

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Specializace ve zdravotnictví

Zdravotnická technika

Michal Vaňkát

Metody měření osvětlení a praktické měření v studijních prostorech fakulty

Methods of measurement of illumination and practical measuring in study rooms on faculty

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jiří Rameš

Pracoviště: Ústav hygieny a epidemiologie, 1. lékařská fakulta, Univerzita Karlova v Praze a

Všeobecná fakultní nemocnice v Praze

Praha, 2012

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl a citoval všechny použité prameny a literaturu. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

V Praze 14. 5. 2012

Michal Vaňkát

Identifikační záznam

Vaňkát , Michal. *Metody měření osvětlení a praktické měření v studijních prostorech fakulty*. [Methods of measurement of illumination and practical measuring in study rooms on faculty]. Praha, 2012. 125 stran, 9 příloh. Bakalářská práce (Bc.). Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, Ústav hygieny a epidemiologie 1. lékařské fakulty UK a Všeobecné fakultní nemocnice v Praze. Vedoucí práce Rameš, Jiří.

Poděkování

Rád bych poděkoval RNDr. Jiřímu Ramešovi za cenné rady, podněty a připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

Anotace

Ve své bakalářské práci se zabývám měřením osvětlení ve výukových prostorách 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Práce obsahuje shrnutí parametrů osvětlení z hygienického hlediska, postupy měření a hodnoty doporučené platnými normami. V praktické části se budu zabývat konkrétními měřeními ve vybraných prostorách fakulty, zhodnocením naměřených výsledků a diskuzí o možném zlepšení.

Abstrakt

Vaňkát, Michal - Metody měření osvětlení a praktické měření v studijních prostorech fakulty

1. lékařská fakulta Univerzity Karlovi v Praze, Praha 2, Kateřinská 32

Vedoucí práce: RNDr. Jiří Rameš

Ve své bakalářské práci se zabývám měřeními a hodnocením podmínek umělého, denního a sdruženého osvětlení ve vybraných učebních prostorech 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Konkrétně ve studovně Ústavu vědeckých informací a v učebnách a pitevnách Anatomického ústavu.

V teoretické části práce jsem se zabýval fyzikálním popisem záření, světla a osvětlení, který je důležitý pro jejich praktické měření a hodnocení a fyziologii procesu získávání zrakového vjemu. Dále jsem se věnoval zdrojům umělého světla a principu osvětlování denním světlem. Stejně tak měřím přístrojům a veličinám, které se pro hodnocení osvětlení používají.

V praktické části práce jsem shrnul postupy jednotlivých měření a jejich metodiku, včetně odhadu chyby měření, která je zahrnuta do výsledků měření. Výsledky jednotlivých měření jsou vyhodnoceny podle platných norem a doporučení. Pro každou místnost je v závěru měření shrnuto, zda vyhovuje těmto normám a doporučením, v případě nevyhovujícího výsledku i možná zlepšení a doporučení.

Na základě celkového zhodnocení lze říci, že vybrané prostory 1. lékařské fakulty většinou vyhovují platným normám.

Klíčová slova

světlo

osvětlení

sluneční záření

zrak

zdroje světla

Abstrakt v AJ

Vaňkát, Michal - Methods of measurement of illumination and practical measuring in study rooms on faculty

First Faculty of Medicine Charles University in Prague, Praha 2, Kateřinská 32

Thesis supervisor: RNDr. Jiří Rameš

With my Thesis I occupy with measurement and assessment of artificial, day and joint illumination in chosen teaching rooms of 1st faculty of medicine Charles University in Prague, concretely in study rooms of Institute of Science Information and auditory and autopsy rooms of Anatomical institute.

In theoretical part of my work I occupy with physical description radiation, light and illumination which is important for their practical measurement and assessment. I occupy also with physiology of visual perception, description of artificial light sources and principles of illumination by day light, so as measuring instruments, quantities which are used to describe illumination.

In practical part I summarize advancement and methods of measuring illumination. The estimate of measuring error includes. The outputs of practical measurement are compared with valid norms and recommendations. In conclusion of each room is including not only its suitability but even the recommendation to improve actual state.

From results of our measurements comes out that all measured rooms of faculty mostly satisfy valid norms.

Key words

Light

Illumination

Sunlight

Vision, Ocular

Light sources

Obsah	
PROHLÁŠENÍ	2
Identifikační záznam	3
Poděkování	4
Anotace	5
Abstrakt	6
Abstrakt v AJ	7
Obsah	8
1. Úvod	10
Teoretická část práce	12
2. Zrak a vidění	12
2.1. Zrakový orgán	12
2.2. Fotopické vidění	13
2.3. Skotopické vidění	14
2.4. Mezopické vidění	14
2.5. Osvětlení a zrakové pochody	14
2.6. Zrak a věk	15
2.7. Vnímání barev	15
3. Světlo a osvětlení	16
3.1. Vlastnosti světla	16
3.2. Fyzikální popis světla	18
3.3. Další charakteristiky světla	21
3.4. Detektory záření	22
4. Zdroje umělého osvětlení	23
4.1. Historie umělého osvětlení	23
4.2. Hlavní kritéria světelných zdrojů	24
4.3. Světelné zdroje	26
4.4. Svítidla	30
5. Osvětlení	33
5.1. Fyzikální jednotky osvětlení	33
5.2. Denní osvětlení	34
5.3. Umělé osvětlení	39
5.4. Sdružené osvětlení	40

Praktická část práce	41
6. Měření osvětlení	41
6.1. Základní ustanovení.....	41
6.2. Měřicí přístroje	41
6.3. Měřené veličiny	41
6.5. Výběr kontrolních bodů	43
7. Pomůcky k měření	45
7.1. Luxmetr.....	46
7.2. Metr.....	46
8. Popis a hodnocení podmínek osvětlení ve vybraných prostorech	
1. lékařské fakulty UK v Praze.....	46
8.1. Anatomický ústav	46
8.2. Ústav vědeckých informací	55
8.3. Pracovní místa	60
9. Závěr	63
Přílohy.....	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 1 – grafy	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 2- tabulky	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 3 - obrázky	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 4 - nákresy	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 5 - použité normy ..	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 6 – seznam použité literatury ...	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 7 – seznam použitých internetových zdrojů ..	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 8 – seznam citací ...	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.
Příloha číslo 9 – seznam použitých zkratk...	Chyba! Záložka není definována.Chyba! Záložka není definována.

1. Úvod

Osvětlení patří mezi důležité faktory životního i pracovního prostředí. Člověk přijímá zrakem většinu informací z okolního světa. Osvětlení má vliv na náladu člověka, jeho únavu, na kvalitu a efektivnost jeho práce. (1)

Potřeba světla je jedním ze základních fyziologických potřeb člověka. Nedostatek světla (ať už při pracovním výkonu nebo po celý den) je vždy člověkem negativně vnímán. V některých případech se nedostatek světla používal dokonce jako kárný trest, tzv. temnice. Na rozdíl od fyziologických funkcí zraku a klinických dopadů nedostatku světla jsou psychologické dopady přesně prozkoumány. Naopak některé psychické, hlavně depresivní, poruchy jedince se léčí fototerapií. Jednou ze základních psychologických potřeb jedince je pocit bezpečí, pro který je dostatečné osvětlení zcela bezpodmínečné. A to také bylo pravděpodobně důvodem, proč člověk ovládl oheň. S pocitem bezpečí jedince souvisí i řešení venkovního osvětlení na komunikacích a chodnících. Každý jedinec má kolem sebe takzvanou bezpečnou oblast, která má u dospělého asi 5m poloměr. Na tuto vzdálenost by měl být každý schopný rozpoznat obličej druhé osoby a tomuto požadavku má vnější umělé osvětlení odpovídat.

Psychologický účinek na člověka má také umístění a vzdálenost zdrojů osvětlení. Naprosto obecně lze říci, že čím blíže je dané světlo jedinci, tím intimnější, bezpečnější a jistější pocit má. Ideální vzdálenost světelného zdroje pro vyvolání pocitu bezpečnosti je pro člověka 30 cm. Tato vzdálenost se podle některých psychologů odvíjí od vzdálenosti od svíčky, která stojí na stole mezi dvěma vedle sebe sedícími lidmi. Zajímavým efektem je také výška světla nad podlahou místnosti. Psychologickými průzkumy bylo prokázáno, že nejpozitivnější pocity vyvolává u člověka osvětlení umístěné maximálně do výše 120 cm nad podlahou. Tento výsledek je přičítán pocitům vyvolávajícím bezpečí, které dříve vycházely pouze z hořícího ohně uprostřed obydlí. Lze tedy říci, že hlavní trend minulého století, osvětlení místnosti jedním výkonným zdrojem světla uprostřed místnosti, většinou vzdáleným od míst pracovního výkonu a blízko u stropu se zcela rozcházel se zažitou potřebou člověka.

Intimita a pocit bezpečí a vše popisované souvisí hlavně se sociálním životem člověka. Ale zdaleka ne méně důležité jsou tyto pocity a vjemy pro práci a to hlavně pro práci, kde je zvýšená potřeba osobní účasti v činnosti. Typickým příkladem činnosti, u které jsou tyto pocity člověkem vyhledávány, jsou učení a psaní.

Osvětlení má v mnoha případech funkci jakési ladičky člověka. Díky proměnlivosti denního světla je člověk schopný podvědomě si uvědomovat čas. Denní světlo také určuje tzv. cirkadiánní rytmus člověka, s nímž souvisí i kolísání pracovní výkonnosti jedince. Osvětlení ať už svým zabarvením či intenzitou dokáže v člověku navozovat i nálady. Příkladem je složitost scénického osvětlení ať už v divadlech či televizi.

Teoretická část práce

2. Zrak a vidění

2.1. Zrakový orgán

Člověk pomocí zraku vnímá až 90% přijímaných informací z prostředí, které ho obklopuje. Celý způsob přenosu se dá rozdělit na 2 základní okruhy. První z nich je světlo lomný aparát, který vytváří co nejostřejší obraz pozorovaného objektu na sítnici. Druhý aparát potom vede nervové vzruchy do CNS. Výsledkem těchto procesů, pokud správně pracují, je co nejdokonalejší zrakový vjem.

Pro vstupující světlo je první vrstvou rohovka, pevný oční obal. Druhou optickou překážkou je duhovka. Jedná se o mechanickou clonu očního aparátu, který díky kontrakcím hladkých svalů přizpůsobuje průsvit zornicí a reguluje tak množství světelného toku přicházejícího do vnitřního prostoru oka. Mezi duhovkou a rohovkou je prostor, tzv. přední oční komora, která je vyplněna nitrooční tekutinou. Za zornicí, v otvoru skrz duhovku, je čočka. Čočka je dvojnásobně průhledné těleso, které slouží jako čočka optického aparátu. Změně její ohniskové vzdálenosti, která je možná díky ciliárním svalům, které svým tahem do periferie čočku oplošťují, se říká akomodace. Schopnost akomodace se s věkem snižuje. Hlavní prostor oční koule je vyplněn sklivcem.

Na zadní straně očí koule je sítnice, prvek, který převádí světelné signály nasměrované optickým aparátem oka, na nervové vzruchy, které jsou pomocí optického nervu odváděny do zrakového centra v mozkové kůře. Buňkám, které tento převod umožňují, říkáme fotoreceptory. Receptorů známě několik typů. Čípky jsou fotoreceptory odpovědné za fotopické vidění, to znamená, že odpovídají za vidění při dobrých světelných podmínkách, viz graf číslo 1 – graf závislosti způsobu vidění na intenzitě osvětlení. V oku je jich 6,5 milionů, jejich největší nashromáždění je v centrální jamce, kde se vyskytují takřka pouze ony. Toto je také místo nejostřejšího vidění člověka, pokud se obraz promítá do tohoto místa, jsme schopni, při odpovídajícím osvětlení, rozlišit detail až v řádu tisícín milimetru. (citace 4 světelná technika.) Dalším obecně známým receptorem jsou tyčinky, zodpovědné za vidění skotopické. Rozlišují barvy pouze jako odstíny šedi. Jejich koncentrace se zvyšuje směrem k periférii sítnice. Posledním typem fotoreceptorů jsou buňky, které se označují písmenem „C“. Jedná se o takzvaná cirkadiánní čidla, která jsou součástí gangliových buněk. Jak název napovídá pomocí těchto buněk je člověkem vnímán den pro jeho biologické hodiny. Cirkadiánní rytmus řídí mnoho lidských fyziologických pochodů. Průřez zrakovým orgánem, viz obrázek číslo 1 – Anatomie lidského oka.

Pomocí výzkumů v oblasti přenosu signálu zrakovým nervem bylo prokázáno, že základní stavební jednotkou sítnice není fotoreceptor, ale vjemové pole, které jeho podráždění převede na podráždění jednoho vlákna optického nervu. Vjemová pole reagují velmi různorodě v závislosti na jejich poloze na sítnici nebo na světelných podmínkách. Částečně se i překrývají. Anatomicky je vjemové pole ohraničeno tak, že všechny fotoreceptory jednoho pole na sebe navazují a předávají signály jedné gangliové buňce.

2.1.1. Akomodace a adaptace

Akomodace oka, tj. zaostření oka na bod, podle vzdálenosti, nebude dalším předmětem této práce. Adaptace je termín, který označuje přizpůsobení se oka na měnící se světelné podmínky. Oko je schopné přizpůsobit se osvětlení roviny normálové na optickou osu oka od osvětlení 0,25 lx až do 10^5 lx. Ale první vjemy se objevují při $2 \cdot 10^{-4}$ lx. Tuto přizpůsobivost mají na svědomí dva mechanismy. První z nich je změna velikosti zornice viz kap. 2.1, druhý je chemický rozklad zrakových pigmentů. Průměr zornice se mění od 1,7 mm do 7,3 mm. Změna průměru zornice většinou trvá okolo 370 ms, při náhlé změně pouze 100 ms. Zvýšení hladiny vede k zúžení zornice, to se nazývá mióza, a rozevření mydriáza.

Hlavním adaptačním mechanismem je změna množství zrakového pigmentu. Syntetizuje se za nedostatku světla. V sítnici jsou čtyři základní druhy pigmentu, tři z nich jsou vázané na čípky. Čtvrtý pigment, rodopsin, je vázán na tyčinky. Rychlost rozpadu pigmentu závisí na předcházejícím osvětlení. A to jak na vlnové délce, tak na jasu. Rodopsin rychle bledne na všech vlnových délkách kromě červeného světla, proto se také červené osvětlení používá tam, kde se předpokládá přechod lidí ze světlého do tmavého prostředí. Stejně tak světla na pomoc orientace, například bodové osvětlení schodů, bývají červená. Adaptace na tmu, tedy tvorba pigmentu rodopsinu, trvá u tyčinek asi 5 minut, zatímco u čípků 1,5 minuty. Opačný proces, rozpad pigmentu vlivem silnějšího osvětlení, trvá přibližně minutu k úplnému vyrovnání mezi degradací a tvorbou pigmentu dochází řádově v desítkách minut. Dalším adaptačním procesem je změna velikosti vjemových polí, které při nízkém osvětlení, rozšířením své hranice zvýší počet připojení gangliové buňky a ty jsou potom citlivější.

2.2. Fotopické vidění

V běžném životě se člověk pohybuje výlučně v oblasti fotopického vidění. Tento druh vidění je obzvláště spojen s činností čípků, které vnímají i barvu přijímaného světla. Nejčastěji udávaná spodní mez jasu pro fotopické vidění je $3 \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. V současné době se veškeré výpočty a měření týkající se

fotometrických problémů provádí pro oblast fotopického vidění. K měření osvětlení se tedy používá přepočít, který zohledňuje různou citlivost oka člověka pro různé vlnové délky, a to právě ve fotopickém vidění viz křivka fotopického vidění v grafu číslo 2 – poměrná spektrální citlivost pozorovatele.

2.3. Skotopické vidění

Za opak fotopického vidění se může označit vidění skotopické, neboli noční. Zrakový vjem je zprostředkován převážně tyčinkami. Tento druh vidění nastává u jasů v řádech setiny a méně $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Maximální citlivost má zrak při vlnové délce 507nm viz graf číslo 2 – poměrná spektrální citlivost pozorovatele. Vzhledem k nízkým jasům, při kterých je tento druh vidění využíván, nemá pro hodnocení osvětlení nijak významný dopad.

2.4. Mezopické vidění

Mezopickým viděním se popisuje stav, kdy oko využívá obou předchozích mechanismů. Zcela návazně se pak tento druh objevuje mezi hranicemi dvou předešlých. Pokud se bere na mezopické vidění v ohled při počítání či konstrukci vnitřních prostor, jedná se většinou o nouzové osvětlení. Problematika mezopického vidění je navíc zhoršena tím, že v těchto světelných podmínkách mění oko nejen popsané veličiny. Proto se velmi často teoretické propočty takovýchto případů liší od subjektivního pozorování pozorovatele v reálném případě.

2.5. Osvětlení a zrakové pochody

V anamnézách mnoha očních nemocí a v mnoha studiích o očních chorobách se nalézají jako důvod výskytu těchto chorob používání nedostatečného osvětlení. Tímto závažným fenoménem se zabývalo mnoho lékařů a vědců. Jednu z nejzajímavějších prací v této oblasti publikoval MUDr. John. Vyvodil ze svého dlouholetého pozorování na oftalmologické klinice závěr, že každé onemocnění, které bylo označeno za onemocnění z nedostatečného osvětlení, má v anamnéze jiný důvod, který byl příčinou pozorovaného problému. Osvětlení jako takové nemůže samo o sobě způsobit zrakové onemocnění. Může výrazně zhoršit jeho průběh, či urychlit jeho manifestaci. (2)

Na druhou stranu lze odpovídajícím osvětlením zmírnit projevy některých onemocnění, nebo potlačit jejich nejhorší dopady na nemocného. Příkladem jsou speciální osvětlovací soustavy pro pacienty se zbytkovým zrakem, které odstraňují vysoké hladiny jasů v prostoru a zlepšují tak

pacientovu orientaci. Pokud tyto soustavy nepoužíváme, pacient nezískává kvalitnější zrakové informace, ale ani se nezhoršuje jeho zdravotní stav.

Jediné oční nemoci, které mají svůj původ v osvětlení, jsou způsobeny opačným fenoménem. Jedná se hlavně o stavy a choroby z nadměrného osvětlení oka a to především UV zářením, či zářením s ještě kratší vlnovou délkou. Podobné účinky záření z opačné strany spektra (infračervené) byly vyvráceny studií, která zkoumala působení infračerveného záření na oči skupiny dělníků ve slévárnách. Jediné možné poškození zraku IČ světlem je tepelné poškození rohovky, kterému je zamezeno fyziologickým úhybovým reflexem. (3)

2.6. Zrak a věk

Kromě změn v oblasti akomodačních vlastností lidského zraku je s věkem spjata změna vnímání osvětlení. Zvláštní věkovou skupinou jsou děti. Dětské oko ještě není zcela dovyvinuto a děti nemají zcela kompletně utvořené zrakové návyky jako dospělí lidé. Určující vlastností dětského zraku z hlediska osvětlení je jeho rychlá přizpůsobivost na změnu intenzity osvětlení. Dětské oko například mnohem rychleji dokáže adaptovat zrak za snížených světelných podmínek. Další vlastností dětského oka je jeho nepoškozenost a vysoká citlivost, díky nimž dokáže vnímat optické vjemy i za nepříznivých světelných podmínek. Typickým příkladem rodičovské starosti o děti je věta: „Nečti potmě, zkažíš si oči.“ Tato věta vychází ze zkušenosti dospělého člověka, že za šera špatně vidí a cítí při čtení únavu. U dětí tomu tak není. Zcela zavádějící je také, že si dítě čtením za nepříznivých světelných podmínek oči zkaží. Je tomu spíše naopak. Dětský zrak je více náchylný na oslnění. Časté oslnění způsobuje mnohem závažnější škody než čtení při nedostatečném osvětlení. Příjemnější pocit při čtení dětí za šera je dán tím, že dětské oko, které vnímá velmi citlivě kontrastní detaily, se oslní při nižší intenzitě světla, než je tomu u dospělých.

Většina norem a experimentů týkajících se lidského oka je prováděna a myšlena pro osoby kolem 40. roku života. Po tomto věkovém období bývá potřeba osvětlení pro stejné zrakové úkony mnohokrát zvyšována, viz graf číslo 3 - poměrný graf potřebné intenzity osvětlení pro stejný zrakový výkon u různého věku lidí. Na tento fakt by měli brát zřetel sami lidé a při zvyšujícím se věku, přehodnocovat svoje potřeby na osvětlení a to především v domácnosti.

2.7. Vnímání barev

Vnímání barev je složitý fyziologický proces založený na vlastnostech lidského oka. Vnímání barev se u každého jedince může měnit. Barevný vjem ovlivňují mimo jiné i podmínky, za nichž vzniká.

Barevná vlastnost světla se nazývá chromatičnost. Chromatičnost je dána spektrální vlastností světla ze zdroje. Barevné vlastnosti látek a materiálů jsou nazývané kolorita. Ta je dána jak spektrálním rozložením světla ze zdroje, tak spektrální odrazností materiálu. V případě průsvitných či průhledných materiálů jeho spektrální propustností.

Oko vnímá barvy díky třem druhům čípků, z nichž každý je citlivý na jinou vlnovou délku. Několika způsoby pak může dojít ke stimulaci těchto čípků a k vyvolání vjemu stejné barvy. Stejně tak může dojít změnou citlivosti k barvě nebo špatnému osvětlení ke stavu, kdy se různé barvy jeví stejně. Tomuto jevu říkáme metamerie. Tyto jevy jsou dány způsobem, jakým oko vnímá spektrální rozložení barev. Lidské oko vnímá spektrum barev aditivně. To znamená, že monochromatickému záření odpovídá vlnová délka vjemu, ale obráceně toto neplatí. Vlnová délka vjemu je označení pro hypotetickou vlnovou délku monochromatického záření, které vyvolá stejný barevný vjem jako záření, kterému ji přiřadíme.

3. Světlo a osvětlení

3.1. Vlastnosti světla

3.1.1. Světlo jako záření

Z 19. století pochází teorie vytvořená J. C. Maxwellem, že světlo je elektromagnetické vlnění. To je vytvořeno elektrickým a magnetickým polem. Změna elektrického pole v čase vyvolává změnu magnetického pole, která zpětně generuje změnu pole elektrického. Takto se šíří elektromagnetické vlnění. Ve vakuu má rychlost šíření $c = 299\,792\,498 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zdrojem každého světla je nestacionární elektrický dipól.

Dalším důležitým parametrem je index lomu. Popisuje spíše prostředí, kterým se světlo šíří, než světlo samotné. Index lomu světla je také závislý na vlnové délce světla, pro kterou se určuje.

$$n_{\lambda} = \frac{c}{v_{\lambda}}$$

Vlnová délka světla je dána vztahem:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

kde f je frekvence.

Světlo odpovídá vlnění příčnému. To znamená, že veličiny, které ho určují, tj. elektrický a magnetický vektor kmitají v rovině kolmo na sebe a vlna šíření světla postupuje ve směru kolmém na tuto rovinu.

3.1.2. Spektrum elektromagnetického vlnění

Spektrum elektromagnetického záření, viz obrázek číslo 2 – spektrum elektromagnetického záření, se rozkládá mezi dlouhými rádiovými vlnami až ke krátkým vlnovým délkám záření γ . Světlo, neboli optické záření se nachází mezi frekvencemi $7 \cdot 10^{11}$ a $3 \cdot 10^{16}$ Hz. Těmto frekvenčním hranicím odpovídají ve vakuu hranice $4 \cdot 10^{-4}$ m a 10^{-8} m vlnových délek, podle vztahu viz výše. Pro nás nejvýznamnější oblastí je oblast viditelného světla. Ta se podle některých autorů liší. Obecně lze říci, že se jedná o vlnové délky mezi 790 nm a 390 nm. Světlo o různé vlnové délce vyvolává různý barevný vjem.

3.1.3. Šíření světla

Světlo ze světelného zdroje se šíří ve vlnoplochách do všech směrů stejně. Vlnoplochy bodového zdroje tedy budou koule se středem v místě bodového zdroje. Světelný paprsek je přímka kolmá na vlnoplochu. Při přechodu mezi dvěma prostředími, které mají různé indexy lomu světla (světlo se v nich šíří různou rychlostí) dochází ke dvěma jevům. K odrazu a lomu světla. Odraz se řídí pravidlem, úhel dopadu se rovná úhlu odrazu a paprsek zůstává ve stejné rovině s dopadajícím. Úhel lomu se řídí Snellovým zákonem:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

kde α je úhel dopadu, β je úhel odrazu, v jsou rychlosti šíření světla v jednotlivých prostředích a n jejich indexy lomu. Speciálním případem je mezní úhel, který získáme ze vztahu:

$$\sin \alpha_m = \frac{1}{n}$$

Pokud hodnota úhlu α překročí hodnotu α_m (mezní úhel alfa), nastává takzvaný totální odraz. Nedoje k lomu světla a veškeré světlo se odrazí zpět podle zákona o odrazu. Tento jev nastává při přechodu světla z opticky hustšího prostředí do řidšího.

Podle šíření světla v prostředí se rozdělují tři základní typy prostředí. První je průhledné neboli transparentní prostředí, v něm se světlo šíří bez absorpce či rozptylu světla, také nedochází k pohlcení části spektra, barvy zůstávají zachovány. Druhé prostředí je průsvitné, jím světlo prochází, ale dochází k rozptylu a částečné absorpci. Třetí prostředí je neprůhledné, jím světlo neprochází nebo do něj ani nevstupuje, dochází k odrazu na jeho povrchu.

Dalším parametrem prostředí je homogenita či nehomogenita. Jedná se o vlastnost, která popisuje, je-li dané prostředí ve všech směrech stejné. V anizotropním prostředí záleží vlastnosti šíření světla na jeho polarizaci, opak je prostředí izotropní.

3.2. Fyzikální popis světla

3.2.1. Zářivá energie

Zářivá energie je energie přenesená formou elektromagnetického záření. Šíří se v daném prostředí rychlostí světla všemi směry stejně. Je rozložena na různé vlnové délky. Nejmenší kvantum předané energie je foton. Energie jednoho fotonu je dána vztahem:

$$E = h \cdot f$$

kde E je zářivá energie, h je Planckova konstanta a f je kmitočet tohoto záření.

3.2.2. Zářivý tok

Zářivý tok je zářivá energie, která projde danou plochou kolem zdroje za čas t.

$$\Phi_E = \frac{\Delta E_s}{\Delta t}$$

Φ_E je zářivý tok, E_s je zářivá energie, t je čas.

Spojitě záření má hodnotu zářivého toku:

$$\phi_E = \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_E(\lambda)}{d\lambda} d\lambda \cong \sum_{i=1}^n (\Phi_{E\lambda}) \Delta\lambda_i$$

kde $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ je spektrální hustota zářivého toku.

Záření s čárovým spektrem, tedy záření složené z daného počtu monochromatických záření, je celkový zářivý tok daný sumou těchto záření podle vztahu:

$$\phi_E = \sum_{i=1}^n \phi_{Ei}(\lambda_i)$$

kde Φ_{Ei} je zářivý tok, jednotlivých spektrálních čar. Jednotkou zářivého toku je lumen (lm) respektive ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

3.2.3. Světelný tok

Světelný tok Φ je zářivý tok Φ_E , posuzovaný z pohledu citlivosti lidského oka. Jednotkou je lumen (lm). Pro jeho výpočet je třeba znát poměrnou světelnou účinnost viditelného záření $V(\lambda)$. Tato funkce je jednou z předdefinovaných funkcí CIE (pro fotopické vidění). Vypočteme jí ze vztahu:

$$V(\lambda) = \frac{K_\Phi(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683}$$

kde $V(\lambda)$ je účinnost monochromatického záření, $K_\Phi(\lambda)$ je světelná účinnost a K_m je maximální světelná účinnost.

Stanovená hodnota K_m tohoto ekvivalentu je maximální zhodnocení zářivého toku s hodnotou 1 Watt. Toto stanovení se provádělo podobně jako stanovení prahu sluchu s normalizovaným pozorovatelem. Toto maximum odpovídá vlnové délce $\lambda = 555 \text{ nm}$ a je vyčísleno na $K_m = 683 \text{ lm}\cdot\text{w}^{-1}$. tato hodnota je určena pro fotopické vidění.

Světelný tok lze tedy vypočítat při znalosti této zákonitosti a zářivého toku jako:

$$\Phi(\lambda) = K_\Phi(\lambda) \cdot \Phi_E(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_E(\lambda) = 683V(\lambda) \cdot \Phi_E(\lambda)$$

kde $\Phi(\lambda)$ je světelný tok dané vlnové délky λ , jeho jednotkou je lumen (lm), $K_\Phi(\lambda)$ je světelná účinnost dané vlnové délky λ , její veličinou je lumen na watt ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$), $\Phi_E(\lambda)$ je zářivý tok dané vlnové délky, jeho jednotkou jsou watt (W).

Pokud je celkové záření složeno z několika monochromatických záření, můžeme spočítat jeho světelný tok pomocí sumy:

$$\Phi = K_m \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta\Phi_E(\lambda_i)}{\Delta\lambda_i} \right) \cdot V(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda_i$$

Známe-li průběh zářivého toku na vlnové délce při spojitém spektru, můžeme pak světelný tok spočítat následovně:

$$\Phi = 683 \int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_E(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

Výše popsané vzorce popisují, že světelný tok je zářivý tok, vhodnými funkcemi upraven tak, aby odpovídal lidskému vidění a vnímání.

3.2.4. Barva v trichromatické soustavě

Trichromatickou soustavu vytvořila CIE pro objektivní posuzování barev. Název pochází od způsobu vytvoření soustavy, k jejímu vytvoření bylo použito míchání tří základních barev. Soustava je tvořena třemi barevnými členiteli, označovanými $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$, viz graf 4 – barevné členitele $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ soustavy X,Y,Z. Tři trichromatické složky pak značíme velkými písmeny: X,Y,Z. Trichromatické složky udávají kolorimetrické množství všech tří barev.

Barevný podnět pro oko vytváří tři veličiny - barevný tón, sytost a intenzita. Tyto veličiny můžeme vynést do prostorového grafu jako osy. Pokud v tomto grafu vytýčíme šikmou plochu na příklad $X+Y+Z=1$, která vytýčí stejné úseky os, dostaneme v ploše této roviny, ohraničenou spojnicemi průsečíků této roviny s osami, viz obrázek číslo 4 – Zobrazení trichromatického trojúhelníku v prostoru, kolorimetrický trojúhelník. Červená křivka zobrazuje spektrální barvy. Pokud nebudeme uvažovat intenzitu, můžeme si vystačit s diagramem vzniklým promítnutím tohoto trojúhelníku do plochy x, y, viz obrázek číslo 5 – kolorimetrický trojúhelník.

3.2.4.1. Trichromatické souřadnice

Tyto souřadnice určují podíl každé trichromatické složky na vzniku barvy. Součet všech tří souřadnic je roven jedné. Soustava byla vytvořena tak, že hodnota členitele $y(\lambda)$ odpovídá poměrné

spektrální citlivosti. $V(\lambda)$. V digramu je tedy složka Y úměrná jasů barevného podnětu. Ten pak vypočteme vzorcem:

$$L = 683 \cdot Y$$

kde L je jas barevného podnětu ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), Y je trichromatická složka.

V praxi se barvy popisují pomocí diagramů, které mají barevné parametry rovnoměrně rozložené. Jde především o diagram LUV ($L^*u^*v^*$) a CIE LAB (L^*a^*b), které jsou CIE uznávané.

3.3. Další charakteristiky světla

3.3.1. Barva

Každému barevnému tónu odpovídá vlnová délka. Barvy podle toho zda mají nebo nemají barevný tón, dělíme na chromatické a achromatické. Achromatické barvy jsou barvy, které ho nemají, konkrétně to jsou bílá, černá a odstíny šedi. Barvy můžeme dělit na spektrální a nespektrální. Spektrální barvy jsou takové, které v sobě obsahuje sluneční záření i většina záření z umělých zdrojů, oproti tomu nespektrální barvy jsou takové, které v těchto záření nejsou obsaženy a vznikají mícháním okrajových částí spektra, označují se jako purpurové a vznikají mísením červené a fialové. Barevné rozdělení na základě vlnových délek, viz tabulka číslo 1 – Vymezení barev na základě vlnové délky.

Barevná sytost je další popisující faktor barev. Jedná se o poměr mezi spektrální složkou barvy a nespektrální složkou. Čisté spektrální barvy mají sytost rovnou jedné, zatímco barvy nespektrální, viz výše, mají sytost rovnou nule.

Sluneční záření se obecně považuje za bílé světlo. Za pomoci tohoto světla, můžeme vyvolat barevný vjem odfiltrováním jedné barvy a světlo se tak určitým způsobem zbarví. Například odfiltrování barvy červené vznikne modré světlo, odfiltrováním zelené vznikne fialové a odfiltrováním modré vznikne žluté světlo. Viz obrázek číslo 6 – Míchání základních barev a doplňkových barev. Bílé světlo tedy můžeme smíchat ze tří základních barev.

Tento jev se využívá pro tvorbu světla v LED zdrojích pro osvětlení ale i například LED displejích. Základní barvy tvoří takzvaný RGB systém. Jiný způsob vzniku bílého světla je doplnění barvy její barvou doplňkovou. Doplňkové barvy vznikají vždy smícháním dvou barev základních, viz obrázek číslo 7 – Míchání doplňkových barev z barev základních. Doplňkové barvy tvoří společně s barvou černou systém CMYK. Důležitým faktem je, že lidské oko díky aditivnímu vnímání spektra nerozezná mechanismus, kterým bílé světlo vzniklo.

Barvy lze dále rozdělit na studené a teplé. Jedná se o teplotu chromatičnosti, která odpovídá barvě, kterou bude zářit absolutně černé těleso, zahřáté na danou barvu, viz obrázek číslo 8 – teplota chromatičnosti. Paradoxem je, že studené barvy jsou zářeny teplejším tělesem. Studené barvy vyzařuje těleso zahřáté od 5000 K výše. Teplé barvy pod 3300 K. Tento paradox je způsoben dlouhodobou adaptací lidského zraku přírodním podmínkám. Jedná se o subjektivní rozdělení barev.

3.4. Detektory záření

3.4.1. Princip fotoelektrických detektorů

Většina současných fotometrických přístrojů pracuje na principu fotoelektrického jevu, jedná se tedy o fotoelektrické detektory. Fotoelektrické detektory převádějí světelnou energii na elektrickou energii. Jedná se o detektory selektivní, energie výstupního signálu závisí na vlnové délce dopadajícího záření. Jejich principem je fotoelektrický jev ať už vnější či vnitřní. Nejvíce se pro konstrukci těchto detektorů využívá polovodičové fotodiody. PN přechod musí být konstruován tak, aby na něj mohlo dopadat světlo. Poté tvoří dioda fotocitlivý prvek. Dopadající foton dokáže předat energii elektronu ve valenčním pásu polovodiče. Poté elektron překoná zakázaný pás a dostane se do vodivostního pásu polovodiče, čímž zvýší jeho vodivost. Zvýší se koncentrace elektronů ve vodivostní vrstvě a koncentrace děr ve valenční vrstvě. Celý tento princip se nazývá vnitřní fotoefekt. V případě vnějšího efektu foton dodá elektronu takovou energii, která stačí na úplné překonání valenčních sil, takzvaná výstupní práce, a elektron opouští látku. Dostatečným zvýšením minoritních nosičů dojde ke zvýšení proudu fotodiodou v závěrném směru. Bude-li připojena sériově k odporu, dojde vlivem průchodu proudu fotodiodou k poklesu napětí, které lze měřit a z jeho hodnoty usuzovat o intenzitě dopadajícího světla, viz obrázek číslo 9 – zapojení fotodiody pro měření intenzity záření.

3.4.2. Luxmetr

Luxmetr je přístroj, fungující většinou na fotoelektrickém principu, který slouží k měření osvětlenosti. Podle typu měřené osvětlenosti je dělíme na luxmetry rovinné, kulové, válcové, polokulové, poloválčové a jiné. Fotometrická hlava je většinou nastavena tak, aby zohledňovala spektrální vlastnosti lidského pozorovatele ve fotopickém vidění, viz kapitola 2.2..

3.4.3. Jasoměr

Jasoměr pracuje na podobném principu jako luxmetr, ale jeho hlavice je doplněna o optickou soustavu, která vymezení dopadající světlo jen ze známého prostorového úhlu. Jasový analyzátor je

v podstatě digitální fotoaparát, který má opticky či softwarově upravené snímání obrazu, aby zobrazoval integrované jasy z bodů prostoru podle funkce spektrální citlivosti pozorovatele, viz kapitola 2.2..

3.4.4. Spektrofotometr

Spektrofotometr je přístroj, který slouží k určení spektrálních vlastností vyzařovaného světla. Udává většinou jednu z následujících hodnot: převažující vlnovou délku, náhradní teplotu chromatičnosti nebo přímo graf spektrálního rozložení dopadajícího světla.

4. Zdroje umělého osvětlení

4.1. Historie umělého osvětlení

Podle mnohých autorů, se člověk v období, kdy ovládl svůj strach z ohně, začal vyčleňovat ze zbytku živočišné říše. Mnozí se domnívají, že primární důvod toho, že se člověk odvážil přenést ke svým obydlím jinak ničivý přírodní živel, byla potřeba umělého osvětlení. Nejstarší stopy ohně našel profesor R. A. Dart u australopitéků u Makapansgatu a nazval je Australopithecus Prometheus. Tito naši třetihorní předchůdci nevyráběli nástroje a je tedy nepravděpodobné, že uměli oheň rozdělat. Nejstarší nástroje, které se s ohněm pojí pocházejí z období paleolitu, tj. 15 000 – 40 000 let př. n. l.. Nejstarší nález je hliněná miska, sloužící pravděpodobně jako kahan na živočišný tuk, nalezena v jeskyni Le Mouthe ve Francii. Někteří autoři se domnívají, že se jedná o první umělé osvětlení. Jiní, že šlo pouze o prostředek, dlouhodobého udržení ohně, například při nedostatku dřeva. Z českých archeologů se problematice ohně a svítidel věnoval JUDr. Kříž.

V dobách vzniku prvních civilizačních center (3 000 – 5 000 př. n. l.) byla svítidla běžně používána. To dokazují jak nálezy z vykopávek tak i popis v první knize Bible, Genesis, který popisuje posvátný sedmiramenný svícen přibližně ze stejné doby.

Další významný posun umělého osvětlení je zaznamenán až od roku 1810, kdy se poprvé objevil náznak využití elektrické energie k osvětlení. Konkrétně H. Davy, který objevuje princip elektrického oblouku. Od roku 1820 se objevují snahy zkonstruovat světelný zdroj na principu tepelného vyzařování. První funkční výrobitelná žárovka byla konstrukce Jobartova z roku 1838, primární zdroj byla uhlíková tyčinka. H. Goebel použil roku 1854 bambusové vlákno a vyrobil žárovku s životností 220 hodin. První známé využití žárovek bylo právě H. Goeblem, který s nimi osvětloval výlohu svého obchodu v New Yorku. V roce 1872 osvětlil petrohradské přístavní doky žárovkami vlastní konstrukce

A. N. Lodygin. V roce 1877 použil poprvé uhlíkové vlákno v žárovce Swan. A konečně o rok později představil svou žárovku známý T. A. Edison a dal žárovce široce použitelnou formu.

4.2. Hlavní kritéria světelných zdrojů

Světelný zdroj je základní prvek osvětlovacích soustav. Pro účel mé práce mají hlavní důležitost elektrické světelné zdroje. Pro jejich popis jsem vybral některé z jejich charakteristik.

4.2.1. Světelný tok

Světelný tok popisuje množství světla vyzářeného zdrojem. Více o podstatě této veličině kapitola 3.2.3. Tento údaj bychom měli nalézt na energetickém štítku každého zdroje a na obalu. Poměr této veličiny a elektrického příkonu pak dává hodnotu měrného výkonu světelného zdroje, viz kapitola 4.2.3..

4.2.2. Náhradní teplota chromatičnosti

Náhradní teplota chromatičnosti popisuje barevné vlastnosti vznikajícího světla. U tepelných zdrojů, jako například žárovka, odpovídá teplota chromatičnosti teplotě tělesa, na jehož povrchu světlo vzniká, v našem případě tedy vlákna žárovky. Pak se nazývá teplota chromatičnosti. U jiných než tepelných zdrojů, například u zářivek či výbojek, toto číslo odpovídá teplotě černého tělesa, které by vyzařovalo světlo s co nejpodobnějším spektrálním rozložením jako popisovaný zdroj. Pak je nutné nazývat tento údaj náhradní teplotou chromatičnosti.

Teplota se udává v absolutních hodnotách, tedy v Kelvinech. Opět se jedná o údaj, který by neměl chybět na žádném světelném zdroji, což ale v praxi nebývá splněno. (4) Základní hodnoty náhradní teploty chromatičnosti, viz tabulka číslo 2 - teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých zdrojů světla.

4.2.3. Měrný výkon

Představuje míru přeměny elektrické energie na světlo a popisuje jakousi energetickou účinnost světelného zdroje. Při tomto přepočtu bývá zohledněno vnímání světla lidským okem. Pro fotopické vidění bylo vypočteno teoretické maximum měrného výkonu zdroje na $683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. (5)

Nejúčinnější světelné zdroje dosahují hodnot měrného výkonu kolem $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Přehled hodnot měrného výkonu některých světelných zdrojů, viz Tabulka číslo 3 - přehled hodnot měrného výkonu u běžných zdrojů.

4.2.4. Všeobecný index barevného podání

Lidské oko využívalo podstatnou část svého vývoje pouze sluneční světlo, po případě jeho odraz například od Měsíce. Od určité doby začali lidé využívat umělé osvětlení, viz kapitola 3.1. Ale až do zcela nedávné minulosti byly všechny zdroje světla pro člověka, ať už umělé či přírodní pouze na principu tepelné emise. Tomuto faktu je přizpůsobeno barevné vidění a cítění člověka. Pokud stejný předmět osvětlíme umělým zdrojem zpravidla s jiným spektrálním složením zářného světla, získáme odlišný až zcela jiný barevný vjem. Ten je ovlivněn právě spektrálním složením světla, které předmět osvětluje.

Abychom určili změnu barevného vidění pod jednotlivými zdroji světla, zavedla se veličina, která se nazývá všeobecný index barevného podání R_a nebo CRI. Tento index vyjadřuje shodnost barevného vjemu u posuzovaného zdroje a pod smluvně daným zdrojem „teplotní zdroj“. Index nabývá hodnot 0-100, kdy hodnota 100 označuje úplnou shodu, této hodnotě se nejvíce blíží klasické žárovky. Zatímco hodnota 0 představuje takový zdroj, pod kterým nelze barvy rozlišit, příkladem takového zdroje je nízkotlaká sodíková výbojka.

Hodnocení tohoto indexu se provádí porovnáváním 8 až 14 barevných předmětů, u kterých se zjišťuje rozdíl barevného vjemu. Na základě tohoto měření se udá osm až čtrnáct speciálních indexů podání barev, každý odpovídá jednomu předmětu a barvě. Etalony pro toto měření jsou popsány souřadnicemi CIE nebo Musellovým atlasem barev. Z těchto speciálních indexů se pak vypočítá všeobecný index barevného vjemu.

Hodnota indexu barevného podání nijak nespojuje s náhradní teplotou chromatičnosti popsanou výše. U některých zdrojů, které vyzařují úzké, nebo konkrétní spektrum barev lze dosáhnout vyššího indexu barevného podání použitím vrstvy luminoforu.

4.2.5. Životnost zdroje

Životnost zdroje je velmi důležitou vlastností ať už z důvodu ekonomického či ekologického. Méně ekologický zátěžový zdroj světla, pokud bude mít výrazně nižší životnost, může životní prostředí zatížit výrazně více. Další aspekt proč vybírat zdroj s méně častou potřebou výměny je

špatná přístupnost v některých místnostech a objektech. Na rozdíl od klasické žárovky, kde životnost každého kusu přesně určuje přepálení vlákna, u novějších zdrojů dochází k postupnému úbytku světelného toku a tím zhoršování jak optických podmínek, tak hospodárnosti. Z toho důvodu jsou definované dvě veličiny - průměrná životnost a užitečná životnost.

Průměrná životnost je doba, po které za předem stanovených podmínek bude svítit přesně 50% světelných zdrojů. Míra výpadku tedy dosáhne také 50%. Postupný úbytek těchto zdrojů vyjadřuje křivka mortality.

Užitečná životnost je doba, kdy poklesne u světelných zdrojů za předem stanovených podmínek světelný tok na 80% hodnoty za nová. Jako hodnota za nová, se uvažuje hodnota měřená u daného typu zdroje po 100 hodinách provozu. U některých zdrojů na příklad LED zdrojů se uvažuje za hraniční hodnotu nikoli 80% ale 70%. Užitečná životnost je doba, po které se doporučuje vyměnit světelné zdroje.

4.2.6. Shrnutí

Výběr světelných zdrojů by měl odpovídat jejich budoucímu využití. Další faktor výběru bude jistě finanční, při posuzování tohoto faktoru by se nemělo opomenout porovnat jak výkon jednotlivých zdrojů, tak jejich životnost. Na každém světelném zdroji, či jeho obalu by neměly chybět údaje o elektrickém příkonu a světelném toku, ze kterých lze vypočítat měrný výkon viz kapitola 4.2.3.. Další údaje by měly být technické údaje o elektrické síti, pro kterou jsou konstruovány, tj. frekvence a napětí sítě, údaj o typu patice či upínacího zařízení a životnosti zdroje. Nově podle směrnic Evropské Unie by měl obal obsahovat i údaj o průměrném počtu cyklů zapnutí a vypnutí. Hodnota indexu podání barev a náhradní teplota chromatičnosti se může udávat buď jednotlivě, nebo v jednom třímístném čísle. Pak první číslice označuje index podání barev v desítkách např. 7 = 70 R_a a zbylé dvě náhradní teplotu chromatičnosti ve stovkách tj. 31 = 3100 K. Příklad štítku světelného zdroj, viz obrázek číslo 10 – Energetický štítek zdroje světla se všemi povinnými údaji.

4.3. Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou hlavní součástí osvětlovacích soustav a svítidel. Z umělých zdrojů se budou věnovat elektrickým světelným zdrojům z důvodů jejich monopolního využití při osvětlování místností interiérů umělým světlem.

4.3.1. Žárovka

Prakticky použitelné žárovky se jako osvětlovací zdroj začaly objevovat kolem roku 1880. První uhlíkové žárovky měly svítivost průměrně 2 lm.W^{-1} příkonu. Dnešní žárovky dosahují měrného výkonu až 15 lm.W^{-1} . I přes tento velice prudký vývoj v oblasti úspory energie jsou dnes klasické žárovky energeticky natolik nevýhodné, že jsou v Evropské Unii právě z tohoto důvodu stahovány z prodeje. (7) I přes špatnou energetickou účinnost jsou žárovky zdrojem velice kvalitního světla. A to hlavně vzhledem k chromatičnosti vznikajícího světla, která má hodnotu okolo 2 700 K., tato hodnota odpovídá tzv. teplé barvě, viz Tabulka číslo 4 - teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých zdrojů světla.

Princip vzniku světla v žárovce je velice jednoduchý. Jedná se o tepelnou emisi. Tenký, většinou wolframový drát je umístěn ve skleněné baňce, jejíž hlavním cílem je udržet ochranou atmosféru, aby nedocházelo k oxidaci a následnému tenčení drátku, což by vedlo ke spotřebování zdroje. Právě z důvodů principu vzniku světla tepelnou emisí u žárovek odpovídá teplota chromatičnosti zcela objektivně žárovce, jedná se o teplotu vlákna, které světlo emituje. Historicky se místo ochranné atmosféry z inertních plynů v baňce vytvářelo vakuum. Právě přechod na inertní atmosféru výrazně prodloužil další z posuzovaných vlastností světelného zdroje a to jeho životnost, viz tabulka číslo 5 - orientační životnosti pro různé typy světelných zdrojů.

V nedávné minulosti až současnosti se používaly baňky z matného skla, aby žárovka méně oslňovala, což vedlo k dalšímu poklesu měrného výkonu.

Další charakteristika, v níž je žárovka v popředí pomyslného žebříčku, je hodnota indexu barevného podání.

4.3.2. Halogenová žárovka

Klasické halogenové žárovky se od normálních žárovek příliš neliší. Mají kolem wolframového vlákna pouze malou baňku, jejíž náplní je malé množství halogenového plynu. Zatímco v klasické žárovce se wolfram odpařuje, vlákno se ztenčuje a zároveň se wolfram usazuje na baňce a snižuje tak zářivý tok žárovky, u halogenové žárovky se pomocí halogenového cyklu tomuto zabraňuje. Halogenové plyny totiž na sebe v nižší teplotě, tzn. u baňky, navazují wolfram a pak se díky teplotnímu gradientu vracejí k vláknu, kde se také vlivem teploty rozkládají a wolfram se tedy vrací na vlákno. Tento princip zajišťuje stálý měrný výkon po celou dobu životnosti, která zároveň díky tomuto jevu vzroste na hodnoty přibližně 2 500 h, viz tabulka číslo 5 - orientační životnosti pro různé typy světelných zdrojů.

Velkým krokem k energeticky hospodárnějšímu zdroji je krok, při kterém se vnitřní strana baňky opatří reflexivní vrstvou, která vrací infračervené záření zpět na vlákno. Kvůli lepším ochranným vlastnostem použité atmosféry je možné rozžhovat vlákno žárovky na vyšší teploty a tím dosáhnout většího měrného výkonu, až 26 lm.W^{-1} . Zároveň zvýšit teplotu chromatičnosti (jedná se o tepelný zdroj) a přiblížit ji dennímu osvětlení, viz tabulka číslo 4 - teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých zdrojů světla, na hodnotu 4 000 K, což odpovídá studené bílé.

4.3.3. Zářivka

Zářivka je vlastně nízkotlaká rtuťová výbojka. Generuje neviditelné ultra-fialové záření, které je pohlceno vrstvou speciálního materiálu, takzvaného luminoforu. Luminofor pohltí toto světlo a následně vyzaří spektrum viditelného světla, které lze do jisté míry regulovat a volit pomocí volby použitého luminoforu.

Vlastní UV světlo se generuje mezi elektrodami, které ionizují atomy rtuti, které při rekombinaci emitují fotony. Celý děj se odehrává v skleněné trubici, naplněné kromě rtuťových par také inertním plynem, například argonem. Kvůli principu zářivky je nutné do elektrického obvodu zařadit předřadník, který reguluje proud zářivkou procházející a stabilizuje celou soustavu. Každá zářivka má index srovnání barev závislý na použitém luminoforu. I přes složitost generování světla a jeho převádění na viditelnou složku, je zářivka několikrát energeticky účinnější než žárovka viz TAB 2. Kompaktní verze zářivky se od lineární, která je verzí starší, neliší jinak než tvarem trubice. Tato změna také způsobuje pokles účinnosti, protože dochází ke stínění. Kompaktní zářivky jsou alternativou za žárovky, předřadník je zabudován v patici.

4.3.4. Výbojky

4.3.4.1. Indukční výbojky

U indukční výbojky dochází ke vzniku světla podobně jako u zářivky. K excitaci rtuťových iontů ale není použito elektrického pole, ale vysokofrekvenčního elektromagnetického, generovaného pomocí cívky. Výhodou tohoto zdroje je jeho delší životnost, viz tabulka číslo 5 - orientační životnosti pro různé typy světelných zdrojů. Proto se používají v místech s náročným přístupem pro výměnu.

4.3.4.2. Nízkotlaké sodíkové výbojky

Výboj vzniká v trubici z boritého skla, které je naplněno argonem a neonem, které určují barvu zdroje po zapnutí - typicky neonově modrá. Po zahřátí, kdy se sodík přemění na plynné skupenství, začne zářit typicky na vlnové délce 589 nm. Z důvodu záření v diskretním spektru na jedné vlnové délce, není možné při světle tohoto zdroje rozeznávat barvy, $R_a=0$.

4.3.4.3. Halogenidové výbojky

Záření vzniká jak v parách rtuti, tak v produktech halogenidů např. sloučeniny halových prvků s thaliem či sodíkem. Díky tomuto mnoho-zdrojovému záření se zvyšuje index podání barev na $R_a=90$. Měrný výkon tohoto zdroje, viz tabulka číslo 3 - přehled hodnot měrného výkonu u běžných zdrojů. Nevýhodou těchto výbojek je nutnost zapalovače a relativně pomalý nárůst světla. Na jmenovité parametry se výbojka dostává až po deseti minutách.

4.3.4.4. Xenonové výbojky

Jedná se o vysokotlaké výbojky, jejichž hlavní nevýhoda je nutnost vysokonapěťového pulzu pro jejich zapálení. Náhradní teplota chromatičnosti, viz tabulka číslo 2 - teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých zdrojů světla. Vyzařované spektrum je podobné dennímu světlu. Vzhledem k možnosti napájet zdroj vysokým výkonem využívá se hlavně při osvětlování objektů na velkou vzdálenost.

4.3.5. LED zdroje

Zkratka LED znamená „Light-Emitting Diode“, což znamená světlo emitující dioda. Princip takového zdroje světla je známý od 60. let minulého století. Díky principu generování světla na polovodičovém přechodu má světlo z primárního zdroje takřka monochromatické vlastnosti. Hlavně díky vysoké účinnosti jsou předmětem rychlého vývoje. Díky naprosto odlišnému principu LED nemají některé „neduhy“ svých předchůdců. Například takřka nepodléhají opotřebení z častého cyklu rozsvícení a zhasnutí. Jejich konstrukce také umožňuje měnění intenzity světla. Jak bude popsáno níže, některé LED zdroje se skládají z několika různobarevných primárních zdrojů, je tedy možné měnit barvu osvětlení.

Na úpravu monochromatických vlastností primárních zdrojů LED jsou používány dva odlišné přístupy.

První z nich je míšení několika primárních zdrojů s různou vyzářovanou vlnovou délkou, tak aby jejich kombinací vzniklo spektrum, které bude odpovídat bílé barvě. Druhým postupem je použití podobné techniky jako u převodu UV světla generovaného zářivkou na viditelné světlo. Na primární zdroj, který se pro tento způsob volí s krátkou vlnovou délkou, se nanese vrstva konvertorového materiálu, který vyzářovanou vlnovou délku pohltí a vyzáří spektrum, podle vlastností tohoto materiálu. Nejčastěji používanými konvertory jsou látky na bázi fosforu.

Na grafu číslo 5 -typická spektra LED s fosforovým luminoforem vidíme nejčastější barevné provedení bílých LED diod s fosforovým luminoforem a jejich spektra.

4.4. Svítidla

Svítidla jsou zařízení, která upravují světelné vlastnosti základních zdrojů světla, viz kapitola 4.3.. Slouží jako jejich upevnění a v některých případech aby nesla i doplňková zařízení některých zdrojů. Chrání tak zdroje od nepříznivých vlivů a stejně tak by měla zabezpečovat bezpečnost obsluze. Klasifikovat můžeme svítidla podle určení jejich použití anebo podle použitých zdrojů či způsobu technického řešení. Důležité členění svítidel je podle rozložení světelného toku, viz tabulka číslo 6 – klasifikace svítidel podle rozložení světelného toku.

4.4.1. Základní parametry

Základní parametry jsou důležité veličiny a vlastnosti každého svítidla, díky kterým se můžeme orientovat v nabídce a vhodnosti použití jednotlivých svítidlech.

4.4.1.1. Světelný tok svítidla

Světelný tok svítidla je tok světla z celého svítidla. Matematicky je určen jako rozdíl celkového toku všech zdrojů ve svítidle a světelného toku ztraceného při optické úpravě svítidlem.

4.4.1.2. Účinnost svítidla

Účinnost svítidla je dána poměrem celkového světelného toku všech zdrojů ve svítidle a celkovým světelným tokem svítidla:

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z}$$

kde η_{sv} je účinnost svítidla, Φ_{sv} je světelný tok svítidla (lm), Φ_z je světelný tok všech zdrojů ve svítidle. Maximální účinnost by tedy mělo svítidlo v podobě holé objímky, to však nelze použít z důvodů nevhodného rozložení světla. U běžných svítidel se účinnost pohybuje mezi 0,5 a 0,8.

4.4.1.3. Jas svítidla

Jas svítidla je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru. U svítidel do vnitřních prostor se často udávají jasy v úhlech 45° a 85° stupňů od vodorovného pohledu.

4.4.1.4. Úhel clonění

Úhel clonění je nejostřejší úhel směru, ze kterého je vidět elementární zdroj světla, od vodorovné roviny. Elementární zdroj světla je u čiré žárovky její vlákno u matné nebo u zářivky je to povrch jejich baněk.

4.4.1.5. Křivka svítivosti

Křivka svítivosti představuje velikost světelného toku svítidla do prostorového úhlu. U svítidel se udávají svítivosti v daném směru, což je svítivost do malého prostorového úhlu, viz kapitola 3.3.1..

4.4.1.6. Třída ochrany svítidel

Podle elektrotechnické bezpečnosti se svítidla třídí do tříd, viz tabulka číslo 7 – třídy ochrany svítidel.

4.4.1.7. Ochrana proti vniknutí cizích těles

Stupeň ochrany se vyjadřuje značkou IP a dvoumístným číslem. První číslice z intervalu 0 až 6 označuje ochranu před vniknutím cizích těles nebo dotykem. A druhá číslice z intervalu 0 až 8 vyjadřuje stupeň ochrany proti vniknutí vody. Více v normě ČSN EN 60529.

4.4.2. Stavba svítidel

Svítidla mají tři základní části: část optickou (světelně činnou), elektrotechnickou a konstrukční.

4.4.2.1. Optická část

Tato část svítidla slouží k úpravě směru a toku světla. Mění tedy křivku svítivosti zdrojů světla, upravuje ji tak aby nedocházelo k rušivému toku nebo oslňování osob. Na parametrech této části svítidla závisí zcela zásadně mnohé vlastnosti celého svítidla. Důležitým prvkem opticky aktivních částí svítidla jsou aktivní plochy. Rozlišujeme tři základní druhy: reflektor, refraktor a rozptylovač. Reflektor odráží světlo, které nejde požadovaným světlem do tohoto směru. Používají se materiály, na nichž je nanášena vrstva reflexního materiálu, například hliníku. Refraktor upravuje směr světla na základě jeho lomu, používají se průhledné materiály. Difuzor neboli rozptylovač rozptyluje světelný tok odrazem nebo prostupem a vyzářuje světelný tok jako rovnoměrně svítící plocha.

4.4.2.2. Elektrotechnická část

Tato část obsahuje veškerou elektroinstalaci potřebnou k provozu svítidla zdrojů světla. Objímky slouží k uchycení světelného zdroje do svítidla a k přenosu elektrické energie do zdroje z elektrické sítě. Používají se podle typu zdroje, pro který je svítidlo určeno. Elektrický předřadník zlepšuje vlastnosti použití některých elektrických zdrojů, pomáhá například generovat zapalovací napětí, dále pak například potlačuje radiový šum. Rozlišujeme je podle typu konstrukce na samostatný, který není součástí svítidla, vestavěný, který je pevnou součástí svítidla a na integrovaný, který je nevyměnitelnou součástí světelného zdroje, například kompaktní zářivky. Při použití halogenových žárovek je nedílnou součástí svítidla, pokud je instalována v klasické elektrické síti, transformátor, který převádí napětí sítě na napětí použitelné pro zdroj světla. Obdobné zdroje potřebují také LED diody.

4.4.2.3. Konstrukční část

Konstrukční část svítidla musí technicky odpovídat váze vlastního svítidla a váze zdrojů. Použitý materiál by měl být světelně a v případě teplotních zdrojů světla také tepelně stálý, aby zaručoval bezpečné použití svítidla.

5. Osvětlení

5.1. Fyzikální jednotky osvětlení

5.1.1. Osvětlenost

Osvětlenost neboli intenzita osvětlení je další odvozená fotometrická veličina. Udává hodnotu světelného toku na jednotkovou plochu, viz obrázek číslo 3 – osvětlenost. Jednotkou osvětlenosti je lux (lx), pro výpočet platí vztah:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

kde E je osvětlení (lx), $d\Phi$ je velikost světelného toku dopadajícího na plochu (lm), A je velikost plochy (m^2).

Mimo tohoto vztahu lze spočítat osvětlení i za pomoci svítivosti:

$$E = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \beta}{l^2}$$

kde E je osvětlenost (lx), I_{γ} je svítivost (cd), β je úhel normály plochy, pro kterou osvětlení určujeme, l je vzdálenost světelného zdroje od plochy (m).

Z rovnice vyplývá, že osvětlenost plochy klesá se čtvercem vzdálenosti od světelného zdroje, a také pomocí funkce sinus se sklonem roviny. V případě že $\beta = 0^\circ$, je hodnota nejvyšší a mluvíme o takzvané normálové osvětlenosti. Po měření hodnot osvětlenosti v ploše, můžeme místa se stejnou hodnotou osvětlenosti spojit takzvanou izoluxou, jejich soubor poté tvoří izoluxovou mapu.

5.1.2. Jas

Další odvozená fotometrická veličina. Značí se L a udává se v kandelách na metr čtvereční ($cd \cdot m^2$). Na kontrast jasu přímo reaguje lidské oko. Jas je určen plošnou a prostorovou hustotou světelného toku, proto záleží na poloze pozorovatele a směru jeho pohledu nikoli na faktu zda svazek paprsků jde přímo ze zdroje nebo je odražen od jiné plochy.

5.1.3. Světlení

Světlení je další odvozená fotometrická jednotka, která definuje plošnou hustotu světelného toku, který je vyzařován z plochy. Definuje velikost světelného toku z této plochy:

$$M = \frac{d\Phi_V}{dA}$$

kde M je světlení ($\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$), $d\Phi_V$ je plošná hustota světelného toku (lm), dA je plocha, ze které tok vychází.

Světlení souvisí také s jasem podle vztahu:

$$M = \int_0^{\Omega} L_{\gamma} \cos \gamma d\Phi = L_0 \int_0^{\Omega} f_L(\gamma) \cos \gamma d\Omega = L_0 \int_0^{\Omega} f_1(\gamma) d\Omega = L_0 \Omega_E$$

kde L_{γ} je jas plochy dA svítící pod úhlem γ od normály této plochy, L_0 je jas plochy ve směru normály plochy dA , Ω je prostorový úhel, Ω_E je ekvivalentní prostorový úhel.

5.1.4. Prostorový úhel

Důležitá veličina užívaná pro výpočty světelné techniky. Představuje část prostoru, který je vymezen kuželovou plochou, jenž na kouli o poloměru r vytvoří plochu A . Vrchol takového kužele je ve středu koule. Velikost úhlu, pod kterým je ze středu koule vidět plocha A se počítá:

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

kde Ω je prostorový úhel, (sr), A je plocha vytvořená kuželem (m^2), r je poloměr koule (m).
Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr). Maximální prostorový úhel je když plocha A se rovná povrchu celé koule $A=4\pi r^2$. Jak se jeví ze vzorce výše maximální prostorový úhel je 4π .

5.2. Denní osvětlení

Za denní světlo se považuje extra-terestriální světlo, které dopadá na naši planetu, jehož hlavním zdrojem je Slunce.

5.2.1. Slunce

Základní údaje o Slunci, viz tabulka číslo 8 – základní údaje o Slunci.

5.2.2. Sluneční konstanta

Sluneční zářivá konstanta $E_{e,o}$ je ozáření plochy kolmé na sluneční paprsky ve vzdálenosti rovné střední vzdálenosti Země od Slunce. Byla určena komisí CIMO v roce 1981.

$$E_{e,o} = (1367 \pm 7) W \cdot m^{-2} = 1367 W \cdot m^{-2} \pm 0,5\%$$

Sluneční světelná konstanta byla pomocí funkce V , viz kapitola 3.2.3., určena vztahem:

$$E_{v,o} = K_m \cdot \int_0^{\infty} E_{e,o,\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda = 133\,800 \text{ lx}$$

kde $E_{e,o,v}$ je spektrální složení extra-terestriálního záření ve střední vzdálenosti od Slunce v rovině kolmé na sluneční paprsky.

5.2.3. Denní světlo

Denní světlo je viditelná část denního záření. Denní světlo rozdělujeme na dvě složky: na přímé sluneční záření a na oblohové záření. Sluneční světlo je viditelná část slunečního záření, která dopadá jako kolimovaný paprsek přímo na povrch Země, viz obrázek číslo 11 – Složky slunečního záření. Při průchodu atmosférou dochází k zeslabování tohoto světla, rozptylem, odrazem a pohlcením v atmosféře. Toto se děje různou měrou na různých vlnových délkách záření. Osvětlenost slunečními paprsky se určí vztahem:

$$E_{s,h} = E_{v,o} \cdot \cos \varepsilon \cdot e^{-a_v T_v m(\varepsilon)}$$

kde $E_{s,h}$ je osvětlenost v bodě horizontální roviny v daném místě na Zemi, $E_{v,o}$ je sluneční konstanta (viz výše), ε je úhel normály zemského povrchu a slunečních paprsků, a_v je světelný extinkční

koeficient čisté atmosféry, T_v je činitel zákalu atmosféry, $m(\varepsilon)$ je relativní optická vzduchová hmota atmosféry.

Hodnota světelného extinkčního koeficientu se udává $a_v = 1$. Hodnota světelného činitele zákalu atmosféry se liší podle umístění na zemi pro horské oblasti $T_v = 2,45$, pro roviny bez průmyslu $T_v = 3,3$ a pro průmyslové oblasti $T_v = 5,5$. Hodnota $m(\varepsilon)$ se odhaduje podle vzorce:

$$m(\varepsilon) = \frac{1}{\cos \varepsilon}$$

kde $m(\varepsilon)$ je relativní optická vzduchová hmota atmosféry a ε je úhel normály zemského povrchu a slunečních paprsků.

Oblohové světlo je viditelná část oblohového záření. Toto záření vzniká odrazy a rozptylem slunečního záření v atmosféře. Za oblohové světlo se také považuje světlo, které vzniklo odrazem mezi povrchem země a oblaky nebo jinde v atmosféře. Osvětlenost tímto světlem je nejmenší při hustě zatažené obloze a při obloze úplně jasné. Při mírné zataženosti nebo polojasné obloze se hodnota oblohového světla zvyšuje.

5.2.4. Denní osvětlenost

Denní osvětlenost je osvětlení, viz kapitola 5.1.5., způsobené denním světlem, respektive jeho oběma částmi. Proto se také setkáváme s názvem globální osvětlenost. Platí tedy jednoduchý vztah:

$$E_g = E_s + E_{ob}$$

kde E_g je globální (denní) osvětlenost (lx), E_s je osvětlenost přímým slunečním zářením (lx), E_{ob} je osvětlenost difúzním oblohovým světlem (lx).

5.2.5. Stav oblohy

Aby se měření denního osvětlení, viz kapitola 6.3, dala reprodukovat, definovala CIE několik stavů oblohy, při kterých se měření provádí. Prvním takovým stavem je zatažená obloha nad tmavým terénem (běžné terénní podmínky). Stav oblohy se určuje podle rozložení jasů. Nejjednodušší určení stavu této oblohy je poměr mezi jasem ve směru horizontu a jasem ve směru zenitu:

$$\frac{L_y}{L_z} = \frac{1}{3}$$

kde L_y je úhel jasu ve směru horizontu, L_z je jas ve směru zenitu.

Proto se také tento stav oblohy označuje jako obloha se stupněm gradace 1:3. Na obloze by nemělo být možno určit polohu Slunce, sluneční záření je takřka vyloučeno. Přesné rozložení jasu udává norma ČSN 73 0580-1.

Při zasněženém terénu je situace obdobná, pouze poměr hodnot jasu zenitu a jasu horizontu je roven 1:2. Obloha se často označuje jako obloha s gradací 1:2. Tento nárůst jasu horizontu zapříčiňuje odraz světla od zasněženého terénu. Tyto stavy oblohy určila CIE v roce 1955. V našich zeměpisných šířkách dochází k takovému stavu velmi zřídka, obvykle v období od listopadu do března.

Jasná obloha je taková obloha, která není nijak zatažena, a má rozložení jasu popsané v publikaci CIE č. 22/1973. Základní charakteristikou je, že jas je závislý na poloze Slunce nad horizontem a není rozložen rovnoměrně. Jasové minimum leží obvykle na meridiánu mezi polohou Slunce a zenitem v místě pozorovatele. Proti očekávání se jas u horizontu zvyšuje, což je způsobeno rozptylem světla o překážky na horizontu. Poměrný jas k zenitu oblohy ukazuje, viz obrázek číslo 12 – průběh poměrného jasu oblohy k jasů zenitu. Při jasné obloze dochází k rozptylu převážně světla s kratší vlnovou délkou, proto se také obloha jeví jako modrá.

Komplexní a systémový přístup k dennímu osvětlení je přímo vázán k vytvoření takových nástrojů, které by dokázaly oblohu standardizovat za každých podmínek. Jedna ze studií, která se k tomuto přiblížila, vznikla po dlouhodobém výzkumu oblohy ve Slovenské akademii věd (ÚSTARČH). Definovala patnáct různých stavů oblohy, u kterých nedefinovala pouze rozložení jasů, ale také stanovení absolutních hodnot jasů a podíl slunečního a oblohového osvětlení v horizontální rovině.

5.2.6. Činitel denní osvětlenosti

Činitel denní osvětlenosti je podíl osvětlenosti daného místa denním světlem a srovnávací osvětlenosti venkovní vodorovné plochy při předpokládaném nebo při známém rozložení jasu oblohy.

Účinky přímého slunečního světla jsou vyloučeny. Činitel se udává v procentech a stanoví se podle vztahu:

$$D = \frac{E_{int}}{E_{sr}} \cdot 100$$

kde D je činitel denní osvětlenosti, E_{int} je osvětlení měřené v interiéru a E_{sr} je srovnávací osvětlenost venkovní nezastíněné roviny.

Venkovní nezastíněnou rovinou je myšlena rovina, respektive místo roviny, ve které bude přijímáno oblohové světlo z celé oblohy. To znamená, že výhled na oblohu by měl být v celé hemisféře. Ideální místo měření venkovní srovnávací osvětlenosti je tedy střecha vysoké budovy. Celkový koeficient je složen ze tří částí, viz obrázek číslo 13 – složky denního osvětlení. Spočítá se tedy vztahem:

$$D = D_{ob} + D_e + D_i$$

kde D je činitel denní osvětlenosti, D_{ob} je jeho oblohová složka, D_e je jeho vnější odražená složka a D_i je jeho vnitřní odražená složka.

Jednotlivé složky koeficientu denní osvětlenosti stanovíme podle stejného vzorce jako celkový koeficient, přičemž nahrazujeme E_{int} vždy osvětlením daným příslušným osvětlením.

Například:

$$D_{ob} = \frac{E_{ob}}{E_{sr}} \cdot 100$$

kde E_{ob} je osvětlenost daného bodu přímo oblohou a E_{sr} je srovnávací osvětlenost venkovní nezastíněné roviny.

Ostatní složky osvětlení včetně přímého slunečního svitu jsou vyjmuty. Vnější odražená složka vzniká osvětlením daného bodu světlem odraženým mimo měřený interiér, například od vnější překážky. Vnitřní odražená složka vzniká všemi světelnými toky z exteriéru tedy včetně vnější odražené složky, které se k místu hodnocení dostanou po jednom či více odrazech od vnitřních ploch interiérů.

5.3. Umělé osvětlení

Umělé osvětlení je realizováno pomocí zdrojů umělého osvětlení, viz kapitola 5.. Jejich vhodným použitím by mělo být nahrazování denního světla v místech, kde ho není dostatek z důvodů překážek či nedostatku osvětlovacích prvků denního osvětlení, nebo umožňuje práci i v době, kdy denní světlo není k dispozici. Intenzita se volí podle předpokládané činnosti. Podrobný a přesný seznam činností a odpovídající intenzita osvětlení je obsažena v normě ČSN EN 12464-1. Intenzita nadále závisí na délce zrakového výkonu a rychlosti změn pozorovaného objektu. Hlavními objektivními parametry jsou rozložení jasů, osvětlenost, oslnění, barevné hledisko a míhání světla.

5.3.1. Rozložení jasů

Rozložení jasů je kvalitativní parametr. Ideální poměr rozložení jasů je 10:4:3, jedná se o poměr mezi místem zrakového úkolu, jeho blízkým okolím a vzdáleným okolím místa zrakového úkolu, viz obrázek číslo 14 – minimální rozměry bezprostředního okolí a okolí zrakového úkolu. Rozložení jasů, kromě adaptačních a akomodačních schopností oka, ovlivňuje především zrakovou pohodu. Velké kontrasty jasů tedy působí negativně na adaptaci oka, zatímco malé kontrasty jasů naopak vytváří psychicky nestimulující pracovní prostředí.

5.3.2. Osvětlenost

Osvětlenost v místě zrakového úkolu a jeho okolí má velký význam hlavně pro rychlost vykonávání zrakového úkolu. Přesné hodnoty jsou obsahem normy ČSN EN 12464-1. Osvětlenost se měří a její hodnoty musí odpovídat normám v rovině zrakového úkolu, která může být vodorovná nebo nakloněná. Jak bylo uvedeno v 2.6, normy jsou vyhodnoceny tak, aby odpovídaly fyziologickému stavu průměrně čtyřicetiletého pozorovatele. Hodnoty uvedené v normě musí být dodrženy bez ohledu na stáří osvětlovací soupravy. Osvětlenost bezprostředního okolí místa zrakového úkolu, viz obrázek číslo 14 – minimální rozměry bezprostředního okolí a okolí zrakového úkolu, musí splňovat hodnoty v příloze, tabulka číslo 9 – rovnoměrnost osvětlení a odpovídající si osvětlení místa zrakového úkolu a jeho bezprostředního okolí.

5.3.3. Oslnění

Ve vnitřních prostorech se jedná především o oslnění relativní, které je způsobené přímo zdrojem světla, svítidlem nebo jejich odrazem v lesklých površích. Oslnění se omezí tak, aby podle

kapitoly, viz kapitola 4.1.1.4., nezasahoval do zorného pole pozorovatele vykonávajícího zrakový úkol v místě měření.

5.3.4. Barevné hledisko

Z barevného hlediska nás zajímají dvě věci. První jsou barevné vlastnosti samotného zdroje, které úzce souvisí s kapitolou 4.2.2.. Druhé hledisko je index podání barev pod použitým zdrojem světla viz kapitola 4.2.4..

5.3.5. Míhání světla

Míhání světla může působit jako rušivý element a může ovlivňovat fyziologické pochody pozorovatele. Navíc na pracovištích s točivými nebo vratně pracujícími stroji může způsobovat nebezpečný stroboskopický jev.

5.4. Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je definováno jako použití umělého osvětlení při současném osvětlení denním světlem. Z hlediska působení na člověka se nachází mezi osvětlením umělým a přírodním. U stejných hodnot osvětlení se ukazuje rozdílná doba nástupu únavy pozorovatele při umělém a přírodním osvětlení. Aby byl zachován pozitivní příspěvek přírodního osvětlení, nesmí jeho podíl na celkové osvětlenosti klesnout pod hodnotu 5%. Denní složka se posuzuje podle normy ČSN 73 0580 a umělá podle normy ČSN EN 12464.

Z hlediska použití sdruženého osvětlení se prostor dělí na tři části, viz obrázek číslo 15 – Oblasti sdruženého osvětlení. Na část s vyhovujícím denním osvětlením, na oblast se sdruženým osvětlením, kde denní osvětlenost nevyhovuje normě 73 0580-1 a na část pouze s umělým osvětlením. Pro použití sdruženého osvětlení se musí brát v úvahu několik stavů oblohy: zatažená obloha podle CIE s osvětleností 5 000 lx, zatažená obloha podle CIE 20 000 lx a jasná obloha s přímým slunečním světlem.

Z hygienického pohledu jsou oblasti bez denního osvětlení nevhodné k trvalému pobytu. Každý člověk má podle mezinárodní listiny práva a svobod právo na denní kontakt s denním světlem.

Praktická část práce

6. Měření osvětlení

6.1. Základní ustanovení

Jako základní norma a předpis pro měření osvětlení vnitřních prostor slouží norma ČSN 36 0011-1, vydaná v březnu 2006. Tato norma obsahuje základní ustanovení pro měření denního, umělého a sdruženého osvětlení ve vnitřních prostorech budov. Uvádí měřicí postup, vlastnosti měřících přístrojů, způsoby vyhodnocení výsledků měření a obsah protokolu z měření. Podrobné postupy pro měření denního a umělého osvětlení jsou uvedeny v ČSN 36 0011-2 a ČSN 36 0011-3. Podle účelu měření a z toho vyplývajících požadavků na přesnost se rozděluje měření osvětlení vnitřních prostor podle kapitoly 4.1.2. z normy ČSN 36 0011-1.

6.2. Měřicí přístroje

Z hlediska požadavků a přesnosti měření osvětlení norma uvádí tři druhy měření: přesné, provozní a orientační. Technické požadavky na měřicí přístroje v závislosti na zvoleném druhu měření udává norma ČSN 36 0011-1. U měřících přístrojů musí být zohledněna spektrální citlivost pozorovatele podle CIE.

6.3. Měřené veličiny

Při měření ve vnitřních prostorech se volí u denního osvětlení a u denní složky u sdruženého osvětlení činitel (koeficient) denní osvětlenosti. Značí se D a jeho hodnota se udává v procentech. U měření umělého osvětlení nebo umělé složky sdruženého osvětlení se měří hodnota osvětlenosti, značená E udávaná v lx. Nadále se měří jasy ploch v zorném poli uživatelů vnitřního prostoru, hodnota se udává v $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. U jednotlivých měření se mohou měřit další pomocné veličiny například: činitel odrazu světla důležitých povrchů, činitel prostupu světla materiálů propouštějících světlo, činitel znečištění a další veličiny. Tyto veličiny se měří podle postupu v normě ČSN 36 0011-2, kapitoly 4.8 a 4.9.

6.4. Rozšířená nejistota

Pro zvýšení pravděpodobnosti, že naměřená hodnota je v intervalu nejistoty, zavádí se rozšířená standardní nejistota U .

$$U = k_u \cdot u_c \%$$

kde U je standardní rozšířená nejistota, k_u je koeficient rozšíření a u_c je kombinovaná nejistota.

V našem případě předpokládáme $k_u = 2$, protože předpokládáme normální – Gaussovo rozložení chyb. Kombinovaná nejistota se stanoví.

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \%$$

kde u_c je kombinovaná nejistota, u_A je směrodatná odchylka střední hodnoty z výběrového souboru dat a u_b je nejistota typu B. Hodnota u_a je směrodatná odchylka střední hodnoty z výběrového souboru dat. Vypočte se:

$$u_A = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \%$$

kde x_i je naměřená hodnota, \bar{x} je průměr výběrového souboru, n je počet opakování měření. Hodnota se získává opakováním měření, které se však pro náš zvolený druh normou ČSN 36 0011-1 nedoporučuje.

Nejistota u_B , tedy celková nejistota typu B, získá se sečtením dílčích nejistot podle vzorce:

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + \dots + u_{Bn}^2}$$

kde u_{b1-n} jsou dílčí nejistoty a u_b je nejistota typu B.

Normy ČSN 36 0011-2 a ČSN 36 0011-3 udávají, které dílčí nejistoty měření ovlivňují. Na základě těchto norem a hodnot známých pro naše měření jsem stanovil hodnotu standardní nejistoty měření U_d pro měření denního osvětlení a hodnotu U_u pro umělé osvětlení.

$$U_d = 19,43 \%$$

$$U_u = 13,26 \%$$

Nejistota kalibrací přístroje je výrobcem stanovena na $u_B = 3\%$. Nejistotu chybou umístění luxmetru jsem odhadl na $u_B = 2\%$. Nejistotu chyby výškového umístění luxmetru jsem pokusem odhadl na $u_B = 1\%$. Tyto chyby se promítají do měření jak denního tak umělého osvětlení. Do celkové nejistoty měření denního osvětlení se dále započítávají nejistoty časového souběhu vnějšího srovnávacího měření a měření v interiéru $u_B = 0,2\%$ a nejistotu měření vycházející z nerovnoměrnosti zatažení oblohy jsem odhadl na $u_B = 4\%$. Umělé osvětlení dále zahrnuje nejistotu z kolísání napětí světelných zdrojů. Napětí se u námi zvoleného typu měření neměří, proto jsme chybu nezapočítávali.

Na základě tohoto a kapitoly 6. 9. jsem do nákrešů výsledků měření barevně označil červeně nevyhovující body, zeleně vyhovující body a oranžové body jsou ty, u kterých interval nejistoty měření překračuje hodnotu osvětlení danou normami a nelze u nich tedy tvrdit, že jsou určitě vyhovující či určitě nevyhovující. Toto platí, pokud není před odkazem na nákres řečeno jinak.

6.5. Výběr kontrolních bodů

Výška kontrolních bodů se volí podle účelu nebo druhu použití vnitřního prostoru. Výška měření nad podlahou je označena srovnávací rovina. Je dána normou pro daný prostor nebo výškou pracovních ploch umístěných v prostoru anebo má hodnotu 0,85 m. Pro posuzování činitele denního osvětlenosti se krajní body umístí 1 m od vnitřních povrchů stěn a ve vymezeném prostoru se navrhne pravoúhlá čtvercová síť (nebo síť tomuto stavu se blížící) s oky od 1m do 6m. Velikost sítě se volí podle velikosti měřeného prostoru nebo podle požadované přesnosti. Pro zjištění průměrné osvětlenosti se měřicí body umísťují do středu těchto ploch. Stejný postup se volí i při měření místa zřakového úkolu (pracovní místo) pouze s tím rozdílem, že se volí menší rozteč kontrolních bodů. Při jiném než pravoúhlém půdorysu se kontrolní body rozmístí tak, aby co nejvíce postihovali problematiku osvětlení v daném prostoru. Při symetričnosti vnitřního prostoru je možné redukovat počet kontrolních bodů, například měřit pouze jednu polovinu místnosti. Při speciálních požadavcích pracovního výkonu se měří i na jiné než vodorovné srovnávací rovině. Ta se volí podle roviny pracovního místa. Pro měření jasů se předpokládají dvě standardní výšky pozorovatele. 150 cm pro stojícího a 120 cm nad podlahou pro sedícího pozorovatele.

6.6. Postup měření

Před měřením se kontrolují měřicí přístroje, kontroluje se především stav a funkce. Osvětlovací soustavy měřeného prostoru se uvedou do stavu běžného používání. To se týká i zařízení regulující osvětlení. Zamezí se ovlivnění měření cizím světlem. Během měření je třeba, vzhledem ke zvolené přesnosti měření, dbát na správnou polohu luxmetru. Po zapnutí přístroje nebo po vystavení tmě je třeba dbát na dodržení adaptační doby přístroje. To je doba, po které se už měřená hodnota stálého osvětlení nemění. Při přesných měřeních se měření opakuje nejméně čtyřikrát, při provozním měření se opakování nedoporučuje.

6.6.1. Denní osvětlení

Měření denního osvětlení se provádí při zatažené obloze podle CIE, viz kapitola 5.1.5. Hodnoty vnější srovnávací osvětlenosti by měli pro jednotlivá měření vyhovovat normě ČSN 36 0011-2. Jako výsledné hodnoty se zapisují koeficienty denní osvětlenosti, viz kapitola 6.6.

6.6.2. Umělé osvětlení

Měří se co možná při největším odstínění jiného než měřeného osvětlení, hlavně tedy osvětlení z exteriéru, z vedlejších místností apod..

6.7. Měření činitele odrazu světla

S naším vybavením se podle normy ČSN 36 0011-1 : 4.7.1. b, měří osvětlenost daného povrchu a hodnota osvětlenosti čidlem obráceným k povrchu ve vzdálenosti pětinašobku průměru měřicí hlavice. Hodnota činitele odrazu se poté spočítá jako podíl naměřených hodnot:

$$\rho = \frac{E_p}{E_o}$$

kde ρ je činitel odrazu, E_p je osvětlenost povrchu a E_o je osvětlenost odražená.

6.8. Vyhodnocení měření

Naměřené hodnoty se upraví podle hodnot udaných výrobcem měřících přístrojů (například korekce teplotní chyby, kalibrace) tak, aby se omezily chyby měření a výsledky se co nejlépe přiblížily skutečnosti. Naměřené hodnoty se zapisují buď do tabulky, ale tak aby bylo možné přesně určit místo měření nebo se vepisují přímo do nákresu. Do nákresu se doporučuje zakreslit v případě denního osvětlení izofoty, v případě umělého osvětlení izoluxy. U obou typů měření se určují minimální, průměrná a maximální hodnota osvětlení nebo činitel denní osvětlenosti buď celé místnosti, nebo jejího funkčně vymezeného prostoru. Po korekci se naměřené hodnoty porovnají s platnými normami. Na závěr se uvede, zda podmínky osvětlení odpovídají. Pokud ne, uvede se návrh na zlepšení.

6.9. Posuzování

Hodnoty se posuzují:

Zjištěná hodnota i celý interval rozšířené nejistoty +/- U sledovaného parametru (dále pouze interval) je nad požadovaným limitem - stav vyhovující.

Hodnota s intervalem pod požadovaným limitem - stav nevyhovující.

Hodnota je nad požadovaným limitem, ale spodní mez intervalu je pod limitem - nelze tvrdit, že je hodnota vyhovující.

Hodnota pod limitem a mez intervalu přesahuje limit - nelze tvrdit, že stav je nevyhovující. V posledních dvou případech se doporučí přesnější měření.

6.10. Protokol měření

Protokol o měření by měl obsahovat jednotlivé části podle zvoleného druhu měření, jak udávají příslušné normy ČSN 36 0011-1, pro denní osvětlení norma ČSN 36 0011-2 a pro umělé osvětlení norma ČSN 36 0011-3.

7. Pomůcky k měření

K měření, které jsem prováděl, jsem používal několik přístrojů. Chronometr ke zjištění času měření. Metr k zjištění rozměrů měřeného prostoru a k orientaci rozvržených bodů měření. Luxmetr k měření intenzity osvětlení. Ke komunikaci pracovníků provádějících měření sloužily mobilní telefony.

7.1. Luxmetr

Více o luxmetru v kapitole 3.6.2.. K měření byly použity dva přístroje. Oba přístroje byly shodné, jednalo se o typ testo 540. Luxmetry jsou kalibrované pro spektrální citlivost shodnou s fotopickým viděním člověka. Výrobce udává rozsah teploty měření od 0°C do 50°C, což bylo při všech měřeních splněno. Měřicí rozsah přístroje je výrobcem udáván od 0 do 99 999Lx. Při měření denního osvětlení jeden z přístrojů měřil venkovní srovnávací hodnotu osvětlení, pro toto měření je normou ČSN předepsán rozsah luxmetru minimálně 100 000 lx. Svou nepřesností je zařazen do třídy B, výrobce udává nepřesnost +/- 3%. Při měření od 0 do 19 999 lx přístroj zobrazuje s rozlišením 1 lx. Od 19 999 lx výš ukazuje s rozlišením 10 lx. Všechny zmíněné technické parametry udává výrobce. Luxmetr tedy odpovídá požadavkům norem ČSN 36 0011-1, ČSN 36 0011-2 a ČSN 36 0011-3.

7.2. Metr

Pomocný měřicí přístroj na změření prostor a získání plánek půdorysů a rozmístění nábytku. Přístroj byl BOSCH GLM 80 Professional. Nepřesnost měření výrobce udává na +/- 2mm. Vzhledem k celkové přípustné chybě našeho zvoleného typu měření je tato chyba zcela zanedbatelná.

8. Popis a hodnocení podmínek osvětlení ve vybraných prostorech 1. lékařské fakulty UK v Praze

8.1. Anatomický ústav

První čtyři měřené prostory se nachází v Anatomickém ústavu 1. lékařské fakulty UK v Praze. Objekt se nachází na adrese U Nemocnice 3, Praha 2. Všechny měřené prostory se nachází v přízemí objektu. Okolí budovy znázorňuje náčrt číslo 1. V náčrtu je načrtnuta poloha měřených prostor. Objekt se nachází v zastavěné části poblíž centra města. Vzhledem k nízkému umístění měřených prostor je denní světlo limitováno okolními překážkami.

8.1.1. Anatomický ústav – studovna „Rohovka“

První z měřených místností je tzv. „Rohovka“. Jedná se o místnost v jihozápadním rohu budovy. Učebna je v přízemí. Vnější rozměry a umístění vybavení, viz náčrt číslo 2. Výška stropu $h_s = 5$ m. Stěny a strop učebny jsou bílé, činitel odrazu světla je $\rho_{ss} = 0,7$. Podlaha v učebně je z dřevěných parket. Činitel odrazu světla je $\rho_{pod} = 0,34$.

8.1.1.1. Osvětlení

Místnost je osvětlena 13 svítidly spojenými v komplex. Každé svítidlo obsahuje dvojici zářivek Philips 58W/33-640. Osvětlení je umístěno ve výšce $h_o = 3,9$ m. Vzhledem k různorodosti svítidla jsem naměřil dva různé úhly clonění. Úhel clonění v podélném směru $\delta_{pod} = 34,4^\circ$ a ve směru kolmém na umístění zářivek ve svítidle $\delta_{kol} = 75^\circ$.

Denním světlem je místnost osvětlena pomocí šestice oken. Tvar a rozměry okna, viz náčrtek číslo 3. Průměrný činitel prostupu denního světla oken jsem získal z měření v tomto a následujícím prostoru „Studovna“. Jeho hodnotu jsem určil $T = 0,7$. Hodnota činitele znečištění vnějšího povrchu $C_{ext} = 0,88$. Hodnota činitele znečištění vnitřního povrchu $C_{int} = 0,97$. Celková hodnota je $C = 0,91$. Všechna okna jsou vybavena neprůsvitnými roletami, jejichž výška zakrytí okna se dá plynule regulovat, ovládají se z jednoho místa.

8.1.1.2. Srovnávací rovina a síť kontrolních bodů

Výšku srovnávací roviny jsem přizpůsobil místnímu vybavení, to znamená výšce lavic v místnosti, $h = 0,75$. Do učebny jsem umístil 72 kontrolních bodů v pravoúhlé síti se stranou čtverce jeden metr.

8.1.1.3. Kladené požadavky

Místnost je určena jako učebna. Podle normy ČSN 73 0580-3 jde o učebnu víceúčelovou. Jedná se o prostor, kde hlavní zrakový úkol odpovídá IV třídě zrakové činnosti. Hlavní zrakový úkol je čtení a psaní.

8.1.1.4. Denní osvětlení

Konkrétní hodnoty denního osvětlení udává norma ČSN 73 0580-3. Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti je $D_{min} = 1,5\%$. Maximální hodnota $D_{max} = 5\%$. Při bočním osvětlení (odpovídá našemu prostoru) je požadována rovnoměrnost osvětlení $r = 0,2$.

8.1.1.5. Umělé osvětlení

Předepsané hodnoty obsahuje norma ČSN 12464-1. Udržovaná osvětlenost značená $\overline{E_m} = 300$ lx. Požadavek na minimální rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,6$. Index podání barev by měl být minimálně $R_a = 80$.

8.1.1.6. Výsledky měření

8.1.1.6.1. Denní osvětlenost

Hodnoty činitele denní osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech, viz náčrty číslo 4. Izofoty, viz náčrty číslo 5. Hodnoty minimální denní osvětlenosti v učebně jsou podle provedeného měření $D_{\min} = 1,06\%$. Tato hodnota neodpovídá požadavkům normy ČSN 73 0580-3 (dále jen norma). Kontrolní bod této hodnoty se však nenalézá ve funkčně vymezené části prostoru. Minimum činitele denní osvětlenosti ve funkčně vymezeném prostoru je $D_{\min} = 1,32\%$. Tato hodnota také neodpovídá normě, ale interval standardní nejistoty měření přesahuje horní hranici meze určenou normou. Nelze tvrdit, že stav je nevyhovující. Maximální hodnota činitele denní osvětlenosti je $D_{\max} = 3,86\%$. Tato hodnota normě vyhovuje.

8.1.1.6.2. Umělé osvětlení

Hodnoty osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech, viz náčrty 6. Izoluxy, viz náčrty 7. Minimální hodnota osvětlení byla naměřena $E = 144$ lx, ve funkčně vymezených prostorech poté $E = 304$ lx. První minimální hodnota normu ČSN 12464-1 nespĺňuje, druhá ji splňuje, ale interval rozšířené nejistoty měření zasahuje i pod normou určenou hodnotu. Rovnoměrnost osvětlení ve funkčně vymezeném prostoru byla stanovena na $U_o = 0,61$. Tato hodnota odpovídá požadavkům normy. Index podání barev je výrobcem udán na $R_a = 60$, viz označení světelných zdrojů.

8.1.1.7. Závěr a doporučení

Studovna „Rohovka“ splňuje základní kritéria udaná normami. Na základě hodnot vycházejících z našeho měření nemůžeme tvrdit, že prostor nevyhovuje požadavkům norem. Jediný parametr, kde není dodržena norma, je index podání barev R_a . Doporučení se tedy týká výměny zdrojů světla po skončení jejich užitečné životnosti za zdroje s vyšším indexem podání barev. V případě provádění rekonstrukce či jiných stavebních prací, doporučil bych přidat bodové osvětlení pro učitelský stůl, který se nachází nejdále od centrálního svítidla místnosti.

8.1.2. Studovna

Druhý z měřených prostor je tzv. „Studovna“. Místnost je u jižní stěny budovy a nachází se v přízemí. Vnější rozměry a umístění vybavení viz nákres číslo 8. Výška stropu $h_s = 5,05$ m. Stěny a strop učebny jsou bílé, činitel odrazu světla je $\rho_{ss} = 0,7$. Podlaha v učebně je z dřevěných parket. Činitel odrazu světla je $\rho_{pod} = 0,34$.

8.1.2.1. Osvětlení

Místnost je osvětlena 6 svítidly spojenými v komplex. Každé svítidlo obsahuje dvojici zářivek Philips 58W/33-640. Osvětlení je umístěno ve výšce $h_o = 4,05$ m. Vzhledem k různorodosti svítidla jsem stanovil dva různé úhly clonění. Úhel clonění v podélném směru $\delta_{pod} = 34,4^\circ$ a ve směru kolmém na umístění zářivek ve svítidle $\delta_{kol} = 75^\circ$.

Učebna má tři okna. Tvar a rozměry okna, viz nákres číslo 3. Průměrný činitel prostupu denního světla oken jsem získal z měření v tomto a předcházejícím prostoru „Rohovka“. Jeho hodnotu jsem určil $T = 0,7$. Hodnota činitele znečištění vnějšího povrchu $C_{ext} = 0,88$. Hodnota činitele znečištění vnitřního povrchu $C_{int} = 0,97$. Celková hodnota je $C = 0,91$. Všechna okna jsou vybavena neprůsvitnými roletami, jejichž výška zakrytí okna se dá plynule regulovat, ovládají se z jednoho místa.

8.1.2.2. Srovnávací rovina a síť kontrolních bodů

Výšku srovnávací roviny jsem přizpůsobil místnímu vybavení, to znamená výšce lavic v místnosti $h = 0,75$ m. Do učebny jsem umístil 42 kontrolních bodů v pravoúhlé síti se stranou čtverce jeden metr.

8.1.2.3. Kladené požadavky

Stejně jako kapitola 8.1.1.3..

8.1.2.3.1. Denní osvětlení

Konkrétní hodnoty denního osvětlení udává norma ČSN 73 0580-3. Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti je $D_{\min} = 1,5\%$. Maximální hodnota $D_{\max} = 5\%$. Při bočním osvětlení (odpovídá našemu prostoru) je požadována rovnoměrnost osvětlení $r = 0,2$.

8.1.2.3.2. Umělé osvětlení

Předepsané hodnoty obsahuje norma ČSN 12464-1. Udržovaná osvětlenost značená $\overline{E}_m = 300$ lx. Požadavek na minimální rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,6$. Index podání barev by měl být minimálně $R_a = 80$.

8.1.2.4. Výsledky měření

8.1.2.4.1. Denní osvětlenost

Hodnoty činitele denní osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech, viz nákres číslo 9. Izofoty, viz nákres číslo 10. Hodnoty minimální denní osvětlenosti v učebně jsou podle provedeného měření $D_{\min} = 1,07\%$. Tato hodnota neodpovídá požadavkům normy ČSN 73 0580-3 (dále jen norma). Kontrolní bod této hodnoty se nenalézá ve funkčně vymezené části prostoru. Minimum činitele denní osvětlenosti ve funkčně vymezeném prostoru je $D_{\min} = 1,67\%$. Tato hodnota splňuje požadavky normy. Interval standardní nejistoty zasahuje i pod hodnotu určenou normou. Nelze tedy tvrdit, že prostor je vyhovující. Maximální hodnota činitele denní osvětlenosti je $D_{\max} = 4,23\%$. Tato hodnota normě vyhovuje.

8.1.2.4.2. Umělé osvětlení

Hodnoty osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech, viz nákres 11. Izoluxy, viz nákres 12. Minimální hodnota osvětlení byla naměřena $E = 196$, která se nalézá ve funkčně vymezeném prostoru. Hodnota normy ČSN 12464-1 nespĺňuje. Rovnoměrnost osvětlení ve funkčně vymezeném prostoru byla stanovena na $U_o = 0,57$. Tato hodnota neodpovídá požadavkům normy, ale interval rozšířené nejistoty měření obsahuje hodnotu uvedenou normou. Index podání barev je výrobcem udán na $R_a = 60$, viz označení světelných zdrojů.

8.1.2.5. Závěr a doporučení

„Studovna“ nevyhovuje základním kritériím udanými normami. Na základě hodnot vycházejících z našeho měření můžeme potvrdit, že některé části funkčně vymezeného prostoru nesplňují požadavky norem z hlediska intenzity osvětlení, jedná se především o místa v zadní řadě lavic, kde je intenzita osvětlení zmenšena tím, že stěna s relativně vysokým činitelem odrazu světla je zakryta nábytkem. Stejně jako v předcházející místnosti index podání barev R_a také neodpovídá hodnotě stanovené normou. Doporučuji výměnu zdrojů světla po skončení jejich užitečné životnosti za zdroje s vyšším indexem podání barev a s vyšší svítivostí.

8.1.3. Rohová pitevna

Třetí z měřených místností je tzv. „Rohová pitevna“. Jedná se o místnost v jihovýchodním rohu budovy. Pitevna je v přízemí. Vnější rozměry a umístění vybavení, viz nákres číslo 13. Výška stropu $h_s = 5$ m. Stěny pitevny jsou do výšky 1,8 m obloženy keramickou dlažbou modrozelené barvy, činitel odrazu světla je $\rho_{dl} = 0,58$. Od této výšky jsou stěny bílé stejné jako strop. Jejich činitel odrazu světla $\rho_{ss} = 0,7$. Podlaha v učebně je zeleně lakovaný beton. Její činitel odrazu světla je $\rho_{pod} = 0,34$.

8.1.3.1. Osvětlení

Místnost je vybavena třemi druhy umělého osvětlení. Hlavním zdrojem umělého světla jsou nad každým pitevním stolem tři páry zářivek Philips TLD 58W/840 New generation. Index podání barev je tedy $R_a = 80$ a náhradní teplota chromatičnosti 4 000 K. Tento druh osvětlení je umístěn ve výšce $h_o = 2,36$ m. Vzhledem ke konstrukčním vlastnostem svítidel nebylo možné určit úhel clonění. Druhým osvětlovacím systémem jsou na nákrese světla na zdi. V nich je umístěna blíže nespecifikovaná zářivka. Tento typ osvětlení nemá úhel clonění, celý jeho povrch obrácený do prostoru je tvořen refraktorem z průsvitného materiálu. Třetím systémem, na nákrese značen tmavě modře, jsou baktericidní lampy. Systém je chráněn proti neoprávněnému použití či náhodnému zapnutí.

Denním světlem je místnost osvětlena pomocí šesti oken. Tvar a rozměry okna viz nákres číslo 3. Průměrný činitel prostupu denního světla oken jsem získal z měření v tomto a následujícím prostoru „Pitevna - nudle“. Jeho hodnotu jsem určil $T = 0,7$. Hodnota činitele znečištění vnějšího povrchu $C_{ext} = 0,96$. Hodnota činitele znečištění vnitřního povrchu $C_{int} = 0,73$. Celková hodnota je $C = 0,95$. Okna jsou vybavena vnitřními žaluziemi, které byly při měření plně otevřené.

8.1.3.2. Srovnávací rovina a síť kontrolních bodů

Výšku srovnávací roviny jsem přizpůsobil místnímu vybavení, to znamená ve výšce pitevních stolů $h = 0,77$ m. Do učebny jsem umístil 81 kontrolních bodů v pravouhlé síti se stranou čtverce jeden metr (jeden jsem pro stálou překážku vyškrtl).

8.1.3.3. Kladené požadavky

8.1.3.3.1. Denní osvětlení

Pitevna je druh místnosti, který se v normě ČSN 73 0580-3 neuvádí, proto jsem se rozhodl zařadit pitevnu do skupiny laboratoří a dílen pro jemnou práci. Třída zrakového činnosti má stupeň III. Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti je $D_{\min} = 2\%$. Maximální hodnota $D_{\max} = 6\%$. Při bočním osvětlení (odpovídá našemu prostoru) je požadována rovnoměrnost osvětlení $r = 0,2$.

8.1.3.3.2. Umělé osvětlení

Z hlediska normy ČSN 12464-1 lze prostory piteven zařadit do několika skupin, protože norma neuvádí pitevnu jako součást vzdělávacího zařízení. V tabulce vzdělávacích zařízení nalézáme místnost pro praktickou výuku a laboratoře, která klade následující hodnoty. Udržovaná osvětlenost značená $\overline{E}_m = 500$ lx. Požadavek na minimální rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,6$. Index podání barev by měl být minimálně $R_a = 80$. V tabulce zdravotnických prostor se celkové osvětlení pitevny liší pouze v požadovaném minimálním indexu podání barev $R_a = 90$. Zvyšuje však požadavky na osvětlení pitevního stolu, kde zůstává index podání barev, ale zvyšuje se hodnota minimální intenzity osvětlení na $\overline{E}_m = 5\,000$ lx.

8.1.3.4. Výsledky měření

8.1.3.4.1. Denní osvětlenost

Hodnoty činitele denní osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech viz nákres číslo 14. Izofoty viz nákres číslo 15. Hodnoty minimální denní osvětlenosti v učebně jsou podle provedeného měření $D_{\min} = 1,72\%$. Tato hodnota neodpovídá požadavkům normy ČSN 73 0580-3 (dále jen norma). Kontrolní bod této hodnoty se však nenalézá ve funkčně vymezené části prostoru. Minimum činitele denní osvětlenosti ve funkčně vymezeném prostoru je $D_{\min} = 1,99\%$. Tato hodnota také neodpovídá normě, ale interval standardní nejistoty měření přesahuje horní hranici meze určenou normou. Nelze

tvrdit, že stav je nevyhovující. Maximální hodnota činitele denní osvětlenosti je $D_{\max} = 8,92\%$. Tato hodnota normu překračuje.

8.1.3.4.2. Umělé osvětlení

Hodnoty osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech viz nákres 16. Izoluxy viz nákres 17. Minimální hodnota osvětlení byla naměřena $E = 338 \text{ lx}$, která se však nenalézá ve funkčně vymezeném prostoru. Hodnota normu ČSN 12464-1 nespĺňuje. Minimální hodnota změřená ve funkčně vymezeném prostoru je $E = 1118 \text{ lx}$. Rovnoměrnost osvětlení ve funkčně vymezeném prostoru byla stanovena na $U_0 = 0,81$. Tato hodnota normu splňuje. Index podání barev je výrobcem udán na $R_a = 80$, viz označení světelných zdrojů. Tato hodnota také normu splňuje. Hodnoty pitevního stolu viz níže.

8.1.3.5. Závěr

Místnost zcela vyhovuje podmínkám normy ČSN 12464-1 pro učebnu pro praktickou výuku nebo laboratoř. Při klasifikaci prostoru jako zdravotnické pitevny stejné normě nevyhovují intenzity osvětlení pitevního stolu, viz níže, ani index podání barev, který norma vyžaduje $R_a = 90$. Zdravotnická nebo soudní pitevna však vyžaduje mnohem větší nároky na identifikaci malignit a barevné různorodosti, proto bych upřednostnil klasifikaci prostoru jako učebny pro praktickou výuku, které podle měření zcela vyhovuje.

8.1.4. Pitevna - Nudle

Čtvrtá z měřených místností je pitevna zvaná „Nudle“. Jedná se o místnost u východní zdi budovy. Pitevna je v přízemí. Vnější rozměry a umístění vybavení, viz nákres číslo 18. Výška stropu $h_s = 5 \text{ m}$. Stěny pitevny jsou do výšky 1,8 m obloženy keramickou dlažbou modrozelené barvy, činitel odrazu světla je $\rho_{dl} = 0,58$. Od této výšky jsou stěny bílé stejně jako strop. Jejich činitel odrazu světla je $\rho_{ss} = 0,7$. Podlaha na pitevně je zeleně lakovaný beton. Činitel odrazu je $\rho_{pod} = 0,34$.

8.1.4.1. Osvětlení

Místnost je vybavena třemi druhy umělého osvětlení. Hlavním zdrojem umělého světla jsou nad každým pitevním stolem tři páry zářivek Philips TLD 58W/840 New generation. Index podání

barev je tedy $R_a=80$ a náhradní teplota chromatičnosti 4 000 K. Tento druh osvětlení je umístěn ve výšce $h_o = 2,36\text{m}$. Vzhledem ke konstrukčním vlastnostem svítidel nebylo možné určit úhel clonění.

Druhým osvětlovacím systémem jsou světla na zdi, viz nákres 18. V nich je umístěna blíže nespecifikovaná zářivka. Tento typ osvětlení také nemá úhel clonění, celý jeho povrch obrácený do prostoru je tvořen refraktorem z průsvitného materiálu. Třetím systémem, na nákresu značen tmavě modře, jsou baktericidní lampy. Systém je chráněn proti neoprávněnému použití či náhodnému zapnutí.

Denním světlem je místnost osvětlena pěti okny. Tvar a rozměry okna, viz nákres číslo 3. Průměrný činitel prostupu denního světla oken jsem získal z měření v tomto a předchozím prostoru „Rohová pitevna“. Jeho hodnotu jsem určil $T = 0,7$. Hodnota činitele znečištění vnějšího povrchu $C_{ext} = 0,96$. Hodnota činitele znečištění vnitřního povrchu $C_{int} = 0,73$. Celková hodnota je $C = 0,95$. Okna jsou vybavena vnitřními žaluziemi.

8.1.4.2. Srovnávací rovina a síť kontrolních bodů

Výšku srovnávací roviny jsem přizpůsobil místnímu vybavení, to znamená výšce pitevních stolů $h = 0,77\text{ m}$. Do učebny jsem umístil 70 kontrolních bodů v pravouhlé síti se stranou čtverce jeden metr.

8.1.4.3. Kladené požadavky

Stejně jako „Rohová pitevna“ viz kapitola 8.1.3.3..

8.1.4.4. Výsledky měření

8.1.4.4.1. Denní osvětlenost

Hodnoty činitele denní osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech viz nákres číslo 19. Izofoty viz nákres číslo 20. Hodnoty minimální denní osvětlenosti v učebně jsou podle provedeného měření $D_{min} = 0,87\%$. Tato hodnota neodpovídá požadavkům normy ČSN 73 0580-3 (dále jen norma). Kontrolní bod této hodnoty se nenalézá ve funkčně vymezené části prostoru. Minimum činitele denní osvětlenosti ve funkčně vymezeném prostoru je $D_{min} = 1,72\%$. Tato hodnota také neodpovídá normě. Maximální hodnota činitele denní osvětlenosti je $D_{max} = 5,96\%$. Tato hodnota normě vyhovuje, ale interval její rozšířené nejistoty měření normu překračuje, nelze tedy tvrdit, že je vyhovující.

8.1.4.4.2. Umělé osvětlení

Hodnoty osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech, viz nákres 21. Izoluxy, viz nákres 22. Minimální hodnota osvětlení byla naměřena $E = 496 \text{ lx}$, která se však nenalézá ve funkčně vymezeném prostoru. Hodnotu udanou normou ČSN 12464-1 má zahrnutou v intervalu rozšířené nejistoty měření. Minimální hodnota změřená ve funkčně vymezeném prostoru je $E = 940 \text{ lx}$, která hodnotu udanou normou pro praktickou učebnu jednoznačně převyšuje. Rovnoměrnost osvětlení ve funkčně vymezeném prostoru byla stanovena na $U_o = 0,69$. Tato hodnota normu splňuje. Index podání barev je výrobcem udán na $R_a = 80$, viz označení světelných zdrojů, také normu splňuje. Hodnoty pitevního stolu viz níže.

8.1.4.5. Závěr

Stejně jako předešlý prostor i tento zcela vyhovuje podmínkám normy ČSN 12464-1 pro učebnu pro praktickou výuku nebo laboratoř. Při klasifikaci prostoru jako zdravotnické pitevny stejně normě nevyhovují intenzity osvětlení pitevního stolu, viz níže, ani index podání barev, který norma vyžaduje $R_a = 90$. Zdravotnická nebo soudní pitevna však vyžaduje mnohem větší nároky na identifikaci malignit a barevné různorodosti, proto bych upřednostnil klasifikaci prostoru jako učebny pro praktickou výuku, které podle měření zcela vyhovuje.

8.2. Ústav vědeckých informací

Další tři měřené prostory se nachází na Ústavu vědeckých informací 1. Lékařské fakulty UK v Praze. Objekt je na adrese U Nemocnice 4, Praha 2. Všechny měřené prostory se nachází v druhém patře objektu. Vzhledem k tomu, že prostory jsou v druhém patře budovy a terén se na této jižní straně budovy svažuje, nedochází k výraznějšímu zastínění denního světla okolními překážkami.

8.2.1. Studovna, dveře č. 2.03

První měřený prostor Ústavu vědeckých informací je denní studovna, dveře číslo 2.03. Jedná se o místnost v druhém patře u jižní strany budovy. Vnější rozměry a umístění vybavení viz nákres číslo 23. Výška stropu $h_s = 3,65 \text{ m}$. Stěny a strop učebny jsou bílé, činitel odrazu světla je $\rho_{ss} = 0,88$. Podlaha v učebně je z dřevěných parket. Činitel odrazu světla je $\rho_{pod} = 0,34$.

8.2.1.1. Osvětlení

Místnost je osvětlena šesti svítidly (v dalších místnostech označeno typem A) viz nákres 23. Denním světlem je místnost osvětlena třemi okny. Tvar a rozměry okna, viz nákres číslo 24. Průměrný činitel prostupu denního světla oken jsem získal z měření ve všech měřených prostorech ústavu vědeckých informací. Jeho hodnotu jsem určil $T = 0,72$. Hodnota činitele znečištění vnějšího povrchu $C_{ext} = 0,89$. Hodnota činitele znečištění vnitřního povrchu $C_{int} = 0,98$. Celková hodnota je $C = 0,93$. Okna jsou vybavena vnitřními žaluziemi.

8.2.1.2. Srovnávací rovina a síť kontrolních bodů

Výšku srovnávací roviny jsem přizpůsobil místnímu vybavení, to znamená výšce stolů určených pro čtení $h = 0,70\text{m}$. Do studovny jsem umístil 37 kontrolních bodů v pravouhlé síti se stranou čtverce jeden metr.

8.2.1.3. Kladené požadavky

Místnost je určena převážně pro práci s počítači. DSE jsou na nákresech 23 a 25 zobrazeny tmavě modrou. Osvětlení musí být umístěno tak, aby se zabránilo odrazům s velkou jasností. S tímto se musí počítat již při projektování. Studovna musí splňovat požadavky ostatních činností. Proto jsem ji zařadil stejně jako dvě následující místnosti do skupiny čítárny a studovny. Norma ČSN 73 0580-3 požaduje u prostor určených jako studovna nebo čítárna minimální činitel denní osvětlenosti $D_{min} = 1,5\%$ s třídou zrakové činnosti IV. To splňuje jen velmi malá část místnosti. Proto jsem místnost určil jako prostor se sdruženým osvětlením podle normy ČSN 36 0020. Nároky oblasti se sdruženým osvětlením stanovuje norma tak, aby osvětlenost v jednotlivých bodech splňovala minimální intenzitu podle normy o umělém osvětlení ČSN 12464-1. Ta určuje minimální hodnotu udržované osvětlenosti $\overline{E}_m = 200\text{ lx}$ pro prostory knihovny a $\overline{E}_m = 500\text{ lx}$ pro místa určená pro čtení. Místa určená pro čtení jsou posuzována zvlášť dále. Rovnoměrnost osvětlení pak musí dosahovat $U_o = 0,6$. Index podání barev pak minimálně $R_a = 80$.

8.2.1.4. Výsledky měření

Vzhledem k podobným vlastnostem a rozměrům místnosti s místností číslo 2.05 jsem ověřil pouze dostatečnost osvětlení v kontrolních bodech podle normy ČSN 12464-1. Tyto měření jsou zaneseny v nákresu 25. Naměřená hodnota minimální intenzity osvětlení je $E = 263\text{ lx}$. Tato hodnota

splňuje požadavky normy ČSN 12464-1. Rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,61$, také splňuje hodnotu danou normou ČSN 12464-1.

8.2.1.5. Závěr a doporučení

Hodnoty osvětlení naměřené v této místnosti splňují požadavky normy ČSN 12464-1. Rovnoměrnost osvětlení také odpovídá požadavkům. Z hlediska doporučení normou ČSN 73 0580-3 by neměly být obrazovky umístěné v blízkosti zdrojů světla či osvětlovacích otvorů, v našem případě oken. Dochází k zrcadlení a vzhledem k malé vzdálenosti obrazovek od oken při jasných dnech i k přesvětlení displejů denním světlem.

8.2.2. Studovna, dveře číslo 2.04

Druhý z měřených prostor Ústavu vědeckých informací je denní studovna, dveře číslo 2.04. Jedná se o místnost v druhém patře u jižní strany budovy. Vnější rozměry a umístění vybavení viz náčrty číslo 26. Výška stropu $h_s = 3,65$ m. Stěny a strop učebny jsou bílé, činitel odrazu světla je $\rho_{ss} = 0,88$. Podlaha v učebně je z dřevěných parket. Činitel odrazu světla je $\rho_{pod} = 0,34$.

8.2.2.1. Osvětlení

Místnost je osvětlena třemi systémy svítidel, označené na náčrtu 26 písmeny A,B,C. Systém A je hlavním zdrojem světla a v případě kombinovaného osvětlení, jediným používaným v běžném provozu studovny. Konstrukce svítidla, viz náčrty 27, neumožňuje přímé oslnění zdrojem světla. Systém B je složen pouze z jednoduchého reflektoru zapuštěného do stropu s jedním světelným zdrojem, kterým je zářivka. Systém C je složený z jednoduchých nástěnných svítidel, kde celý jejich vnější povrch je refraktorem, tudíž také zamezuje přímému oslnění zdrojem.

Denním světlem je místnost osvětlena pomocí pěti oken. Tvar a rozměry okna, viz náčrty číslo 24. Průměrný činitel prostupu denního světla oken jsem získal z měření ve všech měřených prostorech ústavu vědeckých informací. Jeho hodnotu jsem určil $T = 0,72$. Hodnota činitele znečištění vnějšího povrchu $C_{ext} = 0,89$. Hodnota činitele znečištění vnitřního povrchu $C_{int} = 0,98$. Celková hodnota je $C = 0,93$. Okna jsou vybavena vnitřními žaluziemi.

8.2.2.2. Srovnávací rovina a síť kontrolních bodů

Výšku srovnávací roviny jsem přizpůsobil místnímu vybavení, to znamená výšce stolů určených pro čtení $h = 0,72\text{m}$. Do studovny jsem umístil 102 kontrolních bodů v pravouhlé síti se stranou čtverce jeden metr. Pro kontrolu dostatečnosti sdruženého osvětlení jsem měřil pouze prostor, kde není podle normy ČSN 73 0580-3 dostatečné denní osvětlení. Proto náčrtek 28 má pouze 62 kontrolních bodů.

8.2.2.3. Kladené požadavky

Norma ČSN 73 0580-3 požaduje u prostor určených jako studovna nebo čítárna minimální činitel denní osvětlenosti $D_{\min} = 1,5\%$ s třídou zrakové činnosti IV. To splňuje jen velmi malá část místnosti. Proto jsem místnost určil jako prostor se sdruženým osvětlením podle normy ČSN 36 0020. Na náčrsku 29 jsem barevně znázornil tři pásma osvětlení. Zeleně je pásmo denního osvětlení, oranžově a žlutě pásmo sdruženého osvětlení a červeně pásmo, které lze označit za pásmo s umělým osvětlením, protože složka denní osvětlenosti nespĺňuje minimální požadavek denní osvětlenosti do sdruženého osvětlení pro zrakovou třídu IV, který je $D_{\min} = 0,5\%$. Nároky oblasti se sdruženým osvětlením stanovuje norma ČSN 36 0020 tak, aby osvětlenost v jednotlivých bodech splňovala minimální intenzitu podle normy o umělém osvětlení ČSN 12464-1, která určuje minimální hodnotu udržované osvětlenosti $\overline{E}_m = 200\text{ lx}$ pro prostory knihovny a $\overline{E}_m = 500\text{ lx}$ pro místa určená pro čtení. Místa určená pro čtení jsou posuzována zvláště dále. Rovnoměrnost osvětlení pak musí dosahovat $U_o = 0,6$. Index podání barev pak minimálně $R_a = 80$.

8.2.2.4. Výsledky měření

Měření samotného denního osvětlení se znázorněnými izofotami a barevným rozlišením jednotlivých pásem osvětlení viz náčrtek 29. Hodnoty intenzity osvětlení v jednotlivých bodech při spuštěných dvou řadách osvětlení systému A (2 řady nejdále od okna) ukazuje náčrtek 28. Výsledky denního osvětlení ukazují rozdělení místnosti do pásem podle osvětlení. Výsledky měření intenzity sdruženého osvětlení: naměřená hodnota minimální intenzity osvětlení je $E = 200\text{ lx}$. Tato hodnota je rovna hodnotě požadované normou ČSN 12464-1. Rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,56$ nespĺňuje hodnotu danou normou ČSN 12464-1.

8.2.2.5. Závěr a doporučení

Hodnoty osvětlení naměřené v této místnosti splňují požadavky normy ČSN 12464-1. Rovnoměrnost osvětlení ale požadavkům neodpovídá. Je to hlavně nízkými hodnotami osvětlení u stěn místnosti v části s umělým osvětlením. Tomuto by se dalo zabránit používáním nástěnného osvětlení systému B ve zmíněných částech prostoru.

8.2.3. Studovna, dveře číslo 2.05

Poslední z měřených prostor Ústavu vědeckých informací je denní studovna, dveře číslo 2.05. Jedná se o místnost v druhém patře u jižní strany budovy. Vnější rozměry a umístění vybavení viz náčrtek číslo 30. Výška stropu $h_s = 3,62$ m. Stěny a strop učebny jsou bílé, činitel odrazu světla je $\rho_{ss} = 0,88$. Podlaha v učebně je z dřevěných parket. Činitel odrazu světla je $\rho_{pod} = 0,34$.

8.2.3.1. Osvětlení

Místnost je osvětlena třemi systémy svítidel, označené na náčrtku 30 písmeny A,B,C. Systém A je hlavním zdrojem světla a v případě kombinovaného osvětlení, jediným používaným v běžném provozu studovny. Konstrukce svítidla, viz náčrtek 27, neumožňuje přímé oslnění zdrojem světla. Systém B je složen pouze z jednoduchého reflektoru zapuštěného do stropu s jedním světelným zdrojem, kterým je zářivka. Systém C je složený z jednoduchých nástěnných svítidel, kde celý jejich vnější povrch je refraktorem, tudíž také zamezuje přímému oslnění zdrojem.

Denním světlem je místnost osvětlena pomocí tří oken. Tvar a rozměry okna, viz náčrtek číslo 24. Průměrný činitel prostupu denního světla oken jsem získal z měření ve všech měřených prostorech ústavu vědeckých informací. Jeho hodnotu jsem určil $T = 0,72$. Hodnota činitele znečištění vnějšího povrchu $C_{ext} = 0,89$. Hodnota činitele znečištění vnitřního povrchu $C_{int} = 0,98$. Celková hodnota je $C = 0,93$. Okna jsou vybavena vnitřními žaluziemi.

8.2.3.2. Srovnávací rovina a síť kontrolních bodů

Výšku srovnávací roviny jsem přizpůsobil místnímu vybavení, to znamená výšce stolů určených pro čtení, $h = 0,72$. Do studovny jsem umístil 35 kontrolních bodů v pravoúhlé síti se stranou čtverce jeden metr.

8.2.3.3. Kladené požadavky

Stejně jako studovna, dveře č. 2.04, viz kapitola 8.2.2.3..

8.2.3.4. Výsledky měření

Měření samotného denního osvětlení se znázorněnými izofotami a barevným rozlišením jednotlivých pásem osvětlení viz nákres 31. Hodnoty intenzity osvětlení v jednotlivých bodech při spuštěné jedné řadě osvětlení systému A (řada nejdále od okna) ukazuje nákres 32. Výsledky denního osvětlení ukazují rozdělení místnosti do pásem podle osvětlení. Výsledky měření intenzity sdruženého osvětlení jsou: naměřená hodnota minimální intenzity osvětlení je $E = 320 \text{ lx}$. Tato hodnota splňuje požadavky normy ČSN 12464-1. Rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,74$ splňuje hodnotu danou normou ČSN 12464-1.

8.2.3.5. Závěr a doporučení

Místnost splňuje všechny normami kladené požadavky na daný tyto prostoru a zrakového úkolu. V rámci měření bylo i orientačně zjištěno, že vyhovuje i osvětlení polic s knihami normě ČSN 12464-1.

8.3. Pracovní místa

8.3.1. Stůl ve studovně

Stůl je umístěný ve studovně. Všechny stoly v prostorech ústavu vědeckých informací jsou stejné, s výjimkou stolů s DSE displejem (místnost, dveře č. 2.03). Rozměry stolu a umístění osvětlení stolu viz nákres číslo 33.

8.3.1.1. Požadavky

Podle požadavků normy ČSN 12464-1 na stůl v čítárně nebo studovně, by měl být stůl osvětlen $\overline{E_m} = 500 \text{ lx}$ rovnoměrnost $U_o = 0,6$. Index podání barev by měl mít hodnotu minimálně $R_a = 80$.

8.3.1.2. Měření

Měření jsem prováděl ve dvou stavech při žádném denním osvětlení, to jsem vyloučil maximální možnou omezeností prostupu denního světla do místnosti a výběrem orientačně nejtmašího stolu, na kterém hodnota intenzity osvětlení nedosahovala ani 10 lx.

První stav: Stůl osvětlen pouze bodovým osvětlením stolu. Výsledky uvádí náčrtek číslo 34. Nejmenší naměřená intenzita osvětlení $E = 102 \text{ lx}$, tato hodnota normě neodpovídá. A rovnoměrnost osvětlení $U_o = 0,34$, která také požadavkům normy ČSN 12464-1 neodpovídá.

Druhý stav: Stůl je osvětlen nejen osvětlením přímo stolu, ale také zároveň osvětlovacím systémem B viz měření jednotlivých místností. Výsledky uvádí náčrtek číslo 35. V tomto případě byla naměřena minimální hodnota intenzity osvětlenosti $E = 627 \text{ lx}$, která normě odpovídá a rovnoměrnost byla určena na $U_o = 0,73$, což také normě odpovídá.

8.3.1.3. Závěr

Umělé osvětlení zcela vyhovuje požadavkům normy ČSN 12464-1 stůl čítárny nebo studovny pouze za předpokladu součinnosti bodového osvětlení stolu a systému komplexního osvětlení.

8.3.2. Pitevní stůl

Pitevní stůl je hlavní pracovní plocha a plocha zrakové činnosti v místnostech anatomického ústavu: „Pitevna nudle“ a „Rohová pitevna“. Jeho velikost a umístění osvětlení zobrazuje náčrtek číslo 36. Stůl osvětlují tři svítidla, každé s dvojicí zářivek Philips TLD 840 58W.

8.3.2.1. Požadavky

Podle požadavků normy ČSN 12464-1 na zdravotnickou pitevnu a stůl, by měl být stůl osvětlen $\overline{E}_m = 5\,000 \text{ lx}$, rovnoměrnost se neudává. Index podání barev by měl mít hodnotu minimálně $R_a = 90$. Podle téže normy, ale demonstrační stůl praktické výuky má být osvětlen pouze $\overline{E}_m = 500 \text{ lx}$ s rovnoměrností 0,7. A indexem podání barev $R_a = 80$.

8.3.2.2. Osvětlení okolí místa zrakového úkolu

Osvětlení v jednotlivých kontrolních bodech stolu ukazuje náčrtek 37. Průměrná intenzita osvětlení místa zrakového úkolu je $E_{\text{prům}} = 1\,577$ lx. Zrakový úkol je na celém stole. Blízké okolí tedy tvoří přilehlá část podlahy (vzhledem k pohledu stojícího pracovníka). Průměrná osvětlenost tohoto okolí je $E = 573$ lx, což přibližně odpovídá normě ČSN 12464-1. Norma pro intenzitu osvětlení místa zrakového úkolu $E \geq 750$ lx udává osvětlenost bezprostředního okolí $E = 500$ lx. Hodnotu okolí norma udává na $E = 1/3$ intenzity osvětlení místa zrakového úkolu. V našem případě je široké okolí podlaha pitevny. Průměrná osvětlenost podlahy pitevny je $E = 434$ lx, což přibližně odpovídá požadavkům normy.

8.3.2.3. Závěr

Umělé osvětlení zcela vyhovuje a značně převyšuje požadavky normy ČSN 12464-1 pro demonstrační stůl. Ale nesplňuje podmínky pitevního stolu zdravotnického zařízení. Z hlediska menší zrakové náročnosti anatomické pitvy je stůl podle mého názoru vyhovující.

9. Závěr

Cílem práce bylo posoudit, zda umělé, denní a sdružené osvětlení vybraných učeben a prostor 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze vyhovuje platným normám. Popsal jsem jednotlivé postupy měření a jejich metodiku. Měření jsem prováděl podle metodiky doporučené CIE, to znamená denní osvětlení při zatažené obloze a rovnoměrném rozložení jasu a umělé osvětlení při nejvyšším možném vyloučení denního světla. Sdružené osvětlení jsem měřil za různých podmínek, aby celkový výsledek odpovídal co nejvíce skutečnému stavu místností. Každé měření je zakresleno do nákresu. Poté jsem provedl vyhodnocení zjištěného stavu v porovnání s platnými normami. Pro každou místnost jsem stanovil, zda vyhovuje nebo nevyhovuje normám a doporučil případný postup pro zlepšení situace. Pro názornost výsledků jsem do některých nákresů vynesl izoluxy nebo v případě denního osvětlení izofoty.

Při svých měřeních jsem zjistil, že většina vybraných prostor vyhovuje platným normám. V případech, ve kterých tomu tak nebylo, jsem doporučil možný postup zlepšení.

Závěrem chci poukázat na to, že normy jsou v některých případech až příliš konkrétní nebo zavádějící. Například jimi předepsané hodnoty jsou někdy až příliš vysoké. V jiných případech neúplným popisem postupu měření umožňují realizaci osvětlení, které v některých směrech nenaplnuje jejich význam.

Nákres číslo 18 – pitevna „Nudle“