

NOVÉ PARADIGMA OSVĚTLENÍ V BUDOVÁCH, NOVÁ ŘEŠENÍ

A NEW PARADIGM OF INTERIOR LIGHTING, NEW SOLUTIONS

Jan Hollan¹

Abstract

The old paradigm: the more light the better. The new one: Not at Night! Yellow and faint, if any. Be a good servant, not a bad lord! For sake of our health, for sake of halting global warming. Reasons and technology are explained in the paper.

One reason is the proven toxicity of light (melatonin production reduction, sleep disturbance, probable cause of cancer) versus no danger of eye damage due to low illuminance. The other is that no “free power” is available to feed lighting, all savings diminish fossil fuel consumption directly. The current atmospheric concentration of CO₂ (386 ppm) is far above the possibly safe one of 350 ppm. Huge reductions of light amounts at night are needed for both health and climate. During daylight, all existing obstacles to its full employment should be avoided so that no artificial lighting is needed, or just a much fainter one than nowadays common, targeted just where needed (LEDs being ideal for that).

Movable shading devices deep inside rooms are to be preferred to window blinds, if glare is a problem. Refracting layers (like pattern glass) are to be preferred to white or whitish screens at the window, which refuse solar gains. All light sources should be so easy to switch on-off individually, to dim and, from dusk to dawn, to avoid their blue components, that users or automated systems would do that really. Window blinds should never cause a need for artificial lighting in daytime, and should close themselves at night to prevent light escaping outside.

Keywords

melatonin, chronobiology, scotobiology, light at night, circadian disruption, yellow-filtered light, day/night light contrast, mitigation of climate change, sustainable lighting, daylighting, LED lights, movable blinds

1 ROZŠÍŘENÁ ANOTACE COBY ÚVOD

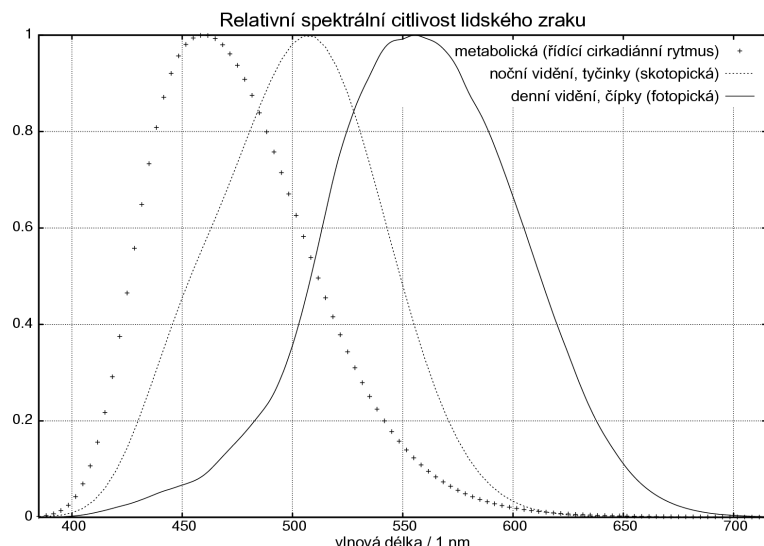
Staré paradigma znělo: světlo je dobré. Čím více, tím lépe. Vždy a všude. Nepatří se na něm šetřit.

Ve třetím tisíciletí ale již víme, že zrak nemůže být nikdy poškozován nedostatkem světla. A že světlo bývá naopak toxické, zejména v noci. Že jeho dávkování musí tehdy být velmi omezující. V roce 2007 jsme se kromě toho dozvěděli, že hmotnost fosilního uhlíku, který jsme si mohli dovolit spálit bez fatálních dopadů na stav a budoucnost Země jako planety, kde se rozvinula civilizace, jsme již překročili. Nemáme žádnou elektřinu, kterou bychom mohli nevinně použít pro svícení. Jakákoliv redukce spotřeby elektřiny znamená u nás snížení výkonu zdrojů užívajících fosilních paliv, tedy věc žádoucí, nutnou.

Nový úkol oboru Technická zařízení budov tedy je, vystačit v budovách přes den téměř úplně s denním světlem. Za svítání, během soumraku a v noci pak dávkovat světlo opatrně a úsporně, tak, jak umožní zlepšující se technologie. Nutnost okamžité, výrazné a stupňující se ochrany klimatu je zde našťastí podporována vědomím, že světlo též škodí.

Nové paradigma vychází z poznání, že zásadní je střídání dne a noci. Hojnost světla – desítky, stovky luxů, ba až 0,1 Mlx plného oslunění – je dobrá jen přes den. V noci je tomu naopak, světla má být o mnoho řádů méně – v přírodě je to desetina luxu při úplňku, mililux za jasného bezměsíčního nebe, desítky mikroluxů v lese či obydlích. Během takového střídání se vyvinuly všechny druhy, donedávna bylo samozřejmé i pro lidi. Jeho rytmus je nám vlastní, vlastní je i každé z našich buněk. Pochody v nich mají svou odlišnou denní a noční podobu. Organismy si svůj denní rytmus udržují i v trvalé tmě, jen se zvolna s venkovním denním rytmem rozcházejí. Délka cyklu samovolně běžícího metabolického rytmu je tedy 24 h jen přibližně a rytmus se proto označuje jako *circadiánní*. Se skutečným střídáním dne a noci je sladěn prostřednictvím zvláštního vizuálního systému, který nevytváří obraz, nereaguje na kratičké podněty a je citlivý hlavně na krátkovlnné světlo.

¹ Jan Hollan, RNDr., VUT v Brně, FAST, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 95, 602 00 Brno, hollan (na) ped.muni.cz



Graf 1 Synchronizaci s fází dne zajišťuje hlavně modré světlo (křížky)

Přírodní střídání dne a noci je pro nás ale už pryč. Na vině je dostupnost silného umělého osvětlení. Zkrácení noční fáze metabolismu z někdejšího průměru 11 h (a prosincového trvání 15 h v našich zeměpisných šířkách) téměř jen na dobu, kdy spíme (až tehdy dostávají oči světelný signál tak malý, že to spolu s mozkem vyhodnotí jako noc), je změnou, která nemohla zůstat bez důsledků. K pravděpodobným se řadí zvýšený výskyt rakoviny prsu i dalších nádorů, možná i epidemie obezity.

Jak to napravit, to napovídá i graf 1. Potřebujeme-li si během noční doby svítit, musíme potlačit světlo s vlnovou délkou pod 550 nm. A i celkové osvětlení oči zbylým žlutým světlem udržovat co nejmenší – právě úhrn světla dopadající do očí je signálem, který přepíná metabolismus mezi denní a noční fází. Silněji (i ke sto luxům) si svítit jen na malou pracovní plochu (knížku), pokud na nás nesvítí „ona“ (čili monitor – ten nastavit tak, aby modrá složka byla minimální a zelená ztlumená).

Žluté svícení je technicky snadné, filtrováním světla zářivek fóliemi či nátěry barvou na sklo. Nověji poskytují levné žluté světlo diodové náhrady žárovek, výhodou je i skvělá směrovanost. Dosud se hygienické předpisy staraly o bohatou náhradu či doplnění denního světla. Je na čase, aby se staraly i o zajištění jen tak malých intenzit v noci, které nenaruší noční fázi metabolismu, případně i umožní kvalitní spánek těm, kteří si zrovna svítit nepotřebují. **O obnovu kontrastu dne a noci.**

Kromě ochrany zdraví má takové nové paradigma ještě jeden aspekt, totiž cíl radikálního snížení spotřeby elektřiny. Oči se malými intenzitami světla nekazí. Spáleným uhlím se ale kazí naše planeta. Ve dne má stačit denní světlo... Podrobněji o důvodech změny paradigmatu, technologiích, které ji umožní a dalších doporučeních viz následující kapitoly.

2 DOSAVADNÍ POZNATKY O ŠKODLIVOSTI „SVĚTLA V NOCI“, NOVÉ TECHNOLOGIE

Poznání, že umělé osvětlování s intenzitami, které jsou v posledních desítkách let v noční době běžné, je vážným zdravotním problémem, se rodilo během uplynulých dvaceti let. Hypotéza, že by snížení produkce hormonu melatoninu (tvoří se jen v noci, a v plné míře jen tehdy, je-li dostatečně tma) mohlo být příčinou zvýšeného výskytu rakoviny prsu pochází z roku 1987 [1]. Od té doby bylo na pokusných zvířatech spolehlivě prokázáno, že světlo v intenzitách značně přesahujících přírodní noční úroveň, je-li přítomno v noční době, vyvolává tvorbu nádorů. V případě lidí je přímé prokázání obtížné, nicméně mechanismy, které by mohly četnost nádorových onemocnění ovlivnit, jsou tytéž, jako u laboratorních zvířat. Epidemiologické studie očekávanou souvislost mezi expozicí světla v noční době a incidencí rakoviny prsu, prostaty a konečníku u lidí skutečně našly. Dobrý moderní přehled takových poznatků viz [2], novější výzkum viz [3]. Ten ukázal korelaci až překvapivou, environmentálním vlivem byla totiž intenzita *venkovního* umělého osvětlení. Rozsáhlá studie, shrnující důvody pro stanovení limitů na venkovní osvětlení je [4].

Větší zdravotní dopady než venkovní osvětlení má ale nepochybně osvětlení interiérů, jak proto, že v nich dnes většina lidí bohatých zemí tráví většinu času, tak proto, že intenzita osvětlení očí tam v noci bývá vyšší než venku. Zvlášť velký vliv lze očekávat u osob, které pracují v občasných nočních směnách a jejich zrak je tak vystaven světlu i v době, kdy by za noci, kdy noční směnu nemají, spali. S ohledem na dosud publikované práce zařadila proto na podzim roku 2007 Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny práci ve směnách, pokud zahrnuje narušení cirkadiánního rytmu, mezi pravděpodobné příčiny rakoviny [5, 6].

Badatelé, kteří se zkoumáním vlivu světla na tvorbu melatoninu zabývají, doporučují užívat v noci jen slabé osvětlení s potlačenou modrou složkou. Ač se tím sami řídí, ve svých vědeckých publikacích většinou důrazně doporučují

ohledně nočního osvětlování nedávají, majíce na paměti, že moderní společnost by přece bez vydatného osvětlení „nemohla fungovat“. Jako možnou prevenci narušení cirkadiánního rytmu či léčbu některých poruch nicméně několik publikací [7, 8, 9] uvádí noční nošení brýlí filtrujících krátkovlnnou polovinu spektra, tedy žlutých až oranžových.¹

Autor tohoto příspěvku navrhl již v roce 2004 [10] jinou metodu, totiž používání žlutých světelných zdrojů, přesněji doplnění obvyklých zdrojů (žárovky, zářivky) o žluté filtry. Jak typu samolepicích průhledných plastových fólií, tak typu průhledné barvy na sklo odolné vůči vysokým teplotám (vypalovací). Od té doby ji používá jak doma, tak i v práci. Podrobnější texty o potřebě dalších dvou typů interiérového osvětlení, kromě toho dnes obvyklého, které má nahrazovat či doplňovat denní světlo, publikoval v letech 2006 [11] a 2007 [12]. Druhá z těchto prací kladla důraz na používání denního světla. Obě práce popisovaly systém osvětlení bez modré složky, mnohem slabšího než se užívá přes den. A také třetí, poslední typ osvětlení pro hlubokou noc, kdy má sloužit jen bezpečnému pohybu osob adaptovaných na tmu (např. nočním vrátným nebo těm, kteří se během noci budí, neb „musí na záchod“) tam, kde není dost světla zvenčí (chodby bez oken, sklepy, bohužel někdy i koupelny bez přirozeného osvětlení). U toho není potřeba nikdy více než desetina luxu, čili tolik, jako je za jasné úplňkové noci venku, běžně stačí i několik mililuxů.

Slabé žluté, či ještě mnohem slabší noční orientační osvětlení se ale od té doby stalo mnohem dostupnější. Je to díky průniku **diodového osvětlování** na běžný trh. Existují i čistě žlutá LED světla se standardním závitem pro náhradu žárovek ve 230V instalacích, příp. s patičí pro svítidla 12V. Jejich cena je obdobná středně drahým kompaktním zářivkám (dvě stě korun), příkon mají ale pouze 2 W. Proto se jen málo zahřívají a lze u nich očekávat životnost na úrovni desítek tisíc hodin (alespoň deseti let celonočního svícení). Ty první na trhu mají světelné účinnosti podobně nízké jako běžné žárovky (kolem 10 lm/W, na rozdíl od výbojových zdrojů s alespoň 70 lm/W), svítivost ale mají uspokojivou – světlo totiž směřují v úzkém kuželu [13, 14]. Výsledky měření jedné takové sady nových LED světel jsou:

	červená	žlutá	zelená	bílá	bílá se žlutým filtrem
svítivost / 1 cd	29	35	70	59	45

Tab. 1 Svítivosti 2W LED světel

Tam, kde v noci není potřeba výborně rozlišovat barvy a stačí rozeznávat zelenou od červené, je žluté LED světlo ideální. Alternativou je bílé světlo s vyšší účinností, doplněné filtrační žlutou fólií. Tu lze v případě potřeby, a ovšem též přes den, odlepit, je to mnohonásobně vratný proces. Bílé LED světlo se svou barvou a intenzitou ve dne výborně hodí pro doplnění event. nedostatečného přírodního osvětlení, např. za temných zimních dní, ze vzdálenosti 0,5 m totiž osvětlí list formátu A4 více než 200 lx. Je tak nakonec pro takový účel účinnější než jakékoliv zářivkové svítidlo. LED technika je tak při dostatečně slabém osvětlování velkých prostor i dosti silném osvětlování malých terčů již dnes nejspornější jak spotřebou, tak i životností. Během deseti let lze přitom očekávat růst její světelné účinnosti až na úroveň o řád vyšší, přes 100 lm/W (jednotlivé LED takové už na trhu jsou). Pro poměrně silné noční osvětlení (ke čtení, psaní, kreslení), které přitom téměř nenaruší adaptaci zraku na tmu (čili funkci skotopického vidění), je-li adaptace potřeba např. k činnosti v noční krajině, lze užít i červené LED světlo, viz prostřední křivku v grafu 1 (červené filtrování, nověji i červené svítící diody, užívají např. astronomové odedávna, viz např. str. 3 a 4 v [15]).

Výborná směrovost svítících diod a nevelký celkový světelný tok, který vydávají, jsou kromě toho žádoucí vlastnosti pro minimalizaci světelného znečištění, jak tento fenomén definuje a z mnoha stran diskutuje [16].

Korektní geometrie svícení je zde totiž hlavním lékem. Obvyklé svítící diody s čirou optikou vybočují z běžného schématu, že samotné zdroje světla (baňky se žhavým wolframovým drátkem či s elektrickým výbojem) je nutné umístit do svítidel. Na rozdíl od poněkud primitivního svítidla, totiž objímce visící pod stropem na vodičích a holé žárovce (či dnes kompaktní zářivce) v něm zašroubované, totiž světlo směřují dobře samy, stačí jen objímku namířit patřičným směrem. Nepotřebují žádná překážející vnější stínítka, zrcadla atp. Konečně se tak radikálně liší od plamene svíčky. Mají pravda už předchůdce, totiž 12V halogenovou žárovku pevně spojenou s reflektorkem. Světlo ale směřují lépe, opravdu téměř všechno jen do úzkého kuželu (zboku není zdroj světla, polovodičový přechod, přímo vidět). A nejsou také horké či snadno rozbitné, vyžadující bariéru, aby se někdo nespálil či nedotkl síťového napětí. Trh se ale zatím „brání“ a levné, dobře směřující LED montuje do špatně směřujících mnohem dražších svítidel.

Další na řadě, co zlepšit, je pak možnost spojitě regulace intenzity světla, ta by u diod měla být také snazší než u jakýchkoliv jiných zdrojů.

Pro zrakovou pohodu, menší únavu a ochranu epileptiků by měla být snadná i možnost svítit nepřerušovaně (stačí snad jen přidat paralelně kondenzátor...), ne s pauzami s frekvencí 100 Hz, jak je zatím běžné. Aby se tak ale trh zlepšil, musí to po něm někdo vyžadovat. Zkušenost s lineárními zářivkami bohužel ukazuje, že ač je technologie jejich vyso-

¹Potlačení modré složky žlutým filtrováním pomocí brýlí může být ve skutečnosti vhodné i přes den, tehdy ale asi spíše venku než v interiéru. Konkrétně jde o ochranu zraku před modrým světlem, zejména jeho nejkratšími vlnovými délkami. To totiž zřejmě [17,18] přispívá k tzv. věkem podmíněné makulární degeneraci sítnice, (AMD, Age-related macular degeneration) postihující v bohatých zemích většinu obyvatelstva nad 65 let. AMD je nejčastější příčinou praktické slepoty u lidí nad 50 let. Stručné populární informace česky viz např. [19, 20].

kofrekvenčního napájení elektronickými předřadníky již dávno vyvinutá a poskytuje i úspory elektřiny, lineární zářivky se dosud obvykle napájely právě jen přes tlumivku, „stohertzovč“. Elektronické předřadníky jsou běžné jen u kompaktních zářivek, ač je to pro ně horší prostředí (jsou nutně horké) a ač se odkládají spolu s vysloužilou výbojovou trubicí. U lineárních zářivek přitom nemusí být dražší, a „svých zářivek“ snadno přežijí i pět. Ještě štěstí, že se na evropský trh již dostaly z mnohem pružnější (a zřejmě ekologičtější uvažující) Číny.

3 NOVÁ NALÉHAVOST SNÍŽENÍ SPOTŘEBY ELEKTŘINY: NEBEZPEČNÝ „TŘETIHOVNÍ“ STAV ZEMSKÉHO OVZDUŠÍ

Až na podzim 2008 byla publikována rozsáhlá práce [21] ukazující, že emitování oxidu uhličitého z fosilních paliv, z odlesňování a degradace půd přivedlo Zemi do stavu, který je velmi nebezpečný. Současná koncentrace CO₂ v ovzduší, 386 ppm, i pokud by dále nerostla (roste ročně o další 2 ppm) a jenom trvala další desítky let, by vedla k nevratným, nesmírně rozsáhlým změnám stavu povrchu planety a pochodů na ní. Příkladem je Severní ledový oceán v létě bez ledu, zmizení většiny horských ledovců (a letní nedostatek vody pro miliardu lidí, kteří jsou na vodě z ledovců závislí), zvýšení hladiny oceánu o řadu metrů. Informace v češtině o tom viz [22].

To je velká změna jiného paradigmatu: toho starého, že sice musíme růst emisí skleníkových plynů zastavit, pak jej obrátit v pokles, a časem tak zastavit i růst koncentrací v ovzduší, ale že ještě máme nějaký čas, než se koncentrace stanou nebezpečné (tak to vyplývalo z [23]). Není tomu tak, velmi nebezpečné jsou již řadu let. Jde teď o to, dostat se opět zpátky, ke koncentracím snad již bezpečným. Pokud jde o samotný CO₂, který změnu klimatu ovlivňuje nejvíce a má nejdelší životnost v ovzduší, za úroveň snad již bezpečnou se považuje 350 ppm. Taková byla naposledy v sedmadesátých letech dvacátého století. Lze tak bez nadsázky konstatovat, že každý spálený kilogram fosilních paliv, pokud jeho spálení nebylo opravdu nutné, je těžkým břemenem pro budoucnost lidstva (jde-li o černé uhlí, je to téměř kilogram uhlíku, CO₂ je z něj 3,67x tolik). Spálení je snadné, odebrat vzniklý CO₂ z ovzduší bude mnohem těžší. Než se to podaří, bude naši planetu dál ohřívat. Možná tak dlouho, že už to napravit vůbec nepůjde.

Vrátíme-li se zpět k tématu osvětlování, je úkol jasný: spotřebu elektřiny na ně opravdu minimalizovat. Ne proto, že je nám líto peněz za elektřinu, ale proto, že každá takto „prosvícená“ kilowatthodina znamená u nás přídavné emise CO₂ ve výši 1,17 kg ([24], str. 16; tamtéž viz další informace o zmírňování změny klimatu). Tak mnoho je to proto, že pokud by se nespotebovala, poklesla by výroba v elektrárnách s drahým palivem, tj. fosilních, ne elektráren jaderných, vodních či větrných.

Až doposud se doporučují, jak silně svítit, vyvíjela pod dominantním vlivem firem, které nabízejí výrobky a služby pro tento účel, případně pod vlivem s nimi svázaných expertů. Proto také doporučené intenzity osvětlení během uplynulého století velmi vzrostly (od r. 1933 desetkrát, viz str. 4 v [11]). Dnes ale nemáme „volnou“ elektřinu, kterou bychom k tomu mohli používat. Je pět minut po dvanácté na to, vrátit se k praxi, kdy stačilo přírodní denní světlo. A to doplňovat jen ve skutečně nezbytných případech, osvětlením jen patřičných cílových ploch.

4 INDIVIDUÁLNÍ OVLÁDÁNÍ SVĚTEL

Inspirací může být „primitivní technika“ pro ovládání elektrického osvětlení v dobách, kdy ještě lidem (či firmám) připadalo drahé. Kdo na práci potřeboval nad svým stolem či strojem silné světlo, na potřebnou dobu si je zapnul. Rovnou z toho svého místa, i když šlo o nástrovní světlo. **Ovládalo se šňůrkou se závažíčkem** (např. dřevěným či porcelánovým „korálkem“, obdobou „splachovadla“) visícím pohodlně nadosah z daného pracovního místa. Pokud v místnosti bylo takových pracovišť několik, vydatně se svítilo jen na ta, kde někdo byl, ne na celou místnost, často velkých rozměrů. Dnes takovou možnost individuálně si zapínat světlo nad sebou téměř nikdo nemá. Velmi mne proto potěšilo, když jsem takový prostý, nesmírně praktický systém našel v jedné nové nevelké učebně vysoké školy v norském Lillehammeru v létě 2007. Šňůrky visely pod všemi zářivkovými světly až na to, které bylo nejbližší nástěnnému vypínači, nejdále od okna. Pokud bylo někde potřeba ve dne svítit, tak přece nejdříve tam. Že si lze jinde přizapnout světlo další, to bylo každému zřejmé i bez návodu nebo školení...

Úprava existujících osvětlovacích soustav pomocí takové jednoduché techniky (stačí přidat ke každému svítidlu, ev. i ke každé zářivce zvlášť jeden vypínač s takovým ovládáním) je levná a pro úspory elektřiny i komfort uživatelů interiéru neobyčejně účinná. Samozřejmě ji lze kombinovat s důmyslným moderním elektronickým ovládáním toho typu, že se světla dají nejen zapínat a vypínat, ale i spojitě tlumit. Nebo že se ve ztlumeném stavu zapínají samy, je-li denního světla už opravdu málo a u stolu někdo pracuje. Příklady a odkazy viz opět [11].

Velmi podstatná je i snadná regulace jasů monitorů, kterou by měli jejich uživatelé umět dobře ovládat a hojně ji používat. U monitorů lze kromě toho v noci nastavit modrou složku na minimum a zelenou potlačit. Přepnutí do takového nočního módu by mělo být otázkou sekund, ideálně bez studia ovládání monitoru, jen např. ikonou na obrazovce. I takovou technologii lze dnes považovat za součást technického zařízení budov... Pohodlné tlumení monitoru je ostatně podmínkou, aby bylo beze ztráty komfortu možné svítit v interiéru jen slabě – nebo vystačit i se slabým denním světlem za zatažených zimmních dní.

5 DENNÍ SVĚTLO JAKO NEPŘÍTEL: JAK S NÍM OPĚT VYCHÁZET

Extrémně vysoké intenzity umělého osvětlení dnes doporučené (či přímo „vyžadované normou“) jsou nejen výsledkem velmi *závislé* tvorby norem, ale i nerefluktování skutečnosti, že již nepracujeme běžně se zažloutlým papírem a šedou tužkou, ale se svítícími monitory (a s klávesnicemi, na něž nehledíme). Nebývá důvod, aby stůl před monitorem byl silně osvětlen, natož celý stůl i s okolím. Jak málo světla lidem při takové práci stačí, bývá patrné z toho, že mají trvale zakrytá okna žaluziemi, závěsy apod. Ve skutečnosti někteří preferují šero, či alespoň absenci silného světla či oslnění zprostředkovaného okny. To by bylo v pořádku potud, pokud by trvalé zatemnění nevedlo k tomu, že se v místnosti i přes den leckdy svítí uměle. A kdyby takové clonění oken nesnižovalo tepelné zisky ze slunečního záření v chladných obdobích.

Obojí je ale dnes běžné. Jak to napravit? Náměty jsou již v několikrát zmiňované práci [11]. Jeden z nich je umisťovat dnešní lehké, ploché monitory tak, aby při práci u nich světlo z oken nevadilo. Jiný námět je tam ale jen letmo naznačený. Jde o vybavení místnosti paravány či jejich na stropě zavěšenými obdoby, které světlo dle potřeby zacloní a případně i přesměrují žádoucími směry. V době, kdy okna slouží jako topení budovy, což je aspoň dvě třetiny roku, je clonění přímo na oknech velmi nežádoucí. Buď snižuje tepelný komfort, nebo dokonce vede k zahájení nebo zesílení topení umělého. Clonění umístěné až tak hluboko v interiéru, že solární zisky významně nesnižuje, je tehdy mnohem vhodnější. Variantně může mít plochu obrácenou k oknu tmavou (je-li žádoucí ubrat světla v celé místnosti) nebo světlou (je-li světlá plocha dostatečně daleko od okna, pak jen malou část světla pošle zpět oknem ven). Instalace potřebného počtu a typu clon uvnitř místnosti by měla mít vždy přednost před cloněním přímo na okně, kdykoliv je cílem úprava světelných poměrů v interiéru a ne snížení solárních zisků.

Zlepšení distribuce denního světla v interiéru nejen zvyšuje komfort, ale snižuje někdy i potřebu umělého osvětlování. To tehdy, pokud se umělé osvětlení používá jako kompenzace oslnění okny nebo ke zvýšení rovnoměrnosti jasu místnosti.

Nový problém se objevil ve školách, kde se dnes promítá nesrovnatelně běžněji než před půl stoletím. Velkorysé prosklení učeben sahající výše, než kam žáci či učitelé dosáhnou, se stalo překážkou při vyučování místo jeho vítanou podporou. Okna se tak všude cloní žaluziemi či roletami, bohužel nejen během doby, kdy je to opravdu potřeba, ale alespoň zčásti vlastně trvale. Nejen, že to vede k většímu užívání umělého osvětlení, ale opět to též snižuje solární zisky, a často i zhoršuje distribuci světla v učebnách. To proto, že zacloněná zůstává zejména horní část oken, která je podstatná pro osvětlení nejvzdálenějších částí místnosti. Typické je to v případech, kdy školy vyměnily stará okna za nová [25]. Na vině bývá obtížnost plného odstranění clon z horních částí oken, doplněná případně nevědomostí, nezájmem či leností uživatelů. Plné řešení tohoto problému existuje zjevně jen jediné: poloautomatické elektrické ovládání clon umístěných u oken. Automatický prvek by zde měl být takový, že i když uživatelé sami clonění ve dne v době, kdy není potřeba, neodstraní, provede to systém sám. Nejlépe ve vazbě na zapnutí projektoru, provoz umělého osvětlení a potřebě tepelných zisků. Naopak, na noc je tepelně i světelně zpravidla žádoucí mít clony uzavřené; výjimkou je větrání okny otevřenými dokofán za letních nocí.

Jeden typ clon je ale zatím velmi opomíjený, pokud vůbec existuje. Jde o clonu, která z plně průhledného okna učiní spíše průsvitné, nicméně neubere valně světla. Taková změna je žádoucí všude tam, kde lidé instalují světlé záclony či jiné clony, aby na ně nebylo zvenčí vidět. Takové světlé clony, často opět trvalé [25], ale potlačují solární zisky i zisky světelné, což je žádoucí jen někdy. Jiným případem, kdy se hodí průhlednost snížit, je redistribuce přímého oslnění. Tam, kde je trvalé potlačení úplně průhlednosti žádoucí, se běžně užívají buď tzv. mléčná či opálová skla, nebo skla hrbatá, s různě hluboce strukturovaným povrchem. Strukturovaná skla mohou propouštět stejně mnoho slunečního záření jako skla rovná (být tedy stejně dobře průsvitná), podle hloubky struktury ale v různé míře rozdělují přímé sluneční světlo do dalších směrů. Dobrá světelná propustnost je dána tím, že procházející světlo narazí stále jen na dvě optická rozhraní, zatímco u mléčných skel se potkává s mnoha rozhraními. Lze to připodobnit k rozdílu mezi sněhem a čirým spojitým ledem. Strukturované sklo vlastně ani významnou clonu nepředstavuje (propouští až devět desetin světla), jde jen o optický lámací prvek.

Rozhodnutí, jestli někde instalovat sklo jednostranně strukturované místo skla rovinného, nemusí být snadné. Trvale se tak zruší možnost nerušeného pohledu oknem ven. Alternativou je užití pohyblivých clon s obdobně hrbatým povrchem. V úvahu přicházejí např. tuhé clony ze strukturovaného plexiskla, zavěšené na kolejnici umožňující je plně odsunout pryč z okenního otvoru. Existují i fólie s povrchovým rastrem, užívané např. jako ubrusy – pro jejich užití coby rolet či záclon málo snižujících solární/světelné zisky je ale podstatné, aby samotný jejich materiál byl zcela čirý. Vývoj a aplikace takových „bezeztrátových“ lehkých prvků pro přesměrovávání světla je důležitou oblastí pro maximalizaci solárních zisků i potlačení potřeby umělého osvětlování, tedy pro snížení emisí z fosilních paliv.

Poznat, jestli okno místnost dobře ohřívá a osvětluje, lze zvenčí ve dne na první pohled. Je-li tomu tak, z okna se zpět ven vrací jen velmi málo světla. Okno je oproti okolní fasádě téměř černé. Měřením jeho jasu lze účinnost průniku světla do místnosti zjistit i kvantitativně.

Dalšího zvýšení světelných zisků, poté, co se vyloučí významný rozptyl světla směrem z okna zpět ven vinou nevhodných clon, lze dále dosáhnout užitím neabsorbujících skel (s nízkým obsahem železa) a zejména skel, ale i plastových materiálů, s neodrážejícím povrchem. Takového povrchu se docílí užitím „nanoporézních“ vrstev, které se

vůči světlu chovají jako spojité prostředí s indexem lomu rovným odmocnině indexu lomu podkladového materiálu. Více o tom viz [26]. Jde o povrstvení levné, s cenou oboustranné aplikace i pod 6 eur za metr čtvereční skla [27].

Clony přímo v oknech či těsně u nich budou mít nicméně i nadále velké uplatnění, do budoucna by mělo dále růst. Příjemnou volbou je např. užívání děrovaných lamel u žaluzií, kdy je díky husté síti drobných otvorů zachován průhled zacloněným oknem ven, z temnější místnosti do mnohem silněji osvětleného exteriéru. Podmínkou pro dobrou průhlednost takového systému je, že síť otvorů má menší rozteč, než je průměr zorničky, řekněme tedy pod tři milimetry. Současně by průměr otvoru měl být takový, že rozmazání obrazu difrakcí nebude zřetelné, tj. alespoň 0,7 mm. Přímého světla pak otvory projde alespoň dvacetina, běžněji desetina. Při vzdálenosti od žaluzie přes půl metru už je sluneční světlo zeslabeno rovnoměrně, rastr se na osvětlení nijak neprojevuje, díky úhlovému průměru slunce činícímu setinu radiánu se světelné kužely slunečních paprsků z jednotlivých otvorů zcela smísí.

Jiná možnost je clonění pomocí tenkých fólií s napařenou vrstvou hliníku, které propouštějí několik procent světla a poskytují tak případně dokonalý pohled ven. O tom více opět [26] a odkazy odtud a zejména [28]. Podmínkou pro jejich běžnou aplikaci je vyvinutí a rozvoj trhu s levným a spolehlivým elektrickým pohonem takových rolet, a to i rozvíjených směrem vzhůru, ne jen visících dolů. Zatím jde jen o malý trh, na němž pohony levné nejsou. Až rozvoj takového trhu umožní i zvětšování oken (či obecně prosklených vnějších stěn) v budovách pro nárůst tepelného a světelného komfortu a minimalizaci potřeby umělého osvětlení i tepla na umělé vytápění či potřeby umělého chlazení.

Obě technologie, jak rolety tak i žaluzie clonící okna téměř úplně, mají velkou důležitost i v noci. I když pomineme úsporu tepelnou (značná může být jen u těsných rolet), je zde aspekt světelný. Clona totiž vrací do interiéru světlo, které by jinak uniklo ven. Tak, jako jsou nezacloněná okna ve dne temná při pohledu zvenčí, stejně temná jsou v noci při pohledu z osvětlené místnosti. U hojně prosklených stěn (tedy např. v učebnách) tehdy znamenají velké ztráty světla. Dokud je intenzita osvětlení uvnitř výrazně vyšší než venku, měly by být clony zavřené. K tomu je opět vhodné poloautomatické zařízení, které to zajistí i bez úsilí lidí, kteří v osvětleném interiéru pobývají. Jde-li o místnost obytnou, má pak systém ráno clony již za svítání otevřít a umožnit tak příjemné probuzení a stávání. V jiných případech se mají clony v chladném období odstranit alespoň tehdy, když už solární zisky převáží nad zvýšenými tepelnými ztrátami danými ubráním clony. Naopak, v období horkém se mají automaticky částečně či úplně zavřít, pokud se do oken opírá slunce. Je zjevné, že pro takovou automatiku jsou nutná světelná a teplotní čidla.

6 ZÁVĚR

Epocha levné elektřiny a umělého svícení, jehož cena dlouho klesá díky rostoucí světelné účinnosti jeho zdrojů, pomalu končí. Jsou ale pádné důvody, aby plýtvání s uměle vytvářeným světlem skončilo naopak rychle. To lze zajistit mnohem slabším umělým svícením, než se stalo běžné. A také mnohem lepším využitím denního světla, s pomocí řady dalších prvků a zařízení v budovách. Uživatelé by měli mít možnost i motivaci, aby umělé svícení zapínali jen dle skutečné potřeby, a jeho intenzitu udržovali na jen takové výši, jakou si opravdu přejí. Naštěstí je situace taková, že opatření, která je k tomu potřeba uskutečnit a dále jejich využívání zajišťovat, se vyplatí i finančně. Ochrana klimatu a lidského zdraví tak může jít ruku v ruce s ekonomickými zájmy uživatelů budov. Musí k tomu mít ale asistenci odborníků. Otvírá se zde mnohem větší pole působnosti pro obor technických zařízení budov, než bylo pro osvětlování dosud obvyklé. Minimálně stejně velké pole, jako existuje pro podobor tepelné techniky v budovách. Předkládaný příspěvek se pokusil k tomu naznačit cestu.

Literatura

- [1] STEVENS, Richard G. Electric power use and breast cancer: A hypothesis. *American Journal of Epidemiology* 125(4):556-561. ISSN: 0002-9262. 1987. 5 s.
- [2] NAVARA, K. J., NELSON, R. J. The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*, 43, 215-224. 2007. 20 s. Doi: 10.1111/j.1600-079X.2007.00473.x, online at <http://www.psy.ohio-state.edu/nelson/documents/JPinealRes2007.pdf>
- [3] KLOOG, Itai, HAIM, A., STEVENS, R. G., BARCANA, M., PORTNOV, B. A. Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel. *Chronobiology International*, 25(1), 65-81. 2008. 17 s. ISSN 0742-0528 print / 1525-6073 online, doi: 10.1080/07420520801921572
- [4] CLARK, B.A.J: *A Rationale for the Mandatory Limitation of Outdoor Lighting*. Document Version 2.4, 29 February 2008. Online as <http://amper.ped.muni.cz/bajc/lp181.pdf>
- [5] <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthgr02a.php>
- [6] STRAIF, Kurt, BAAN, Robert, GROSSE, Yann, et al, on behalf of the WHO International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lan-*

- cet Oncology* 12(8):1065-1066. 2007. 2 s. doi:10.1016/S1470-2045(07)70373-X. Dostupné též jako <http://hesa.etui-rehs.org/uk/dossiers/files/Carcinogenicity-shiftwork.pdf>
- [7] KAYUMOV, L; CASPER, R.F.; HAWA, R.J.; PERELMAN, B; CHUNG, S.A., et al. Blocking low-wavelength light prevents nocturnal melatonin suppression with no adverse effect on performance during simulated shift work. *J Clin Endocrinol Metab.* 2005;90:2755–2761.
- [8] SASSEVILLE, Alexandre; PAQUET, Nathalie; SEVIGNY, Jean; HEBERT, Marc. Blue blocker glasses impede the capacity of bright light to suppress melatonin production. *Journal of Pineal Research.* 41(1):73-78. 2006. 5 s. Abstrakt viz <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16842544>
- [9] PHELPS, J. (2008) Dark therapy for bipolar disorder using amber lenses for blue light blockade. *Med. Hypotheses* 70, 224–229. 2008. Abstrakt viz <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306987707003726>
- [10] HOLLAN, J. *Metabolism-influencing light: measurement by digital cameras*. Konference Cancer and Rhythm. Graz: 2004. 10 s. Online jako http://amper.ped.muni.cz/noc/english/canc_rhythm/g_camer.pdf (poster).
- [11] HOLLAN J: *Ve zdravém domě zdravou noc!* Sborník konference Zdravé domy 2006, str. 147-154. FA VUT, Brno. 2006. 8 s. ISBN 80-214-3040-0. Online jako http://www.hlina.info/media/doc/28_hollan.pdf nebo http://amper.ped.muni.cz/light/texty_pdf/zdr_noc.pdf
- [12] HOLLAN, Jan. *Jak osvětlovat budovy veřejných institucí šetrně k životnímu prostředí*. Studie pro projekt Kompas, Brno, 2007. Online jako http://amper.ped.muni.cz/light/texty_pdf/osv_kanc.pdf
- [13] <http://amper.ped.muni.cz/jenik/letters/radiometry/msg00032.html>
- [14] <http://mailman.fsv.cvut.cz/pipermail/ekodum/2008/002053.html>
- [15] HOLLAN, Jan. *Hvězdářské pomůcky*. Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně. 2001. 32 s. http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a_papers/working/pom.pdf
- [16] HOLLAN, Jan. *What is light pollution, and how do we quantify it?* Workshop paper at Darksky 2007 conference. Brno, 2008. Online jako http://amper.ped.muni.cz/light/lp_what_is.pdf
- [17] ALGVERE, Peep V., MARSHALL, John, SEREGARD, Stefan. Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 84(1):4-15. 2006. 12 s. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0420.2005.00627.x>
- [18] HÜNIG, Siegfried. Optimierte Lichtschutz der Augen. Teil 2: Sehprozess als Risikofaktor, Lichtschutz durch Brillen. *Z. prakt. Augenheilkd.* (Zeitschrift für praktische Augenheilkunde & augenärztliche Fortbildung) 29: 197 – 205. 2008. 9 s. Text viz http://www-organik.chemie.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/user_upload/makula/optimiert_teil2.pdf
- [19] <http://www.rscr.cz/prispevky/zrak%20zdravi.pdf>
- [20] <http://www.degeneracemakuly.cz>
- [21] HANSEN, J., SATO, Mki., KHARECHA, P., BEERLING, D., BERNER, R., et al. Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim? *Open Atmos. Sci. J.*, 2, 217-231, doi:10.2174/1874282300802010217. Abstrakt a plný text i na http://pubs.giss.nasa.gov/abstracts/2008/Hansen_etal.html
- [22] HANSEN, James E. *Globální oteplování po dvaceti letech: Body zvratu nadosah*. Text vystoupení dr. Hansena 23. června 2008 v Kongresu Spojených států amerických a hesla k němu promítaná. Český překlad J. Došek aj. Hollan, dostupný na <http://amper.ped.muni.cz/gw/hansen/>
- [23] HOLLAN, Jan (editor). *České překlady vybraných dokumentů IPCC*. Brno, 2007-2008. Online na http://amper.ped.muni.cz/gw/ipcc_cz (menší množství pak na <http://www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm>)
- [24] Ekologický institut Veronica. *Splnitelnost kritérií a návrh konceptu přistoupení statutárního města Brna k Úmluvě starostů a primátorů*. Posouzení vypracované na objednávku Magistrátu města Brna. Brno, 2008. 47 s. Dostupné na <http://amper.ped.muni.cz/gw/umluvaSP/>
- [25] KALČÍKOVÁ, Dana. Soukromé sdělení. 2008.
- [26] HOLLAN, Jan, ŠŤASTNÍK, Stanislav. *Tepelná optimalizace okenních výplní*. Construmat 2008, Conference about structural materials. VUT v Brně, FAST. 2008. 8 s. ISBN 978-80-214-3660-2. Online jako <http://amper.ped.muni.cz/pasiv/windows/construmat/optimalizace.pdf>, abstrakt http://amper.ped.muni.cz/pasiv/windows/construmat/optim_abs.pdf a str. 48 sborníku.
- [27] ALBRECHTSEN, Lars. Soukromé sdělení. <http://www.sunarc.net>
- [28] HOLLAN, Jan. *Pasivní domy a zářivé toky (realizace dobře izolujících oken)*. Disertační práce na FAST, VUT v Brně. 2009. Online jako http://amper.ped.muni.cz/pasiv/windows/okna_disertace.pdf