

# Energetická náročnost osvětlovacích soustav

prof. Ing. Jiří Habel, DrSc., ČVUT Praha, katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechnická, Ing. Petr Žák, Ph.D., ETNA s. r. o.

## 1. Úvod

Návrh osvětlení vnitřních i venkovních prostorů primárně vychází z jejich využití. Cílem návrhu osvětlení je vytvoření vhodných světelných podmínek pro danou zrakovou činnost (např. čtení, psaní, obrábění, lékařské zákroky apod.). Pro to, aby bylo možné stanovit, jaké světelné podmínky jsou pro konkrétní zrakovou činnost dostatečné, bylo uskutečněno mnoho odborných i vědeckých studií a experimentů. Na základě statistických vyhodnocení jejich výsledků byly pro jednotlivé zrakové činnosti stanoveny hodnoty světelnotechnických parametrů, které se staly součástí národních i mezinárodních norem. Důležitou skutečností je, že současné světelnotechnické parametry obsažené v normách a doporučeních nejsou hodnoty optimální, ale jsou kompromisem mezi ekonomickými možnostmi společnosti a optimálními zrakovými podmínkami [1].

Optimální hodnoty světelnotechnických parametrů v porovnání s normativními jsou výrazně vyšší. Na obr. 1 jsou uvedeny výsledky některých experimentů zaměřené na hodnocení dostatečné úrovně osvětlení ve vnitřních pracovních prostorech určených pro obvyklé kancelářské práce. Zatímco doporučené hodnoty osvětlenosti v normách pro tyto zrakové úkoly se pohybují okolo 500 lx, optimální hodnoty jsou až okolo 2 000 lx.

## 2. Charakter osvětlení

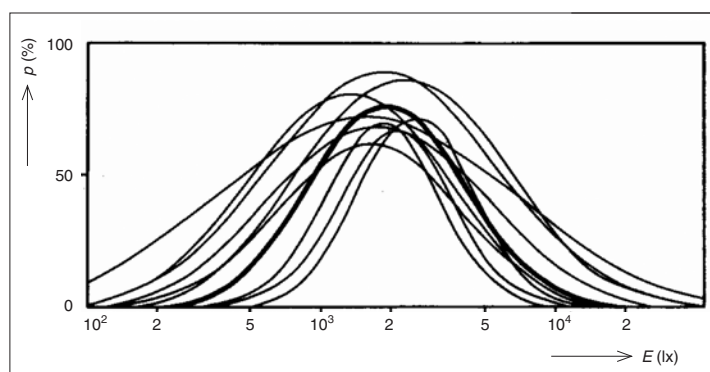
Pro vypracování návrhu osvětlení jsou důležité nejen světelnotechnické parametry, ale také další hlediska, která je třeba zohlednit, aby výsledné řešení bylo funkční a kvalitní:

1. Hledisko zrakové pohody – postihuje vizuální vzhled osvětleného prostoru, tedy světelnou atmosféru a vzhled osvětlovací soustavy, tedy pohledové uplatnění svítidel v daném prostoru.
2. Hledisko světelnotechnické – zahrnuje volbu světelnotechnických parametrů podle účelu a využití řešeného prostoru. Tyto parametry primárně zohledňují fyziologické a bezpečnostní požadavky, ale také požadavky psychologické. V poslední době se začíná hovořit také o požadavcích biologických.

3. Hledisko provozně-technické – zahrnuje energetickou náročnost osvětlovací soustavy, její provoz a údržbu a také problematiku investičních i provozních nákladů.
4. Hledisko vnějších vlivů – postihuje skutečnost, že osvětlení může mít vedle své primární funkce i vedlejší účinky, které mohou nepříznivě ovlivňovat řešený prostor, předměty v něm umístěné nebo prostory sousedící. Jde např. o kontrolu UV záření při osvětlování citlivých exponátů v muzeích a galeriích, oslnění uživatelů sousedících prostorů apod.

dvaků, než jsou požadavky vizuální, a energetická náročnost takovýchto osvětlovacích soustav je vyšší než energetická náročnost běžných osvětlovacích soustav.

Energetická náročnost osvětlení je při návrhu a posuzování osvětlovacích soustav až následným hlediskem, které lze formulovat tak, že požadovaných světelnotechnických parametrů by mělo být dosaženo energeticky co možná nejúčinnějším způsobem. Požadavky na nižší energetickou náročnost osvětlení nelze v žádném případě nadřazovat nad požadavky světelnotechnické.



Obr. 1. Výsledky výzkumů subjektivního hodnocení hladin osvětlenosti ve vnitřních pracovních prostorech při zářivkovém osvětlení vyjádřené procentuálním počtem spokojených lidí  $p$  v závislosti na hladině osvětlenosti  $E$

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. Osvětlení, kde jsou hlavní fyziologická hlediska, vychází ze světelnotechnických parametrů uvedených v normách. 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 např. ve společenských a kulturních prostorech, jako jsou divadla, kina, restaurace apod. Poměrně složitá subjektivní povaha takového osvětlení neumožňuje zjednodušené objektivní vyjádření současnými světelnotechnickými parametry. Osvětlení, které vychází z biologických hledisek uživatelů, není primárně zaměřeno na vytvoření světelného prostředí pro určitý zrakový úkol, ale využívá osvětlení k ovlivnění biologického systému člověka. Návrh tohoto typu osvětlení vychází z jiných poža-

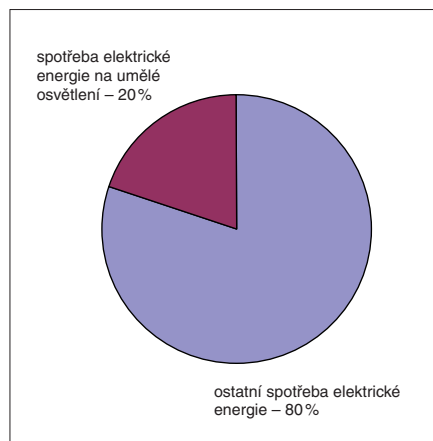
## 3. Energetická náročnost osvětlení

Přístup k úvahám o energetické náročnosti osvětlení se liší v závislosti na tom, zda se hodnotí navrhovaný, popř. nově realizovaný objekt, nebo zda se posuzuje energetická náročnost stávající budovy.

- V případě nového objektu je přesně znám instalovaný příkon osvětlovací soustavy, ale dobu využití a popř. i skutečný provozní příkon je třeba určit na základě informací o předpokládaném charakteru provozu daného objektu (tzn. standardní provoz). Spotřeba elektrické energie je tedy stanovena 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. 2). Následně je zapotřebí se pokusit, na základě instalovaného příkonu a charakteru provozu objektu,

stanovit, jaké je časové využití příkonu osvětlovací soustavy v průběhu určitého časového období, např. roku.

V obou případech se tedy pracuje s příbližnými hodnotami. Při hledání úsporných opatření a stanovení jejich návratnosti je důležité určit míru nepřesnosti tohoto odhadu. Pro to, aby v budoucnu bylo možné objektivně hodnotit energetickou náročnost osvětlení objektů, je třeba zajistit přímé měření spotřeby elektrické energie pro osvětlení (obr. 3). Jsou-li požadovány informace o využití dílčích částí osvětlovací soustavy, je třeba použít řídicí systémy osvětlení, které jsou schopny zaznamenat průběh spotřeby jak celé

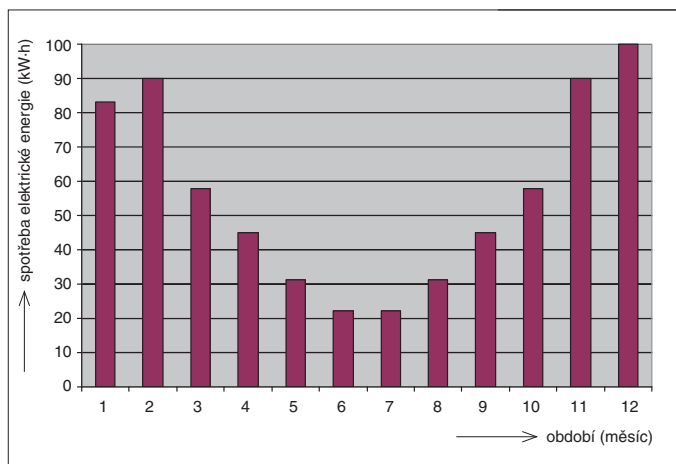


Obr. 2. Příklad odhadu energetické náročnosti umělého osvětlení jako poměru z celkové spotřeby objektu za určité časové období (např. rok)

osvětlovací soustavy, tak i jednotlivých svítidel (obr. 4). Pro objektivnější hodnocení energetické náročnosti stávajících budov je třeba vytvářet soubory statistických údajů o využití a charakteru provozu v jednotlivých typech budov, které popisují chování uživatelů z pohledu ovládnání osvětlení.

Energetické hodnocení osvětlovací soustavy má dvě základní úskalí. Prvním úskalím je to, že osvětlovací soustava nemusí být uživateli využívána podle standardních předpokladů a její spotřeba elektrické energie může být výrazně nižší, než jsou předepsané směrné hodnoty [2].

To ale nevylučuje možnost, že instalovaný příkon osvětlovací soustavy může být výrazně vyšší, než jsou předepsané směrné hodnoty pro instalovaný příkon [2], [3]. Kdyby se změnilo chování uživatelů, mohou být také překročeny směrné hodnoty měrné spotřeby elektrické energie na osvětlení. Vždy tedy vyvstává otázka, zda případný návrh úsporných opatření, který se v závislosti na chování uživatelů buď projeví, nebo neprojeví, má význam. Druhým úskalím je složitost vzájemného oddělení skutečného provozního příkonu pro osvětlení a doby využití tohoto příko-



Obr. 3. Příklad podrobnějšího zpracování výsledků měření spotřeby elektrické energie pro umělé osvětlení v měsíčních časových intervalech ve sledovaném ročním období

nu. Na této informaci závisí případná volba účinných úsporných opatření. Jestliže tyto informace nebudou s dostatečnou přesností odlišeny, zvyšuje se míra nepřesnosti při stanovení účinnosti a návratnosti navržených úsporných opatření.

#### 4. Strategie úsporných opatření

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

$$W = P_p t_0 \quad (\text{kW}\cdot\text{h/rok}) \quad (1)$$

kde

$P_p$  je průměrný provozní příkon svítidel (kW),  
 $t_0$  provozní doba (h/rok).

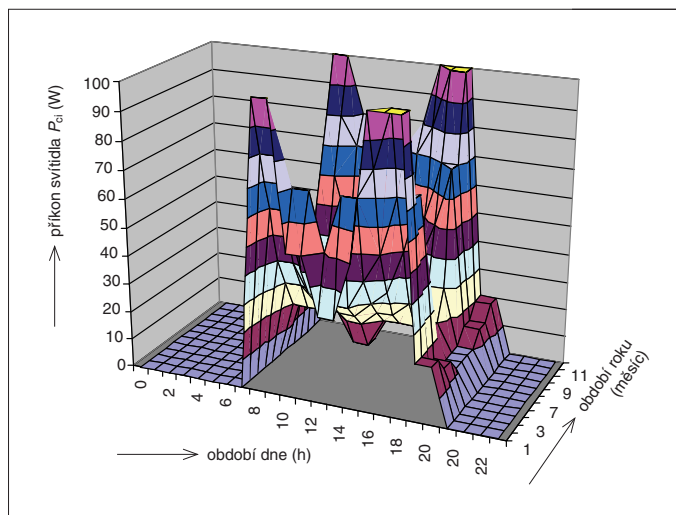
Z uvedeného vztahu je zřejmé, že strategie hledání úspor ve spotřebě elektrické energie pro osvětlení může vycházet z hledání úspor v provozním příkonu nebo v době využití osvětlovací soustavy, popř. z kombinace obou parametrů. Úsporná opatření mohou být založena na těchto strategiích:

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

Posuzování energetické náročnosti osvětlení má smysl pouze v případě, že osvětlení, a tedy i světelnotechnické parametry v daném prostoru odpovídají jeho účelu a využití. V projektové fázi jsou dokladem o parametrech osvětlení protokoly světelnotechnických výpočtů. U již realizovaných budov jsou dokladem protokoly o měření hladin osvětlenosti, popř. jasů, provedených autorizovanou osobou.

#### 4.1 Volba osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustava pro umělé osvětlení je soubor technických zařízení (svítidla, světelné zdroje, předřadníky, řídicí systémy a příslušenství), která je primárně určena k vytvoření požadovaného světelného prostředí. Osvětlovací soustavy lze rozlišit podle jejich typu a podle jejich charakteru. Jak typ, tak i charakter osvětlovací soustavy ovlivňují její energetickou náročnost.



Obr. 4. Příklad podrobného zpracování výsledků měření skutečného příkonu  $P_{ci}$  (W) vybraného svítidla sledované soustavy umělého osvětlení

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 souvisejí s aplikační oblastí a charakterem osvětlovaného prostoru. Nejvyšší energetickou náročnost vykazuje celková osvětlovací soustava, nejmenší kombinovaná osvětlovací soustava. Celkové osvětlení zajišťuje požadovanou horizontální osvětlenost s předepsanou rovnoměrností v celém prostoru. Za požadovanou osvětlenost se v tomto případě považuje předepsaná osvětlenost pro nejnáročnější zrakový úkol v řešeném prostoru. Návrh odstupňované soustavy vychází ze zónování vnitřního prostoru. Zóny jsou funkčně vymezené části prostoru, které se liší charakterem a náročností zrakové činnosti, které jsou v nich vykonávány (obr. 5). Každou funkčně vymezenou část je třeba přesně popsat z pohledu zrakové činnosti a požadovaných světelnotechnických parametrů. Jedním z pomocných parametrů, který může usnadnit toto zónování, je rozložení denní osvětlenosti v prostoru. Příkladem aplikace zónování je velkoprostorová kancelář, jejíž prostor lze rozdělit na pracovní a komunikační zóny. Kombinovaná soustava je kombinací celkové nebo odstupňované soustavy osvětlení místního osvětlení. Kombinovaná osvětlovací soustava je energeticky nejúčinnějším způsobem osvětlení. Hlavní oblastí použití této soustavy jsou prostory, kde se na velké ploše nachází relativně malý počet pracovišť nebo kde jsou pro daný zrakový úkol požadovány vysoké hladiny osvětlenosti. Na obr. 5 je uveden příklad velkoprostorové kanceláře o rozloze 20 × 6 m. Požadované osvětlenosti 500 lx v místě pracovního úkolu lze dosáhnout celkovou osvětlovací soustavou (varianta a), soustavou odstupňovanou (varianta b) nebo kombinovanou soustavou (varianta c). Již jen z jednoduché úvahy o osvětlovaných plochách zón a požadovaných hladinách osvětlenosti lze určit, že energetická náročnost kombinované osvětlovací soustavy je ve srovnání s celkovou soustavou osvětlení přibližně poloviční.

Z pohledu charakteru se osvětlovací soustavy dělí na přímé, přímo-nepřímé nebo nepřímé. Přímé osvětlení je z hlediska dosažení kvantitativních parametrů osvětlení energeticky nejúčinnější, nepřímé osvětlení je nejméně účinné. Při úvahách o volbě nebo změnách charakteru osvětlení je třeba vzít v úvahu jeho vliv na vzhled osvětlovaného prostoru a kvalitativní parametry osvětlení.

Tab. 1. Energetická náročnost osvětlení velkoprostorové kanceláře na stejnou hladinu osvětlenosti různými typy podhledových svítidel (obr. 6)

Podhledové svítidlo	$n$ (ks)	$\eta_{sv}$ (%)	$P_i$ (W)	$\rho_1$ (W/m <sup>2</sup> )	$\rho_2$ (W/m <sup>2</sup> /100 lx)
4 × 18 W	27	62	2 376	20	3,7
4 × 14 W	27	85	1 755	15	2,7
2 × 28 W	21	85	1 300	10	2,0

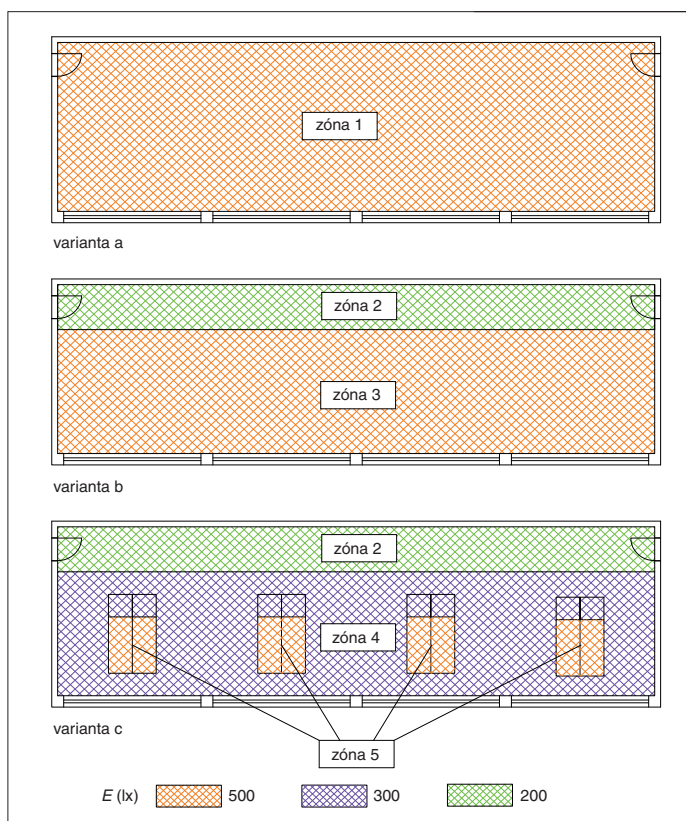
#### 4.2 Volba technických prostředků

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). U skupiny světelných zdrojů s vlastním reflektorem, které se používají pro směrové osvětlení, např. ve výstavních nebo obchodních prostorech, není pro posuzování jejich energetické účinnosti zásadní měrný výkon, ale osová svítivost a úhel poloviční svítivosti. Technické parametry, kterými se popisují světelné zdroje, se uvádějí pro stanovené podmínky okolí a měří se mimo svítidlo. Při provozu ve svítidle se parametry některých světelných zdrojů mění, např. vlivem teploty (zářivky). Některé typy světelných zdrojů ke svému provozu potřebují předřadné přístroje, které umožňují start a stabilní provoz světelného zdroje nebo přizpůsobují napájecí napětí či proud. Podle konstrukce lze předřadné

přístroje rozdělit na elektronické a elektromagnetické. Energeticky se předřadné přístroje popisují ztrátovým příkonem  $P_z$  (W). Příkony světelných zdrojů se obvykle uvádějí bez ztrát v předřadných přístrojích. Při porovnávání energetické náročnosti různých typů světelných zdrojů je proto třeba uvažovat nejen příkon samotného světelného zdroje, ale i příkon všech předřadných zařízení nezbytných pro provoz hodnoceného zdroje.

Svítidla jsou technická zařízení, která svými optickými prvky rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji. Kromě světelných zdrojů obsahují všechny díly nutné pro upevnění a ochranu světelných zdrojů, popř. pomocné obvody, včetně prostředků potřebných pro jejich připojení k síti. 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 znázor-



Obr. 5. Příklad půdorysu velkoprostorové kanceláře a jeho možného rozdělení do funkčně vymezených zón: varianta a – celková osvětlovací soustava, varianta b – odstupňovaná soustava, varianta c – kombinovaná soustava; energetické náročnosti jednotlivých variant jsou v poměru 100:80:48 %

ňují prostorové rozložení vyzařovaného světelného toku. Při hodnocení energetické náročnosti technických prostředků pro konkrétní účel je nejhodnější posuzovat kompletní svítidla. Určitým vodítkem je měrný výkon svítidla označovaný LER (lm/W) [4], definovaný jako poměr výstupního světelného toku svítidla (lm) a elektrického příkonu (W) svítidla.

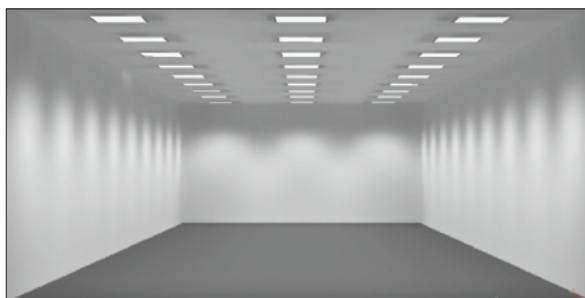
Obdobně lze hodnotit celé osvětlovací soustavy měrným výkonem (lm/W) osvětlovací soustavy, který se stanovuje jako poměr světelného toku (lm) vyzařovaného všemi svítidly soustavy k jejich celkovému elektrickému příkonu (W). Na obr. 6 je znázorněno osvětlení velkoprostorové kanceláře podhledovými svítidly. V tab. 1 je uvedena energetická náročnost takové osvětlovací soustavy při použití různých typů podhledových mřížkových svítidel. V první variantě jsou použita svítidla 4 × 18 W s elektromagnetickými předřadníky, ve variantě 2 a 3 jsou použita svítidla s elektronickým předřadníkem pro zářivky 4 × 14 W, resp. 2 × 28 W.

Při použití řídicích systémů k plynulé regulaci osvětlení se snižuje měrný výkon osvětlovací soustavy (lm/W). Je to dáno tím, že závislost mezi výstupním světelným tokem a příkonem soustavy není lineární. Při příliš velkém snížení světelného toku pomocí regulace na úroveň pod 20 % maximální hodnoty je pokles měrného výkonu tak výrazný, že pro dlouhodobý provoz takto nastavené osvětlovací soustavy je z pohledu energetické účinnosti nevhodný.

### 4.3 Kontrola dimenzování osvětlovací soustavy

Výsledné hladiny osvětlenosti na srovnávací rovině nebo v místech pracovních úkolů jsou 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 osvětlovací soustava vlivem poklesu světelného toku světelných zdrojů, znečištěním svítidel a poklesem činitelů odrazů vnitřních ploch místnosti stárne, musí být předimenzována. 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 světelnotechnických parametrů, ale je třeba zvolit nejbližší vyšší výkonový stupeň daného technického zařízení. V praxi se také vyskytují prostory s flexibilním dispozičním uspořádáním, např. velkoprostorové kanceláře, ve kterých lze vytvářet různě velké prostorové jednotky. Velkoprostorovou kancelář je např. možné změnit na řadu buňkových kanceláří a naopak. U takovýchto prostorů je třeba

osvětlovací soustavu navrhnout na nejnepříznivější situaci. Jestliže se prostorové uspořádání liší od této nejnepříznivější situace, zvyšují se hodnoty světelných technických parametrů, a osvětlovací soustava je tím dále předimenzována. Popsané předimenzování osvětlovací soustavy lze eliminovat použitím stmívatelných svítidel připojených na řídicí systém osvětlení, který je schopen průběžný pokles světelného toku způsobený stárnutím osvětlovací soustavy vyrovnávat postupným zvyšováním příkonu svítidel nebo umožňuje nastavit světelný tok svítidel podle použí-



Obr. 6. Příklad osvětlení velkoprostorové kanceláře celkovou osvětlovací soustavou s podhledovými svítidly

tých svítidel, popř. podle aktuálního dispozičního uspořádání prostoru.

### 4.4 Využití denního světla

Osvětlení prostoru i místa zrakového úkolu se neposuzuje podle toho, zda je ho 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 z čidel osvětlení napomáhají omezit dobu provozu soustavy umělého osvětlení, popř. její výkon, tak, aby nesvítila v době dostatečného denního osvětlení. Na základě informací ze světelných čidel může být osvětlovací soustava ovládána skokově nebo plynulým řízením výstupního světelného toku. Volba způsobu regulace souvisí s použitými světelnými zdroji a určuje technickou i finanční náročnost navrženého úsporného opatření.

### 4.5 Kontrola přítomnosti osob

Množství pracovních prostorů a pracovních míst není využíváno po celou pracovní dobu. Často zůstává při nepřítomnosti osob osvětlovací soustava zapnuta. Je-li uživatel mimo místnost, je zbytečné, aby osvětlovací soustava byla v provozu. Pro kontrolu přítomnosti osob se používají čidla pohybu. Na základě informací z těchto čidel se pak zapínají nebo vypí-

nají příslušná svítidla, osvětlovací soustava nebo její části, popř. se omezuje jejich výkon. Základními technikami při tomto úsporném opatření je kontrola přítomnosti a kontrola nepřítomnosti osob [2].

### 4.6 Zavedení časových režimů

Osvětlovací soustavy plní svou hlavní funkci zpravidla pouze po určitou část dne. Po skončení vymezené doby provozu přestávají svou funkci plnit a je možné je vypnout nebo přepnout do jiného režimu, ve kterém přejímají jinou funkci. Proto, aby osvětlovací soustava byla provozována pouze po danou dobu, popř. aby se automaticky přepnula do jiného provozního režimu, se využívají časové ovládací prvky. Ty mohou podle nastavení ovládat osvětlovací soustavu jednoduchým zapínáním nebo vypínáním, popř. mohou být součástí řídicího systému, který na základě informace z časového ovládacího prvku spouští předem nastavené světelné scény. Příkladem mohou být výlohy obchodů, ve kterých osvětlení funguje jako prostředek k propagaci určitého zboží. Tuto funkci plní do určité doby, např. do půlnoci. Po této době je již účinnost osvětlení z obchodního pohledu minimální, a proto je možné je vypnout nebo přepnout do redukovaného režimu, který plní např. funkci bezpečnostní.

## 5. Závěr

Záměrem autorů příspěvku bylo poukázat na poměrně komplikovanou problematiku posuzování energetické náročnosti budov z hlediska možnosti návrhu účinných osvětlovacích soustav. Upozorňuje nejen na důležitost výběru energeticky efektivních a přitom světelnotechnicky účinných světelných zdrojů a svítidel, ale i na velký význam rozboru časového využívání osvětlovací soustavy.

### Literatura:

- [1] HABEL, J. a kol.: *Světelná technika a osvětlování*. FCC Public, 1995.
- [2] ČSN EN 15193 *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*.
- [3] TNI 73 0327 *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*. Únor 2009.
- [4] National Electrical Manufacturers Association. 1993. *Procedure for determining luminaire efficacy ratings for fluorescent luminaires*. NEMA LE 5-1993. Rev. 1995. Washington, D.C.: National Electrical Manufacturers Association.

Recenze: doc. Ing. Josef Linda, CSc., Západočeská univerzita v Plzni