

ENERGETICKÁ NÁROČNOST OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV

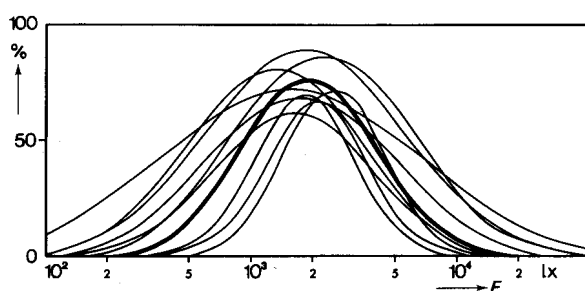
Ing. Petr Žák, Ph.D.

Etna s.r.o., Mečislavova 2, Praha 4, zak@etna.cz

Problematicke energetické náročnosti a úspor elektrické energie je pozornost věnována již řadu let. V posledním desetiletí se v důsledku diskuze o globálním oteplování a jeho dopadech zvýšil tlak na rychlejší zavádění postupů týkajících se snižování energetické náročnosti budov a jejího hodnocení do praxe. Příspěvek se věnuje vztahu mezi světelně technickými parametry a energetickou náročností osvětlení a popisuje možné směry v hledání energeticky účinných osvětlovacích soustav.

1 Úvod

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



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

Optimální hodnoty světelně technických 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

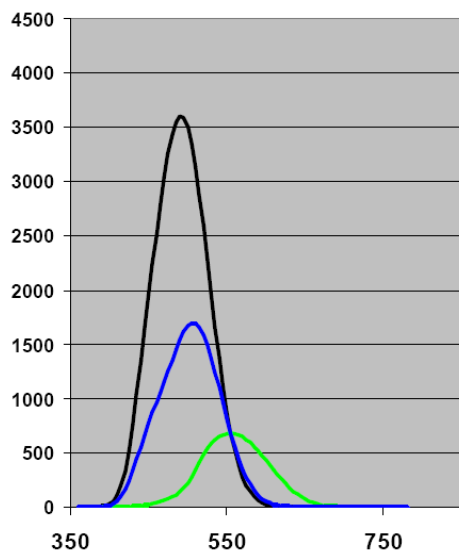
Návrh osvětlení je poměrně komplexní záležitostí zahrnující řadu dílčích tematických oblastí, která ovlivňují výslednou podobu osvětlení. Tato témata lze shrnout do následujících hledisek:

- *Hledisko vizuálně architektonické* - postihuje vizuální vzhled osvětlovací soustavy, tedy pohledové uplatnění svítidel v daném prostoru i vzhled osvětleného prostoru.
- *Hledisko světelně technické* - zahrnuje volbu světelně technických parametrů podle účelu a využití řešeného prostoru. Tyto parametry primárně zohledňují fyziologické a

bezpečností požadavky, ale také požadavky psychologické. V poslední době se začíná hovořit také o požadavcích biologických.

- *Hledisko provozně technické* - zahrnuje energetickou náročnost osvětlovací soustavy, její provoz a údržbu a také problematiku investičních i provozních nákladů.
- *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 například o kontrolu UV záření při osvětlování citlivých exponátů v muzeích a galeriích, oslnění uživatelů sousedících prostorů apod.

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 hlavní roli hrají fyziologická hlediska, vychází ze světelně technických 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 například ve společenských a kulturních prostorech jako jsou divadla, kina, restaurace apod. Poměrně složitá subjektivní povaha takového osvětlení neumožňuje jeho zjednodušené objektivní vyjádření současnými světelně technickými parametry. Osvětlení, které vychází z biologických hledisek uživatelů, není primárně zaměřeno na vytvoření světelného prostředí pro určitý zrakový úkol, ale využívá osvětlení pro ovlivnění biologického systému člověka (viz obr.2). Návrh tohoto typu osvětlení vychází z jiných požadavků, než jsou požadavky vizuální a energetická náročnost takovýchto osvětlovacích soustav je vyšší než energetická náročnost běžných osvětlovacích soustav.



Obr. 2. Křivky citlivosti jednotlivých receptorů v lidském oku v závislosti na vlnové délce (zelená – citlivost fotopických receptorů, modrá – citlivost skotopických receptorů, černá – citlivost cirkopických receptorů) [5].

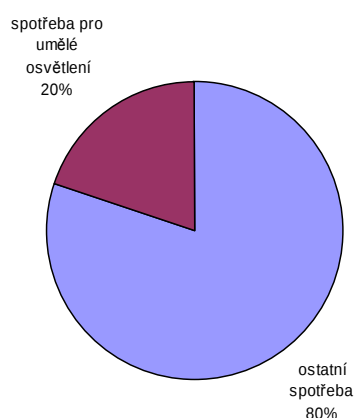
Energetická náročnost osvětlení je při posuzování osvětlovacích soustav až následným hlediskem, které lze formulovat tak, že požadované světelně technické parametry by měly být dosaženy energeticky co možná nejúčinnějším způsobem. Požadavky na nižší energetickou náročnost osvětlení nelze v žádném případě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

3 Energetická náročnost osvětlení

Úvahy o energetické náročnosti osvětlovací soustavy lze odlišit v závislosti na tom, zda se hodnotí navrhovaný, popřípadě nově realizovaný objekt nebo zda se posuzuje energetická náročnost stávající budovy.

- V prvním případě je přesně znám instalovaný příkon osvětlovací soustavy, ale dobu využití a případně i skutečný provozní příkon, je třeba určit na základě informací o předpokládaném charakteru provozu daného objektu. 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. 3). 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.

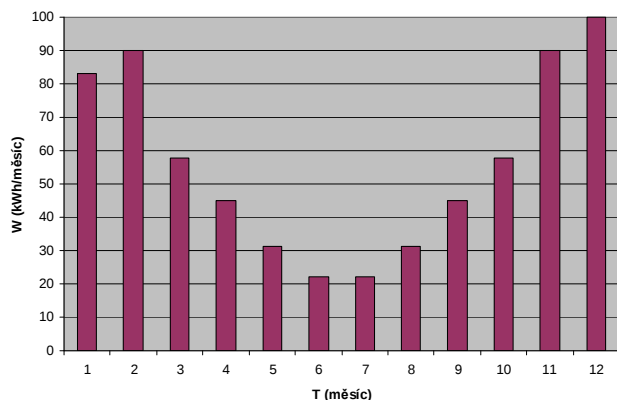
V obou případech se tedy pracuje s přibližnými hodnotami. Pro následný postup při hledání úsporných opatření a stanovení jejich návratnosti je důležité stanovit míru nepřesnosti tohoto odhadu. Proto, aby v budoucnu bylo možné objektivně hodnotit energetickou náročnost osvětlení objektů, je třeba zajistit přímé měření spotřeby elektrické energie pro osvětlení (obr. 4). Pokud se požadují informace o využití dílčích částí osvětlovací soustavy, je třeba použít řídicích systémů osvětlení, které jsou schopné zaznamenat průběh spotřeby jak celé osvětlovací soustavy, tak i jednotlivých svítidel (obr.5). 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 ovládání osvětlení.



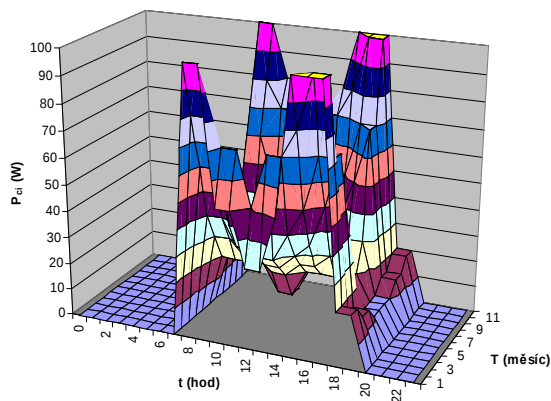
Obr. 3 Příklad odhadu energetické náročnosti umělého osvětlení jako poměru z celkové spotřeby objektu za určité časové období (např. rok).

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]. Pokud by došlo ke změně chování uživatelů, může dojít také k překročení směrných hodnot 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 příkonu. Na této informaci závisí případná volba účinných

úsporných opatření. Pokud tyto informace nebudou s dostatečnou přesností odlišeny, zvyšuje se míra nepřesnosti při stanovení účinnosti a návratnosti navržených úsporných opatření.



Obr.4 Příklad podrobnějšího zpracování výsledků měření spotřeby elektrické energie pro umělé osvětlení v měsíčních časových intervalech ve sledovaném ročním období.



Obr. 5 Příklad podrobného zpracování výsledků měření skutečného příkonu P_{ci} (W) vybraného svítidla sledované soustavy umělého osvětlení.

4 Strategie úsporných opatření

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

$$W = P_n \cdot t_0 \quad (\text{kWh/rok})$$

kde

P_n je celkový provozní příkon svítidel (kW)

t_0 provozní doba (hod/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, popřípadě 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;

Posuzování energetické náročnosti osvětlení má smysl pouze v případě, že osvětlení a tedy i světelné technické parametry v daném prostoru odpovídají jeho účelu a využití. V projektové fázi jsou dokladem o parametrech osvětlení protokoly světelné technických výpočtů. U již realizovaných budov jsou dokladem protokoly o měření provedené autorizovanou osobou.

4.1 Volba osvětlovací soustava

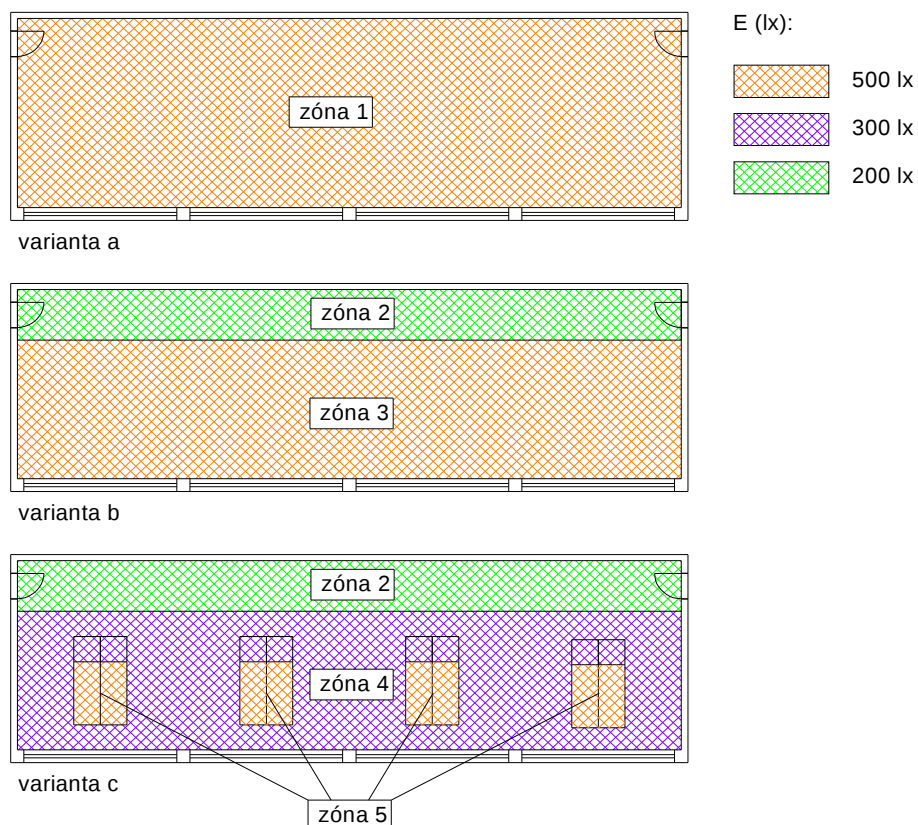
Osvětlovací soustava pro umělé osvětlení je soubor technických zařízení, která primárně slouží k vytvoření požadovaného světelného prostředí. Tento soubor tvoří svítidla, světelné zdroje, předřadníky, řídicí systémy a příslušenství. Zmíněná technická zařízení využívají ke svému provozu elektrickou energii, kterou přeměňují na energii světelnou. Osvětlovací soustavy lze rozlišit podle jejich typu a podle jejich charakteru. Jak typ, tak i charakter osvětlovací soustavy ovlivňuje její energetickou náročnost.

Hlavní normální osvětlení, které vychází z fyziologických požadavků uživatelů, lze realizovat třemi způsoby:

- 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. 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. 6). Každou funkčně vymezenou část je třeba přesně popsat z pohledu zrakové činnosti a požadovaných světelné technických 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 a soustavy 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. 6 je uveden příklad velkoprostorové kanceláře o rozloze 20 x 6 m. Požadovanou osvětlenost 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 vyplývá, 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.



Obr. 6 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%.

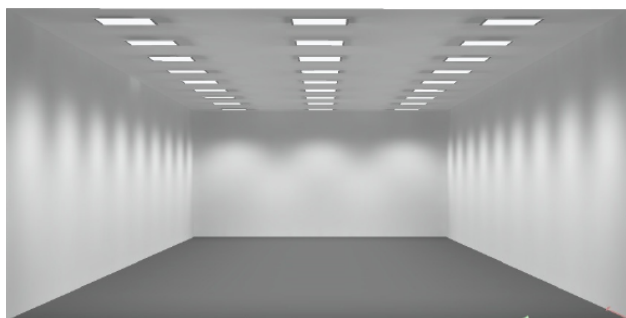
4.2 Volba technických prostředků

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 η (lm/W). U skupiny světelných zdrojů s vlastním reflektorem, které se používají pro směrové osvětlení, například 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 definované podmínky okolí a jejich měření se provádí mimo svítidlo. Při provozu ve svítidle se parametry některých světelných zdrojů mění, například vlivem teploty (zářivky, LED). Některé typy světelných zdrojů potřebují ke svému provozu 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 po provozu hodnoceného zdroje nezbytných předřadných zařízení.

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, případně pomocné obvody, včetně prostředků potřebných pro jejich připojení k síti. Z pohledu energetického hodnocení svítidel je důležitá jejich účinnost η_{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) [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 stanoví jako poměr světelného toku (lm) vyzařovaného všemi svítidly soustavy k jejich celkovému elektrickému příkonu (W). Na obr. 7 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 4x18 W s elektromagnetickými předřadníky, ve variantě 2 a 3 jsou použita svítidla s elektronickým předřadníkem pro zářivky 4x14 W, resp. 2x28 W.



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

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

Podhledové svítidlo	n (ks)	η (%)	Pi (W)	p ₁ (W/m ²)	p ₂ (W/m ² /100lx)
4x18 W	27	62	2 376	20	3,7
4x14 W	27	85	1 755	15	2,7
2x28 W	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 nevhodný.

4.3 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 dochází ke stárnutí osvětlovací soustavy

vlivem poklesu světelného toku světelných zdrojů, znečištěním svítidel a poklesem činitelů odrazů vnitřních ploch místností, musí být 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 velkoprostorové kanceláře, u kterých lze vytvářet různě velké prostorové jednotky. Velkoprostorovou kancelář lze například 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 nebo umožňuje nastavit světelný tok svítidel podle použitých svítidel, případně podle aktuálního dispozičního uspořádání prostoru.

4.4 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 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

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 výkon. Základními technikami při tomto úsporném opatření je kontrola přítomnosti nebo kontrola nepřítomnosti osob [2].

4.6 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 do určité doby, například do půlnoci. Po této době je již účinnost osvětlení z pohledu obchodního minimální a proto je možné jej vypnout, nebo přepnout do redukováného režimu, který plní například funkci bezpečnostní.

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
- [5] Berman S.M., New Discoveries in Vision Affect Lighting Practice, Lawrence Berkeley National Laboratory

ENERGETICKÁ NÁROČNOST OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV

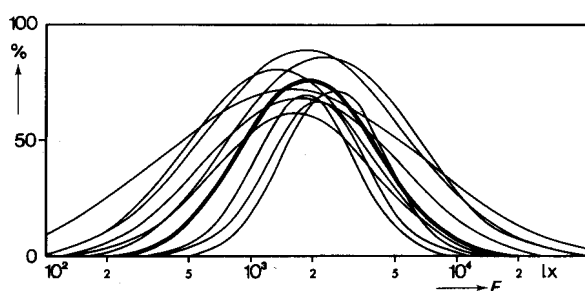
Ing. Petr Žák, Ph.D.

Etna s.r.o., Mečislavova 2, Praha 4, zak@etna.cz

Problematicke energetické náročnosti a úspor elektrické energie je pozornost věnována již řadu let. V posledním desetiletí se v důsledku diskuze o globálním oteplování a jeho dopadech zvýšil tlak na rychlejší zavádění postupů týkajících se snižování energetické náročnosti budov a jejího hodnocení do praxe. Příspěvek se věnuje vztahu mezi světelně technickými parametry a energetickou náročností osvětlení a popisuje možné směry v hledání energeticky účinných osvětlovacích soustav.

1 Úvod

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



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

Optimální hodnoty světelně technických 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

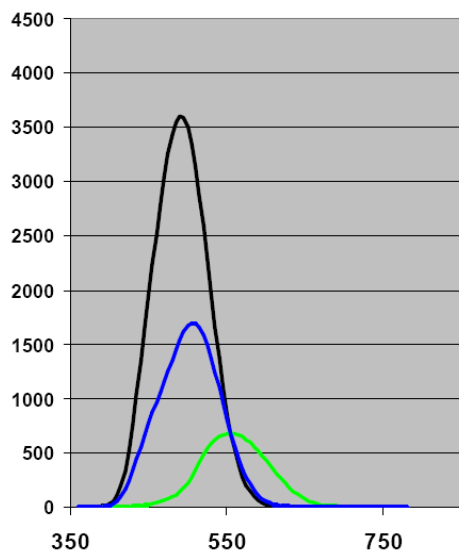
Návrh osvětlení je poměrně komplexní záležitostí zahrnující řadu dílčích tematických oblastí, která ovlivňují výslednou podobu osvětlení. Tato témata lze shrnout do následujících hledisek:

- *Hledisko vizuálně architektonické* - postihuje vizuální vzhled osvětlovací soustavy, tedy pohledové uplatnění svítidel v daném prostoru i vzhled osvětleného prostoru.
- *Hledisko světelně technické* - zahrnuje volbu světelně technických parametrů podle účelu a využití řešeného prostoru. Tyto parametry primárně zohledňují fyziologické a

bezpečností požadavky, ale také požadavky psychologické. V poslední době se začíná hovořit také o požadavcích biologických.

- *Hledisko provozně technické* - zahrnuje energetickou náročnost osvětlovací soustavy, její provoz a údržbu a také problematiku investičních i provozních nákladů.
- *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 například o kontrolu UV záření při osvětlování citlivých exponátů v muzeích a galeriích, oslnění uživatelů sousedících prostorů apod.

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 hlavní roli hrají fyziologická hlediska, vychází ze světelně technických 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 například ve společenských a kulturních prostorech jako jsou divadla, kina, restaurace apod. Poměrně složitá subjektivní povaha takového osvětlení neumožňuje jeho zjednodušené objektivní vyjádření současnými světelně technickými parametry. Osvětlení, které vychází z biologických hledisek uživatelů, není primárně zaměřeno na vytvoření světelného prostředí pro určitý zrakový úkol, ale využívá osvětlení pro ovlivnění biologického systému člověka (viz obr.2). Návrh tohoto typu osvětlení vychází z jiných požadavků, než jsou požadavky vizuální a energetická náročnost takovýchto osvětlovacích soustav je vyšší než energetická náročnost běžných osvětlovacích soustav.



Obr. 2. Křivky citlivosti jednotlivých receptorů v lidském oku v závislosti na vlnové délce (zelená – citlivost fotopických receptorů, modrá – citlivost skotopických receptorů, černá – citlivost cirkopických receptorů) [5].

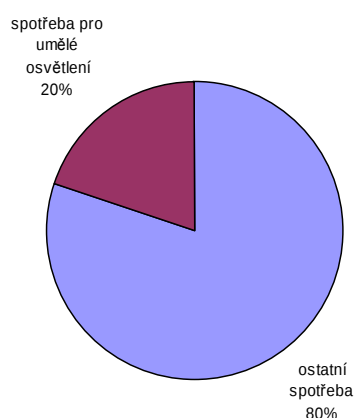
Energetická náročnost osvětlení je při posuzování osvětlovacích soustav až následným hlediskem, které lze formulovat tak, že požadované světelně technické parametry by měly být dosaženy energeticky co možná nejúčinnějším způsobem. Požadavky na nižší energetickou náročnost osvětlení nelze v žádném případě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

3 Energetická náročnost osvětlení

Úvahy o energetické náročnosti osvětlovací soustavy lze odlišit v závislosti na tom, zda se hodnotí navrhovaný, popřípadě nově realizovaný objekt nebo zda se posuzuje energetická náročnost stávající budovy.

- V prvním případě je přesně znám instalovaný příkon osvětlovací soustavy, ale dobu využití a případně i skutečný provozní příkon, je třeba určit na základě informací o předpokládaném charakteru provozu daného objektu. 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. 3). 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.

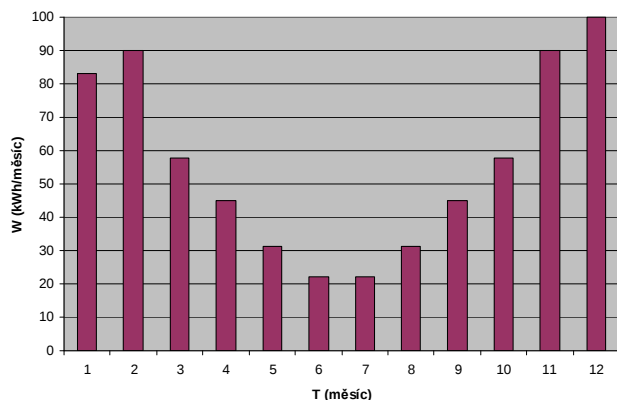
V obou případech se tedy pracuje s přibližnými hodnotami. Pro následný postup při hledání úsporných opatření a stanovení jejich návratnosti je důležité stanovit míru nepřesnosti tohoto odhadu. Proto, aby v budoucnu bylo možné objektivně hodnotit energetickou náročnost osvětlení objektů, je třeba zajistit přímé měření spotřeby elektrické energie pro osvětlení (obr. 4). Pokud se požadují informace o využití dílčích částí osvětlovací soustavy, je třeba použít řídicích systémů osvětlení, které jsou schopné zaznamenat průběh spotřeby jak celé osvětlovací soustavy, tak i jednotlivých svítidel (obr.5). 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 ovládání osvětlení.



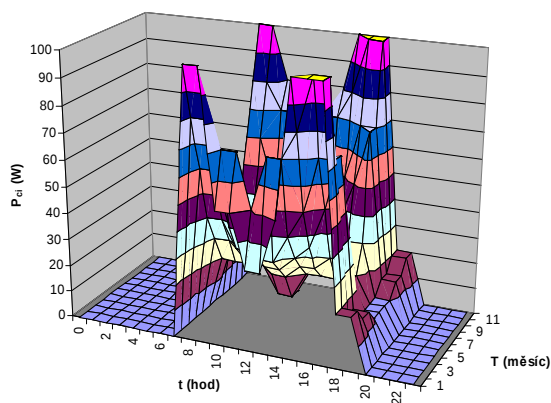
Obr. 3 Příklad odhadu energetické náročnosti umělého osvětlení jako poměru z celkové spotřeby objektu za určité časové období (např. rok).

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]. Pokud by došlo ke změně chování uživatelů, může dojít také k překročení směrných hodnot 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 příkonu. Na této informaci závisí případná volba účinných

úsporných opatření. Pokud tyto informace nebudou s dostatečnou přesností odlišeny, zvyšuje se míra nepřesnosti při stanovení účinnosti a návratnosti navržených úsporných opatření.



Obr.4 Příklad podrobnějšího zpracování výsledků měření spotřeby elektrické energie pro umělé osvětlení v měsíčních časových intervalech ve sledovaném ročním období.



Obr. 5 Příklad podrobného zpracování výsledků měření skutečného příkonu P_{ci} (W) vybraného svítidla sledované soustavy umělého osvětlení.

4 Strategie úsporných opatření

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

$$W = P_n \cdot t_0 \quad (\text{kWh/rok})$$

kde

P_n je celkový provozní příkon svítidel (kW)

t_0 provozní doba (hod/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, popřípadě 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;

Posuzování energetické náročnosti osvětlení má smysl pouze v případě, že osvětlení a tedy i světelné technické parametry v daném prostoru odpovídají jeho účelu a využití. V projektové fázi jsou dokladem o parametrech osvětlení protokoly světelně technických výpočtů. U již realizovaných budov jsou dokladem protokoly o měření provedené autorizovanou osobou.

4.1 Volba osvětlovací soustava

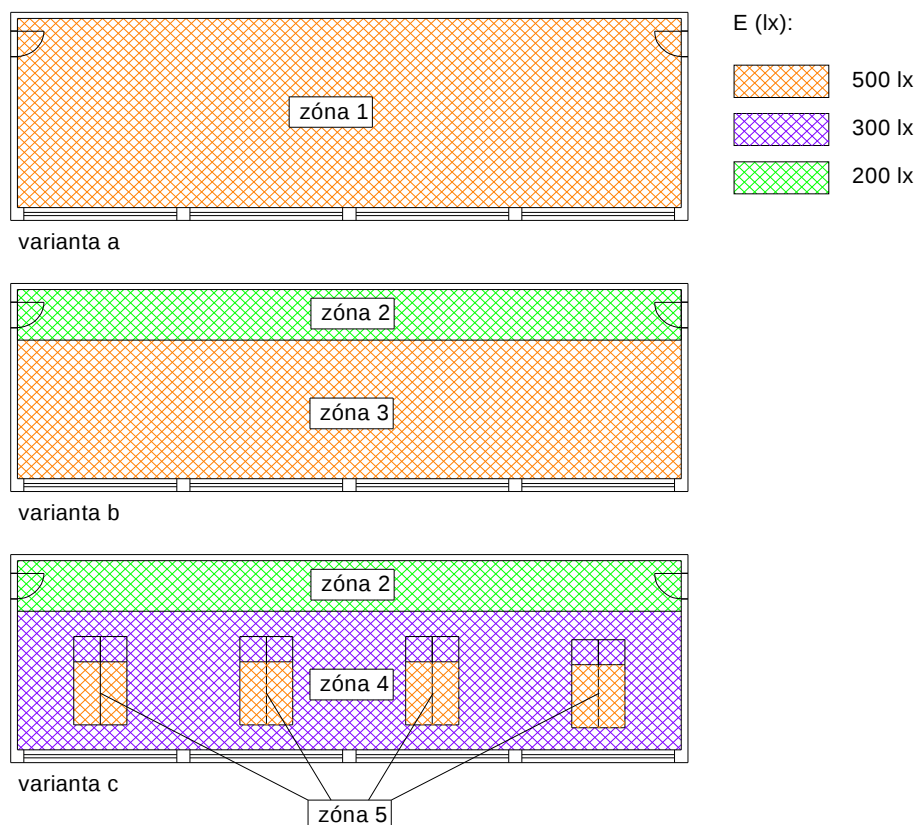
Osvětlovací soustava pro umělé osvětlení je soubor technických zařízení, která primárně slouží k vytvoření požadovaného světelného prostředí. Tento soubor tvoří svítidla, světelné zdroje, předřadníky, řídicí systémy a příslušenství. Zmíněná technická zařízení využívají ke svému provozu elektrickou energii, kterou přeměňují na energii světelnou. Osvětlovací soustavy lze rozlišit podle jejich typu a podle jejich charakteru. Jak typ, tak i charakter osvětlovací soustavy ovlivňuje její energetickou náročnost.

Hlavní normální osvětlení, které vychází z fyziologických požadavků uživatelů, lze realizovat třemi způsoby:

- 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. 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. 6). Každou funkčně vymezenou část je třeba přesně popsat z pohledu zrakové činnosti a požadovaných světelně technických 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 a soustavy 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. 6 je uveden příklad velkoprostorové kanceláře o rozloze 20 x 6 m. Požadovanou osvětlenost 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 vyplývá, 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.



Obr. 6 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%.

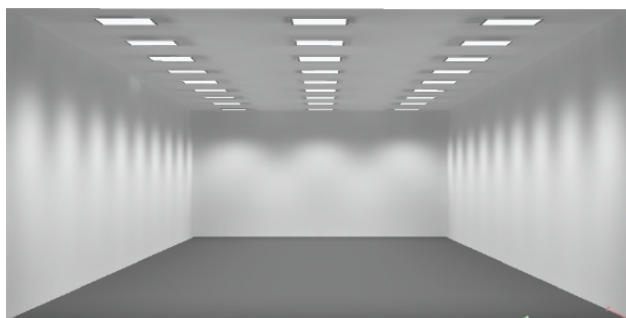
4.2 Volba technických prostředků

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 η (lm/W). U skupiny světelných zdrojů s vlastním reflektorem, které se používají pro směrové osvětlení, například 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 definované podmínky okolí a jejich měření se provádí mimo svítidlo. Při provozu ve svítidle se parametry některých světelných zdrojů mění, například vlivem teploty (zářivky, LED). Některé typy světelných zdrojů potřebují ke svému provozu 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 po provozu hodnoceného zdroje nezbytných předřadných zařízení.

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, případně pomocné obvody, včetně prostředků potřebných pro jejich připojení k síti. Z pohledu energetického hodnocení svítidel je důležitá jejich účinnost η_{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) [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 stanoví jako poměr světelného toku (lm) vyzařovaného všemi svítidly soustavy k jejich celkovému elektrickému příkonu (W). Na obr. 7 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 4x18 W s elektromagnetickými předřadníky, ve variantě 2 a 3 jsou použita svítidla s elektronickým předřadníkem pro zářivky 4x14 W, resp. 2x28 W.



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

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

Podhledové svítidlo	n (ks)	η (%)	Pi (W)	p ₁ (W/m ²)	p ₂ (W/m ² /100lx)
4x18 W	27	62	2 376	20	3,7
4x14 W	27	85	1 755	15	2,7
2x28 W	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 nevhodný.

4.3 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 dochází ke stárnutí osvětlovací soustavy

vlivem poklesu světelného toku světelných zdrojů, znečištěním svítidel a poklesem činitelů odrazů vnitřních ploch místností, musí být 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 velkoprostorové kanceláře, u kterých lze vytvářet různě velké prostorové jednotky. Velkoprostorovou kancelář lze například 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 nebo umožňuje nastavit světelný tok svítidel podle použitých svítidel, případně podle aktuálního dispozičního uspořádání prostoru.

4.4 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 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

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 výkon. Základními technikami při tomto úsporném opatření je kontrola přítomnosti nebo kontrola nepřítomnosti osob [2].

4.6 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 do určité doby, například do půlnoci. Po této době je již účinnost osvětlení z pohledu obchodního minimální a proto je možné jej vypnout, nebo přepnout do redukováného režimu, který plní například funkci bezpečnostní.

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
- [5] Berman S.M., New Discoveries in Vision Affect Lighting Practice, Lawrence Berkeley National Laboratory

ENERGETICKÁ NÁROČNOST OSVĚTLOVACÍCH SOUSTAV

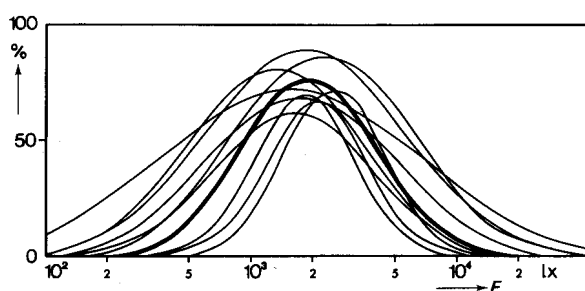
Ing. Petr Žák, Ph.D.

Etna s.r.o., Mečislavova 2, Praha 4, zak@etna.cz

Problematicke energetické náročnosti a úspor elektrické energie je pozornost věnována již řadu let. V posledním desetiletí se v důsledku diskuze o globálním oteplování a jeho dopadech zvýšil tlak na rychlejší zavádění postupů týkajících se snižování energetické náročnosti budov a jejího hodnocení do praxe. Příspěvek se věnuje vztahu mezi světelně technickými parametry a energetickou náročností osvětlení a popisuje možné směry v hledání energeticky účinných osvětlovacích soustav.

1 Úvod

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



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

Optimální hodnoty světelně technických 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

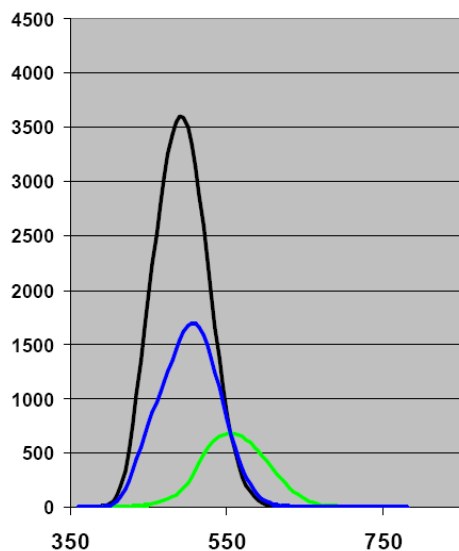
Návrh osvětlení je poměrně komplexní záležitostí zahrnující řadu dílčích tematických oblastí, která ovlivňují výslednou podobu osvětlení. Tato témata lze shrnout do následujících hledisek:

- *Hledisko vizuálně architektonické* - postihuje vizuální vzhled osvětlovací soustavy, tedy pohledové uplatnění svítidel v daném prostoru i vzhled osvětleného prostoru.
- *Hledisko světelně technické* - zahrnuje volbu světelně technických parametrů podle účelu a využití řešeného prostoru. Tyto parametry primárně zohledňují fyziologické a

bezpečností požadavky, ale také požadavky psychologické. V poslední době se začíná hovořit také o požadavcích biologických.

- *Hledisko provozně technické* - zahrnuje energetickou náročnost osvětlovací soustavy, její provoz a údržbu a také problematiku investičních i provozních nákladů.
- *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 například o kontrolu UV záření při osvětlování citlivých exponátů v muzeích a galeriích, oslnění uživatelů sousedících prostorů apod.

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 hlavní roli hrají fyziologická hlediska, vychází ze světelně technických 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 například ve společenských a kulturních prostorech jako jsou divadla, kina, restaurace apod. Poměrně složitá subjektivní povaha takového osvětlení neumožňuje jeho zjednodušené objektivní vyjádření současnými světelně technickými parametry. Osvětlení, které vychází z biologických hledisek uživatelů, není primárně zaměřeno na vytvoření světelného prostředí pro určitý zrakový úkol, ale využívá osvětlení pro ovlivnění biologického systému člověka (viz obr.2). Návrh tohoto typu osvětlení vychází z jiných požadavků, než jsou požadavky vizuální a energetická náročnost takovýchto osvětlovacích soustav je vyšší než energetická náročnost běžných osvětlovacích soustav.



Obr. 2. Křivky citlivosti jednotlivých receptorů v lidském oku v závislosti na vlnové délce (zelená – citlivost fotopických receptorů, modrá – citlivost skotopických receptorů, černá – citlivost cirkopických receptorů) [5].

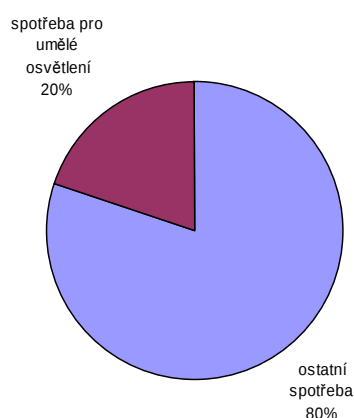
Energetická náročnost osvětlení je při posuzování osvětlovacích soustav až následným hlediskem, které lze formulovat tak, že požadované světelně technické parametry by měly být dosaženy energeticky co možná nejúčinnějším způsobem. Požadavky na nižší energetickou náročnost osvětlení nelze v žádném případě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

3 Energetická náročnost osvětlení

Úvahy o energetické náročnosti osvětlovací soustavy lze odlišit v závislosti na tom, zda se hodnotí navrhovaný, popřípadě nově realizovaný objekt nebo zda se posuzuje energetická náročnost stávající budovy.

- V prvním případě je přesně znám instalovaný příkon osvětlovací soustavy, ale dobu využití a případně i skutečný provozní příkon, je třeba určit na základě informací o předpokládaném charakteru provozu daného objektu. 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. 3). 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.

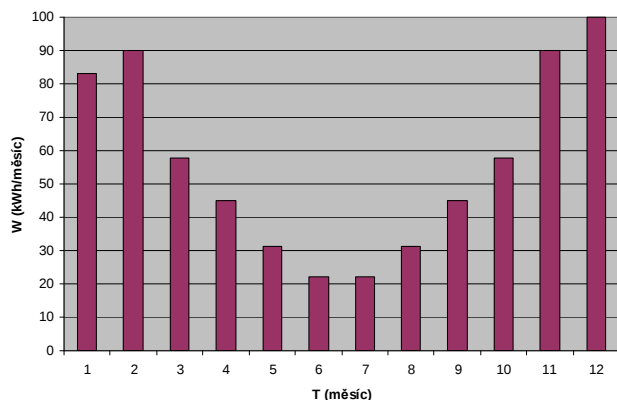
V obou případech se tedy pracuje s přibližnými hodnotami. Pro následný postup při hledání úsporných opatření a stanovení jejich návratnosti je důležité stanovit míru nepřesnosti tohoto odhadu. Proto, aby v budoucnu bylo možné objektivně hodnotit energetickou náročnost osvětlení objektů, je třeba zajistit přímé měření spotřeby elektrické energie pro osvětlení (obr. 4). Pokud se požadují informace o využití dílčích částí osvětlovací soustavy, je třeba použít řídicích systémů osvětlení, které jsou schopné zaznamenat průběh spotřeby jak celé osvětlovací soustavy, tak i jednotlivých svítidel (obr.5). 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 ovládání osvětlení.



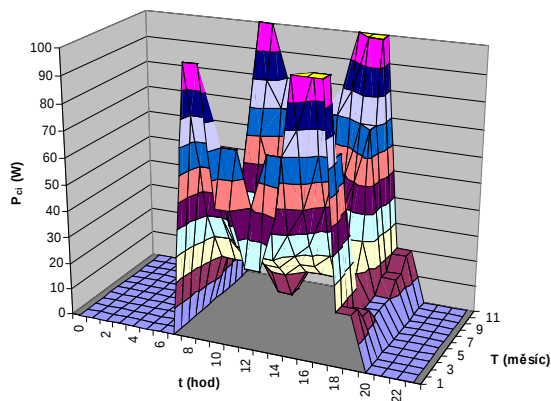
Obr. 3 Příklad odhadu energetické náročnosti umělého osvětlení jako poměru z celkové spotřeby objektu za určité časové období (např. rok).

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]. Pokud by došlo ke změně chování uživatelů, může dojít také k překročení směrnych hodnot 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 příkonu. Na této informaci závisí případná volba účinných

úsporných opatření. Pokud tyto informace nebudou s dostatečnou přesností odlišeny, zvyšuje se míra nepřesnosti při stanovení účinnosti a návratnosti navržených úsporných opatření.



Obr.4 Příklad podrobnějšího zpracování výsledků měření spotřeby elektrické energie pro umělé osvětlení v měsíčních časových intervalech ve sledovaném ročním období.



Obr. 5 Příklad podrobného zpracování výsledků měření skutečného příkonu P_{ci} (W) vybraného svítidla sledované soustavy umělého osvětlení.

4 Strategie úsporných opatření

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

$$W = P_n \cdot t_0 \quad (\text{kWh/rok})$$

kde

P_n je celkový provozní příkon svítidel (kW)

t_0 provozní doba (hod/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, popřípadě 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;

Posuzování energetické náročnosti osvětlení má smysl pouze v případě, že osvětlení a tedy i světelné technické parametry v daném prostoru odpovídají jeho účelu a využití. V projektové fázi jsou dokladem o parametrech osvětlení protokoly světelné technických výpočtů. U již realizovaných budov jsou dokladem protokoly o měření provedené autorizovanou osobou.

4.1 Volba osvětlovací soustava

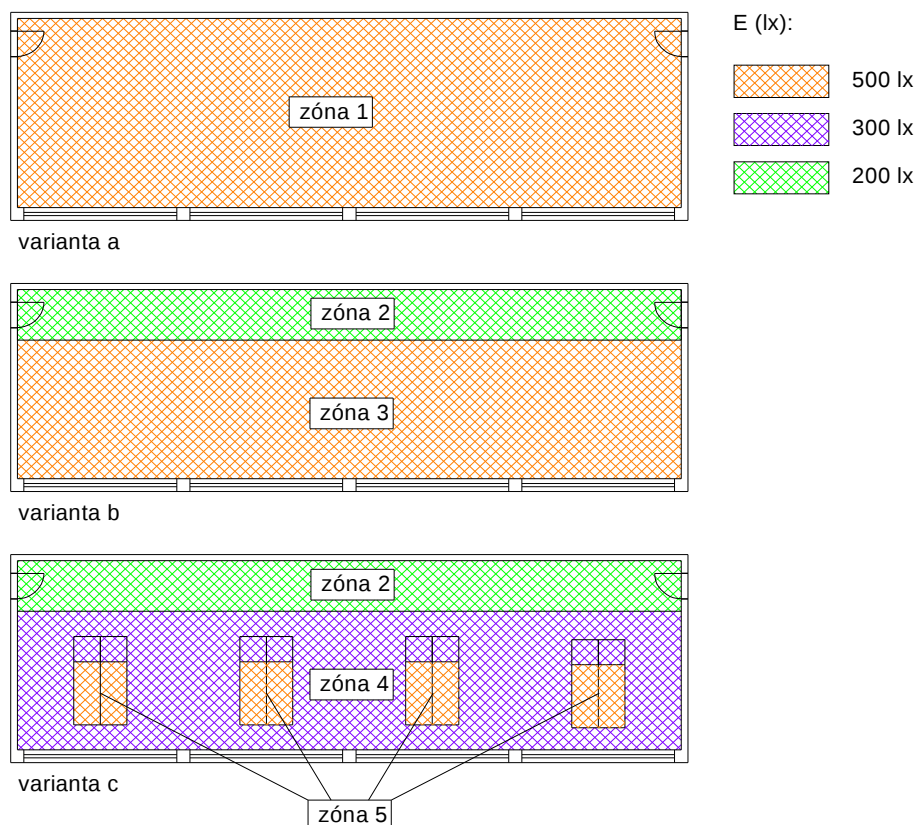
Osvětlovací soustava pro umělé osvětlení je soubor technických zařízení, která primárně slouží k vytvoření požadovaného světelného prostředí. Tento soubor tvoří svítidla, světelné zdroje, předřadníky, řídicí systémy a příslušenství. Zmíněná technická zařízení využívají ke svému provozu elektrickou energii, kterou přeměňují na energii světelnou. Osvětlovací soustavy lze rozlišit podle jejich typu a podle jejich charakteru. Jak typ, tak i charakter osvětlovací soustavy ovlivňuje její energetickou náročnost.

Hlavní normální osvětlení, které vychází z fyziologických požadavků uživatelů, lze realizovat třemi způsoby:

- 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. 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. 6). Každou funkčně vymezenou část je třeba přesně popsat z pohledu zrakové činnosti a požadovaných světelné technických 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 a soustavy 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. 6 je uveden příklad velkoprostorové kanceláře o rozloze 20 x 6 m. Požadovanou osvětlenost 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 vyplývá, 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.



Obr. 6 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%.

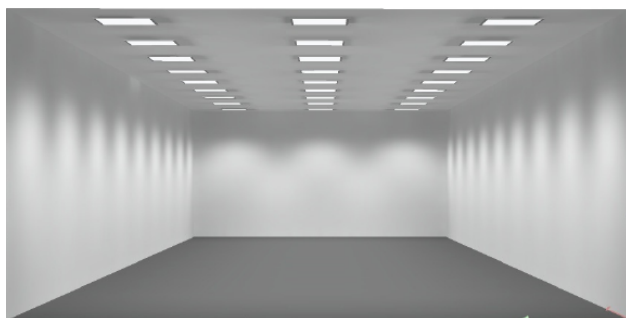
4.2 Volba technických prostředků

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 η (lm/W). U skupiny světelných zdrojů s vlastním reflektorem, které se používají pro směrové osvětlení, například 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 definované podmínky okolí a jejich měření se provádí mimo svítidlo. Při provozu ve svítidle se parametry některých světelných zdrojů mění, například vlivem teploty (zářivky, LED). Některé typy světelných zdrojů potřebují ke svému provozu 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 po provozu hodnoceného zdroje nezbytných předřadných zařízení.

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, případně pomocné obvody, včetně prostředků potřebných pro jejich připojení k síti. Z pohledu energetického hodnocení svítidel je důležitá jejich účinnost η_{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) [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 stanoví jako poměr světelného toku (lm) vyzařovaného všemi svítidly soustavy k jejich celkovému elektrickému příkonu (W). Na obr. 7 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 4x18 W s elektromagnetickými předřadníky, ve variantě 2 a 3 jsou použita svítidla s elektronickým předřadníkem pro zářivky 4x14 W, resp. 2x28 W.



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

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

Podhledové svítidlo	n (ks)	η (%)	Pi (W)	p ₁ (W/m ²)	p ₂ (W/m ² /100lx)
4x18 W	27	62	2 376	20	3,7
4x14 W	27	85	1 755	15	2,7
2x28 W	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 nevhodný.

4.3 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 dochází ke stárnutí osvětlovací soustavy

vlivem poklesu světelného toku světelných zdrojů, znečištěním svítidel a poklesem činitelů odrazů vnitřních ploch místností, musí být 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 velkoprostorové kanceláře, u kterých lze vytvářet různě velké prostorové jednotky. Velkoprostorovou kancelář lze například 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 nebo umožňuje nastavit světelný tok svítidel podle použitých svítidel, případně podle aktuálního dispozičního uspořádání prostoru.

4.4 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 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

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 výkon. Základními technikami při tomto úsporném opatření je kontrola přítomnosti nebo kontrola nepřítomnosti osob [2].

4.6 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 do určité doby, například do půlnoci. Po této době je již účinnost osvětlení z pohledu obchodního minimální a proto je možné je vypnout, nebo přepnout do redukováného režimu, který plní například funkci bezpečnostní.

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
- [5] Berman S.M., New Discoveries in Vision Affect Lighting Practice, Lawrence Berkeley National Laboratory