

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

BIOLOŠKI I EKOLOŠKI ASPEKTI SVJETLOSNOG ONEČIŠĆENJA

BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF LIGHT POLLUTION

SEMINARSKI RAD

Petra Korlević

Preddiplomski studij molekularne biologije
(Undergraduate Study of Molecular Biology)

Mentor: doc. dr. sc. Zlatko Mihaljević

Zagreb, 2009.

SADRŽAJ

1. UVOD	2
2. EKOLOŠKO SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE	6
2.1. POPULACIJSKA EKOLOGIJA I EKOLOGIJA PONAŠANJA	8
2.1.1. ORIJENTACIJA/DEZORIJENTACIJA I PRIVLAČENJE/ODBIJANJE	9
2.1.2. RAZMNOŽAVANJE	16
2.1.3. KOMUNIKACIJA	16
2.2. EKOLOGIJA ZAJEDNICA	17
2.2.1. KOMPETICIJA	17
2.2.2. PREDATORSTVO	18
2.3. UTJECAJ NA EKOSISTEM	20
3. UTJECAJ NA FIZIOLOGIJU VIŠIH BILJAKA	22
3.1. FITOKROM I FOTOPERIOD	22
3.2. POTENCIJALNI UTJECAJ NA FOTOSINTETSKI APARAT	24
4. UTJECAJ NA ČOVJEKA	28
4.1. KORELACIJA MANJKA MELATONINA U KRVI I POVEĆANOG RIZIKA OBOLJEVANJA OD RAKA DOJKE KOD ŽENA IZLOŽENIH SVJETLU ZA VRIJEME NOĆI	28
4.2. SPAVANJE SA OTVORENIM SVJETLOM I MOGUĆI RAZVOJ KRATKOVIDNOSTI KOD DJECE ..	31
5. ZAKLJUČAK	32
6. PRILOZI	33
7. LITERATURA	34
8. SAŽETAK	37
9. SUMMARY	37

1. UVOD

Svjetlosno onečišćenje, poznato i kao fotopolucija, pojam je koji se primarno povezuje uz negativne posljedice prekomjernog, neadekvatnog i nametljivog umjetnog osvjjetljenja vanjskih objekata poput kuća, zgrada, ulica, prometnica, što u konačnici dovodi do gubitka mraka i noći kao važnog biološkog čimbenika. Negativne posljedice poznate su već 50-tak godina, što u biološkom (ekološkom, medicinskom), što u astronomskom aspektu.

Cijela priča je i započela s astronomima, koji su prvi primijetili negativan utjecaj viška svjetla noću. Zbog loše postavljene ulične rasvjete nebo je postepeno postajalo sve svjetlije, pa su se objekti slabijeg sjaja poput asteroida, udaljenih kometa, maglica i galaksija izgubili (Sl. 1.). To se naročito vidi kod zvjezdarnica smještenim u većim gradovima poput Londona, Beča ali i Zagreba i Pule, iz kojih se nekada moglo noću opažati, dok su sada ta opažanja onemogućena velikim količinama ulične rasvjete koja direktno ili indirektno ometaju pogled u nebo. Kako bi se to izbjeglo, nove se zvjezdarnice grade na tamnim lokacijama, udaljenima od samih gradova i mjesta, a prenosivim teleskopima se putuje i kilometrima do lokacija koje imaju dovoljno tamno nebo za opažanja (Petrovčić i Kosanović 2008).



Slika 1. Usporedba vidljivog neba sa dvije različite lokacije, lijevo iz manjeg naselja Leamington i desno iz metropolitanskog grada Orem, oba smještena u državi Utah. Primjećuje se drastično smanjena vidljivost noćnog neba na metropolitanskom području uslijed povećane količine raspršenog svjetla u atmosferi. Sa druge strane, iz naselja sa manjom količinom ulične rasvjete može se bez problema vidjeti zvijezda i sama struktura Mliječnog puta (Preuzeto i prilagođeno iz http://en.wikipedia.org/wiki/Light_pollution).

"Da se zvijezde, mjesto što sjaju uvijek nad našim glavama, mogu vidjeti samo s jedne točke zemaljske kugle, ljudi ne bi prestali u hrpama onamo putovati, da motre nebo i da se dive čudesima neba"

~ Seneca.

Zbog toga se osnivaju udruge kojima je glavni cilj poticati istraživanja i upoznati ljude sa svim negativnim posljedicama koje višak svjetla noću može imati. IDA (*International Dark-Sky Association*) je najstarija organizacija, osnovana 1988., čiji je cilj „sačuvati i zaštititi noć kao ekološku cjelinu te baštinu noćnog neba kroz kvalitetno postavljenu umjetnu rasvjetu“ (“*to preserve and protect the nighttime environment and our heritage of dark skies through quality outdoor lighting*”). 2008. godine udruga je brojala 5,000 članova iz 70 zemalja (<http://www.darksky.org/>). Postoje i mnoge manje organizacije, većina podružnice IDA-e, među kojima su i CDSA (*Croatian Dark-Sky Association*), *Dark-Sky Slovenia* i drugi, koje se uglavnom bave informiranjem lokalnih zajednica o negativnim posljedicama svjetlosnog zagađenja, kao astronomskog tako i biološkog (http://www.astro.hr/lp_cdsa/, <http://www.temnonebo.org/>).

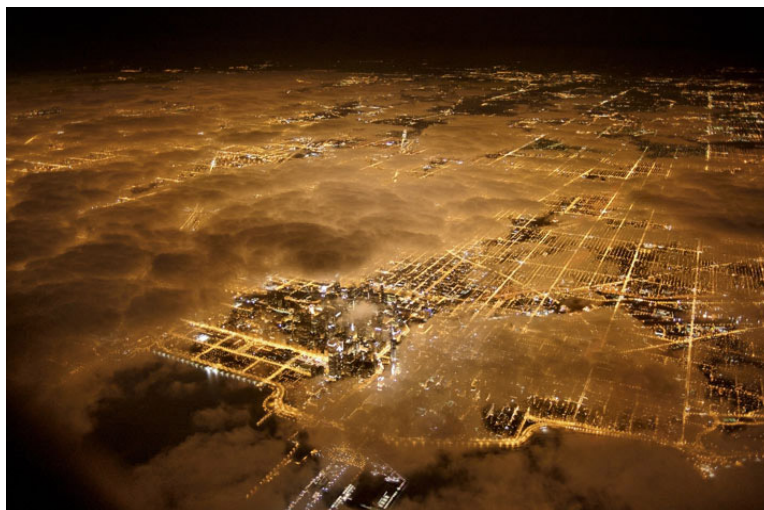
Svjetlosno onečišćenje podrazumijeva više problema, koji se mogu svrstati u nekoliko kategorija: prekoračenje svijetlom, prekomjerno osvjetljenje, bliještanje, gomilanje svjetla i sjaj neba. Jedna loše postavljena ulična lampa može se svrstati u jednu ili više od navedenih kategorija. Prekoračenje svjetlom (*light trespass*) se događa kada neželjeno svjetlo osvjetljava privatni posjed poput nečijeg vrta ili zida kuće (Sl. 2.). Uobičajen problem je kada umjetna rasvjeta osvjetljava spavaće sobe što može dovesti do nedostatka sna te različitih zdravstvenih posljedica, o čemu će biti više riječi kasnije. U državama koje imaju zakon ili stavku o svjetlosnom onečišćenju u zakonu zaštite prirode moguće je suditi upravu koja postavlja invazivna svjetla. Prekomjerno osvjetljenje (*over-illumination*) je pretjerana upotreba rasvjetnih tijela ili nepotrebno jakih žarulja. Pod ovim se pojmom najčešće podrazumijeva nepotrebna potrošnja energije. Tako se npr. u SAD-u godišnje samo na pretjeranu, neadekvatnu rasvjetu troši 2,000,000 barela nafte (Sl. 3.). U posljednje vrijeme se ovaj problem rješava postavljanjem „timera“ i senzora koji gase ili slabe svjetla ako nisu potrebna, specijalno dizajniranim armaturama za ulične lampe, postavljanjem rasvjetnih tijela slabije snage, promjenom jakih i neefikasnih živinih lampa visokotlačnim ili niskotlačnim natrijevima i slično. Bliještanje ili blještavilo (*glare*) označava pojavu zaslijepljena pri naglom osvjetljenju, poput izlaska iz tunela danju, neočekivanog bljeska usred noći i slično. Bliještanje je naročito opasno za vozače zbog toga što uslijed kratkotrajnog zaslijepljenja svjetlošću mogu izgubiti na trenutak kontrolu nad vozilom i uzrokovati prometnu nesreću. Isto tako, jako blještavilo stvara veliki kontrast između osvjetljenih dijelova i dijelova u sjeni, koju mogu iskoristiti razbojnici ili lopovi za skrivanje po parkovima ili u loše osvjetljenim dvorištima. Slično tomu je i gomilanje svjetla (*light clutter*), kada se nepotrebna količina rasvjete grupira na jedno mjesto, poput velikog broja reklamnih plakata ili neonskih natpisa

uz cestu koji mogu omesti vozače. Sjaj neba (*sky glow*) se odnosi na kupole svjetla koje se mogu vidjeti nad gradovima i naseljenim mjestima pretrpanim lošom rasvjetom. Uključuje svu svjetlost koja ili zbog lošeg postavljanja (rasipa većinu svjetla u atmosferu) ili zbog refleksije sa površina odlazi u nebo. Ova vrsta svjetlosnog onečišćenja naročito smeta astronomima u promatranju neba, zbog toga što se zbog porasta sjaja neba/podloge gubi kontrast sa objektima koje opažaju poput zvijezda i asteroida (http://en.wikipedia.org/wiki/Light_pollution).



Slika 2. Ova loše postavljena ulična rasvjeta direktno osvjetljava spavaće sobe ljudi koji žive u zgradi pokraj. Nedostatak mraka može kod tih ljudi dovesti do nesanice, poremećaja cirkadijskih ritmova te u konačnici i do ozbiljnijih zdravstvenih problema

(Preuzeto sa <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightpollution/lightTrespass.asp>).



Slika 3. Preosvijetljene ulice grada Chicago. Ovakve količine rasvjetnih tijela grupiranih na jedno mjesto su nepotrebne. Veći dio energije se rasipa na nepravilno postavljene ulične lampe koje veći dio svjetla rasipaju u nebo (Preuzeto sa <http://ngm.nationalgeographic.com/2008/11/light-pollution/richardson-photography>).

Negativne posljedice svjetlosnog onečišćenja mogu zahvaćati različita područja, poput ekonomije, astronomije, ekologije, zdravlja i medicine, estetike i sl. Potpun niz negativnih posljedica nije poznat kod svih, a tek se u zadnja dva desetljeća počeo primjećivati utjecaj i pretpostavljati moguće negativne posljedice kroz duže vremenske intervale na različite ekosisteme i ljudsko zdravlje (Klinkenborg i Richardson 2008).

Svjetlosno onečišćenje je onečišćenje koje je najlakše spriječiti i čija bi sanacija najmanje koštala. Ipak, percepcija ljudi danas je takva da svjetlo ne može biti izvor onečišćenja, pa se malo radi u pogledu sprječavanja. Umjetna noćna rasvjeta svih mogućih vrsta intenzivno se postavlja već 100-tinjak godina, sa lažnom predodžbom da velike količine svjetla koja noć pretvaraju u dan stvaraju sigurnije uvijete za život (Klinkenborg i Richardson 2008, Petrovčić i Kosanović 2008). Nasuprot tomu istraživanja pokazuju da je broj prometnih nesreća na osvijetljenim prometnicama povećan uslijed toga što vozači voze brže, smanje oprez dok voze a osvijetljene reklame uz cestu često im odvlače pažnju. Nisu nađene korelacije broja krađa i razbojnika sa prekomjernim osvijetljenjem, iako se pokazalo da loše postavljena rasvjeta može u biti privući lopove koji onda iskorištavaju velike kontraste svjetla i sjene koje stvaraju blještave lampe, a isto tako može smanjiti sigurnost pješaka koji uslijed privremenog zasljepljenja intenzivnim osvijetljenjem ne vide moguće prepreke, vozila ili lopove (<http://www.darksky.org/>).

Cilj ovog seminara bilo je ukratko dati opći pregled do sada otkrivenih negativnih posljedica svjetlosnog onečišćenja. Iako se na prvi pogled čini kako je u posljednjih 50 godina napravljeno puno posla, veći dio je vezan uz astronomiju, projektiranje same rasvjete, i određene taksonomske skupine. Još je puno toga neistraženog, naročito kada u pitanje dođe utjecaj na udaljene ekosisteme i ljudsko zdravlje, tako da se pravi omjer problema počeo naslućivati tek u posljednjih nekoliko godina.

2. EKOLOŠKO SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

Razlikujemo „astronomsko svjetlosno onečišćenje“ koje onemogućuje jasna opažanja noćnog neba i „ekološko svjetlosno onečišćenje“ koje mijenja ili interferira sa prirodnom noćnom svjetlosti. Zbog toga je 1985. predložen termin „fotopolucija“ kojim bi se opisao negativan utjecaj umjetne rasvjete na ekosistem. Pod ekološko svjetlosno onečišćenje ubrajaju se bliještanje, kronično povećana stopa umjetne rasvjete i povremene fluktuacije u osvjetljenju. Izvori su sjaj neba, osvijetljeni tornjevi i zgrade, ulične lampe, ribarske brodice, svjetla prometnih vozila, naftne platforme te čak i rasvjeta na podvodnim R.O.V.-ovima (*Remotely Operated underwater Vehicle*). Zbog toga je skala utjecaja svjetlosnog onečišćenja u ekološkom smislu puno veća od one u astronomskom smislu. Katastrofalne posljedice umjetne rasvjete su dobro poznate kod nekih taksonomskih grupa, poput velikog broja stradalih ptica selica svake godine ili dezorijentacije tek izleglih morskih kornjača na putu iz gnijezda do mora (Longcore i Rich 2004).

Veliki dio organizama evoluirao je u skladu s izmjenama dana i noći. Cirkadijski ritmovi su potrebni za regulaciju metabolizma a promjene duljine dana i noći potrebne su za pripremu organizma na nadolazeće sezonske promjene. Ponašanje pri parenju većine životinja, kontrola cvjetanja i dormancije kod gotovo svih biljaka, te na kraju i kontrola ljudskog imunitetnog sustava ovisi o pravilnim cirkadijskim ritmovima i izmjenama dana i noći. Svjetlost je esencijalna za biološke aktivnosti poput fotosinteze i vida, koje proučava „fotobiologija“. Ali periodi neprekinutog mraka, kao i izmjenjivanje sa periodima svjetla, jednako su važni za biološka ponašanja. „Skotobiologija“ je grana biologije koja se bavi proučavanjem mraka, i to pozitivnih odgovora bioloških sistema na prisustvo mraka, a ne samo negativnih posljedica nedostatka svjetla. Skotobiologija se među ostalim bavi i problemom svjetlosnog onečišćenja, a daje naročito važan naglasak na mraku kao ključnom aspektu normalnog ponašanja i metabolizma kod velikog broja organizama. Kod rasprava o skotobiologiji važno je naglasiti da je sam period mraka rijetko apsolutan, gledajući da tijekom noći imamo i mnoge prirodne izvore svjetla poput Mjeseca, zvijezda, Mliječne staze, ali i izvore svijetla biološkog porijekla poput bioluminiscencije, pa tako različite taksonomske skupine imaju često različito postavljene granice osjetljivosti na svjetlo (Longcore i Rich 2004, <http://www.ecologyofthenight.org/>, <http://en.wikipedia.org/wiki/Scotobiology>).

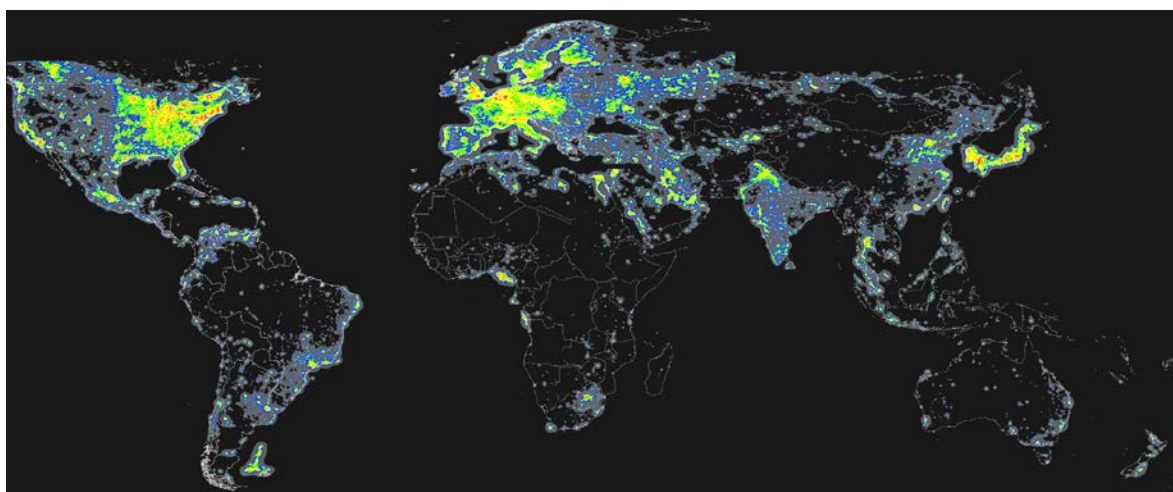
„EKOLOŠKO SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE“ UKRATKO

→ uključuje kronično ili privremeno povećano osvjetljenje, neočekivane promjene u osvjetljenju ili direktne bljeskove

→ životinje mogu mijenjati načine ponašanja i postati dezorijentirane na pretjerano osvjetljenim lokacijama, što u konačnici može dovesti do poteškoća kod traganja za hranom, reprodukcije, komunikacije i sl.

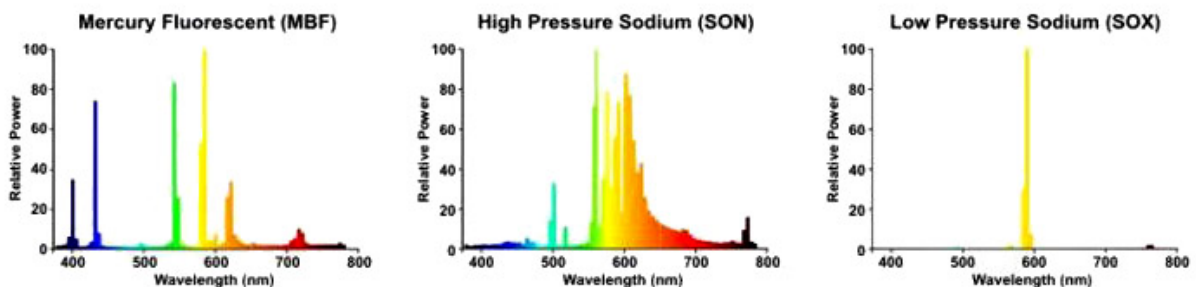
→ umjetna rasvjeta negativno utječe na interspecijske odnose što može imati negativne posljedice na ekologiju same zajednice

Prvi atlas umjetno osvjetljenog neba pokazao je da se astronomsko svjetlosno onečišćenje proširilo na sve naseljene kontinente (Sl. 4.), te samo kao usporedba 60% Američkog stanovništva živi u prostorima koji su noću dovoljno osvjetljeni da se može čitati naslove na novinama ili čak knjiga izvan kuće (Cinzano i sur. 2001). Ekosistemi mogu biti pogođeni još gore zbog toga što negativan utjecaj ima rasvjeta koja je inače astronomski prihvatljiva i čija se svjetlost ne rasipa u atmosferu. Pretpostavlja se da bi tropska područja bila najosjetljivija na promjene u trajanju dužine dana i noći uslijed svjetlosnog onečišćenja zbog toga što su na tim lokacijama cirkadijski ritmovi gotovo konstantni tokom cijele godine. Sa druge strane svjetlosno onečišćenje može imati i izrazito negativan utjecaj na životinjske vrste umjerenih zona koje se služe promjenom duljine dana i noći za detekciju sezonskih promjena te im se sukladno tomu mijenja i način ponašanja.



Slika 4. Prvi atlas umjetno osvjetljenog noćnog neba. Vidi se kako su Sj.Amerika, Europa i neke Azijske države poput Indije i Japana potpuno izgubile pravo noćno nebo, a prema novim istraživanjima u posljednjih se nekoliko godina situacija još dodatno pogoršala (Preuzeto sa <http://www.lightpollution.it/dmsp/artbri.html>).

Istraživanja ekološkog svjetlosnog onečišćenja zahtijevaju i određivanje osvjetljenja lokacije koja se istražuje. Osvjetljenje je količina svjetla koje pada na jedinicu površine. Svjetlost se razlikuje u intenzitetu (broj fotona po jedinici površine) te spektru (valne duljine koje svjetlost sadrži). Mjera koja se koristi je lux i označava valne duljine koje može percipirati ljudsko oko. Zbog tog razloga mjera nije najpreciznija budući da različiti organizmi vide različite dijelove elektromagnetskog spektra. Upotreba lux-ova ne daje biološki relevantne informacije, budući da visokotlačna natrijeva žarulja, poput živinih, emitira ultraljubičasti dio spektra koji privlači noćne leptire i kukce, dok niskotlačne natrijeve žarulje istog intenziteta (luxa) neće ih privući jer ne emitiraju ultraljubičaste valove (Sl. 5.) (Longcore i Rich 2004).



Slika 5. Usporedba emisijskih spektara različitih vrsta žarulja istog intenziteta. Vidi se da živina (MBF) i visokotlačna natrijeva (SON) isijavaju i ultraljubičasti dio spektra koji privlači kukce, naročito noćne leptire. Sa druge strane niskotlačna natrijeva (SOX) ima samo intenzivnu liniju žuto-narančastog dijela spektra, pa ne privlači kukce a uz to je i efikasnija jer se veliki dio električne energije pretvara u svjetlost a ne kao kod druge dvije vrste u infracrveni i ultraljubičasti dio elektromagnetskog spektra

(Prilagođeno prema <http://www.lamptech.co.uk/Documents/SO2%20Spectral.htm>).

Ipak, lux je standardna jedinica koju koriste dizajneri ulične rasvjete, inženjeri, kompanije i drugi, tako u svrhu usporedbe podataka dobivenih u samim istraživanjima potrebno je koristiti iste mjerne jedinice. Međutim, preporučljivo je da se, kada su u pitanju radovi vezani uz ekološka istraživanja, uz luxeve koristiti i neke druge mjerne jedinice ili parametre, poput gore navedenog spektra samih izvora svjetlosti.

2.1. POPULACIJSKA EKOLOGIJA I EKOLOGIJA PONAŠANJA

Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na populacijsku ekologiju i ekologiju ponašanja može se kvantificirati. Posljedice mogu biti promjene u orijentaciji, dezorijentacija, kriva

orijentacija te privlačenje ili odbijanje, što u konačnici može produžiti ili skratiti vrijeme hranjenja, poremetiti parenje, migracije i komunikaciju. Upravo zbog toga što je vid kod većeg broja životinja vodeći kod orijentacije, ponašanja i komunikacije, nije iznenađujuće što svjetlosno onečišćenje ima toliki utjecaj. U početku se može činiti da određene skupine profitiraju od umjetne rasvjete noću, poput predatora, ali taj privremeni pozitivan utjecaj može kroz duži vremenski period biti negativan za samu ekologije zajednice, o čemu će biti više riječi u sljedećem poglavlju.

2.1.1. ORIJENTACIJA/DEZORIJENTACIJA I PRIVLAČENJE/ODBIJANJE

Orijentacija i dezorijentacija su reakcije na ambijentalno svjetlo tj. svjetlo koje pada na predmete u okolini i koje se raspršuje. Suprotno tomu privlačenje i odbijanje su reakcije na sam izvor svjetla, sam sjaj i osvjetljenje.

Povišena razina osvjetljenja može produžiti diurnalna ili krepuskularna ponašanja u samu noć, budući da veća količina svjetla omogućuje orijentiranje neovisno o tomu što je izvor svjetla umjetan. Primijetilo se da danje vrste ptica i guštera traže hranu za vrijeme noći u blizini umjetne ulične rasvjete. Na taj način danje vrste iskorištavaju noćne ekološke niše, što u konačnici dovodi do smanjenja plijena za noćne predatore (Longcore i Rich 2004).

Konstantna izloženost umjetnoj rasvjeti može dovesti do dezorijentacije taksonomskih skupina koje su navikle koristiti prirodne izvore svjetla noću za navigaciju u prostoru. Najpoznatiji primjer je dezorijentacija tek izleglih morskih kornjača na putu od gnijezda preko pješćane plaže do mora. U normalnim uvjetima male kornjače legu se za vrijeme noći, kreću se od crnih silueta (poput priobalnog bilja ili kamenja na rubu obale) i orijentiraju se koristeći gradijent Mjeseca na nebu i bljeskanje u morskim valovima da sigurno dođu do mora. Ako se plaža osvjetli (Sl. 6.) ili ako se nalazi u blizini grada gube se crne siluete predmeta u okolici, a sam gradijent Mjeseca na nebu nadjača sjaj neba iznad grada, što dovodi do toga da male kornjače kreću prema gradovima gdje ugibaju od prometa ili od predatora (Salmon, Tolbert, i sur. 1995). Poznavajući pozitivno fototaksično ponašanje malih kornjača na nekim lokacijama duž obale Mediterana postavljaju se specijalne pregrade koje stvaraju umjetnu crnu siluetu oko gnijezda iz kojeg će izaći male kornjače (Sl. 7.). Na taj način malim kornjačama je otvoren i vidljiv samo onaj put koji vodi do mora (Trilar 2008).



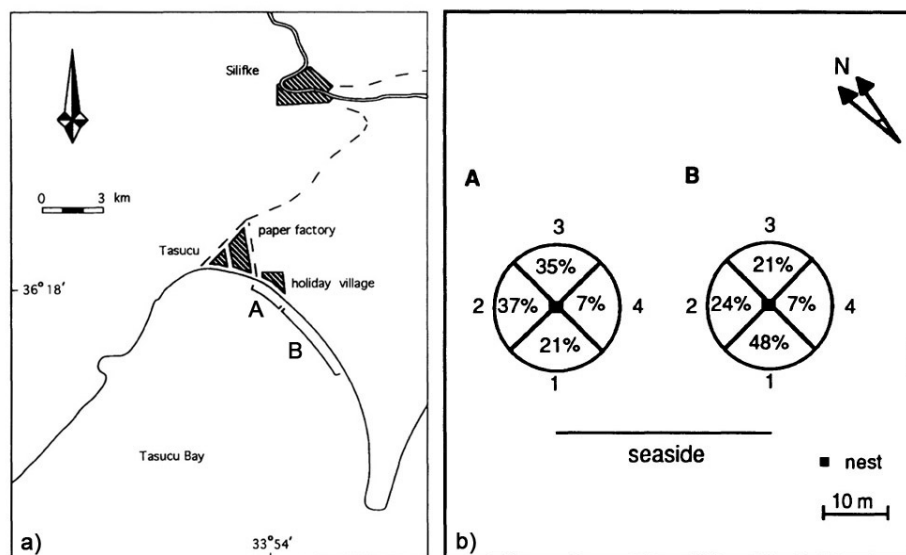
Slika 6. Male tek izlegle kornjače pokazuju pozitivno fototaksično ponašanje, što se vidi iz privremene privučenosti izvoru svjetla sjajne lampe. Kornjače može isto tako privući i nepravilno postavljena umjetna rasvjeta cesta i naselja uz samu obalu (Preuzeto iz Chepesiuk 2009).



Slika 7. Primjer jednog gnijezda na pješčanoj plaži gdje se može vidjeti označeno gnijezdo u sredini i pregrada oko njega. Pregrada stvara umjetnu crnu siluetu oko gnijezda iz kojeg će izaći male kornjače, čime je omogućena normalna orijentacija malih kornjača od gnijezda do sjajnog horizonta na moru (Preuzeto iz Trilar 2008).

Na plažama koje su noću osvijetljene ili pod utjecajem umjetne rasvjete primijećena je dezorijentacija kod kornjača vrsta *Caretta caretta* L., *Chelonia mydas* L. i *Eretmochelys imbricata* L. U jednom istraživanju vršenom na lokaciji delte Gösku u Turskoj primijećen je veliki utjecaj intenzivno osvijetljenog turističkog naselja, naselja Tascu i tvornice papira na dezorijentaciju tek izleglih glavatih želva (*Caretta caretta* L.) čija su se gnijezda nalazila na pješčanoj plaži u neposrednoj blizini. U istraživanju su gnijezda podijeljena u dvije kategorije

ovisno o tomu da li su se nalazila direktno kraj turističkog naselja gdje je nivo osvjetljenja noću bio izrazito veliki, ili jugoistočno na plaži koja je bila dovoljno udaljena od ulične rasvjete da je na njoj vladao mrak (Sl. 8.a.). Pratile se tragove kretanja 820 malih kornjača iz 23 gnijezda u krugu polumjera 10m od samog gnijezda, dok je smjer kretanja bio određen kvadrantom (Sl. 8.b.). Primijetilo se da je iz gnijezda kraj turističkog naselja samo 21% kornjača krenulo i došlo do mora, dok je ostatak zbog dezorijentacije krenuo prema naselju, intenzivno osvijetljenoj tvornici papira u blizini te prema pojedinačnim lampama. Taj dezorijentirani dio završio je pregažen, pojeden ili izgubljen u šumi. Iz gnijezda koje su se nalazile na tamnoj lokaciji primijetilo se da je 48% kornjača odmah krenulo i stiglo do mora, dok je 52% kornjača krenulo u krivom smjeru. Dio njih se izgubio dok se dio njih uspio u malo većem luku vratiti natrag na pravac prema moru. Pretpostavilo se da je do toga došlo zbog toga što kornjače ne koriste samo refleks Mjesečine na moru i izvor intenzivnog svjetla samog Mjeseca kako bi se orijentirali na pravi smjer, već je bitan i gradijent svjetla kojeg Mjesec stvara na nebu. Kako je taj gradijent bio „uništen“ zbog nepravilno postavljene rasvjete naselja čiji je sjaj nadjačao Mjesec, kornjače se nisu uspjele odmah orijentirati prema moru nego su krenule prema sjajnijem dijelu gradijenta tj. prema uličnoj rasvjeti, a veći udio odlutalih kornjača je u konačnici završio pregažen ili pojeden po putu (Peters i Verhoeven 1994).



Slika 8. a) Položaj gnijezda glavatih želva, podijeljen na dvije lokacije ovisno o tomu da li su se gnijezda nalazila direktno ispred intenzivno osvijetljenog turističkog naselja (A) ili su se nalazila na mračnoj plaži jugoistočno od samog naselja (B). **b)** Smjer kretanja malih kornjača iz gnijezda na lokaciji A i lokaciji B podijeljen u kvadrante. Vidi se da je veliki dio kornjača sa oba dvije lokacije krenuo prema izrazito osvijetljenom turističkom naselju i tvornici papira (kvadranti 2 i 3), dok je manji postotak stigao do mora (kvadrant 1) (Preuzeto i prilagođeno iz Peters i Verhoeven 1994).

Kod žaba se primijetilo da je nakon izlaganja bljeskovima svjetla bilo potrebno od nekoliko minuta do nekoliko sati za ponovnu stabilizaciju vida. Nakon što se žabe naviknu na neki umjetni izvor svjetla mogu postati toliko privučene njime da zaborave na hranjenje i parenje. To je pojednostavljeno pokazao pokus kojeg je William J. Long opisao 1901. gdje su na malu drvenu splav postavili svijeću, i gledali kako se na nju skupilo i do 15 žaba vrste *Rana catesbeiana* Shaw dok se splav nije okrenula (Longcore i Rich 2004).

Na lokacijama gdje ima svjetlosnog onečišćenja može se čuti ptice kako cvrkuću tijekom cijele noći, budući da im se zbog količine svjetla čini da je počela zora, što dovodi do toga da su u pravu zoru umorne i kreću u potragu za hranom kasnije kada je hrana oskudna, a naročito za ptice koje se hrane kukcima i ličinkama koje su aktivnije tijekom noći. Ptice počinju cvrkatati u zoru ranije na lokacijama koje su u mraku, dok na lokacijama sa svjetlosnim onečišćenjem tek kada sunčeva svjetlost nadjača svjetlo ulične rasvjete. Osim negativnog utjecaja na danje vrste ptica, u Ujedinjenom Kraljevstvu se primijetilo da opada broj noćnih ptica grabljivica poput sova zbog toga što im višak svjetla noću smanjuje lokacije prikladne za lov. Svjetlosno onečišćenje može biti i razlog naglog pada broja vrabaca i drugih ptica pjevica u Ujedinjenom Kraljevstvu, ili zbog toga što postaju lakši plijen ili zbog smanjenog broja kukaca s kojima se hrane. Postoji i nekoliko izvora u kojima se spominje da svjetlosno onečišćenje ima negativan utjecaj na morske ptice, naročito na gniježđenje i orijentiranje (<http://www.britastro.org/dark-skies/wildlife.html>, Petrovčić i Kosanović 2008).

Veći dio ptica pjevica evoluirao je tako da migrira noću, kada nema predatora a vjetrovi su slabiji, koristeći primarno osjet vida kako bi se orijentirali prema prirodnim izvorima svjetlosni na noćnom nebu. Umjetna rasvjeta povećava mortalitet tih ptica zbog toga što ih za vrijeme migracija nepovoljni uvjeti poput oluja primoraju letjeti niže, te jata ptica jednom kada uđu ostaju zarobljena u kupole svjetla iznad grada, gdje umiru od iscrpljenosti, direktnih sudara sa zgradama ili jer ih uspiju uhvatiti predatori poput štakora, mačaka, rakuna, galebova i sl. U SAD-u i Kanadi povećava se broj udruga koje se bave determinacijom mrtvih ptica, spašavanjem ozlijeđenih ptica, edukacijom lokalne zajednice o štetnosti svjetlosnog onečišćenja i mjera koje se mogu poduzeti kako bi se sve to spriječilo. Prva takva udruga pod nazivom *Fatal Light Awareness Program* (FLAP) osnovana je 1993. u Torontu, dok su se sami osnivači, uglavnom volonteri, time bavili već 20-tak godina prije. Udruga se sastoji od volontera koji u rane jutarnje sate, prije uličnih čistača i potencijalnih predatora, sakupljaju sve mrtve ptice i hvataju ozlijeđene ili dezorijentirane ptice sa namjerom da ih oporavljene vrate u prirodu dalje od samog grada i ulične rasvjete (Sl. 9.) (<http://www.flap.org/>). FLAP bilježi godišnje oko 1,800 ptica koje nastradaju u Torontu zbog dezorijentacije intenzivnom

noćnom rasvjetom, od kojih je 700-tinjak mrtvih a ostatak ozlijeđenih ili dezorijentiranih. U intervalu od 1993.-95. determinirano je 100-tinjak vrsta ptica selica među nastradalim pticama (Sl. 10.) (Evans Ogden 1996).



Slika 9. FLAP (*Fatal Light Awareness Program*), udruga osnovana 1993. u Torontu i kojoj je glavni cilj upoznati ljude sa negativnim posljedicama svjetlosnog onečišćenja na migrirajuće ptice, sastoji se poglavito od volontera, poput čovjeka na slici, koji u rane jutarnje sate sakupljaju mrtve ili ozlijeđene ptice po ulicama (Preuzeto sa <http://ngm.nationalgeographic.com/2008/11/light-pollution/richardson-photography>).



Slika 10. Ptice nastradale u gradu Toronto od sudara sa loše osvijetljenim zgradama koje su sakupili volonteri FLAP-a u vremenskom intervalu od preko tri mjeseca. Ovaj eksponat postavljen je u *Royal Ontario Museum* i broji preko 1,000 jedinki i 89 vrsta ptica selica (Preuzeto sa <http://ngm.nationalgeographic.com/2008/11/light-pollution/richardson-photography>).

Za usporedbu sa Torontom, vrijednosti nastradalih ptica u nekim gradovima i od nekih zgrada u SAD-u su po stotinu puta veće, poput Hancock Centra u gradu Chicago, zbog čije je neadekvatne rasvjete svake noći znalo stradati oko 1,500, a godišnje 20,500 ptica. Hancock Centar sada gasi svoja svjetla za vrijeme proljetnih i jesenskih migracija. Utjecaj na ptice neizravno se demonstrirao kada je 2002. u New Yorku pokraj *World Trade Center*-a postavljena instalacija *Tribute in Light* kao sjećanje na napad 11. rujna 2001. *Tribute in Light* sastojao se od 88 reflektora uperenih u nebo tako da su tvorili 2 svjetlosna stupa. Dok je instalacija bila u funkciji, tisuće ptica, noćnih leptira i ostalih kukaca, privučenih intenzivnim svjetlom, ostalo je zarobljeno u tim stupovima dok nisu pali mrtvi od iscrpljenosti. Jedan očevidac je to opisao kao „Stupovi su jasno i cijelom visinom bili ispunjeni jatima ptica koje su nalikovale jatima kukca. Njihov cvrkut se mogao jasno čuti. Bilo je toliko ptica da je bilo nemoguće pratiti pojedince na duže vrijeme. Ipak, vidio sam jednu pticu koja je kružila 6 puta unutar višeg dijela jednog stupa dok nisam izgubio trag. Svaki put je ptica boravila 3 do 9 sekundi unutar samog svijetla. Cijela situacija bila je veoma uznemiravajuća.“ (*"The beams were visibly filled with birds for their entire height, looking like clouds of bugs. Their twittering was audible. There were so many birds, it was impossible to track any one individual for any length of time. I did see one bird that circled in and out of the uptown beam six times before I lost track. Each time, the bird stayed in the light for from 3 to 9 seconds. I found all this extremely disturbing"*) (<http://www.britastro.org/dark-skies/wildlife.html>).

Svjetlost ulične rasvjete privlači kukce koji umiru odmah zbog prženja na jakom svjetlu lampe ili kruže oko lampe dok ne padnu od iscrpljenosti (Sl. 11.). Izrazito negativne posljedice viđene su kod kukaca kornjaša poput različitih vrsta kozaka (*Dytiscus* sp.). U nekim barama i jezerima u Sloveniji kraj kojih je postavljena ulična rasvjeta primijetilo se da su izumrle populacije kozaka, budući da su jedinke krenule iz bara prema svjetlu, zaboravile se hraniti i završile pregažene na cesti. Kako su kozaci među ključnim predatorima u tim vodenim površinama, njihov nestanak ima ozbiljne posljedice zbog narušavanja hranidbenih lanaca (Trilar 2008). Ipak, taksonomske skupine koje su najjače pogođene su razne vrste krijesnica zbog toga što mužjaci kreću prema lampama ulične rasvjete umjesto prema ženkama te noćni leptiri koje privlači ultraljubičasto svjetlo nekih vrsta žarulja (poput živine i visokotlačne natrijeve) (<http://www.britastro.org/dark-skies/wildlife.html>). Druge taksonomske skupine koje privlači svjetlo su Chrysopidae, Coleoptera, Trichoptera, Tipulidae, Tettigonidae, mužjaci krijesnica (Lampyridae) itd. Da li će neko svjetlo privući određenog kukca ili ne ovisi o spektru koje to svjetlo emitira tj. da li sadrži valne duljine koje mogu privući tog kukca (Longcore i Rich 2004).



Slika 11. Kukce poput noćnih leptira i raznih kornjaša privlači intenzivna bijela svjetlosti reflektora koja u sebi sadrži i ultraljubičasti dio spektra. Ako ih odmah ne ubije toplina samih žarulja, kruže oko njih dok ne padnu dolje od iscrpljenosti ili dok ih ne uhvati neki predator
(Preuzeto i prilagođeno iz <http://www.panoramio.com/photo/6654054>).

Člankonošci koji ne mogu letjeti poput paučnjaka različito reagiraju na umjetnu noćnu rasvjetu. Neki su noćni pauci negativno fototaksični dok drugi iskorištavaju umjetnu rasvjetu kako bi mogli i noću loviti plijen. 2002. godine primijećena je povećana gustoća populacije crnih udovica od 3 jedinke po m^2 na čvorovima „Istarskog Y“, nagomilanih ispod svake lampe, dok je gustoća bila manja od 1 jedinke po m^2 na prirodnoj lokaciji u blizini bez umjetnih izvora svjetla (Bonaca i Korlević 2003). U laboratorijskim pokusima kod nekih pauka poput vrste *Larinioides sclopetarius* Clerck, koji se hrani isključivo noću, pokazala se urođena preferenca gradnje mreža čim bliže nekom izvoru svjetlosti. U prirodnim uvjetima, pauci te vrste grade mreže čim bliže samim izvorima svjetla, a u laboratoriju su imali tendenciju graditi mreže na mjestima koja su bila osvijetljena, neovisno o tomu da li su prije toga bili već u kontaktu sa svjetlom noću. Kako samo ženke rade mreže kod ove vrste, primarno su one korištene u laboratorijskim pokusima. U pokusu je 20 ženka bilo izloženo izvoru svjetla, od kojih 18 je napravilo mreže na osvijetljenom kraju terarija. Kada se isti pokus ponovio sa paucima koji su uzgojeni u laboratoriju, hranjeni i danju i noću kako ne bi asociirali hranu ni sa svjetlom ni sa doba dana ili noći, te stavljeni u isti terarij koji je bio osvijetljen samo na jednom kraju, 14 od 15 ženki je napravilo mrežu na osvijetljenom dijelu. Suprotno ovoj vrsti postoje vrste noćnih pauka porodice Araneidae koje izbjegavaju i bježe od svjetla (Milius 1999).

2.1.2. RAZMNOŽAVANJE

Ponašanja povezana sa parenjem i općenito razmnožavanjem mogu se izmijeniti uslijed utjecaja svjetlosnog onečišćenja. Ženke žabe *Physalaemus pustulosus* Cope postaju manje izbirljive što se tiče mužjaka kada se nalaze u svjetlijoj okolini, vjerojatno kako bi se čim prije parile i izbjegle moguće predatore, dok mužjaci biraju više osvijetljene lokacije za glasanje upravo kako bi na vrijeme spazili potencijalnog predatora i pobjegli (Rand i sur. 1997). Umjetna rasvjeta noću može isto tako smanjiti ili inhibirati selidbu vodozemaca na lokacije predviđene za parenje. Na nekim se lokacijama vidjelo da se žabe nisu glasile i tražile partnere za vrijeme nogometnih utakmica noću kada su normalne vrijednosti osvijetljenja bile povećane zbog reflektora stadiona. Glasanje se nastavilo tek nakon što su se svjetla stadiona ugasila (Longcore i Rich 2004).

Kod ptica postoje indikacije da noćna rasvjeta utječe na izbor mjesta gniježdenja. Ono što se primijetilo je da ptice koje gnijezde ranije, kada još nema dovoljno hrane, „biježe“ od ulične rasvjete, dok ptice koje gnijezde kasnije biraju mjesta bliža uličnoj rasvjeti (Longcore i Rich 2004). To može biti povezano sa prije spomenutim problemima kada ptice ne osjete odmah izlazak sunca i ne krenu odmah u lov nego mogu kasniti po nekoliko sati kada više nema dovoljno hrane za svih.

2.1.3. KOMUNIKACIJA

Vizualna komunikacija između nekih vrsta može biti otežana uslijed svjetlosnog onečišćenja. Neke vrste koriste bioluminiscenciju u komunikaciji, i zbog toga su veoma osjetljive na višak svjetla. Ženke krijesnica privlače mužjake bioluminiscentnim bljeskovima i na udaljenosti od 45m. Prisutnost umjetne rasvjete uvelike smanjuje vidljivost i prepoznavanje, ako mužjaci nisu već poginuli od iscrpljenosti nakon kruženja oko uličnih lampi (Longcore i Rich 2004, <http://www.britastro.org/dark-skies/wildlife.html>).

Umjetna rasvjeta noću može sekundarno utjecati i na ostale vrste komunikacije, poput načina zavijanja kojota (*Canis latrans* Say). Za vrijeme mjesečine pojačan je intenzitet i broj jedinki koje zavijaju. Komunikacijom se služe kako bi smanjili ulazak uljeza u čopore ili sastaviti potreban čopor za lov tokom noći. Umjetno osvijetljeno nebo koje nalikuje na noć pune mjesečine moglo bi dovesti do poremećaja u komunikaciji (Bender i sur. 1996).

2.2. EKOLOGIJA ZAJEDNICA

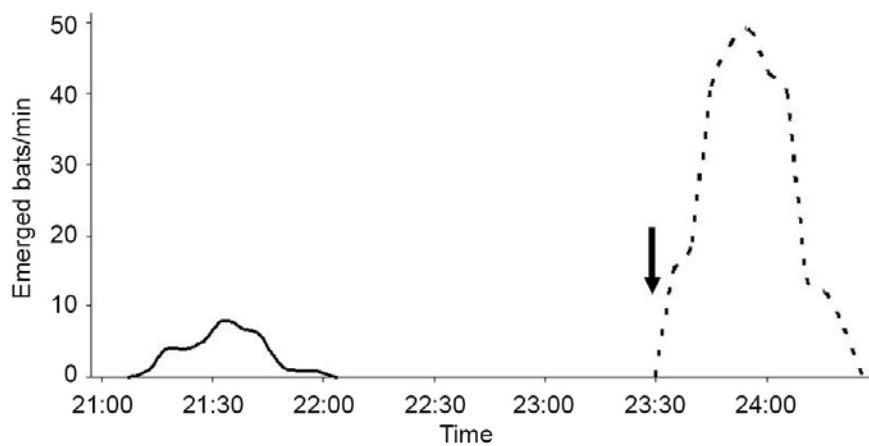
Promjena ponašanja koja se može primijetiti kod jedne taksonomske skupine kao posljedica izloženosti svjetlu tokom noći može utjecati i na intraspecijske i interspecijske interakcije unutar zajednice, najpoznatije od kojih su kompeticija i predatorstvo. Noć ispunjena umjetno stvorenom svjetlosti pogodovati će vrstama koje su otporne ili preferiraju svjetlo dok će ostale vrste biti istjerane ili istrebljene. Javlja se povećana kompeticija i zbog toga što vrste koje su inače primarno diurnalne zauzimaju niše koje su prije bile dostupne samo noćnim vrstama. Sa druge strane, predatori sada mogu u kratkom vremenskom roku uhvatiti više plijena, što može dovesti do nepravilnosti u hranidbenom lancu, i tako utjecati na cijeli ekosistem.

2.2.1. KOMPETICIJA

Umjetna rasvjeta noću može poremetiti interakcije među vrstama koje dijele isti životni prostor, npr. ako im je vrijeme hranjenja strogo diktirano nivoom osvjetljenja. Za vrstu žabe *Hyla squirella* Bocs primijećeno je da se hrani u izrazito tamnim uvjetima od 10^{-5} luxa, kod žabe *Bufo boreas* Baird i Girard pri uvjetima kada je osvjetljenje između 10^{-1} i 10^{-5} luxa, a žaba *Ascaphus truei* Stejneger tek kada vladaju uvjeti potpunog mraka ispod 10^{-5} luxa (Longcore i Rich 2004). Ove vrste ne nastanjuju nužno iste prostore, i uslijed drugih dimenzija niše u kojima se razlikuju ne mora značiti da će između njih doći do kompeticije, ali dobro ilustriraju da postoji gradijent u količini svjetla kojeg određene vrste biraju kod hranjenja.

Mnoge šišmiše privlače kukci koji se sakupljaju oko uličnih svjetiljka. Iako se na prvi pogled čini da je veća dostupnost hrane pozitivna za same šišmiše, to pogoduje samo onim vrstama koje iskorištavaju uličnu rasvjetu, uglavnom vrstama koje brže lete. S druge strane vrste koje sporo lete izbjegavaju svjetla i love u mraku (Longcore i Rich 2004). Mađarski istraživači primijetili su negativan utjecaj povećanja nivoa osvjetljenja na kolonije šišmiša vrsta *Rhinolophus ferrumequinum* Schreb., *Myotis emarginatus* Geoffroy i *Myotis oxygnathus* Monticelli. Te vrste često nastanjuju potkrovlja crkva, zvonika i starih kuća. Primijetilo se da su se ponašanje odraslih i fizionomija juvenilnih jedinki razlikovale između kolonija istih vrsta koje su živjele u jako osvjetljenim zgradama od onih koje su živjele u tamnim, neosvjetljenim zgradama, iako su kolonije prostorno bile relativno blizu. Jako noćno

osvjetljenje zgrada u kojima se kolonije odmaraju tokom dana dovelo je do kašnjenja u izlasku iz skloništa u potrazi za hranom. Kod nekih slučajeva znalo se desiti da jedinke nisu uopće izlazile tragati za hranom (Sl. 12.), što u konačnici može kroz duži vremenski period dovesti do izumiranja kolonije. Juvenilne jedinke bile su značajno mršavije i manje od onih iz kolonija koje su živjele na neosvjetljenim, mračnim lokacijama. Može se pretpostaviti da do razlike u dužini podlaktice i masi dolazi ili zbog ranijeg porođaja ili zbog sporijeg rasta u kolonijama koje su izložene jakom svjetlu, moguće jer se ženke ne hrane dovoljno. Time su pokazali da pretjerano osvjetljenje zgrada može imati ozbiljne posljedice na očuvanje populacija pojedinih kolonija šišmiša koji obitavaju u njima (Boldogh, Dobrosi i Samu 2007).

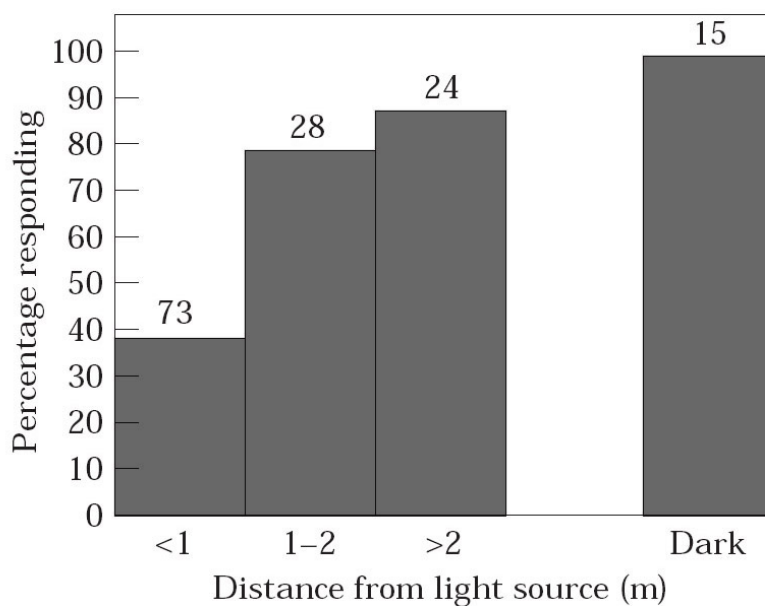


Slika 12. Napuštanje skloništa kod šišmiša vrste *Myotis emarginatus* Geoffroy u dva odvojena legla tijekom iste noći. Kontinuirana linija označava leglo u neosvjetljenoj zgradi a iscrtkana linija leglo u izrazito osvjetljenoj zgradi. Strelica označava vrijeme kada su ugašena svjetla koja su osvjetljavala zgradu sa drugim leglom. Primjećuje se da su tek tada šišmiši napustili sklonište i krenuli u lov (Preuzeto iz Boldogh, Dobrosi i Samu 2007).

2.2.2. PREDATORSTVO

Iako se na prvi pogled čini korisno što neke diurnalne vrste sada mogu duže vremena tražiti hranu pomoću umijete rasvjete, time se povećava mogućnost napada od predatora. Ravnoteža između dobrog vremena za potragu hrane i rizik napada predatora se intenzivno istražuje kod malih sisavaca, gmazova i ptica. Sa druge strane, kod nekih skupina zmija, šišmiša, riba i manjih sisavaca primijećeno je da im se vrijeme potrage za hranom u previše osvjetljenim uvjetima skraćuje, vjerojatno kako ne bi postali žrtva pojačane aktivnosti samih predatora (Longcore i Rich 2004).

U jednom revijalnom članku spominje se povećana predacija noćnih leptira od strane šišmiša, ptica, tvorova, žaba i pauka kraj ulične rasvjete, kao i mogućnost da će veliki selekcijski pritisak na noćne leptire dovesti ili do evolucijskih promjena ponašanja ili do izumiranja populacija (Frank 1988). Neke vrste noćnih leptira razvile su specijalne timpanalne organe smještene na prsima uz bazu krila. Ti im organi, slični membrani bubnjića u uhu viših kralježnjaka, služe za detekciju zvukova, u njihovom slučaju za detekciju ultrazvučnih valova kojim se šišmiš služi pri eholokaciji. Kada leptir osjeti vibracije od šišmiša koji se približava prestaje mahati krilima i slobodno pada okomito dolje, kretanje koje šišmiš ne može predvidjeti ni slijediti. Ipak, primijetilo se da leptiri koji kruže oko živinih žarulja noću ne pokazuju taj način ponašanja i lak su plijen za šišmiše. Isto tako poznato je da ako određene vrste noćnih leptira koji imaju timpanalni organ lete danju, neće reagirati na podražaj ultrazvučnim valovima. Pretpostavilo se da svjetlo živinih žarulja, tj. neke komponente spektra, ometaju normalnu funkciju timpanalnog organa, što onemogućuje noćnim leptirima da čuju približavanje šišmiša i izbjegnu siguran napad. Ta je hipoteza dodatno potvrđena terenskim pokusom u kojem su mužjaci noćnih leptira vrsta *Operophtera brumata* L. i *Operophtera fagata* Scharfenberg izlagani kratkotrajnim ultrazvučnim valovima pseće zviždaljke karakteristika 26kHz i 110dB u prisutnosti svjetla živine lampe i u mraku. Pratili su 3 različita načina ponašanja nakon izlaganja ultrazvuku, nagli pad ili kružni let prema tlu i nagla promjena u smjeru kretanja kao znak detekcije ultrazvuka i bježanja od „predatora“, te treći ako leptiri nisu imali vidljivih reakcija na podražaj ultrazvukom. Zabilježeno je da su svi leptiri koji su letjeli u mraku reagirali na ultrazvuk, dok je samo 57% leptira koji su letjeli kraj živine lampe reagiralo na ultrazvuk, a ostatak je nastavio letjeti istim smjerom i tempom (Sl. 13.). Pokazalo se da je svjetlost živine lampe inhibirala percepciju ultrazvuka i sam bijeg od izvora, dok su same „tehnike“ bježanja bile iste neovisno o izloženosti svjetlu (Svensson i Rydell 1998).



Slika 13. Postotak mužjaka zimskih noćnih leptira (*Operophtera* sp.) koji su reagirali na kratkotrajno izlaganje ultrazvuku ovisno o udaljenosti od živine žarulje jakosti 125 W. Broj testiranih jedinka nalazi se iznad stupaca. Primjećuje se da što su jedinke bile bliže žarulji manje su reagirale na ultrazvuk (Preuzeto iz Svensson i Rydell 1998).

2.3. UTJECAJ NA EKOSISTEM

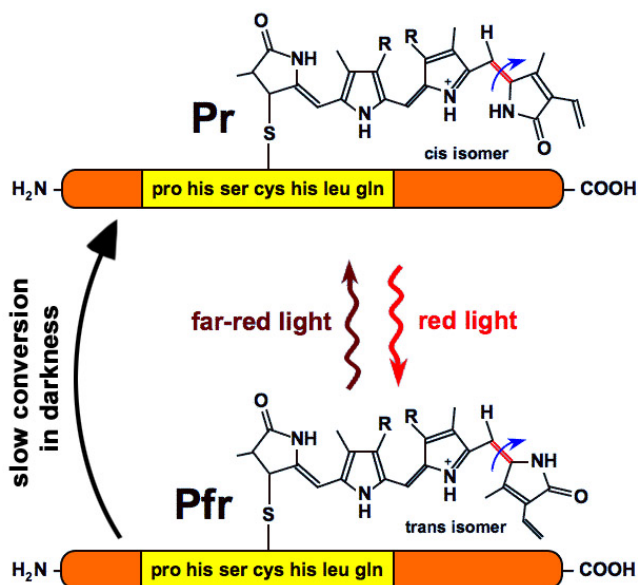
Zbirni utjecaj biheviorističkih poremećaja potaknutih lošom uličnom rasvjetom noću može poremetiti ključne funkcije u ekosistemu. Postoje radovi koji pokazuju da svjetlosno onečišćenje ima utjecaja na vertikalne migracije zooplanktona u vodenim površinama kraj gradova. Vertikalne migracije unutar perioda od 24 sata uglavnom su povezane sa izbjegavanjem predatora, pa se stoga tek po noći u mraku približavaju vodenoj površini. Primijećeno je da vertikalne migracije uvelike ovise o količini mjesečine, te se mogu znatno smanjiti za vrijeme punog Mjeseca. Iako postoji rad kojim se dokazalo da se, zbog umjetne rasvjete grada u blizini, vertikalno kretanje jedinki roda *Daphnia* smanjilo za 2 m, sama mjerenja su vršena jednu jedinu noć i to u vremenskom intervalu od jednog sata, što nije reprezentativan ni dovoljan uzorak za „eksplozivne“ zaključke koje su naveli u samom radu (Moore i sur. 2000). Postoji mogućnost da uslijed manjka zooplanktona koji migrira u površinske vode može doći do povećanja populacije fitoplanktona, bujanja i iscrpljivanja nutrienata te u konačnici stvaranja anoksičnih uvjeta u jezeru. Da bi se potvrdilo te hipoteze potrebno je intenzivnije istraživati vertikalne migracije zooplanktona tijekom godine i u različitim uvjetima osvjetljenja kako bi se moglo izbaciti eventualne sezonske ili mjesečne fluktuacije.

Promjene u ekologiji zajednice mogu dovesti do nepravilnosti u cijelom ekosistemu. Nažalost, vrlo je malo istraživanja vršeno na tom području, pa se pun opseg posljedica može teško pretpostaviti. Poznato je da godišnje više ptica umire od sudara sa osvijetljenim ili staklenim fasadama nego od izlivanja nafte (Evans Ogden 1996). Pretpostavlja se da svjetlosne kupole većih gradova i prometnice koje sve češće presijecaju veća područja prekrivena šumama i travnjacima mogu imati negativan utjecaj i na daljnje ekosisteme, među kojima su tropska područja i vodene površine najosjetljiviji zbog relativno konstantnih uvjeta tijekom godine, naročito što se tiče izmjene dana i noći.

3. UTJECAJ NA FIZIOLOGIJU VIŠIH BILJAKA

3.1. FITOKROM I FOTOPERIOD

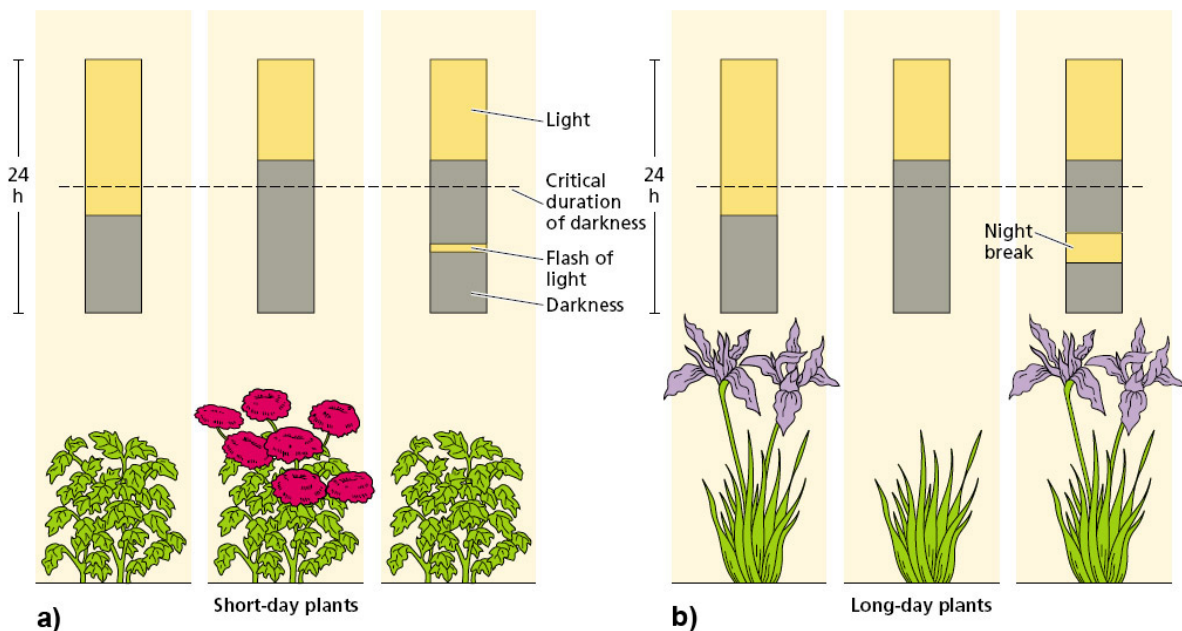
Biljke imaju vlastite dnevne, mjesečne i godišnje periode, koje uglavnom kontroliraju preko detekcije promjene temperature i svjetla. Kod detekcije svjetla najvažniji je enzim fitokrom, koji regulira fotoperiodizam, absciziju, dormanciju i klijanje sjemenka. Fitokrom se sastoji od polipeptidnog, proteinskog dijela i pigmenta koji mijenja konformaciju i funkciju cijelog enzima ovisno o valnoj duljini svjetla koju apsorbira. Postoje dvije konformacije fitokroma: Pr (*red* – 660nm) i Pfr (*far red* – 730nm). Prijelaz iz Pr u Pfr zbiva se nakon apsorpcije crvene svjetlosti, u prirodi nakon apsorpcije Sunčevog spektra. Fitokrom u svojoj Pfr konformaciji kod većine biljaka potiče klijanje sjemenka, cvjetanje i sl. Ono što je vrlo bitno je to što fitokrom prelazi iz konformacije Pfr u Pr samo pri apsorpciji tamno-crvene svjetlosti ili u mraku (Sl. 14.) (Taiz i Zeiger 2002). Tu u cijelu priču ulazi svjetlosno onečišćenje, naročito ako izvor onečišćenja sadrži crvenu svjetlost u spektru, jer je onda onemogućen prijelaz fitokroma iz Pfr u Pr što za sobom nosi cijeli niz potencijalno negativnih posljedica.



Slika 14. Konformacijska promjena iz Pr (neaktivan oblik) u Pfr (aktivan oblik) zbiva se pri apsorpciji crvene svjetlosti valne duljine 660nm, a promjena iz Pfr natrag u Pr pri apsorpciji tamno-crvene svjetlosti valne duljine 730nm ili u mraku. Ovisno o vrsti biljke, višak Pfr će aktivirati ili inhibirati cvjetanje, klijanje, dormanciju itd.

(Prilagođeno prema http://plantphys.info/plant_physiology/phytochrome.shtml).

Različiti omjeri fitokroma Pr i Pfr naročito su bitni za biljke dugog i kratkog dana (suprotno njihovom nazivu, tim je biljkama za određivanje ciklusa cvjetanja i listanja bitna dužina noći, a ne dana). Za vrijeme dužih noći, više fitokroma je u konformaciji Pr, što potiče cvjetanje u biljaka kratkog dana poput jagoda, poinsetia, krizantema, a inhibira u biljaka dugog dana poput špinata, krumpira, djeteline, slate i sl. Sa druge strane velike količine Pfr inhibiraju cvjetanje biljaka kratkog dana, kojima je potrebna duga noć i puno Pr. Već 1938. vršeni su pokusi na bunici (*Xanthium sp.*), biljci kratkog dana, kod koje se pokazalo da izlagane biljke samo jednu minutu svjetlosti obične lampe sa žarnom niti jakosti 25W može dovesti do inhibicije cvjetanja. Upravo zbog toga bi svjetlosno onečišćenje, naročito ako izvor svjetlosti u svom spektru sadrži crvenu svjetlost valne duljine 660nm, moglo imati veće posljedice na cvjetanje biljaka kratkog dana, a time i nedostatak stvaranja plodova i razmnožavanja (Sl. 15.a.). Nasuprot tomu kratko izlaganje svjetlosti u periodu mraka potiče cvjetanje biljaka dugog dana, koje bi time bile u prednosti u uvjetima gdje vlada svjetlosno onečišćenje (Sl. 15.b.). Problem se javlja kod biljaka poput špinata, salate i drugih komercijalnih biljaka dugog dana gdje su glavni doprinos listovi, zbog toga što se svi nutrienti troše na cvjetanje i stvaranje plodova, a listovi krhlyaju (<http://calgary.rasc.ca/lp/plants.html>).



Slika 15. a) Kratkotrajno izlaganje svjetlu za vrijeme duge noći može dovesti do inhibicije cvjetanja kod biljke kratkog dana kojima je fitokrom Pfr inhibitor. **b)** Izlaganje svjetlu za vrijeme duge noći dovodi do cvjetanja biljke dugog dana kojoj su potrebne velike količine fitokroma Pfr koji vrši ulogu aktivatora za cvjetanje (Preuzeto i prilagođeno iz Taiz i Zeiger 2002).

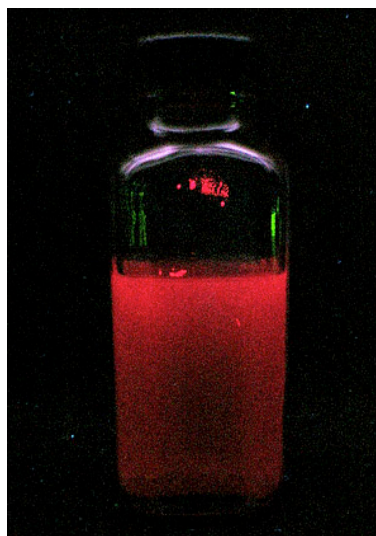
Fitoktom detektira skraćivanje duljine dana koje označava dolazak jeseni, što znači da se biljka mora pripremiti za gubitak listova (absciziju) i dormanciju, te regulira abscizinsku kiselinu odgovornu za oba procesa. Umjetna rasvjeta može „prevariti“ stablo, što dovodi do toga da klorofil, voda i nutrienti ostaju unutar lista duboko u kasnu jesen, kada listovi opadaju još zeleni zbog mraza. Na taj način stablo gubi sve hranjive sastojke iz listova koje inače pohranjuje u korijenu za vrijeme dormancije. Uz to, stabla i grmovi ne stignu se pripremiti i stvoriti zaštitne pupove koji čuvaju meristemski vršak do proljeća kada iz njih nastaju novi mladi listovi. U većim gradovima može se primijetiti da stabala kasnije cvjetaju i kasnije odbacuju listove, često zelene, ali još nisu poznate posljedice kroz dugi vremenski period (<http://calgary.rasc.ca/lp/plants.html>).

Kao što različite konformacije fitokroma reguliraju cvjetanje kod biljaka dugog i kratkog dana, tako reguliraju i klijanje sjemenki. U prvoj polovici 20.st. otkrilo se da je za klijanje sjemenki salate ključno izlaganje crvenoj svjetlosti od 660nm (<http://calgary.rasc.ca/lp/plants.html>). Sa druge strane izlaganje sjemenki nekih biljaka, poput biljke *Tsuga mertensiana* (Bong.) Carr., inhibira klijanje, što može biti jedan od pokazatelja da Pfr u nekih biljaka djeluje kao inhibitor i na samo klijanje (Edwards i El-Kassaby 1996).

3.2. POTENCIJALNI UTJECAJ NA FOTOSINTETSKI APARAT

U viših biljaka, alga i cijanobakterija molekularni aparat za prikupljanje svjetla i pretvaranje u kemijsku energiju sastoji se od kompleksa proteina i fotosintetskih pigmenata smještenih u tilakoidnoj membrani unutar organela kloroplasta. Ti pigmenti apsorbiraju energiju elektromagnetskog spektra kroz cijeli niz frekvencija koji varira od pigmenta do pigmenta. Klorofil a i b su najvažniji pigmenti u zelenih biljaka, dok karotenoidi služe kao nadopuna i zaštita klorofilu od fotooksidacije. Kako bi prijenos sakupljene energije bio što efikasniji, fotosintetski pigmenti su smješteni u fotosisteme, u kojima se energija tj. elektroni prenose sa pigmenta iz antena u reakcijski centar. U viših biljaka fotosinteza zahtjeva kooperaciju dva odvojena sustava, fotosistema I i fotosistema II, koji oksidiraju 2 kisikova atoma iz 2 molekule H₂O u molekulu O₂, reduciraju NADP⁺ u NADPH i fosforiliraju ADP u ATP (pričuvna kemijska energija). Fenomen fluorescencije temelji se gotovo isključivo na fotosistemu II. Klorofil apsorbira plavu (~420nm) i crvenu (~660nm) svjetlost, a reflektira zeleni dio spektra. Veći dio apsorbirane energije se prenese u sam reakcijski centar, dok klorofil a manji dio reemitira u obliku fluorescencije u antenama. Fluorescira u crvenom i

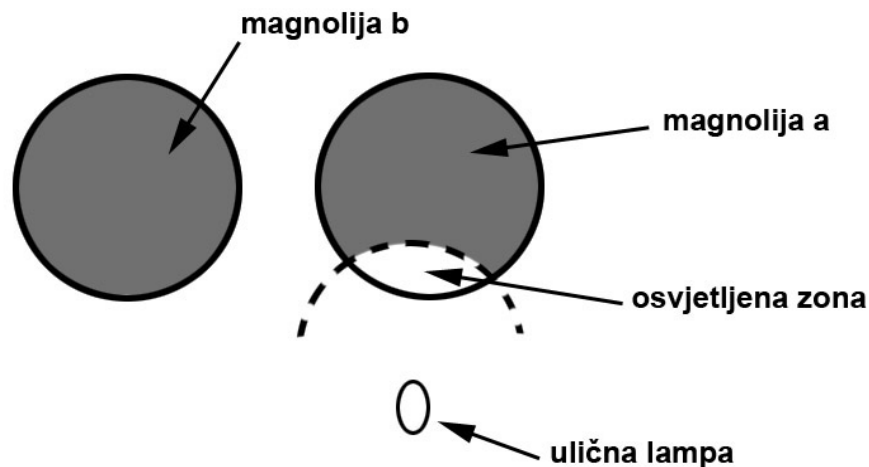
blisko infracrvenom, a može se lako vidjeti kada se koncentrirana otopina klorofila osvijetli jakim bljeskom (Sl. 16.). Kinetika indukcije fluorescencije, poznata i kao Kautsky-ev efekt, koristi se za određivanje efikasnosti fotosintetskog aparata ovisno o tomu koliko se svjetlosti reemitiralo. Mjerenja se vrše na način da se list, koji je prethodno držan u mraku, naglo osvijetli intenzivnim svjetlom. U tom slučaju fluorescencija ima nagli rast u djeliću sekunde i lagani pad tokom sljedećih nekoliko sekunda ili minuta. Iz formula kinetike same reakcije moguće je dobiti mjerljive parametre poput emisije fluorescencije klorofila a, kojima se dobiva kvantitativna evaluacija fiziološkog stanja fotosistema II tj. „efikasnost fotosinteze“ (Roman i sur. 2000).



Slika 16. Otopina klorofila fluorescira crvenom svjetlosti nakon osvjetljavanja jakim svjetlosnim bljeskom (Preuzeto i prilagođeno iz <http://www.flickr.com/photos/11198446@N03/2163500347/>).

Grupa talijanskih biologa iz Padove htjela je istražiti mogući utjecaj izloženosti listova izvoru svjetla tokom noći na efikasnost fotosintetskog aparata koristeći metodu mjerenja emisije fluorescencije klorofila a. Istraživanje je provedeno na magnolijama u botaničkom vrtu u Padovi („*Orto Botanico di Padova*“) u periodu od listopada 1994. do listopada 1995. Uzorci, mali diskovi promjera 13mm izrezani iz listova, uzeti su sa listova na strani stabla koje je noću bilo izloženo svjetlosti ulične živine lampe jakosti 125W te sa druge strane koja je bila u mraku, i sa listova drugog stabla u neposrednoj blizini koji je kroz cijelu noć bio u mraku (Sl. 17.). Uzorci su zatim stavljeni u odvojene kutije kako bi se fotosintetski aparat održao u prirodnom stanju do mjerenja u laboratoriju. Budući da je sav biljni materijal uzet sa istog područja kroz dugi vremenski period može se zanemariti klimatske i meteorološke prilike te ostala onečišćenja budući da su rasli u sličnim uvjetima. Isto tako računalo se i da

efikasnost fotosintetskog aparata nije jednaka tokom godine nego varira ovisno o godišnjem dobu, budući da za vrijeme senescencije smanjena proizvodnja klorofila. Instrument korišten za mjerenje emisije fluorescencije bio je specijalan fluorimetar kod kojega se koristi dva odvojena izvora svjetlosti, jače za indukciju samih fotokemijskih reakcija i slabije s kojim se bilježi samu fluorescenciju (Roman i sur. 2000).



Slika 17. Magnolije na ulazu u botanički vrt u Padovi. Uzorci su tokom godine dana uzimati sa magnolije u mraku (magnolija b), neosvijetljenog dijela krošnje magnolije a i dijela krošnje koji je tokom cijele godine bio noću izložen svjetlosti živine ulične lampe (Prilagođeno iz Roman i sur. 2002).

Tabela 1. Godišnje vrijednosti kvantitativne evaluacije fiziološkog stanja fotosistema II (“efikasnost fotosinteze”) pokazuju sličnost između neosvijetljenog dijela magnolije bliže lampi (magnolija a) i magnolije u mraku (magnolija b), dok se vrijednost dobivena iz osvjetljenog dijela magnolije a značajno razlikuje. Osvjetljeni listovi pokazuju smanjenu efikasnost fotosinteze (Preuzeto i prilagođeno iz Roman i sur. 2000).

Biljka	Godišnja srednja vrijednost	Standardna devijacija
Magnolija a	0,7251	0,0062
Magnolija b (kontola)	0,7182	0,0053
Osvjetljena magnolija a	0,6006	0,0133

Iz godišnjih srednjih vrijednosti efikasnosti fotosinteze (Tab. 1.) može se vidjeti da su vrijednosti neosvijetljenog dijela magnolije bliže lampi i magnolije u mraku slične, dok postoji značajna razlika u vrijednostima između osvjetljenog i neosvijetljenog dijela istog stabla magnolije. Rezultati pokazuju da prisutnost umjetne rasvjete noću dovodi do smanjenja efikasnosti fotosinteze. Moguće je da godišnja izloženost kontinuiranom izvoru svjetla kao posljedicu ima smanjenu produkciju klorofila u tim listovima. S druge strane, može se

pretpostaviti da umjetna rasvjeta noću ometa normalan transfer svjetlosne energije iz antena u reakcijski centar fotosistema II, jer se kod mjerenja fluorescencije listova izloženih svjetlu primijetila veća disperzija energije u obliku fluoresciranja a smanjen sam transfer energije u reakcijski centar. Ipak, kako nisu vršena prava biokemijska istraživanja ostaju samo pretpostavke kako bi izloženost umjetnoj rasvjeti noću moglo utjecati na biljke poput ispitivanih magnolija (Roman i sur. 2000).

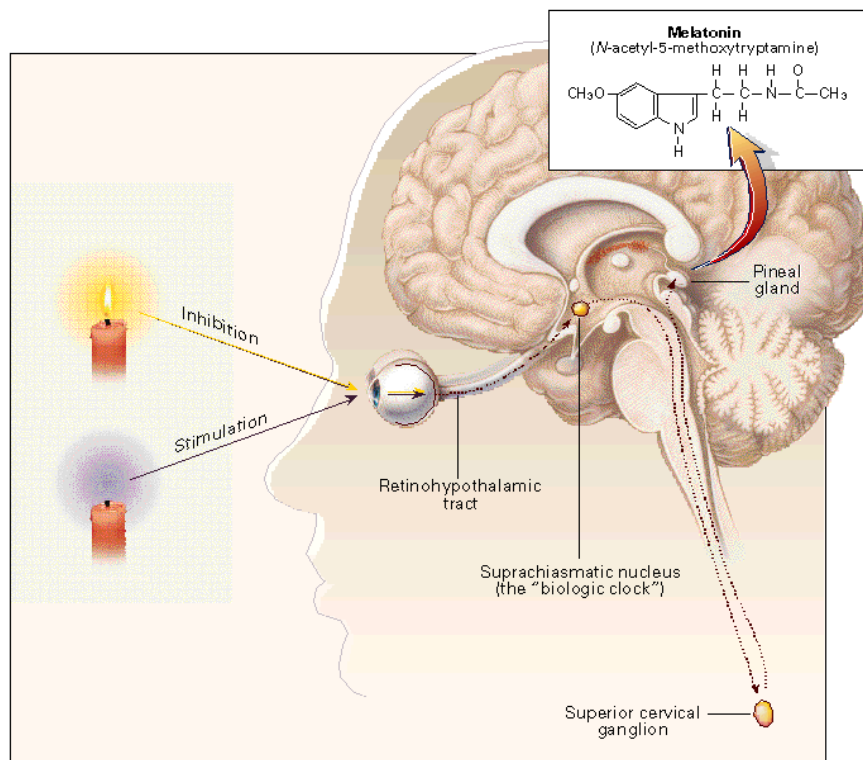
4. UTJECAJ NA ČOVJEKA

Ljudi su diurnalna vrsta, ciklus dana i noći je od iznimne važnosti za naš organizam. Nedostatak normalnog ciklusa, normalnog bioritma i perioda mraka u roku 24h dovodi do cirkadijanih i hormonalnih poremećaja koji u konačnici dovode do raznih zdravstvenih problema. Nesanica, povećane glavobolje, osjećaj fizičkog umora, stres i povećana anksioznost samo su neki od problema koji se u posljednje vrijeme povezuju sa izloženosti svjetlu za vrijeme noći. Rad u noćnim smjenama i općenito rad koji zahtjeva poremećaj cirkadijalnih ritmova je „Međunarodna agencija za istraživanje karcinoma“ (*World Health Organization's International Agency for Research on Cancer*) od 2007. dodala na popis mogućih karcinogena (http://en.wikipedia.org/wiki/Light_pollution). Ipak, istraživanja sa svjetlosnim onečišćenjem kao glavnim uzročnikom različitih bolesti su tek krenula i još nije poznat cijeli spektar posljedica na ljudsko zdravlje.

4.1. KORELACIJA MANJKA MELATONINA U KRVI I POVEĆANOG RIZIKA OBOLJEVANJA OD RAKA DOJKE KOD ŽENA IZLOŽENIH SVJETLU ZA VRIJEME NOĆI

Melatonin, poznat i kao „hormon spavanja“ je hormon koji primarno služi u regulaciji cirkadijskih ritmova kod različitih vrsta životinja. Biološki utjecaj melatonina na organizam ide ili preko melatoninskih receptora, što dovodi do kaskade biokemijskih procesa, ili jednostavno kao molekula koja djeluje kao jaki antioksidans, naročito za zaštitu mitohondrijske i jezgrine DNA. Melatonin se nepovratno veže za slobodne radikale poput OH, O₂- i NO. Jednom oksidiran ne može se vratiti u prvobitno stanje, nego zajedno sa radikalom kreće u samorazgradnju. Zbog toga se mora cijelo vrijeme nanovo proizvoditi u organizmu. Melatonin se normalno proizvodi u koži, koštanoj srži i limfocitima, ali u ovim slučajevima postoji samo kao molekula antioksidansa u stanici a ne kao hormon. Melatonin kao hormon, tj. molekula koja se slobodno kreće od mjesta sinteze do receptora stanica na koje mora djelovati, sintetizira se u epifizi u mozgu. Bitno je naglasiti kako se taj hormon sintetizira u mraku, maksimum produkcije kod zdrave odrasle osobe je između 2 i 4 sata ujutro, za vrijeme intenzivnog sna. Sinteza je pod direktnom kontrolom informacija koje prima vidni osjetilni sustav. Ako se preko očiju dobiva slika, naročito ako spektar koji upada na mrežnicu sadrži plavu svjetlost, informacija se prenosi preko suprahiazmičke jezgre („biološki sat“) i gornjeg

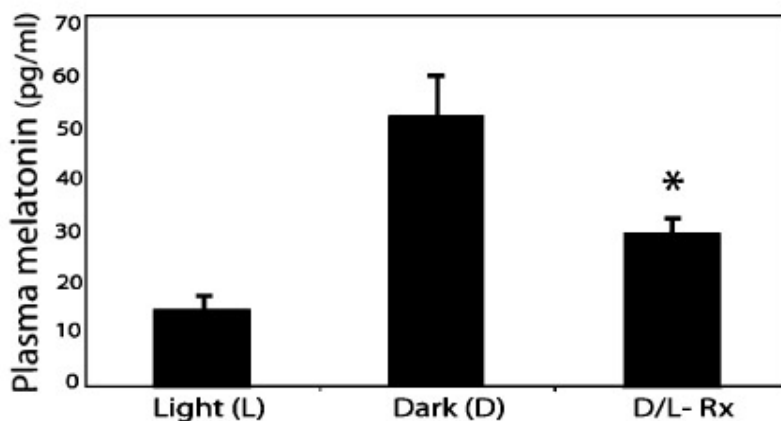
cervikalnog (vratnog) ganglija do epifize (Sl. 18.), u kojoj se nalaze posebne fotosenzitivne stanice, treća vrsta uz štapiće i čunjiće, i te stanice blokiraju sintezu melatonina u okolnim neurosekrecijskim stanicama. Kod nedostatka melatonina javljaju se prije navedeni simptomi izloženosti svjetlu za vrijeme noći. Naravno, ni višak melatonina ne djeluje dobro na normalan metabolizam organizma, dolazi do tzv. „zimске depresije“, veoma česte u Skandinavskim zemljama budući da tokom zime mogu imati noć u trajanju 20 sati na dan ili više. Višak melatonina čini osobu izrazito depresivnom, pa da bi se riješilo tog viška osoba ide na „terapije svjetlom“ („*light therapy*“) kako bi se melatonin prestao proizvoditi i njegova razina u krvi vratila na normalnu (<http://en.wikipedia.org/wiki/Melatonin>, Španinger 2008).



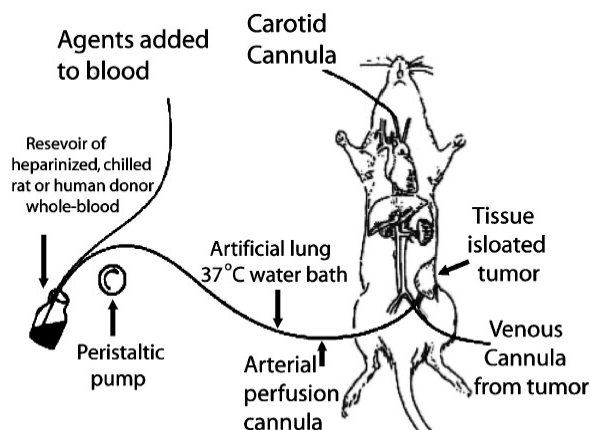
Slika 18. Pojednostavljena shema puta prijenosa svjetlosne informacije iz očiju preko suprahiazmičke jezgre i gornjeg cervikalnog ganglija do epifize. Ovisno o informaciji koja stiže do epifize melatonin se sintetizira (nema vizualnog stimulusa, osoba ima zatvorene oči ili je u mraku) ili je sinteza suprimirana (vizualni stimulus, mrežnica oka prima svjetlost, informacija se prenosi do epifize i koči se sekrecija melatonina)
(Preuzeto sa <http://altmed.creighton.edu/melatonin/whatisit.htm>).

Ozbiljniji zdravstveni problem za kojeg se vezuje nedostatak melatonina je otkrivena korelacija između manjka melatonina u krvi i povećanog rizika obolijevanja od nekog tipa raka, poput raka dojke i raka prostate. U posljednje vrijeme sve se više radi na samoj uključenosti melatonina u držanju određenih vrsta karcinoma pod kontrolom, tj. kako

nedostatak melatonina u krvi utječe na rast određenih vrsta karcinoma. Alarm je pokrenut kada su primijetili da unutar grupe medicinskih sestara sklonije obolijevanju raka dojke bile su one koje su skoro cijelo radno vrijeme provele radeći noćnu smjenu, pretpostavilo se zbog toga što su njihovi cirkadijski ritmovi i normalna proizvodnja melatonina noću bili poremećeni. Još jedan dodatan dokaz koji govori u prilog tomu je smanjen rizik dobivanja raka dojke kod slijepih žena. Kako bi se provjerilo tu hipotezu ispitali su utjecaj krvi siromašne melatoninom i bogate melatoninom na rast ksenografa raka dojke presađenog u laboratorijske štakore. Uzorak venske krvi uzet je iz zdravih, premenopauzalnih volontirajućih žena za vrijeme dana, noći/spavanja ili za vrijeme noći dok su barem sat i pol bile izložene izvoru bijele svjetlosti (Sl. 19.). Uzorci krvi su zatim *in situ* injektirani u ksenografte raka dojke operacijski presađene u laboratorijske štakore (Sl. 20.). Rezultati su pokazali da su nakon dodatka krvi siromašne melatoninom, znači uzoraka krvi uzetih za vrijeme dana i za vrijeme izlaganja svjetlosti noću, tumori imali brzu proliferaciju i rast. Sa druge strane, nakon dodatka krvi bogate melatoninom, tumori su bili suprimirani ili su pokazali samo izrazito slab rast. Time se pokazalo da melatonin u krvi suprimira rast već postojećeg raka dojke, dok čak i kratkotrajno izlaganje svjetlu za vrijeme sinteze melatonina u organizmu noću može smanjiti sintezu do te mjere da postaje opasno jer rak može onda brzo proliferirati (Blask, Brainard, Dauchy, Hanifin i sur. 2005).



Slika 19. Udio melatonina u uzorcima krvne plazme 9 od 12 zdravih premenopauzalnih žena uzetih za vrijeme dana (L), noći (D) i za nakon izlaganja svjetlu za vrijeme noći (D/L-Rx). Vidi se značajno manji udio melatonina u krvi žena koje su bile izložene svjetlu tokom noći (Preuzeto iz Blask, Brainard, Dauchy, Hanifin i sur. 2005).



Slika 20. Shematski prikaz *in situ* injeckiranja venske krvi različitih udjela melatonina u ksenografte raka dojke presadene u štakore (Preuzeto iz Blask, Brainard, Dauchy, Hanifin i sur. 2005).

Ova istraživanja i hipoteze su primarno vršena na uzorku žena koje su bile izložene svjetlu u zatvorenom prostoru za vrijeme noći. Ali postoje istraživanja koja pokazuju da žene koje žive na lokacijama gdje je noću vani toliko svjetla da se može bez problema čitati knjiga su pod povećanim rizikom obolijevanja od raka dojke. Nije bitno da li je izvor svjetla kojim se izloženo tokom noći nalazi u zatvorenom prozoru ili ulazi u spavaću sobu kroz prozor, ako u sebi sadrži plavu svjetlost dovesti će do prekida sinteze melatonina i ostalih negativnih posljedica vezanih uz to (Chepesiuk 2009, Španinger 2008).

4.2. SPAVANJE SA OTVORENIM SVJETLOM I MOGUĆI RAZVOJ KRATKOVIDNOSTI KOD DJECE

Prije desetak godina, na istraživanju u kojemu je određena pojavnost kratkovidnosti kod djece u dobi od 2 do 16 godina ovisno o tomu da li su noću spavali u mraku, sa malo svjetla u sobi ili sa otvorenim svjetlom, dobili su povećan broj kratkovidne djece kod grupe koja je spavala barem do svoje 2. godine sa svijetlom u sobi (Quinn i sur. 1999). Ranije vršeni pokusi na životinjama u laboratorijskim uvjetima pokazali su da ciklusi svjetla tokom dana mogu imati utjecaja na razvoj kratkovidnosti. Ali kasnija istraživanja razvoja kratkovidnosti kod djece školske dobi u ovisnosti o izlaganju svjetlu noću nisu potvrdila hipotezu koju su zadali Quinn i suradnici. U tim istraživanjima nije bilo ni pozitivnog ni negativnog utjecaja izloženosti svjetlu noću na razvoj kratkovidnosti, te je statistički podjednak broj djece koje spavaju u mraku i koji su barem do svoje 2. godine spavali s otvorenim svjetlom bilo kratkovidno (Zadnik i sur. 2000, Sawa i sur. 2001).

5. ZAKLJUČAK

Naš uvid u ukupan doseg ekoloških posljedica umjetne rasvjete noću još je uvijek ograničen. Hipoteze postavljene na temelju istraživanja vršenih na populacijama u prirodi potrebno je potkrijepiti dodatnim pokusima u laboratoriju, gdje se mogu kontrolirati svi uvjeti a mijenjati samo količina svjetla. Uspješna istraživanja iziskuju suradnju ekologa, fizičara i inženjera kako bi se poboljšalo mjerenje intenziteta umjetne rasvjete i svih ekološki relevantnih parametara. Naročito važan naglasak trebalo bi se postaviti na lokacije poput tropskih i vodenih ekosistema zato što su to ekosistemi sa izrazito uskim ekološkim nišama što se tiče ciklusa dana i noći, pa bilo kakvo produljenje dana i skraćivanje noći bi moglo imati izrazito negativne posljedice na cirkadijske ritmove različitih organizama. Ako se, za sada otkriveni, negativni trendovi nastave, utjecaj svjetlosnog onečišćenja mogao bi se proširiti na druge lokacije i pojačati u intenzitetu. Longcore i Rich (2004) smatraju da ekolozi još uvijek zanemaruju utjecaj umjetne rasvjete noću kao potencijalnog zagađivača, dok konzervatori zanemaruju potrebu za mrakom u rezervatima, naročito kod dizajniranja i osvjetljavanja prometnica.

Pravi je problem taj što kod istraživanja treba pretpostaviti koje negativne posljedice nastaju zbog povećane izloženosti organizma svjetlu za vrijeme noći, a ne nekom drugom vrstom onečišćenja. Još jedan veliki problem je kako otkriti koje bi bile kumulativne posljedice loše postavljene umjetne noćne rasvjete sa gradnjom cesta, urbanim rastom, pojačanim prometom, uvođenjem alohtonih vrsta i sl. Jedini način na koji bi se to moglo pratiti je tako da se kod monitoringa nekog ekosistema u protokol uvede i mjerenje umjetnog osvjetljenja lokaliteta noću. Moguće je da buduća istraživanja pokažu kako je svjetlosno onečišćenje bitan, neovisan i kumulativan faktor sa negativnim posljedicama unutar ekosistema, kao i veliki izazov njihovom očuvanju.

U Hrvatskoj se od osnivanja Hrvatske udruge za zaštitu noći 2001. intenzivno radi na upoznavanju lokalnog stanovništva sa svim mogućim negativnim posljedicama te kako se mogu priključiti i pomoći. Ipak, veći dio posla s kojim se udruga bavi je na području astronomije (<http://cdsa.blog.hr/>). Prava biološka istraživanja nisu vršena, van za nekoliko manjih neobjavljenih opažanja najezde mrava nakon postavljanja nove rasvjete na području Splita, pticama koje su stradavale od sudara u svjetionike i osvjetljene fasade te povremenih grupa tokom ljetnih škola znanosti u Višnjanu na kojima su srednjoškolci proučavali privlačenje različitih kukaca i šišmiša na ulične lampe različitih spektara (Petrovčić i

Kosanović 2008, <http://www.astro.hr/s3/2002/LP.php>, <http://www.astro.hr/s3/2004/>). Budući da je svjetlosno onečišćenje u Hrvatskoj postalo problem u posljednjih desetak godina moguća su istraživanja negativnog utjecaja na ekosisteme koji su tek od nedavno izloženi umjetnoj rasvjeti tokom noći. Za takva istraživanja su naročito pogodne udaljene lokacije, zaštićene od ostalih onečišćenja poput smoga, krutog otpada i buke prometnica. Jedna takva lokacija je i park prirode Lastovo kod kojeg je ove godine primijećen lagani porast sjaja neba, što može kroz duži vremenski period imati ozbiljne posljedice na ekološku zajednicu otoka. Ipak, kako bi se iz pretpostavka dobilo potpunu sliku utjecaja svjetlosnog onečišćenja na ekološke zajednice u Hrvatskoj potrebno je u cijelu priču uključiti i biološka i ekološka istraživanja.

6. PRILOZI

Na CD-u sa *.doc dokumentom samog seminarskog rada u datoteci Prilozi nalaze se još:

- 9-11-tribute-in-light.mov → film koji pokazuje jata ptica zarobljenih u stupovima svjetla dok je instalacija *Tribute in Light* bila u funkciji (film se može pogledati i na <http://www.studiowolkowicz.com/projects/birds-ear-view--tribute-in-light/>)
- H-convolvuli na steni.avi → film koji pokazuje veliki broj noćnih leptira koje je za vrijeme noći privukla intenzivna rasvjeta crkve te su u zoru zaboravili pronaći sklonište i ostali na bijelom zidu, lako vidljivi potencijalnim predatorima (Trilar 2008)
- Hitting the Streets with FLAP.avi → film kojeg je izradila Kanadska udruga *Fatal Light Awareness Program* sa ciljem da ljudima pokaže negativan utjecaj loše osvijetljenih zgrada na migraciju ptica te da ih upoznaju sa svakodnevnim poslom kojeg vrše njihovi volonteri (film se može pogledati i na <http://www.youtube.com/watch?v=qtb8WcZBT5I>)
- Light_pollution_vsa.ppt → PowerPoint prezentacija „*From astronomical to ecological light pollution: What are the real extents of losing the night*“ u kojoj su određena poglavlja ovog seminara prezentirana na Višnjanskoj školi astronomije 2009. (*Višnja School of Astronomy*) sa ciljem upoznavanja srednjoškolaca sa biološkim posljedicama svjetlosnog onečišćenja

7. LITERATURA

- Bender D.J., Bayne E.M., Brigham R.M., 1996. Lunar condition influences coyote (*Canis latrans*) howling. *American Midland Naturalist* **136**, 413-417.
- Blask D.E., Brainard G.C, Dauchy R.T, Hanifin J.P., Davidson L.K., Krause J.A., Sauer, L.A, Rivera-Bermudez M.A., Dubocovich M.L., Jasser S.A, Lynch D.T, Rollag M.D, Zalatan F., 2005. Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast cancer xenografts in nude rats. *Cancer Research* **65**, 11174-11184
- Boldogh S., Dobrosi D., Samu P. 2007. The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservational consequences. *Acta Chiropterologica* **9**, 527-534
- Bonaca A, Korlević P., 2003. Analiza distribucije i hranidbenih navika pauka *Latrodectus tredecimguttatus* na lokacijama centralne Istre. Samostalni istraživački rad za Državni susret i natjecanje mladih biologa 2003.
- Chepesiuk R., 2009. Missing the Dark: Health effects of light pollution. *Environmental Health Perspectives* **117**, A20-A27
- Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.D., 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Mon Not R Astron Soc* **328**, 689-707.
- Edwards D.G.W., El-Kassaby Y.A., 1996. The effect of stratification and artificial light on the germination of mountain hemlock seeds. *Seed Science and Technology* **24**, 225-235.
- Evans Ogden L. J., 1996. Collision Course: The hazards of lighted structures and windows to migrating birds. Wildlife Damage Management, Internet Center for Fatal Light Awareness Program (FLAP), DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln. (download link: <http://digitalcommons.unl.edu/flap/3/>)
- Frank K.D., 1988. Impact of outdoor lighting on moths: an assessment. *Journal of The Lepidopterists' Society* **42**, 63-93.
- Klinkenberg V., Richardson J., 2008. Kraj noći. *National Geographic Hrvatska* **61**, 94-113.
- Longcore T., Rich C., 2004. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* **2**, 191-198.
- Milius S., 1999. Nocturnal spider favors artificial lights. *Science News* **155**, 407.
- Moore M.V., Pierce A.M., Walsh H.M., Kvalvik S.K., Lim J.D., 2000. Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *Verh Internat Verein Limnol* **27**, 779-782.
- Petrović G., Kosanović S., 2008. Hrvatsko nebo. *National Geographic Hrvatska* **61**, 114-119.

- Peters A., Verhoeven K.J.F., 1994. Impact of artificial lighting on the seaward orientation of hatchling loggerhead turtles. *Journal of Herpetology* **28**, 112-114.
- Quinn G. E., Shin C.H., Maguire M. G., Stone R. A., 1999. Myopia and ambient lighting at night. *Nature* **399**, 113-114
- Rand A.S., Bridarolli M.E., Dries L., Ryan M.J., 1997. Light levels influence female choice in Tungara frogs: predation risk assessment? *Copeia* **1997**, 447-450.
- Roman A., Cinzano P., Giacometti G. M., 2000. Light pollution and possible effects on higher plants. *Mem. Società Astronomica Italiana* **71**, 59-69.
- Salmon M., Tolbert M.G. et al., 1995. Behavior of loggerhead sea turtles on an urban beach. II. Hatchling orientation. *Journal of Herpetology* **29**, 568-576.
- Sawa S., Wub H., Honga C., Chuac W., Chiaa K., Tanc D. 2001. Myopia and night lighting in children in Singapore. *British Journal of Ophthalmology* **85**, 527-528.
- Svensson A. M., Rydell J., 1998. Mercury vapour lamps interfere with the bat defence of tympanate moths (*Operophtera* spp.; Geometridae). *Animal Behaviour* **55**, 223-226.
- Španinger K., 2008. Svjetlosno onečišćenje i rak. PowerPoint prezentacija održana 25. siječnja 2008. u Prirodoslovnom muzeju grada Rijeke.
- Taiz L., Zeiger E.. 2002. Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts. pp. 375-402., 572-580.
- Trilar T., 2008. Vpliv svetlobnega onesnaževanja na biotsko pestrost. PowerPoint prezentacija održana 25. siječnja 2008. u Prirodoslovnom muzeju grada Rijeke.
- Zadnik K, Jones L.A., Irvin B.C., Kleinstein R.N., Manny R.E., Shin J.A., Mutti D.O. 2000. Vision: Myopia and ambient night-time lighting. *Nature* **404**, 143-144.

<http://altmed.creighton.edu/melatonin/whatisit.htm>

http://www.astro.hr/lp_cdsa/

<http://www.astro.hr/s3/2002/LP.php>

<http://www.astro.hr/s3/2004/>

<http://www.britastro.org/dark-skies/wildlife.html>

<http://calgary.rasc.ca/lp/plants.html>

<http://cdsa.blog.hr/>

<http://www.darksky.org/>

<http://www.ecologyofthenight.org/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Light_pollution

<http://en.wikipedia.org/wiki/Melatonin>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Scotobiology>
<http://www.flap.org/>
<http://www.flickr.com/photos/11198446@N03/2163500347/>
<http://www.lamptech.co.uk/Documents/SO2%20Spectral.htm>
<http://www.lightpollution.it/dmsp/artbri.html>
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightpollution/lightTrespass.asp>
<http://ngm.nationalgeographic.com/2008/11/light-pollution/richardson-photography>
<http://www.panoramio.com/photo/6654054>
http://plantphys.info/plant_physiology/phytochrome.shtml
<http://www.studiowolkowicz.com/projects/birds-ear-view--tribute-in-light/>
<http://www.temnonebo.org/>
<http://www.youtube.com/watch?v=qtb8WcZBT5I>

8. SAŽETAK

Svjetlosno onečišćenje je pojam koji se koristi kako bi se opisalo negativne posljedice prekomjerne, neadekvatne i nametljive umjetne noćne rasvjete koja u konačnici dovodi do gubitka mraka i noći kao važnog biološkog čimbenika. Razlikujemo „astronomsko svjetlosno onečišćenje“ koje onemogućuje astronomska opažanja zbog porasta sjaja neba čime se smanjuje kontrast sa objektima opažanja (zvijezde, asteroidi i sl.) te „ekološko svjetlosno onečišćenje“ koje mijenja ili interferira sa prirodnom noćnom svjetlosti.

Preko ovog seminara dan je kratak pregled do sada otkrivenih negativnih posljedica svjetlosnog onečišćenja, sa naglaskom na taksonomske skupine poput morskih kornjača, ptica selica, noćnih leptira i šišmiša, kod kojih su primijećene najteže posljedice. Posebno su obrađene negativne posljedice na biljke, kod kojih je rađeno vrlo malo konkretnih istraživanja, te negativne posljedice na čovjeka, zbog toga što je nedavno otkriven cijeli niz zdravstvenih problema povezanih uz izlaganje svjetlu za vrijeme noći, od kojih je najteži povećan rizik od raka dojke. Iako se na prvi pogled čini kako je posljednjih godina napravljeno puno posla, veći dio ipak ostaje neistražen, a pravi omjer problema počeo se tek nedavno naslućivati.

9. SUMMARY

Light pollution is a term used to describe the negative consequences of excessive, scattered and intrusive artificial night light, which ultimately leads to the loss of darkness and the night as an important biological factor. We distinguish “astronomical light pollution” which prevents astronomical observations because of increased night sky brightness that lowers the contrast with the observed objects (stars, asteroids and such), and “ecological light pollution” which alters or interferes with natural light regimes during the night.

The aim of this seminar is to give a short review of the negative consequences of light pollution that were discovered so far, with emphasis on taxa such as sea turtles, migrating birds, moths and bats, because they showed the most severe side effects. The negative consequences on plants and humans were described separately, mostly because there was little research on plants, and because the full list of health problems associated with exposure to light during nighttime was just recently discovered, the most severe being the increased risk of breast cancer development. Even though it may seem that a lot of work has been done these previous years, there is a lot that still needs to be researched, and so far we have only gotten a glimpse of the real extent of the problem.