

# Zdravotné aspekty denného osvetlenia pri práci

Richard Drahoš<sup>1,2</sup>, Milan DRAHOŠ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> D2R engineering, s.r.o., Na letisko 42, 058 01 Poprad, Slovensko, d2r@d2r.sk

<sup>2</sup> Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky a riadenia procesov, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovensko, richard.drahos@d2r.sk

## 1. Úvod

Osvetlenie ako fyzikálny faktor pracovného prostredia okrem bezpečnosti má zabezpečiť zrakovú pohodu a zrakový výkon zamestnancov pri práci. Za účelom vytvorenia optimálnych svetelných podmienok pri práci sú v § 36 zákona č. 355/2007 Z.z. [1] ustanovené základné povinnosti zamestnávateľov v tomto znení:

- zabezpečiť dostatočné osvetlenie pracovných priestorov,
- pracoviská, na ktorých je potrebné združené osvetlenie, alebo pracoviská bez denného osvetlenia možno prevádzkovať, len ak z technických alebo prevádzkových dôvodov nie je možné zabezpečiť denné osvetlenie,
- na pracoviskách bez denného osvetlenia ochranu zdravia zamestnancov zabezpečiť náhradnými opatreniami.

Požiadavky na denné, umelé a združené osvetlenie pracovísk a na osvetlenie pracovísk bez denného osvetlenia sú ustanovené vo vyhláske MZ SR č. 541/2007 Z.z. [2] a požiadavky na umelé osvetlenie miest zrakových úloh (aj priestorov) sú ustanovené v technickej norme STN EN 12464-1:2004 [3].

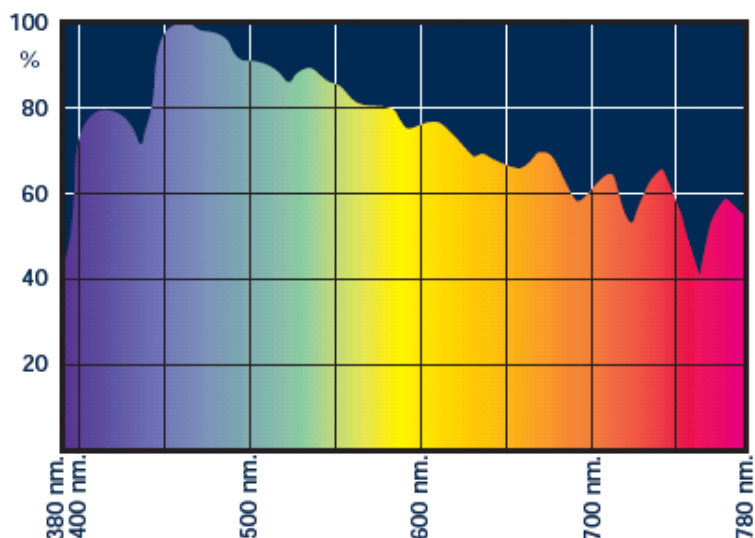
Za pracovisko bez denného osvetlenia sa považuje pracovisko vo vnútorných priestoroch bez osvetľovacích otvorov alebo s osvetľovacími otvormi, v ktorých nie sú splnené požiadavky na denné ani združené osvetlenie.

Priestory bez denného osvetlenia, okrem technologických a prevádzkových dôvodov sa zriaďujú v oddelených častiach veľkoplošných objektov napr. v hypermarketoch, obchodno-zábavných centrách a pod..

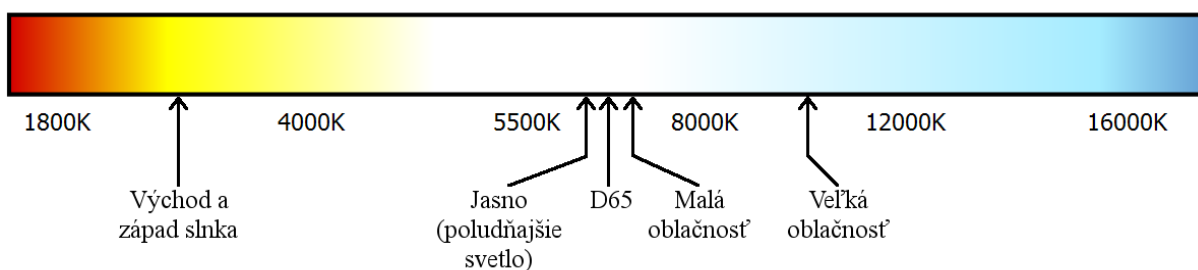
## 2. Účinok a význam denného svetla

Svetlo je viditeľné žiarenie resp. žiarivá energia šíriaca sa v podobe elektromagnetických vln, ktorých vlnová dĺžka je v rozmedzí od 380 nm do 780 nm. Okrem toho, že svetlo podmieňuje naše videnie (zrakový vnem) je dôležitým faktorom vonkajšieho prostredia organizmu, ktorý má veľký vplyv na priebeh vegetatívnych funkcií organizmu.

Účinok denného svetla na organizmus závisí od jeho intenzity, od spektrálneho zloženia, od dĺžky pôsobenia (trvanie expozície, dĺžky dňa a pod.), ale aj od polarizácie. Na obrázku 1 je zobrazené spektrálne zloženie denného svetla a na obrázku 2 je uvedená teplota chromatickosti denného svetla v závislosti od časového úseku dňa a stavu atmosféry.

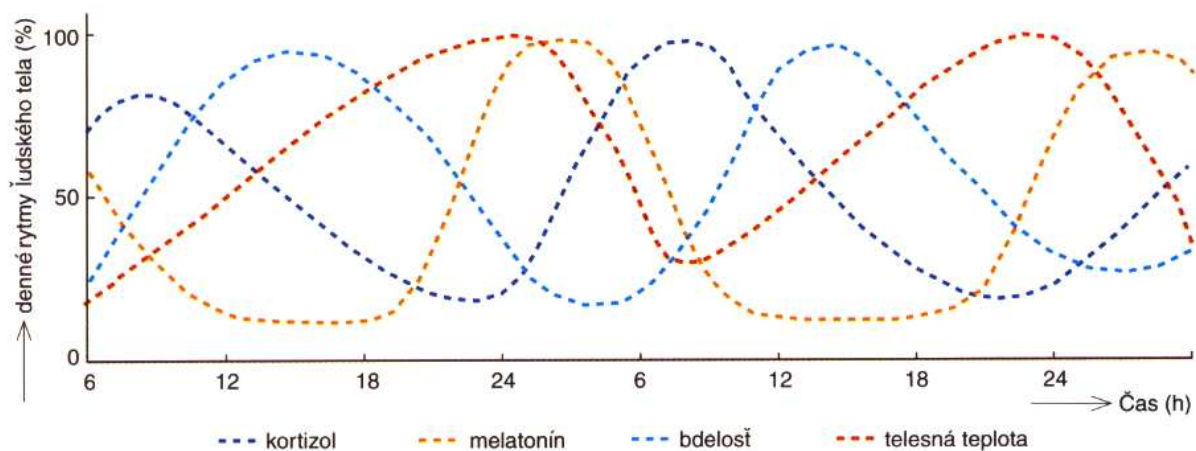


Obrázok č. 1: Spektrálne zloženie denného svetla



Obrázok 2 Teplota chromatickosti denného svetla v závislosti od časového úseku dňa a stavu atmosféry

V centrálnej nervovej sústave cicavcov sa pod krížením zrakových nervov nachádzajú suprachiazmatické jadrá (SCN), centrálné biologické hodiny, ktoré okrem iného riadia hladiny hormónov v krvi (melatonínu, kortizolu), telesnú teplotu, spánok a bdelosť. Melatonín je hormón spánku, telesnej regenerácie a „zachytáva“ v tele voľné radikály a ničí rakovinové bunky. Kortizol je naopak hormón aktivity, stresu a pohybu. Príklad priebehu denných rytmov ľudského tela je na obrázku 3.

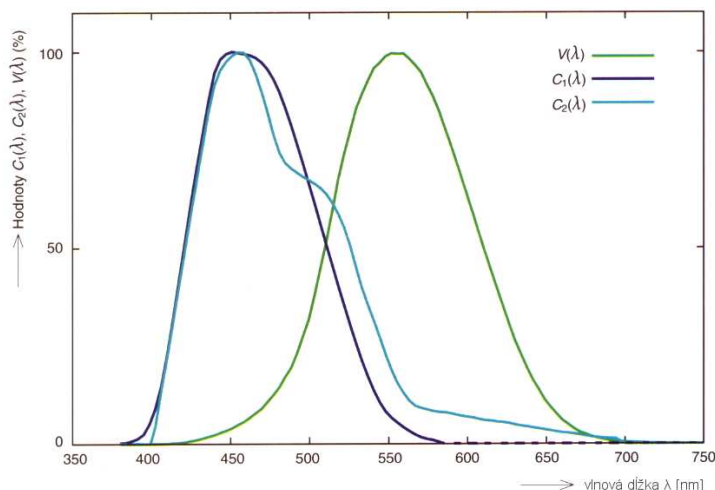


Obrázok č. 3: Príklad priebehu denných rytmov ľudského tela

Centrálne biologické hodiny sa každý deň nastavujú pôsobením svetla a zároveň synchronizujú aj vnútorné hodiny jednotlivých orgánov.

V poslednom období sa hovorí o novom fotoreceptore - svetlocitlivých sietnicových bunkách (ipRGC), ktoré obsahujú farbivo melatopsín. Tieto bunky sa vyskytujú po celej sietnici a dávajú centrálnym hodinám podnet k nastaveniu, podieľajú sa na reflexe sťahovania zorníc a možno aj na formovaní zrakového vnemu. Maximálna citlivosť týchto buniek sa uvádza v oblasti vlnových dĺžok 450 až 482 nm. Pre citlivosť týchto buniek na modré svetlo a rozloženie na sietnici sa označujú ako detektor modrého neba a súhrne sa nazývajú cirkadiánnym čidlom [4].

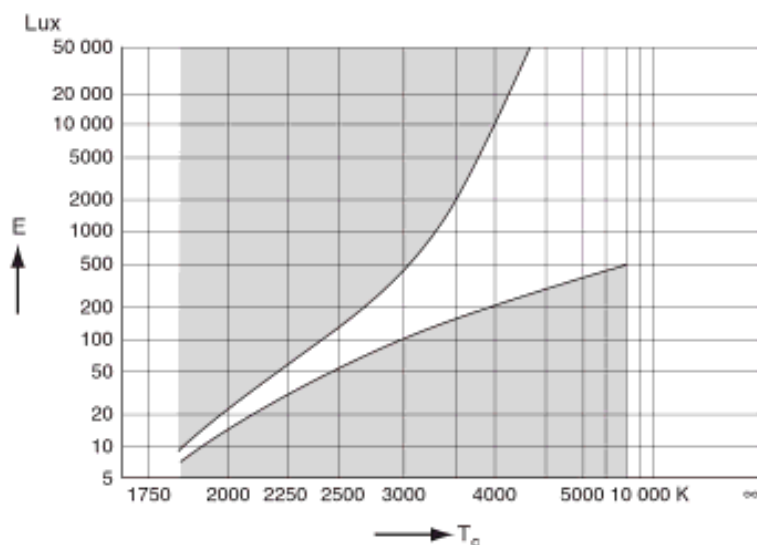
Najnovšie výskumy ukazujú, že na synchronizácii centrálnych hodín sa podieľajú ako cirkadiánne čidlo, tak aj čípkky a určitú rolu má aj trvanie expozície. Pri porovnaní expozície úzkopásmových žiarení o dominantných vlnových dĺžkach 460 a 555 nm sa ukázalo, že ich účinok na pokles melatonínu je zo začiatku rovnaký, avšak u zeleného svetla po 90 minútach takmer vymizne, pričom u modrého svetla je pôsobenie trvalé. Na obrázku 4 sú znázornené priebehy pomernej citlivosti cirkadiánného čidla  $C(\lambda)$  a krivky spektrálnej citlivosti ľudského zraku  $V(\lambda)$ . Priebeh  $C_1(\lambda)$  vystihuje citlivosť pri dlhodobom pôsobení a priebeh  $C_2(\lambda)$  čiastočne zohľadňuje aj krátkodobé pôsobenie. Z týchto poznatkov sa uvádzajú dva druhy účinkov – pokles hladiny melatonínu a fázový posun biologických hodín.



Obrázok 4 Priebehy pomernej citlivosti cirkadiánného čidla  $C(\lambda)$  a krivky spektrálnej citlivosti ľudského zraku  $V(\lambda)$

Odbúranie melatonínu po zobudení a udržiavanie nízkej hladiny počas dňa sa považuje za viac ako žiaduce, pretože spúšťa množstvo procesov vedúcich k aktivite, vyššej bdlosti a sústredeniu.

Použitím svetelných zdrojov s vyššou teplotou chromatickosti sa zvyčajne zvýši zastúpenie vlnových dĺžok svetla (zvýšený modrý podiel), t.j. vlnových dĺžok z oblasti cirkadiánnnej citlivosti. Podľa Kruithofovho diagramu (obrázok č. 5) to znamená vyššie požiadavky na osvetlenie pracovísk. Vyššia osvetlenosť a vyššia teplota chromatickosti má ekonomický prínos v podobe kvalitnejšej práce, zníženia stresu, lepšieho využitia pracovného času a zníženia práceneschopnosti.



Obrázok 5 Kruithofov diagram

Okrem denných rytmov sú známe napr. fyziologické rytmy prílivu a odlivu a rytmy týždenné, mesačné a ročné. Nedostatok denného svetla napr. v zime prispieva nielen k zimnej ospalosti a potrebe dlhšieho spánku, ale aj k sezónnej emočnej poruche (SAD), známej ako zimná depresia.

### 3. Cirkadiánne veličiny

Analogicky k fotometrickým veličinám sa v súčasnosti zavádzajú cirkadiánne veličiny, napr. cirkadiánna účinnosť s označením  $a_{cv}$  alebo index cirkadiánneho aktivačného účinku s označením  $A_c$ , ktorý umožňuje porovnávať svetelné zdroje z hľadiska ich cirkadiánneho účinku. Normované svetlo CIE D 65 (denné svetlo) má  $A_c = 100\%$  (referenčná hodnota).

V tabuľke č. 1 sú uvedené hodnoty indexu cirkadiánneho aktivačného účinku pre bežné typy svetelných zdrojov.

Svetelný zdroj	Špecifikácia zdroja	$A_c$ (-)	
Denné svetlo (štandardizované)	D 65 6500 K	100	
Žiarivka	Teplá biela 827	27	
	Chladná biela 840	55	
	Denná biela 950	83	
	Chladná denná biela 965	95 – 105	
	Modrá (farebná žiarivka)	Philips TL-D Blue	740
Žiarovka	2800 K	36	
Halogénová žiarovka	2900 K	40	
Výbojka	Sodíková	Vysokotlaká	8 – 13
	Sodíková	Nízkotlaká	0,2
	Halogenidová 942	4200 K	69
	Halogenidová 965	6500 K	100

#### 4. Požiadavky na osvetlenie na pracoviskách bez denného osvetlenia

V prílohe č. 4 k vyhláške MZ SR č. 541/2077 Z.z. sú ustanovené najnižšie prípustné hodnoty udržiavanej osvetlenosti  $\bar{E}_{m,p}$  z celkového umelého osvetlenia pre dlhodobý pobyt zamestnanca počas dňa. Za dlhodobý pobyt zamestnanca na pracovisku sa považuje pobyt, ktorý trvá v priebehu jedného dňa alebo pracovnej zmeny dlhšie ako 4 hodiny a opakuje sa pri umelom osvetlení najmenej počas 30 dní v roku.

Najnižšie prípustné hodnoty udržiavanej osvetlenosti z celkového umelého osvetlenia závisia od preukázateľnosti organizačno-technických (náhradných) opatrení, ktoré majú znížiť nepriaznivý vplyv dlhodobého pobytu v priestoroch bez denného osvetlenia na zdravie zamestnancov, najmä na biologické funkcie organizmu. Preto z dôvodu ochrany zdravia musí zamestnávateľ umožniť zamestnancom dostatočne dlhý kontakt s denným svetlom rôznymi organizačnými opatreniami, napr.:

- prestávkami v práci a pobytom v priestoroch s denným osvetlením, a to v trvaní najmenej 2 hodiny, začínajúcimi najneskôr o 12,00 hodine,
- skráteným pracovným časom alebo úpravou pracovného času tak, aby začínal po 11,00 hodine alebo končil najneskôr po 13,00 hodine,
- pracovné zmeny každý druhý deň,
- na pracoviskách s trojzmennou prevádzkou, striedanie zmien organizovať tak, aby každý zamestnanec nemal viac ako tri dopoludňajšie zmeny a viac ako dve nočné zmeny za týždeň, napr. striedaním zmien (2 x ranná, 2 x popoludňajšia, 2 x nočná a 2 až 3 dni voľno).

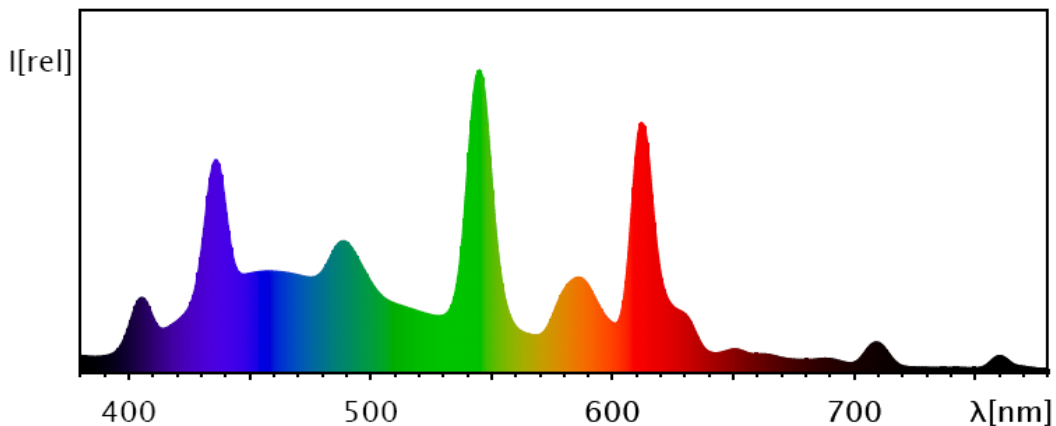
Medzi technické opatrenia patria špeciálne ožarovacie zariadenia realizované na individuálnych pracoviskách, ako umelé okná, svietiace steny, svietiace panely a pod., riešené tak, aby nedochádzalo k oslneniu zamestnancov.

Ak je preukázateľne splnené jedno organizačné opatrenie alebo realizované špeciálne ožarovacie zariadenie, najnižšia prípustná hodnota udržiavanej osvetlenosti  $\bar{E}_{m,p} = 500$  lx, v opačnom prípade  $\bar{E}_{m,p} = 1\,500$  lx.

Praktické skúsenosti potvrdzujú, že uvedené organizačno-technické opatrenia na pracoviskách bez denného osvetlenia, najmä vo výrobných a obchodných prevádzkach sú obtiažne realizovateľné.

#### 5. Nové zdroje na osvetlenie priestorov bez denného osvetlenia

V súčasnosti sú už k dispozícii nové svetelné zdroje, pri vývoji ktorých sa bral do úvahy vplyv na cirkadiánne čidlo. Tieto svetelné zdroje sú charakteristické tým, že majú optimalizované spektrálne zloženie vyžarovaného svetla tak, aby boli v spektre obsiahnuté aj vlnové dĺžky, ktoré stimulujú cirkadiánne čidlo. Na obrázku č. 6 je znázornený typický priebeh spektrálneho zloženia takýchto zdrojov svetla.

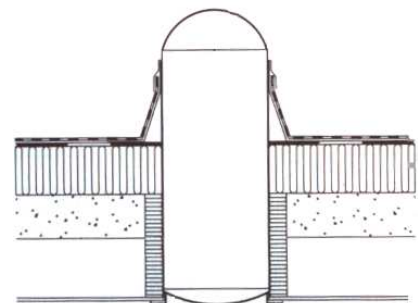


Obrázok 6 Priebeh spektrálneho zloženia svetla z optimalizovaných umelých zdrojov

Tieto svetelné zdroje majú vysokú náhradnú teplotu chromatickosti  $T_{ck} = 6500$  K (denné svetlo) a vysoký index podania farieb  $R_a$ . Nevýhodou takýchto svetelných zdrojov je mierne nižší svetelný tok resp. merný výkon, ako u svetelných zdrojov z nižšou náhradnou teplotou chromatickosti.

Iným prístupom k riešeniu osvetlenia priestorov bez denného osvetlenia napr. v obchodných priestoroch je aplikácia technických zariadení, ktoré „privedú“ denné svetlo do priestoru. V súčasnosti sa už v praxi začínajú používať pasívne alebo aktívne osvetľovacie (svetlovodné) systémy [5].

Pasívne osvetľovacie systémy sú založené na princípe mnohonásobných odrazov od vysokoreflexného povrchu tubusu (obrázok č. 7).



Obrázok 7 Systém pasívnych svetlovodov

Aktívne osvetľovacie systémy využívajú ku koncentrácii slnečného žiarenia optické zrkadlá a optické šošovky, pričom svetlo do priestorov budovy je dopravované svetlovodnými šachtami a tubusmi alebo pomocou optických káblov a vlákien.

Skúsenosti z praxe ukazujú, že aj keď po realizácii pasívneho alebo aktívneho osvetľovacieho systému napr. z dôvodu malého počtu svetlovodov, osvetlenie priestoru nespĺňa požiadavky na denné resp. združené osvetlenie, takýto osvetľovací systém má dôležitý psychologický prínos spočívajúci v zabezpečení kontaktu zamestnanca s vonkajším

prostredím (napr. dynamická zmena jasov v závislosti od jasov oblohy) a čiastočná úprava spektrálneho zloženia svetla [6].

## 6. Záver

Na základe poznatkov vplyvu denného svetla na ľudský organizmus získaných v posledných rokoch sa ukazuje, že na elimináciu nedostatku denného svetla v priestoroch bez denného osvetlenia je nutné brať do úvahy nielen kvantitatívne hľadisko, t.j. najnižšie prípustnú hodnotu udržiavanej osvetlenosti  $\bar{E}_{m,p}$  z celkovej umelej osvetľovacej sústavy, ale aj kvalitatívne hľadiská, ako je spektrálne zloženie vyžarovaného svetla svetelnými zdrojmi, vhodné rozloženie jasov v zornom poli, vhodná farebná úprava plôch v závislosti od zrakovej náročnosti práce a obmedzenie rušivého oslnenia.

Aplikáciou svetelných zdrojov s vhodne zvoleným spektrálnym zložením vyžarovaného svetla je možné dosiahnuť aj v priestoroch bez denného osvetlenia stimuláciu ľudského organizmu podobnú stimulácii vyvolanej denným svetlom. V prípade aplikácie takýchto zdrojov svetla by bolo vhodné prehodnotiť požiadavku na najnižšie prípustnú hodnotu udržiavanej osvetlenosti z 1500 lx napr. na 1000 lx alebo 750 lx s prihliadnutím aj na prevádzkové náklady na osvetľovanie pracovísk bez denného osvetlenia.

## Literatúra

- [1] Zákon č. 355/2007 Z.z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- [2] Vyhláška MZ SR č. 541/2007 Z.z. o podrobnostiach o požiadavkách na osvetlenie pri práci
- [3] STN EN 12464-1:2004 Svetlo a osvetlenie. Osvetlenie pracovných miest. Časť 1: Vnútorne pracovné miesta
- [4] Fuksa A.: Světlo a biologické hodiny, časopis SVĚTLO 6/2010
- [5] Darula S., Kittler R., Kocifaj M., Plich J., Mohelníková J., Valkay F.: Osvětlení světlovody, Grada 2009
- [6] Plich J., Mohelníková J., Suchánek P.: Osvětlení neosvětlitelných prostorů, ERA group 2004