

Psihološki aspekti temperature boje svjetlosti

Željko Jeremić i Dragutin Ivanec

Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet, Odsjek za psihologiju, Zagreb, Hrvatska

Sažetak

Svjetlost kao osnovni element života na Zemlji odlikuje se višestrukim fizikalnim obilježjima koja imaju važan učinak i na ljudsku percepciju, zdravlje i svakodnevno funkcioniranje. Fizikalna svojstva svjetlosti poput valne duljine i intenziteta temeljne su značajke koje određuju njezinu interakciju s vidnim sustavom. Dodatno, temperatura boje svjetlosti, iako nije osnovno svojstvo u psihofiziologiji percepcije, relevantno je fizikalno obilježje koje se često koristi za opisivanje kvalitativnih aspekata svjetlosnih izvora, posebice onih umjetnih. Cilj je ovoga rada prikazati dosadašnje znanstvene spoznaje o učincima temperature boje svjetlosti na ljudsko ponašanje, s naglaskom na njezin učinak na percepciju, biološke ritmove i kognitivne funkcije. Kroz analizu recentnih istraživanja i tehnoloških inovacija u području rasvjete cilj je doprinijeti boljemu razumijevanju toga kako prilagodba primarno umjetnih svjetlosnih uvjeta može unaprijediti kvalitetu svakodnevnoga života i ljudskoga funkcioniranja. Riječ je važnoj temi jer su u suvremenome svijetu umjetni izvori svjetlosti poput LED tehnologije uvelike proširili mogućnosti manipulacije svjetlosnim spektrima, čime je omogućena prilagodba svjetlosnih uvjeta raznolikim ljudskim potrebama. U radu se posebna pažnja posvećuje ulozi svjetlosti plavoga spektra čiji je učinak na biološke procese bitan jer sudjeluje u regulaciji cirkadijurnoga ritma te može posredno utjecati na određene aspekte kognitivnoga funkcioniranja kao što su pažnja i radno pamćenje. Temperatura boje svjetlosti, koncept koji opisuje tonalitet svjetla od toplih crvenkastih do hladnih plavkastih nijansi, postaje sve važniji čimbenik u ljudskoj svakodnevici, naročito u kontekstu optimizacije rasvjete za različite aktivnosti. Budućnost rasvjete leži u razvoju dinamičkih rasvjetnih sustava koji omogućuju personalizaciju svjetlosnih uvjeta u realnome vremenu, otvarajući nove perspektive u unaprjeđenju kvalitete života.

Ključne riječi: temperatura boje svjetlosti, LED rasvjeta, vidna percepcija, kognicija, cirkadijurni ritmovi

Željko Jeremić  0009-0000-7703-0257

Dragutin Ivanec  0000-0002-3051-3208

✉ Željko Jeremić, Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet, Odsjek za psihologiju, Ivana Lučića 3, 10000 Zagreb, Hrvatska. E-adresa: zjeremic@m.ffzg.hr; zeljko.jeremic@gmail.com

Uvod

Vidna percepcija dominantni je oblik ljudske percepcije. Takvo shvaćanje može se naći na mnogim mjestima u literaturi, od udžbenika iz područja percepcije i kognicije (Sekuler i Blake, 1990; Sternberg i Sternberg, 2017; Stokes i Biggs, 2014) pa do istraživačkih radova čiji su rezultati na to ukazivali. Primjerice, ako su dva perceptivna sustava u informacijskoj kontradikciji (npr. o veličini predmeta), vid je taj koji će postati dominantniji, odnosno, odluka o značajkama veličine temeljit će se dominantno na vidnim informacijama (Power, 1981). Slično je pokazano i za odnos zvuka i vida (Hirst i sur., 2018). Iako je vrlo teško procijeniti relativnu informacijsku važnost osjetnoperceptivnih sustava i izravno ih uspoređivati na jednoj kvantitativnoj dimenziji (primjerice, postoje i neslaganja s dominantnim gledištem o najvećoj važnosti vida, npr. Huttmacher, 2019), barem se fenomenološki i iskustveno ljudima čini da je vidna percepcija dominantna. To pokazuju i rezultati istraživanja u kojemu su ljudi navodili da im je vid najvažniji osjetnoperceptivni sustav (Schifferstein, 2006). Takve procjene ne čude jer je u prilagodbi i aktivnostima u svakodnevnome životu vidna percepcija stalno prisutna, od profesionalnih pa do raznovrsnih svakodnevnih aktivnosti. Često su informacije iz ostalih osjetnih modaliteta tek početni korak za vidno usmjeravanje pažnje na izvor podraživanja u tim drugim modalitetima. To implicira da u najvećemu broju slučajeva i ostalo podraživanje nakraju bude (i dodatno) obrađeno i vidnim modalitetom (npr. osjetimo li neki neočekivani dodir, svakako ćemo usmjeriti svoj pogled na podraženi dio tijela).

Neki objektivni podaci idu u prilog spomenutoj ideji o najvećoj važnosti vidne percepcije kod ljudi. Istraživanja provedena na primatima (v. Van Essen i sur., 1990) pokazuju da je, relativno gledajući, u odnosu na druge modalitete, neokorteks najviše uključen u procesiranje vidnih informacija. Kako se u radu navodi, oko 54 % neokorteksa majmuna makakija uključeno je u obradu informacija iz vidnoga sustava, dok je u slučaju slušnoga modaliteta ta procjena oko 3 %. Zanimljiva je jedna suvremena procjena „zaposlenosti” vidnoga modaliteta: Borji i Itti (2013) procijenili su da ganglijske stanice s retine u jednoj sekundi mozgu šalju oko 10^8 – 10^9 bita informacija.

Fenomenološki promatrano, vidna je percepcija i iznimno strukturno varijabilna, odnosno, velik broj kako kvantitativnih, tako i kvalitativnih podataka obrađuje se i vrednuje pomoću vida. Oni se mogu pokušati kategorizirati i pobrojiti iako to nije posve jednostavno. Tu je, prije svega, interakcija pojedinca s predmetima iz njegove okoline koje karakteriziraju različiti oblici, svjetline, kontrast, boje, veličina, udaljenost, kretanje, dimenzionalnost. Istovremena kombinacija tih atributa osnova je za pojavu nadređenih procjena (npr. estetskih) koje uključuju emocije, za koje je jasno da su jedan od najjačih motivatora ponašanja. Sve to sugerira vrlo veliku važnost vidne percepcije sa stajališta adaptivne prilagodbe.

Svjetlost i temperatura boje svjetlosti

Podražaj za vid je svjetlost. Ona je složen fizikalni fenomen koji i suvremena fizika opisuje dvojako: kao elektromagnetski val i kao tok čestica koje nazivamo fotonima. Ta je njezina dvostruka priroda ključna za razumijevanje svjetlosti u okviru fizike i kvantnih fenomena (v. Feynman i sur., 2010; Hecht, 2002), no također u kontekstu interakcije svjetlosti s materijom u okolini, a što ima važnu ulogu i u vidnoj percepciji te onda posljedično i u adaptivnome ponašanju živih bića. Ljudski je vidni sustav prilagođen tomu fizikalnom podražaju elektromagnetskoga vala tek djelomično, a taj dio elektromagnetskoga spektra nazivamo vidljivi spektar elektromagnetskoga zračenja. On sačinjava tek mali dio toga zračenja s valnim duljinama između 400 i 700 nanometara (v. Born i Wolf, 1999). No, i takav „ograničen” omogućava nam doživljaj nebrojenih kako kvantitativnih, tako i kvalitativnih varijacija perceptivnih ishoda. Primjerice, broj različitih akromatskih kvaliteta, a onda i varijacija i nijansi boja koje zdravi vidni sustav ljudi može zamijetiti, praktički je neizmjeran. Neke su procjene da postoji oko milijun različitih kromatskih fenomenoloških kvaliteta (v. Goldstein, 2011). Iako je doživljaj nijansi boja primarno posljedica varijacija u temeljnoj fizikalnoj značajci svjetla, tj. valnoj duljini, percepcija je ipak posljedica interakcije više čimbenika, poput znanja i očekivanja, ali i podražajnoga konteksta. Iako doživljaj kromatskih kvaliteta, tj. boja, nije krucijalno važan za opstanak ljudi, kromatske kvalitete vidne percepcije važan su aspekt vidne percepcije kod ljudi. One su i temelj za razumijevanje konstrukta *temperature boje svjetlosti*. Naime, čovjek svjetlost koja se sastoji od svih vidljivih valnih duljina može percipirati kroz nijanse tonova na subjektivnome kontinuumu toplo – hladno, ovisno o tome koje su valne duljine u spektru najzastupljenije. Dominacija kraćih valnih duljina stvara hladne, plavkaste tonove, dok dulje valne duljine daju toplije, crvenkaste nijanse.

Temperatura boje svjetlosti primarno je fizikalni termin, a izražava se u jedinicama temperature (kelvin, K). Na temelju te vrijednosti određuje se i fizikalna dimenzija – je li svjetlost na tome kontinuumu topla ili hladna. Ta se temperatura boje svjetlosti određuje prema termičkoj emisiji crnoga tijela koje se ponaša kao savršen apsorber i emiter elektromagnetskoga zračenja. Toplinska emisija crnoga tijela mijenja se zagrijavanjem, što dovodi do emitiranja različitih spektara elektromagnetskoga zračenja koji odgovaraju percepciji različitih boja svjetlosti (v. Hecht, 2002). Stoga se temperatura boje svjetla i izražava u kelvinima te određuje boju svjetlosti kao toplu ili hladnu. Temperatura idealnoga crnog tijela koje je zagrijano ispod 3000 K rezultira svjetlošću koja ima žuto-crvenkastu nijansu. Razlog je tomu što tada tijelo emitira svjetlost koja sadrži dominantno dulje valne duljine iz spektra crvenih tonova. Viša temperatura crnoga tijela (iznad 5000 K) emitira dominantno svjetlost iz plavičastoga spektra (kraće valne duljine).

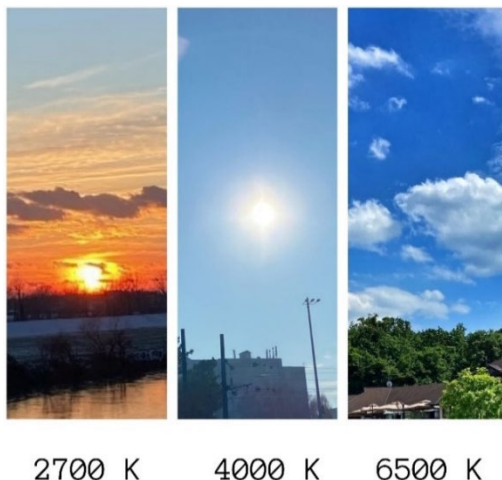
U ovome je kontekstu važno uočiti razliku subjektivnoga doživljaja „topline” svjetlosti i fizikalnoga označavanja temperature boje svjetlosti. Ono što ljudi obično

verbalno nazivaju „hladna svjetlost” (plavičasti spektar) zapravo označava svjetlost s fizikalnoga gledišta više temperature boje, dok se „topla svjetlost” odnosi na svjetlost s nižom temperaturom boje (žućkasta svjetlost). Ta terminološka razlika može izazvati konfuziju jer se u svakodnevnoj komunikaciji rijetko koristimo fizikalnim jedinicama, a boju svjetlosti opisujemo prema subjektivnoj percepciji, pri čemu tonove žućkaste nijanse obično doživljavamo kao „toplije”.

U prirodnome okruženju temperatura boje svjetlosti može jako varirati tijekom dana, naročito za vrijeme vedroga dana. U podne, kada Sunčevo svjetlo prolazi kroz tanji sloj atmosfere, svjetlost zadržava izvorne hladne tonove i temperaturu boje oko 5800 K (v. Bohren i Clothiaux, 2006; Liou, 2002). Takva plavičasta (hladna) svjetlost dominira tijekom dana zbog intenzivnoga raspršenja kraćih valnih duljina, što objašnjava pojavu plavoga neba (Petty, 2006). Tijekom izlaska i zalaska Sunca svjetlost prolazi kroz deblji sloj atmosfere, što pojačava raspršenje kraćih valnih duljina poput plave i ljubičaste, dok dominiraju duže valne duljine poput crvene i narančaste, stvarajući perceptivno toplije tonove, ali fizikalno je to hladnija svjetlost (za ilustraciju v. Sliku 1.).

Slika 1.

Ilustracija promjene temperature boje dnevne svjetlosti tijekom dana



Naš doživljaj temperature boje svjetlosti ne možemo posve odvojiti od količine, tj. jačine svjetlosti. Naime, tijekom (naročito vedroga) dana, uz već spomenutu temperaturu, varira i osvijetljenost na Zemlji. Ona svoj maksimum doseže u podne, s vrijednostima do 100 000 luksa (u tropskim uvjetima), dok oblačno vrijeme može smanjiti jačinu na oko 20 000 luksa. U tome važnu ulogu ima i geografska širina. Područja blizu ekvatora zbog izravnijega pada Sunčevih zraka doživljavaju i jače Sunčevo zračenje i više temperature boje, dok regije bliže polovima s nižim kutovima Sunčeve visine imaju dulje sumračne periode, pa posljedično i smanjenu

izravnu Sunčevu svjetlost. Veća putanja kroz atmosferu u polarnim regijama povećava raspršenje svjetlosti, smanjujući jačinu i dostupnost izravnoga osvjetljenja, pa su i varijacije u temperaturi boje svjetlosti manje (Duffie i Beckman, 2013; Liou, 2002; v. i Iqbal, 1983).

Temeljni učinak svjetla na životne cikluse

Sve te varijacije, kako u jačini, tako i u spektralnome sastavu svjetla tijekom dana (ali i godine), imaju jasan učinak na samu percepciju fizikalne okoline, ali i na niz drugih aspekata ponašanja i doživljavanja ljudi (i ostaloga živog svijeta). To su, prije svega, cirkadijurne varijacije i ritmovi. Cirkadijurni ritam prirodna je oscilacija bioloških procesa koja traje približno 24 sata, sinkronizirana unutarnjim cirkadijurnim satom koji omogućuje prilagodbu organizma okolišnim promjenama putem *zeitgebera* – poput svjetlosti, temperature i ciklusa hranjenja (v. Dunlap i sur., 2004; Roenneberg i Merrow, 2007).

Cirkadijurni ritmovi ovise i o vanjskoj temperaturi, prehrani, tjelesnoj aktivnosti i društvenim interakcijama, ali najjasnije su povezani s količinom i spektralnim sklopom svjetlosti jer su i svi prethodni čimbenici usko povezani s dnevnim svjetlosnim varijacijama. Primjerice, manja količina svjetlosti kako se primiče noć, u kombinaciji s noćnim nižim temperaturama zraka, potiče uspavljivanje, dok dnevne više razine svjetla, ali i temperature, podržavaju budnost, pomažući usklađivanju ritma s okolišnim uvjetima (Refinetti, 2006). I naučena ponašanja, kao redoviti obroci, ali i tjelesna aktivnost, usklađeni su s prirodnim ciklusima svjetla te tako stabiliziraju metaboličke procese i prilagođavaju biološke ritmove prirodnim varijacijama svjetlosti (Mistlberger i Skene, 2004; Schroeder i Colwell, 2013). Društveni čimbenici poput rada u smjenama (i npr. *jet laga*) mogu poremetiti ustaljene biološke ritmove. Ritmovi promjena složen su sustav u kojemu svjetlost, tj. njezine značajke djeluju zajedno s drugim faktorima na regulaciju spavanja, metabolizma, odnosno širokoga spektra ponašanja i doživljavanja, pa i općega blagostanja.

No, u suvremenome je društvu naša prilagodba dnevnim varijacijama svjetla sve manje izražena jer moderan način života više nije tako jasno povezan s prirodnim promjenama između dana i noći kao prije stotinjak ili više godina. Primarni je uzrok takvih promjena tehnološki napredak koji se može povezati s umjetnim izvorima svjetla koji su omogućili da pomanjkanje prirodnoga svjetla i dolazak noći više nisu prepreka za mnoge aktivnosti.

Umjetni izvori svjetlosti u oponašanju prirodnoga svjetlosnog okruženja

Svjetlosni se izvori dijele na prirodne i umjetne, gdje prirodni izvori poput Sunca, munja i bioluminiscentnih organizama nastaju prirodnim procesima, a ključni su za život na Zemlji. S druge strane, umjetna rasvjeta odražava evoluciju ljudskih tehnologija i potreba. Još od prapovijesne vatre do maslinova ulja i voska u starim

civilizacijama te svijeća i uljanica u srednjemu vijeku možemo zaključiti da je svjetlost (prirodnih, ali i umjetnih izvora) oblikovala društveni i kulturni život. Poboljšanje umjetnih izvora svjetla znatno je napredovao u 19. stoljeću razvojem plinskih lampi i sigurnosnih svjetiljki, a žarulja sa žarnom niti Thomasa Edisona revolucionirala je osvjetljenje domova i gradova (Davy, 1816; Freeberg, 2013; Hausman i sur., 2008).

U dvadesetome se stoljeću dogodio tehnološki pomak prema fluorescentnim i halogenim rasvjetnim tijelima, a LED tehnologija u drugoj polovici stoljeća donijela je dugotrajniju i energetski učinkovitiju rasvjetu (Pimputkar i sur., 2009). Osim energetske uštede i smanjenja emisija CO₂, nove tehnologije izvora svjetlosti mogu smanjiti svjetlosno zagađenje zahvaljujući boljoj usmjerenosti svjetlosnih snopova, što je posebno važno u urbanim područjima (Kyba i sur., 2014). Treba istaknuti da današnja LED rasvjeta omogućuje prilagodbu kako jačine, tako i temperature boje svjetlosti, pružajući fleksibilnost za stvaranje različitih ambijenata, a što je umjetnu rasvjetu učinilo prilagodljivom kako za funkcionalne, tako i za estetske potrebe širokoga raspona ljudskoga ponašanja i doživljavanja (Tsao i sur., 2014).

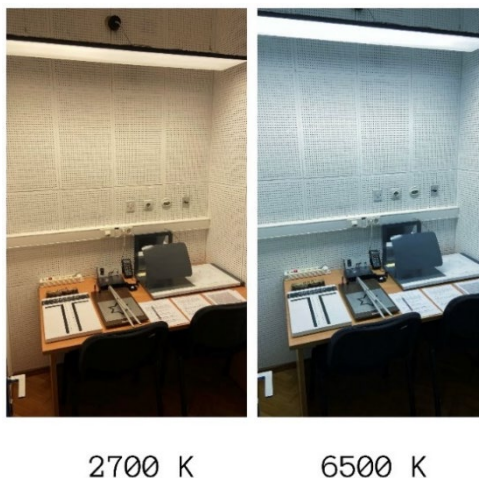
Rasvjeta ima relativno važnu ulogu u oblikovanju prostora i njegovu utjecaju na ljudsko iskustvo, a ta je važnost bila prepoznata još u antici. Hipokrat je pisao o optimalnome korištenju svjetlosti u medicinskim prostorima, dok je Vitruvije u svojem djelu *De architectura* istaknuo važnost strateškoga pozicioniranja prozora radi prirodnoga osvjetljenja (v. Gherri, 2015). Renesansni umjetnici poput Leonarda da Vincija istraživali su svjetlost i sjenu kao ključne alate za oblikovanje prostora i stvaranje trodimenzionalnih efekata, čime su bitno unaprijedili estetiku i realizam umjetničkih djela (Chen, 2023).

U suvremenome društvu umjetni izvori svjetlosti svakodnevnica su najvećega dijela svjetskoga stanovništva. Obilježja rasvjete, odnosno sve varijacije koje je tehnološki napredak omogućio, mogu imati značajan učinak na raznorodne aspekte doživljavanja i ponašanja ljudi. Topla bijela svjetlost s temperaturom boje svjetlosti oko 2700 K pridonosi osjećaju ugone i opuštenosti, dok hladnija svjetlost (oko 5700 K) potiče budnost i kognitivnu aktivaciju. Empirijske studije potvrđuju te učinke u uredskim okruženjima. Manav (2007) je pokazao da su ispitanici svjetlost temperature boje od 2700 K percipirali kao pogodniju za relaksaciju, dok je svjetlost od 4000 K ocijenjena kao ugodnija i prostorno prikladnija za uredski rad, stvarajući dojam komfora i prostranosti. Slično tomu, Lee i suradnici (2014) utvrdili su da vidna percepcija korisnika varira ovisno o temperaturi boje svjetlosti i razini osvjetljenosti, pri čemu je svjetlost srednje vrijednosti (oko 4000 K) pružila optimalan balans za uredske zadatke. Zhu i suradnici (2019) otkrili su da hladnija svjetlost (5700 K) tijekom dana može poboljšati dugoročno pamćenje i budnost kod zdravih odraslih osoba. No, odnosi nisu uvijek posve jednostavni jer hladnija svjetlost može izazvati nelagodu ili mentalno naprezanje u uvjetima za koje je neprikladna, npr. za vrijeme opuštanja ili prije odlaska na počinak. To naglašava važnost individualizacije svjetlosnih uvjeta za podršku psihološkomu blagostanju korisnika u različitim

uvjetima (Luo i sur., 2023). U tome kontekstu treba naglasiti upravo mogući učinak spektralnih varijacija umjetne svjetlosti. Budući da su suvremeni umjetni izvori rasvjete sposobni uvelike oponašati varijacije prirodnih izvora svjetla (primarno Sunca), učinak takvih manipulacija rasvjetom postao je predmetom znanstvenoga interesa. U novije vrijeme rasvjetna su tijela u velikoj mjeri oblikovana tako da emitiraju hladniju svjetlost, zasićenu plavim dijelom spektra, stoga je osvrt na tu značajku na ovome mjestu posebno relevantan. Hladna bijela svjetlost, s temperaturom boje od 5500 K i više, često se koristi u uredima i školama zbog svojega učinka na budnost i kognitivnu učinkovitost. Burattini i suradnici (2019) proveli su eksperimentalno istraživanje u kojemu su ispitivali utjecaj hladne LED rasvjete na vizualnu budnost. Rezultati su pokazali da izloženost hladnoj bijeloj svjetlosti poboljšava vizualnu budnost, smanjujući prirodni pad budnosti tijekom zadataka u usporedbi s toplom bijelom svjetlošću. Ilustracija načelne razlike u temperaturi boje svjetlosti u zatvorenome prostoru vidljiva je na Slici 2.

Slika 2.

Temperatura boje svjetlosti umjetne rasvjete



Plava svjetlost i njezin biološki utjecaj

Plava svjetlost kao dio vidljivoga spektra svjetlosti s najvišom frekvencijom nosi znatnu energiju koja može imati nezanemariv učinak na ljudski organizam općenito, od općega mentalnog stanja (Viola i sur., 2008) pa do učinkovitosti kognitivnih funkcija (Alkozei i sur., 2016; Charkhabi i sur., 2025). Prema formuli $E = h \times f$ plava svjetlost zbog manje valne duljine, odnosno posljedično više frekvencije prenosi više energije od ostalih boja u spektru. S obzirom na to da je plava svjetlost blizu UV spektra (a koji je potencijalno štetan za organizme), njezin utjecaj na ljudsko zdravlje izaziva sve veću pažnju zbog česte izloženosti umjetnim

izvorima svjetlosti koji zrače u tome spektru. Plava svjetlost, iako unutar vidljivoga spektra, može nositi i potencijalne rizike pa je razumijevanje njezinih učinaka ključno za osiguranje neštetnosti svjetlosnoga okruženja. Primjerice, plava svjetlost upravo zbog većega energetskeg potencijala iz vidljivoga spektra može lakše uzrokovati fotokemijska oštećenja mrežnice iako termalna oštećenja nisu zabilježena (Ham Jr. i sur., 1978). Fotokemijska oštećenja mrežnice nastaju oksidativnim stresom izazvanim svjetlosnom energijom, osobito plavoga spektra, što oštećuje stanice mrežnice, dok su termalna oštećenja mrežnice uzrokovana zagrijavanjem tkiva zbog apsorpcije intenzivne svjetlosne energije, što dovodi do denaturacije proteina mrežnice. Te se negativne učinke plave svjetlosti često naziva i „opasnošću od plave svjetlosti” (van Norren i sur., 2016), a filtriranje plave svjetlosti pokazalo se učinkovitim metodom zaštite mrežnice (Vicente-Tejedor i sur., 2018). Filtriranje se može izvršiti npr. postavljanjem fizičkih filtara ispred zaslona računala kojima se sprječava velik prodor plave svjetlosti prema korisniku, a u novije se vrijeme to čini putem postavki osvjetljenja zaslona. Međutim, Međunarodna komisija za rasvjetu (*Commission Internationale de l'Eclairage*, CIE, 2019) ističe da izloženost plavoj svjetlosti u normalnim uvjetima ne povećava rizik od fotokemijskih oštećenja.

Receptori u oku i svjetlost plavoga spektra

Mrežnica kao unutarnji sloj oka povezan s vidnim živcem ključna je za vidnu percepciju te, osim štapića i čunjića, sadrži i intrinzično fotosenzitivne retinalne ganglijske stanice (engl. *intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells*, ipRGC) koje doprinose vidnim, ali i nefotopičnim funkcijama. Štapići omogućuju vid pri slabome svjetlu bez razlikovanja boja (Kolb, 2003), dok čunjići osiguravaju percepciju boja i oštar vid pri jakome svjetlu, pri čemu su, u skladu s trikromatskom teorijom boja, pojedini od njih osjetljivi na kratke (plave), srednje (zelene) i duge (crvene) valne duljine (Kolb i sur., 2007). No, u mrežnici postoje i ipRGC (ili melanopsinske stanice) koje su prvi put detektirane 1927. godine kada su miševi bez funkcionalnih štapića i čunjića reagirali na promjene svjetlosti sužavanjem zjenica (Keeler, 1927, 1928). Te stanice koje sadrže fotopigment melanopsin najosjetljivije su na plavu svjetlost s vršnom apsorpcijom oko 480 nm (Berson, 2007; Do i Yau, 2010) i, što je važno istaknuti, sudjeluju u regulaciji cirkadijurnih ritmova te prilagodbi zjenica na podražaj svjetlošću (Hattar i sur., 2002). Za razliku od štapića i čunjića, ipRGC reagiraju sporije i kontinuirano signaliziraju prisutnost svjetlosti, što je važno za opću prilagodbu na svjetlost (Berson, 2003). Iako imaju mali udio u ukupnim ganglijskim stanicama mrežnice (a s njima su povezane), njihove funkcije nisu zanemarive (Foster i Hankins, 2007). Istraživanja na ispitanicima bez funkcionalnih štapića i čunjića pokazala su da melanopsinske stanice omogućuju rudimentarni vid i nefotopične učinke svjetlosti, uključujući supresiju melatonina i reakcije zjenica (Zaidi i sur., 2007). Lockley i suradnici (2003) otkrili su da plava svjetlost valne duljine od 460 nm koja selektivno aktivira fotosenzitivne ganglijske stanice retine (ipRGC), s melanopsinom kao glavnim fotopigmentom, suzbija

lučenje melatonina dvostruko više nego zelena svjetlost na 555 nm, koja ponajprije aktivira čunjiće odgovorne za fotopični vid. Istraživanja su također pokazala da pacijenti bez klasičnih fotoreceptora zadržavaju cirkadijurnu sinkronizaciju i odgovore na svjetlost, što potvrđuje ključnu ulogu ganglijskih stanica mrežnice u nefotopičnim vidnim procesima (Zaidi i sur., 2007).

Melatonin, prirodni spoj prisutan u mnogim organizmima, ključan je za regulaciju ciklusa spavanja i budnosti, kao i za mnoge druge fiziološke procese. Otkriće melatonina 1958. godine (Lerner i sur., 1958) ukazalo je na njegovu ulogu u regulaciji cirkadijurnoga ritma te sezonskim promjenama i tjelesnim funkcijama poput kontrole krvnoga tlaka i tjelesne temperature (Altun i Ugur-Altun, 2007). Plava svjetlost, djelujući na melanopsin u fotosenzitivnim ganglijskim stanicama retine (ipRGC), potiče električne signale intergenikulacijskih slojeva prema suprahijazmatskoj jezgri (SCN), glavnome regulatoru cirkadijurnih ritmova, čime svjetlost tijekom dana suprimira proizvodnju melatonina, a tama noću potiče njegovo lučenje (Pevet i Challet, 2011). Tijekom noći povećane razine melatonina snižavaju tjelesnu temperaturu i krvni tlak, pripremajući tijelo za san i podržavajući noćne procese oporavka (Arangino i sur., 1999). Melatonin dodatno jača imunosti sustav i regulira izlučivanje hormona, poput hormona rasta, ključnoga za regeneraciju tijekom dubokoga sna (Blalock i sur., 2007; Carrillo-Vico i sur., 2013). Također osigurava usklađivanje unutarnjih bioloških ritmova s vanjskim ciklusima dana i noći, što je nužno za opću dobrobit organizma (Cajochen i sur., 2003). Plava svjetlost aktivirajući ipRGC posredno utječe na hormonske cikluse, raspoloženje i potencijalno na kognitivne funkcije, naglašavajući složen odnos svjetlosnih podražaja i bioloških ritmova (Foster i sur., 2021).

Zaključno se može reći da se specifična uloga svjetlosti iz plavoga spektra očituje u aktivaciji intrinzično fotosenzitivnih ganglijskih stanica mrežnice (ipRGC) koje prenose informacije do suprahijazmatske jezgre inhibirajući lučenje melatonina i prilagođavajući unutarnji sat dnevno-noćnomu ciklusu (Hattar i sur., 2002). Te su spoznaje postale temelj za promišljanje o dizajnu rasvjetnih sustava u uredima i institucijama koji optimiziraju rasvjetu za ljudsko zdravlje, uzimajući u obzir potrebe vida i cirkadijurnoga ritma (Rea i sur., 2002).

Temperatura boje svjetlosti u svakodnevnome okruženju

Uočena važnost obilježja rasvjete u prostorijama u kojima ljudi borave i pretežno rade vidi se i u mnogobrojnim preporukama, pa i regulativama povezanim s time kakva bi rasvjeta trebala biti. Razine rasvjete u uredima i sličnim prostorima reguliraju standardi organizacija poput CEN-a (*European Committee for Standardization*) u Europi i ANSI-ja (*American National Standards Institute*) ili IES-a (*Illuminating Engineering Society*) u SAD-u, osiguravajući sigurnost, udobnost i učinkovitost u radnome okruženju (CEN, 2011; IES, 2011). Europski standard detaljno propisuje minimalne razine (jačine) osvjetljenja izražene u luksima da bi se

omogućilo što bolje uvjete za obavljanje zadataka za koje je potreban vid, smanjujući naprezanje očiju i povećavajući produktivnost. Primjerice, za tipične uredske aktivnosti poput čitanja, pisanja i rada na računalu preporučuje se razina osvjetljenja od 500 do 750 luksa (CEN, 2011). Iako se primarno fokusira na razinu osvjetljenja, standard također ukazuje na važnost temperature boje svjetlosti, pri čemu se preporučuju rasvjetna tijela s temperaturom boje od 4000 K za neutralno dnevno svjetlo koje podržava vidnu udobnost (v. Boyce, 2014). Osim međunarodnih smjernica, lokalni propisi često ističu energetske učinkovitosti i održivost, dodatno osiguravajući zdravlje i produktivnost korisnika (IES, 2011).

Umjetna rasvjeta važna je za oblikovanje ljudskih prostora, bilo unutarnjih ili vanjskih, a planira se kroz dva pristupa: subjektivni i objektivni. Subjektivni pristup prilagođen je individualnim preferencijama korisnika s naglaskom na estetske aspekte i stvaranje ugodnoga raspoloženja. Nasuprot tomu, objektivni se pristup temelji na praktičnim kriterijima poput sigurnosti, radne i energetske učinkovitosti te utjecaja na okoliš. Iako svaki pristup ima prednosti i ograničenja, njihova kombinacija često donosi najbolje rezultate, omogućujući prilagodbu rasvjetе specifičnim potrebama i okolnostima. Uz kombinaciju subjektivnih i objektivnih pristupa, umjetna rasvjeta igra ključnu ulogu ne samo unutar zgrada, već i u oblikovanju identiteta urbanih prostora. Različite kulture i regije razvile su jedinstvene stilove osvjetljenja koji odražavaju lokalne tradicije, potrebe i estetske vrijednosti. Ti stilovi, osobito u gradskim okruženjima, pokazuju znatne razlike u preferencijama i primjenama svjetlosti.

Primjerice, zamjetne su razlike u pristupima osvjetljavanju gradova u Europi i Aziji, pri čemu su europski gradovi uglavnom osvjetljeni bijelom svjetlošću, dok azijski često koriste obojenu svjetlost, što se može povezati s tradicionalnim festivalima i praksama poput vatrometa. Vatrometi, duboko ukorijenjeni u azijskim kulturama, simboliziraju prolaznost i nadu, što objašnjava njihovu povezanost s pozitivnim emocijama i preferencije šarene rasvjetе. Prema Talebi i Farokhi (2014) boje i osvjetljenje značajno utječu na percepciju urbanih prostora i emocionalno stanje građana. Iako se u popularnoj literaturi često ističe da određene boje imaju specifične emocionalne i psihološke učinke, znanstvena istraživanja pokazuju da su ti učinci često posredovani mnogobrojnim čimbenicima kao što su kontekst, kultura i individualne razlike. Neka istraživanja (Elliot, 2015; Song i sur., 2025) sugeriraju da svjetlije boje mogu biti povezane s pozitivnijim emocionalnim reakcijama poput osjećaja energije ili ugođe, dok tamnije boje mogu izazvati osjećaje nelagode ili tjeskobe. Ipak, ti su učinci nespecifični i nisu univerzalni pa se interpretacija boja ne može jednoznačno generalizirati (Elliot i Maier, 2014).

Korištenje boja i svjetlosti koje su prilagođene lokalnoj klimi i kulturi može povećati ugodnost, prepoznatljivost i privlačnost gradskih područja. Razlike u preferencijama svjetlosti zabilježene su i između sjeverne i južne Europe. Sjever preferira srednje intenzivno, neizravno svjetlo koje stvara ugodnu atmosferu, dok jug

preferira intenzivniju rasvjetu izravnoga izvora, često u neutralnim i hladnijim tonovima, što se povezuje s klimatskim i kulturnim čimbenicima (Seghi i sur., 2019).

Te razlike u osvjetljenju utječu ne samo na estetiku prostora, već i na zdravlje, posebno u kontekstu sezonskoga afektivnog poremećaja (SAP) čija je prevalencija viša u geografskim širinama s manjkom svjetlosti (npr. sjeverniji dijelovi Europe). SAP se pojavljuje u zimskim mjesecima i njegova su obilježja depresivno raspoloženje, umor i poremećaji spavanja (American Psychiatric Association, 2013). Primjerice, u kliničkome ispitivanju koje su proveli Lam i suradnici (2006) ispitivana je učinkovitost svjetlosne terapije (10 000 luksa, 30 minuta dnevno) u usporedbi s antidepresivom fluoksetinom (20 mg/dan) u liječenju zimskoga sezonskoga afektivnog poremećaja (SAP). Ukupno 96 sudionika bilo je podijeljeno u dvije skupine, pri čemu je jedna primala svjetlosnu terapiju uz placebo kapsulu, a druga fluoksetin uz placebo svjetlo. Nakon osam tjedana liječenja obje su skupine postigle slične stope kliničkoga odgovora (67 %) i remisije (50 % za svjetlosnu terapiju, 54 % za fluoksetin). No, značajno poboljšanje simptoma ranije je primijećeno u skupini koja je primala svjetlosnu terapiju (već nakon 1. tjedna), dok su pacijenti koji su uzimali fluoksetin češće prijavljivali nuspojave poput tjeskobe, nesanice i gastrointestinalnih smetnji. Ti rezultati upućuju na to da svjetlosna terapija može biti učinkovita i dobro podnošljiva alternativa farmakološkomu liječenju sezonske depresije. Posebno je u tome smislu učinkovita svjetlost s većim udjelom plave komponente jer intenzivnije utječe na unutarnji sat tijela i poboljšava raspoloženje (Meesters i sur., 2011; Terman, 2007). Pojava SAP-a naglašava važnost prilagođavanja rasvjete ne samo estetskim preferencijama, nego i zdravstvenim potrebama, omogućujući dizajn rasvjete koja optimizira fizičko i mentalno zdravlje korisnika.

Primjena takvih spoznaja vidljiva je u trgovinama gdje odabir rasvjete može znatno utjecati na ponašanje potrošača. U tome je kontekstu važna i jačina, ali i temperatura boje svjetlosti. Prema Summers i Hebert (2001) povećanje jačine osvjetljenja u izlozima s proizvodima značajno je povećalo angažman kupaca, uključujući dulje zadržavanje ispred izloga te veći broj dodirnutih i podignutih proizvoda. Ti rezultati naglašavaju ključnu ulogu rasvjete u oblikovanju iskustava kupaca i privlačenju njihove pažnje, što može biti korisno za optimizaciju prodajnog prostora. Prema istaživanju Custersa i suradnika (2010) osvjetljenje značajno utječe na percepciju atmosfere u modnim trgovinama, oblikujući aspekte poput ugodnosti, živosti, napetosti i povezanosti s prostorom. Veća svjetlina smanjuje osjećaj ugodnosti, ali povećava napetost, dok svjetlucanje i odsjaji doprinose živosti prostora i smanjuju osjećaj odvojenosti. Kupci ocjenjuju kvalitetu proizvoda višim ocjenama kada je proizvod osvijetljen rasvjetom hladnije temperature boje, dok se lošije procjenjuju proizvodi osvijetljeni toplijom bojom svjetla (Tešić i sur., 2022). Međutim, doživljajno topla rasvjeta (niska temperatura svjetla) može istaknuti detalje, npr. teksturu tkanina, i time naglasiti (ne)kvalitetu proizvoda. U osvjetljenju mesa, primjerice, topla svjetlost pojačava crvene tonove, stvarajući dojam svježine i

kvalitete, dok hladna svjetlost može smanjiti privlačnost. Osvjetljavanje predmeta hladnih boja toplom bijelom svjetlošću ili toplih predmeta hladnim tonovima može promijeniti doživljaj materijala. Primjerice, kamen pod toplim svjetlom može izgledati neočekivano manje privlačno, dok drvo pod hladnim svjetlom može djelovati manje ugodno.

Učinci temperature svjetlosti na vidnu percepciju variraju ovisno o prostoru i ponašanjima. Niže temperature boje svjetlosti (doživljajno toplija) smatraju se ugodnijima i poželjnijima za opuštanje, dok su više temperature boje svjetlosti (doživljajno hladnija) prikladnije za radne uvjete gdje je potrebna veća učinkovitost (Wang i sur., 2017). Svjetlost s temperaturom boje od 4000 K pokazala se optimalnom za udobnost osvjjetljenja u uvjetima učenja, dok viša temperatura boje (5700 K) povećava percepciju svjetline i linearno poboljšava ugodnost osvjjetljenja. Zanimljivu su studiju proveli Yang i Jeon (2020), a njihovi nalazi ukazuju na to da temperatura boje svjetlosti i razina osvjjetljenja mogu imati značajan utjecaj na kognitivne funkcije i subjektivnu percepciju osvjjetljenja. U istraživanju su analizirani učinci različitih temperatura boje svjetlosti (3000 K, 4000 K i 5700 K) i razina osvjjetljenja (650 luksa i 1050 luksa) u učioničkome okruženju. Pokazalo se da je temperatura od 4000 K bila optimalna za doživljaj vizualne udobnosti, dok su kombinacije hladnije svjetlosti i više razine osvjjetljenja dovele do poboljšanih rezultata na testovima radnoga pamćenja. Ponešto specifičnije, Knez (1995) je pokazao da postoje i određene spolne razlike kako u raspoloženju, tako i u učinkovitosti rješavanja problema. Hladno svjetlo imalo je više pozitivnoga učinka na poboljšanje raspoloženja kod žena nego kod muškaraca, dok je učinak bio suprotan kada se mjerila efikasnost rješavanja problema. Na temelju takvih spoznaja nameće se zaključak da je relativno važno birati temperaturu boje svjetlosti u skladu s namjenom prostora i očekivanjima korisnika da bi se postigli željeni estetski i funkcionalni učinci. Svjetlost tako postaje alat ne samo za osvjjetljavanje, nego i za oblikovanje percepcije prostora te poboljšanje njegove funkcionalnosti.

Temperatura boje svjetlosti i kognitivne funkcije

Neprikladni uvjeti osvjjetljenja u radnim prostorima mogu značajno utjecati na kognitivne funkcije, uključujući povećanje mentalnoga umora i smanjenje razine pažnje. Tu je prije svega važna i jačina osvjjetljenja jer ona je ipak temelj točnoga vidnog zamjećivanja. Istraživanja su pokazala da slabija osvijetljenost, primjerice, na razini ispod 500 luksa, može potaknuti mentalni zamor, dok intenzivnija rasvjeta od 1500 luksa poboljšava budnost, kontinuiranu pažnju i reakcijsko vrijeme (Mohebian i sur., 2018). Prema Chellappi i suradnicima (2011) svjetlost ima značajne nevidne učinke na fiziološke procese poput ciklusa spavanja i budnosti te na kognitivne performanse. Ti učinci ovise o jačini, trajanju, valnoj duljini, ali i temperaturi boje svjetlosti. Studija Parka i suradnika (2013) pokazuje da svjetlost s visokom temperaturom boje (5918 K) i višom osvijetljenošću (600 luksa) poboljšava uvjete za kognitivne zadatke povećanjem alfa-mozgovne aktivnosti povezane s

inhibicijom irelevantnih procesa, što ukazuje na bolji fokus i koncentraciju, dok Lehl i suradnici (2007) naglašavaju pozitivan učinak hladnoga svjetla na povećanje budnosti i brzinu obrade informacija. Kocaoğlu (2015) je u svojem istraživanju koristeći test pažnje d2 utvrdio da svjetlost s temperaturom boje od 6500 K u usporedbi sa svjetlošću od 4000 K značajno smanjuje broj pogrešno riješenih zadataka, dok učinka na mjere koncentracije, broja propusta ni na ukupan broj riješenih zadataka nije bilo. Također, dnevno plavim svjetlom obogaćeno bijelo svjetlo može unaprijediti raspoloženje, budnost i produktivnost zaposlenika te smanjiti razdražljivost, umor očiju i dnevnu pospanost (Mills i sur., 2007; Viola i sur., 2008). Rezultati istraživanja Ferlazza i suradnika (2014) pokazuju da hladna LED rasvjeta poboljšava točnost u mentalnim rotacijama trodimenzionalnih objekata i smanjuje učinak povratne inhibicije tijekom zadataka prebacivanja (engl. *task switching*), dok istovremeno snižava subjektivne zahtjeve mentalnoga i vremenskog opterećenja tijekom testne faze. Knez i Kers (2000) pokazali su da topla bijela svjetlost (3000 K) podržava negativno raspoloženje kod mladih odraslih (23 godine), dok hladnija bijela svjetlost (4000 K) ima jednak učinak kod starijih odraslih (65 godina). Ti nalazi ukazuju na to da unutarnja rasvjeta može djelovati kao čimbenik i na raspoloženja i na učinke, koji različito utječe na emocionalne reakcije i kognitivnu izvedbu, naglašavajući važnost prilagodbe svjetlosnih uvjeta specifičnim potrebama korisnika kao što je npr. njihova dob. Zhu i suradnici (2019) pokazali su da kombinacija hladnoga svjetla (6500 K) i visoke osvijetljenosti (1200 luksa) tijekom poslijepodneva poboljšava dugoročno pamćenje neutralnih riječi, dok toplo svjetlo (3000 K) i niska osvijetljenost (200 luksa) rezultiraju najsporijim reakcijama i slabijom izvedbom u zadacima *go/no-go* i *two-back* bez obzira na doba dana. U istraživanju Hartstein (2017) sudionici (djeca i odrasli) bili su izloženi visokoj temperaturi boje svjetlosti, nakon čega su procijenjeni njihovi rezultati na zadacima prebacivanja. Uočena su poboljšanja u izvršnim funkcijama kod obiju dobnih skupina. Knez i Hygge (2002) pokazali su da hladna rasvjeta može imati nepovoljan učinak na dugoročno pamćenje. U njihovu istraživanju sudionici su čitali tekst pod hladnijim (4000 K) i toplim (3000 K) bijelim svjetlom, nakon čega je testirana njihova sposobnost prisjećanja pročitana sadržaja, a pokazalo se da je prisjećanje bilo slabije pod hladnijim svjetlom. Beaven i Ekström (2013) uspoređivali su učinke plavoga svjetla (~ 40 luksa) i kofeina (240 mg) na efikasnost u psihomotoričkim kognitivnim zadacima. Rezultati su ukazali na to da je plavo svjetlo poboljšalo budnost i skratilo vrijeme reakcije učinkovitije od kofeina. Yuda i suradnici (2017) pokazali su da plavo svjetlo dovodi do povećane autonomne pobuđenosti (mjerene srčanim ritmom) i subjektivne procjene budnosti i tijekom pauze za ručak. Figueiro i suradnici (2009) pokazali su da plavo svjetlo smanjuje količinu melatonina i povećava budnost stimulacijom cirkadijurnoga sustava, dok crveno svjetlo povećava budnost putem drugih neuralnih mehanizama. Svi ti rezultati ukazuju na složenost učinaka svjetlosti na psihomotoričke performanse te na važnost prilagodbe spektra i jačine osvjetljenja specifičnim potrebama i kategorijama korisnika. Dosadašnje

spoznaje naglašavaju potencijal i važnost hladnoga/plavog svjetla za radna okruženja koja zahtijevaju visoku koncentraciju i pažnju.

Primjena temperature boje svjetlosti u svakodnevnome životu

Postoje dvije glavne vrste upravljive rasvjete: automatski upravljana rasvjeta i rasvjeta koju korisnici sami prilagođavaju. Dinamička rasvjeta, često nazivana cirkadijuna rasvjeta, automatski optimizira jačinu, temperaturu boje i spektralni sastav svjetlosti da bi se prilagodila potrebama korisnika i specifičnostima prostora, posebno u okruženjima poput ureda, škola i bolnica. Nasuprot tomu, rasvjeta kojom korisnici ručno upravljaju, prilagođavajući njezinu jačinu i boju, može povećati subjektivan osjećaj ugone i zadovoljstva premda su spoznaje o njezinu utjecaju na radnu učinkovitost relativno ograničene (van der Vleuten-Chraibi, 2019). Newsham i suradnici (2004) smatraju da prilagodba rasvjete prema osobnim preferencijama povećava zadovoljstvo i raspoloženje, ali optimalni uvjeti variraju ovisno o individualnim potrebama, kao i o mnogobrojnim individualnim razlikama. Rezultati istraživanja Shamsula i suradnika (2013) pokazali su da neutralno bijelo svjetlo (4000 K) pruža najveću vidnu udobnost i poželjnost, dok umjetno hladno bijelo svjetlo (6500 K) značajno poboljšava budnost, točnost i izvedbu na zadacima poput računalnih testova pažnje, tipkanja i drugih kognitivnih zadataka. Prilagodba osvjetljenja specifičnim zadacima može dovesti do poboljšanja koncentracije ili stvaranja opuštajućega okruženja te može značajno poboljšati koncentraciju učenika, naglašavajući potencijal dinamičke rasvjete u obrazovnim okruženjima (Slegers i sur., 2012).

Li i suradnici (2022) proučavali su učinak dinamičke rasvjete koja mijenja temperaturu boje od 4000 K do 12000 K tijekom jutarnjega radnog perioda na budnost, kognitivne performanse i raspoloženje zaposlenika u zatvorenome radnom okruženju bez prozora. Rezultati su pokazali poboljšanu budnost, bržu reakciju na podražaje i bolju izvedbu na zadacima radnoga pamćenja u usporedbi sa statičkom rasvjetom, što ističe potencijal dinamičke rasvjete za podršku psihofiziološkoj dobrobiti zaposlenika. Slično tomu, Figueiro i suradnici (2020) pokazali su da cirkadijuno prilagođena rasvjeta u ustanovama za skrb poboljšava kvalitetu sna, a bila je povezana i s manje depresivnih simptoma kod starijih osoba.

Maganty (2020) naglašava da dinamička rasvjeta ima učinka na regulaciju cirkadijurnoga ritma, potiče budnost i prilagođava proizvodnju melatonina, što smanjuje umor i povećava radnu učinkovitost, posebno u zatvorenim prostorima bez prirodne svjetlosti. Ransley (2020) pak ističe važnost jutarnje svjetlosne stimulacije za pravilnu cirkadijurnu sinkronizaciju, smanjenje poremećaja spavanja i poboljšanje raspoloženja. Slično tomu, Figueiro (2013) naglašava potrebu za dizajnom rasvjete koji, uz vidne, uzima u obzir i biološke potrebe korisnika, pri čemu hladno bijelo svjetlo ujutro (6500 K) i toplo svjetlo navečer potiču bolje zdravlje, san i raspoloženje. Istraživanje koje su Arguelles-Prieto i suradnici (2019) proveli

posebnim uređajem za praćenje cirkadijurnih ritmova potvrdilo je ulogu te značajke svjetlosti u održavanju pravilne sinkronizacije cirkadijurnih ritmova. Rezultati su pokazali da pravilno usklađena dinamička rasvjeta, uz odgovarajuću jačinu i spektralne značajke, može poboljšati regulaciju cirkadijurnih ciklusa. Dugotrajna primjena cirkadijurno učinkovite dnevne rasvjete pokazala je značajna poboljšanja kvalitete sna, smanjenje depresije i agitacije te općenito poboljšanje psihološke dobrobiti kod osoba s demencijom u kontroliranim okruženjima. Rezultati uključuju povećanje ukupnoga trajanja i učinkovitosti sna, smanjenje negativnih emocionalnih simptoma te poboljšanu dnevnu stabilnost i osjećaj socijalne uključenosti (Figueiro i sur., 2014; Turley i sur., 2024). Na tome su tragu i stajališta Alkhatatbeha i Asadija (2021) koji naglašavaju i važnost dizajna u arhitekturi, gdje posebnu pažnju treba posvetiti dinamičkoj rasvjeti koja oponaša prirodne promjene svjetlosti tijekom dana.

Prirodna svjetlost s promjenama u jačini, spektralnome sastavu i smjeru idealan je model za aktivaciju cirkadijurnoga sustava, dok dinamička rasvjeta simulira te varijacije da bi poboljšala kvalitetu sna, smanjila umor i unaprijedila raspoloženje i učinkovitost u raznolikome spektru ponašanja. Naglašava se važnost prilagodbe svjetlosnih rješenja koja zadovoljavaju vidne i nevidne potrebe ljudi koji borave u takvim prostorima, osiguravajući optimalne uvjete za biološke i psihološke funkcije. Konis (2019) je razvio *Design Assist Tool*, alat za procjenu cirkadijurne učinkovitosti dnevne svjetlosti u zgradama. Taj alat omogućuje analizu jačine i spektralnoga sastava svjetlosti na razini ljudskoga oka u različitim vremenskim intervalima i godišnjim razdobljima, identificirajući zone u zgradama koje zadovoljavaju ili ne zadovoljavaju cirkadijurne kriterije. Time nudi osnovu za optimizaciju dizajna rasvjete da bi se poboljšali zdravlje i dobrobit korisnika. Razvojem tehnologije te razumijevanjem ljudske psihologije na pomolu su inovacije koje će cirkadijurnu rasvjetu oblikovati u savršen sklad znanosti i svakodnevnoga života.

Budućnost rasvjete: dinamička rasvjeta i personalizacija

Budućnost rasvjete donosi preoblikovanje našega odnosa prema svjetlu, pretvarajući ga iz jednostavnoga sredstva za osvjetljavanje u jedan od faktora koji mogu doprinijeti ljudskoj dobrobiti i ravnoteži psiholoških funkcija. Rasvjeta više nije samo pitanje funkcionalnosti, ona postaje sredstvo za poboljšanje kvalitete života gdje se jačina rasvjete, temperatura boje svjetlosti, cirkadijurna podrška i energetska učinkovitost povezuju da bi stvorili prilagođena, dinamična okruženja.

Temperatura boje svjetlosti ima učinak na našu percepciju, doživljavanje i ponašanje. Hladno, plavo-bijelo svjetlo pomaže u održavanju budnosti i koncentracije tijekom dana, dok toplo, žućkasto svjetlo navečer pomaže u opuštanju i pripremi za san. U budućnosti se očekuje da će rasvjeta koja može pratiti naše dnevne biološke ritmove postati sve češći standard, a ne izuzetak. Takva cirkadijurna rasvjeta ne bi imala učinak samo na regulaciju sna, već se pretpostavlja da može

doprinijeti i smanjenju stresa, povećanju produktivnosti i jačanju psihološke otpornosti, što se već sugerira u nekim recentnim istraživanjima.

Tehnologija dinamičke rasvjete obećava personalizaciju kao nikad dosad. Svjetlosni sustavi prilagođavat će se ne samo dobu dana, već i specifičnim aktivnostima – pružajući umirujuću atmosferu tijekom odmora, stimulativnu svjetlost za rad i ugodnu toplinu za društvene trenutke. Takva inteligentna prilagodljivost nije samo tehnička inovacija, već alat koji može naše prostore učiniti humanijima i prilagođenijima tjelesnim i mentalnim potrebama.

Ušteda energije ostaje imperativ u razvoju budućih rasvjetnih rješenja. No, energetska učinkovitost mora se promatrati kroz prizmu dugoročnih koristi za čovjeka i planet. LED tehnologija i pametni sustavi omogućit će smanjenje potrošnje energije bez kompromisa u kvaliteti i dobrobiti svjetlosti. Osim što ćemo štedjeti resurse, osiguravat ćemo svjetlosne uvjete koji podržavaju zdravlje i produktivnost, čime se smanjuju ne samo energetske troškovi, već i društveni troškovi povezani sa zdravstvenim problemima koje potiče loše osvijetljenje.

Psihološki aspekt svjetlosti postaje središnji u tome razvoju. Svjetlost doprinosi našem raspoloženju, motivaciji, pa čak i načinu na koji percipiramo prostor. Dinamična, prilagodljiva rasvjeta može pozitivno utjecati na raspoloženje, pažnju i kognitivne performanse, osobito u urbanim sredinama i zatvorenim prostorima. Premda su učinci na ozbiljnije emocionalne poremećaje poput depresije i anksioznosti još uvijek predmet istraživanja, postoje preliminarni pokazatelji koji ukazuju na potencijal takve rasvjete u specifičnim populacijama i kontekstima, primjerice, u ustanovama za skrb. Svjetlost budućnosti neće služiti samo funkciji osvijetljavanja prostora, već ima potencijal podržavanja emocionalnoga stanja, poticanja kreativnosti i povećavanja subjektivnoga osjećaja ugodnosti i povezanosti s okolinom.

Buduća rasvjeta mora biti spoj znanosti i umjetnosti, tehnologije i humanosti. Ona ima potencijal postati važnim elementom našega svakodnevnog života, čineći prostore u kojima živimo i radimo ne samo funkcionalnima, već i inspirativnima. Takav pristup rasvjeti može donijeti svjetliju, a ne samo osvijetljenu budućnost.

Literatura

- Alkhatabeh, B. J. i Asadi, S. (2021). Role of architectural design in creating circadian-effective interior settings. *Energies*, 14(20), članak 6731.
<https://doi.org/10.3390/en14206731>
- Alkozei, A., Smith, R., Pisner, D. A., Vanuk, J. R., Berryhill, S. M., Fridman, A., Shane, B. R., Knight, S. A. i Killgore, W. D. (2016). Exposure to blue light increases subsequent functional activation of the prefrontal cortex during performance of a working memory task. *Sleep*, 39(9), 1671–1680. <https://doi.org/10.5665/sleep.6090>
- Altun, A. i Ugur-Altun, B. (2007). Melatonin: Therapeutic and clinical utilization. *International Journal of Clinical Practice*, 61(5), 835–845.
<https://doi.org/10.1111/j.1742-1241.2006.01191.x>

- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing.
- Arangino, S., Cagnacci, A., Angiolucci, M., Vacca, A. M., Longu, G., Volpe, A. i Melis, G. B. (1999). Effects of melatonin on vascular reactivity, catecholamine levels, and blood pressure in healthy men. *The American Journal of Cardiology*, 83(9), 1417–1419. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(99\)00112-5](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(99)00112-5)
- Arguelles-Prieto, R., Bonmati-Carrion, M.-A., Rol, M. A. i Madrid, J. A. (2019). Determining light intensity, timing and type of visible and circadian light from an ambulatory circadian monitoring device. *Frontiers in Physiology*, 10, članak 822. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00822>
- Burattini, C., Piccardi, L., Curcio, G., Ferlazzo, F., Giannini, A. M. i Bisegna, F. (2019). Cold LED lighting affects visual but not acoustic vigilance. *Building and Environment*, 151, 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.022>
- Beaven, C. M. i Ekström, J. (2013). A comparison of blue light and caffeine effects on cognitive function and alertness in humans. *PLoS ONE*, 8(10), članak e76707. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076707>
- Berson, D. M. (2003). Strange vision: Ganglion cells as circadian photoreceptors. *Trends in Neurosciences*, 26(6), 314–320. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(03\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(03)00130-9)
- Berson, D. M. (2007). Phototransduction in ganglion-cell photoreceptors. *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology*, 454(5), 849–855. <https://doi.org/10.1007/s00424-007-0242-2>
- Blalock, J. E. i Smith, E. M. (2007). Conceptual development of the immune system as a sixth sense. *Brain, Behavior, and Immunity*, 21(1), 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2006.09.004>
- Bohren, C. F. i Clothiaux, E. E. (2006). *Fundamentals of atmospheric radiation: An introduction with 400 problems*. Wiley – VCH.
- Borji, A. i Itti, L. (2013). State-of-the art in visual attention modeling. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(1), 185–207. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2012.89>
- Born, M. i Wolf, E. (1999). *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light* (7th ed.). Cambridge University Press.
- Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16520>
- Cajochen, C., Kräuchi, K. i Wirz-Justice, A. (2003). Role of melatonin in the regulation of human circadian rhythms and sleep. *Journal of Neuroendocrinology*, 15(4), 432–437. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2826.2003.00989.x>
- Carrillo-Vico, A., Lardone, P. J., Alvarez-Sánchez, N., Rodríguez-Rodríguez, A. i Guerrero, J. M. (2013). Melatonin: Buffering the immune system. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 8638–8683. <https://doi.org/10.3390/ijms14048638>
- CEN (European Committee for Standardization). (2011). *EN 12464-1: Light and lighting – Lighting of workplaces – Part 1: Indoor work places*.

- Charkhabi, S. A., Sharifi, Z., Janizadeh, R., Rahdar, M. i Kazemi, R. (2025). The effect of blue light on cognitive function at workplaces: A systematic review. *Physiology & Behavior*, 289, članak 114758. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2024.114758>
- Chellappa, S. L., Gordijn, M. C. i Cajochen, C. (2011). Can light make us bright? Effects of light on cognition and sleep. *Progress in Brain Research*, 190, 119–133. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53817-8.00007-4>
- Chen, J. (2023). An analysis of the multiple meanings of art during the Renaissance. *Journal of Education, Humanities and Social Sciences*, 21, 26–31. <https://drpress.org/ojs/index.php/EHSS/article/download/13026/12672>
- Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). (2019). *Position statement on the effects of blue light*. CIE.
- Custers, P., de Kort, Y. A. W., Ijsselstein, W. A. i de Kruiff, M. E. (2010). Lighting in retail environments: Atmosphere perception in the real world. *Lighting Research & Technology*, 42(3), 331–343. <https://doi.org/10.1177/1477153510377836>
- Davy, H. (1816). On the fire-damp of coal mines, and on methods of lighting the mines so as to prevent its explosion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 106, 1–22. <https://doi.org/10.1098/rspl.1815.0024>
- Do, M. T. H. i Yau, K. W. (2010). Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. *Physiological Reviews*, 90(4), 1547–1581. <https://doi.org/10.1152/physrev.00013.2010>
- Duffie, J. A. i Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.
- Dunlap, J. C., Loros, J. J. i DeCoursey, P. J. (2004). *Chronobiology: Biological timekeeping*. Sinauer Associates.
- Elliot, A. J. (2015). Color and psychological functioning: A review of theoretical and empirical work. *Frontiers in Psychology*, 6, članak 368. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00368>
- Elliot, A. J. i Maier, M. A. (2014). Color psychology: Effects of perceiving color on psychological functioning in humans. *Annual Review of Psychology*, 65, 95–120. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115035>
- Ferlazzo, F., Piccardi, L., Burattini, C., Barbalace, M., Giannini, A. M. i Bisegna, F. (2014). Effects of new light sources on task switching and mental rotation performance. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.03.005>
- Feynman, R. P., Leighton, R. B. i Sands, M. (2010). *The Feynman lectures on physics, Vol. I: Mainly mechanics, radiation, and heat* (Millennium Edition). Basic Books.
- Figueiro, M. G. (2013). An overview of the effects of light on human circadian rhythms: Implications for new light sources and lighting systems design. *Journal of Light & Visual Environment*, 37(2–3), 51–61. <https://doi.org/10.2150/jlve.IEIJ130000503>
- Figueiro, M. G., Bierman, A., Plitnick, B. i Rea, M. S. (2009). Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. *BMC Neuroscience*, 10, članak 105. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-105>

- Figueiro, M. G., Plitnick, B. A., Lok, A., Jones, G. E., Higgins, P., Hornick, T. R. i Rea, M. S. (2014). Tailored lighting intervention improves measures of sleep, depression, and agitation in persons with Alzheimer's disease and related dementia living in long-term care facilities. *Clinical Interventions in Aging*, 9, 1527–1537. <https://doi.org/10.2147/CIA.S68557>
- Figueiro, M. G., Sahin, L., Kalsher, M., Plitnick, B. i Rea, M. S. (2020). Long-term, all-day exposure to circadian-effective light improves sleep, mood, and behavior in persons with dementia. *Journal of Alzheimer's Disease Reports*, 4(1), 297–312. <https://doi.org/10.3233/ADR-200212>
- Foster, R. G. (2021). Fundamentals of circadian entrainment by light. *Lighting Research & Technology*, 53(3), 211–229. <https://doi.org/10.1177/14771535211014792>
- Foster, R. G. i Hankins, M. W. (2007). Circadian vision. *Current Biology*, 17(17), R746–R751. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.07.007>
- Freeberg, E. (2013). *The age of Edison: Electric light and the invention of modern America*. Penguin Books.
- Gherri, B. (2015). *Assessment of daylight performance in buildings: Methods and design strategies*. Springer.
- Goldstein, E. B. (2011). *Osjeti i percepcija*. Naklada Slap.
- Ham, W. T. Jr., Mueller, H. A. i Sliney, D. H. (1978). Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. *Nature*, 260(5557), 153–155. <https://doi.org/10.1038/260153a0>
- Hartstein, L. E. (2017). *The cognitive effects of light color temperature*. [Neobjavljeni doktorski rad]. University of Massachusetts Amherst, MA, USA. <https://doi.org/10.7275/9932936.0>
- Hattar, S., Liao, H. W., Takao, M., Berson, D. M. i Yau, K. W. (2002). Melanopsin-containing retinal ganglion cells: Architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*, 295(5557), 1065–1070. <https://doi.org/10.1126/science.1069609>
- Hausman, W. J., Hertner, P. i Wilkins, M. (2008). *Global electrification: Multinational enterprise and international finance in the history of light and power, 1878–2007*. Cambridge University Press.
- Hecht, E. (2002). *Optics* (4th ed.). Addison – Wesley.
- Hirst, R. J., Cragg, L. i Allen, H. A. (2018). Vision dominates audition in adults but not children: A meta-analysis of the Colavita effect. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 94, 286–301. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.07.012>
- Hutmacher F. (2019). Why is there so much more research on vision than on any other sensory modality? *Frontiers in Psychology*, 10, članak 2246. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02246>
- IES (Illuminating Engineering Society). (2011). *The lighting handbook: Reference and application* (10th ed.). Illuminating Engineering Society.
- Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press.
- Keeler, C. E. (1927). Iris movements in blind mice. *The American Journal of Physiology*, 81(1), 107–112. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1927.81.1.107>

- Keeler, C. E. (1928). Blind mice. *Journal of Experimental Zoology*, 51, 495–508. <https://doi.org/10.1002/jez.1400510404>
- Knez, I. (1995). Effects of indoor lighting on mood and cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 16(1), 39–51. [https://doi.org/10.1016/0272-4944\(95\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0272-4944(95)90013-6)
- Knez, I. i Hygge, S. (2002). Irrelevant speech and indoor lighting: Effects on cognitive performance and self-reported affect. *Applied Cognitive Psychology*, 16(6), 709–718. <https://doi.org/10.1002/acp.829>
- Knez, I. i Kers, C. (2000). Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance. *Environment and Behavior*, 32(6), 817–831. <https://doi.org/10.1177/0013916500326005>
- Kocaoğlu, R. (2015). *The effects of correlated colour temperature on sustained attention and mood of university students in learning environments*. [Neobjavljeni doktorski rad]. Bilkent University, Ankara, Turkey. <https://repository.bilkent.edu.tr/items/05c512f6-e7ee-493e-b39a-e7590869150f>
- Kolb, H. (2003). How the retina works. *American Scientist*, 91(1), 28–35. <http://www.americanscientist.org/articles/03articles/kolb.html>
- Kolb, H., Fernandez, E. i Nelson, R. (2007). *Webvision: The organization of the retina and visual system*. University of Utah Health Sciences Center, UT, USA.
- Konis, K. (2019). A circadian design assist tool to evaluate daylight access in buildings for human biological lighting needs. *Solar Energy*, 191, 449–458. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.09.020>
- Kyba, C. C. M., Ruhtz, T., Fischer, J. i Hölker, F. (2014). Redefining efficiency for outdoor lighting. *Energy & Environmental Science*, 7(6), 1806–1809. <https://doi.org/10.1039/C4EE00566J>
- Lam, R. W., Levitt, A. J., Levitan, R. D., Enns, M. W., Morehouse, R., Michalak, E. E. i Tam, E. M. (2006). The Can-SAD study: A randomized controlled trial of the effectiveness of light therapy and fluoxetine in patients with winter seasonal affective disorder. *American Journal of Psychiatry*, 163(5), 805–812. <https://doi.org/10.1176/ajp.2006.163.5.805>
- Lee, J.-H., Moon, J. W. i Kim, S. (2014). Analysis of occupants' visual perception to refine indoor lighting environment for office tasks. *Energies*, 7(7), 4116–4139. <https://doi.org/10.3390/en7074116>
- Lehrl, S., Gerstmeier, K., Jacob, J. H., Frieling, H., Henkel, A. W., Meyrer, R., Wiltfang, J., Kornhuber, J. i Bleich, S. (2007). Blue light improves cognitive performance. *Journal of Neural Transmission*, 114(4), 457–460. <https://doi.org/10.1007/s00702-006-0621-4>
- Lerner, A. B., Case, J. D. i Takahashi, Y. (1958). Isolation of melatonin, the pineal gland factor that lightens melanocytes. *Journal of the American Chemical Society*, 80(10), 2587–2587. <https://doi.org/10.1021/ja01543a060>
- Li, Y.-J., Fang, W.-N., Guo, B.-Y. i Bao, H.-F. (2022). Morning boost on alertness, cognitive performance and mood with dynamic lighting. *Ergonomics in Design*, 47, 601–608. <https://doi.org/10.54941/ahfe1001988>
- Liou, K. N. (2002). *An Introduction to Atmospheric Radiation* (2nd ed.). Academic Press.

- Lockley, S. W., Brainard, G. C. i Czeisler, C. A. (2003). High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 88(9), 4502–4505.
<https://doi.org/10.1210/jc.2003-030570>
- Luo, W., Kramer, R., Kompier, M., Smolders, K., de Kort, Y. i van Marken Lichtenbelt, W. (2023). Personal control of correlated color temperature of light: Effects on thermal comfort, visual comfort, and cognitive performance. *Building and Environment*, 238, članak 110380. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110380>
- Maganty, S. (2020). Adaptive circadian rhythm: A cognitive approach through dynamic light management. U: G. R. Shina i J. S. Suri (Ur.), *Cognitive informatics, computer modelling, and cognitive science, volume 1* (str. 123–134). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819443-0.00007-6>
- Manav, B. (2007). An experimental study on the appraisal of the visual environment at offices in relation to colour temperature and illuminance. *Building and Environment*, 42(2), 979–983. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.022>
- Meesters, Y., Dekker, V., Schlangen, L. J., Bos, E. H. i Ruiter, M. J. (2011). Low-intensity blue-enriched white light (750 lux) and standard bright light (10,000 lux) are equally effective in treating SAD. A randomized controlled study. *BMC Psychiatry*, 11, članak 17. <https://doi.org/10.1186/1471-244X-11-17>
- Mills, P. R., Tomkins, S. C. i Schlangen, L. J. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of Circadian Rhythms*, 5, članak 2. <https://doi.org/10.1186/1740-3391-5-2>
- Mistlberger, R. E. i Skene, D. J. (2004). Social influences on mammalian circadian rhythms: Animal and human studies. *Biological Reviews*, 79(3), 533–556.
<https://doi.org/10.1017/S1464793103006353>
- Mohebian, Z., Farhang Dehghan, S. i Dehghan, H. (2018). Evaluation of the combined effects of heat and lighting on the level of attention and reaction time: Climate chamber experiments in Iran. *The Scientific World Journal*, članak 5171582.
<https://doi.org/10.1155/2018/5171582>
- Newsham, G., Veitch, J., Arsenaault, C. i Duval, C. (2004). Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance. *IESNA Annual Conference Proceedings*, Tampa, Florida, 19–41.
- Park, J. Y., Ha, R.-Y., Ryu, V., Kim, E. i Jung, Y.-C. (2013). Effects of color temperature and brightness on electroencephalogram alpha activity in a polychromatic light-emitting diode. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 11(3), 126–131.
<https://doi.org/10.9758/cpn.2013.11.3.126>
- Petty, G. W. (2006). *A first course in atmospheric radiation* (2nd ed.). Sundog Publishing.
- Pevet, P. i Challet, E. (2011). Melatonin: Both master clock output and internal time-giver in the circadian clocks network. *Journal of Physiology-Paris*, 105(4–6), 170–182.
<https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2011.07.001>
- Pimputkar, S., Speck, J. S., DenBaars, S. P. i Nakamura, S. (2009). Prospects for LED lighting. *Nature Photonics*, 3(4), 180–182. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2009.32>

- Power, R. P. (1981). The dominance of touch by vision: Occurs with familiar objects. *Perception*, 10(1), 29–33. <https://doi.org/10.1068/p100029>
- Ransley, B. (2020). An overview of recent findings on the effect of light on circadian rhythms. *SDAR Journal of Sustainable Design & Applied Research*, 8(1), članak 2. <https://doi.org/10.21427/fgd9-h616>
- Rea, M. S., Figueiro, M. G. i Bullough, J. D. (2002). Circadian photobiology: An emerging framework for lighting practice and research. *Lighting Research & Technology*, 34(3), 177–187. <https://doi.org/10.1191/1365782802lt057oa>
- Refinetti, R. (2006). *Circadian physiology* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420039016>
- Roenneberg, T. i Merrow, M. (2007). Entrainment of the human circadian clock. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 72, 293–299. <https://doi.org/10.1101/sqb.2007.72.043>
- Schiffenstein, H. N. J. (2006). The perceived importance of sensory modalities in product usage: A study of self-reports. *Acta Psychologica*, 121(1), 41–64. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.06.004>
- Schroeder, A. M. i Colwell, C. S. (2013). How to fix a broken clock. *Trends in Pharmacological Sciences*, 34(11), 605–619. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2013.09.002>
- Seghi, L., Noskaitis, S., Spanos, S., Hvass, M. i Hansen, E. K. (2019). Lighting cultures in Northern and Southern Europe: An investigation of living spaces. *Architectural Research in Finland*, 3(1), 168–183. <https://doi.org/10.37457/arf.121680>
- Sekuler, R. i Blake, R. (1990). *Perception*. McGraw-Hill Publishing Company.
- Shamsul, B. M. T., Sia, C. C., Ng, Y. G. i Karmegan, K. (2013). Effects of light's colour temperatures on visual comfort level, task performances, and alertness among students. *American Journal of Public Health Research*, 1(7), 159–165. <https://doi.org/10.12691/ajphr-1-7-3>
- Sleegers, P. J. C., Moolenaar, N. M., Galetzka, M., Pruyn, A., Sarroukh, B. E. i van der Zande, B. (2012). Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. *Lighting Research & Technology*, 44(4), 449–469. <https://doi.org/10.1177/1477153512446099>
- Song, L., Zhang, G., Ma, L., Silvennoinen, J. i Cong, F. (2025). Comparative analysis of color emotional perception in art and non-art university students: Hue, saturation, and brightness effects in the Munsell color system. *BMC Psychology*, 13, članak 650. <https://doi.org/10.1186/s40359-025-03034-y>
- Sternberg, R. J. i Sternberg, K. (2017). *Cognitive psychology* (7th ed). Wadsworth / Cengage Learning.
- Stokes, D. i Biggs, S. (2014). The dominance of the visual. U: D. Stokes, M. Matthen i S. Biggs (Ur.), *Perception and its modalities* (str. 350–378). Oxford University Press.
- Summers, T. A. i Hebert, P. R. (2001). Shedding some light on store atmospherics: Influence of illumination on consumer behavior. *Journal of Business Research*, 54(2), 145–150. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(99\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(99)00082-X)

- Talebi, N. i Farokhi, M. (2014). The role of light and color in urban beautification and its impact on the perception of citizens. *World Journal of Environmental Biosciences*, 6(Supplementary), 6–11.
<https://environmentaljournal.org/storage/models/article/swPILe3C070PCjzXrc2RAwQGn9JyStjyGIYwZjZjHMBdBm8zuVTv3vL87X6D/the-role-of-light-and-color-in-urban-beautification-and-its-impact-on-the-perception-of-citizens.pdf>
- Terman M. (2007). Evolving applications of light therapy. *Sleep Medicine Reviews*, 11(6), 497–507. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2007.06.003>
- Tešić, D., Bogetić, Z. i Petković, G. (2022). The influence of retail facility lighting on shoppers' product perception. *Strategic Management*, 27(4), 41–54.
<https://doi.org/10.5937/StraMan2200014T>
- Tsao, J. Y., Crawford, M. H. Coltrin, M. E., Fischer, A. J., Koleske, D. D., Subramania, G. S., G. T., Wierer, J. J. i Karlicek R. F. Jr. (2014). Toward smart and ultra-efficient solid-state lighting. *Advanced Optical Materials*, 2(9), 809–836.
<https://doi.org/10.1002/adom.201400131>
- Turley, K., Rafferty, J., Bond, R., Mulvenna, M., Ryan, A. i Crawford, L. (2024). Evaluating the impact of a daylight-simulating luminaire on mood, agitation, rest-activity patterns, and social well-being parameters in a care home for people with dementia: Cohort study. *JMIR mHealth and uHealth*, 12, članak e56951. <https://doi.org/10.2196/56951>
- van der Vleuten-Chraibi, S. (2019). *Lighting in multi-user office environments: Improving employee wellbeing through personal control* [Neobjavljeni doktorski rad]. Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands.
https://research.tue.nl/files/125218573/20190606_Vleuten_Chraibi.pdf
- Van Essen, D. C., Felleman, D. J., DeYoe, E. A., Olavarria, J. i Knierim, J. (1990). Modular and hierarchical organization of extrastriate visual cortex in the macaque monkey. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 55, 679–696.
<https://doi.org/10.1101/sqb.1990.055.01.064>
- van Norren, D. i Vos, J. J. (2016). Light damage to the retina: An historical approach. *Eye*, 30(2), 169–179. <https://doi.org/10.1038/eye.2015.218>
- Vicente-Tejedor, J., Marchena, M., Ramírez, L., García-Ayuso, D., Gómez-Vicente, V., Sánchez-Ramos, C., de la Villa, P. i Germain, F. (2018). Removal of the blue component of light significantly decreases retinal damage after high-intensity exposure. *PLoS ONE*, 13(1), članak e0194218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194218>
- Viola, A. U., James, L. M., Schlangen, L. J. i Dijk, D. (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 34(4), 297–306.
<https://doi.org/10.5271/sjweh.1268>
- Wang, Q., Xu, H., Zhang, F. i Wang, Z. (2017). Influence of color temperature on comfort and preference for LED indoor lighting. *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*, 129, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.10.049>
- Yang, W. i Jeon, J. Y. (2020). Effects of correlated colour temperature of LED light on visual sensation, perception, and cognitive performance in a classroom lighting environment. *Sustainability*, 12(10), članak 4051. <https://doi.org/10.3390/su12104051>

- Yuda, E., Ogasawara, H., Yoshida, Y. i Hayano, J. (2017). Enhancement of autonomic and psychomotor arousal by exposures to blue wavelength light: Importance of both absolute and relative contents of melanopic component. *Journal of Physiological Anthropology*, 36, članak 13. <https://doi.org/10.1186/s40101-017-0126-x>
- Zaidi, F. H., Hull, J. T., Peirson, S. N., Wulff, K., Aeschbach, D., Gooley, J. J., Brainard, G. C., Gregory-Evans, K., Rizzo, J. F. 3rd, Czeisler, C. A., Foster, R. G., Moseley, M. J. i Lockley, S. W. (2007). Short-wavelength light sensitivity of circadian, pupillary, and visual awareness in humans lacking an outer retina. *Current Biology: CB*, 17(24), 2122–2128. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.11.034>
- Zhu, Y., Yang, M., Yao, Y., Xiong, X., Li, X., Zhou, G. i Ma, N. (2019). Effects of illuminance and correlated color temperature on daytime cognitive performance, subjective mood, and alertness in healthy adults. *Environment and Behavior*, 51(2), 199–230. <https://doi.org/10.1177/0013916517738077>

Psychological Aspects of Correlated Color Temperature of Light

Abstract

Light, as a fundamental element of life on Earth, has multiple physical characteristics that have a significant impact on human perception, health, and daily functioning. The physical properties of light, such as wavelength and intensity, are fundamental features that determine how it interacts with the visual system. In addition, the correlated color temperature of light, although not a fundamental property in the psychophysiology of perception, is a relevant physical characteristic often used to describe the qualitative aspects of light sources, especially artificial ones. The aim of this text is to systematically present current scientific knowledge about the psychological effects of the correlated color temperature of light on human behavior, with an emphasis on its effect on perception, biological rhythms, and cognitive functions. By analyzing recent research and technological innovations in the field of lighting, this work aims to contribute to a better understanding of how the adjustment of primarily artificial lighting conditions can improve the daily life quality and human functioning. This is important because in the modern world, artificial light sources such as LED technology have greatly expanded the possibilities for manipulating light spectra, enabling the adjustment of lighting conditions to meet diverse human needs. The text emphasizes the role of blue light, whose effect on biological processes is significant because it participates in the regulation of circadian rhythms and can indirectly affect certain aspects of cognitive functioning, such as attention and working memory. Therefore, the correlated color temperature of light, a concept that describes the tonality of light from warm reddish to cool bluish shades, is becoming an increasingly important factor in everyday life, especially in the context of optimizing lighting for different activities. The future of lighting lies in the development of dynamic lighting systems that enable real-time personalization of lighting conditions, opening new perspectives in improving the quality of life.

Keywords: temperature of lightning, LED lights, visual perception, cognition, circadian rhythms

Primljeno 3. 3. 2025.