

# Světlo a biologické hodiny

Ing. Antonín Fuksa<sup>\*)</sup>

## Úvod

Časové rytmy lze najít v celé živé říši. O cirkadiálních (z lat. circa – okolo, dies – den) čili přibližně denních rytmech byla v časopisu Světlo řeč již několikrát – např. v číslech 1 a 3/2005 nebo 5 a 6/2008. Pojem *cirkadiální* zavedl v padesátých letech 20. století Franz Halberg, jeden ze zakladatelů chronobiologie, vědy o časovém řádu v živé říši. Z českých chronobiologů je nejznámější prof. Helena Illnerová, která se svými spolupracovníky na modelu potkana jako první na světě objevila, jak změna délky osvětlení během střídání ročních období ovlivňuje rytmus v tvorbě melatoninu v epifyze [1] a ve fotosenzitivitě v biologických hodinách v suprachiasmatickém jádru hypotalamu [2].

V centrální nervové soustavě savců se tedy pod křížením zrakových nervů nacházejí suprachiasmatická jádra (SCN), centrální biologické hodiny, které řídí mimo jiné hladiny hormonů v krvi, tělesnou teplotu, spánek a bdělost. Melatonin je hormon spánku a tělesné regenerace. Kortizol je naopak hormon aktivity, stresu a pohybu. Příklad průběhu sledovaných hladin, převzatý z [3], znázorňuje obr. 1. Průběhy pro jednotlivé dny jsou proměnné v obou osách.

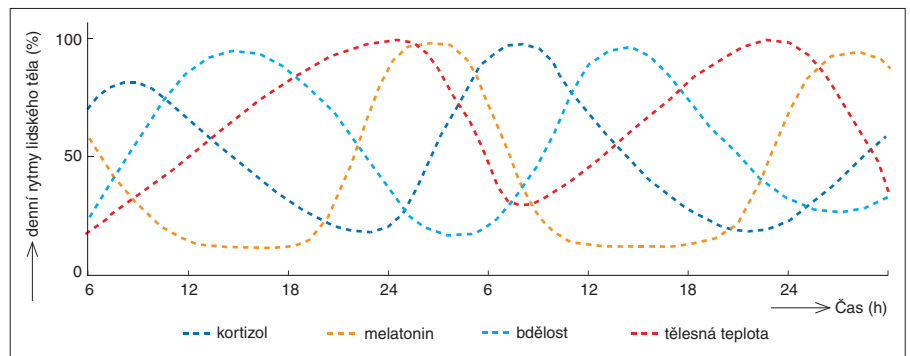
Centrální hodiny se každý den seřizují působením světla, ale vliv má i příjem potravy. Bez seřízení by tyto hodiny u mladého člověka volně běžely s periodou přibližně 24 hodin, odtud tedy označení cirkadiální. Podle těchto centrálních hodin se dále synchronizují vnitřní hodiny jednotlivých orgánů. Podnět pro seřízení centrálních hodin může představovat osvětlení o vhodném spektrálním složení v řádu již od jednotek luxů po dobu jednotek minut a následuje jej pokles hladiny melatoninu v krvi.

## Účinky světla na živé organismy

Tyto účinky podrobně zkoumal německý oční lékař prof. Fritz Hollwich, autor učebnice oftalmologie a mnoha léčebných postupů. Ve své habilitační práci z roku 1948 rozlišuje zrakovou a energetickou (nezrakovou) složku očního aparátu. U pacientů slepých z důvodu šedého

zákalu zjistil odlišné hladiny některých hormonů a dalších látek oproti hodnotám běžným ve zdravé populaci a sledoval návrat těchto hladin do normálu po operativní výměně čočky, kdy se pacientům navrátil zrak. Zjistil také, že některé druhy světla, jeho nadbytek, nedostatek nebo

vých délek 450 až 482 nm (zřídka též 420 a 491 nm), viz obr. 2. Tyto buňky dávají centrálním hodinám podnět k seřízení, podílejí se na reflexu stahování zornice a možná i na formování zrakového vjemu. Vyskytují se po celé sítnici a v její dolní části jsou hojnější. Souhrnně je lze nazvat



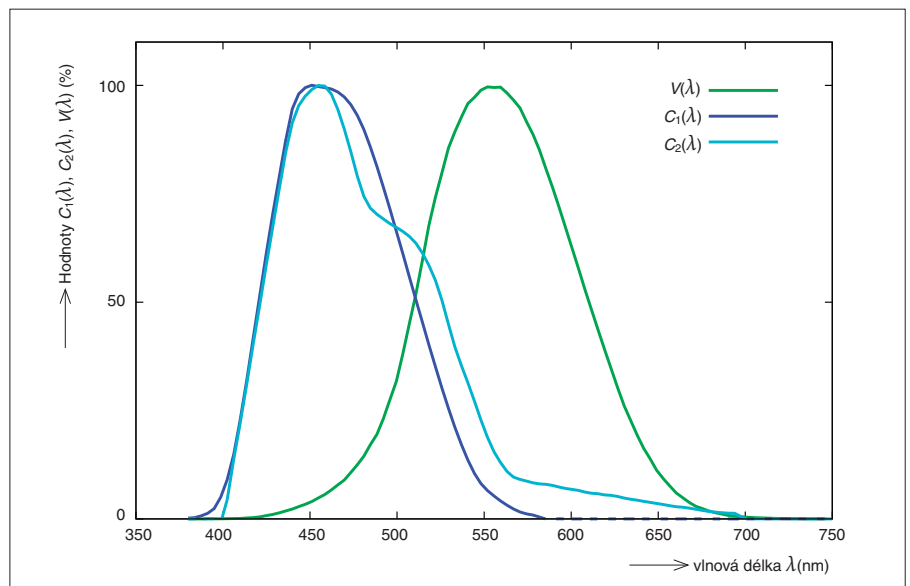
Obr. 1. Denní rytmy lidského těla

dlouhodobá neměnnost mají na živočichy nepříznivé účinky [4].

V posledních několika letech se hovoří o novém fotoreceptoru – světlocitlivých sítnicových gangliových buňkách (ipRGC). U myši byly objeveny v roce 1991, u člověka teprve v roce 2007. Obsahují barvivo melanopsin, jejich maximální citlivost se uvádí v oblasti vlnov

cirkadiálním čidlem. Pro jejich citlivost na modré světlo a rozložení na sítnici se označují jako detektor modrého nebe.

Nejnovější výzkumy [5] ukazují, že na synchronizaci centrálních hodin se podílí jak cirkadiální čidlo, tak i čípky a navíc zde hraje roli i doba expozice. Při porovnání úzkopásmových záření o dominantních vlnových délkách 460 a 555 nm



Obr. 2. Možné průběhy poměrné citlivosti (účinnosti) cirkadiálního čidla  $C(\lambda)$  a křivka spektrální citlivosti lidského zraku  $V(\lambda)$

<sup>\*)</sup> Ing. Antonín Fuksa je absolventem (roku 2000) oboru měřicí a přístrojová technika na Fakultě elektrotechnické ČVUT. Věnuje se návrhu měřicích zařízení, programování obchodního softwaru a některým aspektům světelné techniky, zvláště fyziologickým a psychologickým účinkům světla. Pracuje externě jako poradce mj. pro firmu NASLI spol. s r. o.

se ukázalo, že jejich účinek na pokles melatoninu je zpočátku přibližně stejný, avšak u zeleného světla během 90 minut téměř vymizí, kdežto u modrého světla je působení trvalé.  $C_1(\lambda)$  vystihuje spíše citlivost při dlouhodobém působení a  $C_2(\lambda)$  částečně zohledňuje i krátkodobé působení. Uvádějí se dva druhy účinku: pokles hladiny melatoninu a fázový posun centrálních hodin.

V literatuře [6] a [7] je pojednána konstrukce cirkadiánního dozimetru (Day-simeter, LuxBlick). Jde o malý přístroj, který lze nosit podobně jako brýle. Jako detektory jsou použity dvě fotodiody – citlivost první je korigovaná na  $V(\lambda)$  a druhé na  $C(\lambda)$ . Naměřené hodnoty osvětlení se společně s časovými značkami ukládají do paměti v intervalu desítek sekund. Analýzou naměřených hodnot lze určit, zda uživatel dostává během dne potřebnou dávku světla účinného pro nervovou soustavu a zda není v noci světlem naopak rušen. Kritická místa je možné lokalizovat v čase a popř. navrhnout vhodnou nápravu. Identifikaci okolností mohou usnadnit údaje z přídatných senzorů, např. z akcelerometru nebo teploměru.

Odbourání melatoninu poránu a udržování jeho nízké hladiny během dne lze považovat za více než žádoucí, neboť spouští množství procesů vedoucích k větší bdělosti, aktivitě a soustředěnosti. Posílení spektra v oblasti cirkadiánní citlivosti lze dosáhnout použitím světelných zdrojů s vyšší teplotou chromatičnosti. Podle Kruithofova diagramu lze pak od uživatelů očekávat požadavky na vyšší osvětlenost, což je možné řešit např. přídatnými lokálními svítidly. Vyšší osvětlenost a vyšší teplota chromatičnosti mohou mít na pracovištích konkrétní ekonomický výstup v podobě kvalitnější práce [8], snížení stresu [4], lepšího využití pracovní doby nebo snížení nemocnosti.

Melatonin je hormon spánku a regenerace organismu. „Nychtává“ v těle volné radikály a ničí rakovinné buňky. Je tedy nanejvýš prospěšné nechat jej v noci nerušeně pracovat. Opatření proti rušivému světlu v noci se nabízí několik, od průmyslených svítidel venkovního osvětlení, přes rolety, závěsy a žaluzie až po červené noční osvětlení.

Bílé LED jsou většinou v principu modré LED s luminoforem, který modré světlo zčásti přeměňuje na žluté a zčásti propouští. Zde také spočívá určité riziko rušení noční tmy veřejným osvětlením na bázi LED. Modré světlo se totiž v atmosféře rozptyluje více než záření větších vlnových délek. Je tedy třeba věnovat pozornost i otázce rušení rozptýleným světlem. Podle publikace [9] jsou pro veřejné osvětlení z tohoto hlediska nejvhodnější LED s nízkou teplotou chromatičnosti (2 600 K), avšak i zde je podíl cirkadián-

Tab. 1. – Příklad hodnot činitele  $A_c$

Světelný zdroj		Specifikace zdroje	$A_c$ (-)
denní světlo		D65	100
černé těleso		2 700 K	36
		4 000 K	64
		5 000 K	82
		6 500 K	100
		8 000 K	116
		20 000 K	156
		100 000 K	181
zářivka	teple bílá 827	2 700 K	27
	neutrálně bílá 840	4 000 K	55
	neutrálně bílá 950	5 000 K	83
	chladně bílá (denní) 965	6 500 K	95 až 105
	modrá	Philips TL-D Blue	740
žárovka	obyčejná	2 800 K	36
	halogenová	2 900 K	40
LED	teple bílá	2 850 K	36
	chladně bílá (denní)	6 800 K	90
	modrá	450 nm	875
	zelená	520 nm	52
	červená	630 nm	0,4
výbojka	sodíková	vysokotlaká	8 až 13
	sodíková	nízkotlaká	0,2
	halogenidová 942	4 200 K	69
	halogenidová 965	6 500 K	100

ně účinného záření troj- až čtyř-násobně větší než u běžně používaných vysokotlakých sodíkových výbojek (viz tab. 1).

### Výpočet a měření

V článku [10] se zavádějí cirkadiánní veličiny analogicky k veličinám fotometrickým. Funkci  $V(\lambda)$  nahrazuje  $C(\lambda)$  a veličiny se opatřují indexem  $c$ . Lze tak pracovat např. s pojmem *cirkadiánní osvětlenost*.

Cirkadiánní osvětlenost lze měřit luxmetrem korigovaným na poměrnou cirkadiánní účinnost  $C(\lambda)$ . Pro orientační měření lze ke korekci použít tmavě modrou fólii Lee č. 120. Jinou možností je výpočet ze změřeného spektra zářivého toku nebo zjištění přepočtového koeficientu pro daný zdroj. Podle [10] lze zavést činitel cirkadiánní účinnosti  $a_{cv}$  (něm. circadianer Wirkungsfaktor), který se pro světlo s poměrným spektrálním složením výkonu  $X(\lambda)$  vypočítá podle vztahu (1)

$$a_{cv} \{X(\lambda)\} = \frac{K_m \int_{380}^{780} X(\lambda) C(\lambda) d\lambda}{K_m \int_{380}^{780} X(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

$a_{cv}$  je tedy pro daný světelný zdroj koeficientem pro přepočet fotometrických hodnot na hodnoty cirkadiánní a lze jej použít k porovnání různých světél, resp. světelných zdrojů, z hlediska jejich účinků na nervovou soustavu.

Průběh křivky  $C(\lambda)$  a ani obsah plochy pod ní zatím nejsou přesně známy.

Proto je vhodné výpočet opatřit koeficientem, díky kterému budou hodnoty vypočtené se současným a v budoucnosti aktualizovaným průběhem  $C(\lambda)$  srovnatelné. Koeficient lze definovat různými způsoby, např. rovností ploch pod  $C(\lambda)$  a pod  $V(\lambda)$  nebo rovností světelného a cirkadiánního toku pro CIE normalizované světlo A (model žárovkového světla). Varianta, kterou navrhuji k diskusi, má pracovní název *index cirkadiánního aktivačního účinku* a pracovní označení  $A_c$ . Jeho hodnota se stanoví na 100 pro světlo CIE D65 a vypočítá se podle vztahu (2):

$$A_c \{X(\lambda)\} = \frac{\int_{380}^{780} X_{D65}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} X_{D65}(\lambda) C(\lambda) d\lambda} a_{cv} \{X(\lambda)\} \approx 106,25 a_{cv} \{X(\lambda)\} \quad (2)$$

$A_c$  umožňuje srovnávat světelné zdroje z hlediska jejich cirkadiánního účinku. Pro referenční – denní světlo má hodnotu 100. Jeho hodnoty lze snadno vyčíslit pro běžné typy světelných zdrojů a teploty černého tělesa (tab. 1).

Kromě denních rytmů jsou známy např. fyziologické rytmy přílivu a odlivu a dále rytmy týdenní, měsíční a roční. Nedostatek světla v zimě přispívá nejen k zimní ospalosti a potřebě delšího

spánku, ale i k sezonní emoční poruše (SAD), známé též jako zimní deprese. Zde se mj. používá léčba intenzivním světlem (fototerapie). Jako účinná expozice se ukázala osvětlenost 10 000 lx v úrovni očí po dobu 30 minut [11]. Pro osobní použití jsou určeny tzv. *sluneční simulátory*. Na rozdíl od průmyslových simulátorů slunečního světla jde o svítidla pro osvětlování očí a tváře. Známá jsou stolní či nástěnná svítidla se zářivkami (obvyklé světlení je 10 klx na povrchu difuzoru) nebo kapesní bateriová svítidla s bílými či modrými světelnými diodami. Méně známé jsou tzv. *light visory*, čepice se štítkem se zabudovanými LED pro osvětlování očí. Tyto pomůcky mohou uživateli usnadnit vykročení do nového dne, avšak pro trvalý efekt je nezbytné celodenní osvětlení vyhovující i z hlediska jeho cirkadiálního účinku.

#### Literatura:

- [1] ILLNEROVA, H. – VANECEK, J.: *Pineal rhythm in N-acetyltransferase activity in rats under different artificial photoperiods and in natural daylight in the course of the year*. Neuroendocrinology, 1980, 31, s. 321–326.
- [2] SUMOVA, A. – TRAVNICKOVA, Z. – PETERS, R. – SCHWARTZ, W. J. – ILLNEROVA, H.: *The rat suprachiasmatic*

- nucleus is a clock for all seasons*. Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 1995, 92, s. 7754–7758.
- [3] BOMMEL VAN, W. J. M. – BELD VAN DEN, G. J. – OOOYEN VAN, M. H. F.: *Industrial lighting and productivity*. Philips Lighting : The Netherlands [online]. August 2002, [cit. 2010-10-02]. Dostupný z WWW: <[www.lighting.philips.com/in\\_en/applications/industry/pdf/industrial\\_lighting\\_and\\_productivity/pli-0005\\_whitep-uk\\_20sep.pdf](http://www.lighting.philips.com/in_en/applications/industry/pdf/industrial_lighting_and_productivity/pli-0005_whitep-uk_20sep.pdf)>.
- [4] HOLLWICH, F.: *The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and in Animal*. Springer-Verlag, New York, 1979, 129 s., ISBN 0387903151.
- [5] GOOLEY, J. J. et al.: *Spectral Responses of the Human Circadian System Depend on the Irradiance and Duration of Exposure to Light*. Science, Translational Medicine [online]. 2010-05-12, 2010, issue 31 [cit. 2010-10-02], ISSN 1946-6242, DOI, 10.1126/scitranslmed.3000741.
- [6] FIGUEIRO, M.: *Research matters: Measure up for healthy lighting*. LD+A., 2005, roč. 35, sv. 1, s. 14–16, ISSN 0360-6325.
- [7] HUBALEK, S.: *LuxBlick: Messung der täglichen Lichtexposition zur Beurteilung der nicht-visuellen Lichtwirkungen über das Auge*. Shaker Verlag, Zürich, 2007, 221 s. Disertační práce, ETH Zürich. Dostupný z WWW: <<http://e-collection.ethbib>

- [ethz.ch/view/eth:29804](http://ethz.ch/view/eth:29804)>. DOI:10.3929/ethz-a-005429531.
- [8] BOMMEL VAN, W. J. M. – BELD VAN DEN, G. J.: *Lighting for work: a review of visual and biological effects*. Lighting Research and Technology, December 2004, 36, 4, s. 255–266, ISSN 1477-1535, DOI:10.1191/1365782804li1220a.
- [9] INTERNATIONAL DARK-SKY ASSOCIATION: *Achievements in High Brightness White LEDs*. Specifier Bulletin for Dark Sky Applications [online], 2010, Volume 3, Issue 1 [cit. 2010-10-02]. Dostupný z WWW: <<http://docs.darksky.org/SB/LED-SB-v3i1.pdf>>.
- [10] GALL, D. – LAPUENTE, V.: *Beleuchtungsrelevante Aspekte bei der Auswahl eines förderlichen Lampenspektrums, Teil 1, Teil 2* [cit. 2010-10-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/public/lichttechnik/Publikationen/2003/teil1.pdf; teil2.pdf>>.
- [11] PRAŠKO, J – BRUNOVSKÝ, M. – ZÁVĚŠICKÁ, L.: *Fototerapie a její indikace*. Psychiatrické centrum, 3. LF UK, Praha [online], 2006 [cit. 2010-10-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.tigis.cz/PSYCHIAT/psychsupp3\\_05/14\\_Prasko.htm](http://www.tigis.cz/PSYCHIAT/psychsupp3_05/14_Prasko.htm)>.

**Recenze:** MUDr. Milena Jirásková, Kožní klinika 1. LF UK a VFN Praha

## NASLI – výrobce osvětlení s přirozeným spektrem

Přirozenější umělé světlo je naší prioritou již od založení firmy Blue step v roce 2002. Zakladatel firmy čerpal inspiraci převážně v USA, kde se tomuto segmentu věnovalo několik firem. Od žárovek s fialovým filtrem jsme se propracovali k vlastní značce světelných zdrojů a svítidel NASLI® v roce 2007 a o rok později k založení specializované firmy s tímto jménem. NASLI je zkratka NATural Spectrum LIghting, česky *osvětlení s přirozeným spektrem*.

V praxi se lze setkat se situací, kdy dva různé zdroje s velmi podobnými parametry vytvářejí v osvětlovaném prostoru velmi odlišnou atmosféru. Právě atmosféra, subjektivní hodnocení osvětlení více lidmi, má v pojetí firmy stejný význam jako fyzikálně měřitelné parametry.

Ve snaze co nejvíce se přiblížit dennímu světlu pracovníky firmy podpořily výsledky výzkumů dr. Johna Otta, který zjistil, že rostliny nemohou žít pod jakým-



Obr. 2. Sluneční simulátor s jednopaticovými zářivkami 2x 36 W, 10 000 lx na difuzoru