



**UNIVERZITNÍ  
CENTRUM  
ENERGETICKY  
EFEKTIVNÍCH BUDOV  
ČVUT V PRAZE**

**NUDZ**  
NÁRODNÍ ÚSTAV DUŠEVNÍHO ZDRAVÍ

## **Zhodnocení účinnosti pilotní instalace biodynamického osvětlení v DS TGM v Berouně**

**Stručná závěrečná výzkumná zpráva o výsledcích veřejné zakázky (fáze 1 a 2)**

Zadavatel:

**Domov seniorů TGM**

IČ: 725 41 121

se sídlem Pod Studánkou 1884, 266 01 Beroun

Zhotovitel:

**Národní ústav duševního zdraví**

IČ: 00023752

se sídlem Topolová 748, 250 67 Klecany

Poddodavatel:

**Univerzitní centrum energeticky efektivních budov**

IČ: 68407700

se sídlem Třinecká 1024 - 273 43 Buštěhrad

**Zpracovali:**

Doc. RNDr. Zdeňka Bendová, Ph.D.

Ing. arch. Lenka Maierová, Ph.D.

PhDr. Jana Kopřivová, Ph.D.

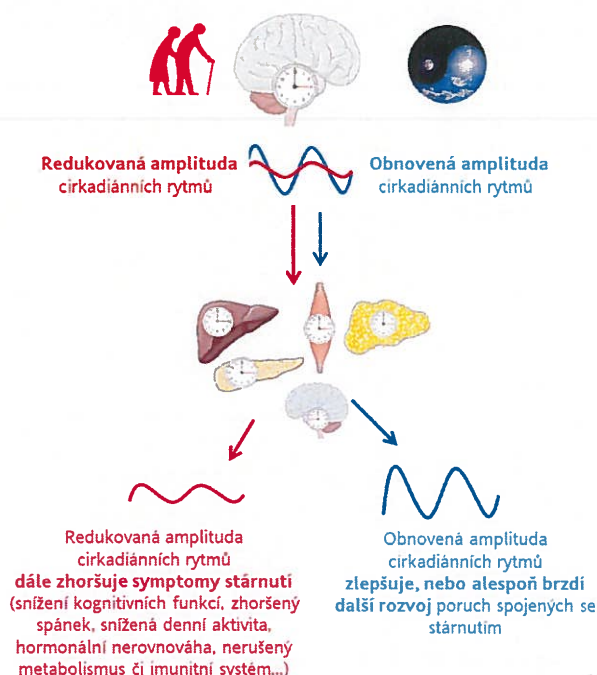
## Obsah

<b>1 Motivace</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Cíle</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Předmět studie</b> .....	<b>5</b>
3.1 Osvětlení v soukromých prostorách klientů .....	5
3.1 Osvětlení společných prostor .....	6
<b>4 Metodika</b> .....	<b>7</b>
4.1 Hodnocení světelných podmínek.....	7
4.2 Dotazníkové a kognitivní testování .....	8
4.3 Aktigrafické měření a analýzy .....	8
4.4 Odběry vzorků slin a stanovení hladin melatoninu .....	9
4.5 Statistické zpracování.....	9
<b>5 Nejvýznamnější výsledky studie</b> .....	<b>9</b>
5.1 Světelné prostředí.....	9
Zrakový komfort.....	9
Spektrální složení .....	10
Ovládání, řízení systému .....	12
Fyziologické účinnost osvětlení .....	12
5.2 Subjektivní hodnocení účinnosti biodynamického osvětlení.....	14
5.3 Objektivní hodnocení účinnosti biodynamického osvětlení.....	16
<b>6 Shrnutí a doporučení</b> .....	<b>22</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>23</b>

# 1 Motivace

Stárnutí ovlivňuje všechny aspekty naší fyziologie a chování, včetně cirkadiánních rytmů. Ačkoli procesy, které podmiňují stárnutí, nejsou zatím zcela pochopeny, rostoucí množství studií naznačuje, že cirkadiánní hodiny významně ovlivňují stárnutí a dlouhověkost. Cirkadiánní rytmy hrají zásadní roli ve zdraví a dlouhodobé narušování běhu cirkadiánních hodin je spojeno s negativními zdravotními důsledky, jak o tom svědčí mnohé studie zabývající se zdravotními problémy pracovníků ve směnných provozech (Lunn, Toitou a Boivin, 2014).

Ke správnému fungování cirkadiánního systému je nezbytná kvalitní synchronizace se slunečním cyklem, která se děje odečítáním spektrálního a intenzitního kontrastu mezi dnem a nocí zrakovým systémem, a převodem této informace do centrálních cirkadiánních hodin v hypotalamu. Funkce cirkadiánního systému seniorů je typicky ohrožována právě nízkým kontrastem mezi dnem a nocí. Seniori jsou často vystavováni nočnímu světlu s vysokou intenzitou a spektrem, které přísluší spíše dennímu svícení. Díky převažujícímu pobytu uvnitř budov pak jejich cirkadiánní hodiny trpí nedostatkem slunečního světla během dne. Stárnutí je také spojeno se zhoršováním zrakového systému již na úrovni čočky oka, která propouští méně slunečního, tzv. „modrého světla“, což klade ještě větší nároky na kvalitu osvětlení.



Obrázek 1 ukazuje, že typickým projevem stárnoucího cirkadiánního systému je snížená amplituda cirkadiánních rytmů, která je spojená s pozvolným narušováním homeostatických funkcí v celém organismu a zhoršováním zdraví. Naše studie vychází z předpokladu, že optimalizací světelných podmínek v prostředí domů pro seniory je možné zpomalit snižování amplitudy, či částečně zlepšit synchronizaci cirkadiánních rytmů, a zabrzdit tak rozvoj patofyziologických symptomů stárnutí. (Adaptováno z: Kessler a Pivovarová-Ramich, 2019)

Během noci je na základě signálů z centrálních biologických hodin produkován hormon **melatonin**. Melatonin je hormon vylučovaný pineální žlázou, tzv. epifýzou neboli šišinkou mozkovou. *Světlo v noci jeho syntézu narušuje* a jeho hladina pak v těle okamžitě klesá. Melatonin v těle zastává celou řadu funkcí, např.:

- a) Vylévá se do krevního oběhu a působí jako „vyslanec“ centrálních hodin, který informuje všechny tkáně a orgány o tom, že je noc.
- b) Napomáhá usínání, zlepšuje kvalitu spánku, a tím přispívá ke kvalitě kognitivních funkcí.
- c) Působí jako antioxidant a zbavuje tělo nebezpečných volných radikálů.
- d) Má protizánětlivé a protinádorové účinky.

Z toho vyplývá, že rytmické vylučování melatoninu během dne a noci má velký význam pro tělesné i duševní zdraví, a je proto žádoucí přizpůsobit světelné podmínky v prostředí tak, aby syntézu melatoninu v noci nenarušovaly, ba naopak, aby podporovaly přirozený cirkadiánní rytmus vylučování melatoninu, který se s věkem bohužel oploštuje.

## 2 Cíle

Cílem studie bylo zhodnocení účinnosti pilotní instalace biodynamického osvětlení v Domově seniorů TGM v Berouně. V rámci pilotní instalace bylo firmou Spectrasol s.r.o. vyměněno osvětlení v 6 pokojích včetně předsíní a koupelen, v hlavní jídelně / společenské místnosti, ve dvou sesternách, v dílně a na jedné chodbě. Úlohou Národního ústavu duševního zdraví (NUDZ) bylo: a) zajistit odběr biologických vzorků a sběr dotazníkových a kognitivních dat (včetně zaškolení personálu a klientů DS TGM), b) vyhodnotit a interpretovat výsledky a poskytnout doporučení, c) ve spolupráci s Univerzitním centrem energeticky efektivních budov ČVUT (UCEEB) zhodnotit světelné podmínky před a po výměně osvětlení, posoudit jejich vliv na fyziologické a psychické funkce a na základě výsledků formulovat doporučení pro další postup.

## 3 Předmět studie

### 3.1 Osvětlení v soukromých prostorách klientů

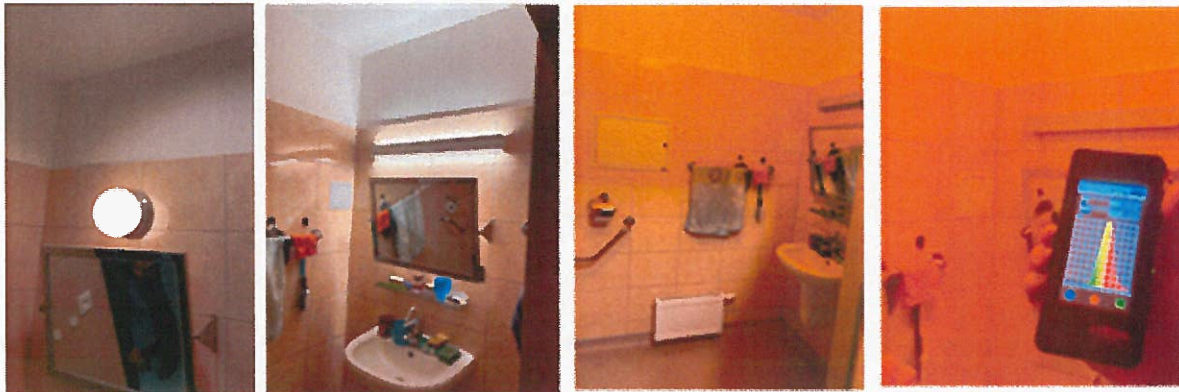
V ložnicích klientů bylo původně instalováno běžné zářivkové osvětlení o intenzitě cca 250 lx na srovnávací rovině a zpravidla teplým barevným tónem (3200–3500 K). Toto osvětlení bylo nahrazeno LED biodynamickými zdroji, které umožňují proměnu kvality a kvantity světla v průběhu dne a noci. Z hlediska estetické přijatelnosti pro tuto věkovou skupinu bylo vytvořeno jednoduché centrální zavěšené svítidlo.



Obrázek 2: Osvětlení pokojů klientů. Původní osvětlení (A) bylo nahrazeno biodynamickým, které upravuje spektrální složení, charakteristiku vyzařování a intenzitu v závislosti na denní/večerní době (B, C). Pro noční pohyb byly pokoje vybaveny nočním orientačním osvětlením (D).

Během denní doby tato svítidla vyzařují neutrální bílé světlo (4600 K) s vysokým podáním barev a osvětleností srovnávací roviny výrazně přesahující 500 lx. Místnost je osvětlena nepřímo odrazem přes strop. Večer je intenzita světla postupně snižována a v jeho spektru jsou redukovány krátké vlnové délky. Světelný tok je směřován dolů. V noci je při pohybu po místnosti automaticky spínáno noční orientační osvětlení s jantarovou barvou a průměrnou osvětleností v jednotkách luxů.

Osvětlení bylo upraveno i v **koupelnách a v předsíních**. Běžné denní osvětlení zde bylo posíleno, byla změněna distribuce světla tak, aby bylo osvětlení rovnoměrnější. Prostory byly také doplněny automatickým nočním režimem se zdroji světla s nepřímým vyzařováním a odrazem o strop místnosti.



Obrázek 3: Osvětlení koupelen. A - původní osvětlení bylo posíleno a byla změněna distribuce světla (B). Byl doplněn noční režim (C, D).

### 3.1 Osvětlení společných prostor

V jídelně, tj. v hlavním společenském prostoru, byla původně zářivková svítidla, přisazená na stropě nebo instalovaná v podhledu v lesklých mřížkách. V rámci údržby byly do svítidel v průběhu času namíchány dohromady teplé i studené zdroje. Tato svítidla byla nahrazena plošnými panely a s opálovými difuséry, řízenými biodynamickou regulací. Regulace automaticky přepíná z denního režimu s vysokou intenzitou a neutrálním barevným tónem světla do večerní atmosféry se zdroji s výrazně omezenou složkou krátkých vlnových délek (tzv. modrého světla).



Obrázek 4: Osvětlení jídelny A – detail původního svítidla s odraznými mřížkami; B – srovnání původního osvětlení (v pravé části snímku) s novým osvětlením (vlevo) v denním režimu; C – nové osvětlení ve večerním režimu.

Stávající zářivkové osvětlení **hlavní chodby** obytné části bylo také doplněno nočním režimem, tj. LED osvětlením s jantarovým barevným tónem a vysokou rovnoměrností světla.

V dílnách bylo přisazené stropní zářivkové osvětlení nahrazeno pro-kognitivním LED zdrojem s nepřímým vyzařováním do stropu.



Obrázek 5: Osvětlení komunikací před (A) a po úpravě (B); osvětlení dílen před (C) a po úpravě (D)

## 4 Metodika

Studie probíhala ve dvou fázích a zahrnovala dvě vlny testování – v listopadu 2019, před výměnou světel, a v únoru 2020, deset týdnů po výměně světel. Účastníky výzkumu bylo celkem 19 klientů DS TGM v Berouně (11 klientů v testované skupině – v jejich pokojích bylo vyměněno osvětlení, 8 klientů v kontrolní skupině – výměna osvětlení v pokojích byla pouze simulována, světelné parametry zůstaly stejné) a 13 dobrovolníků z řad personálu. Všichni zúčastnění byli seznámeni s průběhem studie a podepsali Informovaný souhlas. Studie byla schválena Etickou komisí Národního ústavu duševního zdraví.

### 4.1 Hodnocení světelných podmínek

V rámci sledování vlivu biodynamického osvětlení bylo provedeno měření původního světelného prostředí v soukromých pokojích klientů včetně osvětlení v koupelnách, dále na společných chodbách, dílnách a ve společenské místnosti. Byla změřena osvětlenost na srovnávací rovině, spektrální složení světla. Tato měření byla provedena ve variantách za

přístupu denního světla a v situaci bez denního světla.

Po provedení instalace byla měření opakována. Měření byla prováděna tak, aby zaznamenala rozdílný charakter osvětlení v denní době, večer a v noci. Ve vybraných prostorech byla dále provedena jasová analýza k posouzení zrakového komfortu. Tento se hodnotil zejména u orientačního nočního osvětlení.

Na základě získaných dat byla vyjádřena účinnost osvětlení na jednotlivé fotoreceptory, s využitím metodiky pro vyjádření  $\alpha$ -opických účinností dle CIE. Z jasové analýzy byly vyhodnoceny jasové poměry, riziko oslnění a kontrastní poměry v zorném poli.

## 4.2 Dotazníkové a kognitivní testování

Během prvního i druhého testování (tj. před a po výměně osvětlení) absolvovali klienti DS TGM Addenbrookský kognitivní test (ACE-R), vyplnili dotazníky týkající se hodnocení kvality spánku (Pittsburský index kvality spánku – PSQI) a Dotazník ranních a večerních typů – (MEQ) a posuzovací škálu nálady (Geriatrická škála deprese – GDI). Funkční stav klientů byl hodnocen pomocí Dotazníku soběstačnosti (DAD). Personál vyplňoval dotazník chronotypu a Pittsburský index kvality spánku. Tytéž hodnoticí nástroje byly použity během druhého, únorového testování. Dotazníky a kognitivní testy byly vyhodnoceny podle mezinárodně standardizovaných postupů.

## 4.3 Aktigrafické měření a analýzy

Aktigrafy MotionWatch 8 (CamNtech Ltd.) byly distribuovány čtyři týdny před výměnou osvětlení a osm týdnů po výměně osvětlení. Klienti i personál byli instruováni k jejich kontinuálnímu nošení po dobu zhruba čtyř týdnů. Aktigraf je přístroj velmi podobný náramkovým hodinkám a nosí se na nedominantní ruce. Přístroj zaznamenává pohybovou aktivitu, na základě které je možné monitorovat rytmus spánku a bdění a rovněž určit některé parametry týkající se kvality spánku. Přístroje MotionWatch 8 rovněž zaznamenávají světelné podmínky v prostředí. Pro přesnější vyhodnocení dat z aktigrafů byli všichni účastníci instruováni k vyplňování spánkových deníků. Data byly analyzována v software MotionWare (CamNtech Ltd.) z hlediska spánku a cirkadiánní rytmicity (celkový čas spánku, spánková efektivita, variabilita, stabilita apod.) se vzorkováním epochy 30 s.



## 4.4 Odběry vzorků slin a stanovení hladin melatoninu

Vzorky slin pro stanovení hladin melatoninu byly odebírány zúčastněným klientům DS TGM v 3-hodinových intervalech po dobu 24 hodin, a to před výměnou a po výměně osvětlení. Dobrovolníci z řad personálu poskytli vzorky slin odebrané v domácím prostředí a někteří také vzorky odebrané při noční směně. V biologických vzorcích byla stanovována hladina melatoninu pomocí radioimunologické analýzy (RIA). Výsledky získané v jednotlivých zkouškách před výměnou osvětlení a po ní byly interpretovány ve vztahu k intenzitě a spektru světla v prostředí DS TGM v Berouně.

## 4.5 Statistické zpracování

Statistické metody byly voleny s ohledem na typ analýzy a povahu dat. Byly použity párové i nepárové statistické t- testy, Pearsonova korelační analýza a kosinorová analýza pro stanovení rytmu.

# 5 Nejvýznamnější výsledky studie

Vlivy nového osvětlovacího systému byly mezioborovým týmem komplexně hodnoceny z řady objektivních i subjektivních hledisek. Závěry získané z jednotlivých pozorování jsou ve vzájemné shodě, jednotlivá zjištění se podporují.

## 5.1 Světelné prostředí

Osvětlení v domově seniorů musí zohlednit specifika uživatelů. Jsou jimi zejména potřeba vyšší osvětlenosti pro zrakové činnosti, pomalejší adaptace na změnu intenzity osvětlení, vyšší riziko oslnění díky špatné toleranci vysokých kontrastů v zorném poli, ale současně horší schopnost rozlišení ploch s malými kontrasty. V důsledku stárnutí oka se snižuje citlivost na světlo krátkých vlnových délek, často dochází k zúžení zorného pole apod. Dále je třeba zohlednit často omezené schopnosti pohybu, pomalé reakce atd.

### Zrakový komfort

Měření prokázala vyšší osvětlenost v pobytových místnostech. Oproti původnímu stavu, kdy osvětlenost v řadě prostor nedosahovalo ani požadovaných normových hodnot, se

současná hladina osvětlenosti zvýšila na více než dvojnásobek.

Měření dále prokázala, že distribuce v prostoru omezuje nevhodné kontrasty a výrazné stíny. Ložnice klientů jsou osvětleny nepřímo odrazem přes strop, čímž je dosaženo výborné rovnoměrnosti světla a omezeno riziko oslnění i přes relativně vysokou osvětlenost. Nepřímého osvětlení současně zaručuje, že světelné paprsky nedopadají přímo do oka ležící osoby.

Noční orientační osvětlení v ložnicích, na chodbách a toaletách je tlumené, jantarové barvy. Je směřováno k podlaze, kde osvětluje překážky a umožňuje bezpečný pohyb po místnosti. Díky rovnoměrné distribuce je dostatečná osvětlenost v jednotkách luxů. Noční nepřímé osvětlení v koupelnách je rozptýlené přes rovinu stropu, umožňuje dostatečnou orientaci v prostoru, ale současně umožní adaptaci oka na nízké osvětlenosti a tím i bezpečný pohyb při návratu do pokoje, aniž by bylo třeba zapínat hlavní osvětlovací systém.

### **Spektrální složení**

Spektrální analýza zdroje použitého pro denní osvětlení prokázala, že je spektrálně blízký dennímu světlu. Teplota chromatičnosti 4700 K je v souladu s teplotou chromatičnosti denního světla (6500 – 5000 K) redukovanou dle principu Krujthofova diagramu pro nižší interiérovou osvětlenost, v důsledku čehož je jako nejvhodnější pro denní pobytové prostory doporučována teplota chromatičnosti 4500–5000 K.

Ve spektru jsou rovnoměrně zastoupeny všechny vlnové délky délek v centrálním pásmu 450–650 nm, s maximální odchylkou  $\pm 13$  %. V porovnáním s běžnými světelnými zdroji je tak dosaženo nadstandardního podání barev a spektrálního složení blízkého dennímu světlu, index podání barev je vyšší než 91. Spektrální charakteristika LED zdroje využívaného pro denní svícení tedy v souladu s požadavky na plnospektrální zdroj světla. Všechny fotoreceptory v oku jsou rovnoměrně stimulovány, jak je to běžné v přírodním prostředí. Pobyt v prostředí osvětleném plnospektrálními zdroji je pro organismus méně únavný ve srovnání s prostory osvětlovanými běžnými zdroji elektrického světla, kterým zpravidla chybí části spektra a zpracování zrakové informace může být pro mozek namáhavější.

Oproti standardním LED zdrojům je spektrum dále posíleno v pásmu biologicky aktivizujících modrých a azurových vlnových délek (450–500 nm). Takový zdroj lze označit za pro-kognitivní světelný zdroj, tj. podporující kognitivní výkon. Pro-kognitivní LED osvětlení, obdobně jako přirozené denní světlo, je schopno podpořit řadu duševních činností, například schopnost soustředění nebo paměť. Kvalitní osvětlení ve dne také prokazatelně stabilizuje biorytmus organismu, pozitivně ovlivňuje spánek v následné noci a tento efektivnější regenerační proces se může dlouhodobě projevit ve vyšší fyzické výkonnosti, subjektivní spokojenosti i zdraví a vitalitě. Využívá při tom vysoké účinnosti plnospektrálního zdroje na vnitřní biologické hodiny. Technologie pro-kognitivního světla byla vytvořena na

základě znalosti lidských biorytmů.

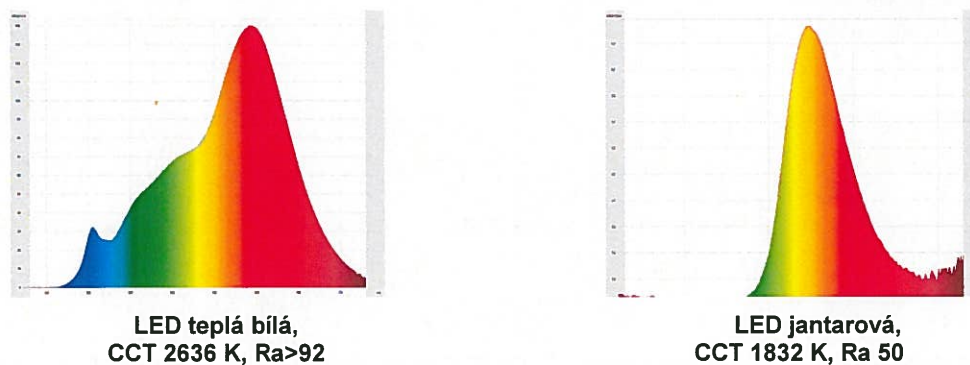
Ve spektru je zastoupen velký podíl dlouhých vlnových délek (červená část spektra), které přispívají k vysokému podání barev a kvalitnímu barevnému vjemu.



Obrázek 6: Spektrální složení světelných zdrojů pro použití během dne

Spektrální analýza zdrojů instalovaných pro večerní režim je prokázala nižší zastoupení krátkých vlnových délek, s tím spojenou nižší teplotu chromatičnosti (2636 K) a v porovnání s běžnými zdroji velmi vysokou kvalitu podání barev  $R_a > 92$ . Tento parametr je zejména důležitý vzhledem ke specifickým potřebám uživatelů.

Noční orientační osvětlení zcela postrádá krátké vlnové délky, nelze jej tedy považovat za světlo bílé. Jeho jantarový barevný tón je vhodný pro využití v noční době, vypočítaný index podání barev  $R_a = 50$  je dostatečný pro zvolený účel (orientaci v prostoru) i u starších věkových skupin, zejména pokud je dodržena vysoká rovnoměrnost distribuce světla v prostoru.



Obrázek 7: Spektrální složení světelných zdrojů pro použití večer a v noci

### Ovládání, řízení systému

Hlavní osvětlovací prvky v ložnicích a osvětlení v jídelně jsou automaticky řízeny dle denní doby tak, aby během světelné podmínky simulovaly přirozený rytmus dne a noci. Změny spektra, světelného výkonu i prostorové distribuce probíhají pozvolně a přirozeně. Uživatelé nemají přístup k řízení kvality a kvantity osvětlení, mohou jej pouze zapínat/vypínat. Cílové světelné podmínky jsou odvozeny z přirozených podmínek v období rovnodennosti, nejsou tedy proměnlivé v průběhu roku. Hlavní osvětlovací systém je doplněn lokálním osvětlením u lůžek a na stole.

Noční orientační osvětlení v ložnicích je řízeno pohybovým čidlem umístěným u podlahy tak, aby zachytili pohyb kolem lůžka nebo příchod ošetřujícího personálu do místnosti.

### Fyziologické účinnost osvětlení

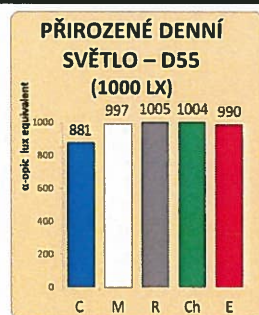
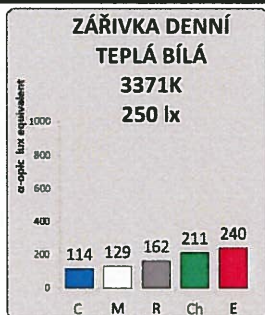
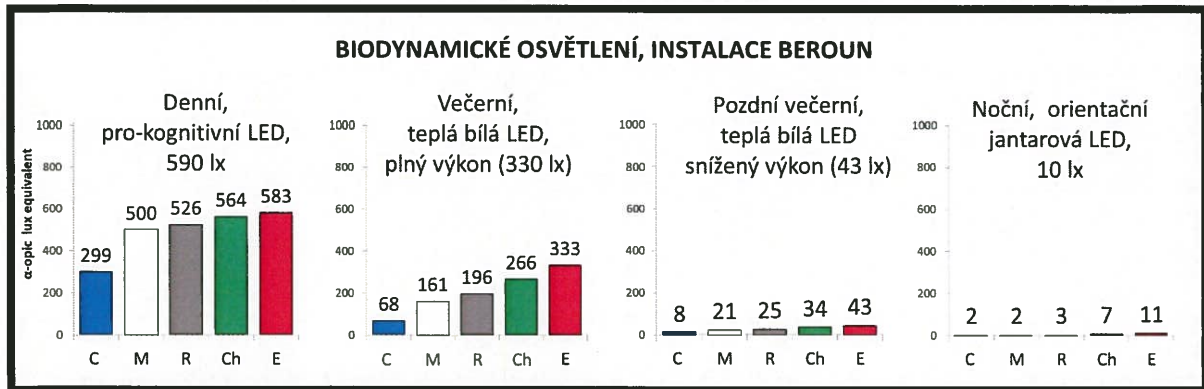
Pro komplexní posouzení účinnosti světla dopadajícího od lidského oka je nutné vyhodnotit jeho vliv na celý komplexní systém vnímání světla pro zrakové i neobrazové vnímání. Posouzení účinnosti u zkoumaných světelných zdrojů prokázalo významné rozdíly mezi citlivostí jednotlivých fotoreceptorů pro jednotlivé zdroje, viz tabulka 1 a obrázek 8.

Hodnocení melanopické účinnosti se mezi sledovanými zdroji světla liší, nejsilnější (denní LED) stimuluje organismus více než 250 x silněji než nejslabší (noční) zdroj. Tento poměr sice stále nedosahuje variability v přírodním prostředí (viz poslední sloupec tabulky, porovnání účinnosti s denním světlem), ale je mu násobně bližší, než bylo v prostředí před výměnou osvětlení, ve kterém nebyla žádná variabilita možná, ale i významně větší než jakou umožňují běžné osvětlovací systémy projektované a realizované dle platných norem.

Tabulka 1: Výpočtové účinnosti pro jednotlivé fotoreceptory

	CCT K	Ra	Photopic lux	Cyanopic s-cone	Melanopic ipRGCs	Rhodopic rod	Chloropic m-cone	Erythroptic l-cone	Melanopická účinnost, v porovnání s denním světlem [%]
Denní plnospektrální, pro-kognitivní LED	4755	92	561	299	<b>500</b>	525	564	583	50 %
Večerní, teplá bílá LED, plný výkon (max)	2636	94	331	67,6	<b>160</b>	196	266	333	16 %
Pozdní večerní, teplá bílá LED, redukováný výkon (min)	2600	92	43	8,0	<b>21,2</b>	25,5	34,3	43,1	2,1 %
Noční, orientační jantarová LED	1832	50	10	1,9	<b>2,1</b>	3,2	7,2	10,6	0,2 %
Zářivka denní, neutrální bílá (původní osvětlení)	3371	82	248	113,9	<b>128,5</b>	161	211	240	13 %
Přirozené denní světlo, 5500 K	5500	99	1000	880	<b>996</b>	1005	1004	989	100 %

Díky tomuto vysokému rozdílu v potenciálu jednotlivých zdrojů lze osvětlovací systém označit jako **biodynamický**, tj. simulující přirozené světelné prostředí. Vzhledem k vysoké kvalitě osvětlení pro zajištění zrakových funkcí, viz rovnoměrnost a dobrá stimulace všech tradičních fotoreceptorů (čípky a tyčinky), splňuje tento osvětlovací systém všechny požadavky obrazové i neobrazové vnímání světla, je to tedy **osvětlení integrativní** (dle CIE).



#### LEGENDA

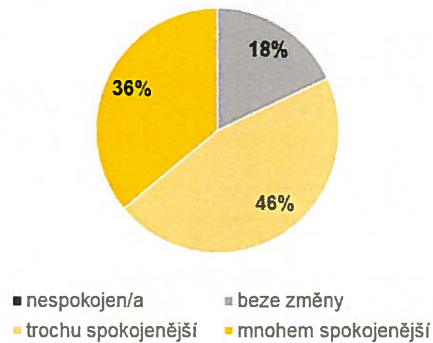
- C Cyanopic (S-čípek)
- M Melanopic (ipRGCs)
- R Rhodopic (Tyčinky)
- Ch Chloropic (M-čípek)
- E Erythroptic (L-čípek)

Obrázek 8: Účinnost světlených režimů biodynamického svítidla na jednotlivé fotoreceptory v lidském oku (nahore), ve srovnání s přirozeným světlem a původními zářivkovými zdroji (dole). Měřeno na horizontální rovině ve výšce lůžka, noční osvětlení měřeno na vertikální rovině ve výšce 150 cm nad podlahou.

## 5.2 Subjektivní hodnocení účinnosti biodynamického osvětlení

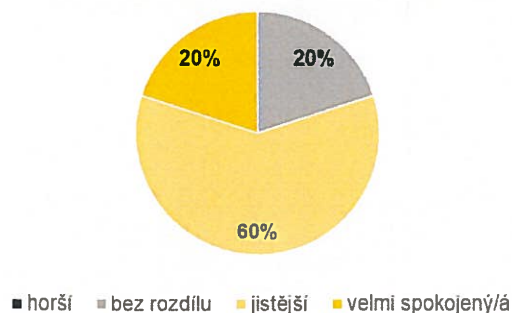
Z průběžné evaluace (provedené v lednu 2020) subjektivních pocitů jedinců z testované skupiny (N=11) ze změny osvětlení je patrné, že instalace nového osvětlení byla přijata dobře a měla pozitivní vliv na subjektivní pocity klientů domova pro seniory. Většina z nich byla se změnou spokojena (82 %), z toho 36 % dokonce významně. Nikdo nehodnotil změnu osvětlení jako negativní (Obrázek 9). Klienti především oceňovali zlepšení mobility v prostoru po instalaci nového automatického nočního osvětlení. 60 % klientů se cítilo při pohybu jistější než dřív (Obrázek 10). U více než třetiny (36 %) se subjektivně zlepšil spánek (Obrázek 11) a u 9 % se výrazně zlepšila nálada (Obrázek 12). Nejčastější reakce po měsíci užívání nového osvětlení byly: „v noci se cítím mnohem jistější při cestě do koupelny“ a „ve dne nyní spím mnohem méně, než dřív“.

### CELKOVÁ SPOKOJENOST S NOVÝM OSVĚTLENÍM



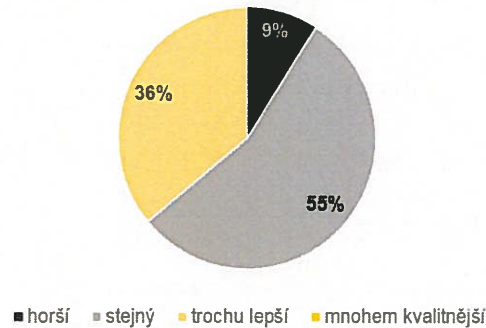
Obrázek 9: Celková spokojenost s novým osvětlením u testované skupiny ( $n = 11$ ). Souhrnné hodnocení nového osvětlení zahrnuje změnu nálady, kvality spánku i pohyblivosti po pokoji a chodbě.

### ZMĚNA POHYBLIVOSTI I ZRAKU PO INSTALACI AUTOMATICKÉHO NOČNÍHO OSVĚTLENÍ



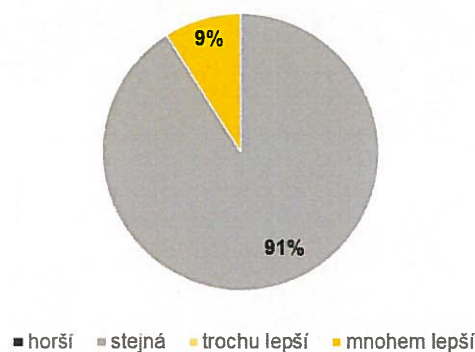
Obrázek 10: Subjektivně hodnocená změna pohyblivosti a zraku po výměně osvětlení u testované skupiny ( $n = 10$ ). Odpověď na otázku: „Myslíte si, že se vám díky novým automatickým nočním světům snadněji pohybuje po pokoji a chodbě, (speciálně v noci, že lépe vidíte, aniž byste rušili stropním světlem spolubydlící)?“ Zlepšení mobility v prostoru nastalo po instalaci nového automatického nočního osvětlení u většiny respondentů (80 %): 60 % se cítí při pohybu jistější než dřív, 20 % je s novým osvětlením velmi spokojeno. Pětina nepociťuje žádné změny.

#### ZMĚNA SPÁNKU PO VÝMĚNĚ OSVĚTLENÍ



Obrázek 11: Subjektivně hodnocená změna spánku po výměně osvětlení u testované skupiny ( $n = 11$ ).

#### ZMĚNA NÁLADY V POSLEDNÍCH DNECH



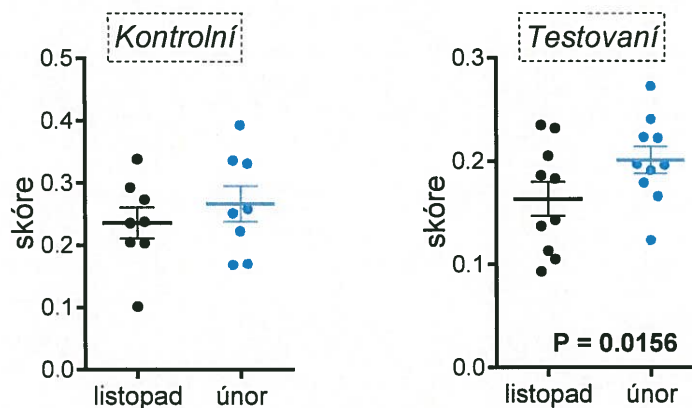
Obrázek 12: Subjektivně hodnocená změna nálady po výměně osvětlení u testované skupiny ( $n = 11$ ).

### 5.3 Objektivní hodnocení účinnosti biodynamického osvětlení

Objektivní hodnocení účinnosti instalace biodynamického osvětlení je opřeno o výsledky kognitivního testování, o analýzy aktigrafických záznamů a o zjištěné hladiny melatoninu. Souhrnně lze říci, že výsledky prokázaly, že výměna osvětlení byla spojena s lepší synchronizací cirkadiálních rytmů, jejich vyšší amplitudou a lepším kognitivním výkonem. Zvýraznění amplitudy cirkadiálních rytmů je patrné jak z aktigrafických dat, tak i ze stanovených denních i nočních hladin melatoninu.



Z aktigrafických dat je významným ukazatelem především tzv. mezidenní stabilita (interdaily stability), která vyjadřuje míru synchronizace cirkadiánní rytmicity (zejména načasování spánku a bdění) na základě porovnání parametrů cirkadiánních rytmů, tedy periody, amplitudy a fáze, srovnávaných mezi jednotlivými dny měření. Naše data ukazují, že po výměně osvětlení došlo v experimentální skupině k signifikantnímu zlepšení synchronizace cirkadiánních rytmů (Obrázek 13).

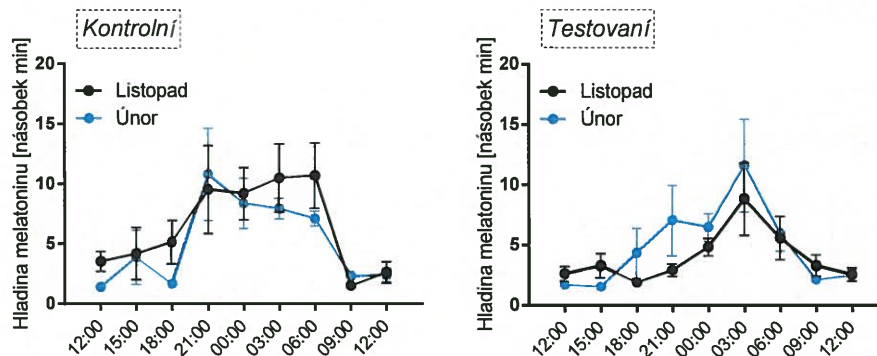


Obrázek 13. Faktor IS (interdaily stability) získaný aktigrafickým měřením. Obrázek ukazuje signifikantní zlepšení synchronizace u testovaných subjektů mezi listopadovým a únorovým měřením.

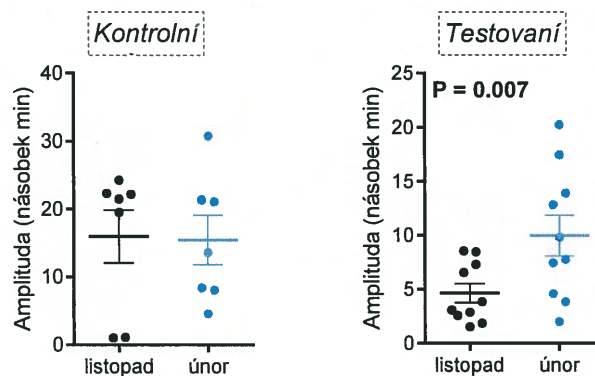
Podobně i naměřené hladiny melatoninu ukazují na zlepšení synchronizace a prohloubení amplitudy cirkadiánních rytmů v experimentální skupině po výměně běžného osvětlení za biodynamické. Následující obrázky dokumentují, že u klientů DS TGM, kterým bylo vyměněno osvětlení v pokojích, došlo ke zvýraznění amplitudy melatoninového rytmu (Obrázek 14 a 15) a k časnější syntéze melatoninu ve večerních hodinách (Obrázek 14).

V experimentální skupině došlo po výměně osvětlení také ke snížení hladin denního melatoninu (Obrázek 16). V této skupině byla také zjištěna významná korelace mezi denní hladinou melatoninu a denním spánkem (zdřímnutím) – čím nižší byla hladina melatoninu, tím méně bylo denního spánku (Obrázek 16).

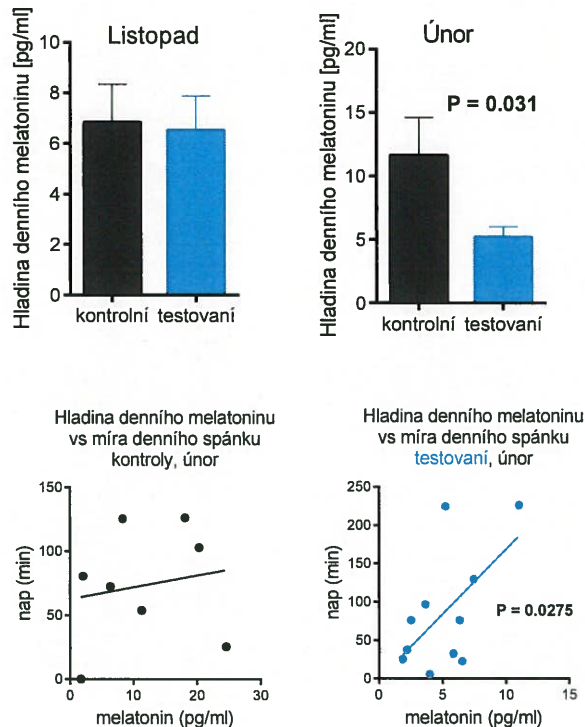
V experimentální skupině došlo také po výměně osvětlení ke zlepšení kognitivního výkonu měřeného Addenbrookským kognitivním testem. Výkon v testu pozitivně koreloval s amplitudou melatoninového rytmu (Obrázek 17).



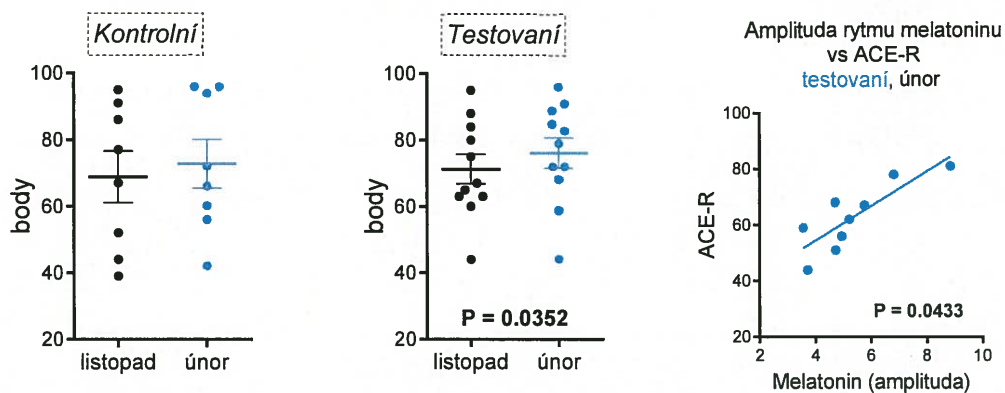
Obrázek 14. Souhrnné grafy rytmu v hladině melatoninu u kontrolních subjektů ( $n=8$ ), kteří měli zachováno ve svých pokojích původní osvětlení, a testovaných subjektů ( $n=11$ ), s vyměněným osvětlením. Obrázek kontrolních subjektů ukazuje podobný rytmus v hladině melatoninu mezi listopadem a únorem, zatímco obrázek vpravo ukazuje zlepšení v amplitudě a časnější nástup syntézy melatoninu zvečera.



Obrázek 15. Rozdíly v amplitudě rytmu melatoninu mezi listopadovým a únorovým měřením u kontrolních subjektů (s původním osvětlením) a u testovaných subjektů (s novým osvětlením). Obrázek ukazuje statisticky signifikantní zvýšení amplitudy rytmu u skupiny seniorů po výměně osvětlení, zatímco u kontrolní skupiny se velikost amplitudy nezměnila.

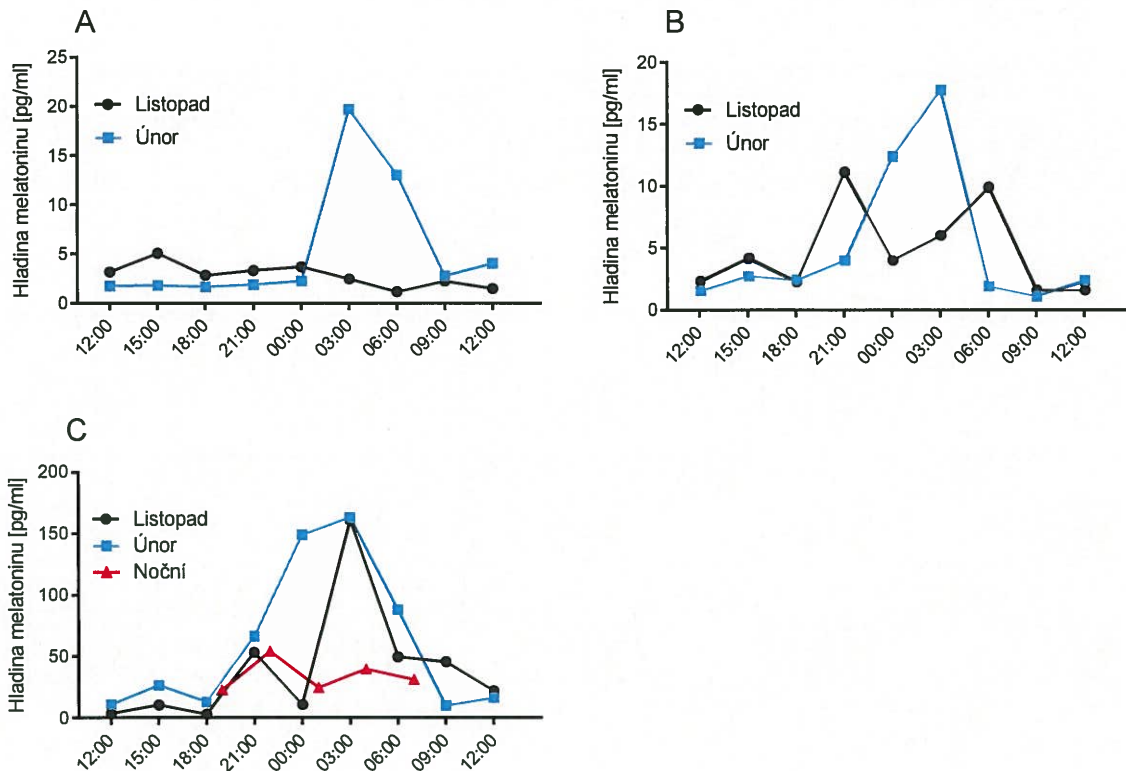


Obrázek 16. Správný rytmus melatoninu je tvořen vysokou hladinou v noci, ale velmi nízkou, až nulovou hladinou denní. Vysoká hladina denního melatoninu svědčí o špatné synchronizaci cirkadiálních hodin světlem či snížené citlivosti na světlo, a může vést k narušení spánkových cyklů a zvýšené míře denního pospávání, tzv. napu. Naše výsledky ukazují signifikantní snížení denní hladiny melatoninu u testovaných subjektů v únoru oproti kontrolním subjektům (nahore vpravo), která významně koreluje s mírou denního spánku zjištěného aktigrafickým měřením (dole vpravo). Denní hladina melatoninu před výměnou světla, tedy v listopadu, byla shodná u obou skupin (nahore vlevo) a korelace s mírou napu u kontrolních subjektů byla v únoru nevýznamná.



Obrázek 17. Grafy ukazují souhrnné výsledky v Addenbrookském kognitivním testu. Zatímco výsledky u kontrolní skupiny zůstávají mezi listopadem a únorem téměř shodné, u testované skupiny subjektů došlo k signifikantnímu zlepšení v únorovém testování oproti listopadovému. Lepší výkon signifikantně koreluje se zvýšenou amplitudou rytmu v melatoninu (vpravo).

Pro ilustraci níže uvádíme na obrázku 18 příklady denních rytmů v hladině melatoninu u jednoho klienta z testované skupiny, jednoho klienta z kontrolní skupiny a u ošetřujícího personálu zjištěné při prvním a druhém měření (tj. před výměnou osvětlení a po ní).



Obrázek 18. Příklady denních rytmů v hladině melatoninu ve slině u seniorů (A, B) a u zástupce ošetřujícího personálu (C) před instalací nového osvětlení (listopad) a tři měsíce po instalaci nového osvětlení (únor). Obrázek A ukazuje profil denního melatoninu s nulovou amplitudou naměřenou v listopadu, která se v únoru výrazně zlepšila díky optimalizovaným světelným podmínkám. Obrázek B ukazuje listopadový rytmus se dvěma vrcholy na začátku a na konci noci. Lze předpokládat, že toto snížení bylo vyvoláno nevhodným osvětlením používaným při nočních kontrolách seniora. Po instalaci osvětlení se jeho rytmus v melatoninu konsolidoval a noční propad jeho hladiny zmizel. Obrázek C ukazuje rozdíl mezi rytmy v melatoninu z listopadu a února, a to zejména v délce trvání vysoké hladiny melatoninu, která neklesá kolem půlnoci jako při listopadovém měření. Červená křivka ukazuje hladinu melatoninu při noční směně. Potlačení syntézy melatoninu nočním světlem je zde velmi typické.

## 6 Shrnutí a doporučení

Objektivní měření světelných parametrů v prostoru i subjektivní hodnocení pomocí dotazníků potvrdilo zlepšení zrakového komfortu obyvatel domova seniorů. Zejména kladně bylo hodnoceno noční orientační osvětlení, které přináší uživatelům větší jistotu při pohybu v prostoru v noční době. Analýza  $\alpha$ -opických osvětleností a jejich změn v průběhu 24 hodin automatického světelného cyklu prokázala výrazný kontrast mezi denní a noční osvětleností, který je systém schopný zajistit. Výsledky testování fyziologických parametrů prokázaly, že instalace biodynamického osvětlení signifikantně zlepšila amplitudu rytmu v produkci melatoninu, která korelovala se zvýšeným výkonem v kognitivních testech u testovaných subjektů, a která byla rovněž spojena s nižší hladinou denního melatoninu, což se pozitivně odrazilo ve zkrácení doby denního prospávání, tzv. napu. Aktigrafická měření prokázala zlepšení synchronizace rytmů v pohybové aktivitě a spánku, jako markeru celkové konsolidace cirkadiánního systému. Zlepšení amplitudy rytmu v produkci melatoninu lze považovat za výsledek, který **jednoznačně indikuje významný přínos instalovaného biodynamického osvětlení pro zlepšení symptomů stárnutí seniorů**. Senioři v testované skupině navíc po výměně osvětlení popisovali zlepšení spánku a nálady, což ukazuje na **pozitivní přínos biodynamického osvětlení pro kvalitu jejich života**. Je dobré zmínit, že do testované skupiny byli s ohledem na možnosti technické realizace výměny osvětlení zahrnuti senioři, kteří obývali pokoje přízemní části budovy. Nebyli tedy vybíráni s ohledem na medikaci a diagnózu nemocí. V průběhu studie se ukázalo, že testovaní senioři byli již před výměnou osvětlení v celkově horším zdravotním a fyzickém stavu a vyžadovali více nočních intervencí, než kontrolní skupina. Přesto byl u nich pozitivní účinek biodynamického osvětlení ve srovnání s kontrolní skupinou prokázán. A to i navzdory tomu, že nová světla byla instalována i ve společných prostorách, tudíž jim byla částečně vystavena i kontrolní skupina. Tato skutečnost poukazuje na to, že **instalace biodynamického osvětlení musí být pojata komplexně** a musí zahrnovat úpravu denního i nočního osvětlení ve všech prostorách. Stávající regulaci dle denní doby by bylo **vhodné rozšířit o regulaci sezónní**, která by zohledňovala délku dne v jednotlivých ročních obdobích. Dále je třeba zdůraznit, že tříměsíční adaptační období je z hlediska změn v cirkadiánním systému poměrně krátké. Lze předpokládat, že po delším období používání instalovaných světel budou rozdíly ještě výraznější. Bylo by přínosné ověřit, zda dlouhodobé působení biodynamického osvětlení povede až ke klinicky významným rozdílům v celkovém fungování, zdravotním stavu a kognici seniorů. Na základě odborné literatury a naměřených dat se domníváme, že je to pravděpodobné. Proto doporučujeme **provést třetí etapu testování v plném rozsahu popsaném výše, a to cca po jednom roce užívání instalovaného biodynamického osvětlení**.

## Literatura

Lunn RM, Blask DE, Coogan AN, et al. Health consequences of electric lighting practices in the modern world: A report on the National Toxicology Program's workshop on shift work at night, artificial light at night, and circadian disruption. *Sci Total Environ.* 2017;607-608:1073-1084. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.07.056

Touitou Y, Reinberg A, Touitou D. Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: Health impacts and mechanisms of circadian disruption. *Life Sci.* 2017;173:94-106. doi:10.1016/j.lfs.2017.02.008

Boivin DB, Boudreau P. Impacts of shift work on sleep and circadian rhythms. *Pathol Biol (Paris).* 2014;62(5):292-301. doi:10.1016/j.patbio.2014.08.001

Kessler K, Pivovarovova-Ramich O. Meal Timing, Aging, and Metabolic Health. *Int J Mol Sci.* 2019;20(8):1911. Published 2019 Apr 18. doi:10.3390/ijms20081911

CIE, System for metrology of optical radiation for ipRGC-influenced responses to light, International standard CIE s 026/E:2018.

V Klecanech dne 31. 5. 2020

**Národní ústav duševního zdraví**  
PhDr. Jana Koptířová, Ph.D.  
vedoucí výzkumného programu  
Topolová 748, Klecany 250 67  
tel.: 283 088 400

