



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky**

**Možnosti energetických úspor osvětlení při využití denního  
světla**

**Possible energy savings of interior lighting in the use of  
daylight**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Zálešák  
Autor bakalářské práce: Tomáš Trux

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Tomáš Trux**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Možnosti energetických úspor osvětlení při využití denního světla**

Pokyny pro vypracování:


1. Energetická náročnost osvětlení
2. Stanovení denních časových plánů využití pro osvětlované prostory
3. Stanovení podílu umělého a denního světla
4. Vliv automatické kontroly denního světla na energetickou náročnost osvětlení

Seznam odborné literatury:

- [1] HABEL Jiří, Dvořáček Karel, Dvořáček Vladimír, Žák Petr, Světlo a osvětlování. 1. Praha : FCC Public, 2013. 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3
- [2] ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů. Část 1, Vnitřní pracovní prostory. 2012
- [3] ČSN EN 15193 - Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení

Vedoucí: Ing. Jan Zálešák

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

  
prof. Ing. Josef Tlustý CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 12. 2. 2014

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a použil jen prameny uvedené v seznamu literatury. Nemám závažný důvod proti užití tohoto díla ve smyslu Zákona č. 121/200 Sb. § 60, o právu autorském, o právech související s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon)

V Praze dne 15.5.2014

Tomáš Trux

## **Poděkování:**

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Zálešákovi a Ing. Zuzaně Pelánové za jejich trpělivost, čas a užitečné rady, bez kterých by tato bakalářská práce nemohla vzniknout.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce je zaměřena na určení energetické náročnosti osvětlovacích soustav v budovách při užití denního světla. První část je věnována popisu základních světelně technických veličin a pojmů, které bylo třeba objasnit před samotnou problematikou. Druhá část práce se zabývá samotnou energetickou náročností osvětlovacích soustav budov na osvětlování, zejména z pohledu normy ČSN EN 15 193. Ve třetí části jsou popsány vytvořené denní časové plány pro jednotlivé typy budov, sloužící k podrobnému určení spotřeby elektrické energie na osvětlování. Poslední část je věnována návrhu možných energetických úspor osvětlení při využití denního světla a různých způsobech řízení osvětlovací soustavy doplňujícího umělého osvětlení.

## **Klíčová slova**

denní světlo, energetická náročnost budov, činitel denní osvětlenosti, denní časové plány, úspory energie na osvětlení

## **Abstract**

This bachelor thesis is aimed on lighting energy performance of buildings. First part describes essential photometry variables, which is necessary before main issue. Next chapter deals with lighting energy performance of building, mainly from the perspective of standard ČSN EN 15 193. Daily schedules of each type of building is covered in chapter three. These schedules were designed for detailed determination of lighting energy performance of buildings. Last part is devoted to design possible lighting energy savings with use of daylight and various ways of controlling the lighting system of artificial lighting.

## **Key words**

daylight, energy performance of buildings, daylight factor, daily schedules, lighting energy savings

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Osvětlovací soustavy .....	2
2.1	Světelnotechnické veličiny .....	2
2.1.1	Prostorový úhel .....	2
2.1.2	Světelný tok .....	2
2.1.3	Svítivost .....	3
2.1.4	Osvětlenost.....	4
2.1.5	Jas svazku světelných paprsků.....	4
2.1.6	Světlení .....	5
2.2	Denní světlo .....	6
2.2.1	Činitel denní osvětlenosti.....	6
2.2.1.1	Oblohová složka $D_{ob}$ .....	6
2.2.1.2	Vnitřní odražená složka $D_i$ .....	7
2.2.1.3	Vnější odražená složka $D_e$ .....	7
2.2.2	Požadavky pro návrh denního osvětlení .....	7
2.3	Umělé osvětlení.....	9
2.4	Sdružené osvětlení .....	10
2.5	Legislativa .....	12
2.5.1	ČSN EN 12 464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory .....	12
2.5.2	ČSN EN 15 193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení.....	12
2.5.3	TNI 73 0327 Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení12	
2.5.4	ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky ....	12
2.5.5	ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení .....	13
2.5.6	Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.....	13
2.5.7	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov .....	13
3	Energetická náročnost .....	15
3.1	Energetická náročnost osvětlení.....	16
3.2	Energetická náročnost osvětlení z pohledu normy ČSN EN 15193 [4].....	17
3.2.1	Definice pojmů .....	17
3.2.1.1	Zabudovaná svítidla.....	17

3.2.1.2	Předřadník.....	17
3.2.1.3	Elektrický výkon .....	17
3.2.1.4	Ztrátový příkon.....	18
3.2.1.5	Energie W.....	19
3.2.1.6	Doba .....	20
3.2.1.7	Využitelná plocha A.....	21
3.2.1.8	Činitele závislosti .....	21
3.2.1.9	Číselný ukazatel energie pro osvětlení LENI.....	21
3.2.2	Hodnocení spotřeby elektrické energie osvětlení pomocí rychlé metody	22
3.2.2.1	Metodika výpočtu:.....	23
3.2.3	Hodnocení spotřeby elektrické energie osvětlení pomocí podrobné metody	25
3.2.3.1	Metodika výpočtu.....	25
3.2.4	Stanovení činitele závislosti na denním světle $F_D$ .....	28
3.2.4.1	Rozdělení budovy: Prostory využívající denní světlo.....	28
3.2.4.2	Klasifikace činitele denní osvětlenosti - svislá průčelí.....	30
3.2.4.3	Činitel denní osvětlenosti - svislá průčelí.....	31
3.2.4.4	Klasifikace činitele denní osvětlenosti - svislá průčelí.....	31
3.2.4.5	Činitel pronikání denního světla - svislá průčelí .....	32
3.2.4.6	Klasifikace činitele denní osvětlenosti - střešní světlíky.....	33
3.2.4.7	Činitel přístupu denního světla - střešní světlíky .....	35
3.2.4.8	Činitel ovládání umělého osvětlení v závislosti na denním světle ....	35
3.2.5	Stanovení činitele závislosti na obsazení $F_O$ .....	36
3.2.6	Stanovení činitele konstantní osvětlenosti $F_C$ .....	37
4	Denní časové plány.....	38
4.1	Denní časové plány – Administrativní budovy.....	38
4.2	Denní časové plány – Vzdělávací zařízení.....	39
4.3	Denní časové plány – Restaurace.....	40
4.4	Denní časové plány – Zdravotnická zařízení .....	40
4.5	Denní časové plány – Sportovní zařízení.....	41
4.6	Denní časové plány – Hotely .....	42
4.7	Denní časové plány – Prodejní prostory .....	42
4.8	Denní časové plány – Průmyslové objekty .....	43
5	Stanovení energetických úspor osvětlení .....	44

5.1	Stanovení úspor – regulace na konstantní hodnotu.....	44
5.1.1	Regulace na konstantní hodnotu – příklad úspory.....	46
5.2	Stanovení úspor – dvoustavová regulace .....	47
5.2.1	Dvoustavová regulace – příklad úspory.....	47
6	Závěr.....	49
	Použitá literatura .....	50



# 1 Úvod

Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, vydanou 19. 5. 2010, se členské země Evropské unie zavázaly mj. ke snížení spotřeby elektrické energie o 20 % do roku 2020. Tato směrnice je do právního systému České republiky zapracována zákonem č. 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů, včetně novely zákonem č. 310/2013 Sb. Aby bylo možné tohoto závazku docílit, je nutné přistoupit k použití možných úspor elektrické energie.

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi úspor elektrické energie na osvětlení, které, vedle spotřebované elektrické energie na vytápění, vyhřívání a chlazení, významnou částí ovlivňuje celkovou spotřebu elektrické energie budovy. Současné znění český norem o energetické náročnosti budov neobsahuje údaje, pomocí kterých by bylo možné podrobněji určit spotřebu elektrické energie na osvětlení. Poskytuje pouze orientační údaje, pomocí kterých lze dosáhnout informací, které lze použít k hodnocení jednotlivých typů budov mezi sebou. Z tohoto důvodu byly vytvořeny denní časové plány pro jednotlivé typy budov a období jednoho roku. Tyto denní časové plány umožňují rozdělení budovy do jednotlivých funkčních celků a přiřazení každé z nich rozdílné časové rozmezí provozu s následným určením energetické náročnosti osvětlení takové budovy.

## 2 Osvětlovací soustavy

Obsahem kapitoly je seznámení se s požadavky technických norem na denní, umělé a sdružené osvětlení. Aby bylo možné se této problematice věnovat blíže, je nezbytné objasnit si základní světelně-technické veličiny používané při návrhu osvětlení.

### 2.1 Světelnětechnické veličiny

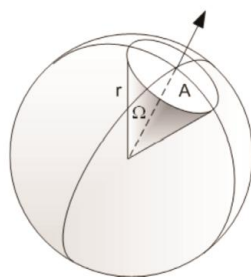
#### 2.1.1 Prostorový úhel

Prostorový úhel je jednou z hlavních veličin, která se používá ve světelné technice. Představuje část prostoru, který je vymezen kuželovou plochou, tvořící na povrchu koule o poloměru  $r$  plochu  $A$ . Vrchol tohoto kuželu leží ve středu koule. Velikost prostorového úhlu, pod kterým je možno vidět plochu  $A$  ze středu koule je tedy dán vztahem: [14]

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (2.1)$$

- $A$  je plocha vytvořená kuželem na povrchu koule ( $m^2$ );
- $r$  je poloměr koule (m).

Jednotkou prostorového úhlu  $\Omega$  je steradián (sr). Maximální hodnota prostorového úhlu je  $4\pi$ , kdy jako plochu  $A$  uvažujeme celý povrch koule.



Obr. 2- 1: Vymezení prostorového úhlu [14]

#### 2.1.2 Světelný tok

Světelný tok  $\Phi$  představuje zářivý tok  $\Phi_e$ , který je posuzován s ohledem na lidské oko. Představuje množství světelné energie, kterou zdroj vyžáří do svého okolí. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Můžeme říci, že zářivý tok je množství výkonu, které je přeneseno, vysláno nebo přijato. Pokud budeme pro jednoduchost považovat spektrum záření za čárové, zářivý tok se určí jako součet všech monochromatických toků: [14]

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n \Phi_{ei}(\lambda_i) \quad (2.2)$$

- $\Phi_{ei}$  je zářivý tok jednotlivých vlnových délek záření (W).

Pro stanovení světelného toku je potřeba znát poměrnou světelnou účinnost viditelného záření  $V(\lambda)$ , která je jednou z předdefinovaných funkcí CIE (pro denní osvětlení):

$$V(\lambda) = \frac{K_\Phi(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \quad (2.3)$$

- $V(\lambda)$  je účinnost monochromatického záření (-);
- $K_\Phi(\lambda)$  je světelná účinnost ( $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ );
- $K_m(\lambda)$  je maximální světelná účinnost ( $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ ).

Hodnota  $K_m$  představuje maximální míru zhodnocení zářivého toku 1 W normalizovaným pozorovatelem  $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  a odpovídá vlnové délce  $\lambda = 555 \text{ nm}$ . Nyní je již možné určit světelný tok ze vztahu:

$$\Phi(\lambda) = K_\Phi(\lambda)\Phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda)\Phi_e(\lambda) = 683V(\lambda)\Phi_e(\lambda) \quad (2.4)$$

- $\Phi_e(\lambda)$  je zářivý tok dané vlnové délky  $\lambda$  (W).

Pokud budeme chtít určit světelný tok záření, které je složené z více monochromatických záření, rozdělíme celé spektrum na  $n$  úseků o šířce  $\Delta\lambda$  a pro každý takový úsek určíme střední hodnotu zářivého toku  $\Phi_e$  a hodnotu poměrné světelné účinnosti  $V(\lambda)$ . Světelný tok se pak vypočítá jako součet všech úseků  $n$ :

$$\Phi = K_m \sum_{i=1}^n \left( \frac{d\Phi_e(\lambda_i)}{\Delta\lambda_i} \right) V(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (2.5)$$

### 2.1.3 Svítivost

Další fotometrickou veličinou je svítivost. Tato veličina popisuje prostorovou hustotu světelného toku v různých směrech. Udává množství světelného toku vyzářeného zdrojem v prostorovém úhlu do určitého směru. Její základní jednotkou je kandela (cd). Svítivost v určitém směru je tedy rovna světelnému toku obsaženému v jednotkovém prostorovém úhlu a je dána vztahem: [8]

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.6)$$

- $d\Phi$  je světelný tok (lm);
- $d\Omega$  je prostorový úhel, do kterého je světelný tok vyzařován (sr).

## 2.1.4 Osvětlenost

Osvětlenost, nebo také intenzita osvětlení, představuje množství světelného toku dopadajícího na jednotkovou plochu  $1 \text{ m}^2$  a je dána vztahem: [8]

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.7)$$

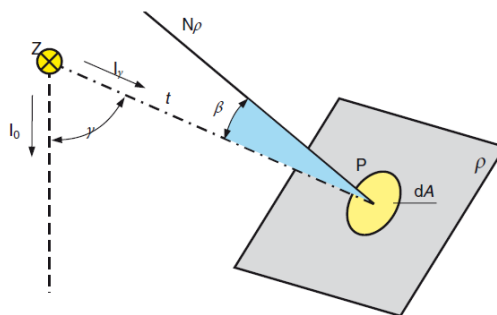
- $d\Phi$  je velikost světelného toku dopadajícího na plochu (lm);
- $dA$  je plocha, na kterou světelné záření dopadá ( $\text{m}^2$ ).

Jednotkou osvětlenosti je lux (lx).

Osvětlenost bodového zdroje lze pomocí kosinového a čtvercového zákona vyjádřit vztahem: [8]

$$E = \frac{I_{\gamma} \cos \beta}{l^2} \quad (2.8)$$

- $\beta$  je úhel, který svírá dopadající paprsek s normálou plochy;
- $l$  je vzdálenost bodového zdroje od plochy (m)



Obr. 2- 2: Osvětlenost bodového zdroje [7]

Je tedy patrné, že s čtvercem vzdálenosti bodového náboje od plochy osvětlenost klesá (čtvercový zákon). Rovněž klesá se zvyšujícím se úhlem  $\beta$  (kosinův zákon).

## 2.1.5 Jas svazku světelných paprsků

Jas svazku světelných paprsků je důležitou světelně technickou veličinou, neboť je to veličina, na kterou přímo reaguje lidské oko. Jednotkou jasu svazku světelných paprsků je kandela na metr čtvereční ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Pokud vymezíme svazek paprsků otvory  $dA_1$  a  $dA_2$ , které jsou na libovolně umístěných stínítkách  $A_1$  a  $A_2$ , pak je jas  $L_{OP}$  ve směru osy OP: [11]

$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA_n} \quad (2.9)$$

- $d\Omega$  je prostorový úhel, kterým se paprsky šíří (sr);
- $A_n$  je plocha kolmá k ose svazku paprsku ( $\text{m}^2$ );
- $d^2\Phi$  je světelný tok přenášený elementárním svazkem (lm).

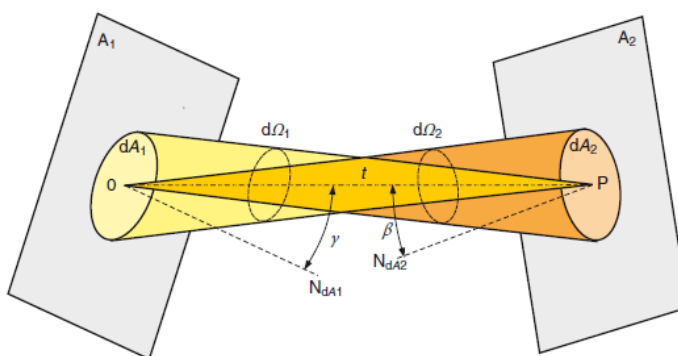
V případě sbíhajících se paprsků v prostorovém úhlu  $d\Omega_1$  z plochy  $dA_1$  do bodu P v ploše  $dA_2$  je možno stanovit vztah:

$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega_1 \cdot dA_2 \cdot \cos\beta} = \frac{dE_N}{d\Omega_1} \quad (2.10)$$

- $E_N$  je normálová osvětlenost představující průmět plochy  $dA_2$  do roviny, která je kolmá k paprsku (lx).

Naopak pro rozbíhající se paprsky z bodu O v ploše  $dA_1$  v prostorovém úhlu  $d\Omega_2$  je jas těchto paprsků tvořen vztahem:

$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega_1 \cdot dA_1 \cdot \cos\gamma} = \frac{dI_\gamma}{dA_1 \cdot \cos\gamma} \quad (2.11)$$



Obr. 2- 3: Svazky sbíhajících a rozbíhajících se paprsků [7]

## 2.1.6 Světlení

Světlení lze definovat jako plošnou hustotu vyzářeného světelného toku z dané plochy, tedy výrazem: [8]

$$M = \frac{d\Phi_V}{dA} \quad (2.12)$$

- $d\Phi_V$  je plošná hustota světelného toku (lm);
- A je plocha, kterou je světelný tok vyzářován ( $m^2$ ).

Jednotkou je lumen na metr čtvereční ( $lm \cdot m^{-2}$ ).

## 2.2 Denní světlo

Drtivá většina aktivit člověka je úzce spjata s vykonáváním zrakové činnosti nebo alespoň s nutností získávat zrakové informace. Množství světla v interiérech budov, jeho prostorové rozložení, spektrální složení a světelné poměry v zorném poli hrají klíčovou roli při hodnocení zrakové pohody člověka.

Denní světlo je významnou fyziologickou a psychologickou potřebou lidského organismu a je pro lidské tělo v tomto ohledu nepostradatelné a nezaměnitelné. Při dlouhodobém působení denního světla jsou i přes technický pokrok umělého osvětlení rozdíly mnohostranné (podání barev, regulace denních rytmů mnoha orgánů v lidském těle, vliv na psychickou pohodu při vizuálním kontaktu v interiéru s okolním prostředím).

Denní světlo rovněž představuje přímé využití sluneční energie bez nutnosti její přeměny či akumulace, což vede k minimálním nákladům a nulové zátěži životního prostředí odpady. Optimální využití denního světla umožňuje snížit dobu používání umělého osvětlení, a tudíž vede i ke snížení spotřeby elektrické energie. [10]

### 2.2.1 Činitel denní osvětlenosti

Úroveň denního osvětlení hodnotíme pomocí poměrné veličiny, činitele denní osvětlenosti, který je definován jako: [2]

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad (2.13)$$

- $E$  je osvětlenost v bodě dané roviny (lx);
- $E_h$  je osvětlenost venkovní nezastíněné horizontální roviny (lx).

Činitel denní osvětlenosti lze také určit pomocí výrazu: [14]

$$D = D_{ob} + D_e + D_i \quad (2.14)$$

- $D_{ob}$  je oblohová složka činitele denní osvětlenosti (%);
- $D_e$  je vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti (%);
- $D_i$  je vnitřní odražená složka činitele denní osvětlenosti (%).

#### 2.2.1.1 Oblohová složka $D_{ob}$

Oblohová složka je dána osvětleností dané roviny vyvolané přímo oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasů, při zanedbání přímého slunečního světla. Je dána vztahem: [14]

$$D_{ob} = \frac{E_{ob}}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (2.15)$$

- $D_{ob}$  je oblohová složka činitele denní osvětlenosti (%);
- $E_{ob}$  je osvětlenost bodu roviny dané oblohovým světlem (lx);
- $E_{eh}$  je osvětlenost horizontální roviny poloprostorem oblohy bez překážek (lx).

### 2.2.1.2 Vnitřní odražená složka $D_i$

Vnitřní odražená složka je dána osvětleností dané roviny vnitřního prostoru vyvolané vnitřními odraznými povrchy přímo nebo nepřímo oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasu. Je reprezentována vztahem: [14]

$$D_i = \frac{E_i}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (2.16)$$

- $D_i$  je vnitřní odražená složka činitele denní osvětlenosti (%);
- $E_i$  je osvětlenost bodu dané roviny vnitřním odraženým světlem (lx).

### 2.2.1.3 Vnější odražená složka $D_e$

Vnější odražená plocha je tvořena osvětleností dané roviny vyvolané vnějšími odraznými povrchy přímo nebo nepřímo oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasu. Je dána vztahem: [14]

$$D_e = \frac{E_e}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (2.17)$$

- $D_e$  je vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti (%);
- $E_e$  je osvětlenost bodu dané roviny vnějším odraženým světlem (lx).

## 2.2.2 Požadavky pro návrh denního osvětlení

Denní světlo musí být využito v prostorách s trvalým pobytem osob ve vnitřních prostorech, což je pobyt, který trvá déle než 4 hodiny v průběhu jednoho dne (při denním světle) a opakuje se více než jednou týdně.

Denní osvětlení vnitřních prostorů budov se navrhuje podle zrakových činností, které jsou v daných prostorech prováděny. Pokud je denní světlo využíváno pro různé zrakové činnosti, musí být splněny požadavky pro nejnáročnější zrakovou činnost. Tab. 2-1 zobrazuje jednotlivé minimální a průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti pro dané třídy zrakové činnosti. [2]

Tab. 2-1: Rozdělení zrakových činností do tříd[2]

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakových činností	Hodnota činitele denní osvětlenosti (%)	
				$D_{min}$	$D_m$
I.	mimořádně přesná	3330 a větší	Nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností použití zvětšení.	3,5	10
II.	velmi přesná	1670 až 3330	Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole.	2,5	7
III.	přesná	1000 až 1670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení.	2	6
IV.	středně přesná	500 až 1000	Středně přesná výroba, čtení psaní.	1,5	5
V.	hrubší	100 až 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem	1	3
VI.	velmi hrubá	menší než 100	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání	0,5	2
VII.	celk. orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu	0,2	1

Minimální hodnota činitele denní osvětlenosti  $D_{min}$  musí být splněna ve všech kontrolních bodech srovnávací roviny vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezené části. Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti  $D_m$  musí být splněna v případě využití horního denního osvětlení. [2]

Rovněž musí být splněn kvalitativní požadavek, rovnoměrnost denního osvětlení, která je dána vztahem:

$$r = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (2.18)$$



## 2.3 Umělé osvětlení

Umělé světlo je nutno použít tam, kde nejsou splněny požadavky na osvětlení denním světlem. Norma ČSN EN 12 464 stanovuje požadavky na osvětlení vnitřních prostorů z hlediska zrakové pohody a zrakového výkonu. Důležité je si uvědomit, že současné hodnoty stanovené normou nejsou hodnotami optimálního, ale jsou kompromisem mezi ekonomickou únosností a optimálními zrakovými podmínkami. [6]

Hlavními parametry určujícími světelné podmínky jsou: rozložení jasu, osvětlenost, oslnění, podání barev a barevný tón světla atd.

Hodnoty udržované osvětlenosti ve vybraných prostorech dle ČSN EN 12 464-1 jsou uvedeny v Tab. 2-2:

Tab. 2-2: Hodnoty udržované osvětlenosti pro některé prostory [3]

Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	Udržovaná osvětlenost E [lx]
komunikační prostory a chodby	100
šatny, umývárny, toalety	200
expedice, balírny	300
skladiště a zásobárny	100
hrubé montážní práce	300-500
jemné montážní práce	750
velmi jemné montážní práce	1000
kanceláře - technické kreslení	750
kanceláře - recepce	300
kanceláře - archivy	200
kuchyně	500
školská zařízení - tabule	500
školská zařízení - počítačové učebny	300
operační pole	5000

Udržovaná osvětlenost v místě zrakového úkonu na srovnávací rovině se nikdy nesmí zmenšit pod hodnotu požadovanou normou, bez ohledu na stáří a stav osvětlovací soustavy.

Osvětlovací prostor se dělí do tří zón. Okolí místa zrakového úkolu o šířce 0,5 m se nazývá bezprostřední okolí místa zrakového úkolu. Aby bylo zachováno vyvážené rozložení jasů v zorném poli, musí osvětlenost bezprostředního okolí místa zrakového úkolu splňovat požadavky znázorněné v Tab. 2-3. Za touto zónou se nachází pozadí zrakového úkolu, které je tvořeno pásem o šířce 3 m přiléhajícím na bezprostřední okolí místa zrakového úkolu. Tato zóna musí být osvětlena na hodnotu 1/3 udržované osvětlenosti bezprostředního okolí místa zrakového úkolu. [3]

Tab. 2-3: Osvětlenost místa zrakového úkolu [3]

Osvětlenost místa zrakového úkolu [lx]	Osvětlenost bezprostředního okolí místa zrakového úkolu [lx]
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	150
100	100
≤ 50	50

Kromě hodnot osvětlenosti je potřeba zohlednit další důležitý parametr, kterým je jas. Rozložení jasů hraje hlavní roli ve světelné pohodě člověka a také v kvalitě prováděné činnosti. Optimální rozložení jasu zrakového úkolu k jeho bezprostřednímu okolí a k jasů pozadí je 10 : 4 : 3.

## 2.4 Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení je osvětlení denním světlem doplněné osvětlením umělým. Pokud je splněna hodnota činitele denní osvětlenosti pro danou zrakovou činnost podle Tab. 2-4, je osvětlenost dána součtem umělé osvětlenosti a příspěvkem od denního světla. V případě, že hodnota činitele denní osvětlenosti splněna není, musí být hodnota konstantní osvětlenosti udržována na hodnotě o stupeň vyšší, než při dostatečném denním světle. [1]

Sdružené osvětlení se ve vnitřních prostorech nově navrhovaných staveb může použít jen v ojedinělých situacích, kdy nelze z důvodů urbanistických, provozních a stavebně konstrukčních dosáhnout požadovaného denního osvětlení. [1]

V rekonstruovaných budovách lze použít sdružené osvětlení za předpokladu, že se zlepší původní hodnoty nedostatečného denního osvětlení. [1]

Tab. 2-4: Hodnocení tříd zrakové činnosti při sdruženém osvětlení [1]

Třída zrakové činnosti	Hodnota činitele denní osvětlenosti [%]	
	$D_{\min}$	$D_m$
I, II	1	2,5
III	0,7	2
IV	0,5	1,5
V až VII	0,5	1

V prostorech s umělým osvětlením by mělo docházet k dostatečnému promíchávání denní a umělé složky. To lze zajistit použitím zdrojů umělého osvětlení se spektrálním složením blízkým dennímu světlu. V tomto ohledu se osvědčily zdroje s teplotou

chromatičnosti  $T_c$  v rozmezí 4000 K až 5000 K a s indexem podání barev  $R_a$  nejméně 80. [14]

Vnitřní prostory lze podle množství denního světla dělit na tři oblasti:

- Oblast s vyhovujícím denním světlem dle normy. V této oblasti se umělé osvětlení navrhuje jako noční osvětlení a během dne zde není potřeba za obvyklých stavů oblohy umělých osvětlením svítit.
- Oblast sdruženého osvětlení, kde denní světlo vyhovuje normě. V této zóně je potřeba při návrhu umělého osvětlení uvažovat spolupráci s denním světlem.
- Oblast s absolutním nedostatkem denního světla. Tuto oblast je nutno posuzovat jako oblast bez denního světla.

Při návrhu sdruženého osvětlení musí být splněny různorodé požadavky. Vedle základních požadavků, jako je dodržení úrovně sdruženého osvětlení pro danou zrakovou činnost, dosažení rovnoměrnosti sdruženého osvětlení a dodržení vyžadovaného rozložení poměrů jasů je potřeba vyloučit oslnění přímým slunečním světlem a odraženým světlem. [14]

K návrhu umělého osvětlení je potřeba brát v úvahu tři stavy oblohy:

- rovnoměrně zataženou oblohu s osvětleností 5 klx,
- rovnoměrně zataženou oblohu s osvětleností 20 klx,
- jasnou oblohu s přímým slunečním svitem.

Z důvodu použití denního světla vzniká potřeba regulace umělého osvětlení podle aktuálního příspěvku od denního světla. V prostorách s větší koncentrací osob (například v průmyslu) se používá k monitorování denního světla čidel, která umožňují udržovat požadovanou úroveň osvětlení a efektivní nakládání s elektrickou energií. K těmto účelům se používá ovládání automatické nebo manuální na základě signalizace z čidel. Regulace doplňujícího umělého osvětlení se navrhuje buď stupňovitá s postupným zapínáním svítidel, jejich skupin nebo jako plynulá. [1]

## **2.5 Legislativa**

Na osvětlovaný prostor jsou z hlediska právního systému České Republiky kladeny různé požadavky, které jsou buď závazné, nebo doporučující (podle typu předpisu, vyhlášky). Níže je uveden stručný přehled vyhlášek a norem, které se dotýkají problematiky související s touto bakalářskou prací.

### **2.5.1 ČSN EN 12 464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory**

Tato národní norma je českou verzí evropské normy EN 12 464 – 1: 2011. Určuje požadavky na osvětlení pro vnitřní pracovní prostory z hlediska zrakové pohody a zrakového úkolu.

Požadavky na osvětlení jsou určeny tabelárním seznamem pro většinu vnitřních prostorů a zrakových činností v nich prováděných. Tabulky předepisují požadovanou udržovanou osvětlenost, maximální mezní hodnotu indexu oslnění, minimální hodnotu rovnoměrnosti osvětlení a minimální hodnotu indexu podání barev. Jako poslední jsou speciální požadavky, kde je zpravidla uvedena doporučená hodnota teploty chromatičnosti světelného zdroje.

Předepsané hodnoty udržované osvětlenosti lze dosáhnout denním světlem, umělým světlem nebo světlem sdruženým.

### **2.5.2 ČSN EN 15 193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení**

Tato národní norma je českou verzí evropské normy EN 15 193:2007. Norma zavádí dohody a postupy využívané pro stanovení energetických požadavků na osvětlení v budovách a stanovuje metodiku pro zavedení číselného ukazatele spotřeby elektrické energie v budovách. Norma slouží k hodnocení účinnosti osvětlovací soustavy navržené v souladu s normou ČSN EN 12 464-1.

### **2.5.3 TNI 73 0327 Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení**

Technická národní informace TNI 73 0327 má za úkol doplnění a podrobný popis postupů určení celkové spotřeby elektrické energie osvětlovacích soustav v jednotlivých typech budov stanovených normou ČSN EN 15 193 s ohledem na geografickou polohu České republiky. Dalším účelem je popis strategických postupů pro dosažení energetických úspor na osvětlení.

### **2.5.4 ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky**

Předmětem této normy je stanovení základních technických požadavků při posuzování a navrhování denního světla vnitřních prostorů budov a posuzování návrhu staveb z hlediska jejich vlivu na denní osvětlení okolních budov.

Stanovuje základní parametr hodnocení denního světla v budovách - činitel denní osvětlenosti. Rovněž se zabývá určením prostupu denního světla do stavebních objektů s ohledem zasklení, okolní překážky apod.

### **2.5.5 ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení**

Norma ČSN 36 0020 popisuje sdružené osvětlení vnitřních prostorů budov s trvalým pobytem osob. Obsahem normy je stanovení požadavků pro splnění zrakové pohody osob při osvětlení denním světlem doplněným o umělé osvětlení. Také popisuje způsoby regulace umělého osvětlení v závislosti na aktuálním stavu denního světla prostupujícího do vnitřních prostorů budov během dne.

### **2.5.6 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.**

Toto nařízení vlády nařizuje požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a zajištění požadavků na zajištění bezpečnosti a ochranu zdraví při práci nebo poskytování služeb mimo pracovně - právní vztahy.

Součástí tohoto nařízení je mimo jiné ze závaznění požadavků na osvětlení podle normy ČSN EN 12 464-1.

### **2.5.7 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov**

Cílem této směrnice je podpora snižování energetické náročnosti budov s přihlédnutím k vnějším klimatickým a místním podmínkám a požadavkům na vnitřní mikroklimatické podmínky a efektivitu nákladů.

Směrnice č. 2010/31/EU nahrazuje směrnici č. 2002/31/ES z roku 2002. Zachovává původní čtyři požadavky, stanovené touto směrnicí, které dále podrobněji popisuje a zavádí některé požadavky nové.

Směrnice stanovuje tyto požadavky:

- společný obecný rámec metody výpočtu celkové energetické náročnosti budov a ucelených částí budov,
- uplatnění minimálních požadavků na energetickou náročnost nových budov a nových ucelených částí budov,
- uplatnění minimálních požadavků na energetickou náročnost stávajících budov, které jsou předmětem větší renovace a technických systémů budovy při jejich instalaci, nahrazení nebo modernizaci,
- uplatnění minimálních požadavků na energetickou náročnost vnitrostátní plány na zvýšení počtu budov s téměř nulovou spotřebou energie,
- energetickou certifikaci budov nebo ucelených částí budov,
- pravidelnou inspekci otopných soustav a klimatizačních systémů v budovách a
- nezávislé systémy kontroly certifikátů energetické náročnosti a inspekčních zpráv. [15]

Požadavky stanovené touto směrnicí jsou minimálními požadavky a nebrání k přijetí požadavků přísnějších.

Základní motivací směrnice je dosažení cíle 20-20-20, vyjadřující dosažení v roce 2020 snížení spotřeby elektrické energie o 20 %, snížení skleníkových plynů o 20 % a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na 20 % z celkové výroby elektrické energie v Evropě oproti roku 1990. Hlavním ze základních kroků k dosažení tohoto cíle je splnění požadavku, aby všechny do 31. 12. 2020 byly všechny nové budovy „budovami s téměř nulovou spotřebou energií“ a po 31. 12. 2018 nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci byly rovněž „budovami s téměř nulovou energií“. Směrnicí „budovou s téměř nulovou energií“ rozumí budova, jejíž energetická náročnost, podle metody dané směrnicí, je velmi nízká. [12]

Směrnice 2010/31/EU je do právního systému České republiky zapracována zákonem č. 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů, včetně novely zákonem č. 310/2013 Sb. a vyhláškou č. 78/2013 Sb., která je prováděcím dokumentem k dané směrnici.

### 3 Energetická náročnost

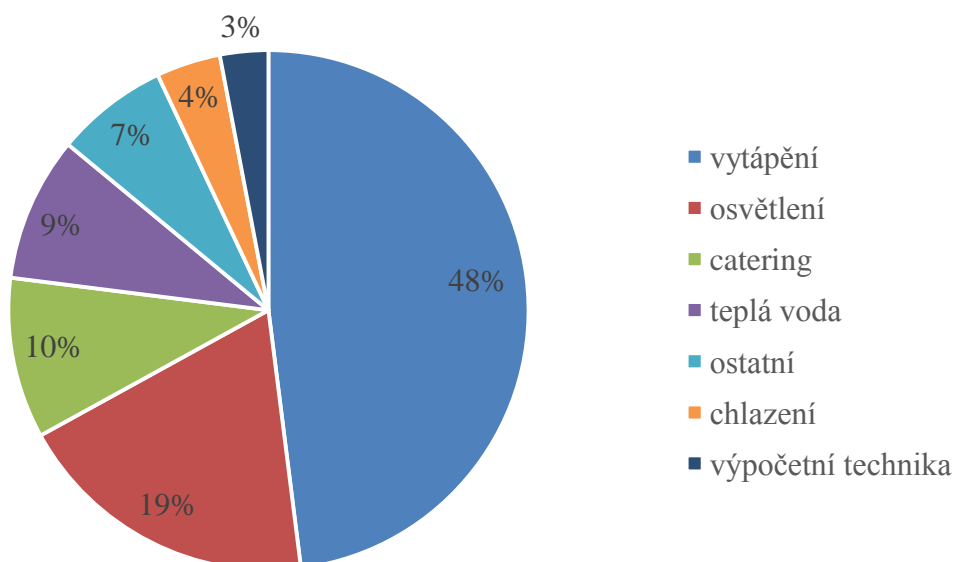
Energetická náročnost budov je v dnešní době často se objevujícím tématem. Je nutno poukázat na fakt, že až 40 % z celkové spotřeby elektrické energie v jednotlivých státech Evropské unie je tvořeno spotřebou budovami [16]. Vzniká tedy potřeba posuzovat u nově připravovaných budov vedle uživatelského komfortu a urbanistického dopadu také spotřebu elektrické energie vytápěním, osvětlením apod. Stejným způsobem je potřeba přistupovat i při rozsáhlejších rekonstrukcích budov již postavených, kdy se v době jejich výstavby na spotřebu elektrické energie nebral zřetel.

Z tohoto důvodu byla přijata vyhláška 148/2007 Sb. o energetické náročnosti budov (průvodní dokument již nahrazené směrnice č. 2002/31/ES z roku 2002), která stanovuje požadavky na energetickou náročnost budov, výpočtové metody stanovení energetické náročnosti budov a následné zpracovávání průkazů energetické náročnosti budov a jejich obsah. [9]

Energetická náročnost budovy je tedy ukazatel toho, s jakou energetickou účinností je daná budova navržena. Současně také umožňuje porovnávání jednotlivých budov stejného typu využití mezi sebou. Pro zachování objektivity tohoto porovnávání je potřeba využití normativních hodnot vstupních údajů pro daný typ budovy (např. doba využití denního světla, doba využití bez denního světla apod.). Je však nutno brát v potaz právě normativnost těchto hodnot a tedy neopomenout fakt, že případné porovnání budov stejné typu je pouze informativní a vychází z teoretického předpokladu a nikoliv z reálné situace.

### 3.1 Energetická náročnost osvětlení

Dnešní stavitelství je schopno realizovat budovy s velmi vysokými izolačními vlastnostmi a s pomocí moderního zařízení a využitím obnovitelných zdrojů energie dosahuje značných úspor elektrické energie. Tato skutečnost poukazuje na vzrůstající podíl energetické náročnosti osvětlení na celkové energetické náročnosti budovy. Z Obr. 3-1 je patrné, že podíl spotřeby elektrické energie osvětlením v oblasti služeb je téměř 20 %. [5]



Obr. 3- 1: Graf spotřeba energie v oblasti služeb [5]

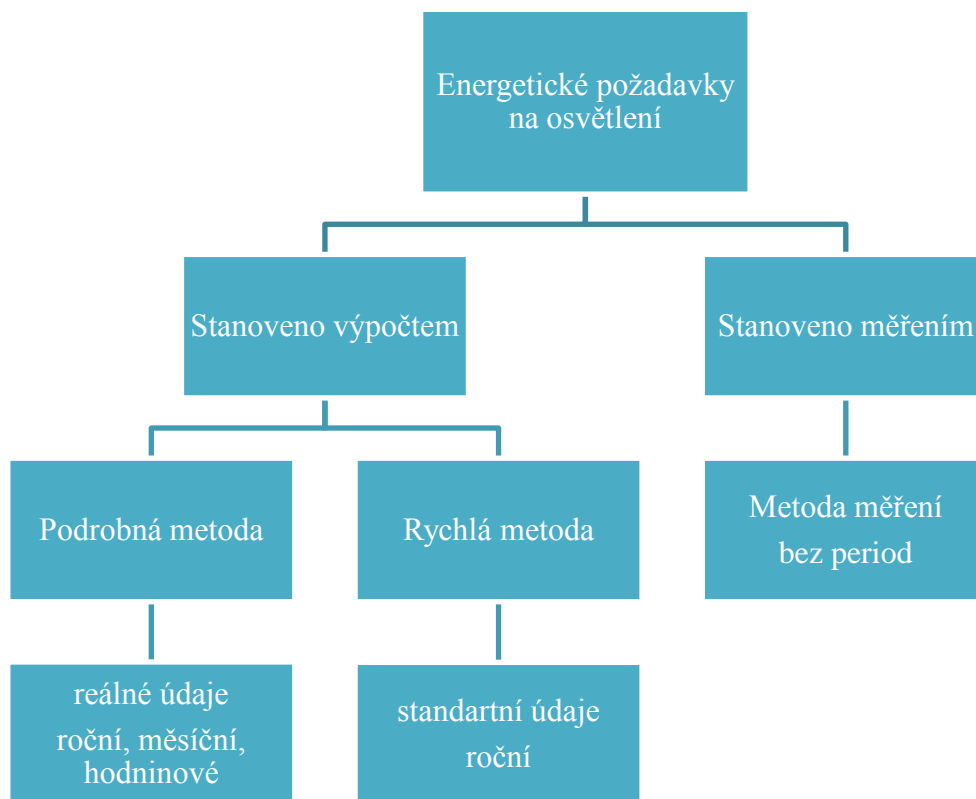
Z tohoto důvodu je potřeba při návrhu osvětlovací soustavy nové budovy, případně při rekonstrukci budovy stávající, klást zvýšenou pozornost na energetickou náročnost osvětlení.

Požadavky na energetickou náročnost osvětlovací soustavy lze formulovat jako snahu o dosažení světelně technických požadavků s nejvyšší možnou energetickou účinností. V žádném případě nesmí být nároky na nižší energetickou účinnost kladeny před nároky světelně technické a měly by sloužit až k následnému hodnocení světelných soustav. [6]



## 3.2 Energetická náročnost osvětlení z pohledu normy ČSN EN 15193 [4]

V této evropské normě se způsob hodnocení spotřeby elektrické energie řídí metodologií, která je blíže popsána na Obr.3-2.



Obr. 3- 2: Graf znázorňující způsoby určení spotřeby elektrické energie na osvětlení

### 3.2.1 Definice pojmů

Níže jsou uvedeny termíny a definice použité v této normě.

#### 3.2.1.1 Zabudovaná svítidla

Zabudovaná svítidla jsou svítidla pevně instalovaná, sloužící k osvětlení budovy.

#### 3.2.1.2 Předřadník

Předřadník je elektrické zařízení nutné k provozu světelného zdroje.

#### 3.2.1.3 Elektrický výkon

*Příkon svítidla  $P_i$*

Příkon svítidla je elektrický příkon ve wattech, odebíraný z napájecí sítě k provozu světelných zdrojů, předřadných přístrojů a řídicího obvodu (umístěných ve svítidle nebo k němu připojených), zahrnující veškeré ztráty při zapnutém svítidle. Tento údaj je možné pro specifické svítidlo získat od výrobce.

*Celkový instalovaný příkon pro osvětlení nebo zóny  $P_n$*

Celkový instalovaný příkon je příkon všech svítidel nacházejících se ve vnitřním prostoru nebo jeho části, měřený ve wattech.

$$P_n = \sum_i P_i \quad (3.1)$$

- $P_i$  je příkon svítidla (W).

#### **3.2.1.4 Ztrátový příkon**

*Ztrátový příkon svítidla  $P_{pi}$*

Ztrátový příkon svítidla je elektrický příkon nabíjecího obvodu nouzových svítidel a příkon pro automatické ovládání ve svítidlech v pohotovostním režimu odebíraný ze sítě při světelných zdrojích mimo provoz, měřený ve wattech.

$$P_{pi} = P_{ci} + P_{ei} \quad (3.2)$$

- $P_{ci}$  je ztrátový příkon řídicího systému při zdrojích mimo provoz (W);
- $P_{ei}$  je nabíjecí příkon nouzového osvětlení (W).

*Ztrátový příkon řídicího systému při zdrojích mimo provoz  $P_{ci}$*

Ztrátový příkon řídicího systému při zdrojích mimo provoz je příkon každého ovládacího zařízení v pohotovostním režimu a/nebo nabíjecí příkon baterií odebíraný soustavou nouzového osvětlení při světelných zdrojích mimo provoz, měřený ve wattech.

*Nabíjecí příkon nouzového osvětlení  $P_{ei}$*

Nabíjecí příkon nouzového osvětlení je příkon nabíjecího obvodu nouzových svítidel při světelných zdrojích mimo provoz, měřený ve wattech.

*Celkový instalovaný příkon ovládacích zařízení v místnosti nebo zóně  $P_{pc}$*

Celkový instalovaný příkon ovládacích zařízení v místnosti nebo zóně je příkon všech ovládacích zařízení ve svítidlech instalovaných v místnosti nebo zóně při světelných zdrojích mimo provoz, měřený ve wattech.

$$P_{pc} = \sum_i P_{ci} \quad (3.3)$$

- $P_{ci}$  je ztrátový příkon řídicího systému při zdrojích mimo provoz (W).

*Celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení v místnosti nebo zóně*  
 $P_{em}$

Celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení v místnosti nebo zóně je nabíjecí příkon všech nouzových svítidel v místnosti nebo zóně, měřený ve wattech.

$$P_{em} = \sum_i P_{ei} \quad (3.4)$$

- $P_{ei}$  je nabíjecí příkon nouzového osvětlení (W).

### 3.2.1.5 Energie W

*Celková spotřeba elektrické energie na osvětlení  $W_t$*

Celková spotřeba elektrické energie na osvětlení je spotřeba elektrické energie všech svítidel při provozu světelných zdrojů za dobu t a ztráty elektrické energie při světelných zdrojích mimo provoz v rámci místnosti nebo zóny, měřená v kWh.

*Spotřeba elektrické energie pro osvětlování  $W_{L,t}$*

Spotřeba elektrické energie pro osvětlování je spotřeba energie svítidel při provozu světelných zdrojů, plnící svůj účel a funkci osvětlení uvnitř objektu, za dobu t, měřená v kWh.

*Ztrátová elektrická energie ve svítidlech  $W_{p,t}$*

Ztrátová elektrická energie ve svítidlech je ztrátová energie nabíjecích obvodů nouzových svítidel a řídicích systémů pro ovládání svítidel v pohotovostním režimu při světelných zdrojích mimo provoz, za dobu t, měřená v kWh.

*Celková roční spotřeba elektrické energie pro místnost nebo zónu W*

Celková roční spotřeba elektrické energie pro místnost nebo zónu se určí ze vztahu:

$$W = W_L + W_P \quad (3.5)$$

*Roční spotřeba elektrické energie  $W_L$*

Roční spotřeba elektrické energie v budově na osvětlení pro splnění účelu a funkce osvětlení se stanoví ze vztahu:

$$W_L = \sum \frac{\{(P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)]\}}{1000} \quad (3.6)$$

- $P_n$  je celkový instalovaný příkon svítidel (W);
- $t_D$  je doba provozu s denním světlem (h);
- $t_N$  je doba provozu bez denního světla (h);
- $F_O$  je činitel závislosti na obsazení;
- $F_C$  je činitel konstantní osvětlenosti;
- $F_D$  je činitel závislosti na denním světle.

*Roční ztrátová elektrická energie  $W_p$*

Roční ztrátová spotřeba elektrické energie v budově, která pokrývá nabíjení nouzového osvětlení a pohotovostní režim řídicího systému osvětlení se stanoví ze vztahu:

$$W_p = \sum \frac{\{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)]\} + (P_{em} \cdot t_{em})}{1000} \quad (3.7)$$

- $P_{pc}$  je celkový instalovaný ztrátový příkon ovládacích zařízení (W);
- $P_{em}$  je celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení (W);
- $t_y$  je standardní roční doba udávající počet hodin v průběhu jednoho roku (h);
- $t_D$  je doba provozu s denním světlem (h);
- $t_N$  doba provozu bez denního světla (h);
- $t_{em}$  je doba nabíjení nouzového osvětlení (h).

### **3.2.1.6 Doba**

*Doba provozu  $t$*

Doba provozu je časový interval, ve kterém se stanovuje spotřeba elektrické energie, uváděný v hodinách.

*Roční doba provozu  $t_o$*

Roční doba provozu je počet provozních hodin světelných zdrojů a svítidel za rok při provozu světelných zdrojů. Určí se ze vztahu:

$$t_o = t_D + t_N \quad (3.8)$$

- $t_D$  je doba využití denního světla (h);
- $t_N$  je doba využití bez denního světla (h).

*Standardní roční doba  $t_y$*

Standardní roční doba je počet hodin v průběhu jednoho běžného rok, stanovený na 8760 h.

*Doba využití denního světla  $t_D$*

Doba využití denního světla je doba provozu s denním světlem, měřená v hodinách.

*Doba využití bez denního světla  $t_N$*

Doba využití bez denního světla je doba provozu bez denního světla, měřená v hodinách.

*Doba nabíjení nouzového osvětlení  $t_{em}$*

Doba nabíjení nouzového osvětlení je doba provozu, v průběhu které jsou nabíjeny baterie nouzového osvětlení, měřená v hodinách.

*Doba provozu ve scénickém režimu  $t_s$*

Doba provozu ve scénickém režimu je doba provozu ovládacích zařízení pro nastavení scén, měřená v hodinách.

### **3.2.1.7 Využitelná plocha A**

Využitelná plocha je podlahová plocha uvnitř vnějších stěn s vyloučením nevyužitelných sklepů a neosvětlených prostorů, měřená v  $m^2$ .

### **3.2.1.8 Činitele závislosti**

*Činitel závislosti na denním světle  $F_D$*

Činitel závislosti na denním světle je činitel vztahující využití celkového instalovaného příkonu pro osvětlení k dostupnosti denního světla v místnosti nebo zóně.

*Činitel závislosti na obsazení  $F_O$*

Činitel závislosti na obsazení je činitel vztahující využití celkového instalovaného příkonu pro osvětlení k době obsazení místnosti nebo zóny.

*Činitel nepřítomnosti  $F_A$*

Činitel nepřítomnosti je činitel vztahující se k době nepřítomnosti uživatelů.

*Udržovací činitel  $MF$*

Udržovací činitel je podíl průměrné osvětlenosti na pracovní rovině po určité době používání osvětlovací soustavy k průměrné osvětlenosti na počátku při stejných podmínkách soustavy.

### **3.2.1.9 Číselný ukazatel energie pro osvětlení LENI**

Číselný ukazatel energie pro osvětlení je číselný ukazatel celkové roční energie pro osvětlení požadované v budově a uvedené v kWh na  $m^2$ . Tento činitel lze využít pro přímé porovnání energetické náročnosti osvětlení v budovách se stejným účelem, ale jinými rozměry a uspořádáním.

$$LENI = \frac{W}{A} \quad (3.9)$$

### 3.2.2 Hodnocení spotřeby elektrické energie osvětlení pomocí rychlé metody

Rychlá metoda hodnocení se používá u budov, kdy je podíl spotřeby elektrické energie osvětlením k celkové spotřebě objektu malý. Pomocí této metody nelze navrhovat úsporná opatření a nemůže sloužit k účelům kolaudace. Na posuzované budovy nahlížíme jako na celek. [1]

Níže si popíšeme postup aplikace rychlé metody, jaký je popsán v publikaci Úspory elektrické energie v osvětlování při hodnocení energetické náročnosti budov, Karel Sokanský a kol. [13]:

Pro hodnocení spotřeby elektrické energie osvětlení se jednotlivé budovy zařadí do jedné z následujících kategorií, které nejlépe vystihují využití této budovy: [4]

- administrativní budovy,
- vzdělávací zařízení,
- zdravotnická zařízení,
- průmyslové objekty,
- hotely,
- restaurace,
- prodejní prostory,
- sportovní zařízení.

Dále se jednotlivým místnostem, zónám či celé budově přiřadí způsobem ovládání osvětlovací soustavy:

#### **R1 Manuální: dvupolohový spínač ZAP/VYP bez snímačů**

Svítilna se zapínají a vypínají manuálním spínačem v dané místnosti.

#### **R2 Manuální: dvupolohový spínač ZAP/VYP s funkcí časového vypnutí**

V této možnosti ovládání může automatika spočívat v automatickém vypnutí svítidel nejméně jednou za den (např. ve večerních hodinách).

#### **R3 Pohybový spínač: auto ZAP + stmívání**

Řídicí systém automaticky zapíná svítidla pokaždé, když dojde k detekci osob v osvětlovaném prostoru a automaticky přechází do režimu sníženého provozu (kdy je úroveň stmívání max. 20% režimu normálního provozu) nejpozději do 5 minut od poslední detekce přítomnosti osob. Pokud se po dalších 5 minutách nezjistí přítomnost osob, dojde k automatickému vypnutí svítidel.

#### **R4 Pohybový snímač: auto ZAP + auto VYP**

Řídicí systém zapíná svítidla automaticky, pokud dojde k detekci přítomnosti osob a plně je vypíná, pokud uplyne 5 minut od poslední detekce přítomnosti osob.

### **R5 Pohybový snímač: manuálně ZAP + stmívání**

Svítlidla lze zapnout pouze pomocí manuálního spínače, a pokud nedojde k manuálnímu vypnutí, automaticky dochází k režimu sníženého provozu (kdy je úroveň stmívání max. 20% režimu normálního provozu) nejpozději do 5 minut od poslední detekce přítomnosti osob. Pokud se po dalších 5 minutách nezjistí přítomnost osob, dojde k automatickému vypnutí svítidel.

### **R6 Pohybový snímač: manuálně ZAP + auto VYP**

Svítlidla lze zapnout pouze pomocí manuálního spínače a dochází k jejich automatickému vypnutí, pokud uplyne 5 minut od poslední detekce přítomnosti osob.

### **R7 Fotobuňka: manuálně ZAP + stmívání na konstantní osvětlenost**

Svítlidla lze zapnout pouze pomocí manuálního spínače a dochází ke stmívání na konstantní osvětlenost fotobuňkou, která snímá jas osvětlovaných ploch.

### **R8 Fotobuňka: spínání či stmívání v závislosti na denním světle**

Osvětlení se zapíná a vypíná (nebo stmívá) v závislosti na denním světle.

### **R9 Centrální ovládání osvětlení**

Pokud se osvětlení v dané místnosti ovládá současně s osvětlením jiné místnosti, jde o centrální ovládání.

#### **3.2.2.1 Metodika výpočtu:**

1. Určení typu budovy;
2. určení typu osvětlovací soustavy a způsob jejího ovládání;
3. určení celkové využitelné podlahové plochy  $A$  ( $m^2$ );
4. určení celkového elektrického příkonu svítidel  $P_n$  (kW);
5. určení doby využití denního světla  $t_D$  (h/rok) a doby využití osvětlení bez denního světla  $t_N$  (h/rok);

**Tab. 3-1: Doba využití denního světla a doba bez denního světla pro jednotlivé typy budov [4]**

Druh budovy	$t_D$	$t_N$	$t_O$
Administrativní budovy	2250	250	2500
Vzdělávací zařízení	1800	200	2000
Zdravotnická zařízení	3000	2000	5000
Hotely	3000	2000	5000
Restaurace	1250	1250	2500
Sportovní zařízení	2000	2000	4000
Prodejní prostory	3000	2000	5000
Průmyslové objekty	2500	1500	4000

6. určení činitele využití denního světla  $F_D$  (-) - činitel využití denního světla  $F_D$  se v závislosti na typu budovy a způsobu ovládání svítidel určí z Tab. 3-2. Uvažujeme, že minimálně 60 % instalovaného příkonu spadá pod daný typ ovládání, jinak se uvažuje ovládání R1.

Tab. 3-2: Způsob ovládání umělého osvětlení [13]

Druh budovy	Typ řízení		
	R1 - R7	R8	R9
Administrativní budovy	1,0	0,9	1,0
Vzdělávací zařízení		0,8	
Zdravotnická zařízení		0,8	
Hotely		1,0	
Restaurace		1,0	
Sportovní zařízení		0,9	
Prodejní prostory		1,0	
Průmyslové objekty		0,9	

7. určení činitele obsazenosti budov  $F_O$  (-) - činitel obsazenosti budov  $F_O$  se v závislosti na typu budovy a způsobu ovládání svítidel určí z Tab. 3-3. Uvažuje se minimálně 1 pohybové čidlo v každé místnosti na každých 30 m<sup>2</sup>. V nemocnicích se i v rámci R1 uvažuje určitý podíl automatického řízení snímači.

Tab. 3-3: Činitel obsazenosti budov pro daný typ řízení umělého osvětlení

Druh budovy	Typ řízení		
	R1 - R2	R3 - R6	R7 - R9
Administrativní budovy	1,0	0,9	1,0
Vzdělávací zařízení	1,0	0,9	1,0
Zdravotnická zařízení	0,8	0,8	0,8
Hotely	0,7	1,0	0,7
Restaurace	1,0	1,0	1,0
Sportovní zařízení	1,0	1,0	1,0
Prodejní prostory	1,0	1,0	1,0
Průmyslové objekty	1,0	1,0	1,0

8. určení činitele konstantní osvětlenosti  $F_C$  (-) - činitel konstantní osvětlenosti  $F_C$  zohledňuje poklesu světelného toku v osvětlovaném prostoru v průběhu jednoho cyklu údržby. Pokud je instalován systém s udržováním konstantní osvětlenosti, při poklesu světelného toku roste spotřeba elektrické energie.  $F_C$  se určí ze vztahu:

$$F_C = \frac{1 + MF}{2} \quad (3.10)$$

- MF je udržovací činitel (-).
9. výpočet odhadu roční spotřeby energie  $W$  (kWh/rok) - pomocí vzorců (3.5), (3.6) a (3.7);
10. výpočet číselného ukazatele energie na osvětlení LENI (kWh/m<sup>2</sup>) - pomocí vzorce (3.9).



### **3.2.3 Hodnocení spotřeby elektrické energie osvětlení pomocí podrobné metody**

Podrobná metoda umožňuje vyhodnotit spotřebu elektrické energie osvětlením z pohledu časové a prostorové distribuce spotřeby elektrické energie na osvětlení. Základní myšlenkou této metody je rozdělení hodnocené budovy podle typových prostorů, místností nebo zón. Typové prostory jsou prostory se stejným nebo podobným charakterem využití, což jsou například komunikační prostory, technické zázemí, učebny apod. Spotřebu jednotlivých zón lze posuzovat pro různá časová období, jako jsou rok, měsíc, den. Tento způsob hodnocení dává přehled o podílu spotřeby elektrické energie jednotlivými zónami.

#### **3.2.3.1 Metodika výpočtu**

1. Určení typu budovy;
2. sestavení výpočtové tabulky včetně seznamu místností - vytvoří se tabulky jednotlivých místností (zón), které slouží pro zápis určených a vypočtených činitelů těchto zón;
3. určení typu řízení osvětlení v jednotlivých místnostech;
4. určení plochy  $A$  ( $m^2$ );
5. určení osvětlenosti  $E_m$  (lx) - pro každou místnost (zónu) se určí předepsaná hodnota udržované osvětlenosti  $E_m$  podle projektové dokumentace, případně podle normy ČSN EN 12 464-1.
6. určení udržovacího činitele MF (-) pro každou místnost se určí hodnota udržovacího činitele MF podle projektové dokumentace, případně z publikace CIE 97 Údržba vnitřních osvětlovacích soustav.
7. určení kvality návrhu osvětlení LDDC (-) - stanoví se z Tab. 3-4:

Tab. 3-4: Požadavky plněné při použití tříd osvětlení LDDC [17]

Značka	třída kvality osvětlení LDDC		
	*	**	***
Popis	základní splnění požadavků na osvětlenost	dobré splnění požadavků na osvětlenost	úplné splnění požadavků na osvětlenost
Udržovaná osvětlenost u vodorovných zrakových úkolů	x	x	x
Odpovídající omezení rušivého oslnění UGR	x	x	x
Vyloučení míhání a stroboskopických efektů	x	x	x
Odpovídající omezení závojevých odrazů a oslnění odrazem		x	x
Zlepšené podání barev		x	x
Vyloučení tvrdých stínů nebo příliš rozptýleného světla pro dosažení dobré modelace		x	x
Přiměřené rozložení jasů v místnosti		x	x
Věnování zvláštní pozornosti vizuální komunikaci při osvětlení obličejů			x
Věnování zvláštní pozornosti zdravotním záležitostem			x

8. určení celkového instalovaného výkonu  $P_n$  (kW);
9. určení celkového pasivního příkonu na řízení  $P_{pc}$  (kW) a pasivního příkonu na nabíjení nouzových svítidel  $P_{em}$  (kW);
10. určení činitele využití denního světla  $F_D$  (-) - činitel využití denního světla  $F_D$  se stanoví podle postupu uvedeného v kapitole 3.2.4;
11. určení činitele obsazenosti budovy  $F_O$  (-) - činitel obsazenosti  $F_O$  se stanoví podle postupu uvedeného v kapitole 3.2.5;
12. určení činitele konstantní osvětlenosti  $F_C$  (-) - činitel konstantní osvětlenosti se určuje pro každou místnost (zónu) stejným způsobem, jaký je popsán v metodice výpočtu pomocí rychlé metody v kapitole 3.2.2.1;
13. výpočet roční spotřeby energie osvětlovacích soustav  $W_{L,t}$  (kWh/období t) a výpočet roční spotřeby pasivní energie  $W_{P,t}$  (kWh/období t):

$$W_{L,n,t} = \frac{(P_N \cdot F_{C,n}) \cdot [(t_{D,t} \cdot F_{O,n} \cdot F_{D,n}) + (t_{N,t} \cdot F_{O,n})]}{1000} \quad (3.11)$$

$$W_{P,n,t} = \frac{P_{pc} \cdot [t_y - (t_{D,t} + t_{N,t})] + P_{em} \cdot t_{em}}{1000} \quad (3.12)$$

$$W_{L,t} = \sum_{n=1}^k W_{L,n,t} \quad (3.13)$$

$$W_{P,t} = \sum_{n=1}^k W_{P,n,t} \quad (3.14)$$

- $W_{L,t}$  je spotřeba elektrické energie pro osvětlení za období  $t$  (kWh),
- $W_{P,t}$  je ztrátová elektrická energie za období  $t$  (kWh),
- $t_{D,t}$  je doba provozu s denním světlem za období  $t$  (hod),
- $t_{N,t}$  je doba provozu bez denního světla za období  $t$  (hod),
- $t_t$  je celková délka období  $t$  (hod),
- $t_{em}$  je doba nabíjení nouzového osvětlení (hod),
- $P_n$  je celkový instalovaný příkon svítidel v zóně  $n$  (W),
- $P_{pc}$  je celkový instalovaný ztrátový příkon ovládacích zařízení v zóně  $n$  (W),
- $P_{em}$  je celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení v zóně  $n$  (W),
- $F_{D,n}$  je číselný koeficient závislosti na denním světle pro zónu  $n$  (-),
- $F_{O,n}$  je číselný koeficient závislosti na obsazení pro zónu  $n$  (-),
- $F_{C,n}$  je číselný koeficient konstantní osvětlenosti pro zónu  $n$  (-).

14. výpočet celkové spotřeby energie na osvětlení  $W_t$  (kWh/období  $t$ ):

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \quad (3.15)$$

15. výpočet celkové roční spotřeby energie pro celou budovu  $W$  (kWh/období  $t$ ):

$$W = \sum_{t=1}^m W_t \quad (3.16)$$

16. výpočet číselného ukazatele energie na osvětlení LENI (kWh/m<sup>2</sup>/rok) - určí se stejně jako v případě použití rychlé metody ze vztahu (3.9).

17. výpočet měrné roční spotřeby energie na osvětlení  $\eta_E$  (kWh/m<sup>2</sup>/lx/rok) - číselný ukazatel LENI se liší pro různé typy budov, z důvodu rozličné struktury místností a různých požadavků na osvětlení. Zavádí se tedy měrná roční spotřeba energie na osvětlení  $\eta_E$ , který není závislý na typu budovy a vztahuje se na normativní požadavky na udržovanou osvětlenost. Vypočítá se vztahem:

$$\eta_E = \frac{W}{\sum E_m \cdot A} \quad (3.17)$$

### 3.2.4 Stanovení činitele závislosti na denním světle $F_D$

Činitel závislosti na denním světle  $F_D$  představuje část udržované osvětlenosti v posuzovaném prostoru, které lze dosáhnout denním světlem. Jeho hodnota pro určité časové období závisí na způsobu prostupu denního světla do daného prostoru a na možnostech ovládání doplňujícího umělého osvětlení. Určí se ze vztahu: [4]

$$F_{D,n} = 1 - (F_{D,S,n} \cdot F_{D,C,n}) \quad (3.18)$$

- $F_{D,S,n}$  je činitel zohledňující přístup denního světla do místnosti nebo zóny  $n$ , vyjadřuje podíl denního světla v požadované udržované osvětlenosti v daném časovém období a je závislý na geometrickém uspořádání prostoru a okolí;
- $F_{D,C,n}$  je činitel ovládání umělého osvětlení v závislosti na denním světle představující schopnost řídicího systému využít pronikajícího denního světla do zóny nebo místnosti  $n$ .

Postup stanovení činitele denní osvětlenosti  $F_D$  lze shrnout do 5 kroků: [4]

1. rozdělení budovy na zóny s přístupem a bez přístupu denního světla;
2. stanovení vlivu parametrů místnosti, geometrie fasády a venkovních překážek na pronikání denního světla do vnitřního prostoru s využitím konceptu činitele denní osvětlenosti;
3. odhad možných úspor elektrické energie vyjádřený činitelem přístupu denního světla  $F_{D,S,n}$  jako funkce místního podnebí, udržované osvětlenosti a činitele denní osvětlenosti;
4. stanovení míry využití dostupného denního světla v závislosti na způsobu ovládání osvětlení a závislosti na činiteli ovládání umělého osvětlení  $F_{D,C,n}$ ;
5. převedení roční hodnoty  $F_{D,n}$  na hodnoty měsíční.

#### 3.2.4.1 Rozdělení budovy: Prostory využívající denní světlo

Prostory je nutno rozdělit na zóny  $A_{D,J}$  s denním světlem a na zóny  $A_{ND,J}$  bez denního světla. V případě, že do zóny dopadá denní světlo z několika průčelí nebo střešních světlíků, ale z důvodu jednoduchosti předpokládat příznivější příklad pro superponovanou zónu s denním světlem. [4]

### Plocha s denním světlem - svislá průčelí

Největší možná hloubka zóny  $a_{D, \max}$ , která využívá denní světlo pronikající přes průčelí, se stanoví ze vztahu: [4]

$$a_{D, \max} = 1 - (h_{LI} \cdot h_{Ta}) \quad (3.19)$$

- $a_{D, \max}$  je největší hloubka zóny s denním světlem (m);
- $h_{LI}$  je výška nadpraží nad podlahou (m);
- $h_{Ta}$  je výška srovnávací roviny nad podlahou (m).

V případě, že je skutečná hloubka zóny menší než vypočtená maximální hloubka s denním světlem, lze hloubku zóny považovat za hloubku zóny s denním světlem  $a_D$ .

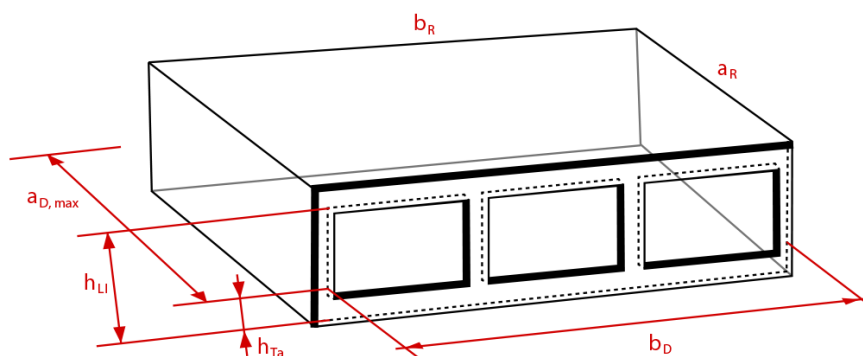
Dílní plocha  $A_{D,J}$  vnitřního prostoru s přístupem denního světla se stanoví pomocí vztahu: [4]

$$A_{D,J} = a_D \cdot b_D \quad (3.20)$$

- $a_D$  je hloubka části vnitřního prostoru s denním světlem (m);
- $b_D$  je šířka části vnitřního prostoru s denním světlem (m).

Šířka zóny s denním světlem  $b_D$  se obvykle rovná vnitřní šířce průčelí. Pokud se okna nacházejí pouze v části průčelí, odpovídá šířka zóny s denním světlem, přiléhající k tomuto průčelí, součtu šířky části průčelí s okny a poloviny hloubky zóny s denním světlem.

Na Obr. 3-3 vidíme náčrt místnosti s dostatečnou hloubkou místnosti  $a_{D, \max}$ .



Obr. 3- 3: Místnost s velkými otvory v průčelí

### *Plocha s denním světlem - střešní světlíky*

U stropních světlíků se za zóny s denním světlem považují prostory, které se nachází přímo pod stropními světlíky rozmístěnými rovnoměrně po ploše stropu. U střešních světlíků se za zóny s denním světlem považují prostory do vzdálenosti  $a_{D,max}$  směrem k nejbližší hraně střešního světlíků, určené ze vztahu: [4]

$$a_{D,max} \leq h_R \cdot h_{Ta} \quad (3.21)$$

- $h_R$  je světlá výška posuzované místnosti se střešním světlíkem (m);
- $h_{Ta}$  je výška srovnávací roviny nad podlahou (m).

Pokud na žádný z povrchů v posuzovaném prostoru nedopadá denní světlo, platí  $F_D = 1$ .

#### **3.2.4.2 Klasifikace činitele denní osvětlenosti - svislá průčelí**

Přístup denního světla do části vnitřního prostoru využívajícího denní světlo závisí na geometrických podmínkách, které jsou vyjádřeny indexem průniku  $I_T$ , indexem hloubky  $I_{De}$  a indexem překážky  $I_O$ .

##### *Index průniku $I_T$*

Index průniku  $I_T$  v části budovy, který využívá denní světlo, je definován vztahem: [4]

$$I_T = \frac{A_C}{A_D} \quad (3.22)$$

- $A_C$  je plocha otvoru v průčelí ( $m^2$ );
- $A_D$  je celková plocha vodorovných srovnávacích rovin využívajících denní světlo ( $m^2$ ).

##### *Index hloubky $I_{De}$*

Index hloubky  $I_{De}$  vnitřního prostoru, který využívá denní světlo, se určí vztahem: [4]

$$I_{De} = \frac{a_D}{h_{Li} - h_{Ta}} \quad (3.23)$$

- $a_D$  je hloubka části vnitřního prostoru s denním světlem (m);
- $h_{Li}$  je výška nadpraží nad podlahou (m);
- $h_{Ta}$  je výška srovnávací roviny nad podlahou (m).

##### *Index překážky $I_O$*

Index překážky  $I_O$  bere v úvahu vlivy, které omezují světlo dopadající na průčelí. Mezi překážky patří například jiné budovy, stromy a hory, vlastní budova obsahující jednoduché dvory a atria, vodorovné a svislé vyčnívající části upevněné k průčelí apod.

Index překážky  $I_O$  se stanoví z rovnice: [4]

$$I_O = I_{O,OB} \cdot I_{O,OV} \cdot I_{O,VF} \cdot I_{O,CA} \cdot I_{O,GDF} \quad (3.24)$$

- $I_O$  je korekční činitel pro překážku;
- $I_{O,OB}$  je korekční činitel pro liniové překážky;
- $I_{O,OV}$  je korekční činitel pro přesahující části průčelí;
- $I_{O,VF}$  je korekční činitel pro svislé výčnělky;
- $I_{O,CA}$  je korekční činitel pro dvory a átria;
- $I_{O,GDF}$  je korekční činitel pro zasklená dvojitá průčelí.

Vliv překážky se pro jednoduchost vyhodnocuje pro okno umístěné uprostřed fasády a jednotlivé vlivy překážky se zprůměrují.

### 3.2.4.3 Činitel denní osvětlenosti - svislá průčelí

Přístup denního světla do posuzované zóny v budově s otvory v konstrukci průčelí se stanovují pomocí geometrických činitelů  $I_T$ ,  $I_{De}$  a  $I_O$ , ze vztahu: [4]

$$D_C = (4,13 + 20 \cdot I_T - 1,36 \cdot I_{De}) \cdot I_O \quad (3.25)$$

- $D_c$  je činitel denní osvětlenosti pro otvor v konstrukci průčelí (bez zasklení a ochrany proti slunci);
- $I_T$ ,  $I_{De}$  a  $I_O$  jsou geometrické indexy popsané v kapitole 3.2.4.2.

Při velké hodnotě činitele hloubky  $I_{De}$  a malé hodnotě činitele průniku  $I_T$ , se může stát, že bude hodnota  $D_c$  menší než nula. V takovém případě považujeme hodnotu  $D_c$  za rovnu nule.

### 3.2.4.4 Klasifikace činitele denní osvětlenosti - svislá průčelí

V případech, kdy nelze použít metodu, která předpokládá, že činitel přístupnosti denního světla  $F_{D,S}$  je funkcí systému průčelí, se pro stanovení vlivu oken a stínících systémů na hladiny osvětlení vnitřních prostorů použije vztah: [4]

$$D = D_C \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad (3.26)$$

- $D$  je činitel denní osvětlenosti pro zónu (%);
- $\tau_{D65}$  je přímý polokulový prostup světla okny;
- $k_1$  je činitel vyjadřující vliv konstrukce rámu okenního systému;
- $k_2$  je činitel vyjadřující vliv znečištění zasklení;
- $k_3$  je činitel vyjadřující vliv odchylky kolmého dopadu světla na průčelí.

Hodnota činitele  $k_1$  je obvykle 0,7; hodnota činitele  $k_2$  bývá obvykle 0,8, pro samočisticí zasklení až 1,0; hodnota činitele  $k_3$  je pro standardní zasklení 0,85.

**Tab. 3-5: Typické hodnoty vlastností některých druhů zasklení [4]**

typ	měrná hodnota tepelných ztrát $U$ [ $W/m^2K$ ]	součinitel propustnosti slunečního záření [%]	součinitel prostupu světla $\tau_{D65}$ [%]
jednoduché zasklení	5,80	0,87	0,90
dvojitě zasklení	2,90	0,78	0,82
nízkoenergetické dvojitě zasklení	1,20 - 1,70	0,65 - 0,72	0,74 - 0,78
dvojitě zasklení s ochranou proti slunci	1,20 - 1,30	0,25 - 0,48	0,40 - 0,60
trojitě zasklení	2,00	0,70	0,75
nízkoenergetické trojitě zasklení	0,60 - 0,80	0,50	0,69

V Tab. 3-5 jsou orientační hodnoty parametrů při různých způsobech zasklení.

K hodnocení vlivu systému oken a sluneční ochrany na pronikání denního světla lze použít hodnot  $D_c$  nebo  $D$ , uvedené v Tab. 3-6.

**Tab. 3-6: Klasifikace tříd pronikání denního světla do zóny [4]**

Klasifikace		Pronikání denního světla do zóny
$D_c$	$D$	
$D_c \geq 6 \%$	$D \geq 3 \%$	Silné
$6 \% > D_c \geq 4 \%$	$3 \% > D \geq 2 \%$	Střední
$4 \% > D_c \geq 2 \%$	$2 \% > D \geq 1 \%$	Slabé
$D_c < 2 \%$	$D < 1 \%$	Žádné

### 3.2.4.5 Činitel pronikání denního světla - svislá průčelí

Činitel pronikání denního světla  $F_{D,S}$  lze pro šířky v rozsahu  $38^\circ$  až  $60^\circ$  severní šířky stanovit pomocí vztahu: [4]

$$F_{D,S} = a + b \cdot \gamma_{strana} \quad (3.27)$$

- $a$ ,  $b$  jsou součinitele pro stanovení činitele přístupu denního světla
- $\gamma_{strana}$  je úhel zeměpisné šířky místa budovy ( $^\circ$ ).



V Tab. 3-7 jsou pro různé hodnoty udržované osvětlenosti a pro různé pronikání denního světla uvedeny koeficienty a a b.

Tab 3-7: Hodnoty koeficientů a a b [4]

udržovaná osvětlenost [lx]	pronikání denního světla	a	b
300	slabé	1,2425	-0,0117
	střední	1,3097	-0,0106
	silné	1,2904	-0,0088
500	slabé	0,9432	-0,0094
	střední	1,2425	-0,0117
	silné	1,3220	-0,011
750	slabé	0,6992	-0,0067
	střední	1,0054	-0,0098
	silné	1,2812	0,0121

### 3.2.4.6 Klasifikace činitele denní osvětlenosti - střešní světlíky

Obdobně jako v postupu při hodnocení přístupu denního světla svislými průčelími, se i u střešních světlíků určí nejprve činitel denní osvětlenosti. Ke stanovení jeho průměrné hodnoty se použije vztah: [4]

$$\bar{D}_J = D_{ext} \cdot \tau_{D65} \cdot k_{Obl,1} \cdot k_{Obl,2} \cdot k_{Obl,3} \cdot \frac{\sum A_{Rb}}{A_{RG}} \cdot \eta_R \quad (3.28)$$

- $A_{Rb}$  je plocha otvorů střešních světlíků (m<sup>2</sup>);
- $A_{RG}$  je venkovní plocha uvažovaného vnitřního prostoru (m<sup>2</sup>);
- $D_{ext}$  je venkovní činitel denní osvětlenosti (%);
- $\tau_{D65}$  je propustnost světla rozptylného zasklení střechy;
- $k_{Obl,1}$  je činitel vyjadřující vliv konstrukce rámování (typicky 0,8);
- $k_{Obl,2}$  je činitel vyjadřující vliv znečištění (zpravidla 0,8);
- $k_{Obl,3}$  je činitel vyjadřující vliv odchylky od kolmého dopadu paprsku (zpravidla 0,85);
- $\eta_R$  je činitel využití, který se určí z tabulek v příloze C normy ČSN EN 15 193. [4]

Vnější činitel denní osvětlenosti  $D_{ext}$  je definován pomocí vztahu:

$$D_{ext} = \frac{E_F}{E_{ext}} \quad (3.29)$$

- $E_F$  je osvětlenost na vnějším povrchu střešního světlíku v rovině zasklení za podmínek rovnoměrně zatažené oblohy (lx);
- $E_{ext}$  je venkovní osvětlenost vodorovné nezastíněné roviny za podmínek rovnoměrně zatažené oblohy (lx).

Činitel zohledňující konstrukci světlíku  $k_{Obl,1}$  lze stanovit podobně jako u svislých průčelí. Činitel  $k_{Obl,1}$  je poměr plochy  $A_{Fs}$ , kterou vstupuje světlo, tj. horním otvorem obruby bez všech světlo nepropustných konstrukčních částí, k ploše  $A_{Rb}$  otvoru v konstrukci.

U pilovitých světlíků, kde otvor v konstrukci neodpovídá průmětné ploše těla pilového světlíku a ploše střechy, se plocha otvoru v konstrukci stanoví ze vztahu: [4]

$$A_{Rb} = h_G \cdot b_{Rb} \quad (3.30)$$

- $h_G$  je výška (m);
- $b_{Rb}$  je šířka plochy, kterou vstupuje světlo (m).

V Tab. 3-8 jsou uvedeny vnější činitele denní osvětlenosti  $D_{ext}$  při činitele odrazu  $\rho = 0,2$  pro různé úhly zasklení pilovitých světlíků.

**Tab. 3-8: Hodnoty činitele denní osvětlenosti pilovitých světlíků [4]**

úhel sklonu $\gamma_F$ [°]	$D_{ext}$ [%]
0	100
30	92
45	83
60	72
90	50

Činitel využití  $\eta_R$  se stanoví v závislosti na typu střešního světlíku a indexu místnosti  $k$ , který se určí pomocí vztahu:

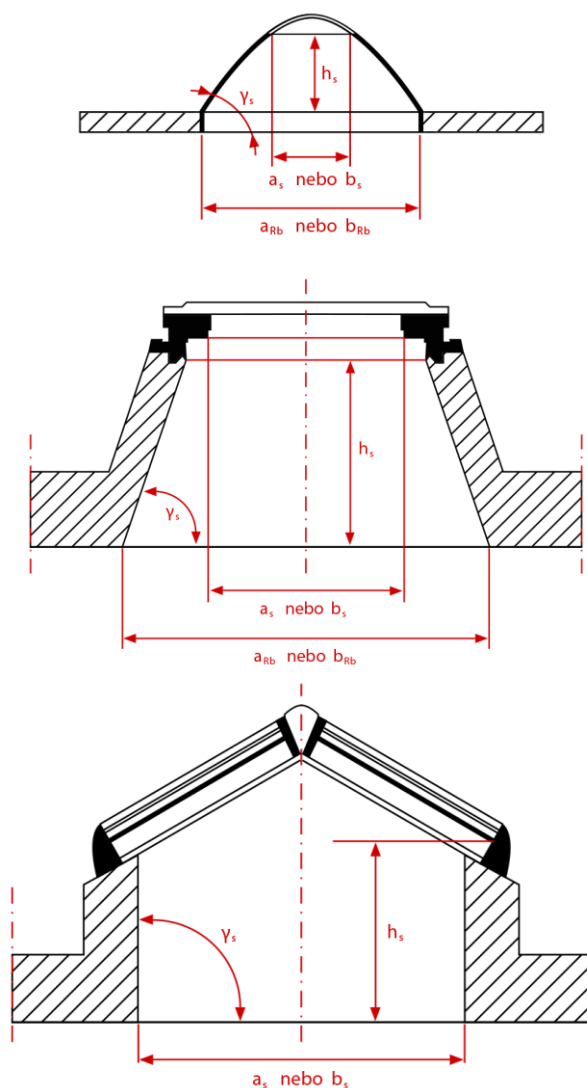
$$k = \frac{a_{RJ} \cdot b_{RJ}}{h_{RJ} \cdot (b_{RJ} + a_{RJ})} \quad (3.31)$$

- $a_{RJ}$  je hloubka vnitřního prostoru (m);
- $b_{RJ}$  je šířka vnitřního prostoru (m);
- $h_{RJ}$  je rozdíl mezi výškou vnitřního prostoru a výškou srovnávací roviny.

**Tab. 3-9: Třídy přístupu denního světla do zóny [4]**

Kritérium	Klasifikace přístupu denního světla
$7 \% \leq \bar{D}_j$	silný
$4 \leq \bar{D}_j < 7 \%$	střední
$2 \leq \bar{D}_j < 4 \%$	slabý
$0 \leq \bar{D}_j < 2 \%$	žádný

Vzhledem k možnostem přehřívání, zejména v letních měsících, by měli být hodnoty  $\bar{D}_j < 10 \%$ .



Obr. 3- 4: Geometrický popis různých typů světlíků [4]

### 3.2.4.7 Činitel přístupu denního světla - střešní světlíky

Činitel přístupu denního světla  $F_{D,S,n}$  se pro střešní světlíky určuje z tabulek určených k tomuto účelu. V případě střešních světlíků neuvažujeme variabilní systémy ochrany proti slunci. Hodnoty jsou sestaveny podle hodinových údajů o počasí pro konkrétní geografickou polohu. Hodnota činitele přístupu denního světla na klasifikaci přístupu denního světla, udržované osvětlenosti, úhlu sklonu a orientaci střešního světlíku na různé světové strany. [4]

### 3.2.4.8 Činitel ovládání umělého osvětlení v závislosti na denním světle

Činitel ovládání umělého osvětlení v závislosti na denním světle  $F_{D,C,n}$  popisuje, s jakou účinností dokáže řídicí systém umělého osvětlení využít přístup denního světla do hodnoceného prostoru, který je reprezentován činitelem  $F_{D,S,n}$ . Závisí tedy na způsobu ovládání osvětlovací soustavy umělého osvětlení. Tento činitel je určen v Tab. 3-10.

Tab. 3-10: Hodnoty činitele  $F_{D,c,n}$  [4]

Způsob ovládání osvětlovací soustavy umělého osvětlení	Přístup denního světla		
	slabý	střední	silný
Ruční	0,20	0,30	0,40
Automatické v závislosti na denním světle	0,75	0,77	0,85

### 3.2.5 Stanovení činitele závislosti na obsazení $F_O$

Činitel obsazenosti  $F_O$  udává využití instalovaného příkonu osvětlovací soustavy ve vztahu k obsazenosti místnosti, zón. Jeho výsledná hodnota se odvíjí od obsazenosti zóny nebo místnosti a od způsobu ovládání osvětlovací soustavy.

Obsazenost prostoru je vyjádřena pomocí činitele obsazenosti  $F_A$ , který je definován jako poměrná část doby, po kterou není posuzovaný prostor obsazen. Podle velikosti činitele obsazenosti  $F_A$  se volí způsob určení činitele závislosti na obsazení  $F_O$ :

- pokud  $0,0 \leq F_A \leq 0,2$ , pak  $F_O$  určujeme pomocí vztahu: [17]

$$F_O = 1 - \left[ (1 - F_{OC}) \cdot \frac{F_A}{0,2} \right] \quad (3.32)$$

- pokud  $0,2 \leq F_A \leq 0,9$ , pak  $F_O$  určujeme pomocí vztahu: [17]

$$F_O = F_{OC} + 0,2 - F_A \quad (3.33)$$

- pokud  $0,9 \leq F_A \leq 1,0$ , pak  $F_O$  určujeme pomocí vztahu: [17]

$$F_O = [7 - (10 \cdot F_{OC})] \cdot (F_A - 1) \quad (3.34)$$

- $F_O$  je činitel závislosti na obsazení (-);
- $F_A$  je činitel obsazenosti (-);
- $F_{OC}$  je činitel způsobu ovládání (-).

Hodnota činitele  $F_{OC}$  se určuje z Tab. 3-11:

Tab. 3-11: Hodnoty činitele  $F_{OC}$  [17]

Způsob ovládání	$F_{OC}$
<i>Systémy bez automatické detekce přítomnosti nebo nepřítomnosti osob</i>	
Ruční zapínání / vypínání	1,00
Ruční zapínání / vypínání s přidavným automatickým signálem celkového vypnutí	0,95
<i>Systémy s automatickou detekcí přítomnosti nebo nepřítomnosti osob</i>	
Automatické zapínání / stmívání	0,95
Automatické zapínání / automatické vypínání	0,90
Ruční zapínání / stmívání	0,90
Ruční zapínání / automatické vypínání	0,80

### 3.2.6 Stanovení činitele konstantní osvětlenosti $F_C$

U všech osvětlovacích soustav dochází po uvedení do provozu k procesu stárnutí, a tedy i k poklesu jejich výkonu. Z tohoto důvodu musíme při návrhu umělého osvětlení do výpočtů zahrnout udržovací činitel MF, který je dán vztahem: [14]

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF \quad (3.35)$$

- MF je udržovací činitel (-);
- LLMF je činitel stárnutí světelného zdroje (-);
- LSF je činitel funkční spolehlivosti světelného zdroje (-);
- LMF je udržovací činitel svítidla (-);
- RSMF je udržovací činitel povrchů místnosti (-).

Osvětlovací soustava musí být tedy při jejím uvedení do provozu předimenzována, aby i při zahrnutí udržovacího činitele MF byla osvětlenost na srovnávací rovině v místě zrakového úkolu vyšší, než stanovená udržovaná osvětlenost. [14]

U stmívatelných osvětlovacích soustav se nabízí možnost automatického snižování světelného toku na úroveň, která odpovídá požadované udržované osvětlenosti. Osvětlovací soustava se pak označuje jako soustava „řízená na konstantní osvětlenost“. [17]

Činitel konstantní osvětlenosti  $F_C$  se stanovuje pomocí vztahu:

$$F_C = \frac{1 + MF}{2} \quad (3.36)$$

- MF je udržovací činitel (-).

## 4 Denní časové plány

Při posuzování energetické náročnosti osvětlení budovy je jedním z hlavních parametrů, určujících výslednou energetickou náročnost, doba provozu  $t$ , pro dané časové období. V případě použití rychlé metody lze vystačit s údaji určenými normou ČSN EN 15 193. Jedná se ale o údaje, které jsou primárně určeny k posuzování energetické náročnosti budov stejného typu mezi sebou. Pokud však budeme chtít energetickou náročnost hodnocené budovy vyčíslit co možná nejpřesněji, údaje stanovené normou nám již nemohou postačit. Je nutno vzít v úvahu fakt, že různé zóny budovy mohou být během dne provozovány v různém časovém rozmezí. Při hodnocení energetické náročnosti pomocí podrobné metody je tedy žádoucí použít přesnějších údajů o využití jednotlivých zón hodnocené budovy.

Pro tento účel byly pomocí tabulkového editoru Excel vytvořeny denní časové plány pro jednotlivé typy budov, popsané v kapitole 3.2.2. Tyto soubory slouží k hodnocení energetické náročnosti budovy za období jednoho kalendářního roku. Umožňují pomocí vyplnění týdenního rozvrhu využití dané zóny stanovit dobu provozu  $t$  v období jednoho kalendářního roku. Rovněž je možné zahrnout, zda je zóna využívána i ve dnech státních svátků, či nikoliv. Následně je možné upravit vliv přístupu denního světla pomocí zadání činitele denního osvětlenosti  $D$  a stanovit činitele  $F_D$ ,  $F_O$  a  $F_C$  blíže popsané v kapitolách 3.2.4, 3.2.5 a 3.2.6.

Výstupem denních plánů je celková spotřeba elektrické energie  $W$  a ukazatel LENI, vždy pro každou ze zón a také celková hodnota pro celou budovu. Rovněž je vyčíslena celková doba využití denního světla  $t_D$  a celková doba bez využití denního světla  $t_N$ .

Každá z popisovaných typů budov obsahuje prostory specifické pro daný typ budovy (např. učebny ve vzdělávacích zařízeních) a prostory obecné, které se nacházejí ve všech typech budov. Mezi prostory obecné počítáme sklady, technické zázemí, schodiště a chodby. Při stanovování využití těchto prostorů v průběhu dne je uvažována nejhorší možná situace, která může při jejich provozu nastat. Jedná se o případ, ve kterém by byly tyto prostory využívány po celou dobu pobytu personálu v budově. Při hodnocení konkrétního projektu by bylo potřeba tyto prostory blíže specifikovat a určit, jak budou provozovány.

### 4.1 Denní časové plány – Administrativní budovy

Administrativní budova je stavební objekt, jehož zastavěný prostor je minimálně z 50 % tvořen prostory kancelářského typu. Podle účelu je lze dělit na budovy veřejné správy, budovy bezpečnostní, pošty, budovy telekomunikace apod. Zpravidla se jedná o rozlehlé objekty nacházející se blízko hlavních komunikací.

V případě administrativních budov je uvažována delší doba provozu, než je standardní pracovní doba a to z důvodu většího časového pracovního rozpětí a možného rozdílného začátku pracovní doby jednotlivých kancelářských prostorů.

U budov administrativního typu není uvažován provoz ve dnech státních svátků a předpokládá se provoz od pondělí do pátku.

**Tab. 4-1: Denní časové plány pro stanovené zóny administrativních budov v období jednoho roku**

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Kancelářské, zasedací prostory	8:00 - 18:00	2405	115	2520
Sklady	8:00 - 18:00	2405	115	2520
Technické zázemí	8:00 - 18:00	2405	115	2520
Schodiště, chodby	8:00 - 18:00	2405	115	2520
Jídelny	11:00 - 13:00	504	0	504

## 4.2 Denní časové plány – Vzdělávací zařízení

Do vzdělávacích zařízení lze počítat budovy školského typu, mateřské školky, knihovny apod. Budovy jsou využívány od ranních do odpoledních hodin. Ukončení provozu je stanoveno na 16:00, kdy končí i odpolední výuka. Specifickou provozní doby mají tělocvičny, které během ranních a odpoledních hodin slouží k potřebám výuky a po jejím ukončení je do večerních hodin využívána soukromými subjekty. Budovy vzdělávacích zařízení jsou provozovány od pondělí do pátku a mimo dny státních svátků. V denních plánech je zahrnut vliv letních prázdnin, kdy bývají v měsících červenci a srpnu školy uzavřeny.

**Tab. 4-2: Denní časové plány pro stanovené zóny vzdělávacích zařízení v období jednoho roku**

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Učebny, místnosti na hraní, kabinety	7:00 - 16:00	1773	99	1872
Sklady	7:00 - 16:00	1773	99	1872
Technické zázemí	7:00 - 16:00	1773	99	1872
Schodiště, chodby	7:00 - 16:00	1773	99	1872
Kuchyně	7:00 - 16:00	1773	99	1872
Jídelny	11:00 - 14:00	624	0	624
Přednáškové sály, studovny	7:00 - 16:00	1773	99	1872
Šatny	7:00 - 16:00	1773	99	1872
Tělocvičny	7:00 - 22:00	2247	873	3120

## 4.3 Denní časové plány – Restaurace

Restaurační zařízení jsou objekty, které mají velmi širokou dobu provozu. Slouží ke svému účelu již od ranních hodin, kdy v kuchyních začíná příprava jídel na celý den. V provozu jsou až do nočních hodin, kdy po uzavření jídelních prostorů musí dojít v kuchyních k úklidu. Tento typ budov je provozován po celý rok, tedy i ve dnech víkendů a také státních svátků.

Tab. 4-3: Denní časové plány pro stanovené zóny restaurací v období jednoho roku

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Kuchyně	7:00 - 23:00	4080	1760	5840
Jídelny	10:00 - 22:00	2769	1246	4015
Sklady	7:00 - 22:00	4080	1395	5475
Technické zázemí	7:00 - 22:00	4080	1395	5475
Schodiště, chodby	7:00 - 22:00	4080	1395	5475

## 4.4 Denní časové plány – Zdravotnická zařízení

Zdravotnická zařízení jsou jedny z energeticky nejnáročnějších typů budov, a to i z hlediska energetické náročnosti na osvětlení. Probíhá v nich celá řada činností, při kterých je vyžadována vysoká úroveň osvětlenosti.

Zóny čekárny, ambulance a vyšetřovny jsou provozovány v rozmezí od pondělí do pátku, kdy funguje běžný provoz ambulancí. Ostatní zóny jsou provozovány i v sobotu a v neděli. Zvláštní provozní dobu má zóna pohotovost, která je v pracovních dnech v provozu od 17:00 do 7:00, tedy v době, kdy nejsou v provozu ambulance. V sobotu a v neděli je zóna pohotovost v nonstop provozu.



**Tab. 4-4: Denní časové plány pro stanovené zóny zdravotnických zařízení v období jednoho roku**

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Čekárny	7:00 - 15:00	1917	99	2016
Sklady	7:00 - 18:00	3724	291	4015
Technické zázemí	7:00 - 16:00	3136	149	3285
Schodiště, chodby	0:00 - 24:00	4396	4364	8760
Ambulance, vyšetřovny	7:00 - 17:00	2481	129	2610
Jídelny	11:00 - 13:00, 17:00 - 19:00	1175	285	1460
Kanceláře, pokoje personálu	6:00 - 22:00	4225	885	5110
Pohotovost	17:00 - 7:00	1915	4235	6150
Lůžková část	6:00 - 22:00	4266	1574	5840
Operační sály	8:00 - 20:00	3788	592	4380

## 4.5 Denní časové plány – Sportovní zařízení

Mezi objekty sportovních zařízení lze počítat bazény, tělocvičny, fitcentra a celé sportovní komplexy pokrývající široké spektrum sportovního vyžití. Ač to na první pohled nemusí být úplně zřejmé, tyto prostory objekty jsou svými klienty využívány již od ranních hodin v průběhu celého dne. Jen ve výjimečných případech jsou zavřeny během víkendů a většina z nich je otevřena i během státních svátků.

**Tab. 4-5: Denní časové plány pro stanovené zóny sportovních zařízení v období jednoho roku**

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Tělocvičny, bazény, fitcentra	7:00 - 22:00	3955	1340	5295
Sklady	7:00 - 22:00	3955	1340	5295
Technické zázemí	7:00 - 22:00	3955	1340	5295
Schodiště, chodby	7:00 - 22:00	3955	1340	5295
Šatny	7:00 - 22:00	3955	1340	5295

## 4.6 Denní časové plány – Hotely

Hotely jsou dalším z energeticky náročnějších budov. Z důvodu jejich obývání hosty jsou v provozu prakticky 24 hodin denně, včetně víkendů i státních svátků. Denní plány uvažují s tím, že při obsazení hotelu již jedním hostem je v provozu celý hotel. Toto je potřeba zohlednit během řešení konkrétního projektu.

Hotely zpravidla také obsahují restaurační část, která bývá z důvodu podávání snídaní využívána již od brzkých ranních hodin.

Tab. 4-6: Denní časové plány pro stanovené zóny hotelů v období jednoho roku

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Pokoje pro ubytované	6:00 - 22:00	4266	1574	5840
Sklady	7:00 - 16:00	3055	149	3204
Technické zázemí	7:00 - 16:00	3136	149	3285
Schodiště, chodby	6:00 - 22:00	4266	1574	5840
Restaurace	7:00 - 22:00	4080	1395	5475
Kuchyně	5:00 - 23:00	4382	2188	6570
Konferenční místnosti	8:00 - 20:00	3672	564	4236

## 4.7 Denní časové plány – Prodejní prostory

Prodejní prostory jsou prostory spadající do skupiny nebytových prostorů. Slouží svému účelu během celého dne, zpravidla i v době víkendů. Ve dnech státních svátků bývají tyto prostory uzavřeny. Výjimku mohou tvořit velká obchodní centra.

Tab. 4-7: Denní časové plány pro stanovené zóny prodejních prostorů v období jednoho roku

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Prodejní prostory	7:00 - 20:00	3916	673	4589
Sklady	7:00 - 20:00	3916	673	4589
Technické zázemí	7:00 - 20:00	3916	673	4589
Schodiště, chodby	7:00 - 20:00	3916	673	4589

## 4.8 Denní časové plány – Průmyslové objekty

Průmyslové objekty jsou provozovány v různých režimech, zpravidla na směnný provoz. Pro porovnání jsou uvedeny dva typické způsoby provozu. V Tab. 4-8 jsou vyčísleny doby využití při osmihodinovém provozu v pracovních dnech od pondělí do pátku.

**Tab. 4-8: Denní časové plány pro stanovené zóny průmyslových objektů pro osmihodinový provoz v období jednoho roku**

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Výrobní haly	6:00 - 16:00	2299	221	2520
Sklady	6:00 - 16:00	2169	99	2268
Technické zázemí	6:00 - 16:00	2299	221	2520
Schodiště, chodby	6:00 - 16:00	2299	221	2520
Kanceláře	7:00 - 16:00	2169	99	2268
Jídelny	11:00 - 13:00	504	0	504

V Tab. 4-9 jsou vyčísleny doby využití při dvanáctihodinovém provozu sedm dní v týdnu, včetně svátků. Provoz zóny kanceláří zůstává v obou případech stejný, uvažoval jsem neměnné využití této zóny v závislosti na délce pracovních směn.

**Tab. 4-9: Denní časové plány pro stanovené zóny průmyslových objektů pro dvanáctihodinový provoz v období jednoho roku**

Název zóny	Doba provozu	Doba využití denního světla $t_D$ [h]	Doba bez využití denního světla $t_N$ [h]	Doba provozu $t$ [h]
Výrobní haly	6:00 - 19:00	4225	885	5110
Sklady	6:00 - 19:00	4225	885	5110
Technické zázemí	6:00 - 19:00	4225	885	5110
Schodiště, chodby	6:00 - 19:00	4097	845	4942
Kanceláře	7:00 - 16:00	2169	99	2268
Jídelny	11:00 - 13:00	730	0	730

# 5 Stanovení energetických úspor osvětlení

Využitím denního světla lze dosáhnout výrazných úspor elektrické energie. Příмым ukazatelem možnosti využití denního světla v místnosti je činitel denní osvětlenosti  $D$ , jehož stanovení je blíže popsáno v kapitole 3.2.4.

Vytvořené časové plány pro jednotlivé typy budov umožňují stanovit úspory elektrické energie na osvětlení pro různé typy řízení osvětlovací soustavy. Postupy stanovení těchto úspor pro tyto typy řízení budou popsány v kapitolách níže.

## 5.1 Stanovení úspor – regulace na konstantní hodnotu

Prvním, v praxi velmi využívaným řízením soustavy je regulace na konstantní hodnotu osvětlenosti. Hodnota osvětlenosti, vyvolaná denním světlem v místnosti, musí být snímána čidly, která jsou umístěna v místech s nejnižší hodnotou činitele denní osvětlenosti. V případě využití zasklených otvorů ve svislých průčelích se toto místo nachází nejdále od zaskleného otvoru. Dalším faktem, který je třeba brát v potaz, je hodnota denního světla, která se v průběhu dne mění vlivem změny polohy slunce na obloze, která je dána rotací Země a vzájemnou polohou Slunce a Země ve vesmíru. Nelze také zanedbat geografickou polohu místa, kde se hodnocení polohy Slunce provádí [11]. V našem případě je použito hodnot stanovených normou TNI 73 0327, která předepisuje hodnoty osvětlenosti horizontální nezastíněné roviny pro případ rovnoměrně zatažené oblohy. [17]

K výpočtu hodnoty osvětlenosti srovnávací roviny lze pomocí úpravy vzorce (2.13) dostat vztah:

$$E = D \cdot E_h \quad (5.1)$$

- $D$  je činitel denní osvětlenosti (-);
- $E_h$  je osvětlenost horizontální nezastíněné roviny (lx).

Hodnotu osvětlenosti, kterou je potřeba dodat pomocí osvětlovací soustavy umělého osvětlení, určíme pomocí vztahu:

$$E_d = E_m - E \quad (5.2)$$

- $E_m$  je udržovaná osvětlenost (lx).

Referenční hodnota spotřeby elektrické energie ve stanoveném období jednoho roku pro případ, ve kterém by nebyl uvažován vliv denního světla, se určí pomocí vzorce (3.16).

Ztrátová elektrická energie, zahrnující nabíjení nouzového osvětlení a pohotovostní režim řídicího systému se určí úpravou vzorce (3.12) na vztah:

$$W_P = w_{pc} \cdot A \cdot \left(1 - \frac{t_D + t_N}{t_y}\right) + w_{em} \cdot A \quad (5.3)$$

- $w_{pc}$  je měrná ztrátová elektrická energie řídicího systému (kWh/m<sup>2</sup>·rok), stanoveno na 5; [17]
- $w_{em}$  je měrná ztrátová energie nouzového osvětlení (kWh/m<sup>2</sup>·rok), stanoveno na 1. [17]

V ideálním případě, kdy by stmívání osvětlovací soustavy o 50 % znamenalo pokles příkonu svítidel o 50 %, by byla spotřeba elektrické energie na osvětlování stanovena úpravou vzorce (3.11) na vztah:

$$W_L = \frac{\left(p \cdot A \cdot \frac{E_m}{100} \cdot F_C \cdot \frac{Q_{rg1}}{Q_{nrg}}\right) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)]}{1000} \quad (5.4)$$

- $p$  je poměrný příkonem soustavy (W/m<sup>2</sup>·100lx), stanoveno na 3;
- $A$  je využitelná plocha zóny (m<sup>2</sup>);
- $E_m$  je udržovaná osvětlenost zóny (lx);
- $Q_{rg1}$  je světelné množství regulované soustavy (lxh);
- $Q_{nrg}$  je světelné množství neregulované soustavy (lxh).

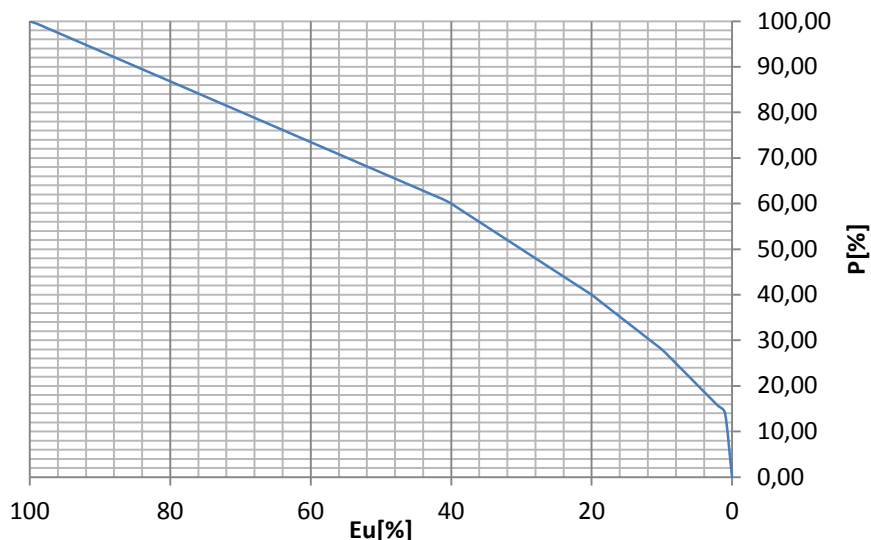
Světelné množství se určí jakou součet osvětleností v každé hodině pro dané časové období.

Ze vzorce (5.4) je patrné, že výsledná spotřeba elektrické energie je dána poměrem světelného množství regulované soustavy s referenční hodnotou světelného množství soustavy neregulované. Platí tedy, že čím je menší světelné množství regulované soustavy, tím je menší i tento poměr a jeho vynásobením s příkonem soustavy dosáhneme i úbytku spotřeby elektrické energie.

Z Obr. 5-2 je zřejmé, že v období zimních měsíců je hodnota osvětlenosti nezastíněné horizontální roviny nízká a hodnota osvětlenosti v místnosti způsobená denním světlem je nižší, než je požadovaná denní osvětlenost. V průběhu provozu zóny je tedy denní osvětlení doplňováno osvětlením umělým pro dosažení požadované hodnoty udržované osvětlenosti. Pokud se podíváme na Obr. 5-3, je zřejmé, že hodnota osvětlenosti nezastíněné horizontální roviny je podstatně vyšší a hodnota osvětlenosti vyvolaná denním světlem v období během poledne již přesáhne požadovanou hodnotu udržované osvětlenosti a osvětlovací soustava umělého osvětlení je vypnuta.

V reálném případě ale musíme počítat s tím, že závislost příkonu svítidla na snižování osvětlenosti, dodávané tímto svítidlem, může být různá. Z tohoto důvodu musíme znát tuto závislost od výrobce, který by ji měl uvádět jako základní parametr.

V denních plánech je pro tento účel využita závislost předřadníku TRIDONIC PCA 2x58 T8 Excel one4ALL xtec, se závislostí podle Obr. 5-1. [18]



Obr. 5- 1: Závislost výkonu předřadníku TRIDONIC na úrovni stmívání

V tomto případě již nelze pokles příkonu soustavy řídit poměrem světelných množství, ale pro každou hodinu, kdy je pro dosažení požadované hodnoty udržované osvětlenosti využíváno umělé osvětlení, musí dojít k přepočtu procentuální hodnoty osvětlenosti v danou hodinu na procentuální hodnoty výkonu svítidel. Průměr těchto procentuálních hodnot za období celého kalendářního roku pak nahradí ve vzorci (5.3) poměr světelných množství.

### 5.1.1 Regulace na konstantní hodnotu – příklad úspory

Pro názornou ukázkou a porovnání možných úspor elektrické energie na osvětlení při použití jednotlivých způsobů řízení osvětlovací soustavy doplňujícího umělého osvětlení je jako příklad použito Sportovního zařízení s časovým rozvrhem provozu jednotlivých zón podle Tab. 4-5 a zadáním podle Tab. 5-1.

Tab. 5-1: Zadání sportovního zařízení - příklad

Zóna	Popis	$E_m$ [lx]	$D_m$ [%]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$F_O$ [-]	$F_D$ [-]	$F_C$ [-]
1	Tělocvičny, bazény, fitcentra	300	2	200	0,9	0,9	0,9
2	Sklady	100	1	20	0,9	0,9	0,9
3	Technické zázemí	200	1	20	0,9	0,9	0,9
4	Schodiště, chodby	150	1	20	0,9	0,9	0,9
5	Šatny	200	1	20	0,9	0,9	0,9
				280			

Za referenční hodnotu celkové roční spotřeby elektrické energie na osvětlení je považován stav, ve kterém není osvětlovací soustava doplňujícího umělého osvětlení řízena a je spuštěna na plný výkon po celou dobu provozu dané zóny.

Pro tento případ je hodnota celkové roční spotřeby elektrické energie na osvětlení  $W_P$  rovna 9525 kWh.

V případě řízení osvětlovací soustavy doplňujícího umělého osvětlení na konstantní osvětlenost a zanedbání vlivu předřadníku je  $W_P$  rovna 5594 kWh, což představuje 41,3% úsporu energie oproti neřízené osvětlovací soustavě.

Pokud však budeme uvažovat vliv předřadníku a jeho specifickou závislost poklesu příkonu na úrovni stmívání popsanou výše, dosáhne  $W_P$  hodnoty 6415 kWh. Tento způsob řízení tedy umožňuje 33,7% úsporu elektrické energie.

## 5.2 Stanovení úspor – dvoustavová regulace

Další možností řízení osvětlovací soustavy, kterou lze využít, je využití dvoustavové regulace.

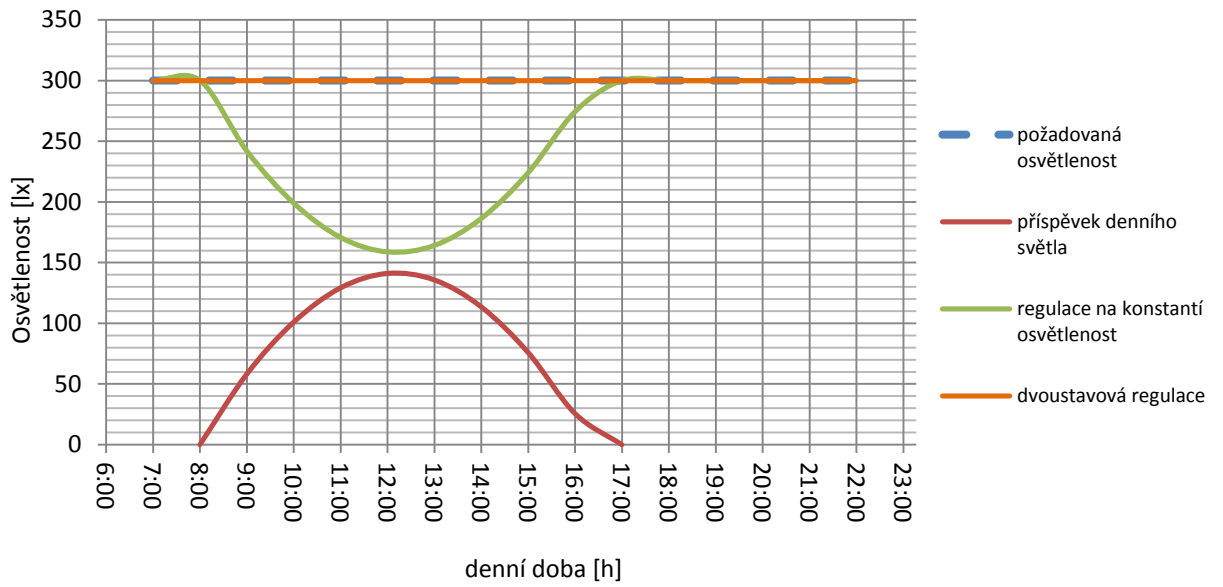
V tomto případě lze osvětlení řídit pouze na dvě hodnoty: zapnuto a vypnuto. Rozhodujícím kritériem je opět hodnota osvětlenosti vyvolaná denním světlem, kterou lze určit měřením nebo pomocí vztahu (5.1). Pokud je následně pomocí vztahu (5.2) hodnota požadované osvětlenosti dodané osvětlovací soustavou umělého osvětlení vyšší než nula, osvětlovací soustava je ve stavu zapnuto. V tomto stavu je do soustavy dodáván plný příkon a soustava dodává plnou osvětlenost. V případě, že je hodnota osvětlenosti podle vztahu (5.2) nižší nebo rovna nule, je osvětlovací soustava přepnuto do stavu vypnuto. V tomto stavu je dosaženo požadované udržované osvětlenosti denním světlem, není potřeba doplňujícího umělého osvětlení a dodávaný příkon do osvětlovací soustavy je roven nule.

Pro tento typ regulace si na Obr. 5-2 můžeme všimnout, že pro období zimních měsíců je osvětlovací soustava umělého osvětlení neustále ve stavu zapnuto. Naopak v letních měsících Obr. 5-3 v poledních hodinách dosahuje hodnota osvětlenosti vyvolané denním světlem hodnoty udržované osvětlenosti a osvětlovací soustava přechází do stavu vypnuto.

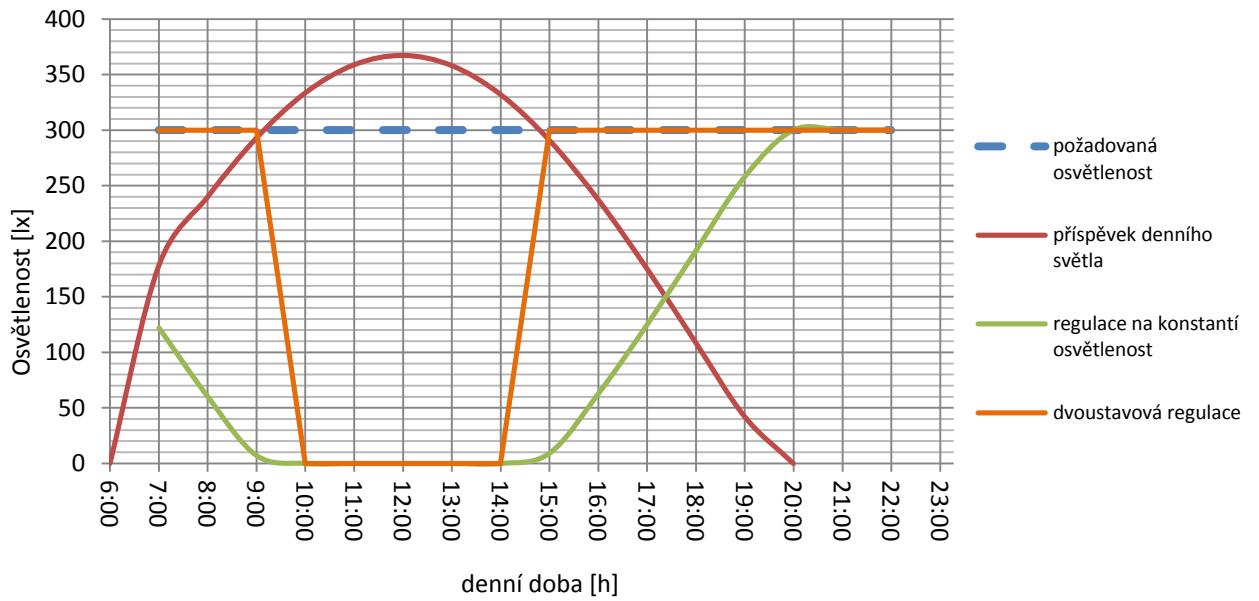
### 5.2.1 Dvoustavová regulace – příklad úspory

Pro příklad popsany v kapitole 5.1.1 je pomocí denních plánů pro dvoustavové řízení osvětlovací soustavy určena celková spotřeba elektrické energie na osvětlení  $W_P$  na hodnotu 8284 kWh. Tato hodnota představuje 13% úsporu elektrické energie vzhledem k neřízené osvětlovací soustavě doplňujícího umělého osvětlení.

Z Obr. 5-2 a Obr. 5-3 je patrné, že možné úspory elektrické energie dosažené tímto způsobem řízení jsou podstatně nižší, než úspory dosažené řízením na konstantní hodnoty osvětlenosti, kdy je osvětlovací soustava schopna citlivěji reagovat na příspěvek denního světla v průběhu dne.



Obr. 5- 2 Průběhy denního světla a regulace pro den 15. 1.



Obr. 5- 3: Průběhy denního světla a regulace pro den 15. 5.



## 6 Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřena na energetickou náročnost budov na osvětlení a možnosti úspor elektrické energie při využití denního světla.

První část se zabývá objasněním světelně technických veličin a pojmů, na které později navazují další kapitoly. Rovněž obsahuje výčet českých technických norem, které se této problematice věnují.

Druhá část je věnována samotnému popisu energetické náročnosti osvětlení. V úvodu jsou definovány základní pojmy stanovené normou ČSN EN 15 193. Jsou zde popsány postupy určení energetické náročnosti osvětlení pomocí rychlé a podrobné metody. Podrobně je zde pojednáno o stanovení činitelů závislosti na denním světle a závislosti na obsazení, které hrají velkou roli při určení výsledné energetické náročnosti.

Ve třetí části jsou popsány vytvořené denní časové plány umožňující podrobné určení spotřeby elektrické energie, a tedy i energetické náročnosti, budovy, která je rozdělena do jednotlivých funkčních celků, z nichž každý z nich může mít jinou dobu provozu během dne, různé požadavky na udržovanou osvětlenost z důvodu rozdílné zrakové činnosti prováděné v tomto funkčním celku a také různý přístup denního světla. Jsou zde určeny typické doby provozu zón pro každou z typů budov.

Poslední část se věnuje stanovení možností úspor elektrické energie při různých způsobech řízení osvětlovacích soustav doplňujícího umělého osvětlení. Porovnává řízení osvětlovací soustavy na konstantní osvětlenost a řízení na hodnoty zapnuto/vypnuto. Na příkladu budovy typu sportovního zařízení je ukázáno, že úspora na celkové roční spotřebě elektrické energie na osvětlení při použití řízení osvětlovací soustavy na konstantní osvětlenost je 41,3 %. Při uvážení technických možností předřadníků v osvětlovací soustavě je reálná úspora elektrické energie 33,7 %, tedy o 7,6 % nižší. Pro daný příklad byla úspora elektrické energie při použití dvoustavového řízení osvětlovací soustavy stanovena na 13 %. Z tohoto porovnání je patrné, že dosažené úspory jsou vyšší pro řízení na konstantní osvětlenost, kdy je umožněno citlivěji doplňovat osvětlení způsobené denním světlem osvětlením umělým. Tento způsob řízení je v praxi rovněž nejčastěji používaný. Stanovená hodnota úspor však není automaticky poplatná jakékoli světelné aplikaci. Pro vyjádření skutečné energetické bilance konkrétního prostoru, by bylo třeba jej konkrétně specifikovat a zahrnout kritéria, která dále ovlivňují možnosti regulace.

Za hlavní přínos této práce považuji vytvoření denních časových plánů budov, které lze využít k podrobnému stanovení energetické náročnosti budov a vyplňují tak mezeru v normě ČSN EN 15 193, která se ke stanovení doby provozu budov staví příliš obecně.

## Použitá literatura

- [1] ČSN 36 0020. *Sdružené osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [2] ČSN 73 0580-1. *Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [3] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [4] ČSN EN 15193. *Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [5] Energy consumption in the UK. In: *gov.uk* [online]. 25. 7. 2013. 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/collections/energy-consumption-in-the-uk>
- [6] HABEL, Jiří a Petr ŽÁK. Energetická náročnost osvětlovacích soustav. In: *Kurz osvětlovací techniky XXVII*. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2009, str. 52. ISBN 978-80-248-2087-3.
- [7] HABEL, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, 1995, 437 s. ISBN 80-901985-0-3.
- [8] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (3): Světelnětechnické veličiny (1. část). *Světlo*. 2009, č. 1. Dostupné z: [http://odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=38554](http://odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38554)
- [9] HUDCOVÁ, Lenka. *Energetická náročnost budov: základní pojmy a platná legislativa*. Praha: EkoWATT, 2009, 43 s. ISBN 978-80-87333-03-7.
- [10] KAŇKA, Jan. *Požadavky na denní osvětlení interiérů a způsoby jejich prokazování: Day lighting requirements and methods of their attestation* [online]. V Praze: České vysoké učení technické, 2007 [cit. 2014-05-04]. 18 s. ISBN 978-80-01-03682-2. Habilitační přednáška. České vysoké učení technické v Praze.
- [11] RYBÁR, Petr, František ŠESTÁK, Marie JUKLOVÁ, Jozef HRAŠKA a Jiří VAVERKA. *Denní osvětlení a oslunění budov*. 1. vyd. Brno: ERA, 2002, vi, 271 s. ISBN 80-865-1733-0.
- [12] Revize evropské směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti. In: *Tzb-info.cz* [online]. 2010 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6739-revize-evropske-smernice-2002-91-es-o-energeticke-narocnosti-budov>

- [13] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Dionýz GAŠPAROVSKÝ, Jaroslav ŠNOBL a Daniel DIVIŠ. *Úspory energie v osvětlování při hodnocení energetické náročnosti budov* [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: [http://www.csorsostrava.cz/publikace/Uspory\\_energie\\_v\\_osvetlovani\\_pri\\_hodnoceni\\_energeticke\\_narocnosti\\_budov/Zaverecna\\_zprava.pdf](http://www.csorsostrava.cz/publikace/Uspory_energie_v_osvetlovani_pri_hodnoceni_energeticke_narocnosti_budov/Zaverecna_zprava.pdf)
- [14] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [15] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. In: 19. května 2010.
- [16] STERNOVÁ, Zuzana. *Energetická hospodárnosť budov a energetická certifikácia budov*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2010, 350 s. ISBN 978-80-8076-060-1.
- [17] TNI 73 0327. *Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [18] TŮMA, Hynek. *Řízení osvětlení na konstantní úrovni*. Praha, 2013. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.