

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

2123694

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2011

Roman Lipták, Bc.

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**AUTOMATICKÝ SYSTÉM REGULÁCIE OSVETLENIA
V SPOLOČNÝCH PRIESTOROCH BUDOV**

Diplomová práca

Študijný program:	Spôľahlivosť a bezpečnosť technických systémov
Študijný odbor:	2386800, Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky
Školiteľ:	Dušan Hrubý, prof. Ing., PhD.
Konzultant:	Vladimír Cviklovič, Ing.

Nitra 2011

Roman Lipták, Bc.

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Roman Lipták vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Automatická regulácia osvetlenia v spoločných priestoroch budov“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 10. apríla 2011

Roman Lipták

Pod'akovanie

Touto cestou vyslovujem pod'akovanie prof. Ing. Dušanovi Hrubému, PhD. a Ing. Vladimírovi Cviklovičovi za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej diplomovej práce, za ochotu, venovaný čas a pomoc pri získavaní informácií.

Abstrakt

Práca prináša prehľad svetelných zdrojov používaných v riadiacich systémoch osvetlenia. Uvedením ich technológie tvorby svetla a jeho parametrov udáva počiatočný obraz o aplikačných možnostiach vzhľadom na oblasť použitia. Zároveň sa venuje vysvetleniu podstaty svetla a jeho fyzikálnych vlastností.

Vo vybranom priestore, ktorým je chodba budovy, sa pomocou zostrojeného snímača osvetlenia spolu s príslušným záznamovým zariadením sleduje zmena intenzity denného svetla počas doby prevádzky. Zámerom práce je na základe prevedených meraní navrhnúť proces riadenia osvetlenia, s čo najefektívnejším riešením na bezpečný priebeh daným priestorom chodby. Zároveň zabezpečiť dostatočné videnie vybratím vhodnejších svetelných zdrojov s možnosťou regulácie a vyššou účinnosťou premeny svetla.

Z výsledkov meraní je zrejмый rozdiel intenzity prirodzeného svetla v jednotlivých zónach chodby, čím jeho nerovnomernosť rozloženia v celom priestore v priebehu dňa podmieňuje energetické prehodnotenie pôvodného riešenia osvetľovacej sústavy.

Z vypočítanej spotreby elektrickej energie navrhovaného riešenia, v porovnaní s pôvodným, sa dosiahne jej úspora, ktorá predstavuje o viac ako polovicu nižšiu spotrebu.

Kľúčové slová: regulácia, riadenie, svetelný zdroj, snímač osvetlenia, fotodióda, úspora energie.

Abstract

The work provides an overview of lamps used in lighting control systems. Indicating the technology of light and its parameters gives an initial picture of application possibilities with regard to field use. At the same time the work deals with explanation of the nature of light and its physical properties.

In selected area, which is the hallway of the building, the intensity of daylight during the period of operation is monitored using the constructed light sensor along with the recording devices. Purpose of my work is to propose a process of lighting control, based on performed measurements, with the most efficient solution for safe passage by the space of corridor. At the same time ensure adequate vision by selecting more suitable light sources capable of maintaining a higher conversion efficiency of light.

The intensity difference of natural light in different zones of the corridor is evident from the results of the measurements, whereby its uneven distribution throughout the area during the day conditions the energy reevaluation of original design of the lighting system.

Calculated power consumption of the proposed solutions in comparison with the original is reached by its savings, which represents more than half of lower consumption.

Key words: regulation, control, light source, light sensor, photodiode, saving energy.

Obsah

Úvod	9
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	11
1.1 Podstata svetla	11
1.2 Definície a jednotky.....	13
1.2.1 Svetelný tok	14
1.2.2 Merný výkon.....	14
1.2.3 Svietivosť.....	14
1.2.4 Priestorový uhol.....	15
1.2.5 Intenzita osvetlenia	15
1.2.6 Jas	16
1.2.7 Index podania farieb Ra	16
1.2.8 Teplota chromatickosti	17
1.2.7 Farba svetla	17
1.3 Svetelné zdroje používané pri riadení osvetlenia	19
1.3.1 Halogénové žiarovky.....	19
1.3.1.1 Konštrukcia a technológia.....	19
1.3.1.2 Vlastnosti a možnosti regulácie	20
1.3.1.3 Parametre	21
1.3.1.4 Použitie.....	21
1.3.2 Žiarivky	22
1.3.2.1 Konštrukcia a technológia kompaktnej žiarivky	23
1.3.2.2 Žiarivky s vonkajším predradníkom	24
1.3.2.3 Žiarivky s elektronickým integrovaným predradníkom.....	25
1.3.2.4 Vlastnosti kompaktných žiariviek.....	27
1.3.2.5 Konštrukcia a technológia lineárnej žiarivky	29
1.3.2.6 Vlastnosti lineárnych žiariviek.....	30
1.3.2.7 Použitie žiariviek.....	32
1.3.3 LED žiarovky	32
1.3.3.1 Konštrukcia a technológia.....	32
1.3.3.2 Vlastnosti LED.....	33
1.3.3.3 Použitie.....	35
1.3.4 Regulácia úsporných zdrojov.....	36
2 Cieľ práce	39
3 Materiál a metódy.....	40

3.1	<i>Norma STN EN 12464 – 1</i>	40
3.2	<i>Spoločný priestor budovy – chodba</i>	40
3.3	<i>Postup pri meraní úrovnne denného osvetlenia</i>	41
3.4	<i>Charakteristika použitých prístrojov</i>	41
3.5	<i>Použitie metódy vyhodnotenia výsledkov</i>	43
3.6	<i>Presnosť merania</i>	44
4	Vlastná práca	45
4.1	<i>Umelé osvetlenie pozorovaného priestoru</i>	45
4.2	<i>Denné osvetlenie pozorovaného priestoru</i>	46
4.3	<i>Aktuálna energetická náročnosť chodby na osvetlenie</i>	47
4.4	<i>Meranie intenzity denného osvetlenia</i>	49
4.4.1	<i>Snímač osvetlenia</i>	49
4.4.2	<i>Kalibrácia snímača osvetlenia</i>	51
4.4.3	<i>Postup kalibrácie</i>	51
4.4.4	<i>Príprava a priebeh merania úrovnne denného osvetlenia</i>	54
4.4.5	<i>Výsledky a zhodnotenie merania</i>	55
4.5	<i>Využitie denného osvetlenia v rôznom ročnom období</i>	59
4.6	<i>Návrh úsporných opatrení osvetlenia</i>	61
4.6.1	<i>Zónovanie sledovaného priestoru</i>	61
4.6.2	<i>Voľba efektívnejších technických prostriedkov</i>	61
4.6.3	<i>Využitie denného svetla</i>	62
4.6.4	<i>Snímač prítomnosti osôb</i>	63
4.6.5	<i>Časový režim osvetľovacej sústavy</i>	63
4.7	<i>Algoritmy riadenia osvetlenia</i>	64
4.8	<i>Príklady výpočtu úspor elektrickej energie regulovaním osvetlenia</i>	68
4.8.1	<i>Výpočet spotreby elektrickej energie regulovaním osvetlenia pri zamračenom dni</i>	68
4.8.2	<i>Výpočet spotreby elektrickej energie regulovaním osvetlenia pri jasnom dni</i>	69
5	Záver	70
6	Zoznam použitej literatúry	72
7	Prílohy	74

Úvod

Prírodný jav, ktorý nazývame svetlo, ovplyvňuje vo veľkej miere náš život a naše konanie. Je základom každej tvorivej činnosti človeka a vďaka zraku sme schopní vnímať všetky jeho podoby. Presné videnie je však možné iba vtedy, ak je zaistené dostatočné množstvo svetla. Jeho prirodzeným zdrojom je Slnko, ktoré osvetľuje našu planétu viac ako štyri miliardy rokov zo vzdialenosti 150 miliónov kilometrov.

Súčasný svetelný zdroj ponúka široký výber možností pre projekčné činnosti každého druhu. Kroky Európskej únie smerom k obmedzeniu nepriaznivých vplyvov osvetľovania na životné prostredie vedú k postupnému vyradovaniu obyčajných žiaroviek a ich nahradzaniu za výkonnejšie a hospodárnejšie halogénové žiarovky alebo kompaktné a lineárne žiarivky.

V Európe sa až 19% elektrickej energie spotrebuje na osvetlenie. Aplikácia smernice prinesie nemalé energetické úspory spolu so znížením emisií CO₂. Ak aj v minulosti bolo niekoľko aplikačných oblastí, kde nebolo vhodné nahradiť obyčajné žiarovky inými svetelnými zdrojmi, v súčasnosti už takéto bariéry neexistujú. Nové svetelné zdroje, najmä LED, si vieme predstaviť aj v svietidlách, ktoré boli doménou žiaroviek (Smola, 2011).

Poprední výrobcovia sa zameriavajú na inovatívne kroky v environmentálnej oblasti, z ktorých kľúčové sú energetická efektívnosť, minimálny obsah nebezpečných látok, kompaktnosť balenia, hmotnosť produktu, spoľahlivosť počas životnosti a možnosť recyklácie. Takéto produkty sú už v ponuke ako efektívnejšia a ekologickejšia náhrada bežných žiaroviek.

Dnes by už každá moderná budova mala mať komplexné riadenie osvetlenia s využitím pohybových snímačov pre automatické riadenie osvetlenia, či snímačov hladiny denného svetla, alebo možnosť kontroly hladiny osvetlenia pracovného miesta podľa momentálnej potreby užívateľa, napríklad nastavením intenzity a farby svetla pomocou stmievačov a diaľkového ovládania podľa druhu a charakteru činnosti (Macháčková, 2011).

S rastúcim potenciálom regulácie osvetlenia narastá aj význam možnosti rešpektovať voľbu užívateľa a umožniť mu aktívne sa podieľať na riadení svetelných podmienok podľa vykonávanej činnosti a jeho osobných preferencií. Preto pri návrhu riadiaceho systému a jeho programovaní je nevyhnutné brať do úvahy jednoduchosť ovládania pre konečného užívateľa. Inak hrozí nebezpečenstvo, že príliš komplikované

nastavenia budú odrádzať užívateľov, ktorí radšej zvolia manuálny režim ovládania systému, čo môže znamenať stratu jeho efektivity.

Osvetlenie v moderných budovách je niečím viac ako len základnou požiadavkou. Tvorí významnú zložku vnútorného prostredia a je dôležité už v architektonickom návrhu a z pohľadu energetickej účinnosti budovy, nehovoriac o zdravotných či bezpečnostných aspektoch, alebo komforte osôb pohybujúcich sa v týchto priestoroch.

Svetová hospodárska kríza sa určite prejavila aj vo svetelnej technike nižším predajom efektívnejších a ekologickejších svetelných zdrojov a svietidiel, keďže ich obstarávacia cena je zvyčajne vyššia, než pri konvenčnom riešení. Nie každý si však uvedomuje, že z dlhodobého hľadiska sú energeticky efektívnejšie a prinášajú aj nižšie prevádzkové náklady. Zároveň si treba uvedomiť aj zodpovednosť voči budúcim generáciám z ekologického hľadiska. Oblasť návrhu a dodávky osvetľovacích systémov je veľmi úzko previazaná so stavebníctvom, ktoré sa kríze tiež nevyhlo.

Čo sa týka nastoleného trendu v oblasti svetelnej techniky, snáď súčasná kríza výrazne neovplyvní jeho vývoj a v dlhodobom meradle zrejme dôjde iba k určitému oneskoreniu a predĺži sa časové obdobie na aplikáciu nových technológií.

Danú tému som sa rozhodol spracovať z dôvodu, aby som naznačil, aké možnosti úspor a zvyšovania efektívnosti sa v oblasti osvetlenia skrývajú. Jedným z riešení efektívneho svietenia, vyššieho komfortu a pohody pri užívaní osvetľovacej sústavy je pomocou širokého spektra výrobkov pre riadenie, meranie, reguláciu a nastavenie osvetlenia, čím môže systém plniť aj zložité úlohy.

Prvým krokom bolo oboznámiť sa s princípmi činnosti a parametrami jednotlivých zdrojov svetla vhodnými na použite osvetľovania spoločných priestorov budov. Chodby predstavujú priestor s krátkodobejším pobytom osôb, čím sú požiadavky na celkové osvetlenie nižšie ako v pracovných priestoroch. Napriek tomu je výber svetelných zdrojov dôležitý pri použití radiaceho systému, aby odolával častému spínaniu s dlhou životnosťou.

Na základe nameraných svetelných podmienok, ktoré sa menia počas doby prevádzky, sme navrhli riadiaci systém s čo najvhodnejšími svetelnými zdrojmi. Nakoniec sme určili energetickú návratnosť navrhovaného riešenia v porovnaní s aktuálne používaným systémom osvetlenia.

1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

1.1 Podstata svetla

Aby mohli ľudia svetlo vyrábať (Miškařík, 1979) a používať, museli poznať a vysvetliť jeho podstatu. Preto sa vedci zaoberali svetlom, skúmali jeho vlastnosti, spájali svoje poznatky a tvorili teórie o jeho podstate. Isaac Newton (1643 – 1727) vytvoril korpuskulárnu teóriu, ktorá považuje svetlo za prúd častíc. Svetelný lúč predstavuje dráhu pohybu svetelnej častice. V rovnomernom prostredí sa častica pohybuje priamočiario a lúč má tvar priamky. V tom istom období Christian Huygens (1629 – 1695) považuje svetlo za určitý druh postupného vlnenia, kde jeho čelo (vlnoplocha), má v kritickej vzdialenosti od svetelného zdroja tvar roviny. Lúč tvoriaci kolmicu k vlnoploche vyznačuje smer, ktorým svetlo postupuje. Podľa oboch teórií je možné vysvetliť niektoré zákony optiky (napr. zákon odrazu). K rozporu prichádza pri dokazovaní zákona lomu. Obe teórie sa podstatne rozchádzajú v názore na rýchlosť svetla v prostrediach rôznej optickej hustoty. Podľa korpuskulárnej teórie sa svetlo šíri v opticky hustejších prostrediach rýchlejšie, podľa vlnovej teórie sa šíri pomalšie. Spor bol vyjasnený v r. 1862, kedy Jean B. Foucault (1819 – 1868) zmeral rýchlosť svetla vo vode (prostredie opticky hustejšie) a dokázal, že je menšia ako vo vzduchu.

Keď potom James C. Maxwell (1831 – 1879) doplnil vlnovú teóriu objavom, že svetlo je elektromagnetické vlnenie, zdalo sa, že spor o podstatu svetla je rozhodnutý. V elektromagnetickom spektre patrí svetlo do oblasti optického žiarenia, ktoré zahŕňa žiarenie viditeľné a s ním na jednej strane susediace žiarenie ultrafialové (UV), na druhej strane žiarenie infračervené (IR). Svetlo je teda opakovaný stav kmitania. Doba kmitu (T) je najkratšia doba, po ktorej sa opakuje rovnaký stav kmitu, a vlnová dĺžka (λ) je dráha vlnenia za dobu kmitu. Pre svetlo platia vzťahy:

$$\lambda = cT; \nu = \frac{1}{T}; \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

kde: c - rýchlosť svetla vo vákuu, $3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

ν - kmitočet, s^{-1}

T - doba kmitu, s

λ - vlnová dĺžka, m

Tab. 1 Oblasti optického žiarenia v elektromagnetickom spektre

Druh žiarenia	Označenie	Vlnová dĺžka λ , nm	Kmitočet ν , Hz
Ultrafialové	UV - C	100 až 280	$(30 \text{ až } 17) \cdot 10^{14}$
	UV - B	280 až 315	$(17 \text{ až } 9,5) \cdot 10^{14}$
	UV - A	315 až 380	$(9,5 \text{ až } 7,89) \cdot 10^{14}$
Viditeľné	fialová	380 až 430	$(7,89 \text{ až } 6,98) \cdot 10^{14}$
	modrá	430 až 490	$16,98 \text{ až } 6,12) \cdot 10^{14}$
	zelená	490 až 570	$(6,12 \text{ až } 5,26) \cdot 10^{14}$
	žltá	570 až 600	$(5,26 \text{ až } 5,0) \cdot 10^{14}$
	oranžová	600 až 630	$(5,0 \text{ až } 4,76) \cdot 10^{14}$
	červená	630 až 780	$(4,76 \text{ až } 3,84) \cdot 10^{14}$
Infračervené	IR - A	780 až 1400	$(3,84 \text{ až } 2,14) \cdot 10^{14}$
	IR - B	1400 až $3 \cdot 10^3$	$(2,14 \text{ až } 1,0) \cdot 10^{14}$
	IR - C	$3 \cdot 10^3$ až 10^4	$(1,0 \text{ až } 0,3) \cdot 10^{14}$

Zdroj: Miškařík, 1979, s. 13.

Ukázalo sa, že niektoré účinky a podmienky vzniku svetla sa nedajú ani pomocou elektromagnetickej teórie vysvetliť. Max Planck (1858 – 1947) pri štúdiu zákona o spektrálnej žiarivosti vyslovil myšlienku, že zahriate teleso vyžaruje len v určitých dávkach (kvantách) úmerných kmitočtu vysielaného žiarenia

$$\varepsilon = h\nu, \text{ J; J s, s}^{-1} \quad (2)$$

kde: ε – energia vyžarovaného kvanta

h – Planckova univerzálna konštanta $6,625 \cdot 10^{-34}$, J s.

Albert Einstein (1879 – 1955) dokázal, že Planckova úvaha platí nie len pri vyžarovaní svetla zdrojom, ale tiež keď sa svetlo šíri priestorom. Množstvo svetla určitej vlnovej dĺžky, ktorého energia je rovná súčinu $h\nu$ si Einstein predstavoval ako tok rovnakých kvánt energie, ktoré nazval fotóny. Energia fotónu ε sa udáva v elektrón voltach ($1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$).

Spor o charakter svetla bol vyriešený až na začiatku 20. storočia, kde na základe prác Luisa de Broglieho, Ervina Schrodingera a ďalších, bol potvrdený korpuskulárne vlnový dualizmus svetla. Všeobecný princíp ekvivalencie hmotnosti m a energie W daný

vzťahom $W=mc^2$ bol použitý pre fotóny. Ak má fotón energiu $\varepsilon = h\nu$, tak pre jeho ekvivalentnú hmotnosť platí:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \quad (3)$$

Hmotnosť fotónu je teda úmerná kmitočtu svetla, pričom pri rýchlosti c mu priradíme hybnosť p :

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} \quad (4)$$

Tým je fotón charakterizovaný ako hmotná častica, ktorá má určité vlnové vlastnosti vyplývajúce zo vzťahov:

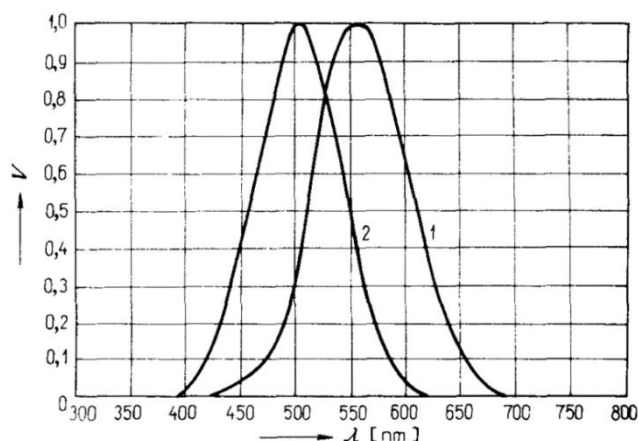
$$\nu = \frac{mc^2}{h}$$
$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{h}{mc} = \frac{h}{p} \quad (5)$$

Objasnili sa tak vzťahy medzi vlnovou dĺžkou λ a hybnosťou p fotónu ako elementárneho množstva žiarivej energie.

Preto svetlo charakterizujeme ako vlnenie, ktoré sa šíri priamočiare a pritom prenáša energiu, pričom pohyb častíc energie sa riadi zákonmi kvantovej mechaniky. Väčšinou posudzujeme svetlo pri meraní jeho vlastností z hľadiska vlnovej teórie. Pri vysvetľovaní jeho vzniku naopak používame zákony kvantovej mechaniky.

1.2 Definície a jednotky

Svetlo vnikajúce do ľudského oka, ktorým človek spoznáva okolité prostredie zmyslovými vnemami, prijíma mozog ako dva nezávisle snímané signály jasu a farby. U svetelného zdroja nestačí posudzovať energetické hodnoty jeho žiarenia, ale je nutné skúmať účinky na zrakový orgán. Rozsah vlnovej dĺžky od akej oko registruje svetelné žiarenie sa pohybuje od 380 nm do 780 nm. Pri dennom videní má krivka spektrálnej citlivosti $V(\lambda)$ maximum pri vlnovej dĺžke $\lambda_m = 555$ nm. Pri nočnom je maximum krivky spektrálnej citlivosti $V'(\lambda)$ pri vlnovej dĺžke $\lambda'_m = 507$ nm (Miškařík, 1979).



Obr. 1 Spektrálna citlivosť oka normálneho fotometrického pozorovateľa

1 – $V(\lambda)$ pri dennom videní

2 – $V'(\lambda)$ pri nočnom videní

Zdroj: Miškařík, 1979, s. 16.

1.2.1 Svetelný tok

Svetelný tok je fyzikálna veličina (Vodanský, 1971), ktorá udáva koľko svetla celkom vyžiari svetelný zdroj do všetkých smerov. Je to žiarivý výkon svetelného zdroja, ktorý je posudzovaný z hľadiska citlivosti ľudského oka. Jednotka je lúmen, lm.

1.2.2 Merný výkon

Merný svetelný výkon udáva, s akou účinnosťou je elektrická energia premenená na svetlo, t.j. koľko svetelného toku (výkonu) sa vyprodukuje z elektrického príkonu (W) dodávaného do svetelného zdroja. Jednotka je lúmen na watt, lm/W.

1.2.3 Svietivosť

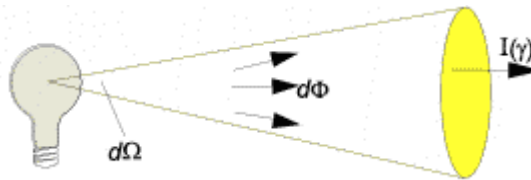
Svietivosť je fyzikálna veličina (Miškařík, 1979), ktorá udáva, aké množstvo svetelného toku Φ vyžiari svetelný zdroj (alebo svietidlo) do elementárneho priestorového uhla v hodnotenom smere (obr. 2). Jednotkou svietivosti je kandela, cd. Je to podiel svetelného toku Φ vyžarovaného v niektorom smere do nekonečne malého priestorového uhla a veľkosti tohto uhla

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}, cd \tag{6}$$

kde: I – svietivosť, cd

Φ – svetelný tok, lm

Ω – priestorový uhol, sr



Obr. 2 Znáročnenie fyzikálneho princípu svietivosti svetelného zdroja

1.2.4 Priestorový uhol

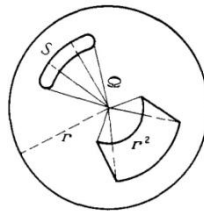
Priestorový uhol je skalárna geometrická veličina, ktorá kvantifikuje hodnotenú časť priestoru. Jeho veľkosť je definovaná ako pomer časti guľovej plochy S , ktorú vymedzuje hodnotený priestorový uhol Ω k druhej mocnine polomeru r tejto guľe

$$\Omega = \frac{S}{r^2}, \text{ sr} \quad (7)$$

kde: S – guľová plocha, m^2

r – polomer guľe, m

Jednotkou priestorového uhla je steradián, sr. Priestorový uhol má hodnotu 1 steradián (sr), keď vymedzuje z guľovej plochy o polomere $r = 1\text{m}$ plochu $S = 1\text{m}^2$ (obr. 3).



Obr. 3 Priestorový uhol Ω ; pre plochu r^2 je $\Omega = 1$ sr

Zdroj: Miškařík, 1979, s. 20.

1.2.5 Intenzita osvetlenia

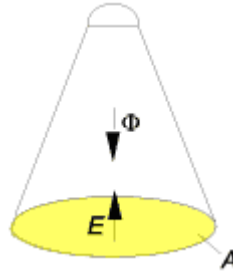
Táto vektorová fyzikálna veličina udáva, aké množstvo svetelného toku dopadá na osvetľovanú plochu A . Jednotkou osvetlenia je lux, lx. Intenzita osvetlenia má hodnotu 1 lx, ak svetelný tok 1 lúmen dopadne rovnomerne na plochu 1m^2 (obr. 4). Je to podiel svetelného toku, ktorý dopadá na element tejto plochy a veľkosti plošného elementu

$$E = \frac{d\Phi}{dA}, \text{ lx} \quad (8)$$

kde: E – intenzita osvetlenia, lx

Φ – svetelný tok, lm

A – plocha, m^2



Obr. 4 Intenzita osvetlenia E

1.2.6 Jas

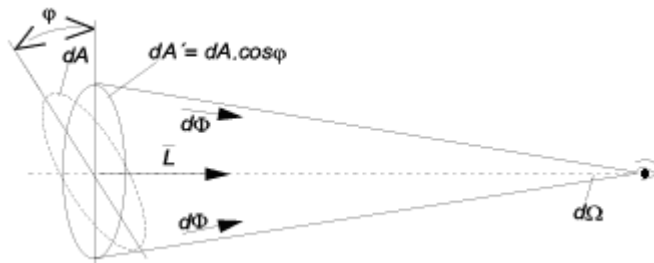
Jas je vektorová fyzikálna veličina udávajúca, aké množstvo svetelného toku vychádza zo svietiaceho alebo osvetľovaného telesa šíriaceho sa v danom smere (obr. 5). Je to jediná svetelno-technická veličina, ktorú je schopné vnímať ľudské oko. Jednotkou jasu je nit (nt) alebo cd m^{-2} .

$$L = \frac{dI}{dA}, \text{ nt} \quad (9)$$

kde: L – jas, nt

I – svietivosť, cd

A – plocha, m^2



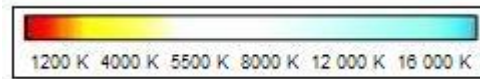
Obr. 5 Znázornenie fyzikálneho princípu jasu

1.2.7 Index podania farieb Ra

Ra (CRI – color rendering index) je hodnotenie vernosti farebného vnemu (Melč, 2009), ktorý vznikne osvetlením z určitého zdroja, v porovnaní s tým, aký farebný vnem by vznikol vo svetle referenčného ideálneho zdroja. Hodnota Ra môže byť od 0 do 100. Hodnota Ra= 0 znamená, že pri tomto osvetlení nie je možné rozoznať farby. Naproti tomu Ra= 100 znamená, že je to svetelný zdroj, ktorý umožňuje prirodzené podanie farieb.

1.2.8 Teplota chromatickosti

Charakterizuje spektrum bieleho svetla. Svetlo určitej teploty chromatickosti má farbu tepelného žiarenia vydávaného čiernym telesom zahriatym na túto teplotu. Teplota chromatickosti sa meria v Kelvinoch (obr. 6).



Obr. 6 Znáznornenie spektra s teplotou chromatickosti

Zdroj: Melč, 2009. Dostupné na: < <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38557.pdf> >.

Príklady teploty chromatickosti:

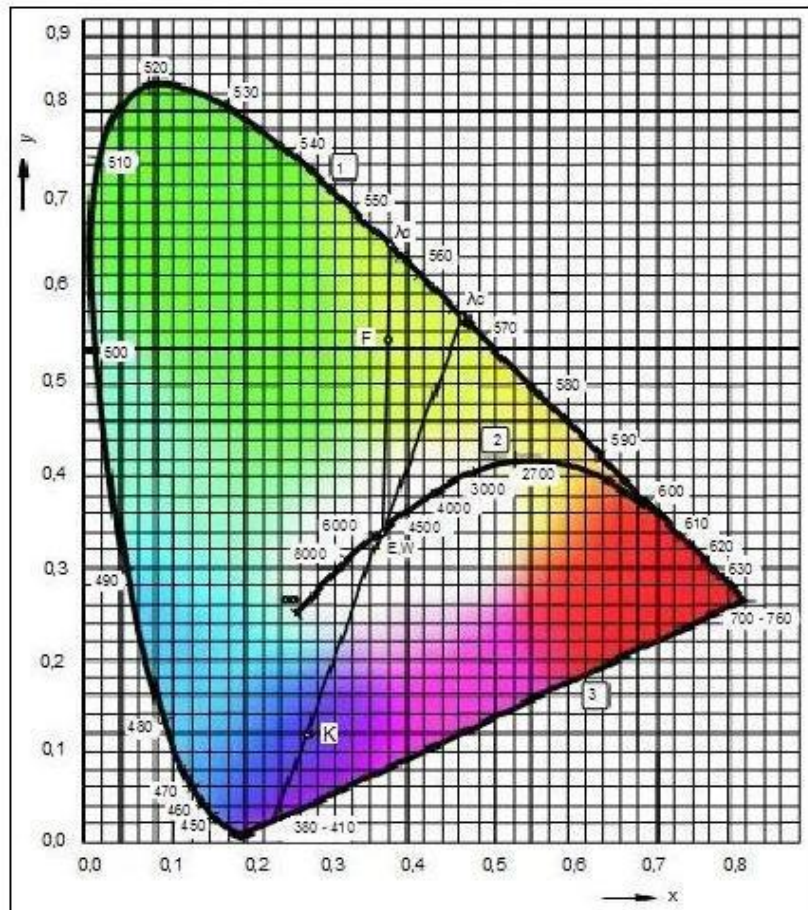
- 1 200 K – sviečka,
- 2 700 K – teplota chromatickosti žiarovky, slnko pri východe a západe,
- 3 000 K – teplo biela,
- 4 000 K – neutrálne biela,
- 6 500 K – chladne biela – štandardizované denné svetlo.

1.2.7 Farba svetla

Podľa Hockicka (1999) vplyvom určitej intenzity a určitého spektrálneho zloženia, spôsobuje svetlo v ľudskom oku nie len svetelný, ale aj farebný vnem. Farebný vnem je zložitý psychologický dej, ktorého základom je správna činnosť čapíkového aparátu sietnice človeka. Svetlo určitej vlnovej dĺžky (napr. 660 nm) dopadajúce na sietnicu podmieni v určitých svetlo-citlivých elementoch vznik a šírenie vzruchu, ktorý podráždi projekčné mozgové neuróny. Aktivitu týchto buniek potom interpretujeme ako vnem určitej farby (v našom prípade červenej). Približne rovnaké dráždenie všetkých typov čapíkov dáva vnem bielej farby. Napríklad vlnové dĺžky 723 až 647 nm označujeme ako červené, 585 až 575 nm ako žlté, 575 až 492 nm ako zelené, 455 až 424 nm ako modrofialové a 424 až 397 nm ako fialové. Miesto prekrytia červenej a zelenej farby v nás vyvoláva vnem, ktorý nenazývame červeno-zelenou farbou, ale ktorý nazývame novou, v tomto prípade žltou farbou.

Základný výklad farebného videnia podali Joung a Helmholtz, pričom predpokladali tri druhy receptorov: na vnímanie predovšetkým červenej, zelenej a fialovej farby. Normálne oko je trichromatické, rozlišuje tri základné farby. Všetky ostatné farby môžeme vnímať na základe integračnej činnosti sietnice a mozgovej kôry miešaním svetelných lúčov rôznej vlnovej dĺžky. Takémuto miešaniu farieb na sietnici, alebo až v mozgovej kôre, hovoríme aditívne alebo subjektívne miešanie farieb.

Z tzv. Helmholtzovho trojuholníka (obr. 7), vidíme, že farbu určitej vlnovej dĺžky môžeme získať aj miešaním 2 až 3 i viacerých farieb určitých vlnových dĺžok. Ak za primárne farby použijeme modrú, zelenú a červenú, tak na obrázku vidíme, že čiarkovaný trojuholník obsahuje takmer všetky farby, ktoré môžeme vidieť, pretože všetky možné viditeľné farby sú ohraničené zakrivenou čiarou. Keď zmiešame dve doplnkové farby, ležiace na stranách trojuholníka, dostaneme vnem bielej farby, podobne ako pri zmiešaní všetkých spektrálnych farieb.



**Obr. 7 Diagram chromaticity medzinárodnej kolorimetrickej sústavy XYZ
v pravouhlých súradniciach x, y**

Zdroj: Habel, 2009. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39809.pdf>>.

1 – krivka spektrálnych svetiel s vyznačenými vlnovými dĺžkami v nanometroch

2 – čiara teplotných žiaričov so stupnicou v kelvinoch

3 – priamka purpurov

λ_d – náhradná vlnová dĺžka k žiareniu charakterizovanému bodom F

λ_c – doplnková vlnová dĺžka k žiareniu charakterizovanému bodom K v oblasti purpurov

1.3 Svetelné zdroje používané pri riadení osvetlenia

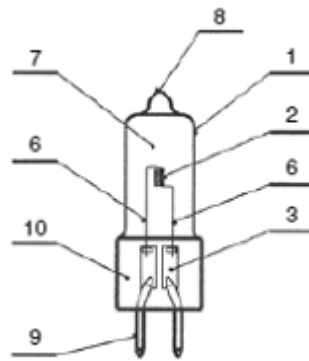
1.3.1 Halogénové žiarovky

1.3.1.1 Konštrukcia a technológia

Halogénové žiarovky predstavujú novú generáciu teplotných svetelných zdrojov. Konštrukcia halogénovej žiarovky musí byť taká, aby mohol správne prebiehať halogénový cyklus. Keďže teplota zlučovania halogénu s volfrámom je daná teplotou banky, musí byť vzdialenosť medzi bankou žiarovky a vláknom malá a vo všetkých smeroch približne rovnaká. Halogénový cyklus bráni usadzovaniu volfrámu uvoľneného z vlákna na sklenej banke, čo sa deje v obyčajných žiarovkách v priebehu ich života (Osram, 2008).

Plniaci plyn, nachádzajúci sa v banke, obsahuje prísady halogénových prvkov (bróm, chlór, fluór, jód) popr. ich zlúčenín. Tieto prísady umožňujú vytvorenie okruhu medzi odpareným volfrámom v sklenenej banke a halogénovým prvkom. Odparený volfrám a halogénové prvky sa zlučujú pri cca. 300 – 1.500 °C. Pokiaľ sa táto zlúčenina dostane v dôsledku tepelnej cirkulácie do blízkosti cca. 3.200 °C teplej žeraviacej špirály, tak sa znovu rozkladá. Čiastočky volfrámu sa znovu usadia na žeraviacej špirále. Uvoľnené čiastočky halogénových prvkov môžu zachytiť nové čiastočky volfrámu. Tento proces funguje len pri minimálnej teplote 200 až 250 °C na stene sklenenej banky (Bosch, 2007).

V oblasti halogénových žiaroviek sa v poslednom období vývoj orientoval najmä na konštrukciu banky žiaroviek, ktoré sa pokrývajú reflexnými vrstvami pre infračervené žiarenie, čo znižuje tepelné straty z banky a zvyšuje merný výkon žiaroviek. Týmito vrstvami sa pokrývajú banky všetkých typov, žiaroviek na nn aj žiaroviek na mn. Osobitne je tento fakt dôležitý pri žiarovkách s dichroickým zrkadlom. Tu sa vývoj orientuje najmä na zlepšenie selektívnych vlastností odrazovej vrstvy ako aj na optimalizáciu geometrie vlákna - reflektor. Uvedené opatrenia umožnili zvýšiť deklarovanú životnosť väčšine výrobcov halogénových žiaroviek na 5000 hodín, pri zachovaní teploty chromatickosti tohto zdroja. Selektívne pokrytie banky halogénových žiaroviek zvýšilo merný výkon až o 25 %. Mení sa tým aj tvar banky halogénovej žiarovky tak, ako je to zrejme z obr. 8. Banky halogénových žiaroviek výrobcovia vybavujú filtrom na zabránenie prieniku UV žiarenia (Smola, 2002).



Obr. 8. Konštrukcia halogénovej žiarovky: 1 – banka, 2 – volfrámové vlákno, 3 – molybdénová fólia, 4 – molybdénový prívod, 5 – podperka, 6 – konččky vlákna, 7 – plynná náplň, 8 – odpalok čerpacej trubičky, 9 – kolík, 10 – stisk.

Zdroj: Dvořáček, 2008. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37973.pdf>>.

1.3.1.2 Vlastnosti a možnosti regulácie

Vyšší merný výkon týchto nových typov svetelných zdrojov vedie k nižšej spotrebe energie – príkon týchto žiaroviek bol upravený tak, aby mohli nahradiť obyčajné žiarovky v pomere 1 : 1 pri rovnakom svetelnom toku a pri tom ušetriť 30 % energie. Okrem vyššieho merného výkonu, dlhšej životnosti a plynulej regulovateľnosti majú halogénové žiarovky aj ďalšie výhody ohľadne pozitívnych vplyvov na životné prostredie. Halogénové žiarovky poskytujú spektrum veľmi podobné spektru slnečného svetla. Neobsahujú žiadne škodlivé látky a dajú sa likvidovať bez akýchkoľvek zvláštnych požiadaviek spolu s bežným domácim odpadom (Osram, 2008).

U halogénových žiarovkách (Zajíček, 2010) na 230 V problémy v kombinácii s elektronickými prístrojmi nenastávajú. Vyhovujú triede energetickej účinnosti C a bude ich teda možné dodávať až do roku 2016. Ich výhodou je, že v princípe stále ide o vláknové žiarovky a je ich možné bez obmedzení používať nie len v spojení s klasickými spínačmi, ale aj s akýmkoľvek stmievačmi alebo napr. pohybovými spínačmi s polovodičovým výstupným prvkom, s rešpektovaním stanoveného minimálneho a maximálneho zaťaženia. To isté platí o čírych halogénových žiarovkách s päticou G9 alebo R7, ktoré sa budú dodávať aj po roku 2016. Halogénové žiarovky v prevedení s najbežnejšou päticou E27 alebo E14 budú od roku 2016 dovolené jedine ako zdroje kategórie B vykazujúce úsporu aspoň 50 %. Takéto žiarovky už existujú, avšak obsahujú elektronický predradník, čím sa obmedzuje ich použitie iba v kombinácii s prístrojmi, ktoré majú galvanický kontakt (tj. so spínačmi klasickými alebo elektronickými s relé na výstupe).

1.3.1.3 Parametre

Tab. 2 Parametre halogénovej žiarovky pri sieťovom napätí

Príkion, W	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2000
Svetelný tok, lm	1650	2600	3200	5000	9500	16500	22000	33000	44000
Merný výkon, lm/W	16,5	17,3	16	167,7	19	22	22	22	22

Zdroj: Kyncl, 2009. Dostupné na: <https://www.powerwiki.cz/attach/EST/3_pr_EST_zdroje.pdf>.

1.3.1.4 Použitie

Predpokladá sa čoraz väčšie uplatnenie halogénových žiaroviek pre sieťové napätie v domácnostiach a halogénových PAR žiaroviek v interiéroch všeobecne. Sú vhodné na zvyrazňujúce osvetlenie (napr. osvetlenie vitríny, obrazu), ale použiť ich možno aj na osvetlenie pracovného stola alebo na čítanie. Poskytujú svetlo do nábytku, skriniek a úzkych svietidiel, miestnostiam dokážu dať profesionálny vzhľad. Vďaka medzinárodne normalizovaným päťiciam sa tieto halogénové žiarovky dajú použiť takmer do všetkých svietidiel dostupných na trhu. Na ich prevádzku treba však použiť vhodný klasický alebo elektronický transformátor (Nováková, 2008).

Možnou variantov náhrady klasických žiaroviek sú tzv. kompaktné halogénové žiarovky. Ide o halogénové žiarovky určené pre prevádzku na napätie 230 V, ktoré sú buď v banke klasickej žiarovky (matná, číra) A55, A60 alebo v reflektorovej banke NR63 s päticou E27 či vo sviečkovej banke (matná, číra) B35 s päticou E14. Predstaviteľmi týchto kompaktných halogénových žiaroviek sú produkty rady MasterClassic a EcoClassic30. Ideálne je ich použiť v priestoroch, kde sú štandardné žiarovky, ktoré však nemôžu byť vymenené za kompaktné žiarivky (z dôvodu farby svetla, veľkosti, stmievateľnosti, rýchlosti nábehu, atmosféry, atď.), alebo priestory osvetľované kompaktnými žiarivkami, ktoré nie sú ideálne z hľadiska atmosféry prostredia, vzhľadu a veľkosti. V prípade rady MasterClassic (obr. 9) – príkony 20 a 30 W, ide o použitie halogénovej kapsle na 12 V v banke obyčajnej žiarovky spoločne s elektronickým transformátorom, ktorá v porovnaní s klasickou žiarovkou pri zachovaní rovnakého svetelného toku vďaka technológii EcoBoost šporí 50 % elektrickej energie (energetická trieda B) a jej životnosť je trikrát dlhšia.

Čo sa týka skupiny EcoClassic30 (obr. 10), ide o rozsiahlu radu zdrojov využívajúcich halogénovú žiarovku na 230 V (od 28 do 105 W) s úsporou 30 % elektrickej energie, ktorá teda môže priamo nahradiť klasické žiarovky v rozsahu 40 až 150 W a ich životnosť je oproti nim dvakrát dlhšia. Zdroje oboch zmieňovaných skupín poskytujú jasné

a iskrivé biele svetlo, ideálny index podania farieb ($R_a = 100$), okamžitý štart, možnosť stmievania, atraktívny design a vytvorenie dokonalej atmosféry, pričom ich prevádzka vyžaduje nižšie náklady (Melč, 2009).



Obr. 9 Produktová rada MasterClassic

Zdroj: Melč, 2009. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38557.pdf>>.



Obr. 10 Produktová rada EcoClassic30

Zdroj: Melč, 2009. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38557.pdf>>.

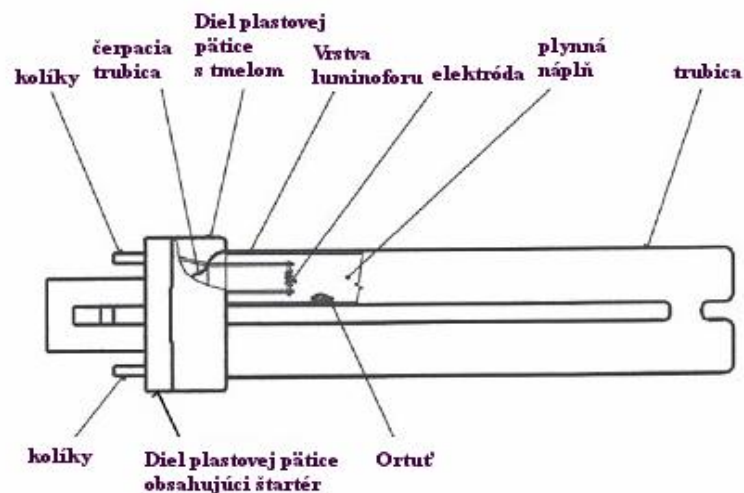
1.3.2 Žiarivky

Žiarivky sú nízkotlakové ortuťové výbojky a pracujú na odlišnom princípe ako žiarovky. Ako jedno z efektívnych zdrojov svetla v porovnaní so štandardnou žiarovkou totiž vyprodukujú rovnaké množstvo svetla s použitím menšieho množstva elektrickej energie. Kým v žiarovke je zdrojom svetla rozžeravené vlákno (spôsobuje vysoké tepelné straty), v žiarivke nastáva elektrický výboj medzi dvoma elektródami, ktorý vytvára svetlo pri dopade na luminiscenčnú látku vo vnútri trubice. Elektrický výboj v žiarivke je studený, vďaka čomu je vyžarovanie tepla zo žiariviek nízke. Ich účinnosť preto výrazne presahuje 80 percent. Znamená to, že úsporná žiarivka

s príkonom 20W sa svietivosťou vyrovná bežnej žiarovke s príkonom 100W. Existujú rôzne typy žiariviek (trubicové, kompaktné, špirálové). Donedávna bolo použitie žiariviek v svietidlách obmedzené. Tvar, rozmery a hmotnosť žiariviek sa však stále viac podobajú klasickým žiarovkám, preto sa dajú použiť i v starších klbových a sťahovacích svietidlách. Čoraz väčšie uplatnenie budú mať žiarivky s priemerom 16 mm. Predpokladá sa, že najmä vývoj nových typov luminoforov dovoľí ešte viac zmenšiť rozmery žiarivky a znížiť tým náklady na inštaláciu a prevádzku osvetľovacích sústav (Smola, 2002) .

1.3.2.1 Konštrukcia a technológia kompaktnej žiarivky

Fyzikálny princíp činnosti kompaktnej žiarivky (Dvořáček, 2008, č. 3) je podobný ako u lineárnych žiariviek, t.j. ide o nízkotlakovú ortuťovú výbojku, v ktorej je hlavná časť svetla vyžarovaná vrstvou luminoforu budeného ultrafialovým žiarením výboja. Konštrukčnú odlišnosť je možné vysvetliť na príklade štvornásobnej žiarivky (obr. 11), ktorá patrí k najrozšírenejším typom tejto skupiny.



Obr. 11 Konštrukcia kompaktnej žiarivky so zabudovaným dutinkovým štartérom a päticou G24-d

Zdroj: Dvořáček, 2008. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37410.pdf>>.

Významným konštrukčným znakom je prevedenie s jednou päticou a malé obrysové rozmery, ktoré sú dosiahnuté účelným zložením výbojovej dráhy do dvoch, štyroch, šiestich, ôsmich, alebo dokonca i viac paralelne umiestených, avšak elektricky vzájomne sériovo prepojených trubíc tak, že vytvárajú jeden spoločný výbojový priestor. Je možné nájsť aj ďalšie konfigurácie výbojovej trubice, napr. vychádzajúce zo základného polotovaru v tvare písmena U, ktorý je následne spojený do zložených tvarov 2U, 3U, 4U. Časté sú tiež žiarivky s výbojovou trubicou v podobe rôznych

skrutkovic a iných zložitejších a technologicky značne náročných tvarov. Vlastná výbojová trubica, na oboch koncoch s volfrámovými elektródami pokrytými emisnou hmotou, je zhotovená z mäkkého olovnatého skla. Niektorí výrobcovia však už používajú sklo špeciálneho zloženia, ktoré neobsahuje ekologicky nežiaduce olovo. Na vnútornej stene trubice je nanosená vrstva tvorená zmesou dvoch (zeleného a červeného – u teplejších farieb) alebo troch (zeleného, červeného a modrého – u farieb s vyššou teplotou chromatickosti) tzv. úzkopásmových luminoforov na báze prvkov vzácnych zemín, ktorých výrazné maximum žiarenia je v červenej, zelenej, popr. modrej oblasti viditeľného spektra.

Výboj svieti zo zmesi pár ortuti a vzácneho plynu (napr. argónu). Ortuť je do žiarivky dávkovaná v čistej forme alebo, u popredných výrobcov, vo forme amalgámu vhodného kovu (napr. indiu). Tým je zaistený širší teplotný interval, v ktorom svetelný tok dosahuje požadované hodnoty. Aby bola čo najviac skrátená doba dosiahnutia menovitých hodnôt, je u týchto žiariviek použitý ešte prídavný amalgám (napr. kadmia), ktorý preberá funkciu zdroja ortuti ihneď po zapnutí do doby, než sa ortuť uvoľní zo základného amalgámu. Konce výbojovej trubice sú vybavené príslušnou päticou. Celý sortiment kompaktných žiariviek je vyrábaný v základných odtieňoch bielej farby, charakterizovaných náhradnou teplotou chromatickosti (T_{cp}) 2 700, 3 000, 4 000 a 6 500 K. Zaujímavé z hľadiska užívateľa je umiestenie výbojovej trubice žiariviek s malými príkonmi (do max. 23 W) do prídavnej vonkajšej banky rôzneho tvaru (hruškový, guľový, sviečkový, apod.) s rozptylnou vrstvou, alebo do vonkajšieho integrovaného reflektora. Základným dôvodom tohto usporiadania je, čo najviac sa priblížiť obrysovými rozmermi aj krivkou rozloženia svietivosti obyčajným matovaným, reflektorovým, popr. dekoračným žiarovkám. Toto riešenie sa v súčasnosti uplatňuje výhradne u kompaktných žiarivkách s integrovaným elektronickým predradníkom.

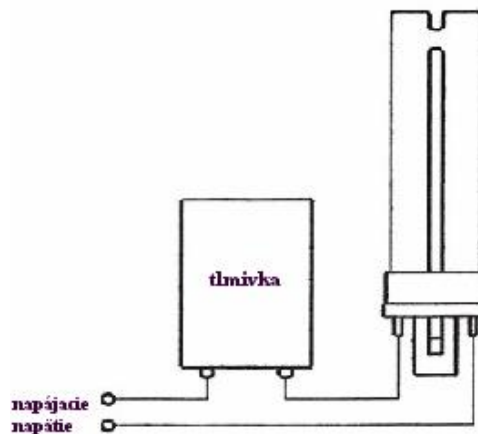
Kompaktné žiarivky je možné z hľadiska pracovného obvodu rozdeliť do týchto dvoch hlavných skupín:

- žiarivky s vonkajším predradníkom,
- žiarivky s elektronickým integrovaným predradníkom.

1.3.2.2 Žiarivky s vonkajším predradníkom

Žiarivky s vonkajším predradníkom t.j. s tlmivkou alebo elektronickým predradníkom pracujúcim na vysokej frekvencii (30 až 40 kHz). Kompaktné žiarivky určené na prevádzku s tlmivkou majú dvojkolíkovú päticu (G23, G24d-1, 2, 3, GX24d-1,

2, 3), v ktorej je obvykle zabudovaný dutinkový štartér, pričom jeho funkcia je podobná ako u štartérov lineárnych žiariviek. Schéma zapojenia pre jednu žiarivku je uvedená na obr. 12. Vyskytujú sa tiež obvody, v ktorých sú dve žiarivky s príkonom 5, 7 alebo 9 W zapojené do série s jednou tlmivkou. Ide o tzv. tandemové zapojenie, ktoré však vykazuje menšiu spoľahlivosť. Žiarivky určené na prevádzku s vonkajším elektronickým predradníkom majú štvorkolíkovú päticu (napr. 2G7, 2G11, G24q-1, 2, 3, GX24q-1, 2, 3, 4, 5, 6 apod.). Predradník pracuje na vysokej frekvencii, a zaisťuje tak zlepšené parametre osvetlenia pracovnej plochy a zvyšuje zrkovú pohodu. Všetky tieto žiarivky vyžadujú aj odpovedajúcu konštrukciu svietidla, odlišnú od svietidiel určených pre obyčajné žiarovky. Pri skončení životnosti žiarivky postačí vymeniť iba žiarivku, čo kompenzuje vyššiu cenu svietidla (Dvořáček, 2008, č.3).



Obr. 12 Schéma zapojenia kompaktnej žiarivky so zabudovaným dutinkovým štartérom

Zdroj: Dvořáček, 2008. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37410.pdf>>.

1.3.2.3 Žiarivky s elektronickým integrovaným predradníkom

Sú určené do žiarovkových svietidiel ako priama a energeticky úspornejšia náhrada žiarovky. Sú vybavené päticou E14, E27, popr. B22, najnovšie je riešenie s päticou G28d. Predradný obvod je umiestnený v plastovom kryte. Významný pokrok v oblasti miniaturizácie a spoľahlivosti súčiastkovej základne pri súčasnom znížení ich ceny poskytuje možnosť vytvoriť predradníky s veľmi kompaktnými rozmermi. Tie v spojení s vhodne tvarovanou trubicou, popr. s využitím novej päťice a objímky už spomínaného typu G28d, umožňujú splniť dôležitú požiadavku: dodržať obrysové parametre príslušného typu žiarovky.

Tab. 4 Elektrické a svetelno-technické parametre základných druhov kompaktných žiariviek

Prevedenie výbojového priestoru	Menovitý príkon (W)	Merný výkon (lm/W)	Typ päťice a predradníka
dvojité	5,7,9,11	50 až 82	päťica G23, zabudovaný dutinkový štartér, tlmivka
dvojité	5,7,9,11	50 až 82	päťica 2G7, vonkajší elektronický predradník
dvojité	18,24,36,40,55,80	67 až 87	päťica 2G11, vonkajší elektronický predradník
štvornásobné	10,13,18,26	50 až 70	päťica G24d.1,2,3 zabudovaný dutinkový štartér, tlmivka
štvornásobné	10,13,18,26	50 až 70	päťica G24q.1,2,3 vonkajší elektronický predradník
šesťnásobné	13,18,26	70	päťica GX24d 1,2,3, zabudovaný dutinkový štartér, tlmivka
šesťnásobné	13,18,26,32,42,57,70	70 až 76	päťica GX24q1,2,3,4,5,6, vonkajší elektronický predradník
štvornásobné	3,5,7,8,11	33 až 60	päťica E14, integrovaný elektronický predradník
štvornásobné (do 11W)	5,7,8,11,12,14	48 až 65	päťica E27, integrovaný elektronický predradník
šesťnásobné (od 15W)	15,16,20,23		
štvornásobné (7W)	7	51 až 57	päťica G28d, integrovaný elektronický predradník
šesťnásobné (11W)	11	60	

Zdroj: Dvořáček, 2008. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37410.pdf>>.

Konfigurácia svietiacej časti žiarivky je totiž dôležitá z nasledujúceho dôvodu. Pri výmene žiarovky za žiarivku, v niektorých typoch svietidiel, pričom svetelne činná časť bola konštruovaná pre žiarovku, dochádza na pracovnej ploche k nežiaducemu zníženiu hladiny osvetlenia, vyplývajúce zo zmeny rozloženia svetivosti svietidla v súvislosti s nevhodným typom zvolenej kompaktnej žiarivky. Inštalované kompaktné žiarivky staršieho typu, obvykle s väčšou celkovou dĺžkou, v takýchto prípadoch neprinášajú žiaduci efekt zníženia spotreby energie. Najnovšie typy týchto kompaktných žiariviek, najmä renomovaných výrobcov, je možné prevádzkovať v žiarovkových

svietidlách bez podstatného ovplyvnenia podmienok osvetlenia na pracovnej ploche, pri výraznej úspore elektrickej energie.

Dosiahnuté úspory, pri podstatne dlhšej životnosti žiarivky, plne kompenzujú zvýšené náklady pri ich zaobstarávaní už pri prvej výmene žiarovky. K dosiahnutiu vysokej účinnosti a dostatočnej životnosti je totiž nutné mať k dispozícii kvalitnú technológiu, používať špičkové luminofory, vhodnú sklovinu, presnú geometriu trubice a kvalitné emisné hmoty. Komplikovanejšie technológie s využitím vhodných amalgámov eliminujú negatívni vplyv teploty okolia na svetelno-technické parametre. Veľmi dôležitá je i konštrukcia elektronického predradníka, a to z hľadiska použitej súčiastkovej základne, tak predovšetkým i z hľadiska zaistenia priaznivých podmienok pri zápale žiarivky. U jednoduchých, a teda i lacných obvodoch (a to i pri použití kvalitných súčiastok) spravidla dochádza k studenému zápalu s negatívnym vplyvom na život žiarivky, najmä pri častejšom zapínaní. Správne nastavený štartovací režim má priaznivý vplyv na život žiarivky, a ani častejšie zapínanie ich životnosť neovplyvňuje. Sortiment kompaktných žiariviek je veľmi bohatý a sústavne je ďalej rozširovaný o nové typy z hľadiska príkonu, tvaru výbojového priestoru, prevedenia päťice, geometrických parametrov apod. Orientačné členenie je uvedené v tab. 4 (Dvořáček, 2008, č.3).

1.3.2.4 Vlastnosti kompaktných žiariviek

Hlavné prednosti kompaktných žiariviek (Dvořáček, 2008, č.3):

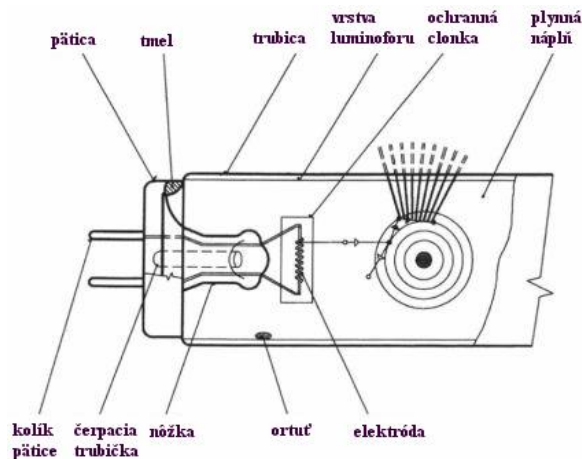
- prvá skupina výbojových svetelných zdrojov, ktorá sa svojím svetelným tokom, geometrickými parametrami a kvalitou podania farieb blíži obyčajným žiarivkám v základnej príkonovej rade 15 až 200 W (ide o typy s integrovaným elektronickým predradníkom),
- vysoká účinnosť premeny elektrickej energie na svetelnú, dosahujúca u typov s vonkajším elektronickým predradníkom až 87 lm/W, čo v porovnaní s merným výkonom zodpovedajúcej žiarivky znamená takmer 80% úsporu elektrickej energie,
- veľmi dobré podanie farieb charakterizované Ra prevyšujúcim hodnotu 80, u špeciálnych typov až 90,
- rozšírený interval prevádzkových teplôt (−10 až +70° C) pri využití vhodných amalgánov, úbytok svetelného toku pri medzných teplotách neprevyšuje 20 % menovitej hodnoty,

-
- úplný sortiment základných odtieňov bielej farby, charakterizovaných náhradnou teplotou chromatickosti 2 700 až 6 500 K,
 - dlhá životnosť, u významných výrobcov až 20 tisíc hodín,
 - možnosť prevádzky so stmievačmi (ako u žiarivkách s príslušným vonkajším elektronickým predradníkom, tak aj u niektorých najnovších typov žiariviek s integrovaným elektronickým predradníkom) alebo so zabudovanými senzormi, ktoré automaticky reagujú na okolité svetelné podmienky, resp. na prítomnosť ľudí v miestnosti; takáto prevádzka ďalej šetrí elektrickú energiu,
 - kompaktné žiarivky s integrovaným elektronickým predradníkom pracujú vo vysokofrekvenčnom režime, so všetkými z neho vyplývajúcimi výhodami (takmer okamžitý štart – do 1 s – bez blikania a stabilnú prevádzku bez mihania, potlačenie stroboskopického javu),
 - vysoko produktívne výrobné linky s kapacitou až 4 000 ks/h,
 - trvalo sa zdokonaľujúca súčiastková základňa, pozitívne ovplyvňujúca spoľahlivosť, rozmery a cena elektronických predradníkov,
 - veľmi nízky obsah ortuti (u výrobkov renomovaných firiem),
 - profesionálna rada je charakterizovaná rýchlejšim nábehom svetelného toku na 100 %, veľmi malým poklesom svetelného toku v priebehu života zdroja, výrazne dlhšou životnosťou (až 15 000 h) a životnosť nie je ovplyvňovaná častým spínaním, a dovoľuje ich použiť na miestach častého zapínania – chodby, toalety atď.

Hlavné nedostatky kompaktných žiariviek:

- závislosť svetelných parametrov na teplote okolitého prostredia,
- vplyv počtu zapínania na ich životnosť, obsah toxickej ortuti (aj keď významní výrobcovia znížili jej množstvo na technologicky najnutnejšiu úroveň – na 2 mg),
- obmedzená horná hranica príkonu vyplývajúca z možností nízkotlakového výboja.

1.3.2.5 Konštrukcia a technológia lineárnej žiarivky



Obr. 13 Konštrukcia lineárnej žiarivky

Zdroj: Dvořáček, 2008. Dostupné na: < <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37032.pdf>>.

Trubica je zhotovená z mäkkého skla, na jej vnútornú stenu je nanosená jedna, u špeciálnych typov dve vrstvy lumínoforu, ktoré transformujú ultrafialové žiarenie kladného ortuťového stĺpca na viditeľné žiarenie. Na oboch koncoch trubice je zatavená volfrámová elektróda, na ktorej je nanosená emisná hmota na báze oxidov bária a vápnika. Okolo elektród je na neutrálnom prívode umiestnená ochranná kovová clonka, ktorá zabraňuje usadzovaniu vyparujúcich a rozprašujúcich sa emisných hmôt na vrstve lumínoforu. Obmedzuje tak neestetické černenie koncov žiariviek a prispieva ku stabilizácii svetelného toku počas svietenia. Vlastný výboj prebieha v nasýtených parách ortuti pri tlaku (asi 0,8 Pa) odpovedajúcim teplote najchladnejšieho miesta žiarivky (asi 42 °C) a v inertnom plyne (obvykle argón alebo zmes argónu s kryptónom), ktorý znižuje zápalné napätie výboja a zabraňuje rýchlemu rozprašovaniu emisnej hmoty. Na oboch koncoch trubice bežných typov je pritmelená päťica typu G13 (u novej generácie lineárnych žiariviek G5) s dvoma kolíkmi zaisťujúcimi zároveň elektrický kontakt s objímkami svietidla a predradným a štartovacím obvodom. Veľmi dôležitou operáciou je dávkovanie ortuti. Pre správne fungovanie postačuje iba nepatrné množstvo ortuti. Vzhľadom k tomu, že počas svietenia z rôznych dôvodov ortuť ubúda (napr. v dôsledku reakcie ortuti s alkáliami obsiahnutými v skle trubice), je do žiarivky dávkovaná v prebytku. Toxicita ortuti a s ňou súvisiace problémy pri výrobe i pri likvidácii vyhorených žiariviek núti výrobcov používať iba minimálne nevyhnutné množstvo. Pri zvládnutom postupe spoľahlivého dávkovania malého množstva ortuti (v čistej forme alebo vo forme amalgámu) a pri dokonalej čistote ďalších vstupných materiálov, účinnom procese čerpania žiariviek a využití ochrannej vrstvy medzi lumínoforom a sklom vystačíme iba s 3

mg ortuti. Výsledkom týchto opatrení a použitím kvalitných moderných luminoforov vznikne ekologická žiarivka s vynikajúcou stabilitou svetelného toku počas jej života (Dvořáček, 2008, č.2).

1.3.2.6 Vlastnosti lineárnych žiariviek

Hlavné prednosti lineárnych žiariviek (Dvořáček, 2008, č.2):

- vysoká účinnosť premeny elektrickej energie na svetelnú, dosahujúcu pri vysokofrekvenčnom napájaní až 104 lm/W, pri súčasnom vysokom všeobecnom indexe podania farieb Ra dosahujúcom hodnoty až 80,
- vhodné geometrické parametre, umožňujúce konštruovať materiálovo úsporné svietidlá s jednoduchou optikou s možnosťou zostavovať ich do estetických spojitých svietiacich pásov alebo veľkých plôch,
- veľmi široký sortiment farieb vyžarovaného svetla, charakterizovaný náhradnou teplotou chromatickosti 2 700 až 17 000 K,
- vysoko produktívne výrobné linky, ich kapacita dosahuje až 4 000 ks/h, pri vysokej vyťažnosti výrobného procesu; z toho vyplýva trvale nízka cena základného sortimentu žiariviek,
- dlhá životnosť, dosahujúca u niektorých špeciálnych typoch viac než 20 tisíc h pri dobrej stabilite svetelného toku v priebehu svietenia(obr. 14).

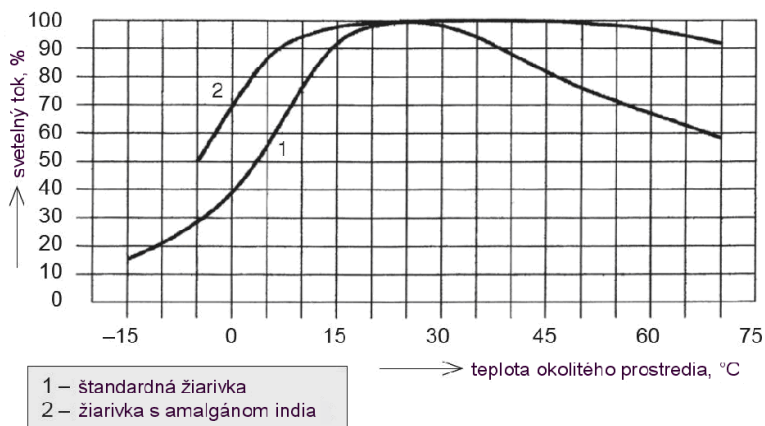


Obr. 14 Pokles svetelného toku žiariviek v priebehu svietenia

Zdroj: Dvořáček, 2008. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37032.pdf>>.

Hlavné nedostatky lineárnych žiaroviek:

- závislosť ich svetelného toku na teplote okolitého prostredia (obr. 15),



Obr. 15 Závislosť svetelného toku žiarivky na teplote okolitého prostredia

Zdroj: Dvořáček, 2008. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37032.pdf>>.

- potreba predradných a štartovacích obvodov, ktoré čiastočne znižujú merný výkon osvetľovacej sústavy ako celku,
- vplyv počtu zapnutí na životnosť žiarivky (je významnejší v zapojení s tlmivkou a dutinkovým štartérom, menej významné v bez štartérových zapojeniach a najmä u kvalitných elektronických predradníkov zaisťujúcich dostatočné predžhavenie elektród pred zapálením výboja),
- obsah toxickej ortuti, pre ktorú nie je možné žiarivky po ukončení ich života odkladať do komunálneho odpadu, ale je nutné ich likvidovať u poverených organizáciách.

Negatívny vplyv okolitej teploty vyspelí výrobcovia riešia používaním amalgámu vhodných kovov, ktoré rozširujú teplotný interval, v ktorom si svetelný tok žiaroviek udržuje hodnotu blízku optimálnej, alebo vytvorením tzv. umelého chladného bodu, jeho teplota určuje tlak nasýtených pár ortuti na hodnote, pri ktorej je výstup rezonančného UV žiarenia výboja, a tak následne aj svetelný tok žiarivky, maximálny. Druhý uvedený spôsob bol využitý pri výrobe najmodernejších žiaroviek T5, pričom ich jedna elektróda je vysunutá bližšie k stredu trubice, takže chladný bod vznikne v oblasti za touto elektródou. Tento koniec je zreteľne označený. Pri použití niekoľkých žiaroviek v jednom svietidle je nutné takto označené konce zhodne orientovať. V opačnom prípade sa zníži účinnosť žiaroviek.

Sortiment žiariviek vyrábaných v súčasnej dobe je veľmi široký ako z hľadiska príkonu, rozmerov a tvarov, tak i z hľadiska farebných odtieňov, vyžarovaného svetla a kvality podania farieb osvetľovaných predmetov (Dvořáček, 2008, č.2).

1.3.2.7 Použitie žiariviek

Žiarivky sú v domácnostiach vhodným svetelným zdrojom tam, kde sa kladie dôraz na optimálne využitie elektrickej energie, jasné a kontrastné svetlo bez mihania, dlhú životnosť bez poklesu svetelného toku, na osvetlenie pracovného stola v kuchyni, zrkadla v kúpeľni a pod. Moderné žiarivky patria k najlepším a najzdravším svetelným zdrojom. Nedráždia oči a neskresľujú farby, svietia bielym, až žltým svetlom. Novšie typy žiariviek už nie sú príliš citlivé ani na časté zapínanie a vypínanie, vydržia až 500 tisíc alebo neobmedzený počet spínacích cyklov, môžu sa teda využívať i v priechodných priestoroch (chodby, schodiská), na WC a v kúpeľniach. Pri ich použití treba mať na pamäti, že vyžadujú voľný prístup vzduchu. Nemali by sa používať na miestach, kde teplota okolia môže prekročiť 40 °C a kde strieka či kvapká voda. Jednoduchšie žiarivky nie sú vhodné do svietidiel s tradičným žiarovkovým stmievačom. Kompaktné žiarivky je možné aplikovať aj vo verejnom osvetlení menej frekventovaných ciest, parkov, peších zón a námestí (Nováková, 2008).

1.3.3 LED žiarovky

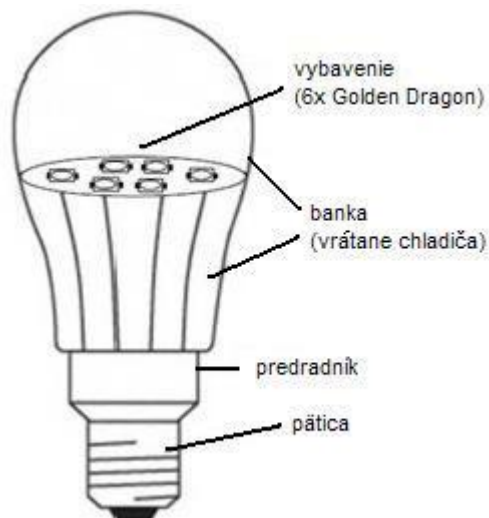
Najnovšou generáciou moderných svetelných zdrojov sú LED (Light-emitting diode - diódy vyžarujúca svetlo). Teraz sa začínajú presadzovať ako plnohodnotná súčasť interiérového osvetlenia. LED žiarovky môžu priamo nahradiť bežne používané svetelné zdroje v osvetľovacej technike. Predstavujú v súčasnosti možno najperspektívnejšiu oblasť svetelných zdrojov. Enormný nárast merného výkonu v poslednom období pri zachovaní mimoriadne vysokej životnosti, ako aj veľké výskumno-vývojové pracoviská svetových výrobcov orientovaných na LED technológie dávajú tušiť, že práve tento svetelný zdroj sa stane dominantným pre systémy núdzového, orientačného či automobilového osvetlenia, a zároveň umožní aplikácie v exteriérovom aj interiérovom osvetlení (Nováková, 2008).

1.3.3.1 Konštrukcia a technológia

Svetelný zdroj LED (Chmelář, 2010) sa obvykle skladá z týchto súčastí (obr. 16):

- päťica,
- integrovaný elektronický predradník,
- chladič,

-
- skupina LED diód,
 - optika (napr. banka alebo reflektory).



Obr. 16 Konštrukcia svetelného zdroja LED

Zdroj: Chmelář, 2010. Dostupné na: <<http://www.elektro-chmelar.cz/30-osram/200-vse-co-chnete-vedet-o-led-technologie-spolecnosti-osram.html>>.

Svetelné zdroje LED neposkytujú možnosť neobmedzeného množstva zopnutí, pretože obsahujú integrovaný elektronický predradník. Typický spínací cyklus svetelných zdrojov LED je medzi 50000 - 100000 zopnutí alebo viac (spínací cyklus: vyp/zap po 30s s poruchovosťou do 10%). Obsahujú dva hlavné zdroje tepla: integrovaný elektronický predradník a vlastné LED diódy. Účinnosť svetelného zdroja LED je viac než 4x vyššia, než účinnosť konvenčných vlákňových žiaroviek. Teplota LED je preto v porovnaní s konvenčnými technológiami omnoho nižšia.

1.3.3.2 Vlastnosti LED

Výhody voči klasickým svetelným zdrojom (Maletič, 2008):

- dlhá životnosť - je daná princípom vzniku žiarenia. V prípade dodržania požadovaných prevádzkových parametrov (najmä chladenia čipu), je u výkonových (1W – 3W) LED dosahovaná životnosť 20 000 – 50 000 hodín, u LED s menšími výkony až 100 000 hodín,
- nízka spotreba - vysoko efektívna premena elektrickej energie na svetelné žiarenie znižuje spotrebu elektrickej energie,
- nízka prevádzková teplota - aj u výkonových LED neprekročí prevádzková teplota hodnotu cca 70 °C, takže sa vyhneme množstvu problémov pri inštalácii svietidiel,

-
- okamžitý štart - po zapnutí štartujú LED okamžite a sú schopné nadobudnúť hneď plný výkon,
 - malé rozmery - malé až miniatúrne rozmery LED ponúkajú lákavé možnosti konštruktérom svetidiel v minimalizácii ich designu, v niektorých prípadoch je konštrukcia svetidla úplne potlačená a svetidlo sa stáva súčasťou konštrukcie povrchu steny, podlahy, stropu,
 - takmer nulová tvorba stratového tepla,
 - vysoká odolnosť voči vonkajším vplyvom- svetelný zdroj LED býva obvykle zapuzdrený v obale, ktorý odoláva bez problémov vonkajším vplyvom (voda, chemické látky) a otrasom,
 - bezpečná prevádzka - LED sú napájané zo zdrojov s nízkym (rádovo jednotky voltov) napätím, a preto sú z hľadiska bezpečnosti pred úrazom elektrickým prúdom bezpečné,
 - rovnomerná intenzita vyžarovaného svetla LED žiarovky počas jej životnosti,
 - široký teplotný rozsah použitia $-40^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$,
 - ako zdroj osvetlenia sa svojou efektívnosťou vyrovnajú kompaktným žiarivkám – dokonca vydržia ešte dlhšie a spotrebujú o 80 % menej energie ako žiarovky.
 - ohľaduplné voči životnému prostrediu – neobsahujú ortuť ani iné nebezpečné či škodlivé látky.

Nevýhody LED žiaroviek:

LED nie je možné napojiť priamo na sieťové napätie. Je ich možné prevádzkovať len cez transformátory. Výkonové LED, ktoré sú napojené „prúdovo“ (zapojené do série), vyžadujú špeciálne prúdové napájače so stabilizáciou napájacieho prúdu. Určitou výhodou v porovnaní napr. s elektronickými transformátormi pre halogénové žiarovky je, že prúdový zdroj nemusí byť inštalovaný v bezprostrednej blízkosti LED, ale môže byť umiestnený napr. až vo vzdialenosti 50m. V porovnaní s inými, dnes bežne používanými svetelnými zdrojmi ako sú napr. žiarovky a žiarivky, je cena vyššia. Je to dané zatiaľ malým uplatnením v praxi. Je tu predpoklad, že pri zvyšovaní výroby bude ich cena klesať. Určitou kompenzáciou sú nízke prevádzkové náklady. Pretože svetelné zdroje LED obsahujú elektronické komponenty, spotrebitelia ich na rozdiel od obyčajných žiaroviek nesmú vyhadzovať spoločne s bežným domácim odpadom. V rámci EU musia byť svetelné zdroje LED, podobne ako kompaktné žiarivky, likvidované príslušným spôsobom prostredníctvom zberných dvorov alebo zberných stredísk pre elektrické zariadenia.

1.3.3.3 Použitie

Uvedené vlastnosti možno využiť v celom rade prípadov, kde ideálne splnia požiadavky kladené na zdroje osvetlenia: núdzové, orientačné a informačné systémy verejných budov, hotelov, zdravotníckych zariadení, letísk, kín, divadiel, počas kultúrnych podujatí, kongresov, hudobných a divadelných predstavení a výstav, v doprave, v signalizačnej technike. Ideálne sú na miestach s obmedzenými zdrojmi elektrickej energie, v karavanoch, v záhradách, v horských chatách, pri použití v kombinácii so solárnymi panelmi. Nízke tepelné vyžarovanie umožňuje ich zabudovanie do nábytku a uzavretých vitrín. V domácnostiach nájdú vyžitie v stolných lampách, dekoratívnom osvetlení interiéru a exteriéru domu a záhrady, ako nočné orientačné osvetlenie chodieb, schodov, vstupných priestorov, chodníkov atď. Nachádzajú využitie na mnohých miestach, často aj tam, kde doteraz používané klasické svetelné zdroje nebolo možné aplikovať (Tabi, 2008).

Možnosťou náhrady klasickej žiarovky je produktová rada využívajúca výkonné diódy Rebel, označovaná ako Philips Master LED (obr. 17), s príkonom 7 W a životnosťou 45 000 h. Sú v niekoľkých prevedeniach (A55, NR63, GU10), teplote chromatickosti chladnej a teplej bielej a dvoch uhloch polovičnej svietivosti (25° a 40°). Zdroj je možné použiť ako alternatívu klasickej a halogénových žiaroviek či kompaktných žiaroviek, a to obzvlášť v aplikáciách s trvalým prevozom (životnosť 45 000 h). Použitie diódy navyše nevyžaruje na osvetľovaný predmet UV ani IR žiarenie, neobsahuje žiadne nebezpečné látky a ich štart je okamžitý, čo dovoľuje použiť senzor prítomnosti. Po porovnaní svetelného toku odpovedá prevedenie Master LED 7 W E27 230 V A55 klasickej žiarovke A55 40 W (Melč, 2009).



Obr. 17 Produktová rada Philips Master LED

Zdroj: Melč, 2009. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38557.pdf>>.

1.3.4 Regulácia úsporných zdrojov

O relatívne bezproblémovej náhrade (Zajíček, 2010) klasických žiaroviek úspornými zdrojmi je možné hovoriť v prípade kombinácie so spínačmi obsahujúcimi galvanický kontakt, tj. so spínačmi klasickými alebo elektronickými s relé na výstupe. Lenže kompaktné žiarivky alebo LED bude treba tiež regulovať, najlepšie prístrojom rovnakého designu ako ostatné prvky elektroinštalácie (obr. 18) – nie pre dosiahnutie ešte väčšej úspory energie, ale napr. pre stlmenie svetla podľa nálady alebo podľa okamžitej potreby. K tomu nie sú bežné úsporné zdroje prispôsobené. Majú totiž na vstupe obvody, ktoré predstavujú odlišný druh záťaže, ako pre ktorý sú „nereléové“ elektronické prístroje určené.



Obr. 18 Stmievач ABB Swing®L s otočným ovládaním

Zdroj: Zajíček, 2010. Dostupné na: < <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41415.pdf>>.

U stmievačov tak nemožno použiť inak osvedčený princíp fázovej regulácie. Tak isto dvojvodičové pripojované automatické pohybové spínače s polovodičovým výkonovým prvkom väčšinou s úspornými zdrojmi nefungujú správne. Vždy bude záležať na prevedení elektronického predradníka konkrétneho úsporného zdroja.

Ak sa kompaktnými žiarivkami alebo LED zdrojmi nahradí klasická žiarovka, kombinácia so stavaným stmievačom pravdepodobne funkčná nebude. Už síce existujú typy, ktoré sú stmievateľné (obr. 19), ale nie je ľahké určiť, s akým typom stmievača ich je možné kombinovať. Výrobcovia totiž obvykle udávajú iba všeobecnú informáciu, že sú „vhodné pre väčšinu bežne dostupných stmievačov“.

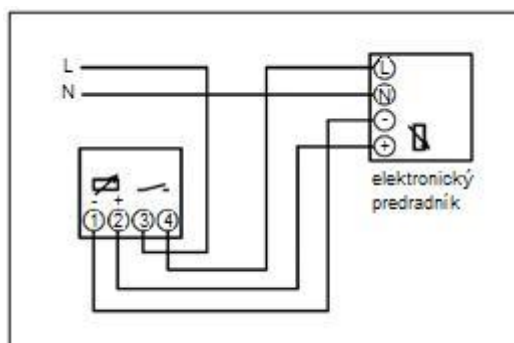


Obr. 19 Stmievateľná kompaktná žiarivka Master PL-E Dimmable 20W/827 E27

Zdroj: Zajiček, 2010. Dostupné na: < <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41415.pdf>>.

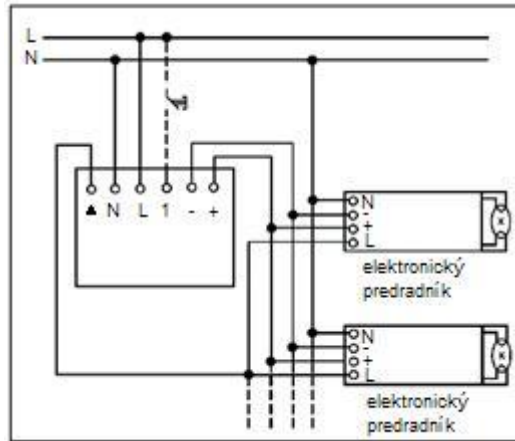
Zo skúseností vyplýva, že stmievateľné úsporné zdroje je možné prevádzkovať iba v spojení so stmievačmi s otočným ovládaním (obr. 18), ktoré využívajú fázovú reguláciu na nábehovej hrane. Sú to teda prístroje pôvodne určené pre obyčajné žiarovky alebo halogénové žiarovky napájané z vinutého transformátora. Najmä v prípade paralelného zapojenia niekoľkých úsporných zdrojov je treba dať pozor na rozmedzie dovoleného zaťaženia. Hodnoty uvedené u stmievača pre žiarovkovú záťaž nejde v tomto prípade použiť – je treba previesť približný prepočet: celkový príkon úsporných zdrojov by nemal prekročiť jednu pätinu menovitého zaťaženia stmievača a nemal by byť menší než jedna šestina jeho dovoleného minimálneho zaťaženia. Stmievače s krátkocestným alebo diaľkovým ovládaním nie sú spravidla použiteľné vôbec.

Ak sú úsporné zdroje vybavené analógovými predradníkmi s rozhraním 0 až 10 V (najčastejšie pre LED), dajú sa pre riadenie jas využiť regulátory otočné (obr. 20) alebo krátkocestné (obr. 21). Výrobcovia rozličných LED systémov napájaných z jednosmerných zdrojov ponúkajú reguláciu jas i RGB zložiek pomocou špeciálnych prístrojov najrôznejšieho prevedenia, ale ich designové zladenie so spínačmi a zásuvkami je problematické.



Obr. 20 Otočný regulátor ABB 6599-0-2035

Zdroj: Zajiček, 2010. Dostupné na: < <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41415.pdf>>.



Obr. 21 Krátkocestný regulátor ABB 6550-0-0042

Zdroj: Zajíček, 2010. Dostupné na: < <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41415.pdf>>.

Určité možnosti sú aj pre reguláciu nestmievateľných úsporných zdrojov. Existujú napr. zásuvkové adaptéry, ktoré umožňujú skokovo regulovať úroveň jasů bežných kompaktných žiaroviek a LED zdrojov – k dispozícii je ovládanie tlačítkové, diaľkové infračervené alebo rádiovfrekvenčné. Na trhu je možné sa stretnúť tiež so špeciálnymi kompaktnými žiarivkami alebo náhradami s LED, ktorých jas sa dá znižovať v niekoľkých krokoch vypnutím a opätovným zapnutím bežného spínača.

Isté ale je, že ako pri náhrade klasických žiaroviek v súčasných inštaláciách, tak pri navrhovaní inštalácií nových bude nutné vždy starostlivo uvážiť, o aký druh aplikácie ide, a podľa toho zvoliť odpovedajúce elektronické prístroje a úsporné svetelné zdroje.

2 Cieľ práce

Predložená práca sa zaoberá oboznámením sa s princípmi činnosti a parametrami jednotlivých zdrojov svetla vhodnými na použitie osvetľovania spoločných priestorov budov.

Na základe znalosti technických parametrov sa vyselektuje vhodný zdroj svetla a navrhne systém, ktorý popri zachovaní základných svetelno-technických požiadaviek stanovených normou zaistí dostatočné videnie a orientáciu v sledovanom priestore.

Cieľom je úspora elektrickej energie a zníženie nákladov na osvetlenie v konkrétnom spoločnom priestore, ktorým je chodba budovy.

3 Materiál a metódy

3.1 Norma STN EN 12464 – 1

Podľa normy STN EN 12464-1 sa definujú štandardné hodnoty nominálneho osvetlenia E v luxoch vnútri pracovných priestorov. Tabuľka (tab. 5) ukazuje niekoľko hodnôt intenzity osvetlenia E vo vnútorných školských priestoroch. Štandardné hodnoty sú referenčné hodnoty, ktoré tvoria kompromis medzi ekonomickými možnosťami a optimálnymi hodnotami. Optimálne hodnoty svetelno-technických parametrov sú v porovnaní s normatívnymi výrazne vyššie. Všeobecne sa vzťahujú k horizontálnym pracovným plochám vo výške 0,85 m nad podlahou.

Tab. 5 Štandardné hodnoty nominálneho osvetlenia E pre rôzne typy priestorov vo vnútri školských budov (norma STN EN 12464 – 1)

Typ priestoru	E (lx)	Typ priestoru	E (lx)
Počítačová učebňa	300	Vstupná hala	200
Prednášková miestnosť	500	Schody	150
Demonštračný stôl	500	Školská jedáleň	200
Miestnosť na rysovanie	750	Školská kuchyňa	500
Laboratórium, praktické cvičenia	500	Telocvičňa, plaváreň (všeobecné použitie)	300
Knižnica: čítareň	500	Komunikačné priestory, chodby	100

3.2 Spoločný priestor budovy – chodba

Pri návrhu budovy sa vychádza z toho, že základom dobrého osvetlenia interiéru je denné osvetlenie, ktoré má byť zriadené v každom priestore s dlhodobým pobytom ľudí. Chodby predstavujú priestor s krátkodobým pobytom osôb, no i napriek tomu je základom denné osvetlenie, a tým sa požaduje celkové osvetlenie 100 lx. Ak sa nedosiahne minimálne táto hodnota, denné svetlo sa dopĺňa umelým svetlom. Osvetľovacia sústava na chodbách v komerčných budovách musí byť navrhnutá tak, aby bol zabezpečený bezpečný priechod, minimalizácia rizika úrazu a dobrá orientácia. Napriek nižším požiadavkám na množstvo svetla a farebného podania, ako v iných priestoroch budovy, sa uplatnia vhodné a úsporné spôsoby osvetlenia použitím stropného alebo zápusťného svietidla pre priame osvetlenie. Z hľadiska časového využitia nami sledovaného priestoru s častým pohybom

osôb sa najlepšie uplatnia úsporné kompaktné žiarivky s dlhou životnosťou. Doplnením osvetľovacej sústavy na chodbe o pohybové snímače dokážeme znížiť náklady na svietenie, ale zvýšia sa náklady pri návrhu. Dôležitým faktom je aj zladenie a správne plnenie funkcie s použitím regulátora a výber správneho svetelného zdroja odolného voči častému spínaniu. Podľa vonkajšieho a vnútorného osvetlenia a svietivosti daných svetelných zdrojov sa presne vypočíta, koľko luxov je potrebných na daný priestor.

3.3 Postup pri meraní úrovne denného osvetlenia

Meranie budeme prevádzať za prítomnosti osôb, ktoré priestorom prechádzajú, aby sme zistili podmienky osvetlenia a zrakovej pohody počas užívania osvetľovacej sústavy a zároveň overili, či sú tieto podmienky v súlade s platnými právnymi predpismi. Pred začatím merania je nutné rozmiestniť snímače osvetlenia tak, aby neboli ovplyvnené cudzím svetlom z vedľajších miestností, čo by mohlo ovplyvniť výsledky merania. Snímače umiestnime do vhodnej výšky, aby boli zabezpečené proti poškodeniu a neovplyvňovali používateľov priestoru počas ich prítomnosti. Po rozmiestnení snímačov do jednotlivých zón ich pripojíme na meracie zariadenie, ktoré vyhodnotí priebeh zmeny osvetlenia každých 30 sekúnd. Záznam bude trvať 24 hodín počas štyroch dní. Zo zistených údajov zanedbáme tie, ktoré predstavujú dobu, kedy bude použité umelé osvetlenie. Tieto údaje využijeme pri odhade doby využitia umelého osvetlenia na chodbe. Výsledky interpretujeme pomocou tabuliek a grafov závislosti času prevádzky od veľkosti intenzity osvetlenia. Čas prevádzky je od 6:00 do 20:00.

3.4 Charakteristika použitých prístrojov

Pre účely práce použijeme tieto meracie prístroje a zariadenia:

- luxmeter PU320,
- Datalogger DT 10.

Datalogger DT 10 (obr. 22) bol zhotovený pre školské účely na Katedre elektrotechniky, automatizácie a informatiky. Je to elektronické zariadenie, ktoré zaznamenáva dáta v priebehu času prostredníctvom externých snímačov. Skladá sa z mikroprocesora, je prenosné a napájané batériovo alebo z elektrickej siete. Jednou z výhod je automatické zhromažďovanie informácií 24 hodín denne s časovou značkou. Po aktivácii meria a zaznamenáva informácie samostatne bez dozoru. Namerané údaje sa priamo ukladajú do súboru vo formáte aplikácie MS Excel alebo Matlab. Výstupom bude tabuľka, ktorá zahŕňa informácie o čase, dátume, čísle merania a digitálnu

hodnotu A/D prevodníka pre každý snímač. Pomocou vzorca (10) prevedieme digitálnu hodnotu na informáciu potrebnú pre naše meranie a tou je výstupné napätie snímačov. Toto napätie premeníme na požadovanú hodnotu intenzity osvetlenia v luxoch snímané fotodiódou z rovníc získaných pri kalibrácii jednotlivých snímačov.

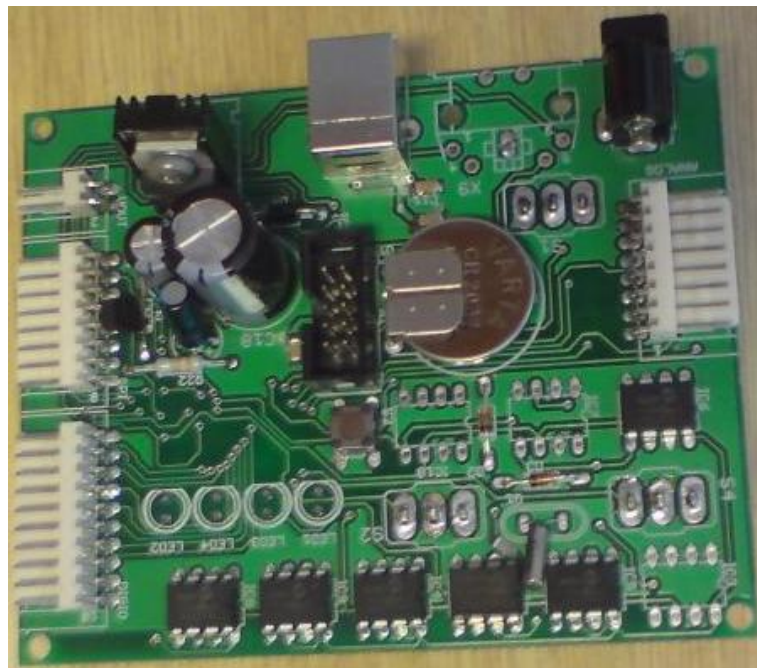
$$U_M = \frac{U_{ref} \cdot x}{1024}, V \quad (10)$$

kde: U_M – merané napätie, V

U_{ref} – referenčné napätie = 1,224, V

x – digitálna hodnota na výstupe A/D prevodníka,

1024 – rozlíšenie 10 bitového A/D prevodníka.



Obr. 22 Datalogger DT 10

Ďalším meracím prístrojom použitým v práci je luxmeter PU320 (obr. 23). Meria intenzitu osvetlenia pomocou fotočlánku, ktorý sa nasúva na prístroj. Meranú veličinu získame analógovým odčítaním zo stupnice rozdelenej podľa zvoleného rozsahu. Rozsah prístroja je v rozhraní od 100 do 3000 lx. Pomocou tlačidla je možné pozastaviť ručičku prístroja, čo umožňuje presnejšie odčítanie meranej hodnoty. Luxmeter využijeme pri kalibrácii zhotovených snímačov osvetlenia, kedy určíme vzťah medzi výstupným napätím snímača a intenzitou osvetlenia meranou luxmetrom.



Obr. 23 Luxmeter PU320

Pred použitím meracích prístrojov skontrolujeme ich funkčnosť a stav, aby sme predišli nepresnostiam pri meraní a nesprávnosti pri určovaní hodnoty meranej veličiny. V priebehu merania ich chránime pred nežiaducimi vplyvmi, ako sú napríklad otrasy, kolísanie teploty, vlhkosť, mechanické poškodenie.

3.5 Použité metódy vyhodnotenia výsledkov

Pri vyhodnotení výsledkov z merania zmeny denného osvetlenia v priebehu dňa využijeme komparatívnu metódu. Výsledky porovnáme s platnou legislatívou jednotlivo pre každé zóny pozorovanej chodby a určíme východiská pre zlepšenie súčasného stavu. Pri analýze aktuálnej osvetľovacej sústavy a jej energetickej náročnosti využijeme priamu metódu pomocou vzorcov. Pri výpočtoch bude nutné zistiť:

- tvar a rozmery sledovaného priestoru,
- druh svetelných zdrojov,
- typ svietidiel.

3.6 Presnosť merania

Z hľadiska účelu merania a z neho vyplývajúce požiadavky na presnosť budeme považovať naše meranie za prevádzkové, ktoré je určené pre overovanie správnosti navrhnutých a realizovaných podmienok osvetlenia a zrakovej pohody, ich dodržiavanie počas užívania stavby a pre porovnanie rôznych variantov osvetľovacích sústav – odhad rozšírenej neistoty merania je $3 < U \leq 8 \%$.

Pri vyhodnocovaní výsledkov budeme počítať s intervalom hodnôt rozšírených o neistotu merania $U = 3\%$.

4 Vlastná práca

4.1 Umelé osvetlenie pozorovaného priestoru

Na chodbe je umelé osvetlenie zabezpečené pomocou kompaktných žiaroviek Philips PL – C s príkonom 18 W a teplotou chromatickosti 3000 K (obr. 24). Tieto svetelné zdroje sú osadené v zápusných svietidlách Philips FBH 146 2xPL-C/2P18W IC WH s krytím IP20 vo výške 3 m nad podlahou. Každé svietidlo je vybavené dvoma kompaktnými žiarivkami podľa obr. 25.



Obr. 24 Kompaktná žiarivka Philips PL – C 18 W 830

Zdroj: Philips, 2011. Dostupné na: <http://www.ecat.lighting.philips.com/l/svetelne-zdroje-profesionalov/ep01_gr_sk_lp_prof_atg/cat/>.



Obr. 25 Svietidlá Philips FBH 146 2xPL-C/2P18W

Celkový počet svietidiel na chodbe je 21 kusov so 42 kompaktnými žiarivkami. Priestor chodby sme rozdelili na tri časti podľa veľkosti intenzity denného svetla (obr. 29):

- Zóna 1 obsahuje 11 svietidiel,
- Zóna 2 obsahuje 6 svietidiel,
- Zóna 3 obsahuje 4 svietidlá.

4.2 Denné osvetlenie pozorovaného priestoru

V 1. časti chodby je denné svetlo čiastočne zabezpečené presklenými vstupnými dverami a dvoma bočnými sklenenými stenami, cez ktoré prechádza denné svetlo z daných miestností (obr. 26).



Obr. 26 Vstupná časť chodby

V 2. časti je dostatočné videnie zaistené priamym prenikaním denného svetla cez zasklenú stenu po celej šírke (obr. 27).



Obr. 27 Stredná časť chodby s presklenou stenou

3. časť je najtmavšia, kde denné svetlo preniká len minimálne cez otvory nachádzajúce sa nad dverami jednotlivých miestností (obr. 28).



Obr. 28 Zadná časť chodby

4.3 Aktuálna energetická náročnosť chodby na osvetlenie

Zmyslom návrhu osvetlenia v našom pozorovanom priestore je vytvoriť dostatočné svetelné podmienky pre bezpečný priechod a dobrú orientáciu. Cieľom je dosiahnuť požadované svetelno-technické parametre energeticky najúspornejším spôsobom. Pri vypracovaní návrhu osvetlenia berieme energetickú náročnosť osvetlenia ako sekundárne hľadisko a nebudeme ju nadrad'ovať nad svetelno-technické požiadavky. Pre voľbu stratégie pri navrhovaní úsporných opatrení sme využili základný vzťah, ktorý vyjadruje spotrebu elektrickej energie pre osvetlenie za určité časové obdobie

$$W = P_N t_o, kWh \quad (11)$$

kde: P_N – celkový prevádzkový príkon svietidiel, kW

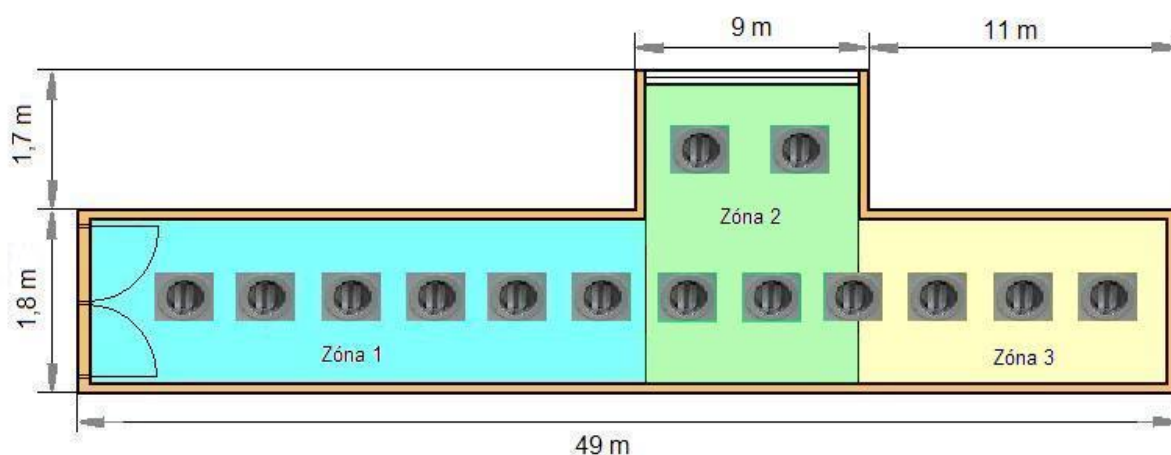
t_o – prevádzková doba, h

Príkon jedného použitého svietidla Philips je 36 W a celkový príkon svietidiel na chodbe je 756 W. Pre výpočet hodinovej spotreby aktuálneho osvetlenia dosadíme do vzorca (11) a dostaneme:

$$W = P_N t_o = 0,756 \cdot 1 = 0,756 \text{ kWh}$$

Na určenie toho, s akým počtom žiariviek použitých na chodbe by sme vystačili na dosiahnutie intenzity osvetlenia 100 lx, sme využili vzťah vyjadrujúci hodnotu 1 lx rovný podielu množstva svetla a veľkosti osvetlenej plochy:

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} \quad (12)$$



Obr. 29 Pôdorys chodby s jej rozmermi a s rozdelením na zóny

Celková plocha sledovaného priestoru je $103,5 \text{ m}^2$, pričom sme túto hodnotu získali súčtom plôch jednotlivých zón a to:

- zóna 1 má $52,2 \text{ m}^2$,
- zóna 2 má $31,5 \text{ m}^2$,
- zóna 3 má $19,8 \text{ m}^2$.

Dosadením do vzorca (12) je možné určiť počet luxov, aké dosahujeme súčasným osvetlením použitím kompaktných žiariviek so svetelným tokom 1200 lm na ploche $103,5 \text{ m}^2$:

$$E_c = \frac{\theta_z}{A} = \frac{50\,400}{103,5} = 486,95, \text{ lx} \quad (13)$$

kde: E_c – celková intenzita osvetlenia na chodbe, lx

θ_z – celkový svetelný tok žiariviek, lm

A – veľkosť pozorovanej plochy, m^2 .

K dosiahnutiu hodnoty 100 lx na ploche $103,5 \text{ m}^2$ s použitím kompaktných žiariviek so svetelným tokom 1200 lm, by sme vystačili približne s 9 žiarivkami oproti súčasnému počtu 42 žiariviek.

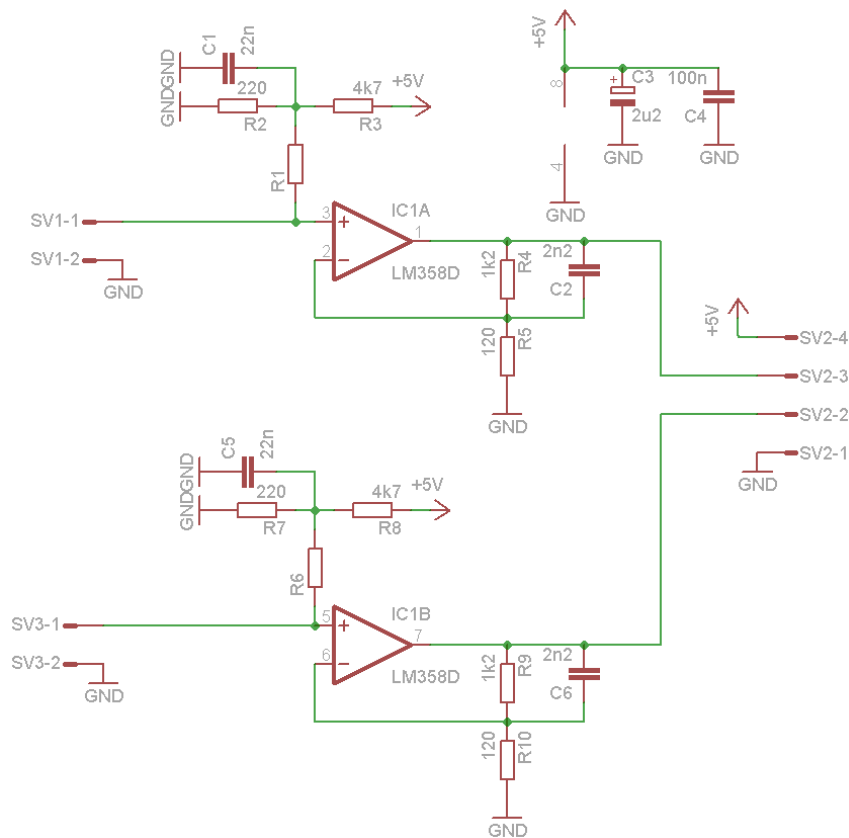
4.4 Meranie intenzity denného osvetlenia

4.4.1 Snímač osvetlenia

Pre určenie premenlivosti denného osvetlenia v pozorovanom priestore sme zhotovili snímač osvetlenia. Jeho činnosť je postavená na základe invertujúceho zosilňovača (obr. 30), kde výstupné napätie závisí od pomeru hodnôt odporov podľa vzťahu:

$$U_0 = -U_1 \frac{R_4}{R_5} \quad (14)$$

kde: U_0 – výstupné napätie,
 U_1 – vstupné napätie.



Obr. 30 Schéma zapojenia snímača osvetlenia

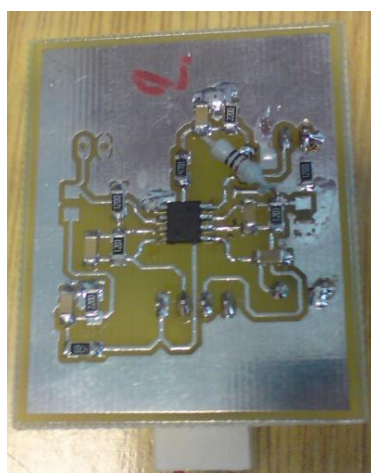
Obvod pozostáva z dvoch vstupov, kde na zaznamenanie vstupného signálu je použitá fotodióda (obr. 31), ktorá zachytáva svetlo cez sklené vlákno. Namerané osvetlenie premieňa fotodióda na výstupné napätie v rozsahu od 0 do 5 V, ktoré je 10 – násobne zosilnené. Zväčšovaním intenzity osvetlenia sa zväčšujú aj prúdy pretekajúce diódou v spätnom a priamom smere. Vzhľadom na osvetlenie je výstup svetelného snímača lineárny.



Obr. 31 Fotodióda 3mm, priehľadná

Tab. 6 Technické údaje senzora osvetlenia

		Snímač osvetlenia	
		Parametre	Kalibračná funkcia
	Snímač 2		$E (lx) = 2,3951 \cdot 10^{-5} \cdot U_V^3 - 6,0142 \cdot 10^{-2} \cdot U_V^2 + 50,54 \cdot U_V - 13798$
	Snímač 3		$E (lx) = 3,2002 \cdot 10^{-5} \cdot U_V^3 - 0,07125 \cdot U_V^2 + 52,869 \cdot U_V - 12430$
Potrebný prúd		1,3 mA	
Pripojenie		Svorkovnica	
Snímač		Fotodióda	
Rozmery		47 x 39 mm	
Výstupný napät'ový rozsah		0 – 5 V	



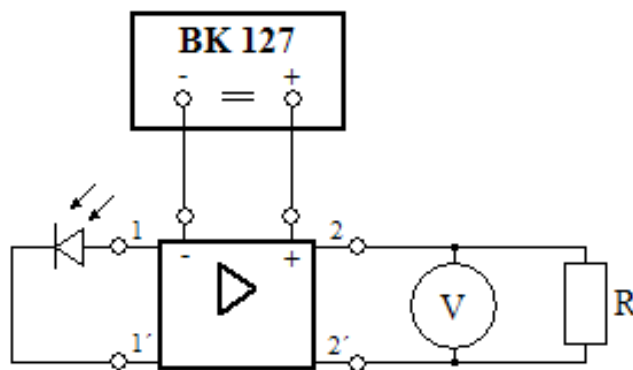
Obr. 32 Plošný spoj snímača osvetlenia s osadenými súčiastkami

4.4.2 Kalibrácia snímača osvetlenia

Kalibráciu sme prevádzali v priestoroch chodby na miestach s rôznou svetelnou intenzitou tak, aby sme dosiahli hodnoty potrebné na určenie závislosti medzi výstupným napätím snímača a intenzitou osvetlenia. Na meranie sme použili:

- zdroj Tesla BK 127,
- luxmeter PU320,
- digitálny voltmeter RTO DMM – 3800 – 21,
- snímače osvetlenia (obr. 32).

Obvod zosilňovača sme napájali jednosmerným napätím 5 V zo zdroja BK 127 podľa schémy (obr. 33). Na vstupe je fotodióda, ktorá zachytáva vstupný signál. Na výstupe je pripojený voltmeter, ktorý zaznamenáva cez signálový vodič hodnotu signálu z fotodiódy. K voltmetru je paralelne pripojený odpor R, ktorý predstavuje záťaž.



Obr. 33 Schéma kalibrácie senzora osvetlenia

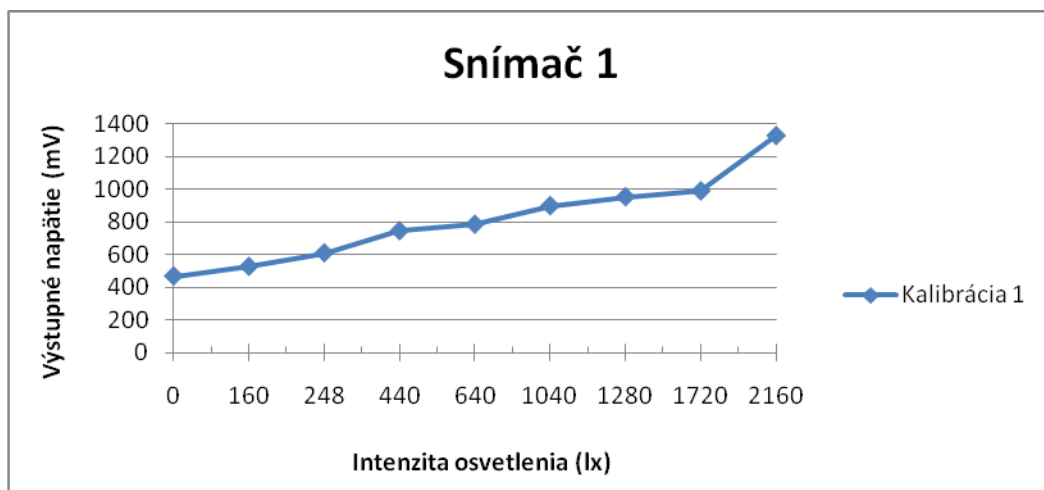
4.4.3 Postup kalibrácie

Závislosť medzi hodnotami snímača osvetlenia a luxmetrom sme zisťovali ich vzájomným priblížením, aby úroveň osvetlenia na fotodióde a fotočlánku luxmetra bola približne rovnaká. Najskôr sme určili nulový bod, kde fotodióda nebola osvetlená a určili sme iba výstupné napätie. Súčasným odčítaním hodnôt z voltmetra a zo stupnice luxmetra sme údaje zapísali do tabuľky. Tento postup sme opakovali pre všetky snímače dovtedy, až kým bol dostatočný počet meraní na vytvorenie grafickej závislosti, ktorá by mala byť vzhľadom na výstupné hodnoty lineárna. Hodnoty získané luxmetrom bolo potrebné korigovať hodnotou 0,8 získanou z korekčnej tabuľky pre denné osvetlenie. Odchýlky od lineárnej závislosti sme preto vyrovnali trendovou čiarou, čím sme zároveň dostali rovnice vyjadrujúce vzájomný vzťah medzi zisťovanými hodnotami. Chyby pri meraní boli

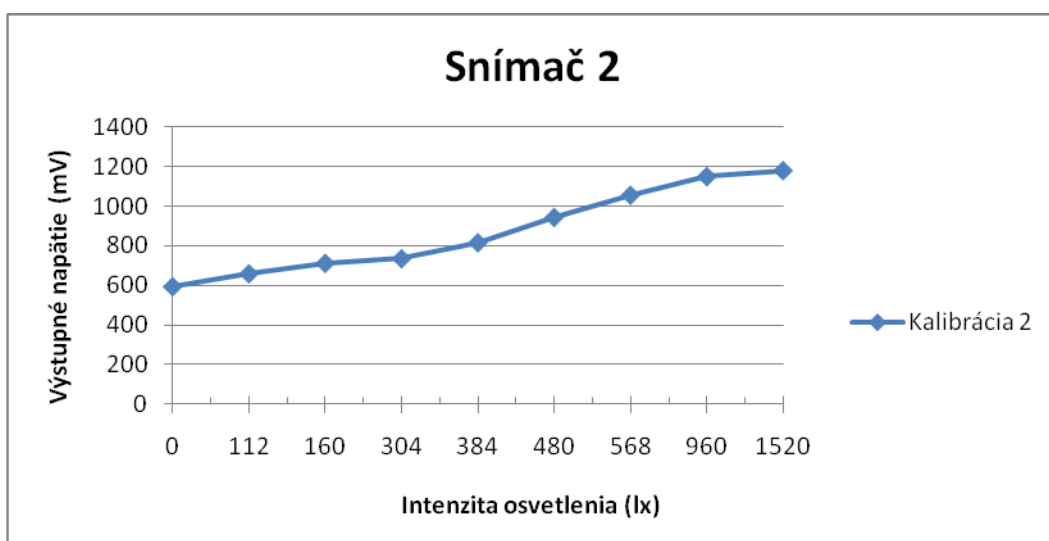
spôsobené obsluhou nepresným odčítaním hodnoty z analógového luxmetra alebo nesprávnym priložením luxmetra k fotodióde.

Tab. 7 Namerané hodnoty kalibrácie

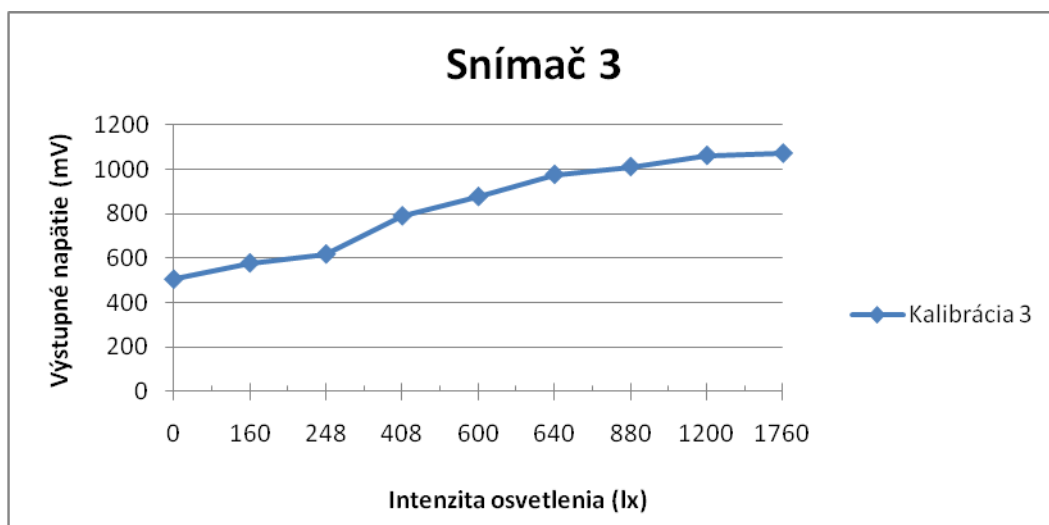
Číslo snímača	Výstupné napätie na snímači (mV)	Intenzita osvetlenia na luxmetri (lx)	Korekcia luxmetra (lx)
1	467	0	0
	526	200	160
	609	310	248
	745	550	440
	785	800	640
	899	1300	1040
	954	1600	1280
	990	2150	1720
	1330	2700	2160
2	594	0	0
	659	140	112
	712	200	160
	735	380	304
	816	480	384
	944	600	480
	1056	710	568
	1150	1200	960
	1180	1900	1520
3	505	0	0
	578	200	160
	618	310	248
	789	510	408
	876	750	600
	975	800	640
	1010	1100	880
	1060	1500	1200
	1070	2200	1760



Obr. 34 Grafická závislosť kalibrácie snímača 1



Obr. 35 Grafická závislosť kalibrácie snímača 2



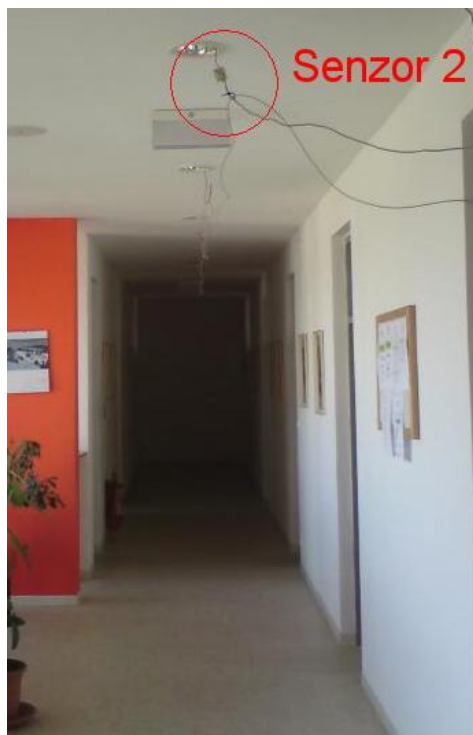
Obr. 36 Grafická závislosť kalibrácie snímača 3

4.4.4 Príprava a priebeh merania úrovne denného osvetlenia

Podrobný postup merania je opísaný v časti „Materiál a metódy“. Rozmiestnenie jednotlivých snímačov je možné vidieť z nasledujúcich obrázkov.



Obr. 37 Umiestnenie snímača osvetlenia v zóne 1



Obr. 38 Umiestnenie snímača osvetlenia v zóne 2



Obr. 39 Umiestnenie snímača osvetlenia v zóne 3

4.4.5 Výsledky a zhodnotenie merania

Výsledky sme spracovali do tabuliek, kde sme pre každý snímač v danej zóne určili priemernú hodnotu intenzity osvetlenia (vzorec 15) s príslušným intervalom neistoty merania $\pm U$ a porovnali s normovanou hodnotou E_{norm} 100 lx.

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}, \text{ lx} \quad (15)$$

kde: E_i – intenzita osvetlenia, lx

n – počet meraní.

Z výsledkov meraní je zrejmé, že dosvietiť sledovaný priestor v každom jeho mieste umelým svetlom je potrebné v skorých ranných hodinách približne do 7³⁰ a popoludní od 16³⁰. Vplyv na dosiahnutie predpísanej intenzity osvetlenia 100 lx má oblačnosť počasia a jeho zmena. Pri zamračenej oblohe je osvetlenie nad 100 lx iba v zóne 2. Vo zvyšných miestach je nutné dosvietiť priestor umelým zdrojom svetla. Pri jasnom dni vyhovujú svetelné podmienky počas dňa v jednotlivých zónach v rôznom časovom intervale, čo je viditeľné z obr. 41.

Tab. 8 Výsledky merania v zóne 1 počas štyroch dní

Deň	Dátum	Počasie	Číslo snímača: 1		Zóna: 1	
			\bar{E} [lx]	U [%]	$E \pm U$ [lx]	$E_{norm.}$ [lx]
Piatok	11.2.2011	Zamračené	17,88	3	< 17,34; 18,41 >	100
Sobota	12.2.2011	Jasno	57,15	3	< 55,43 ; 58,86 >	100
Nedeľa	13.2.2011	Premenlivá oblačnosť	31,82	3	< 30,87 ; 32,77 >	100
Pondelok	14.2.2011	Zamračené	22,45	3	< 21,78 ; 23,12 >	100

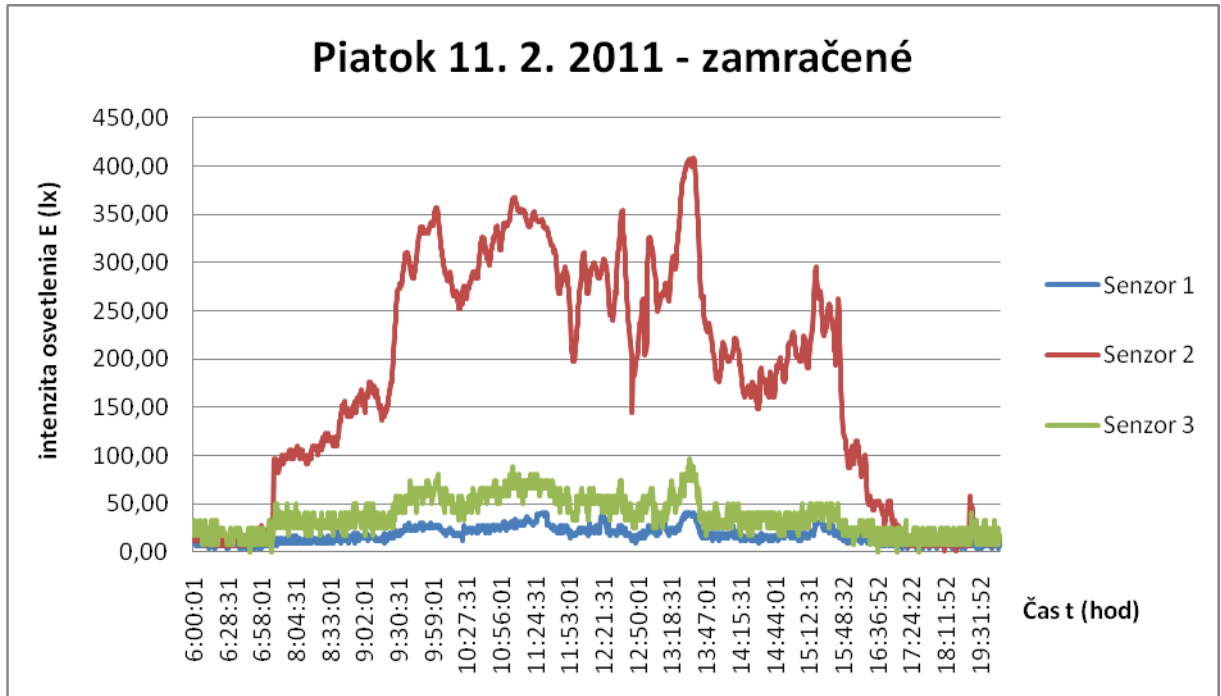
Tab. 9 Výsledky merania v zóne 2 počas štyroch dní

Deň	Dátum	Počasie	Číslo snímača: 2		Zóna: 2	
			\bar{E} [lx]	U [%]	$E \pm U$ [lx]	$E_{norm.}$ [lx]
Piatok	11.2.2011	Zamračené	178,15	3	< 172,81; 183,49 >	100
Sobota	12.2.2011	Jasno	232,84	3	<225,85 ; 239,83>	100
Nedeľa	13.2.2011	Premenlivá oblačnosť	237,09	3	<229,98 ; 244,20>	100
Pondelok	14.2.2011	Zamračené	218,72	3	<212,16 ; 225,28>	100

Tab. 10 Výsledky merania v zóne 3 počas štyroch dní

Deň	Dátum	Počasie	Číslo snímača: 3		Zóna: 3	
			\bar{E} [lx]	U [%]	$E \pm U$ [lx]	$E_{norm.}$ [lx]
Piatok	11.2.2011	Zamračené	37,57	3	< 36,44; 38,70 >	100
Sobota	12.2.2011	Jasno	107,52	3	<104,29 ; 110,75 >	100
Nedeľa	13.2.2011	Premenlivá oblačnosť	75,69	3	< 73,42 ; 77,96 >	100
Pondelok	14.2.2011	Zamračené	44,24	3	< 42,91 ; 45,57 >	100

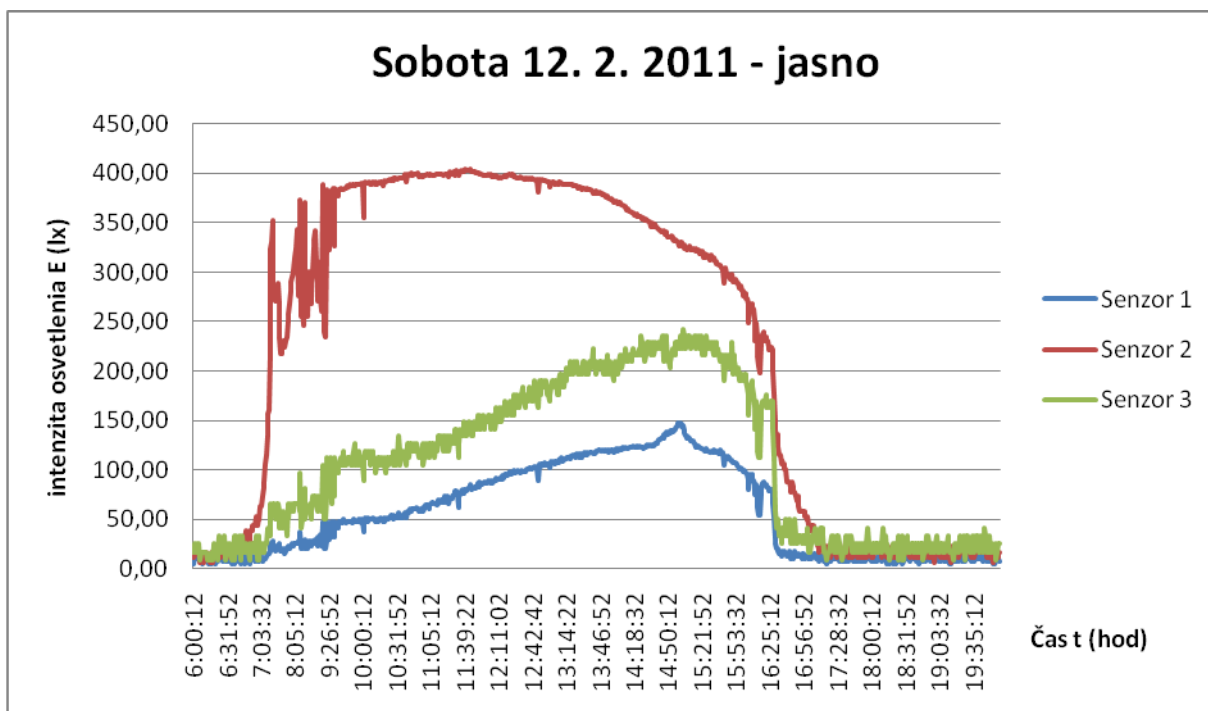
Celý priebeh počas doby prevádzky je zobrazený v grafoch. V piatok 11.2. 2011 pri zamračenej oblohe (obr. 40) bola v zóne 1 a 3 intenzita osvetlenia pod 100 lx počas celého dňa. V zóne 2 sa od 7¹⁵ do 16⁰⁰ pohybovala intenzita osvetlenia nad 100 lx, pričom maximum dosiahla o 13³⁰ 400 lx.



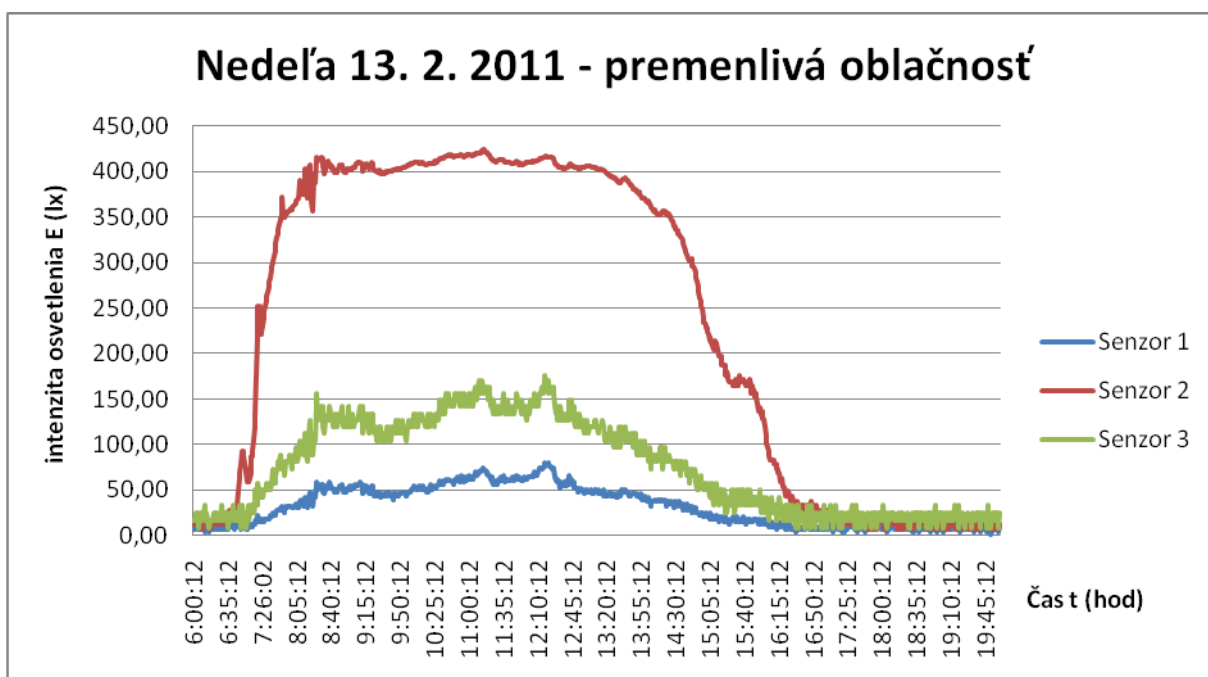
Obr. 40 Grafická závislosť zmeny denného osvetlenia počas Piatka 11.2.2011

V sobotu sa pri jasnej oblohe intenzita osvetlenia pohybovala na predpísanej hodnote v rôznom časovom rozmedzí (obr. 41). V zóne 1 dochádzalo k jej postupnému stúpaniu a od 12⁰⁰ do 16⁰⁰ mala hodnotu nad 100 lx s maximom o 15⁰⁰ 150 lx. Podobný priebeh bol aj v zóne 3, kde sa však osvetlenie 100 lx dosiahlo skôr, od 9³⁰ s maximom o 15³⁰ 240 lx. V zóne 2 sa od 9⁰⁰ do 15⁰⁰ udržiavala hodnota intenzity svetla od 350 do 400 lx.

Premenlivá oblačnosť v nedeľu 13.2. 2011 (obr. 42) spôsobila rozdiel v jednotlivých miestach merania. V zóne 1 je potreba priestor dosvietiť umelým zdrojom celý deň na rozdiel od zóny 3, kde od 8⁰⁰ do 14⁰⁰ svetlo vyhovovalo požiadavkám. V zóne 2 boli hodnoty od 8³⁰ do 13⁰⁰ nad 400 lx.

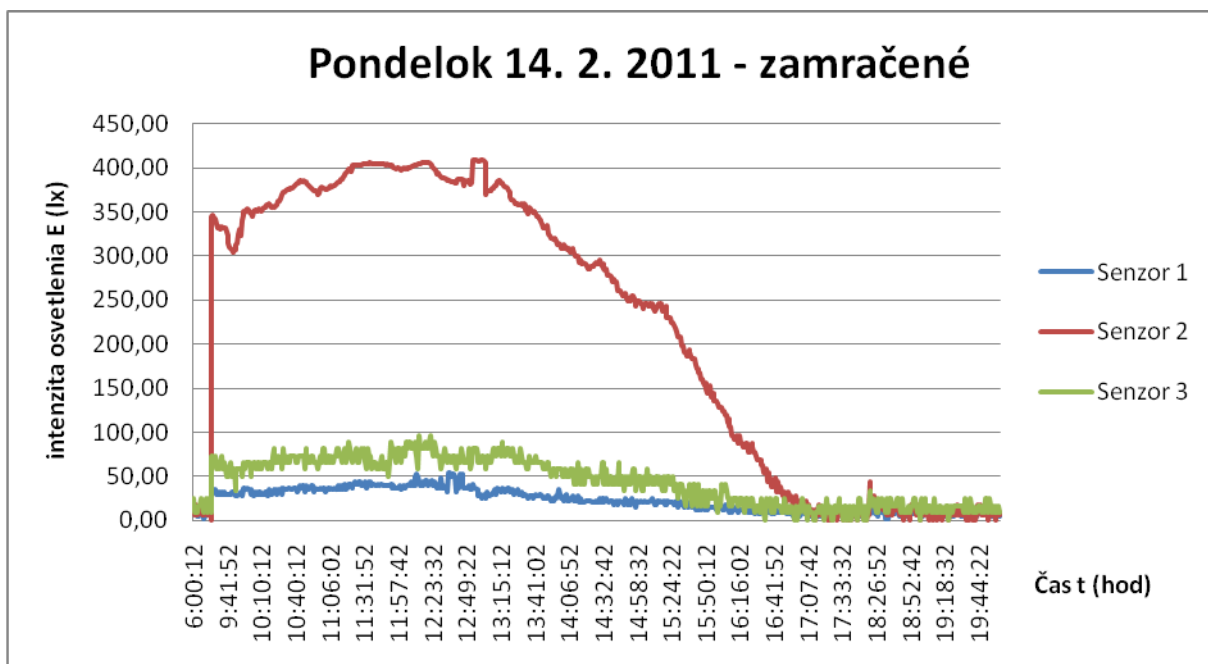


Obr. 41 Grafická závislosť zmeny denného osvetlenia počas Soboty 12.2.2011



Obr. 42 Grafická závislosť zmeny denného osvetlenia počas Nedele 13.2.2011

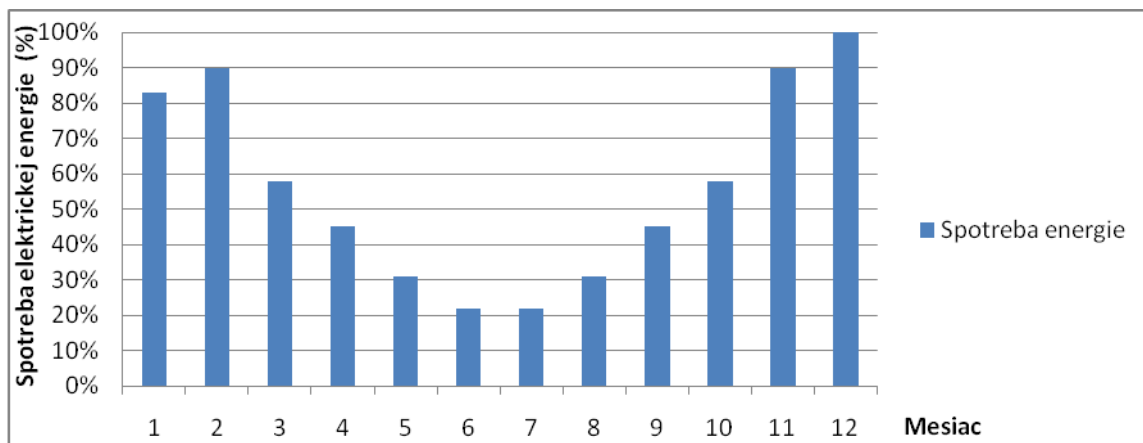
V pondelok 14.2. 2011 (obr. 43) sa umelé osvetlenie použilo až do 8⁰⁰, čo predstavuje skokovitá hodnota na začiatku grafu. V zónach 1 a 3 sa intenzita osvetlenia pohybovala pod 100 lx s miernym priblížením k tejto hodnote v poludňajších hodinách. Zóna 2 vyhovovala požiadavkám od 8⁰⁰ do 16⁰⁰.



Obr. 43 Grafická závislosť zmeny denného osvetlenia počas Pondelka 14.2.2011

4.5 Využitie denného osvetlenia v rôznom ročnom období

Priebeh zmeny denného svetla v pozorovanom priestore závisí od ročného obdobia. Keďže sme meranie prevádzali v zimnom období v mesiaci Február, je čas využitia umelého osvetlenia dlhší. Odhadovaná spotreba energie na umelé osvetlenie počas roka je znázornená na obrázku (obr. 44).

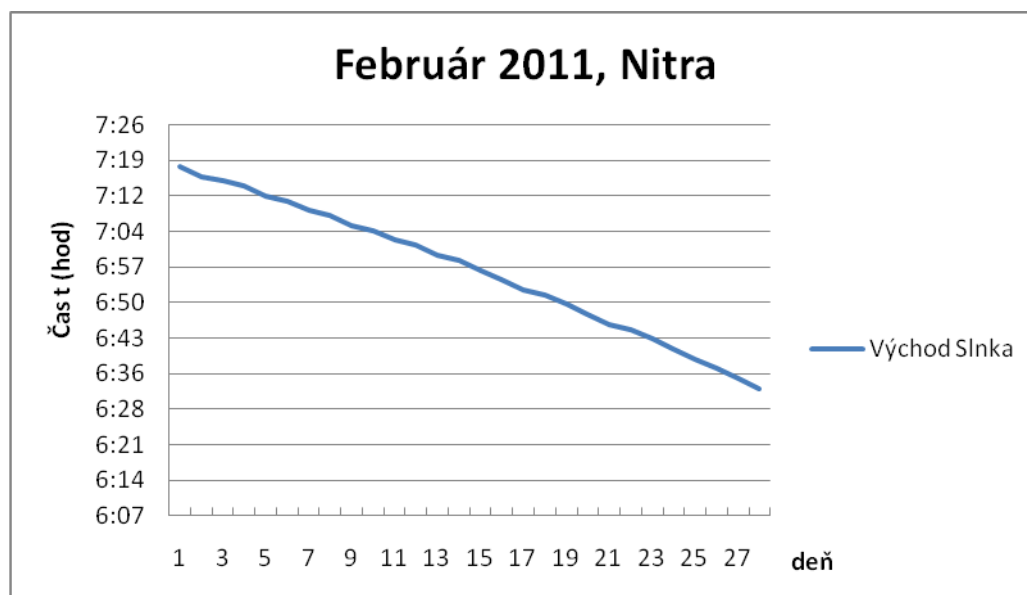


Obr. 44 Príklad spotreby elektrickej energie umelým osvetlením v mesačných intervaloch

Zdroj: Darula, 2008. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36591.pdf>>.

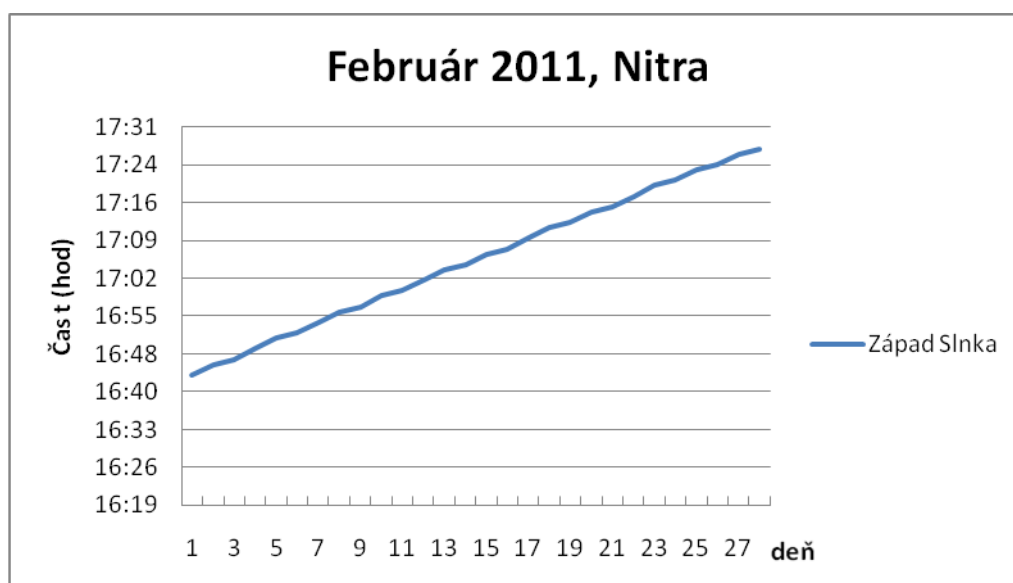
Interval potreby dosvietiť priestor chodby umelým osvetlením sa mení v závislosti na čase východu a západu Slnka. Toto časové rozhranie je v zimnom období kratšie ako v letnom. Z obr. 45 je možné vidieť priebeh postupného klesania doby východu Slnka od

jednotlivých dní v mesiaci február. Podobne aj na obr. 46 sa dni predlžujú zmenou doby západu Slnka. Tieto zmeny majú vplyv na spotrebu energie umelým osvetlením chodby.



Obr. 45 Časový priebeh východu Slnka v mesiaci Február v jednotlivých dňoch

Zdroj: Východ a západ Slnka, 2011. Dostupné na internete: <<http://calendar.zoznam.sk/sunset-sk.php?city=3058531>>.



Obr. 46 Časový priebeh západu Slnka v mesiaci Február v jednotlivých dňoch

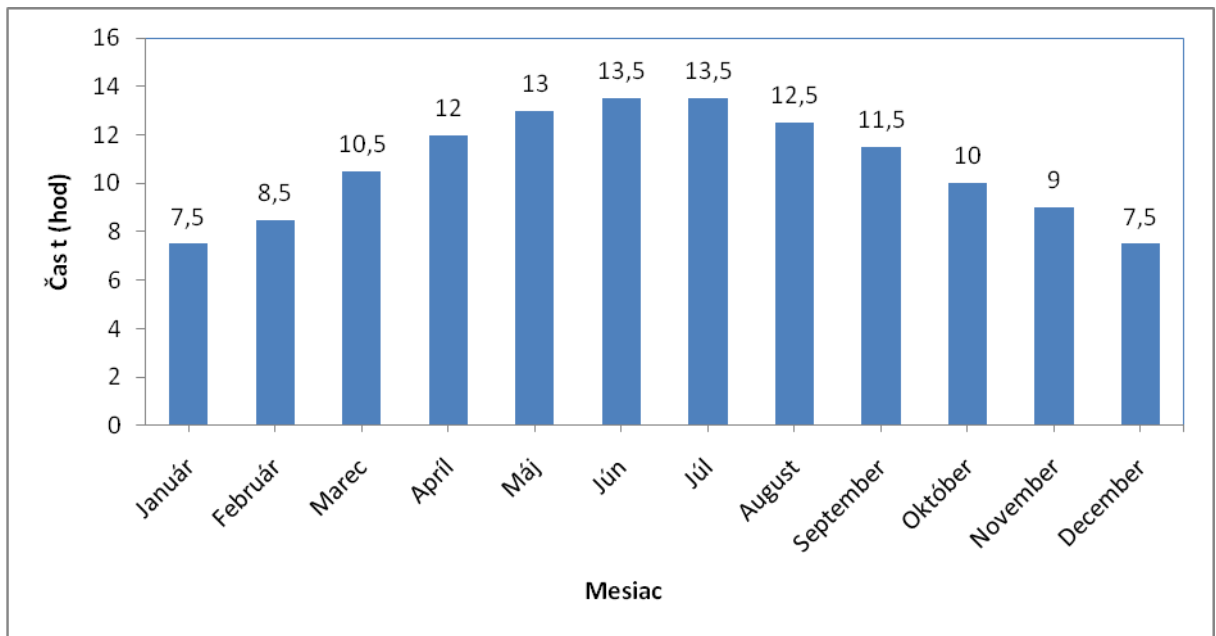
Zdroj: Východ a západ Slnka, 2011. Dostupné na internete: <<http://calendar.zoznam.sk/sunset-sk.php?city=3058531>>.

4.6 Návrh úsporných opatrení osvetlenia

Pri určovaní stratégie hľadania úspor v spotrebe elektrickej energie na osvetlenie budeme vychádzať z úspor prevádzkového príkonu použitých svietidiel a z doby využitia osvetľovacej sústavy.

4.6.1 Zónovanie sledovaného priestoru

Osvetľovacia sústava je na chodbe riešená na princípe tzv. celkovej, ktorá zaisťuje požadované horizontálne osvetlenie s predpísanou rovnomernosťou v celom priestore. Vykazuje však vyššiu energetickú náročnosť ako navrhovaná odstupňovaná sústava, ktorá vychádza zo zónovania vnútorného priestoru (obr. 29). Charakter a náročnosť zrakovej činnosti je vzhľadom na bezpečný priechod v celom priestore chodby rozličný. Zóny sme určili na základe rozloženia denného svetla počas doby prevádzky.



Obr. 47 Priemerný čas využitia denného svetla na osvetlenie počas roka v zóne 2

4.6.2 Voľba efektívnejších technických prostriedkov

Základnými technickými prostriedkami, ktoré majú vplyv na energetickú náročnosť osvetľovacej sústavy sú svetelné zdroje a svietidlá. Pri určení efektívnejších svetelných zdrojov vychádzame z ich možnosti stmievania s čo najlepšou premenou elektrickej energie na svetelnú. Ku každému z nich je potrebné určiť vhodné svietidlo. Z pohľadu ich energetického hodnotenia je dôležitým parametrom charakter vyžarovania svetla, ktorý sa popisuje krivkami svietivosti znázorňujúce priestorové rozloženie vyžarovaného svetelného toku. V tabuľke 11 sú v prvom riadku uvedené parametre aktuálne použitého

svetelného zdroja a porovnané so stmievateľnými zdrojmi svetla. Cena zahŕňa svietidlo spolu so svetelnými zdrojmi.

Súčasnú umelé osvetlenie na chodbe je naddimenzované z hľadiska charakteru využitia priestoru a zrkových podmienok nutných na bezpečný priechod. Možným riešením zníženia energetickej náročnosti je použitie svietidiel s jedným svetelným zdrojom s nižším príkonom. S použitím kompaktných žiaroviek Philips PL – C 4P (obr. 48) s vhodným typom svietidla, by sme dosiahli úsporu energie až 64 % oproti súčasnému stavu a to znížením príkonu žiarivky na 13 W a obmedzením počtu svetelných zdrojov na 21:

$$W = P_N \cdot t_o = 0,273 \cdot 1 = 0,273 \text{ , kWh} \quad (16)$$

kde: P_N – celkový prevádzkový príkon svietidiel, kW

t_o – prevádzková doba, h



Obr. 48 Philips PL – C 4P

Zdroj: Philips, 2011. Dostupné na: <http://www.ecat.lighting.philips.com/l/ Svetelne-zdroje-profesionalov/ep01_gr_sk_lp_prof_atg/cat/>.

Pre čiastočné riadenie osvetlenia môžeme použiť kompaktné žiarivky Osram Dulux El Vario 20 W, ktoré znižujú jas na polovicu vypnutím a opätovným zapnutím bežného spínača bez použitia regulačného zariadenia. Oproti súčasnému osvetleniu by sme dosiahli úsporu energie o 45 % pri plnom výkone a to:

$$W = P_N \cdot t_o = 0,420 \cdot 1 = 0,420 \text{ , kWh} \quad (17)$$

kde: P_N – celkový prevádzkový príkon svietidiel, kW

t_o – prevádzková doba, h

Obmedzením svetelného toku na polovicu sa spotreba zníži o 60 % na hodnotu 0,168 kWh.

4.6.3 Využitie denného svetla

Denné osvetlenie (obr. 47) pomáha znížiť požiadavky na dobu prevádzky umelého osvetlenia a pomocou dobre navrhnutého riadiaceho systému je možné kontrolou úrovne denného osvetlenia dosiahnuť úsporu energie. Informácie zo snímačov osvetlenia umožňujú obmedziť dobu prevádzky umelého osvetlenia alebo znížiť jej príkon v dobe

dostatočného prirodzeného svetla. Z týchto informácií môžeme riadiť osvetľovaciu sústavu skokovo alebo plynule, čo závisí od použitých svetelných zdrojov a od technickej a finančnej náročnosti navrhnutého riešenia.

Tab. 11 Porovnanie aktuálne použitého svetelného zdroja s navrhovanými efektívnejšími svetelnými zdrojmi

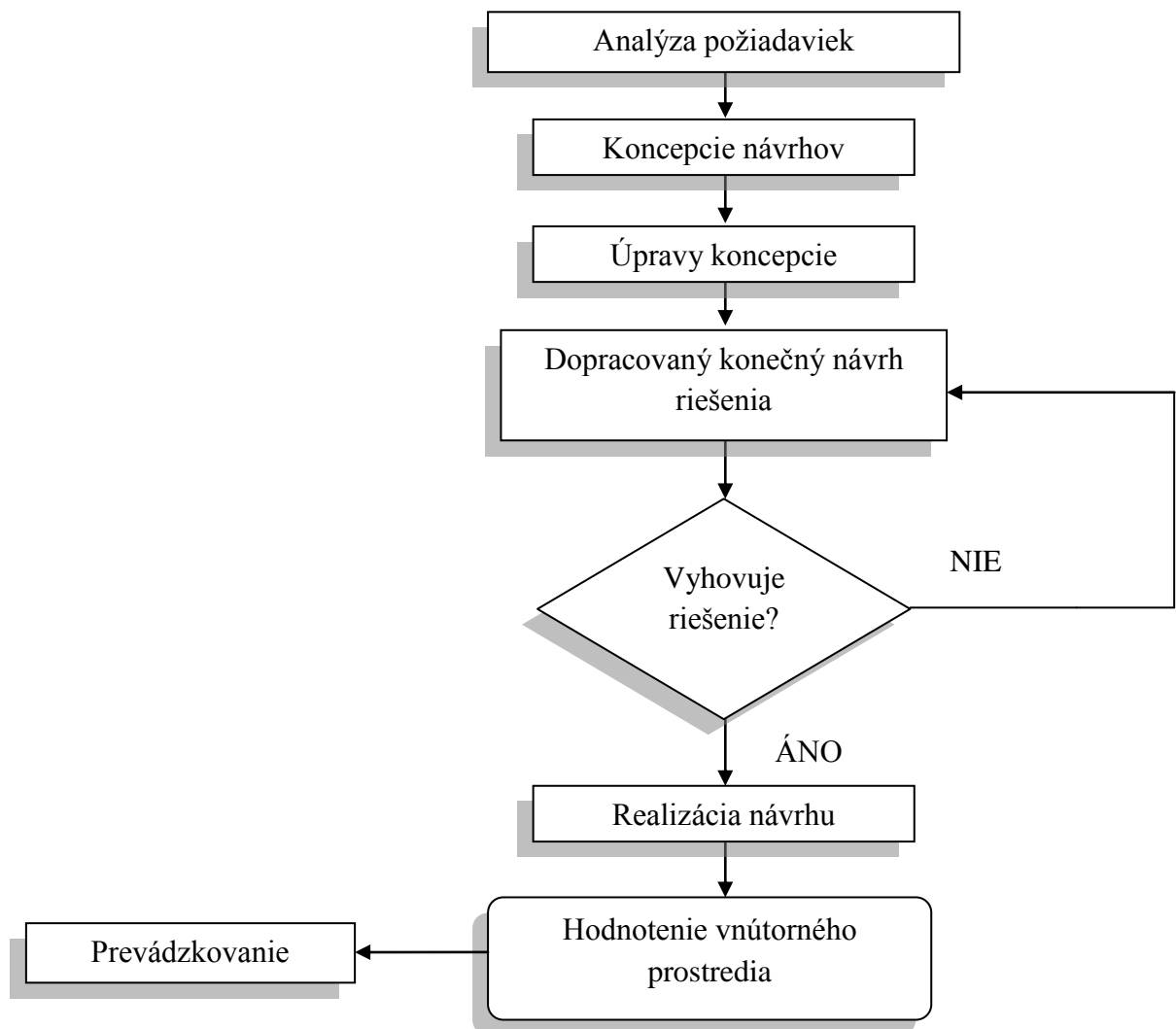
P.č.	Svetelný zdroj	Svietidlo	Príkon (W)	Svetelný tok (lm)	Merný výkon (lm/W)	Teplota chromatickosti (K)	Pätica	Životnosť (h)	Cena (EUR)
1.	Philips PL - C 2P	FBH 146 2xPL-C	18	1200	67	3000	G24d-2	10 000	40
2.	Philips PL - C 4P	FBS 261 1xPL-C	13	900	73	3000	G24q-1	10 000	35
3.	Osram Dulux EL DIM	Vario DL 1xEL DIM	20	1230	62	2700	E27/B22d	15 000	39
4.	Osram Dulux EL Vario	Vario DL 1xEL Vario	20	1230	62	2700	E27/B22d	15 000	25

4.6.4 Snímač prítomnosti osôb

Priestory chodby sú využívané pohybom osôb nepravidelne počas doby prevádzky. Osvetľovacia sústava je zapnutá aj pri neprítomnosti osôb. Pre kontrolu ich prítomnosti môžeme použiť snímače pohybu, čím dosiahneme efektívnejšie využitie osvetľovacej sústavy. Na základe informácií získaných z týchto snímačov sa zapínajú alebo vypínajú svietidlá, osvetľovacia sústava alebo jej časti, prípadne sa obmedzuje ich príkon.

4.6.5 Časový režim osvetľovacej sústavy

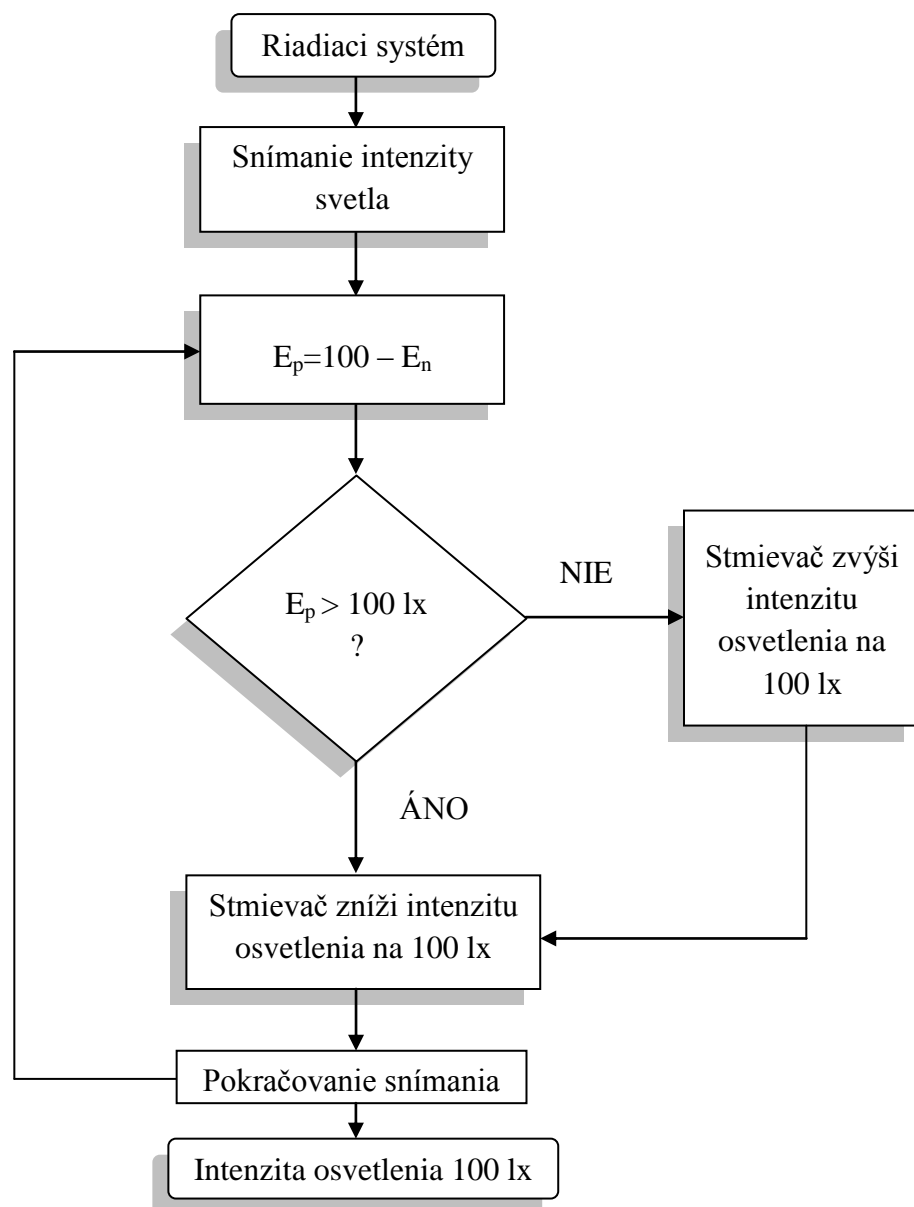
Osvetľovacia sústava na chodbe plní svoju funkciu počas určitej časti dňa, a to v ranných a večerných hodinách. Po skončení vymedzenej doby prevádzky prestáva plniť svoju funkciu a je možné ju vypnúť, alebo prepnúť do iného režimu. K tomu sa používajú časové ovládacie prvky, ktoré sú súčasťou riadiaceho systému alebo podľa nastavenia zapínajú a vypínajú osvetľovaciu sústavu.



Obr. 49 Algoritmus návrhu a efektívneho riešenia osvetľovacej sústavy

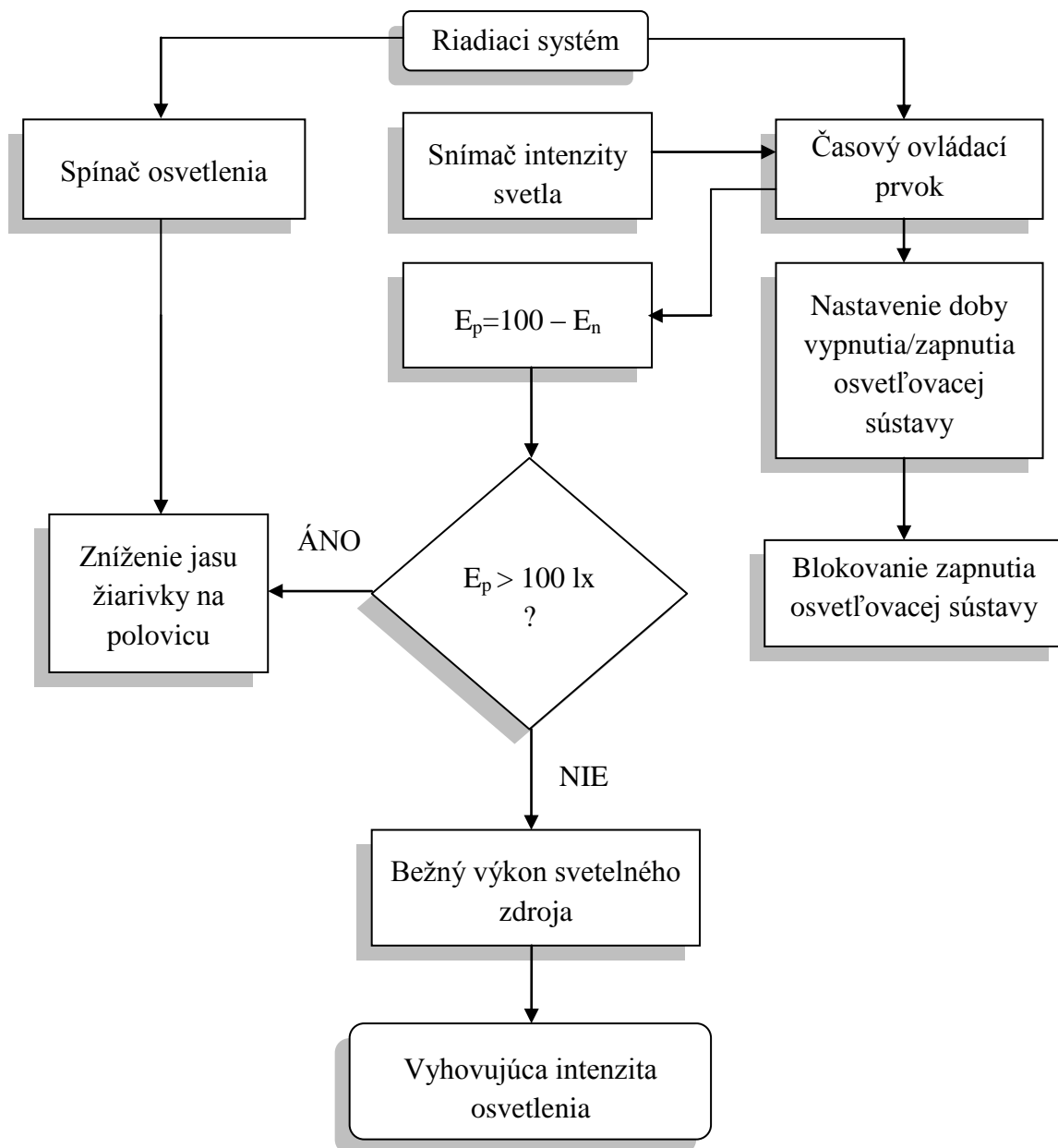
4.7 Algoritmy riadenia osvetlenia

Jednou z možností riadenia osvetlenia v pozorovanom priestore je pomocou stmievateľných žiariviek s vhodne navrhnutým riadiacim systémom. Z meraní denného osvetlenia vyplýva, že priestor chodby v zóne 1 a 3 je potrebné počas dňa dosvietiť umelým zdrojom svetla. Na zaznamenanie zmeny intenzity svetla počas dňa sa použije snímač, ktorý na základe zistených údajov vyšle informáciu do stmievača. Stmievač zvýši resp. zníži príkon žiariviek na požadovanú hodnotu 100 lx. Snímač zaznamenáva zmenu intenzity osvetlenia počas celej doby prevádzky.



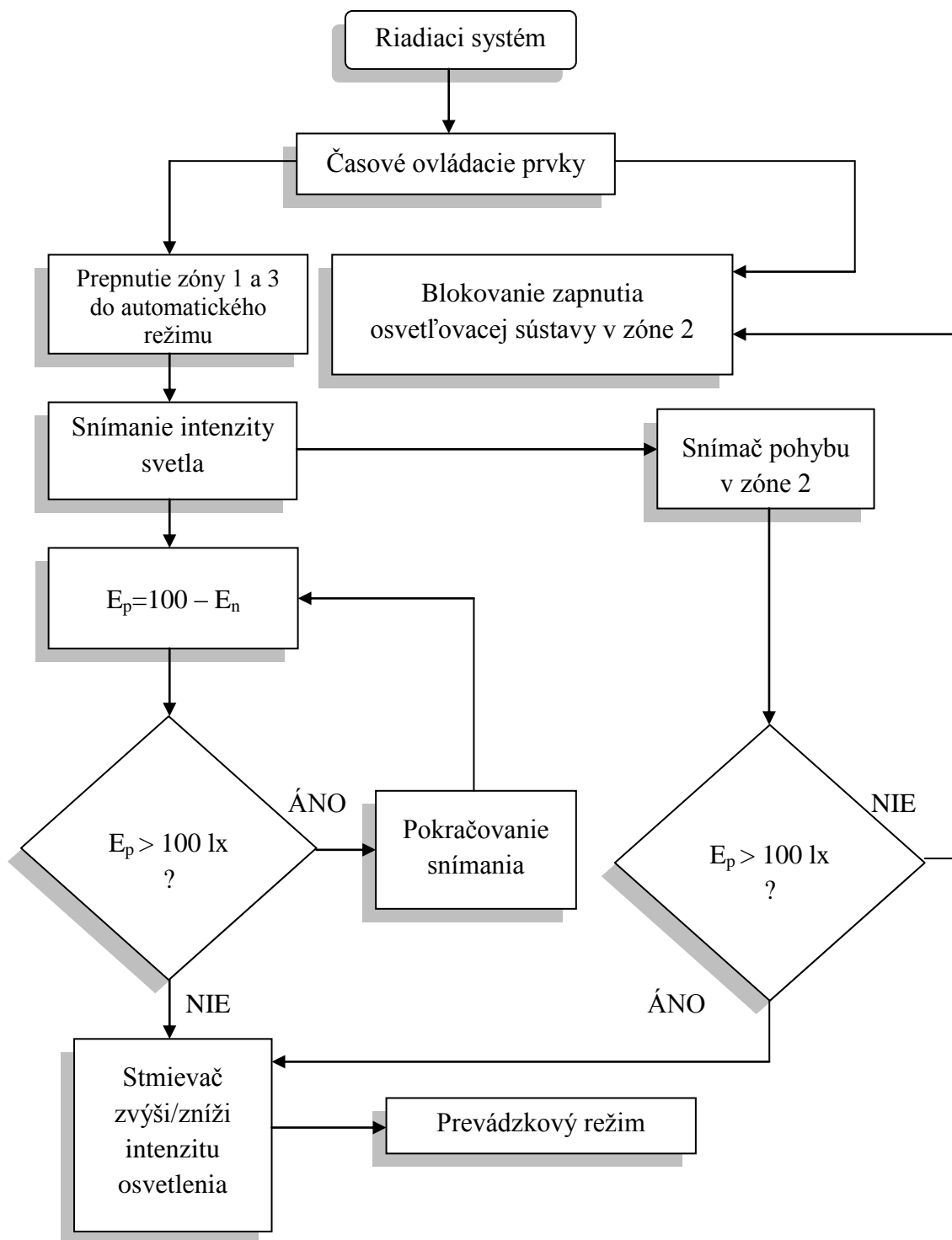
Obr. 50 Algoritmus riadenia osvetlenia v zóne 1 a 3

Zóna 2 predstavuje odlišný priebeh zmeny intenzity denného svetla ako v ostatných dvoch zónach. Doba využitia umelého zdroja svetla je tu omnoho kratšia, čím sa mení aj riadiaci systém osvetlenia. Ako svetelný zdroj sa použije kompaktná žiarivka Osram Dulux El Vario s krokovým znižovaním jasu. Svetelný tok môžeme ovládať manuálne podľa potreby stlačením spínača osvetlenia, čím sa zníži intenzita žiarivky na polovicu. Časovými prvkami je možné zabezpečiť automatické ovládanie osvetlenia tak, že do určitej doby bude plný alebo polovičný výkon žiarivky vzhľadom na informáciu zo snímača intenzity svetla, či jej hodnota je pod resp. nad 100 lx. Po uplynutí prednastavenej doby prepnú časové prvky osvetľovaciu sústavu do režimu, kedy zablokujú manuálne zapnutie osvetlenia. Odblokovanie nastane v dobe nastavenej časovými prvkami.



Obr. 51 Algoritmus riadenia osvetlenia v zóne 2

Ďalšou možnosťou riadenia osvetlenia v pozorovanom priestore je použitie časových ovládacích prvkov vo všetkých troch zónach súčasne. Po uplynutí nastavenej doby prevádzky sa osvetľovacia sústava v zóne 1 a 3 prepne do režimu, kde na základe hodnôt zistených zo snímača osvetlenia, stmievač zreguluje príkon žiariviek PL – C 4P. V zóne 2 sa zablokuje manuálne zapnutie osvetlenia, pretože v priebehu dňa sa tu osvetlenie pohybuje nad požadovanou hodnotou. V prípade poklesu prirodzeného svetla snímač vyšle impulz do snímača pohybu, ktorý pri pohybe osôb rozsvieti svetlá s potrebným množstvom svetelného toku.



Obr. 52 Algoritmus riadenia osvetlenia vo všetkých troch zónach súčasne

4.8 Príklady výpočtu úspor elektrickej energie regulovaním osvetlenia

Pri výpočtoch sme použili hodnoty (príloha 1 a 2) zistené meraním intenzity svetla, ktorá sa mení v priebehu doby prevádzky. Rozdiely v spotrebe regulovaného príkonu kompaktnej žiarivky PL - C 4P vyjadríme pri zamračenom a jasnom dni. Potrebnú intenzitu osvetlenia E_p , ktorú riadiaci systém doreguluje, určíme odčítaním nameranej hodnoty E_n od normovanej hodnoty 100 lx

$$E_p = 100 - E_n, lx \quad (18)$$

kde: E_p – intenzita osvetlenia doregulovaná stmievačom, lx

E_n – nameraná hodnota, lx.

Na základe hodnoty E_p stanovíme množstvo svetelného toku jednej žiarivky θ_r , ktorým musíme osvietiť plochu jednotlivých zón pri regulácii

$$\theta_r = \frac{(A_z \cdot E_p)}{n}, lm \quad (19)$$

kde: θ_r – regulovaný svetelný tok žiarivky, lm

A_z – plocha jednotlivých zón, m²

n – počet svetelných zdrojov v danej zóne.

Nakoniec určíme veľkosť zregulovaného príkonu žiarivky P_r k dosiahnutiu svetelného toku osvecujúceho sledovanú plochu

$$P_r = \frac{(P_z \cdot \theta_r)}{\theta_z}, W \quad (20)$$

kde: P_z – príkon použitého svetelného zdroja, W

θ_z – svetelný tok použitého svetelného zdroja, lm.

4.8.1 Výpočet spotreby elektrickej energie regulovaním osvetlenia pri zamračenom dni

Spotrebu elektrickej energie sme zisťovali pri zamračenej oblohe z údajov merania dňa 11.2.2011 použitím 21 regulovateľných kompaktných žiariviek Philips PL – C 4P s príkonom 13 W a svetelným tokom 900 lm. V zóne 1 a 3 bola intenzita osvetlenia počas 14 hodinovej doby prevádzky pod 100 lx. V zóne 2 by bolo nutné regulovať osvetlenie 5,7 hodiny, zvyšok času vyhovovalo normovanej hodnote. Spotrebu sme vypočítali pre každú zónu osobitne s priemernou hodnotou regulovaného príkonu žiariviek $P_r = 6$ W v daných zónach. V zóne 1 bola spotreba energie 0,924 kWh, v zóne 2 bola 0,205 kWh a v zóne 3 vyšla 0,336 kWh. Celkovú spotrebu elektrickej energie regulovaním osvetlenia na chodbe získame sčítaním vypočítaných hodnôt a to:

$$W_c = W_1 + W_2 + W_3 = 1,465 \text{ ,kWh} \quad (21)$$

kde: W_c – celková spotreba elektrickej energie, kWh

$W_{1,2,3}$ – spotreba elektrickej energie v zónach 1,2,3, kWh.

Pre porovnanie s aktuálnym osvetlením, ktorého spotreba je pri neregulovanom svietení 3 hodiny 2,268 kWh, je rozdiel približne 1 kWh.

4.8.2 Výpočet spotreby elektrickej energie regulovaním osvetlenia pri jasnom dni

Rozdiel v spotrebe elektrickej energie oproti pôvodnému riešeniu určíme pri jasnom dni, kedy sa skracuje doba umelého svietenia vo všetkých troch zónach a priemerný regulovaný príkon P_r na 5 W v zónach 1 a 3. Použitý svetelný zdroj a jeho parametre sú rovnaké ako v predchádzajúcom príklade. V zóne 1 bola spotreba energie pri 10,6 hod. prevádzke 0,583 kWh, v zóne 2 bola pri 4,2 hod. prevádzke 0,151 kWh a v zóne 3 vyšla 0,124 kWh pri 6,2 hod. prevádzke. Sčítaním týchto hodnôt dostaneme celkovú spotrebu pri jasnom dni:

$$W_c = W_1 + W_2 + W_3 = 0,858 \text{ ,kWh} \quad (22)$$

kde: W_c – celková spotreba elektrickej energie, kWh

$W_{1,2,3}$ – spotreba elektrickej energie v zónach 1,2,3, kWh.

V porovnaní s pôvodným riešením je spotreba 1,5 krát nižšia a približne o polovicu nižšia ako pri zamračenom dni.

5 Záver

Automatizácia osvetlenia predstavuje široké možnosti pri návrhu riadenia a samotnej prevádzke. Vedie k efektívnejšiemu využitiu osvetľovacej sústavy s ohľadom na nižšiu energetickú náročnosť, pričom pomocou jednotlivých prvkov riadiaceho systému je úroveň osvetlenia ovládaná podľa momentálnych podmienok denného svetla.

Významnými prvkami, ktoré majú vplyv na celkovú spotrebu elektrickej energie sú svetelné zdroje. Z hľadiska charakteru využitia sledovaného priestoru, kde svetlo slúži na dostatočnú orientáciu a bezpečný priechod, je pôvodne navrhnutá osvetľovacia sústava naddimenzovaná, čo prináša možnosti v prehodnotení použitých svetelných zdrojov. Z toho dôvodu sme navrhli ako náhradu svietidiel s jednou kompaktnou žiarivkou Philips PL – C 4P a nižším príkonom 13 W, oproti pôvodným 18 W. Obmedzil by sa tým počet svetelných zdrojov na polovicu a celkové náklady na prevádzkovanie. V našej práci sme vyjadrili spotrebu aktuálne použitých svetelných zdrojov a porovnali nami navrhovanými zdrojmi, čoho výsledkom je o 64 % nižší odber pri plnom výkone.

Pre komplexnejší návrh riadiaceho systému bolo potrebné zistiť, ako sa menia svetelné podmienky v priebehu doby prevádzky. Na určenie zmeny intenzity svetla sme zostrojili senzory osvetlenia, ktoré spolu s príslušným zariadením zaznamenávali údaje. Meranie sme prevádzkali v mesiaci Február, kedy doba využitia umelých zdrojov svetla patrí medzi najdlhšie. Z výsledkov meraní je vidieť rozdielnu veľkosť svetelnej intenzity v priestore chodby. Kým v strednej časti je od 7³⁰ do 16³⁰ dostatočná v porovnaní s normovanou hodnotou 100 lx, v ostatných dvoch častiach je pod touto hranicou takmer celý deň. Vplyv na dĺžku doby doregulovania osvetlenia daného priestoru má ročné obdobie a vonkajšie podmienky, kde pri jasnom dni je táto doba kratšia a znižuje náklady na prevádzku, pričom najnižšie sú v mesiacoch jún a júl.

Vzhľadom k týmto výsledkom je nutné prispôbiť riadiaci systém tak, aby efektívne a úsporne plnil svoju funkciu. Jedným z riešení je v časti 1 a 3 umiestniť snímač intenzity svetla, ktorý by vyslal informáciu do regulátora, a ten by podľa potreby zvýšil resp. znížil príkon žiariviek. V časti 2 by sa po dobu nastavenú časovými ovládacími prvkami obmedzilo zapnutie svietidiel a zabránilo by sa ich manuálnemu ovládaniu. Ďalším pridávaním prvkov do systému, ako napr. senzory pohybu, sa riadenie zefektívni. Pritom sa však zvýšia náklady na zrealizovanie systému.

Energetické zhodnotenie navrhovaného systému sme uskutočnili z nameraných hodnôt intenzity prirodzeného svetla počas doby prevádzky. Určili sme veľkosť príkonu

žiarivky na doregulovanie osvetlenia a vypočítali spotrebu energie. V porovnaní s aktuálnym neregulovaným 3 hodinovým osvetlením je spotreba nižšia pri zamračenom dni o 1 kWh a pri jasnej oblohe o 1,5 kWh. Rozdiely spočívajú v dĺžke času potreby regulácie osvetlenia v celom priestore chodby. Pri zamračenom dni je táto doba 14 hodín v zóne 1 a 3, pričom v jasný deň je to 10,6 resp. 6,2 hodiny. Významným zistením je fakt, že pri regulácii sa celodenným svietením zabezpečí dostatočné videnie a zároveň je spotreba nižšia ako pri priemernej 3 hodinovej prevádzke aktuálneho osvetlenia.

Predložené analýzy a návrhy vytvárajú počiatočný obraz o možnostiach na zlepšenie súčasného stavu nielen v sledovanom priestore, ale aj vo všetkých spoločných častiach budovy. Myslieť na možnosti účinného riadenia osvetlenia je dôležité už pri projektovaní stavby, pretože vykonávať zmeny v prevádzkovej budove je omnoho komplikovanejšie, najmä z ekonomického hľadiska.

6 Zoznam použitej literatúry

1. BOSCH, Robert. 2007. Test žárovek Bosch. In *Formule Bosch* [online], roč. 6, 2007, č.1,s. 9-11 [cit. 2010-12-28]. Dostupné na internete: <<http://bcs.bosch.sk/Infoboxy/Test-ziaroviek-Bosch.html>>.
2. DARULA, Stanislav. 2008. Ako stimulovať energetické úspory využívaním denného svetla. In *Světlo* [online], roč. 8, 2008, č. 1, s. 42 [cit. 2011-02-13]. Dostupné na: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36591.pdf> >.
3. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2008. Světelné zdroje – kompaktní zářivky. In *Světlo* [online], roč. 8, 2008, č. 3, s. 43-45 [cit. 2010-12-07]. Dostupné na internete: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37410>.
4. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2008. Světelné zdroje – halogenové žárovky. In *Světlo* [online], roč. 8, 2008, č. 5, s. 56-58 [cit. 2009-04-20]. Dostupné na internete: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37973.pdf>>.
5. DVOŘÁČEK, Vladimír. 2008. Světelné zdroje – halogenové žárovky. In *Světlo* [online], roč. 8, 2008, č. 5, s. 56-58 [cit. 2009-04-20]. Dostupné na internete: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37973.pdf>>.
6. HABEL, Jiří. 2009. Základy světelné techniky. In *Světlo* [online], roč. 9, 2009, č. 5, s. 66 [cit. 2010-02-18]. Dostupné na internete: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39809.pdf> >.
7. HOCKICKO, Peter. 1999. *Optika okolo nás*. 1999, [cit. 2010-01-21], s. 51-53. Dostupné na internete: <<http://hockicko.uniza.sk/Optika/Videnie.pdf>>.
8. CHMELÁŘ, Petr. 2010. *Vše co chcete vědět o LED technologii společnosti Osram*. [online]. 2010. [cit. 2011-02-08]. Dostupné na internete: <<http://www.elektro-chmelar.cz/30-osram/200-vse-co-chcete-vedet-o-led-technologie-spolecnosti-osram.html>>.
9. KYNCL, J., HABEL, J. 2009. *Elektrické světlo a teplo*. 2009. [cit. 2010-04-24]. Dostupné na internete: <https://www.powerwiki.cz/attach/EST/3_pr_EST_zdroje.pdf>.
10. MACHÁČKOVÁ, Jana. 2011. Ako ďalej v osvetľovaní. In *TZB Haustechnik* [online], roč. 5, 2011, č. 1, [cit. 2011-03-27]. Dostupné na internete: <<http://www.asb.sk/tzb/osvetlenie-a-elektroinstalacie/ako-dalej-v-osvetlovanii-3283.html> >.

-
11. MALETIČ, Eugen. 2008. *Nové trendy ve světelných zdrojích*. [online]. 2008, [cit. 2009-01-19]. ISSN 1214-0686. Dostupné na internete: <<http://www.earch.cz/clanek/399-nove-trendy-ve-svetelnych-zdrojich.aspx>>.
 12. MELČ, Antonín. 2009. Světelné zdroje pro interiéry aneb jak nahradit klasickou žárovku. In *Světlo* [online], roč. 9, 2009, č. 1, s. 34-35 [cit. 2011-02-20]. Dostupné na internete: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38557.pdf>>.
 13. MIŠKAŘÍK, Stanislav. 1979. *Moderní zdroje světla*. Praha : STNL, 1979. 256 s. ISBN 04-509-79.
 14. NOVÁKOVÁ, Petra. 2008. Žiarovky, žiarivky, LED. In *Energetické alternatívy* [online], roč. 5, 2008, č. 2, s. 24 [cit. 2010-11-07]. Dostupné na internete: <<http://www.stavebnictvoabyvanie.sk>>.
 15. OSRAM. 2008. *Svetlo a priestor*. 2008. [cit. 2010-12-28]. Dostupné na internete: <http://www.osram.sk/osram_sk/Sveteln_design/About_Light/Svetlo_a_priestor/html>.
 16. PHILIPS. 2011. *Svetelné zdroje profesionálov*. [online]. 2011, [cit. 2011-03-25]. Dostupné na internete: <http://www.ecat.lighting.philips.com/l/svetelne-zdroje-profesionalov/ep01_gr_sk_lp_prof_atg/cat/>.
 17. SMOLA, Alfonz. 2002. Svetelná technika v novom storočí. In *AT&P journal* [online], roč. 4, 2002, č. 1, s. 60-62 [cit. 2010-12-27]. Dostupné na internete: <http://www.atpjournal.sk/pdf/2002_01_60-62.pdf>.
 18. SMOLA, Alfonz. 2011. Ako ďalej v osvetľovaní. In *TZB Haustechnik* [online], roč. 5, 2011, č. 1, [cit. 2011-03-27]. Dostupné na internete: <<http://www.asb.sk/tzb/osvetlenie-a-elektroinstalacie/ako-dalej-v-osvetlovani-3283.html>>.
 19. TABI. 2008. *LED svietidlá*. [online]. 2008, [cit. 2009-01-11]. Dostupné na internete: <<http://www.tabi.sk/sk/326/clanky-texty/led-svietidla/index.htm>>.
 20. VODANSKÝ, František. 1971. *Elektrotechnická príručka*. Bratislava : ALFA, 1971. s. 364-401. ISBN 63-036-71.
 21. *Východ a západ Slnka*. 2011. [online]. 2011, [cit. 2011-02-25]. Dostupné na internete:<<http://calendar.zoznam.sk/sunset-sk.php?city=3058531>>.
 22. ZAJÍČEK, Dušan. 2010. Úsporné světelné zdroje a elektronické přístroje. In *Světlo* [online], roč. 10, 2010, č. 3, s. 34-35 [cit. 2011-02-10]. Dostupné na internete: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41415.pdf>>.
 23. Norma STN EN 12464-1 Svetlo a osvetlenie: osvetlenie pracovných miest, 2004
-

7 Prílohy

Zoznam príloh

Príloha 1 *Ukážka z nameraných hodnôt priebehu osvetlenia zo dňa 11.2.2011 pri zamračenej oblohe*

Príloha 2 *Ukážka z nameraných hodnôt priebehu osvetlenia zo dňa 12.2.2011 pri jasnej oblohe*

**Príloha 1 Ukážka z nameraných hodnôt priebehu osvetlenia zo dňa 11.2.2011 pri
zamračenej oblohe**

Piatok 11.2.2011 - zamračené												
Čas	E _n (lx)			E _p (lx)			θ _r (lm)			P _r (W)		
	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3
6:00:01	9,80	11,85	16,99	90,20	88,15	83,01	428	463	411	6	7	6
6:15:01	7,09	11,85	8,59	92,91	88,15	91,41	441	463	452	6	7	7
6:30:01	7,09	6,42	8,59	92,91	93,58	91,41	441	491	452	6	7	7
6:45:01	4,34	11,85	8,59	95,66	88,15	91,41	454	463	452	7	7	7
7:00:01	9,80	22,57	25,30	90,20	77,43	74,70	428	407	370	6	6	5
7:08:31	7,09	33,09	16,99	92,91	66,91	83,01	441	351	411	6	5	6
7:46:31	15,11	96,73	33,55	84,89	3,27	66,45	403	17,2	329	6	0	5
8:00:01	17,70	105,81	41,72	82,30	-5,81	58,28	391	-30,5	288	6	0	4
8:15:01	9,80	96,73	16,99	90,20	3,27	83,01	428	17,2	411	6	0	6
8:30:01	12,47	114,71	33,55	87,53	-14,71	66,45	415	-77,2	329	6	-1	5
8:45:01	15,11	152,55	25,30	84,89	-52,55	74,70	403	-276	370	6	-4	5
9:00:01	17,70	168,25	33,55	82,30	-68,25	66,45	391	-358	329	6	-5	5
9:15:01	12,47	152,55	25,30	87,53	-52,55	74,70	415	-276	370	6	-4	5
9:30:01	17,70	270,88	41,72	82,30	-170,88	58,28	391	-897	288	6	-13	4
9:45:01	27,68	297,68	65,80	72,32	-197,68	34,20	343	-1038	169	5	-15	2
10:00:01	25,24	340,17	57,84	74,76	-240,17	42,16	355	-1261	209	5	-18	3
10:15:01	22,77	278,59	49,82	77,23	-178,59	50,18	367	-938	248	5	-14	4
10:30:01	25,24	276,05	57,84	74,76	-176,05	42,16	355	-924	209	5	-13	3
10:45:01	22,77	304,31	49,82	77,23	-204,31	50,18	367	-1073	248	5	-15	4
11:00:01	22,77	338,53	57,84	77,23	-238,53	42,16	367	-1252	209	5	-18	3
11:15:01	27,68	353,76	65,80	72,32	-253,76	34,20	343	-1332	169	5	-19	2
11:30:01	41,57	344,92	65,80	58,43	-244,92	34,20	277	-1286	169	4	-19	2
11:45:01	20,25	268,25	41,72	79,75	-168,25	58,28	378	-883	288	5	-13	4
12:00:01	20,25	236,93	41,72	79,75	-136,93	58,28	378	-719	288	5	-10	4
12:15:01	25,24	295,40	57,84	74,76	-195,40	42,16	355	-1026	209	5	-15	3
12:30:01	20,25	248,82	41,72	79,75	-148,82	58,28	378	-781	288	5	-11	4
12:45:01	12,47	204,57	33,55	87,53	-104,57	66,45	415	-549	329	6	-8	5
13:00:01	25,24	326,31	49,82	74,76	-226,31	50,18	355	-1188	248	5	-17	4
13:15:01	22,77	270,88	49,82	77,23	-170,88	50,18	367	-897	248	5	-13	4
13:30:01	41,57	396,32	81,48	58,43	-296,32	18,52	277	-1556	91,7	4	-22	1
13:45:01	17,70	257,36	25,30	82,30	-157,36	74,70	391	-826	370	6	-12	5
14:00:01	15,11	201,12	25,30	84,89	-101,12	74,70	403	-531	370	6	-8	5
14:15:01	15,11	194,10	25,30	84,89	-94,10	74,70	403	-494	370	6	-7	5
14:30:01	15,11	148,53	41,72	84,89	-48,53	58,28	403	-255	288	6	-4	4
14:45:01	17,70	183,26	33,55	82,30	-83,26	66,45	391	-437	329	6	-6	5
15:00:01	15,11	224,44	25,30	84,89	-124,44	74,70	403	-653	370	6	-9	5
15:15:01	22,77	224,44	49,82	77,23	-124,44	50,18	367	-653	248	5	-9	4
15:30:01	20,25	254,55	25,30	79,75	-154,55	74,70	378	-811	370	5	-12	5
15:45:12	15,11	190,53	25,30	84,89	-90,53	74,70	403	-475	370	6	-7	5
16:00:12	12,47	96,73	16,99	87,53	3,27	83,01	415	17,2	411	6	0	6
16:15:12	9,80	78,00	25,30	90,20	22,00	74,70	428	115	370	6	2	5
16:30:12	12,47	53,53	33,55	87,53	46,47	66,45	415	244	329	6	4	5
16:45:12	9,80	38,27	16,99	90,20	61,73	83,01	428	324	411	6	5	6
17:00:12	9,80	27,85	16,99	90,20	72,15	83,01	428	379	411	6	5	6
17:15:12	9,80	17,24	16,99	90,20	82,76	83,01	428	435	411	6	6	6
17:30:12	9,80	11,85	25,30	90,20	88,15	74,70	428	463	370	6	7	5
17:45:12	9,80	6,42	16,99	90,20	93,58	83,01	428	491	411	6	7	6
18:00:12	7,09	6,42	16,99	92,91	93,58	83,01	441	491	411	6	7	6
18:15:12	7,09	6,42	8,59	92,91	93,58	91,41	441	491	452	6	7	7
18:30:12	9,80	17,24	25,30	90,20	82,76	74,70	428	435	370	6	6	5
18:45:12	9,80	6,42	8,59	90,20	93,58	91,41	428	491	452	6	7	7
19:19:22	7,09	48,49	8,59	92,91	51,51	91,41	441	270	452	6	4	7
19:45:12	7,09	11,85	25,30	92,91	88,15	74,70	441	463	370	6	7	5
20:00:12	7,09	11,85	16,99	92,91	88,15	83,01	441	463	411	6	7	6

Príloha 2 Ukážka z nameraných hodnôt priebehu osvetlenia zo dňa 12.2.2011 pri jasnej oblohe

Sobota 12.2.2011 - jasno												
Čas	E _n (lx)			E _p (lx)			θ _r (lm)			P _r (W)		
	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3
6:00:12	9,80	22,57	16,99	90,20	77,43	83,01	428	407	411	6	6	6
6:15:12	4,34	11,85	8,59	95,66	88,15	91,41	454	463	452	7	7	7
6:30:12	7,09	22,57	8,59	92,91	77,43	91,41	441	407	452	6	6	7
6:45:12	12,47	22,57	16,99	87,53	77,43	83,01	415	407	411	6	6	6
7:00:12	7,09	43,41	8,59	92,91	56,59	91,41	441	297	452	6	4	7
7:13:32	22,77	329,94	57,84	77,23	-229,94	42,16	367	-1207	209	5	-17	3
7:43:32	27,68	352,35	65,80	72,32	-252,35	34,20	343	-1325	169	5	-19	2
8:00:12	20,25	268,25	65,80	79,75	-168,25	34,20	378	-883	169	5	-13	2
8:06:52	25,24	343,36	65,80	74,76	-243,36	34,20	355	-1278	169	5	-18	2
8:28:32	27,68	276,05	65,80	72,32	-176,05	34,20	343	-924	169	5	-13	2
8:46:02	25,24	262,87	65,80	74,76	-162,87	34,20	355	-855	169	5	-12	2
9:00:12	22,77	268,25	49,82	77,23	-168,25	50,18	367	-883	248	5	-13	4
9:15:12	30,09	293,10	65,80	69,91	-193,10	34,20	332	-1014	169	5	-15	2
9:31:52	32,45	329,94	65,80	67,55	-229,94	34,20	321	-1207	169	5	-17	2
9:45:12	48,06	386,91	112,01	51,94	-286,91	-12,01	246	-1506	-59	4	-22	-1
10:00:12	48,06	389,17	104,48	51,94	-289,17	-4,48	246	-1518	-22	4	-22	0
10:15:12	50,16	390,60	112,01	49,84	-290,60	-12,01	237	-1526	-59	3	-22	-1
10:30:12	52,22	395,14	104,48	47,78	-295,14	-4,48	227	-1550	-22	3	-22	0
10:45:12	56,27	397,44	112,01	43,73	-297,44	-12,01	208	-1562	-59	3	-23	-1
11:00:12	64,00	397,98	112,01	36,00	-297,98	-12,01	171	-1564	-59	2	-23	-1
11:15:12	69,51	399,54	134,16	30,49	-299,54	-34,16	145	-1573	-169	2	-23	-2
11:30:12	74,78	401,00	126,85	25,22	-301,00	-26,85	120	-1580	-133	2	-23	-2
12:00:12	86,26	397,44	148,59	13,74	-297,44	-48,59	65	-1562	-241	1	-23	-3
12:15:12	93,82	396,89	162,74	6,18	-296,89	-62,74	29	-1559	-311	0	-23	-4
12:30:12	98,13	395,74	162,74	1,87	-295,74	-62,74	9	-1553	-311	0	-22	-4
12:45:12	102,29	393,92	176,62	-2,29	-293,92	-76,62	-11	-1543	-379	0	-22	-5
13:00:12	108,90	389,89	183,46	-8,90	-289,89	-83,46	-42	-1522	-413	-1	-22	-6
13:15:12	112,71	388,43	203,57	-12,71	-288,43	-103,57	-60	-1514	-513	-1	-22	-7
13:30:12	116,40	384,50	210,14	-16,40	-284,50	-110,14	-78	-1494	-545	-1	-22	-8
13:45:12	120,00	380,14	203,57	-20,00	-280,14	-103,57	-95	-1471	-513	-1	-21	-7
14:00:12	117,61	370,03	196,93	-17,61	-270,03	-96,93	-84	-1418	-480	-1	-20	-7
14:15:12	122,36	361,74	216,65	-22,36	-261,74	-116,65	-106	-1374	-577	-2	-20	-8
14:30:12	124,67	353,76	216,65	-24,67	-253,76	-116,65	-117	-1332	-577	-2	-19	-8
14:45:12	133,67	340,17	235,78	-33,67	-240,17	-135,78	-160	-1261	-672	-2	-18	-10
15:00:12	147,76	329,94	229,47	-47,76	-229,94	-129,47	-227	-1207	-641	-3	-17	-9
15:15:12	126,96	322,57	235,78	-26,96	-222,57	-135,78	-128	-1169	-672	-2	-17	-10
15:30:12	118,81	316,75	223,09	-18,81	-216,75	-123,09	-89	-1138	-609	-1	-16	-9
15:45:12	111,45	297,68	203,57	-11,45	-197,68	-103,57	-54	-1038	-513	-1	-15	-7
16:00:12	98,13	281,09	190,23	1,87	-181,09	-90,23	9	-951	-447	0	-14	-6
16:15:12	54,26	204,57	112,01	45,74	-104,57	-12,01	217	-549	-59	3	-8	-1
16:30:12	30,09	148,53	57,84	69,91	-48,53	42,16	332	-255	209	5	-4	3
16:45:12	9,80	78,00	25,30	90,20	22,00	74,70	428	115	370	6	2	5
17:00:12	12,47	48,49	25,30	87,53	51,51	74,70	415	270	370	6	4	5
17:15:12	9,80	22,57	33,55	90,20	77,43	66,45	428	407	329	6	6	5
17:30:12	9,80	17,24	25,30	90,20	82,76	74,70	428	435	370	6	6	5
17:45:12	7,09	17,24	16,99	92,91	82,76	83,01	441	435	411	6	6	6
18:00:12	7,09	11,85	16,99	92,91	88,15	83,01	441	463	411	6	7	6
18:15:12	9,80	22,57	25,30	90,20	77,43	74,70	428	407	370	6	6	5
18:30:12	7,09	11,85	8,59	92,91	88,15	91,41	441	463	452	6	7	7
18:45:12	4,34	11,85	16,99	95,66	88,15	83,01	454	463	411	7	7	6
19:00:12	7,09	17,24	25,30	92,91	82,76	74,70	441	435	370	6	6	5
19:15:12	9,80	22,57	16,99	90,20	77,43	83,01	428	407	411	6	6	6
19:34:22	9,80	17,24	25,30	90,20	82,76	74,70	428	435	370	6	6	5
20:00:12	7,09	17,24	25,30	92,91	82,76	74,70	441	435	370	6	6	5