

# SVĚTELNÉ PROSTŘEDÍ V BUDOVÁCH Z POHLEDU NEVIZUÁLNÍHO VNÍMÁNÍ SVĚTLA

Lenka Maierová

Laboratoř vnitřního prostředí, UCEEB, ČVUT v Praze, Buštěhrad

## ANOTACE

V průběhu velmi krátké doby, alespoň z hlediska vývoje člověka, došlo k několika zásadním změnám v našem světelném prostředí. Proměnilo se prostředí, ve kterém žijeme, objevily se nové světelné zdroje a zásadně se liší i vykonávané činnosti. Některé v minulosti dominantní faktory ztratily v nových podmínkách svou důležitost, naopak jiné se staly určujícími pro dosažení potřebného vizuálního komfortu. Jediné, co zůstává po tisíce let stejné, jsou fyziologické potřeby člověka, který se ve své podstatě zásadně neliší od svého předchůdce z doby kamenné. Vzhledem k přesunutí většiny našich denních aktivit do interiéru budov, nejsou to již vlivy přírody, ale sami současní lidé, kteří si vytváří světelné prostředí a tím i zodpovídají za jeho kvalitu. Je tedy více než vhodné ověřit, do jaké míry naše současné světelné prostředí odpovídá našim potřebám, a to vizuálním i biologickým.

## SUMMARY

Within a very short period of time, at least in terms of human development, major change occurred in our lighting environment – from the natural conditions we moved inside the buildings, where the light is often provided by electric light sources. Furthermore, the types of performed visual tasks changed significantly with the outbreak of computers. As a consequence, some of the originally fundamental factors of lighting environment lost their relevance while others became crucial for achieving the visual comfort and therefore influencing our choice of light. Nevertheless, our physiological needs remain the same over the time, we are not fundamentally different from our ancestors of the Stone Age. Since we spend 90% of time indoors, it is no more the nature, but mainly the artificial lighting, that is creating and controlling the light environment we live in. Therefore it is important to verify, to what extent our lighting environment goes in line with our needs, both visual and physiological.

*„... mezi roky 1950 a 2000 se náklady na produkci světla snížily na šestinu, spotřeba světla na osobu ve Velké Británii vzrostla čtyřnásobně. Tato rostoucí spotřeba světla je paralelní s nárůstem nedostatku spánku ... Technologie nás fakticky oddělila od přirozeného 24 hodinového dne, pro který se náš organismus vyvinul. Díky jejímu vlivu chodíme spát stále později. Ráno pak používáme kofein, abychom byli schopni vstát stejně brzy, jako jsme vstávali dříve. Náš spánek se dostal do sevření...“, píše C. A. Czeisler, lékař, profesor spánkové medicíny Harvard Medical School [1]. Důsledky této změny, souvislostmi mezi světelným prostředím v současných budovách a fyziologickými potřebami člověka, se zabývá tento článek.*

## PROMĚNA SVĚTELNÉHO PROSTŘEDÍ

Pokus o rekonstrukci typického světelného prostředí, ve kterém naši předkové v historii žili, ukazuje výraznou proměnu světelných podmínek. Člověk se vyvinul v prostředí s denním světlem, s výrazně vyšší celkovou osvětleností během dne a hlubokou tmou v noci, tj.

v prostředí s velkými rozdíly osvětleností mezi dnem a nocí. Pro toto prostředí je náš organismus přizpůsoben. V našem současném světelném prostředí je denní rytmus světla a tmy redukován, jak názorně ilustruje simulace typického světelného profilu osvětlenosti ve sledovaných etapách historie, viz obrázek 1. Nejedná se tedy o zvýšení či snížení hladiny osvětlenosti, ale o její odlišnou časovou distribuci během dne.



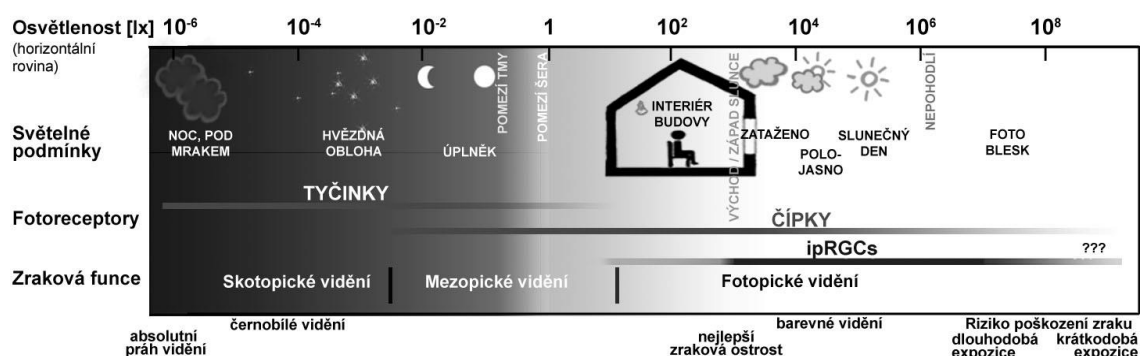
**Obr. 1** Světelné prostředí ve zvolených etapách historie: ilustrace předpokládané typické hladiny osvětlenosti, ve které se běžný člověk pohyboval; (5 x 24 hodin). Grafika autor.

## NEVIZUÁLNÍ VNÍMÁNÍ SVĚTLA

Lidské oko je orgán zraku, nejdůležitějšího z lidských smyslů. Osmdesát procent všech informací o našem okolí přichází očima. Světlo dopadající na sítnici v oku nám (podobně jako i ostatním živým organismům) předává mimo obrazových i řadu dalších důležitých informací.

### Třetí druh fotoreceptoru v oku - ipRGCs

Nedávno objevený třetí druh fotoreceptorů v lidském oku je z velké části zodpovědný za nevizuální vnímání světla. Receptory označené ipRGCs (intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells) se objevují ve výrazně menším množství než tyčinky a čípky a jsou rozptýleny po celé ploše oční sítnice. Jsou citlivé na kratší vlnové délky [2], jejich maximální citlivost se pohybuje v oblasti modré části světelného spektra, kolem 460-480 nm, v porovnání s 555 nm pro vizuální systém. Při aktivaci receptoru ipRGCs není do mozku předávána obrazová informace, jako v případě vizuálního systému. Světlocitlivé buňky jsou přímo propojeny se suprachiasmatickým jádrem hypotalamu (SCN), kde se nachází hlavní biologické hodiny organismu. SCN ovlivňuje produkci hormonu melatoninu, pomocí kterého je koordinována většina rytmických procesů v těle [3]. K aktivaci nevizuálního systému vnímání světla je zpravidla třeba výrazně vyšší osvětlenosti, než je nutné pro zajištění zrakové funkce, viz obrázek 2.



**Obr.2** Osvětlenost, vizuální a nevizuální funkce oka. Příklady možné osvětlenosti horizontální roviny (v lx), za různých světelných podmínek, rozsah citlivosti lidského oka, režim zraku a aktivita fotoreceptorů. Grafika autor.

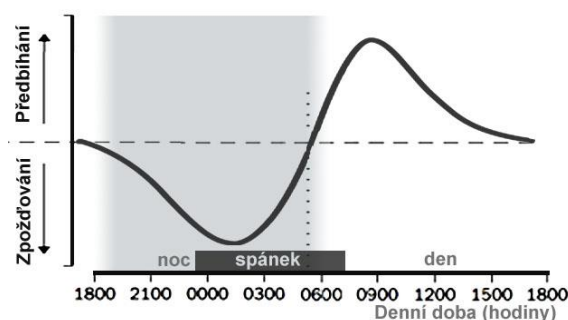
## Cirkadiánní rytmus

Citlivost systému nevizuálního vnímání světla se také proměňuje v závislosti na denní/noční době, v noci je systém citlivější. Informace z ipRGCs tak umožňuje s vnějším životním prostředím synchronizovat vnitřní biologické hodiny organismu, které udržují tzv. cirkadiánní rytmus. Pojmenovaný z latinského „circa“ = přibližně a „diem“ = den, dává tento přibližně 24-hodinový cyklus řád a koordinaci biochemickým, fyziologickým a behaviorálním procesům v těle. Jedná se o endogenní rytmus, jehož délka se pohybuje mezi 23,6 – 25,1 hodiny (mezi jedinci se může lišit). Nejedná se pouze o rytmus spánku a bdění, probíhají také změny tělesné teploty, tlaku, srdeční frekvence, aktivity trávicího traktu, vylučování, změny v hormonálních hladinách, buněčná obnova a další.

Do celého systému vstupují i vnější vlivy, které vnitřní rytmus synchronizují s vnějším časem. Hlavní vnější synchronizátor je světlo, dále hrají roli i sociální aspekty, jako doba příjmu potravy, společenské vlivy a návyky. Pokud se signály z těchto synchronizátorů rozcházejí, každý běží podle vlastního vzorce a amplitudy jednotlivých rytmů se vzájemně míjejí, organismus je po čase desynchronizován. V konečném důsledku není nikdy zcela bdělý ani zcela odpočívající. Přitom pouze kvalitní spánek přináší organismu dostatečnou regeneraci, a následně možnost koncentrace a vysokého výkonu v době bdění [4].

### Vliv časového rozložení světla během dne

Východ a západ slunce, 24hodinový rytmus proměn dne a noci, střídání světla a tmy, to vše jsou silné podněty pro všechny organismy žijící na planetě Zemi. Proměnlivost světla pomáhá vnímat čas. Načasování dopadu světla na sítnici (dle fáze cirkadiánního rytmu) ovlivňuje typ tělesné reakce a její intenzitu. Ranní jasné světlo výrazně posouvá cirkadiánní hodiny dopředu (cirkadiánní perioda se zkrátí), jasné světlo ve večerních hodinách má opačný účinek – zpožďuje vnitřní hodiny, následná cirkadiánní perioda bude delší. V průběhu subjektivního dne je vliv na fázový posun vnitřních hodin člověka omezený, nicméně byl prokázán vliv na stabilitu cirkadiánního systému, ale také vlivy na psychiku a vnitřní pohodu člověka apod. Naopak silné světelné podněty během citlivé doby (subjektivní noc) mohou způsobit výrazný fázový posun (viz obrázek 3), nebo dokonce úplné resetování vnitřních hodin [5].



**Obr. 3** Příklad křivky fázové odezvy na vnější světelné podněty (u člověka). Šedé pozadí znázorňuje přirozenou periodu (12hodin) noční tmy. Největší vliv na fázový posun má světlo v pozdních večerních a brzkých ranních hodinách. Přesný tvar a amplituda křivky závisí na síle světelného podnětu -(tj. intenzitě a době trvání). Upraveno dle [5].

Snížení vlivu ročního období, menší vliv pohybu Slunce na obloze (například okamžik úsvitu) na počátek aktivity člověka, méně přirozeného světla ve dne a více umělého osvětlení v noci snižuje míru cirkadiánní synchronizace současné společnosti, zejména v silně urbanizovaných

oblastech [6]. U některých jedinců se tak vnitřní biologické hodiny mohou začít předbíhat/zpožďovat v závislosti na délce jejich vnitřní cirkadiánní periody. Expozice umělému osvětlení (a to včetně světloemitujících obrazovek různých elektronických přístrojů) ve večerních hodinách, kdy je cirkadiánní regulace citlivá, může vyvolat zpoždování fáze a s tím spojený pozdější nástup spánku. Fakt, že obtíže s usínáním a ranní ospalost jsou častý stav u dospívajících a u osob v produktivním věku, tento závěr podporuje.

### Srovnání citlivosti vizuálního a nevizuálního systému

O tom, zda dojde k aktivaci nevizuálního systému vnímání světla a jaká reakce organismu bude vyvolána, rozhodují vlastnosti světelného záření dopadajícího do oka, stejně jako čas a délka trvání expozice. Tabulka 1 specifikuje hlavní (známé) faktory, které rozhodují o míře citlivosti vizuálního a nevizuálního systému. Rozdíly v citlivosti na jednotlivé atributy světelného prostředí potvrzují významné odlišnosti vizuálního a nevizuálního vnímání světla a s tím související odlišné požadavky na světelné prostředí.

**Tab. 1** Citlivost vizuálního a nevizuálního vnímání světla dle faktorů světelného prostředí.

	VIZUÁLNÍ	NEVIZUÁLNÍ
Osvětlenost	Prahové hodnoty (osvětlenost referenční plochy) <ul style="list-style-type: none"> <li>• od <math>10^{-6}</math> lx – práh vidění</li> <li>• 1 lx – vnímání barev</li> <li>• 2000 lx – optimální zraková ostrost</li> <li>• od <math>10^5</math> lx – riziko oslnění kritickým jasem (ve dne)</li> </ul>	Hodnoty nutné pro plnou aktivaci systému (osvětlenost na rohovce) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 200 – 1000 lx v průběhu dne, dle dalších podmínek (spektrum, denní doba, světelná historie)</li> <li>• výrazně méně v noci</li> <li>• - 50 % aktivace již při 100 lx ... [7]</li> </ul>
Spektrální složení (vrchol citlivosti)	Fotopické – 555 nm Skotopické – 505 nm	cca 460 – 480 nm (dle potlačení melatoninu) [2]
Délka expozice	Prevence mihání	Aktivace systému po minutách/hodinách, trvání ovlivňuje intenzitu signálu pro SCN. [8]
Denní doba	Zanedbatelné	ZÁSADNĚ ovlivňuje formu, sílu tělesné reakce: smysl fázového posunu cirkadiánní synchronizace a jeho velikost. [5]
Vliv předešlého světelného prostředí	Adaptace během milisekund/sekund/minut	Vliv světelné historie (hodiny až dny) na citlivost systému. [8]
Distribuce v prostoru	Prevence oslnění Kontrast v zorném poli	Rozdíl ve vlivu mezi bodovým světelným paprskem a světlem rovnoměrně rozptýleným v prostoru. [8]

### NEVIZUÁLNÍ VNÍMÁNÍ SVĚTLA V KONTEXTU PLATNÉ LEGISLATIVY

Současná platná legislativa řeší osvětlení v budovách z pohledu bezpečnosti, hygieny a ochrany zdraví. Odkazuje se na normové požadavky, jejichž splnění je díky tomu v České republice závazné. Osvětlení je v podstatě posuzováno pro dva extrémní případy: Posuzuje se zajištění dostatku denního světla a jeho rovnoměrné distribuce v prostoru pomocí výpočtu činitele denní osvětlenosti při zatažené obloze. Dále se posuzuje zajištění vhodného světelného prostředí při použití umělého osvětlení, zejména dosažení dostatečné osvětlenosti. V obou případech se posuzuje minimální požadovaná hladina osvětlenosti, ale nejsou řešeny případy, kdy je světla příliš. Možný rušivý vliv přímé sluneční složky denního světla není zohledněn, pro ochranu před oslněním sluncem či denním světlem je doporučeno

užití mobilních stínících prvků. Ty mohou být dočasným řešením v případě akutního vizuálního nepohodlí, z dlouhodobého hlediska však nevytvářejí světelné prostředí odpovídající fyziologickým potřebám člověka, protože brání přístupu denního světla do interiéru a blokují vizuální kontakt s vnějším prostředím. Lze tedy konstatovat, že ani splnění požadavků norem nezaručí světelné prostředí, které odpovídá našim fyziologickým potřebám. Potřeba zajistit vhodné prostředí i pro nevizuální vnímání světla člověkem jako taková je v současné legislativě zmíněna, není však dále specifikována.

Za pozornost stojí jeden ze závěrečných odstavců normy [9], kde je konstatována důležitost variability světla pro lidské zdraví a celkovou pohodu. Je zde zaveden pojem takzvaných „osvětleností nevytvářejících obrazy“ (non-image forming) a bez další specifikace konstatováno, že světelné stavy mohou také podporovat a nastavovat cirkadiánní rytmy a ovlivňovat fyziologický a psychologický stav člověka. „Světelné podmínky mění se v čase s větší osvětleností, rozložením jasu a větším rozsahem teplot chromatičnosti, než je stanoveno v této evropské normě, zajištěné denním osvětlením a/nebo umělým osvětlením mohou stimulovat lidi a zlepšovat jejich celkovou pohodu. Doporučený rozsah těchto změn je předmětem studia.“ Str. 19 v [9].

Nejrozsáhlejší informace je překvapivě obsažena v normě ČSN EN 15193/2008, Energetická náročnost budov [10]. V informativní Příloze H je doporučeno navrhovat osvětlení vhodné pro tzv. „mimovizuální biologické účinky světla, související s regulací určitých hormonů v lidském těle“, str. 54 v [10]. Krátký text konstatuje, že na fyziologii člověka má také vliv časové rozložení světla během dne. Je zde zmíněn požadavek na vyšší úroveň osvětlení v denních hodinách a souvislost s teplotou chromatičnosti světla. Systém je označen jako biodynamické osvětlení (Algorithmic Lighting).

Také mezinárodně uznávané systémy komplexního hodnocení kvality budov (LEED, BREEAM, DGNB), jejichž nejvyšší certifikace by měla být zárukou nadstandardní kvality objektu i vnitřního prostředí v něm, nahrazují posouzení vlivu světelného prostředí na nevizuální systém požadavkem na dostupnost denního světla v interiéru. S výjimkou systému LEED, který pomocí podrobné simulace autonomie denního světla hodnotí vliv slunečního záření v interiéru, ostatní systémy sledují pouze požadavek na dostatečný přístup denního světla odkazem na splnění činitele denní osvětlenosti při zatažené obloze.

V Evropě, v rámci práce normalizačních komisí (CIE, DIN) v současnosti vznikají dokumenty, které shrnují dostupné informace o vlivu světla na fyziologii člověka. Význam těchto dokumentů je zásadní mimo jiné proto, aby bylo možné zvážit etické otázky při navrhování biologicky aktivního osvětlení, například dopad využívání technologie pro zvýšení produktivity pracovníků a to zejména při noční práci. Vhodně použité světlo může být velmi účinný lék pro posílení či obnovení poškozeného zdraví. Avšak obdobně jako většina léků, při nevhodném zacházení lze i světlem zdraví poškodit. Při navrhování osvětlovacích systémů a jejich řídicích algoritmů je třeba zvažovat vliv často protikladných požadavků a volit kompromisy mezi nimi. Zejména u osvětlovacích systémů pro noční provozy a další aplikace využívající krátkodobé povzbuzující efekty jasného světla v době, kdy jasné světlo není pro člověka zcela přirozené, je třeba posoudit dlouhodobý vliv na cirkadiánní rytmus a celkově na zdraví člověka. Je namístě vzpomenout Hippokratovu přísahu a „ ... v *prvé řadě neublížovat*“.

## ZÁVĚR

Zajištění dostatečného vizuálního komfortu, který je nezbytný pro dobrou funkci prostoru, je zakotveno v legislativě. Byl však také prokázán vliv světelného prostředí a zejména jeho změn na cirkadiánní rytmus, regulaci spánku a bdění i řadu dalších fyziologických procesů v organismu člověka. Celý systém je označován jako nevizuální vnímání světla. Přestože jeho potřeby nejsou v současné legislativě zmíněny, nevizuální vnímání světla potenciálně ovlivňuje naši výkonnost, náladu, vnitřní pohodu a při dlouhodobém působení i zdraví. Z těchto důvodů je třeba při navrhování světelného prostředí zohlednit nejen požadavky architektury a stavebnictví, osvětlovací technologie, fyziky a optiky, ale je nutné vzít v potaz i poznatky z biologie a v současné době i z velmi progresivního oboru chronobiologie. Z celospolečenského pohledu a z pohledu každého jednotlivce stojí za zvážení udržitelnost současného životního stylu moderní společnosti. Faktory jako omezená doba pobytu na denním světle, rozšířená práce v noci, všeobecně (alespoň z biologického pohledu) nízká hladina osvětlenosti v budovách a naopak všudypřítomnost elektrického osvětlení v noční době, to vše lze shrnout do pojmu „světelná hygiena“. Její nedodržování se může projevit zvýšením výskytu poruch spánkové regulace, problému se spánkem, sezonní deprese i jiných psychických a nejen psychických onemocnění.

## LITERATURA

- [1] CZEISLER C. A. Perspective: casting light on sleep deficiency. *Nature* 23;497(7450), p13, 2013.
- [2] BRAINARD G.C., Photoreception for regulation of melatonin and the circadian system in humans, *Proceedings of the Fifth International LRO Lighting Research symposium*, Orlando, 2002.
- [3] CAJOCHEN C., Kräuchi K., Wirz-Justice A. Role of melatonin in the regulation of human circadian rhythms and sleep. *J Neuroendocrinol* 15:432-7, 2003.
- [4] WIRZ-JUSTICE A. and Fournier C. Light, health and wellbeing: Implications from chronobiology for architectural design. *World Health Design*. 8: p. 44-49, 2010.
- [5] JEWETT M.E., Kronauer R.E., Czeisler C.A. Phase-amplitude resetting of the human circadian pacemaker via bright light: a further analysis. *J Biol Rhythms* 9: 295–314, 1994.
- [6] ROENNEBERG T, Meroz M. Entrainment of the human circadian clock. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*. 72:293-9, 2007
- [7] ZEITZER J.M., Dijk D.J., Kronauer R.E., Brown E.N., Czeisler C.A. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *The Journal of Physiology*, 526(Pt 3), 695–702, 2000.
- [8] IES Light and human health committee. *Light and human health: an overview of the impact of optical radiation on visual, circadian, neuroendocrine, and neurobehavioral responses*. ISBN 978-0-87995-228-0, 2008.
- [9] ČSN EN 12464-1/2012 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory. Česká technická norma (ČSN).
- [10] ČSN EN 15193/2008. Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení. Česká technická norma (ČSN).

*Výzkum byl podpořen švýcarským fondem Sciex-NMSch, nadací VELUX Foundation Switzerland a projektu OP VaVpl č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov.*