tohoto jevu může docházet k vážným úrazům, především v průmyslových prostorách.

## **3.2. Legislativní požadavky na umělé osvětlení školských budov**

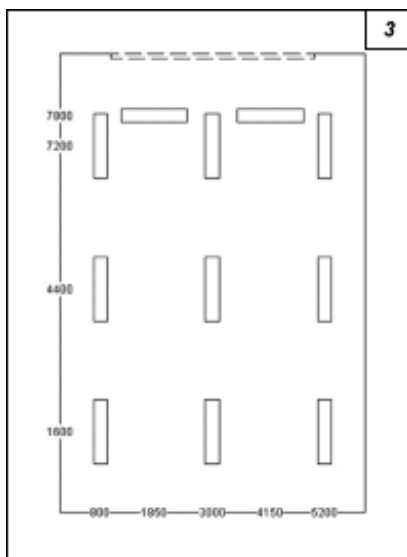
Z výzkumů bylo potvrzeno, že osvětlení má významný vliv na soustředění, přijímání informací i logické myšlení. Kvůli dnešnímu životnímu stylu (časté sledování televize, využívání počítače) se dnes lidem zhoršuje zrak. Osvětlení má vliv na všechny tyto věci, a proto je pro děti ve školách podstatné zaměřit se na jeho správné navržení. Osvětlení škol často neodpovídá legislativním požadavkům, zároveň je nutné splnit finanční možnosti pro rekonstrukci, které má provozovatel školy

Osvětlováním tříd se legislativně zabývají dva hlavní předpisy – ČSN EN 12464-1 a Vyhláška Mzd. ČR č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.

### **3.2.1. Požadavky normy ČSN EN 12464-1 [7]**

Nejčastěji posuzovaným parametrem je osvětlenost. Pro běžné a počítačové učebny je udávána hodnota 300 lx. Pro učebny s večerní výukou, výtvarnou výchovu a laboratoře je hodnota 500 lx. Při posuzování vybrané školy se budeme řídit hodnotou **500 lx**, aby třídy mohly mít univerzální využití. Další posuzovaný parametr je rovnoměrnost osvětlení. Udává se 0,6 pro třídy a 0,7 pro tabuli. Ve školských budovách nesmí být použity světelné zdroje s indexem barev menším než **80**. Osvětlení má být dle normy **regulovatelné**. Pro zajištění regulovatelnosti stačí rozdělit

osvětlovací soustavu do samostatně funkčních řad. Hodnota indexu rušivého oslnění nesmí být vyšší než 19 a posuzuje se ve výšce očí ve směru pohledu. Osvětlovací soustavy mají být navrženy tak, aby se zabránilo míhání a stroboskopickému jevu.



Obr. 19 Příklad rozmístění svítidel v učebně (Převzato z [20])

### 3.2.2. Požadavky vyhlášky 410/2005 [8]

Vyhláškou ministerstva zdravotnictví 410/2005 se normy pro denní (ČSN 73 0580-1) i umělé osvětlení (ČSN EN 12464-1) stávají závazné. Všechny parametry umělého osvětlení musí odpovídat normě.

Místa žáků v lavicích musí být orientována tak, aby nedocházelo k jejich oslnění jasem osvětlovacích otvorů a zároveň si nestínili místo zrakového úkolu. Barevný tón osvětlení se volí dle hodnot  $\bar{E}_m$  udávaných v tab.2. Teploty chromatičnosti světelných zdrojů odpovídající barevným tónům jsou stanoveny v normě.

Tab.2 Skupiny barevného tónu světla světelných zdrojů (Zdroj [7])

Barevný tón	$\bar{E}_m$ (lx)	$T_{cp}$ (K)
teple bílý	$\leq 200$	do 3300
neutrálně bílý	200-1000	3300-5300
chladně bílý	$> 1000$	nad 5300

Rovnoměrnost umělého osvětlení na chodbách musí být vyšší než 0,2. Svítidla u soustav umělého osvětlení se umísťují na strop rovnoběžně s okenní stěnou, pokud to umožňuje stavební dispozice místnosti. Osvětlování lavic se umísťuje tak, aby svítilo zleva a shora. Výška srovnávací roviny pro návrh a posouzení osvětlení místa zrakového úkolu u umělého osvětlení ve školských zařízeních je stejná jako převládající výška lavic. Za místo zrakového úkolu je považován prostor s lavicemi nebo stůl učitele a za bezprostřední okolí zrakového úkolu je považován prostor místnosti sloužící výuce. Nejméně dvakrát ročně je nutné umýt okna včetně rámu, svítidla a světelné zdroje. Obnova povrchů stěn se provádí nejméně jednou za tři roky.

Tab.3 Výtah normových požadavků pro osvětlování vzdělávacích zařízení (Zdroj [7])

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	$E_m$ (lx)	$U_o$ (-)	$UGR_L$	$R_a$ (-)	Specifické požadavky
učebny, konzultační místnosti	300	0,6	19	80	Osvětlení má být regulovatelné
učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých	500	0,6	19	80	Osvětlení má být regulovatelné
černé, zelené a bílé tabule	500	0,7	19	80	Zrcadlovým obrazům je nutno zabránit. Přednášející učitel musí být osvětlen vhodnou vertikální osvětleností
místnosti pro výtvarnou výchovu	300	0,6	19	80	
místnosti pro praktickou výuku a laboratoře	500	0,6	19	80	
místnosti pro hudební cvičení	300	0,6	19	80	
počítačové učebny	300	0,6	19	80	Podmínky práce s displeji
komunikační prostory a chodby	100	0,4	25	80	
schodiště	150	0,4	25	80	

## 4. Měření umělého osvětlení

Měření probíhá vždy bez vlivu denního světla. Před začátkem měření se zjistí všechny potřebné údaje pro danou přesnost měření a uvedou se do protokolu z měření. Poté se zvolí kontrolní body a srovnávací rovina. Pro měření v menších místnostech se volí kontrolní body ve vzdálenosti 0,2 – 5 m od sebe. V místě zrakového úkolu se zvolí menší rozteče bodů. Srovnávací rovina se umísťuje 0,85 m nad podlahou, pokud není uvedeno jinak (ve vyhlášce 410/2005 uvedená výška srovnávací roviny pro školy ve výšce lavic). Před měřením se zkontroluje měřicí přístroj a provedení kalibrace.

V případě nových osvětlovacích soustav je nutné měření provádět až po nějaké době používání, u žárovek alespoň 10 hodin u zářivek nejméně 100 hodin. Světelné zdroje se musí nejdříve zapnout a nechat svítit přibližně 20 minut (žárovky pouze 5 minut) a až poté může probíhat měření. Během měření se zaznamenává počet nefunkčních či blikajících zdrojů a uvede se do protokolu.

### 4.1. Měřený objekt

Pro měření byla vybrána budova školy Gymnázia ve Velkém Meziříčí. Jedná se o starou budovu, která byla dostavěna v neoklasicistním stylu již v roce 1901. Jde o historicky i technicky cennou stavbu. V minulosti již byla několikrát opravována a modernizována. Na chodbách jsou klenbové stropy, ke kterým je nutné přihlídnout při výběru vhodného svítidla (např. použití svítidel svěšených na řetízku).



*Obr.20 Budova Gymnázia Velké Meziříčí (Převzato z [32])*

Od roku 2016 dochází k postupné rekonstrukci osvětlovací soustavy (v rámci dalších rekonstrukcí budovy). Nyní se jedné přibližně o polovinu všech učeben, které jsou už opraveny. Ve všech místnostech jsou použita svítidla s lineárními zářivkami jak v těch nově opravených, tak v těch se starými svítidly.

Měření bylo prováděno v 1 NP podlaží této budovy. Měřeny byly všechny učebny a přilehlá chodba a schodiště. Toto podlaží bylo vybráno, protože se zde nacházejí čtyři zrekonstruované místnosti a čtyři, kde je stará osvětlovací soustava. Z měření bude tedy možné porovnat, jaký je rozdíl mezi stavem před a po rekonstrukci a vyhodnotit, zda rekonstrukce probíhají správně. Pokud by vyhověly i místnosti kde k žádným opravám nedošlo, nebude nutné investovat do dalších změn. Základní předpokladem, kvůli kterému se měření provádí je, že tyto učebny nevyhoví.

Veškeré naměřené hodnoty a postup měření jsou uvedeny v protokolu z měření, který je přílohou 1.

## 4.2. Vyhodnocení měření

Z naměřených hodnot jsem sestavila tabulku 4, kde je přehledně zobrazeno, které učebny vyhovují normovým požadavkům. Zvlášť je vždy vyhodnoceno osvětlení místnosti a vertikální osvětlení tabule.

Posuzovanými veličinami byly

$E_m$  .....průměrná hodnota osvětlenosti

$U_o$ .....rovnoměrnost osvětlení

$R_a$ .....index podání barev (hodnoty brány dle údajů výrobce daného světleného zdroje)

Pro posouzení osvětlenosti  $E_m$  je volena ve všech místnostech hodnota 500 lx. Dle normy by pro některé učebny stačila hodnota 300 lx. Vyšší hodnota byla zvolena z důvodu multifunkčnosti využití učeben. Například v případě přesunutí laboratoře biologie do jiné učebny nebo uskutečňování večerní výuky by bylo osvětlení již nevyhovující.

Učebny po rekonstrukci splňují požadavky. Problém je často s osvětlením tabule. Z osmi měřených učeben mají pouze dvě dostatečně osvětlenou tabuli. Ve

zbývajících dvou učebnách je hodnota osvětlenosti tabule těsně nad požadovanou hodnotou 500 lx.

Ve všech místnostech jsou správně použity lineární zářivky s Indexem podání barev 80-89.

V učebně 112 a 122 jsou zářivky Philips Master 36/830 TL-D, které dle údajů výrobce mají teplotu chromatičnosti 3000 K (teplá bílá). Zářivky s touto hodnotou teploty chromatičnosti jsou vhodné spíše do obytných prostor. Teplota chromatičnosti není hodnota daná normou, ale pro školní třídy, kanceláře apod. se doporučuje 4000 K (neutrální bílá) a více.

Velmi nedostatečně je osvětleno schodiště a chodba. V případě chodby jsou použity jak lineární zářivky, tak osvětlení pomocí klasických žárovek. Jednotlivé typy zdrojů mají i jinou barvu osvětlení. V jedné místnosti je vhodné používat světelné zdroje se stejnou teplotou chromatičnosti.

Z měření vyplývá, že rekonstrukcí svítidel a pravidelnou údržbou, lze dosáhnout normových požadavků. V následující části bude navržena rekonstrukce osvětlení školy pomocí LED diod a proveden výpočet návratnosti investice.



Tab. 4 Výsledné hodnoty měřené osvětlenosti

Místnost	Požadavky ČSN			Naměřené hodnoty				Vyhodnocení
	$E_m$ (lx)	$U_o$ (-)	$R_a$	$E_{min}$ (lx)	$E_m$ (lx)	$U_o$ (-)	$R_a$	
<b>111 - Laboratoř biologie</b>	500	0,6	80	576	820	0,7	80-89	VYHOVUJE
tabule	500	0,7	80	494	559	0,88	80-89	VYHOVUJE
<b>112 - Učebna pro volný čas</b>	500	0,6	80	156	241	0,65	80-89	NEVYHOVUJE
tabule	500	0,7	80	148	176	0,84	80-89	NEVYHOVUJE
<b>117 - Učebna hudební výchovy</b>	500	0,6	80	370	567	0,65	80-89	VYHOVUJE
tabule	500	0,7	80	421	513	0,82	80-89	VYHOVUJE
<b>118 - Učebna dějepisu</b>	500	0,6	80	210	552	0,38	80-89	NEVYHOVUJE
tabule	500	0,7	80	362	482	0,75	80-89	NEVYHOVUJE
<b>120 - 1A</b>	500	0,6	80	514	747	0,69	80-89	VYHOVUJE
tabule	500	0,7	80	545	483	0,89	80-89	NEVYHOVUJE
<b>122 - 3A</b>	500	0,6	80	343	480	0,71	80-89	NEVYHOVUJE
tabule	500	0,7	80	342	362	0,94	80-89	NEVYHOVUJE
<b>123 - 6A</b>	500	0,6	80	268	310	0,86	80-89	NEVYHOVUJE
tabule	500	0,7	80	209	222	0,94	80-89	NEVYHOVUJE
<b>125 - Učebna zeměpisu</b>	500	0,6	80	340	493	0,60	80-89	NEVYHOVUJE
tabule	500	0,7	80	298	429	0,79	80-89	NEVYHOVUJE
Chodba	100	0,4	80	46	103	0,45	80-89	NEVYHOVUJE
Schodiště	150	0,6	80	43	59	0,72	80-89	NEVYHOVUJE

## 5. Návrh optimalizace osvětlení vybraných prostor

V této kapitole provedu návrh osvětlení LED diodami a jeho ekonomické zhodnocení oproti osvětlení zářivkovými zdroji, které jsou používány nyní. Všechny hodnoty jsou počítány na jedno patro.

Ačkoliv je finanční návratnost důležitým parametrem při výběru osvětlení, nikdy by neměla být dána přednost výhodnějším ekonomickým parametrům před splněním světelně technických parametrů.

### 5.1. Stávající stav

Škola je osvětlena pomocí zářivkových zdrojů (na chodbách se objevují u některých svítidel i klasické žárovky). V příloze 1 je u půdorysů místností vždy sepsán počet světelných zdrojů, druh, výrobce a jejich příkon. Z těchto informací je sestavena tabulka 4 a proveden výpočet celkového příkonu světelných zdrojů INP budovy.

Tab. 5 Stávající počet svítidel a jejich příkon

Osvětlení		Počet (ks)	Příkon zdroje (W)	Celkem (W)
Chodba		24	36	864
		14	60	840
<b>Celkem chodby</b>		<b>38</b>		<b>1704</b>
Učebny	111	32	36	1152
	112	20	58	1160
	117	28	36	1008
	118	32	58	1856
	120	24	58	1392
	122	24	58	1392
	123	20	58	1160
	125	14	58	812
<b>Celkem učebny</b>		<b>194</b>		<b>9932</b>
<b>CELKEM</b>		<b>232</b>		<b>11636</b>

## 5.2. Nový stav

Pro nový návrh jsem zachovala původní počet svítidel. Uvažuji s výměnou všech zářivkových svítidel za svítidla s LED diodami. Led svítidla jsem zvolila Modus LLL s nevyměnitelným světelným zdrojem. Toto svítidlo má velmi dlouhou životnost, proto předpokládám, že se i přes nevyměnitelnost zdrojů vyplatí. Základní parametry zvoleného LED svítidla jsou převzaty od výrobce [31] a uvedeny níže.

$T_k = 4000 \text{ K}$ ,  $P_o = 37 \text{ W}$ , Životnost = 50 000 hod, Index barevného podání  $R_a$ : 80-89 (třída 1B).

Společnost Modus jsem zvolila také proto, že se jedná o českého výrobce a největší firmu na výrobu svítidel v České republice.

V tabulce 5 je navržený počet LED svítidel a uveden celkový příkon těchto svítidel. Na chodbách i v učebnách byl zvolen stejný typ svítidel.

Tab. 6 Celkový navržený počet nových LED svítidel a jejich příkon

Osvětlení LED	počet (ks)	příkon svítidla (W)	celkem (W)
chodba	19	37	703
učebny	97	37	3589
<b>CELKEM</b>	<b>116</b>		<b>4292</b>

## 5.3. Výpočet ekonomické návratnosti

Použité veličiny ve výpočtech

$N_s$  .....cena svítidla (Kč)

$N_z$  .....cena světelného zdroje (Kč)

$n$  .....počet svítidel (ks)

$t_d$  .....denní provoz soustavy (hod)

$t_r$  .....roční provoz soustavy (dny)

$P_o$  .....celkový instalovaný přípoj (kW)

$c_e$  .....cena energie (Kč/kWh)

### Odhad celkové roční doby provozu

- Učebny budou v provozu 6 hodin denně a 200 dní v roce (10 měsíců a 20 dní v měsíci)
- Chodby budou v provozu stále tzn. 11 hodin denně a 200 dní v roce (10 měsíců a 20 dní v měsíci)

### Investice do osvětlovací soustavy

Pro variantu LED předpokládám celkovou rekonstrukci všech svítidel na chodbách i v učebnách a z toho je vypočtená pořizovací cena. Pro variantu s lineárními zářivkami počítám s pořizovací cenou poloviny svítidel na chodbách a v učebnách (první polovina již rekonstrukcí prošla).

$$N_s * n + N_z * 2n = I$$

$$\text{Zářivky} \quad 780 * 116 + 58 * 2 * 116 = 103\,936 \text{ Kč}$$

$$\text{LED} \quad 2178 * 116 = 287\,496 \text{ Kč}$$

### Spotřeba energie za rok

$$P_o * t_d * t_r = E_{\text{spotř}}$$

$$\text{Zářivky – učebny} \quad 9,932 * 6 * 200 = 11\,918,4 \text{ kWh/rok}$$

$$\text{– chodby} \quad 1,704 * 11 * 200 = 3\,748,8 \text{ kWh/rok}$$

$$\text{– celkem} \quad 11\,918,4 + 3\,748,7 = 15\,667,2 \text{ kWh/rok}$$

$$\text{LED – učebny} \quad 3,589 * 6 * 200 = 4\,306,8 \text{ kWh/rok}$$

$$\text{– chodby} \quad 0,703 * 11 * 200 = 1\,546,6 \text{ kWh/rok}$$

$$\text{– celkem} \quad 4\,306,8 + 1\,546,6 = 5\,853,4 \text{ kWh/rok}$$

### Náklady na energie za rok

Průměrná cena energie ke květnu 2019 byla 4,28 Kč, pro tuto částku je návratnost investice vypočtena.

$$E_{spotř} * c_e = N_r$$

$$\text{Zářivky} \quad 15\,667,2 * 4,28 = 67\,055,6 \text{ Kč}$$

$$\text{LED} \quad 5\,853,4 * 4,28 = 25\,052,6 \text{ Kč}$$

### Úspora po rekonstrukci

$$E_{spotř/Z} - E_{spotř/LED} = U$$

$$67\,055,6 - 25\,052,6 = 42\,003 \text{ Kč}$$

Celková roční úspora při ceně elektřiny 4,28 Kč po rekonstrukci činí

42 003 Kč (62,6 %)

### Návratnost investice

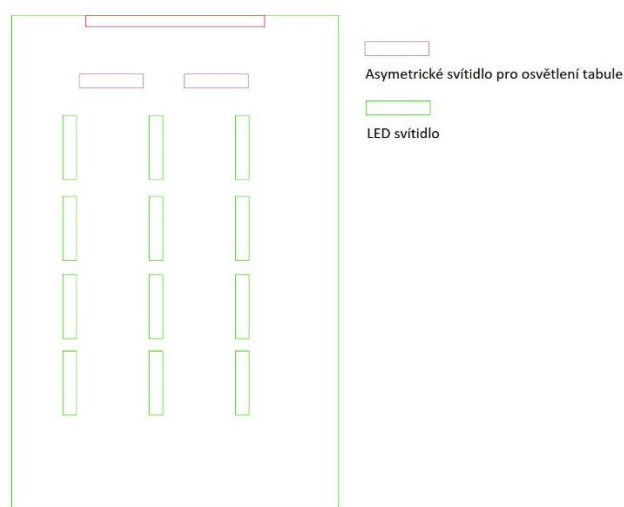
Z vypočítaných údajů jsem sestavila tabulku 6, srovnání návratnosti investice do LED zdrojů oproti původnímu stavu. V případě zářivek uvažuji o nutnosti investice do rekonstrukce učeben, které nevyhovují normě [7] (jedná se přibližně o polovinu učeben v měřeném patře). Výsledkem je tedy srovnání dvou variant (varianta s lineárními zářivkami a varianta s LED diodami), které normu [7] i vyhlášku [8] splňují.

Tab. 7 Srovnání investice do LED zdrojů a zářivkových zdrojů

	<b>Zářivky</b>	<b>LED</b>
<b>Počet svítidel (ks)</b>	116	116
<b>Životnost (h)</b>	15 000	80 000
<b>Životnost (roky)</b>	6,8	36,4
<b>Pořizovací náklady (Kč)</b>	60 870	287 496
<b>Cena za elektřinu (Kč/rok)</b>	67 055	25 052
<b>Úspora (Kč/rok)</b>	-	42 000
<b>Návratnost (rok)</b>	-	5,4

Z tabulky 6 je patrné, že návratnost Led diod, se vzhledem k jejich dlouhé životnosti, vyplatí. K návratnosti investice by došlo během 6. roku provozu soustavy.

Při návrhu rekonstrukce by bylo vhodné změnit rozložení svítidel v učebnách s klasickým rozmístěním lavic. Svítidla by měl být rozmístěna tak, aby lavice vždy osvětlovala shora a zleva. Na obrázku 21 je vyobrazeno vhodné rozmístění svítidel pro učebny, kde jsou lavice umístěny ve třech rovnoběžných řadách.



Obr. 21 Vhodné rozmístění svítidel v učebně

Vzhledem k tomu, že tabule jsou často na hraně splnění normových podmínek lze je přisvětlit pomocí asymetrických svítidel, aby se zvýšila kvalita jejich osvětlení (ve výpočtu návratnosti není s asymetrickými svítidly počítáno). Výhoda používání asymetrických svítidel spočívá v tom, že jsou směřována tak, aby osvětlovalo pouze tabuli. Reflektor a světelné zdroje jsou cloněny před zraky žáků.

Dalším faktorem při rozhodování o variantě pro rekonstrukci, je fakt, že v blízké době dojde pravděpodobně k omezování prodeje lineárních zářivek a jejich postupnému stahování z trhu.

## ZÁVĚR

Již v úvodu bylo zmíněno, že kvalita osvětlení v českých školách je často nedostatečná. Měření ukázalo, že učebny, které neprošly rekonstrukcí normovým požadavkům nevyhovují. Zároveň bylo potvrzeno, že tam kde již k opravám došlo, byly provedeny tak aby normové požadavky splnily. Rozdíl v naměřené osvětlenosti v nových a starých učebnách je někdy i 300 lx, což je velmi vysoká hodnota. Opravy by se měly provést co nejdříve, aby všem žákům byly zajištěny stejné kvalitní podmínky pro učení.

K rekonstrukci v mnoha případech nedochází především z důvodu potřeby větší finanční investice. Z mého výpočtu pro návrh rekonstrukce LED diodami a její návratnosti je patrné, že investice se vyplatí i z finančního hlediska. Problémem tedy nejspíše bude především velká počáteční pořizovací cena a delší doba návratnosti. Pokud by škola zvažovala další rekonstrukce (což je nutné vzhledem ke kvalitě osvětlení v neopravených učebnách) je vhodné investovat větší obnos do soustavy s LED diodami. Vypočtená doba návratnosti 5,4 let není málo, ale při přihlédnutí k životnosti svítidel by bylo vhodné se nad touto variantou zamyslet. Vzhledem k tomu, že investice je nutná především to těch učeben, kde ještě k žádné rekonstrukci nedošlo (jde přibližně o polovinu všech místností), nejednalo by se ani o tak vysokou pořizovací cenu.

V případě osvětlení nejde, ale pouze o finanční stránku. Je třeba studentům zajistit kvalitní podmínky pro vzdělávání. Nestací počáteční návrh kvalitní osvětlovací soustavy, ale je třeba brát i dostatečný ohled na údržbu soustavy. V některých případech měřených učeben je osvětlení zrekonstruováno, ale vzhledem k počtu nefunkčních světelných zdrojů normovým požadavkům i přesto nevyhovuje. Z důvodu špatné údržby nedochází jen k nedostatečné osvětlenosti, ale také ke zvukovým projevům svítidel. Tyto projevy pak dále narušují soustředění a snižují kvalitu přijímání informací. Škola by se měla na údržbu více zaměřit, protože pokud se nebude soustava pravidelně kontrolovat a vyměňovat nefunkční zdroje, jsou rekonstrukce prováděny zbytečně.

V neposlední řadě je třeba brát v úvahu i ekologickou stránku věci. V dnešní době se směřuje ke snížení spotřeby elektrické energie s ohledem na ochranu životního

prostředí. Dnes se vyvíjí světlené zdroje, které jsou schopné nám zajistit jak kvalitu osvětlení, tak i velké snížení spotřebované energie. Škola slouží ke vzdělávání, proto by i v této věci měla jít příkladem.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] H. Gascha, S. Pflanz: Kompendium fyziky, Universum, Praha 2017, ISBN 978-80-242-5716-7
- [2] Jiří Habel a kol.: Světlo a osvětlování, FCC Public, Praha 2013, ISBN 978-80-86534-21-3
- [3] Jiří Plch: Světelná technika v praxi, IN-EL, Praha 1999, ISBN 80-86230-09-0
- [4] ČSN 36 0011-1, Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 1: Základní ustanovení, Vydání: únor 2014
- [5] ČSN 36 0011-3, Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 3: Měření umělého osvětlení, Vydání: únor 2014
- [6] ČSN 36 0000-1 (ČSN EN 12665), Světlo a osvětlení – základní kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení, Vydání: únor 2018
- [7] ČSN EN 12 464 – 1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů, Část 1: Vnitřní pracovní prostory, Vydání: březen 2012
- [8] Vyhláška č. 410/2005 Sb., Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, 2005
- [8] <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/fyzikalni-podstata-svetla--16967>
- [9] <http://www.techniled.cz/22-svetelny-tok/>
- [10] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>
- [11] <http://www.fotoroman.cz/tech2/svetlo15photometry.htm>
- [12] <https://www.lxf.cz/co-je-teplota-barvy-svetla>
- [13] <https://ledme.cz/led-panely/1361-led-panel-ledme-pro-600x600-48w-cri90.html>
- [14] <http://olds.cz/patice-zarovek-druhy-seznam/>
- [15] <http://www.earch.cz/cs/svetelne-zdroje-halogenove-zarovky>
- [16] <https://elektrika.cz/data/clanky/svetelne-zdroje-linearni-zarivky>

- [17] <http://www.cne.cz/seniori/verejne-osvetleni/cesty-k-usporam-verejne-osvetleni/svetelne-zdroje/>
- [18] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sod%C3%ADkov%C3%A1\\_v%C3%BDbojka#media/File:High\\_Pressure\\_Sodium\\_Lamps.JPG](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sod%C3%ADkov%C3%A1_v%C3%BDbojka#media/File:High_Pressure_Sodium_Lamps.JPG)
- [19] <https://cs.wikipedia.org/wiki/LED#/media/File:LEDs.jpg>
- [20] <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/ekonomicke-osvetleni-ucebny-v-souladu-s-platnymi-predpisy--16185>
- [21] <https://www.osvetleni.com/barva-svetla>
- [22] <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/12434-porovnavani-svetelnych-zdroju>
- [23] <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/meritka-podani-barev--744>
- [24] <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/12434-porovnavani-svetelnych-zdroju>
- [25] <http://www.gigalighting.cz/konvencni-svetelne-zdroje.htm>
- [26] <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/9397-zdrave-svetlo-skoly>
- [27] <https://www.mpo.cz/dokument158127.html>
- [28] <https://www.aleners.com/led-osvetleni/skoly-a-verejne-sektor>
- [29] <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/efektivni-vyuziti-led-svitidel-v-praxi--15262>
- [30] <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/na-co-si-dat-pozor-kdyz-si-misto-klasicke-zarivky-chcete-dat-led-trubici>
- [31] <https://www.modus.cz/modus-III/>
- [32] <http://www.obcasnik.eu/wp-content/uploads/2015/10/fb17.jpg>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Závislost citlivost lidského oka na vlnové délce	str. 10
Obr. 2 Grafické znázornění světelného toku	str. 11
Obr. 3 Křivka rozptýlenosti osvětlení	str. 11
Obr. 4 Definice prostorového úhlu	str. 12
Obr. 5 Barevné spektrum teplot chromatičnosti	str. 13
Obr. 6 Zobrazení barev při různém Indexu podání barev	str. 14
Obr. 7 Struktura třídění světelných zdrojů	str. 15
Obr. 8 Schéma klasické žárovky	str. 16
Obr. 9 Schéma halogenové žárovky	str. 17
Obr. 10 Konstrukce lineární zářivky	str. 18
Obr. 11 Vliv počtu zapnutí na životnost zářivek	str. 19
Obr. 12 Vliv teploty okolí na světelný tok zářivek	str. 19
Obr. 13 Schéma nízkotlaké sodíkové výbojky	str. 20
Obr. 14 Schéma vysokotlaké sodíkové výbojky	str. 21
Obr. 15 Použití vysokotlaké sodíkové výbojky ve veřejném osvětlení	str. 22
Obr. 16 Schéma LED diody	str. 23
Obr. 17 Různé barvy LED diod	str. 23
Obr. 18 Vztah mezi osvětlením úkolu a bezprostředním okolí úkolu	str. 25
Obr. 19 Příklad rozmístění svítidel v učebně	str. 27
Obr. 20 Budova Gymnázia Velké Meziříčí	str. 29
Obr. 21 Vhodné rozmístění svítidel v učebně	str. 37

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2 Hodnoty osvětlenosti pro různé světlené zdroje	str. 12
Tab. 2 Skupiny barevného tónu světla světelných zdrojů	str. 27
Tab. 3 Výtah normových požadavků pro osvětlování vzdělávacích zařízení	str. 28
Tab. 4 Výsledné hodnoty měřené osvětlenosti	str. 32
Tab. 5 Stávající počet svítidel a jejich příkon	str. 33
Tab. 6 Celkový navržený počet nových LED svítidel a jejich příkon	str. 34
Tab. 7 Srovnání investice do LED zdrojů a zářivkových zdrojů	str. 36

# Protokol o měření skutečného stavu umělého osvětlení

Teplota: 21 °C

<b>Počet stran</b>	16	<b>Datum měření</b>	23.4. 2019
<b>Měřil a zpracoval</b>	Klára Svobodová	<b>Datum zpracování</b>	1.5. 2019

## **1. Charakteristika objektu**

Stávající objekt gymnázia Velké Meziříčí je situován na pozemku p.č. st. 1640/3 v ulici Sokolovská 27/235. Budova školy je umístěna ve svažitém území s jihozápadní orientací. Měření bylo prováděno v 1NP budovy.

## **2. Datum a hodina měření**

Měření osvětlenosti proběhlo 23.4. 2019 od 19:30 do 21:30 (měření bylo prováděno bez vlivu denního osvětlení)

## **3. Předmět měření a zvolený stupeň přesnosti**

**Účel:** posouzení stávající osvětlení budovy

**Přesnost:** orientační

## **4. Vlastnosti prostoru**

Jedná se o starou budovu. Část osvětlení v prvním nadzemním podlaží, kde měření probíhalo již prošla rekonstrukcí. Měřeny byly všechny učebny 1NP a celý prostor chodby a část schodiště.

## **5. Související legislativa**

Provozní měření bylo provedeno dle normy 12464-1. Při provádění měření bylo postupováno dle normy ČSN 360011-1 a ČSN 360011-3. Při měření byly respektovány platné normy a předpisy.

## **6. Měřicí přístroje**

- Digitální luxmetr BEHA, UNITEST 93421

Rozsah: 2-20lx; 20-200lx; 200-2000lx

Přesnost:  $\pm(2\% \text{ z č.h.} + 3 \text{ dig.})$



- Délkové měřidlo (metr)
- Teploměr

## 7. Postup měření

Měření bylo prováděné bez vlivu denního světla. Světelné zdroje byli zapnuty minimálně 20 minut před začátkem měření a zahořeny provozem byli nejméně 100 hodin. Přítomnost osob kromě osoby provádějící měření nebyla žádná. Měření bylo prováděno jednou. Zvolená výška srovnávací roviny se rovnala výšce lavic umístěných v učebnách. Na chodbách a schodišti měřeno na podlaze, popř. na schodišťových stupních. Kontrolní body sítě byli voleni dle ČSN 360011-1, vzdálenost jednotlivých bodů byla maximálně 2 m.

Luxmetr byl umístěn do kontrolního bodu. Po ustálení hodnoty na luxmetr byla hodnota zapsána do protokolu. Po změření všech hodnot bylo provedeno vyhodnocení měření v jednotlivých místnostech.

## 8. Naměřené hodnoty a vyhodnocení

Bylo uvažováno s odchylkou a chybou měření 10 %, která je již v zapsaných hodnotách zahrnuta. Kontrolní body, jejich naměřené hodnoty a popis světelných zdrojů jsou

zaznamenány v přiložených půdorysech místností. Rozmístění svítidel zaznamenáno v půdoryse 1NP.

Průměrná intenzita osvětlení byla vypočtena za vztahu

$$\bar{E}_m = \sum E_m / n, \text{ kde}$$

$E_m$ ..... luxmetrem změřená hodnota osvětlenosti (lx)

$n$  ..... počet provedených měření v místnosti

Hodnota rovnoměrnosti osvětlení byla vypočtena ze vztahu

$$U_o = \bar{E}_m / E_{min}, \text{ kde}$$

$E_{min}$ ..... minimální hodnota změřené hodnoty osvětlenosti v dané místnosti (lx)



## Učebna 111 -Biologie

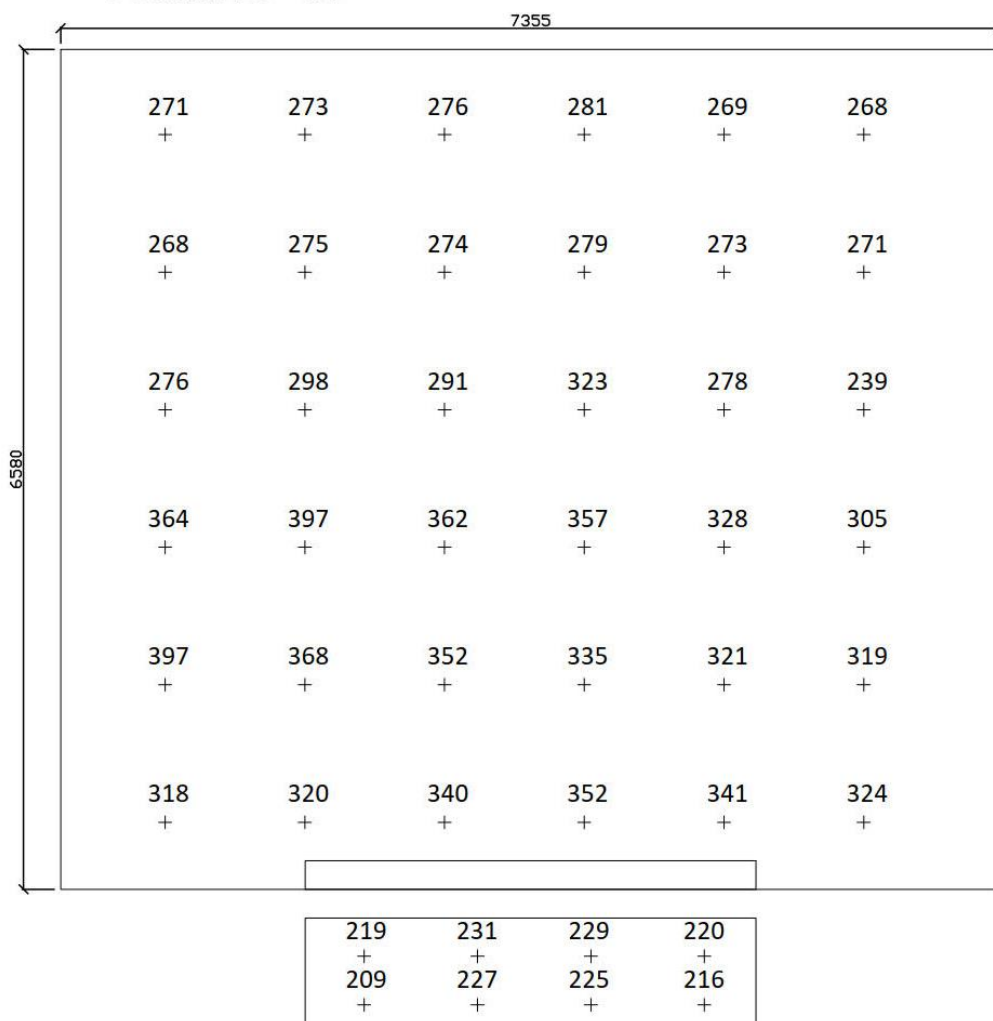
<table border="1"> <tr> <td>613</td> <td>632</td> <td>597</td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>+</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>517</td> <td>502</td> <td>494</td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>+</td> <td>+</td> </tr> </table>						613	632	597	+	+	+	517	502	494	+	+	+
613	632	597															
+	+	+															
517	502	494															
+	+	+															
666	858	879	892	939	886												
+	+	+	+	+	+												
706	896	904	912	888	882												
+	+	+	+	+	+												
704	775	943	938	945	926												
+	+	+	+	+	+												
740	837	891	899	896	857												
+	+	+	+	+	+												
673	760	893	874	812	798												
+	+	+	+	+	+												
576	653	702	766	626	746												
+	+	+	+	+	+												

6440

9750

- Osvětlenost měřena ve výšce lavic  
Na tabuli měřena vertikální osvětlenost
- Nefunkčních zdrojů: 1 - hučí
- Regulace : ANO
- zářivky Philips 36W/840 G13 Master TLD  
množství 32

## Učebna 123 - 6A



- Osvětlenost měřena ve výšce lavic  
Na tabuli měřena vertikální osvětlenost
- Nefunkčních zdrojů: 6
- Regulace : ANO
- zářivky OSRAM L58W/840 - 21G13  
množství 20

## Učebna 118 - Dějepis

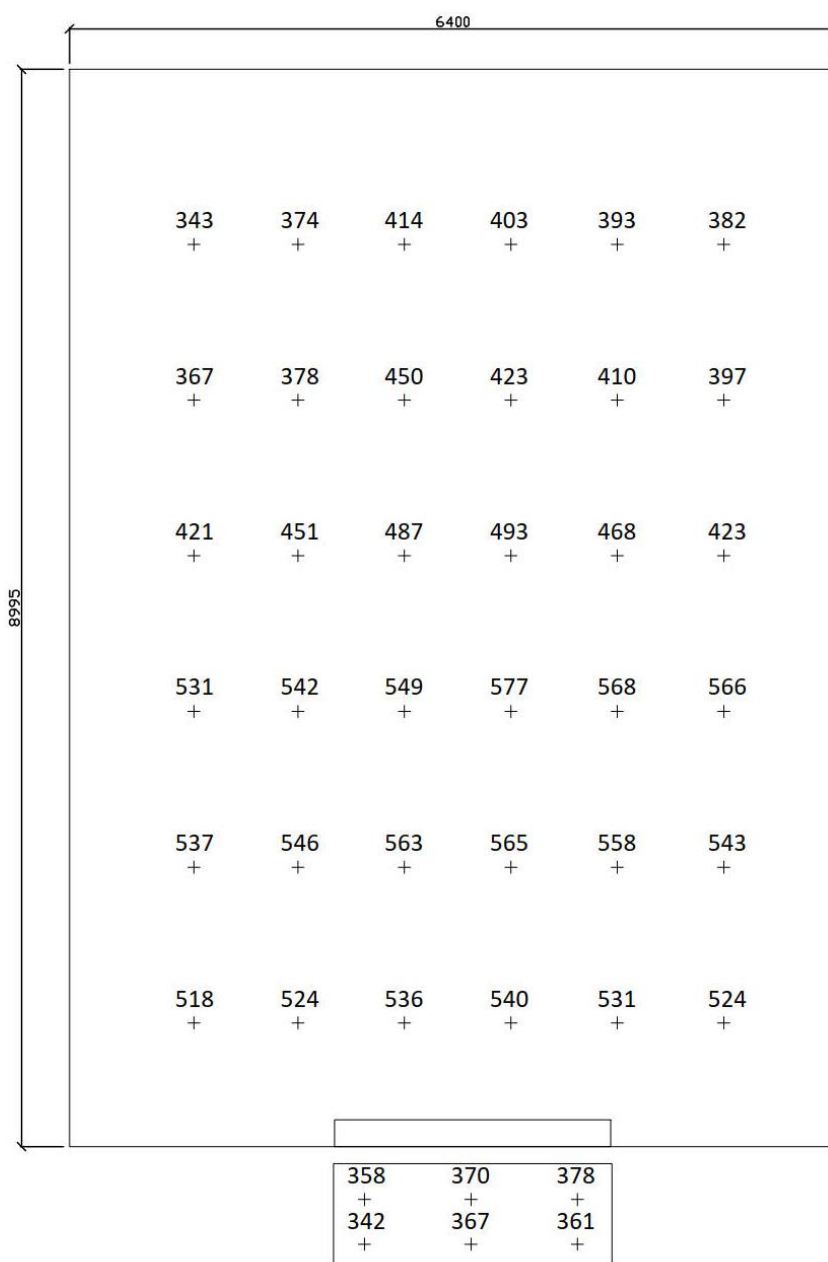
479	620	604	482
+	+	+	+
386	480	444	362
+	+	+	+

566	630	728	698	619	548
+	+	+	+	+	+
663	706	800	733	560	548
+	+	+	+	+	+
643	748	780	683	570	525
+	+	+	+	+	+
548	669	639	722	499	449
+	+	+	+	+	+
489	442	663	584	489	413
+	+	+	+	+	+
443	517	590	540	484	387
+	+	+	+	+	+
210	240	453	421	290	252
+	+	+	+	+	+
6440					

1010

- Osvětlenost měřena ve výšce lavic
- Na tabuli měřena vertikální osvětlenost
- Nefunkčních zdrojů: 6
- Regulace : ANO
- zářivky OSRAM L58W/840 - 21G13  
množství 32

## Učebna 122 - 3A



- Osvětlenost měřena ve výšce lavic  
Na tabuli měřena vertikální osvětlenost
- Nefunkčních zdrojů: 7
- Regulace : ANO
- zářivky Philips Master TV-D 58W/830  
množství 24

## Učebna 117 - Hudební výchova

512	620	645	523
+	+	+	+
421	492	461	434
+	+	+	+

542	572	612	623	610	534
+	+	+	+	+	+
654	698	754	762	623	601
+	+	+	+	+	+
643	765	795	681	530	524
+	+	+	+	+	+
596	710	740	658	502	496
+	+	+	+	+	+
456	480	615	605	489	413
+	+	+	+	+	+
423	529	601	586	484	387
+	+	+	+	+	+
396	416	471	459	420	370
+	+	+	+	+	+

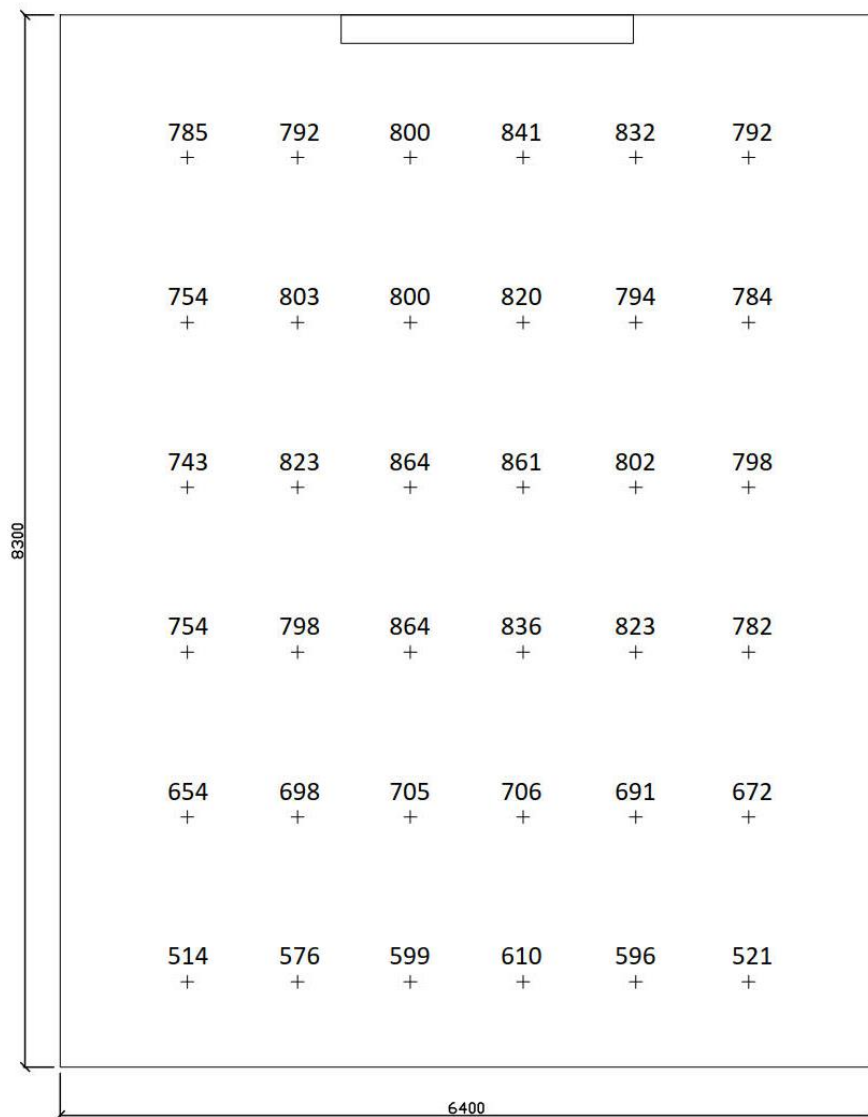
6440

10195

- Osvětlenost měřena ve výšce lavic
- Na tabuli měřena vertikální osvětlenost
- Nefunkčních zdrojů: 2
- Regulace : ANO
- zářivky Philips 36W/840 G13 Master TLD  
množství 32

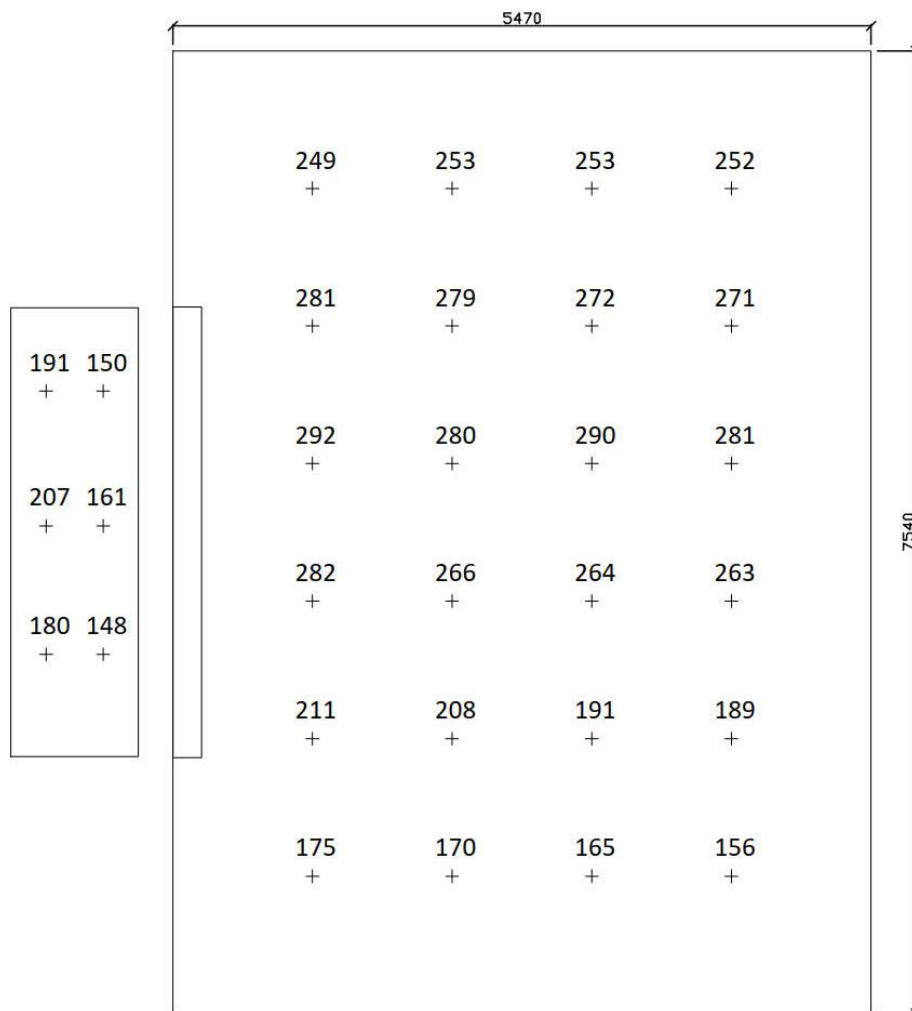
## Učebna 120 - 1A

574	594	601
+	+	+
483	528	492
+	+	+



- Osvětlenost měřena ve výšce lavic  
Na tabuli měřena vertikální osvětlenost
- Nefunkčních zdrojů: 1 - hučí
- Regulace : ANO
- zářivky Philips Master TV-D 58W/830  
množství 24

## Učebna 112 - volnočasová místnost



- Osvětlenost měřena ve výšce lavic  
Na tabuli měřena vertikální osvětlenost
- Nefunkčních zdrojů: 4, hučí
- Regulace : ANO
- zářivky Philips Master TV-D 58W/830  
množství 20

## Učebna 125 - Zeměpis

	399	526	513	452	
	+	+	+	+	
	340	419	402	381	
	+	+	+	+	
	475	542	577	589	561
	+	+	+	+	+
	521	555	563	571	564
	+	+	+	+	+
	537	559	578	583	544
	+	+	+	+	+
	490	528	547	536	529
	+	+	+	+	+
	421	430	517	584	489
	+	+	+	+	+
	394	489	503	502	445
	+	+	+	+	+
	298	342	401	395	364
	+	+	+	+	+
94690					
	6575				

- Osvětlenost měřena ve výšce lavic  
Na tabuli měřena vertikální osvětlenost
- Nefunkčních zdrojů: 3
- Regulace : ANO
- zářivky OSRAM L58W/840 - 21G13  
množství 14



## Chodba 144 + schodiště

46 +	61 +	82 +	72 +
69 +	78 +	98 +	94 +
126 +	127 +	160 +	103 +
112 +	118 +	154 +	149 +
104 +	113 +	133 +	139 +
98 +	104 +	74 +	50 +

- Osvětlenost měřena na podlaze nebo na schodišťových stupních
- Nefunkčních zdrojů: zářivek - 1  
žárovek - 6
- zářivky Philips 36W/840 G13 Master TLD  
množství 24
- žárovky 60W  
množství 14  
použití kombinace žárovek a zářivek a různých teplotách  
chromatičnosti

+79	+83	+77
+68	+71	+63
+49	+54	+56
+48	+57	+45
+43	+55	+43

## Závěr

Na základě měření bylo zjištěno, že třídy po rekonstrukci mají ve většině případů osvětlení vyhovující normám. Třídy, které ani po rekonstrukci nevyhověly měly velký počet nefunkčních zářivek (chyba není v navrženém osvětlení, ale v nedostatečné údržbě tohoto osvětlení).

Z tabulky 6. shrnutí výsledků je vidět, že zrekonstruované třídy požadavkům na osvětlení vyhoví. Rovnoměrnost osvětlení vyhoví téměř ve všech místnostech. Z toho vyplývá, že rozmístění svítidel je správné pro splnění rovnoměrnosti, ale dle vyhlášky by měli svítidla být umístěna vždy tak aby lavice osvětlovaly zleva. Tam, kde jsou používána stará svítidla často nevyhoví osvětlení ani požadavku 300 lx (zářivky jsou použity stejné jako v nových místnostech, ale svítidla jsou zažloutlá a již nepoužitelná). Ve všech měřených místnostech jsou správně použity zářivky s indexem podání barev 80-89.

Nejhůře dopadla učebna pro volný čas, kde výuka neprobíhá a do rekonstrukce osvětlení by ani probíhat neměla. U všech učeben (včetně nově opravených) je problém s údržbou. Velký počet nefunkčních zdrojů snižuje osvětlenost téměř na hranici požadované hodnoty. Problém s údržbou nemá vliv jen na nedostatečnou osvětlenost, ale také dochází ke zvukovým projevům svítidel, a to dále snižuje koncentraci žáků ve třídách.

## Fotodokumentace

Třída se starým nevyhovujícím osvětlením



Třída po rekonstrukci osvětlení



## Osvětlení chodby

