## 13. ENERGETICKÁ NÁROČNOST OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV

Před vlastními úvahami o problematice energetických úspor a energeticky účinných řešení v oblasti osvětlení je vhodné se zmínit o významu osvětlení a také o hlediscích, která výslednou podobu osvětlení předurčují. Návrh osvětlení ve vnitřních, ale i venkovních prostorech primárně vychází z využití daného prostoru, tedy z účelu osvětlení. Smyslem návrhu osvětlení je vytvoření dostatečných světelných podmínek pro danou zrakovou činnost (např. čtení, psaní, obrábění, lékařské zákroky apod.).

Energetická náročnost osvětlení je při posuzování osvětlovacích soustav až následným hlediskem, které lze formulovat tak, že požadované světelně technické parametry by měly být dosaženy energeticky co možná nejúčinnějším způsobem. Požadavky na nižší energetickou náročnost osvětlení nelze v žádném případě nadřazovat nad požadavky světelně technické.

Charakter osvětlení v řešeném prostoru se může lišit nejen podle využití prostoru, ale také podle toho, jakou roli hrají fyziologické, psychologické či biologické požadavky pozorovatelů.

- Pro osvětlení, které primárně vychází z **fyziologických** hledisek, tedy z požadavků na zrakový výkon, jsou v rámci norem stanoveny světelně technické parametry.
  Příkladem je osvětlení kancelářských prostorů, průmyslových objektů apod.
- Osvětlení, které je primárně založeno na **psychologických** hlediscích, slouží k vytvoření určité světelné atmosféry v daném prostoru a je zpravidla součástí výtvarného řešení interiéru.
  Takovýto charakter osvětlení se vyskytuje například ve společenských a kulturních prostorech, jako jsou divadla, kina, restaurace apod. Poměrně složitá subjektivní povaha zmíněného osvětlení neumožňuje zjednodušené objektivní vyjádření současnými světelně technickými parametry. Proto i posuzování energetické náročnosti takového typu osvětlení je obtížné. Případný návrh úsporných opatření je třeba konzultovat s autorem výtvarného řešení interiéru.
- Osvětlení, které vychází z **biologických** hledisek uživatelů, není primárně zaměřeno na vytvoření světelného prostředí pro určitý zrakový úkol, ale k ovlivnění biologických pochodů (cirkadiánního cyklu) v lidském těle. Návrh tohoto typu osvětlení vychází z jiných požadavků, než jsou požadavky vizuální a energetická náročnost takových osvětlovacích soustav je vyšší než energetická náročnost běžných osvětlovacích soustav.

Pro hodnocení energetické náročnosti budov slouží nově vydaná norma ČSN EN 15193, Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení, ve které jsou uvedeny způsoby stanovení energetické náročnosti osvětlovací soustavy i hodnoty směrných ukazatelů měrné spotřeby pro různé aplikační oblasti.

## 13.1 Energetická náročnost umělého osvětlení budov

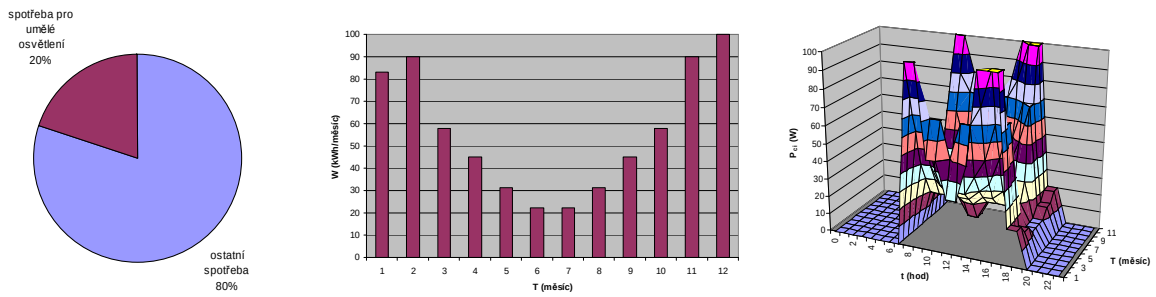
Hodnocení energetické náročnosti osvětlovacích soustav určité budovy se liší v závislosti na tom, zda se hodnotí navrhovaný, popř. nově realizovaný objekt, nebo zda se posuzuje energetická náročnost stávající budovy.

- Pokud se posuzuje energetická náročnost osvětlení v rámci zpracovávaného návrhu určitého objektu nebo nově realizované budovy, pak je přesně znám instalovaný příkon osvětlovacích soustav, ale dobu jejich využití a případně i skutečný provozní příkon, je třeba určit na základě informací o předpokládaném charakteru provozu daného objektu. Spotřeba elektrické energie se tedy stanovuje odhadem.
- V případě stávajících budov lze energetickou náročnost osvětlení stanovit z naměřených hodnot spotřeby elektrické energie, ale vzhledem k tomu, že ve většině případů není měření spotřeby elektrické energie pro osvětlení samostatné, je třeba tento podíl spotřeby opět odhadnout (obr. 13.1a). Následně je třeba se pokusit, na základě instalovaného příkonu a charakteru provozu objektu, stanovit, jaké je časové využití příkonu osvětlovací soustavy v průběhu určitého časového období, například roku.

V obou uvedených případech se tedy pracuje s přibližnými hodnotami. Pro následný postup při hledání úsporných opatření a stanovení jejich návratnosti je proto důležité stanovit míru nepřesnosti zmíněných odhadů.

Proto, aby v budoucnu bylo možné objektivně hodnotit energetickou náročnost osvětlení objektů, je třeba zajistit přímé měření spotřeby elektrické energie pro osvětlení [13.1] (obr. 13.1b).

Pokud se požadují informace o využití dílčích částí osvětlovací soustavy, je třeba použít řídicích systémů osvětlení, které jsou schopny zaznamenat průběh spotřeby jak celé osvětlovací soustavy, tak i jednotlivých svítidel (obr. 13.1c).




a) b) c)

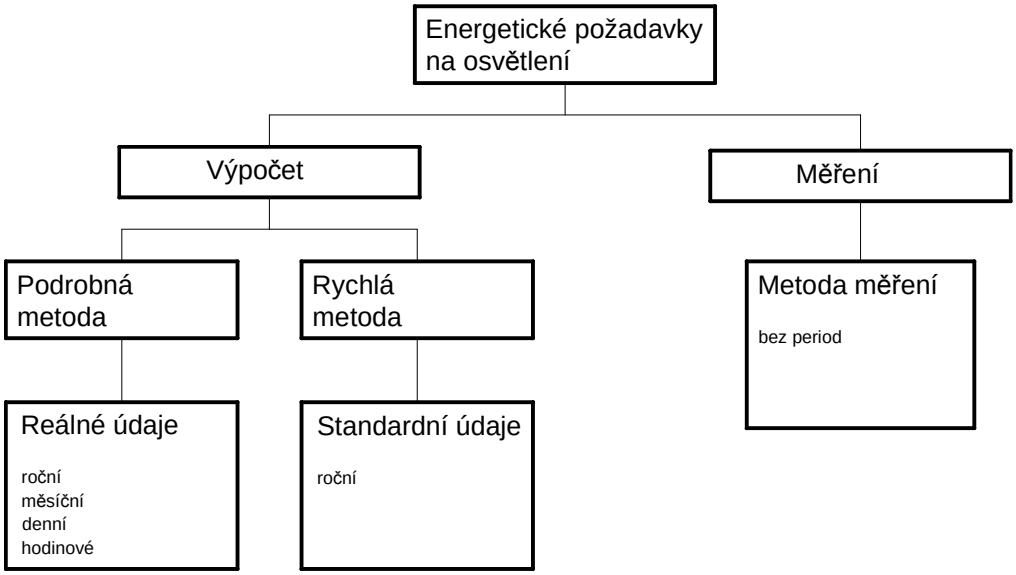
Obr. 13.1 Podklady pro stanovení energetické náročnosti budovy.
Spotřeba elektrické energie pro osvětlení je
a) odhadnuta jako podíl z celkové spotřeby el. energie,
b) zjištěna na základě měření,
c) stanovena z průběhu skutečného pracovního příkonu jednotlivých svítidel.

## 13.2 Výpočet spotřeby elektrické energie pro osvětlení

Jak je zřejmé z grafického znázornění na obr.13.2 lze pro stanovení energetické náročnosti budov výpočtem použít rychlou nebo podrobnou metodu [13.1].

**Rychlá metoda** hodnotí spotřebu elektrické energie budovy jako celku. Tato metoda se používá v případě, kdy jsou k dispozici pouze hodnoty o celkové spotřebě elektrické energie pro osvětlení v daném objektu a její podíl na celkové spotřebě objektu je malý. Při této metodě se ověří pouze to, zda daná spotřeba elektrické energie na osvětlení odpovídá směrným hodnotám spotřeby elektrické energie stanoveným pro referenční objekt.

**Podrobná metoda** umožňuje analyzovat spotřebu elektrické energie pro osvětlení z pohledu prostorového a časové distribuce spotřeby elektrické energie pro osvětlení. Při tomto způsobu hodnocení lze osvětlovací soustavu prostorově dělit podle typových prostorů, místností nebo zón. Typové místnosti jsou prostory s podobných charakter využití jako jsou například komunikační prostory, kancelářské prostory, učebny apod. Spotřebu zmíněných prostorových jednotek lze pak posuzovat časově pro jednotlivá časová období jako je celý rok, čtvrtletí, měsíce nebo dny. Tento způsob hodnocení umožňuje získat přehled o podílu spotřeby elektrické energie jednotlivých prostorových jednotek objektu.




Obr. 13.2 Znázornění možných způsobů stanovení energetické náročnosti budov

Spotřeba elektrické energie pro osvětlení ($W$) je tvořena dvěma složkami, a to spotřebou pro normální osvětlení ($W_L$) a spotřebou ($W_P$) pro nabíjení svítidel nouzového osvětlení, pro krytí ztrát, včetně spotřeby pro ovládací systémy mimo pracovní dobu, tj.

$$W = W_L + W_P \qquad \text{(kWh/rok)} \qquad (13.1)$$

V případě rychlé metody charakterizují parametry $W_L$ a $W_P$ spotřebu celého objektu. V případě metody podrobné jde o údaje platné pro jednotlivé celky či místnosti a celková spotřeba se pak získá součtem zjištěných dílčích spotřeb.

Spotřeba elektrické energie pro normální osvětlení $W_L$ se stanovuje ze vztahu :

$$W_L = \frac{(P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)]}{1000} \qquad \text{(kWh/rok)} \qquad (13.2)$$

kde $P_n$ je celkový instalovaný příkon svítidel (W)

$t_D$ je doba provozu s denním světlem (h)

$t_N$ je doba provozu bez denního světla (h)

$F_D$ je činitel závislosti na denním světle (-)

$F_O$ je činitel závislosti na obsazení (-)

$F_C$ je činitel konstantní osvětlenosti (-)

V rovnici (13.2) se respektuje využití denního světla činitelem $F_D$, obsazení prostoru činitelem $F_O$ a vliv regulace osvětlovací soustavy na konstantní hodnotu osvětlenosti vystihuje činitel $F_C$.

Ostatní součásti spotřeby označené $W_P$ se stanoví z rovnice:

$$W_P = \frac{P_{pc} \cdot \lfloor t_y - (t_D + t_N) \rfloor + P_{em} \cdot t_{em}}{1000} \qquad \text{(kWh/rok)} \qquad (13.3)$$

kde $P_{pc}$ je celkový instalovaný ztrátový příkon ovládacích zařízení (W),

$P_{em}$ je celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení (W),

$t_D$ je doba provozu s denním světlem (h),

$t_N$ je doba provozu bez denního světla (h),

$t_y$ je standardní roční doba v hodinách, činí 8760 h,

$t_{em}$ je doba nabíjení nouzového osvětlení (h).

Po stanovení celkové spotřeby elektrické energie pro osvětlení výpočtem nebo měřením se určí měrná spotřeba energie na 1 $m^2$ označovaná v normě [13.1] *LENI* dle vztahu

$$LENI = \frac{W}{A} \qquad \text{(kWh.m}^{-2}\text{.rok}^{-1}\text{)} \qquad (13.4)$$

Hodnota měrné spotřeby *LENI* se porovná se směrnými údaji, jejichž příklady jsou uvedeny v tab. 13.1. V tab. 13.1 jsou pro každý typ budovy uvedeny směrné hodnoty měrné spotřeby energie pro tři třídy kvality pro manuální ovládání osvětlení bez systému pro hlídání konstantní osvětlenosti [13.1]. Popis zmíněných tříd kvality osvětlení je uveden v tab. 13.2. Případná úsporná opatření se navrhují až po posouzení energetické náročnosti celého objektu. Proto pro komplexní hodnocení celkové energetické náročnosti budovy je třeba zjištěnou spotřebu elektrické energie na osvětlení $W$ (kWh. $rok^{-1}$) přepočítat na veličinu $EP_{Light}$ udávanou ve všeobecně používaných jednotkách (GJ . $rok^{-1}$), například s využitím vztahu

$$EP_{\mathbf{Light}} = \frac{W}{277{,}8} \qquad \text{(GJ/rok)} \qquad (13.5)$$

Spotřeba elektrické energie stanovená z rovnice (13.5) se pak zahrne do celkové energetické bilance budovy.

Tab.13.1 Příklad směrných hodnot měrného příkonu $p_N$ pro různé typy budov a třídy kvality osvětlení při ručním ovládání bez systému pro hlídání konstantní osvětlenosti [ČSN EN 15193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení]

| Typ prostoru | Třída kvality osvětlení | $P_{em}$ (kWh·m$^{-2}$·rok$^{-1}$) | $P_{pc}$ (kWh·m$^{-2}$·rok$^{-1}$) | $p_N$ [x]) (W/m$^2$) | LENI (kWh·m$^{-2}$·rok$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Administrativní budovy | * | 1 | 5 | 15 | 42,1 |
| | ** | 1 | 5 | 20 | 54,6 |
| | *** | 1 | 5 | 25 | 67,1 |
| Vzdělávací zařízení | * | 1 | 5 | 15 | 34,9 |
| | ** | 1 | 5 | 20 | 44,9 |
| | *** | 1 | 5 | 25 | 54,9 |
| Zdravotnická zařízení | * | 1 | 5 | 15 | 70,6 |
| | ** | 1 | 5 | 25 | 115,6 |
| | *** | 1 | 5 | 35 | 160,6 |
| Hotely | * | 1 | 5 | 10 | 38,1 |
| | ** | 1 | 5 | 20 | 72,1 |
| | *** | 1 | 5 | 30 | 108,1 |
| Restaurace | * | 1 | 5 | 10 | 29,6 |
| | ** | 1 | 5 | 25 | 67,1 |
| | *** | 1 | 5 | 35 | 92,1 |
| Sportoviště | * | 1 | 5 | 10 | 43,7 |
| | ** | 1 | 5 | 20 | 83,7 |
| | *** | 1 | 5 | 30 | 123,7 |
| Obchodní prostory | * | 1 | 5 | 15 | 78,1 |
| | ** | 1 | 5 | 25 | 128,1 |
| | *** | 1 | 5 | 35 | 178,1 |
| Průmyslové prostory | * | 1 | 5 | 10 | 43,7 |
| | ** | 1 | 5 | 20 | 83,7 |
| | *** | 1 | 5 | 30 | 123,7 |

Pozn. [x]) v normě ČSN EN 15193 je měrný příkon $p_N$ označen písmeny $P_N$

Tab. 13.2 Uvažované světelně technické parametry pro jednotlivé třídy kvality osvětlení

| Parametry | Třída kvality osvětlení | | |
|---|---|---|---|
| | * | ** | *** |
| Udržovaná osvětlenost ( $\bar{E}_m$ ) | ☑ | ☑ | ☑ |
| Omezení rušivého oslnění (UGR) | ☑ | ☑ | ☑ |
| Vyloučení míhání a stroboskopického jevu | ✓ | ✓ | ✓ |
| Omezení závojových odrazů a oslnění odrazem | | ✓ | ✓ |
| Zlepšené podání barev | | ☑ | ☑ |
| Zajištění dobré modelace | | ✓ | ✓ |
| Zajištění vhodného rozložení jasů v místnosti | | ✓ | ✓ |
| Zajištění vhodného osvětlení obličejů ( $E_z$ ) | | | ✓ |
| Věnování zvláštní pozornosti zdravotním hlediskům *) | | | ✓ |

Pozn.: ☑ musí splňovat světelně technické parametry dle normy ČSN EN 12464-1.
✓ musí splňovat slovně popsané požadavky na osvětlení dle normy ČSN EN 12464-1.
*) zdravotní hlediska mohou vyžadovat mnohem vyšší osvětlenosti a tím i vyšší měrnou spotřebu el. energie na jednotku osvětlované plochy (kWh·m$^{-2}$·rok$^{-1}$).

## 13.3 Možnosti úsporných opatření

Pro volbu strategie při návrhu úsporných opatření lze vyjít ze základního vztahu vyjadřující spotřebu elektrické energie pro osvětlení za určité časové období, např. za rok

$$W = P_n \cdot t_o \qquad (\text{kWh.rok}^{-1}) \qquad (13.6)$$

kde

$P_n$ je celkový provozní příkon svítidel (kW)
$t_0$ provozní doba (hod.rok$^{-1}$)

Ze vztahu (13.6) je zřejmé, že strategie hledání úspor ve spotřebě elektrické energie pro osvětlení může vycházet z hledání úspor v provozním příkonu nebo v době využití osvětlovací soustavy, případně z kombinace obou parametrů.

Úsporná opatření mohou být založena na následujících strategiích :

- volba osvětlovací soustavy;
- volba technických prostředků;
- kontrola dimenzování osvětlovací soustavy;
- využití denního světla;
- kontrola přítomnosti osob;
- využití časových režimů.

### 13.3.1 Volba osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustavy lze rozlišit podle jejich typu a podle jejich charakteru. Jak typ, tak i charakter osvětlovací soustavy ovlivňuje její energetickou náročnost. Hlavní osvětlení, které vychází z fyziologických požadavků uživatelů, lze realizovat třemi základními typy osvětlovacích soustav :

- celkovou soustavou;
- odstupňovanou soustavou;
- kombinovanou soustavou.

Možnosti využití jednotlivých typů osvětlovacích soustav souvisí s aplikační oblastí a charakterem osvětlovaného prostoru. Nejvyšší energetickou náročnost vykazuje celková osvětlovací soustava, nejmenší kombinovaná osvětlovací soustava. Příkon kombinované osvětlovací soustavy v porovnání s příkonem celkové osvětlovací soustavy může být při stejných předepsaných světelně technických parametrech až poloviční.

### 13.3.2 Volba technických prostředků

Základními technickými prostředky, které tvoří osvětlovací soustavu a ovlivňují energetickou náročnost, jsou světelné zdroje, předřadné přístroje, svítidla a řídicí systémy.

Světelné zdroje se z hlediska energetické účinnosti přeměny elektrické energie na energii světelnou posuzují měrným výkonem $\eta$ ($lm$/W). Některé typy světelných zdrojů potřebují ke svému provozu předřadné přístroje, které umožňují start a stabilní provoz světelného zdroje nebo přizpůsobují napájecí napětí či proud. Energeticky se předřadné přístroje popisují ztrátovým příkonem $P_Z$ (W). Příkony světelných zdrojů se obvykle uvádějí bez ztrát v předřadných přístrojích. Z těchto důvodu nemá energetické porovnávání samotných světelných zdrojů dostatečnou vypovídací hodnotu a lze jej použít pouze jako určité vodítko.

Z pohledu energetického hodnocení svítidel je důležitá jejich účinnost $\eta_{sv}$ (%), která udává podíl výstupního světelného toku svítidla a světelného toku světelných zdrojů změřeného za stanovených podmínek mimo svítidlo.

Druhým důležitým parametrem je charakter vyzařování svítidla. Tento parametr se popisuje křivkami svítivosti, které znázorňují prostorové rozložení vyzařovaného světelného toku.

Při hodnocení energetické náročnosti technických prostředků pro konkrétní účel je nejvhodnější posuzovat kompletní svítidla. Určitým vodítkem je měrný výkon svítidla označovaný *LER* (*lm*/W) [Lighting Handbook – 9. vydání, IESNA, 2000], definovaný jako poměr výstupního světelného toku svítidla (*lm*) a elektrického příkonu (W) svítidla.

Obdobně lze hodnotit celé osvětlovací soustavy měrným výkonem (*lm*/W) osvětlovací soustavy, který se stanoví jako poměr světelného toku (*lm*) vyzařovaného všemi svítidly soustavy k jejich celkovému elektrickému příkonu (W). Na obr. 6 je znázorněno osvětlení velkoprostorové kanceláře podhledovými svítidly. V tab.13.3 je uvedena energetická náročnost takové osvětlovací soustavy při použití různých typů podhledových mřížkových svítidel. V první variantě jsou použita zářivková svítidla 4x18 W s elektromagnetickými předřadníky, ve variantě 2 a 3 jsou použita svítidla s elektronickým předřadníkem pro zářivky 4x14 W, resp. 2x28 W.

Obr. 13.3 Příklad osvětlení vnitřního prostorou podhledovými svítidly

Tab. 13.3 Energetická náročnost osvětlení velkoprostorové kanceláře (obr. 13.3) osvětlených na stejnou hladinu osvětlenosti různými typy podhledových svítidel

| Podhledové svítidlo | Předřadník | n (ks) | η (%) | $P_i$ (W) | $p_1$ (W/m$^2$) | $p_2$ (W/m$^2$/100*lx*) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4x18 W | elektromagnetický | 27 | 62 | 2 376 | 20 | 3,7 |
| 4x14 W | elektronický | 27 | 85 | 1 755 | 15 | 2,7 |
| 2x28 W | elektronický | 21 | 85 | 1 300 | 10 | 2 |

Při použití řídicích systémů k plynulé regulaci osvětlení dochází ke snižování měrného výkonu osvětlovací soustavy (*lm*/W). Je to dáno tím, že závislost mezi výstupním světelným tokem a příkonem soustavy není lineární. Při příliš velké regulaci světelného toku na úroveň pod 20% maximální hodnoty je pokles měrného výkonu tak výrazný, že provoz takto nastavené osvětlovací soustavy je z pohledu energetické účinnosti nehospodárný.

### 13.3.3 Kontrola dimenzování osvětlovací soustavy

Výsledná hodnota osvětlenosti na srovnávací rovině nebo v místě pracovního úkolu je na začátku provozu osvětlovací soustavy vždy vyšší než jsou hodnoty uvedené v normách. Hlavním důvodem je, že požadované parametry osvětlení musí být dodrženy po celou dobu života osvětlovací soustavy. Vzhledem k tomu, že v průběhu provozu dochází ke stárnutí osvětlovací soustavy, musí být nová osvětlovací soustava předimenzovaná. Dalším důvodem vyšších hodnot parametrů osvětlení je, že se světelné zdroje a svítidla vyrábějí v určitých výkonových řadách, a proto zpravidla nelze přesně dosáhnout požadovaných světelně technických parametrů, ale je třeba zvolit nejbližší vyšší výkonový stupeň daného technického zařízení. V praxi se také vyskytují prostory s flexibilním dispozičním uspořádáním. Například velkoprostorovou kancelář lze změnit na řadu buňkových kanceláří a naopak. U takovýchto prostorů je třeba osvětlovací soustavu navrhnout na nejnepříznivější situaci. Pokud se prostorové uspořádání liší od této nejnepříznivější situace, dochází ke zvýšení hodnot světelně technických parametrů, a tím k dalšímu „předimenzování“ osvětlovací soustavy. Popsané předimenzování osvětlovací soustavy lze eliminovat použitím stmívatelných svítidel připojených na řídicí systém osvětlení, který je schopen průběžný pokles světelného toku vyrovnávat postupným zvyšováním příkonu svítidel tak, aby byly zachovány požadované parametry osvětlení.

### 13.3.4 Využití denního světla

Osvětlení prostoru i místa zrakového úkolu se neposuzuje podle toho, zda je dosaženo umělým nebo denním osvětlením. Proto dobře navržené denní osvětlení prostoru umožňuje snížit požadavky na dobu provozu soustavy umělého osvětlení. V případě dostatečného denního osvětlení v řešeném prostoru lze dosáhnout významných úspor kontrolou úrovně denního osvětlení prostřednictvím řídicího systému. Informace ze světelných čidel umožňují omezit dobu provozu umělé osvětlovací soustavy, případně její příkon tak, aby nesvítila v době dostatečného denního osvětlení. Na základě informací ze světelných čidel může být osvětlovací soustava ovládána skokově nebo plynulým řízením výstupního světleného toku. Volba způsobu regulace souvisí s použitými světelnými zdroji a určuje technickou i finanční náročnost navrženého úsporného opatření.

### 13.3.5 Kontrola přítomnosti osob

Řada pracovních prostorů a pracovních míst není využívána po celou pracovní dobu. Často dochází k tomu, že v průběhu nepřítomnosti osob zůstává osvětlovací soustava zapnuta. Pokud uživatel není v místnosti přítomný, nemá význam, aby osvětlovací soustava byla v provozu. Pro kontrolu přítomnosti osob se používají pohybová čidla. Na základě informací z pohybových čidel se pak zapínají/vypínají příslušná svítidla, osvětlovací soustava nebo její části, případně se omezuje jejich příkon [ČSN EN 15193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení.].

### 13.3.6 Zavedení časových režimů

Osvětlovací soustavy plní svojí hlavní funkci zpravidla pouze po určitou část dne. Po skončení vymezené doby provozu přestávají plnit svoji funkci a je možné je vypnout nebo je přepnout do jiného režimu, ve kterém přejímají jinou funkci. Proto, aby osvětlovací soustava byla provozována pouze po definovanou dobu, případně, aby se automaticky přepnula do jiného provozního režimu, slouží časové ovládací prvky. Ty mohou, dle nastavení, ovládat osvětlovací soustavu jednoduchým zapínáním nebo vypínáním, případně mohou být součástí řídicího systému, který na základě informace z časového ovládacího prvku spouští přednastavené světelné scény. Příkladem mohou být výlohy obchodů, ve kterých osvětlení slouží jako

prostředek k propagaci určitého zboží. Tuto funkci plní po určitou dobu, například do půlnoci. Po této době je již účinnost osvětlení z pohledu obchodního minimální a proto je možné jej vypnout, nebo přepnout do redukovaného režimu, který plní například funkci bezpečnostní.

Literatura:

[13.1] ČSN EN 15193, Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení.
[13.2] TNI 73 0327, Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení.
[13.3] Lighting Handbook – 9. vydání, IESNA, 2000.