

M. Martinis, V. Mikuta-Martinis*

ŽIVOT POD UMJETNOM RASVJETOM I ZDRAVLJE

UDK 628.93:613.64
PRIMLJENO: 16.1.2008.
PRIHVAĆENO: 10.3.2008.

SAŽETAK: Futurolozi predviđaju da će moderno društvo 21. stoljeća sve više biti izloženo umjetnoj rasvjeti kako u svojim domovima tako i na radnim mjestima u uredima, istraživačkim laboratorijima, bolnicama, supermarketima, restoranima, noćnim klubovima i mnogim drugim mjestima svakodnevnog života. Umjetna rasvjeta tako postaje sastavni dio današnjeg načina življenja i sve veći socijalni, ekonomski i zdravstveni problem. Umjetna rasvjeta svojim intenzitetom, bojom (spektrom) i dužinom izloženosti utječe na prirodne biološke ritmove kod čovjeka čiji poremećaj može izazvati različite zdravstvene probleme od problema spavanja, prehrane, depresije do tumorskih bolesti kao što su rak dojke, prostate ili debelog crijeva. U ovom članku, pored uvodnih riječi o umjetnoj rasvjeti i popratnim zdravstvenim problemima koje ona može izazvati kod ljudi, analizirat ćemo spektre nekih izvora umjetne svjetlosti u svakodnevnoj upotrebi s posebnim osvrtom na UV i plavu komponentu spektra, te na pojavnu učestalost nekih tumorskih bolesti zbog dulje izloženosti svjetlosti koja smanjuje proizvodnju zaštitnog hormona mraka - melatonina.

Ključne riječi: *umjetna rasvjeta, svjetlosno onečišćenje, biološki ritam, tumori, melatonin*

UVOD

Život pod umjetnom rasvjetom postao je sastavni dio današnjeg modernog načina života. Broj sati koje prosječan čovjek provede pod umjetnom rasvjetom stalno raste u korak s potrošačkim zahtjevima društva za pristupom robama, uslugama i tehničkoj podršci svih 24 sata dnevno.

U takvim okolnostima trpe prirodni biološki ciklusi u čovjeka koji su se tijekom evolucije davno uspostavili u uvjetima prirodne smjene dana i noći. Oni se stoga teško ili vrlo sporo prilago-

đavaju novim uvjetima raspodjele svjetla i tame te radne aktivnosti i spavanja. Zbog biološkog stresa dolazi do smanjenja kvalitete života, što često puta može izazvati opasne zdravstvene i sigurnosne probleme kako za pojedinca tako i za društvo u cjelini. Novija istraživanja (Martinis, 2007.) pokazuju da dulji boravak, posebno noću, pod umjetnom rasvjetom može izazvati fizičke, fiziološke i psihosocijalne smetnje. Poznato je da neredovito i nedostatno spavanje kao i loše prehrambene navike koje idu uz to pridonose emocionalnim i fizičkim zdravstvenim problemima. Manje je poznato da noćna rasvjeta valne duljine manje od 600 nm blokira proizvodnju zaštitnog hormona melatonina koji u tijelu usporava diobu tumorskih stanica i potiče antitumorsku imunološku aktivnost.

*Prof. dr. sc. Mladen Martinis, dr. sc. Vesna Mikuta-Martinis, Institut Ruđer Bošković, Bijenička c. 54, 10000 Zagreb (martinis@irb.hr, vmikuta@irb.hr).

U ovom članku osvrnut ćemo se prvo na funkcioniranje bioloških ritmova kod čovjeka u promjenjivim radnim uvjetima, zatim na njihovu desinkronizaciju s popratnim zdravstvenim smetnjama, te na ulogu umjetne svjetlosti u svemu tome. Također ćemo analizirati spektre nekih izvora umjetne svjetlosti u svakodnevnoj upotrebi s osvrtom na opasnu UV i plavu komponentu spektra, te s tim u vezi na pojavnu učestalost nekih tumorskih bolesti zbog dulje izloženosti svjetlosti radom noću koja smanjuje proizvodnju zaštitnog hormona mraka - melatonina.

BIOLOŠKI RITMOVI U LJUDSKOM TIJELU

Biološki ritmovi su vremenski ciklusi unutar kojih se zbivaju mnoge normalne funkcije ljudskog tijela, uključujući razdoblja spavanja i aktivnosti, zatim ponašanje i većinu fizioloških i endokrinih procesa (*Koukkari, Sothorn, 2006.*). Dnevne ili 24 satne cirkadijanske ritmove unutar tijela kontrolira glavni "cirkadijanski sat" koji čini skupina od približno deset tisuća nervnih stanica lociranih na suprachiasmatičkoj jezgri (SCN) u području hipotalamusa u mozgu. Glavni sat podešava svoj rad prema prirodnoj smjeni dana i noći, odnosno svjetla i tame.

Njegov primarni zadatak je prihvat i obrada vanjskih podražaja (npr. promjena svjetlosti i tame, socijalni kontakt itd.) u svrhu uspostave kontrole nad sinkronizacijom ostalih dnevnih ritmova u tijelu. Glavni sat tako upravlja s dnevnim fluktuacijama kod većine osnovnih parametara u humanoj fiziologiji, kao što su tjelesna temperatura, krvni tlak, varijabilnost srčanog ritma i sekrecija raznih endokrinih hormona te upravlja ciklusom buđenja i spavanja.

Sekundarni biološki satovi nalaze se u svakom organu i svakoj stanici. Njihov primarni zadatak je sinkronizacija s glavnim satom. Svaki organ ima svojeg vlastitog davatelja ritma "zeitgebera" za lokalnu sinkronizaciju svojih bioloških satova. Premda je svjetlo primarni "zeitgeber" glavnog

sata u mozgu, ono ne utječe izravno na cirkadijanske satove u organima, kao na primjer u jetri. Tamo je "zeitgeber" hrana. Međutim, kako hrana nije "zeitgeber" za glavni sat, nego svjetlost, ta se dva biološka sata razlikuju u fazi zadržavajući istu periodičnost aktivnosti od približno 24 sata.

DESINKRONIZACIJA BIOLOŠKIH RITMOVA

Često se događa da se glavni sat privremeno poremeti događajima kao što su emocionalni stres, bolest ili dulja putovanja kada dolazi do znatnih promjena u dnevnom rasporedu rada i spavanja.

Nagle promjene u svakodnevnoj rutini, kao što je rad noću ili putovanje u drugu vremensku zonu mogu promijeniti ciklus spavanja i imati štetan utjecaj na uređenost ostalih ritmova u tijelu. Ako su promjene jake i dugotrajne, one mogu inducirati poremećaje u raspoloženju, uključujući blagu depresiju i druge afektivne smetnje.

Premda se svi biološki ritmovi kontroliraju iznutra, postoji niz vanjskih čimbenika koji mogu utjecati na njihovu regularnost. Jedan od takvih je izlaganje umjetnoj svjetlosti noću zbog promjene u radnim navikama koje mijenjaju prirodan raspored spavanja i budnosti. Uočeno je da se dnevni ritmovi mogu pomicati bez štetnih posljedica za zdravlje najviše jedan do dva sata svaki dan. Drastične promjene u prirodnom ciklusu spavanja mogu imati drastične posljedice na usklađeno funkcioniranje ostalih bioloških satova u tijelu i biti uzrokom brojnih zdravstvenih i psiholoških problema kod pojedinca (*Estman, Martin, 1999.*). Svaka dugotrajnija desinkronizacija glavnog sata može izazvati brojne fiziološke poremećaje u tijelu koji se manifestiraju kao bolesna stanja organizma.

Iako još ne znamo sve odgovore na pitanja o spavanju i njegovoj regulaciji, činjenica je da prirodni ciklus spavanja ima važnu funkciju za kognitivno i fiziološko zdravlje pojedinca (*Durmer,*

Dinges, 2005.). Očito je da se mnogi zdravstveni problemi kod ljudi, koji su budni i rade noću, uzimaju glavne obroke noću, a dnevno svjetlo koriste samo na putu kući, mogu povezati s narušenim prirodnim ciklusom spavanja i budnosti (*Baum, West, Weinman, Newman, McManus, 1997.*). Potpuna prilagodba na noćni rad i život noću nažalost nije moguća, jer se stanje uzrokovano desinkronizacijom glavnog sata vrlo teško i rijetko može prevladati. Ova desinkronizacija bioloških satova ako traje dulje može snažno utjecati na raspoloženje, spavanje i zdravlje, posebice ako je ono već narušeno.

Poznavanje cirkadijanskih faza kod čovjeka je presudno za određivanje mjera potrebnih za njegovu prilagodbu na budnost i aktivnost noću, te za dijagnozu i liječenje različitih cirkadijanskih poremećaja vezanih za ciklus spavanja (*Koikkari, Sothorn, 2006.*).

Standardne metode određivanja faze cirkadijanskog ritma su mjerenje unutarnje temperature tijela i mjerenje razine hormona melatonina u tijelu (*Eastman, Martin, 1999.*).

UTJECAJ SVJETLOSTI

Svjetlost je važan čimbenik za održavanje života i funkcioniranje većine bioloških ritmova u tijelu. Ima nekoliko odlika svjetlosti koje posebno utječu na ljudsko zdravlje. To su: jakost, izloženost i boja (spektar) svjetlosti. Interakcija svjetlosti s ljudskim tijelom zbiva se na atomsko-molekularnoj razini preko očiju i kože. Svjetlosna, odnosno elektromagnetska energija, koja se pri tome izmjenjuje, ovisi o valnoj duljini (boji) emitirane ili apsorbirane svjetlosti u skladu s Einsteinovom relacijom:

$$\Delta E(eV) = 1125/\lambda(nm).$$

Štetan utjecaj UV svjetla na oči i kožu je općepoznata činjenica koja je medicinski dosta dobro dokumentirana. Čak i plava svjetlost, koja se koristi za pročišćavanje zraka u biološkim labo-

ratorijima i spremištima hrane, može biti opasna za ljude koji tamo dulje borave. U stvari svaka valna duljina (boja) svjetlosti u određenim uvjetima i trajanju izloženosti može postati potencijalna opasnost za zdravlje. Neke valne duljine, zbog svojeg energetskog učinka na stanice tkiva, su dakako opasnije od drugih naročito za oči i kožu.

Izlaganje intenzivnoj svjetlosti, posebno noću, može izazvati različite zdravstvene probleme. Glavni cirkadijanski sat u mozgu za svoj rad i vremensku orijentaciju koristi se s vanjskim promjenama intenziteta svjetlosti da bi odredio prijelaze iz dana u noć i noći u dan. U razdobljima tame glavni sat odašilje hormon melatonin koji inducira spavanje. Lako je zaključiti da će pomak dnevne aktivnosti na noćnu aktivnost kod glavnog sata stvarati potrebu za promjenom smjera svojeg djelovanja. Za tako što njemu je potrebno vrijeme prilagodbe unutar kojeg dolazi do poremećaja ostalih ritmičkih funkcija u tijelu (*Knez, 2001.*).

Prilikom promjene radnog vremena, smjenski se radnici postupno prilagođavaju novom ritmu spavanja i budnosti koje može trajati i više od tjedan dana za osmosatnu smjensku promjenu.

Kao što je to već istaknuto, glavni cirkadijanski sat je odgovoran za upravljanje ritmom spavanja putem izlučivanja hormona melatonina (tzv. hormona tame) koji inducira spavanje. Depresivne osobe obično imaju razne poremećaje spavanja. Stoga nije čudno da postoji veza između duljeg poremećaja sna zbog neprirodnih radnih navika i depresivnih stanja (*Durmer, Dinges, 2005.*). Zato je važno održavati redoviti raspored spavanja, što uključuje odlazak na spavanje i buđenje u približno isto vrijeme svakog dana i održavanje stalnog broja sati u spavanju. To je osobito važno za ljude tzv. jutarnjeg tipa, jer su njihovi dnevni ritmovi manje prilagodljivi promjenama u radnim navikama.

Neprikladan spektar (boja) umjetne svjetlosti može, također, povećati učestalost glavobol-

lje, iscrpljenost, stres i unutarnji nemir (*Knez, 2001.*). Tako je, na primjer, uobičajena razina fluorescentne svjetlosti u uredima dovoljna da izazove povišeni krvni tlak. Postoje dokumentirane potvrde da intenzivna svjetlost na radnim mjestima može izazvati stanje stresa i učestalost grešaka pri radu (*DiLouie, 2006.*). Neke studije također pokazuju da postoji povezanost između raka dojke i duljine izloženosti umjetnoj svjetlosti noću, zbog smanjene produkcije noćnog antitumorskog hormona melatonina (*Hansen, 2001. i Schernhammer, Hankinson, 2005.*).

SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

Vanjska umjetna rasvjeta ulica, trgova, spomenika i drugih sličnih objekata često se puta povezuje sa svjetlosnim onečišćenjem okoliša kojemu se pripisuju i brojni ekonomski, socijalni i zdravstveni problemi. Svi ovi problemi nastaju zbog ekološki krivo postavljenih rasvjetnih tijela koja postaju neefikasna, rasipna i smetajuća. Nastaje prekomjerna emisija svjetlosti u prostor koji za to nije predviđen. Posljedice su višestruke: poremećaji u funkcioniranju ekosustava, brojni zdravstveni problemi zbog smetajućeg noćnog svjetla, slaba vidljivost zvijezda u gradovima, smetnje pri astronomskim opažanjima i dakako nepotreban trošak novca i energije. Svjetlosno onečišćenje je nuspojava moderne industrijske civilizacije te je očekivano najviše prisutna u Europi, Sjevernoj Americi i Japanu.

RAD NOĆU, MELATONIN I TUMORSKE BOLESTI

Cjelonoćne aktivnosti i smjenski rad noću pod umjetnom rasvjetom postali su stil života modernog društva. Cijena tog načina života ili potreba su brojni ekološki i zdravstveni problemi kod ljudi. Mnoge medicinske studije (*Koukkari, Sothorn, 2006.*) pokazuju da noćni smjenski rad ima brojne negativne učinke na fizički, fiziološki i psihosocijalni status pojedinca. Izloženost umjetnoj svjetlosti noću izgleda da povećava rizik od nekih vrsta raka kao što su rak dojke,

rak prostate i rak debelog crijeva. Međutim, nije samo noćni smjenski rad jedini uzročnik i rizik. Kućne svakodnevne navike ljudi, da gledaju TV dugo u noć, da noću sjede dugo ispred računala, ili da čitaju u krevetu do sitnih sati, dovoljne su da blokiraju prirodnu produkciju najjačeg antitumorskog borca u tijelu, hormona mraka melatonina.

Svjetlost kratkih valnih duljina (plavi dio spektra – fluorescentna i halogena svjetla) najviše inhibira sintezu melatonina, dok izvori svjetlosti dugih valnih duljina imaju manje štetan učinak. Kod zdravih osoba lučenje melatonina se može ometati već sa svjetlošću jačine 1,3 luksa. Obična žarulja od 40 W proizvodi svjetlost od 50 luksa.

Novija istraživanja (*Schernhammer, Hankinson, 2005.*) pokazuju da smanjena proizvodnja melatonina noću zbog umjetnog svjetla otvara vrata razvoju tumorskih bolesti, posebno raku dojke kod žene iznad 50 godina starosti. Poznato je da svaki čovjek nosi tumorske stanice u tijelu čiju aktivnost stalno kontrolira imunološki sustav, a melatonin je hormon koji noću upravo potiče imunološku antitumorsku aktivnost. Dakako i dalje su ostali dob, debljina, alkohol, pušenje, hormonska terapija i nasljedna obilježja kao glavni čimbenici rizika za pojavu raka dojke kod žena. Pretjerana izloženost umjetnoj svjetlosti noću je samo dodatni čimbenik rizika za žene koji posebno ugrožava žene u jako razvijenim zemljama. Uloga svjetlosti i kod drugih tumorskih bolesti se danas intenzivno istražuje. Tako se vjeruje da je izloženost svjetlosti noću potencijalni čimbenik rizika za pojavu raka prostate i raka debelog crijeva. Treba stalno imati na umu da mrak stimulira sintezu melatonina i njegovo otpuštanje u tijelu, dok ga svjetlost koči. Najviša razina melatonina u tijelu je za vrijeme sna oko pola noći.

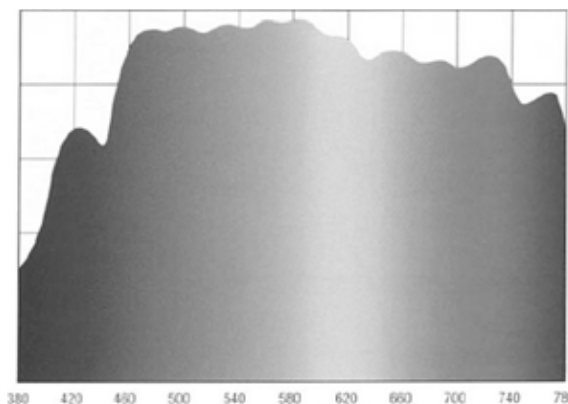
Rezultati svih ovih istraživanja pokazuju da je pretjerana izloženost umjetnoj rasvjeti noću, bilo kod kuće ili na poslu, potencijalna opasnost za pojavu tumorskih bolesti kao i drugih zdravstvenih problema.

SPEKTRI NEKIH IZVORA SVJETLOSTI

Umjetna rasvjeta na radnim mjestima i kod kuće često puta sadrži valne komponente koje predstavljaju potencionalnu opasnost za oči i kožu čovjeka. Iako je primarni izvor UV svjetla sunčeva svjetlost i umjetni izvori svjetlosti kao što su razne fluorescentne lampe, germicidalne lampe (izvori plave svjetlosti) i električni luk pri zavarivanju sadrže značajne komponente UV i plavog svjetla. UV svjetlost oštećuje rožnicu oka i može izazvati snježno sljepilo kao i zamućenje leće (katarakt) oka. Osim toga, UV svjetlost također oštećuje izloženu kožu na kojoj se može pojaviti erythema (crvenilo tipa sunčanih opekli- na), dermis i zloćudni rak kože. Sreća je da naj- opasnije UV svjetlo sa Sunca zaustavlja ozonski sloj naše atmosfere.

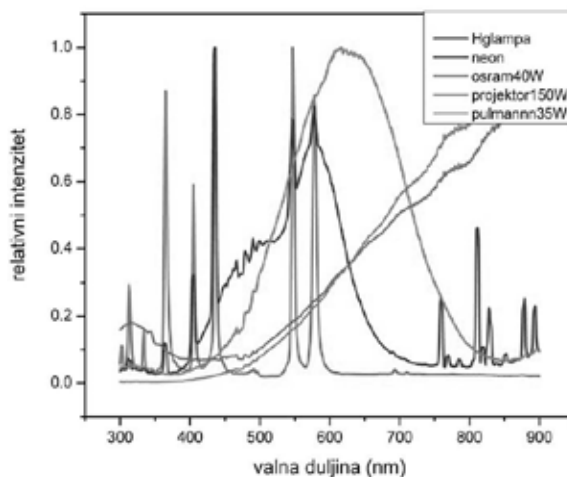
Međutim, to nije slučaj s umjetnim svjetlom koje u većini slučajeva sadrži opasne komponente UV i plavog svjetla iako slabijeg intenziteta. Velike doze UV svjetla mogu izazvati opekline i povećani rizik za pojavu raka kože. Prekomjerna izloženost UV svjetlu, također, može poremetiti pravilno funkcioniranje imunološko obrambenog sustava. Blještava svjetlost, valnih duljina 400 - 760 nm, uzrokuje oštećenje mrežnice oka, slabiji osjet za boje i noćni rad. Različiti tipovi izvora svjetlosti mogu izazvati brojne zdravstvene probleme prilagodbe. Zato je nužno uvesti standarde na dopuštenu jakost i boju svjetlosti na radnom mjestu kako bi se izbjegle neželjene zdravstvene posljedice.

Usporedba spektra dnevne svjetlosti (slika 1) sa spektrima umjetnih izvora je važna za razumijevanje zdravstvenih problema povezanih s vidom i očima kod ljudi koji moraju ili žele biti dulje vrijeme izloženi umjetnoj rasvjeti, npr. u uredima, bolnicama, supermarketima, a u novije vrijeme i u vlastitim domovima. Za razliku od obične žarulje, čiji je spektar užarene volframo- ve niti čisto toplinski, pa stoga nije štetan, ostala rasvjetna tijela u svakodnevnoj upotrebi imaju većinom spektre koji sadrže komponente UV i plavog svjetla.



Slika 1. Spektar dnevne svjetlosti u podne (valne duljine su u nanometrima)

Figure 1. Daylight spectrum at noon (wavelengths are in nanometres)



Slika 2. Spektri nekih izvora svjetlosti

Figure 2. Spectrums of some light sources

Slika 2. (Gracin, 2007.) jasno pokazuje da umjetni izvori svjetlosti imaju spektre bitno različite od spektra prirodne svjetlosti (slika 1). Prema tome, predugo izlaganje umjetnoj rasvjeti, koja prethodno nije testirana na štetne komponente UV i plavog svjetla, može biti uzrok različitim popratnim zdravstvenim problemima.

Nažalost, službene informacije o spektrima rasvjetnih tijela, kojima se koristimo na radnom mjestu i kod kuće, još ne postoje.

ZAKLJUČAK

Otkrivanjem i razumijevanjem utjecaja umjetne svjetlosti na biološke ritmove pojedinca moguće je istražiti povezanost noćnog smjenskog rada i raznih poremećaja u raspoloženju, odnosno bilo kojih drugih mentalnih ili fizičkih zdravstvenih problema koji se tijekom vremena mogu razviti. Većina ljudi tijekom života prolazi kroz razne fluktuacije u ciklusima spavanja, rada i hranjenja. Međutim, jakost i trajanje tih fluktuacija su obično dovoljno male da bi se normalni ritmički ciklusi u tijelu mogli trajno poremetiti. Međutim, ako su te promjene nagle i dugotrajne uz popratna stresna stanja i nezadovoljstvo, tada se mogu očekivati znatni pomaci u prirodnim biološkim ritmovima sa zdravstvenim posljedicama u koje se ubrajaju i tumorske bolesti.

Dakako, ima još uvijek mnogo nepoznanica u razumijevanju povezanosti bioloških ritmova s poremećajima u mentalnom i fizičkom zdravlju. Poznato je da promijenjeni biološki ritmovi, iako utječu na opće zdravlje i mentalnu stabilnost pojedinca, ne mogu prouzročiti teške i dugotrajnije posljedice kod zdravih osoba. Međutim, kada je neka bolest već prisutna, poremećaji u biološkim ritmovima mogu bitno pogoršati stanje osnovne bolesti. Biološki ritmovi također utječu na apsorpciju i učinkovitost lijekova, što je već zamijećeno kod terapije malignih i psihičkih bolesti.

U našim istraživanjima (*Martinis, Mikuta-Martinis, Škovrlj, 2007.*) utjecaja nekih odlika umjetne svjetlosti na stabilnost bioloških ritmova kod ljudi vezanim za smjenski rad noću usredotočili smo se na spektre umjetnih izvora svjetlosti i mogućnosti njihove prilagodbe spektru dnevne svjetlosti.

Znanstveno i sistematsko proučavanje važnosti bioloških ritmova za fizičko i mentalno zdravlje čovjeka još je na samom početku i odgovori na mnoga pitanja traže se uglavnom u području kronobiologije i kronoterapije. Izloženost umjet-

noj svjetlosti kao čimbenik rizika modernog društva za pojavu tumorskih bolesti još je posve neistraženo područje.

LITERATURA

Baum, A., West, R., Weinman, J., Newman, S., McManus, C. (editors): *Cambridge Handbook of Psychology, Health and Medicine*, Cambridge University Press, London, 1997.

DiLouie, C.: *Advanced Lighting Controls: Energy Savings, Productivity, Technology and Applications*, The Fairmont Press, Inc., Lilburn, GA 30047, 2006.

Durmer, J. S., Dinges, D. F.: Neurocognitive consequences of sleep deprivation, *Seminars in neurology*, 25, 2005., 1, 117-129.

Estman, C.I. & Martin, S.K.: How to use light and dark to produce circadian adaptation to night shift work, *Ann. Med.*, 31, 1999., 87-98.

Gracin, D.: *Mjerenje spektara*, Laboratorij za tanke filmove Instituta Ruđer Bošković, Zagreb, 2007.

Hansen, J.: Light at Night, Shiftwork, and Breast Cancer Risk, *Journal of the National Cancer Institute*, 93, 2001., 1513-1515.

IDA - *International Dark-Sky Association*, 2007., <http://www.darksky.org>

Knez, I.: Effects of colour of light on non-visual psychological processes, *Journal of Environmental Psychology*, 21, 2001., 201-208.

Koukkari, W., Sothorn, R.B.: *Introducing Biological Rhythms: A Primer on the Temporal Organization of Life, with Implications for Health, Society, Reproduction, and the Natural Environment*, Springer, New York, 2006.

Martinis, M., Mikuta-Martinis, V., Škovrlj, Lj.: Prilagodba radu u noćnoj smjeni, *Sigurnost*, 49, 2007., 2, 145-149.

Schernhammer, E.S. & Hankinson, S.E.: Urinary Melatonin Levels and Breast Cancer Risk, *JNCI Journal*, 97, 2005., 1084-1087.

ARTIFICIAL LIGHTING AND ITS EFFECTS ON HEALTH

SUMMARY: Futurologists foresee that 21st century societies shall be increasingly exposed to artificial lighting in the homes, work places, offices, research laboratories, hospitals, supermarkets, restaurants, nightclubs and many other places daily frequented by people. Artificial lighting has become part of modern life and a growing social, economic and health problem. The intensity, colour (spectrum) and length of exposure to artificial lighting affect the natural biological rhythms in the human body and their disturbances may cause a host of health problems including sleep disorders, indigestion, depression, as well as cancers of the breast, prostate and colon. This paper offers a brief introduction on artificial lighting and related health problems and goes on to analyse the spectrums of some commonly used artificial light sources, with a special focus on the UV and blue spectrum component. Further, it offers information on the incidence of some tumours caused by prolonged exposure to artificial light, held responsible for a decreased production of the hormone of darkness – melatonin.

Key words: *artificial lighting, light pollution, biological rhythm, tumours, melatonin*

*Subject review
Received: 2008-01-16
Accepted: 2008-03-10*