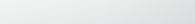


Vpliv utripanja svetlobe na človeka

Matija Čeligoj
prof. dr. Grega Bizjak
asist. dr. Matej B. Kobav

[illegible]

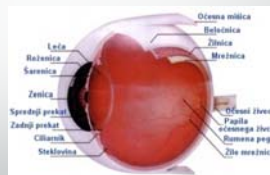
Svetloba in človek

- Svetloba narekuje človekovo počutje, zdravje in učinkovitost pri izvajanju vsakodnevnih opravil ter vpliva na njegov bioritem.
 - Poleg pozitivnih učinkov pa svetloba tudi negativno vpliva na človeka.
 - Človek jo zaznava na tri načine:
 - vidno,
 - z direktno absorpcijo preko kože,
 - preko nevronske poti.
- 

[illegible]

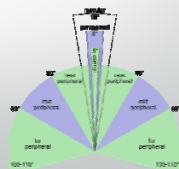
Človeško oko

- Zenica – sprejemanje svetlobe v notranjost očesa.
- Mrežnica – na njej so razporejeni fotoreceptorji:
 - čepnice (dnevni vid),
 - paličnice (nočni vid),
 - IpRGC (angl. Intrinsic photosensitive retinal ganglion cell) – svetlobno občutljive ganglionske celice (biološke spremembe).



Vidno polje

- Opredeljujemo ga kot sliko okolice, preslikano na celotno mrežnico, ko sta opazovalec in predmet statična.
- V horizontalni smeri obsega med 180° in 190° .
- V vertikalni smeri obsega med 100° in 110° .
- Ločimo:
 - centralni vid (5°),
 - periferni vid (vse ostalo).



Utripanje svetlobe – *fliker*

- Utripanje svetlobe obravnavamo kot negativni učinek svetlobe na človeka.
- Označujemo ga kot neželeno spremembo vizualne percepcije svetlobnega toka v času.
- Utripanje delimo na tri vrste t. i. trenutnih sprememb svetlobe v času – TLA (angl. Temporal Light Artefacts):
 - fliker,
 - stroboskopski pojav,
 - fantomski pojav.



Vidni fliker in kritična frekvenca

- Vidni fliker človek zaznava s prostim očesom, ko oba s svetlobnim virom mirujeta.
- Kritična frekvenca (CFF) je meja, do katere človek še vidno zaznava utripanje svetlobe.
- Je subjektivna in v celoti odvisna od opazovalca.
- Razpon CFF je med 40 in 100 Hz.
- Vidno utripanje lahko povzroča glavobole, epileptične napade, dražje oči, nezbranost, dezorientiranost ipd.

Nevidni fliker

- Utripanje svetlobnega toka glede na čas nad kritično frekvenco.
- Nevidni fliker je prav tako odvisen od posameznika.
- V grobem ga umeščamo v območje med 60 Hz in 3 kHz.
- Zdravstvene težave se večinoma odražajo po daljši izpostavljenosti.
- Posledice so lahko glavoboli, nezbranost, napake pri branju, napačno vidno zaznavanje okolice in predmetov ipd.
- Zaznavamo ga z ipRGC-fotoreceptorji.

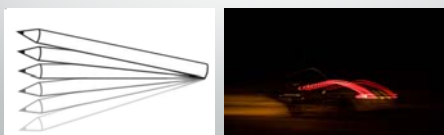
Stroboskopski pojav

- Stroboskopski pojav se nanaša na nestatično okolje s statičnim opazovalcem.
- Vidno zaznavanje se pojavlja med frekvencama 3 Hz in 40 Hz in med frekvencama 80 Hz in 2000 Hz.
- Povzroča lahko tudi epileptične napade.



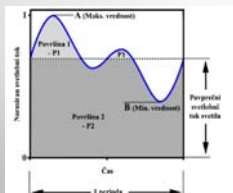
Fantomski pojav

- Sprememba v zaznavanju oblike ali prostorske postavitve opazovanega objekta, gledano s stališča nestatičnega opazovalca v statičnem okolju.
- Najbolj opazen je pri frekvencah 600 Hz.
- V kategorijo fantomskega pojava spada tudi pojav večkratne slike.



Vrednotenje flikerja

- Najpogostejše je uporabljena metoda indeks fliker in modulacija.

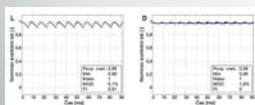


$$MOD = \frac{A - B}{A + B} \cdot 100 \%$$

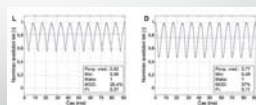
$$FI = \frac{P1}{P1 + P2}$$

Svetlobni viri in njihov vpliv

- Najbolj izraziti viri, ki proizvajajo utripanje, so fluorescentne sijalke in LED-sijalke.
- Fluorescentne sijalke z elektromagnetno predstikalno napravo imajo frekvenco flikerja 100 Hz (napajalna frekvenca 50 Hz – EU), kar je za nekatere posameznike lahko že območje vidnega zaznavanja utripanja svetlobe.



Potek svetlobnega toka fluorescentne sijalke z elektronsko predstikalno napravo

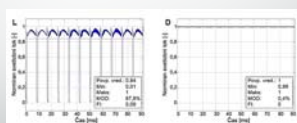


Potek svetlobnega toka fluorescentne sijalke z elektromagnetno predstikalno napravo

- LED-svetlobni viri predvsem proizvajajo utripanje svetlobe zaradi preprostejših napajalnih vezij in regulacijsko-zatemnjevalnih naprav.
- Problematične so predvsem regulacijske naprave, ki delujejo po principu PWM-regulacije (angl. Pulz Width Modulation).



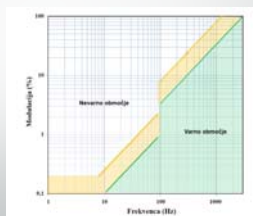
Potek toka pri zatemnjevanju LED-sijalke z analogno regulacijo (zgoraj) in s PWM-regulacijo (spodaj)



Potek svetlobnega toka LED-svetlobnega vira

Priporočilo IEEE S1789-2015

- Ker utripanje svetlobe lahko povzroči epileptični napad, je komite IEEE predlagal razčlenitev nevarnega in varnega območja utripanja, opisanega z modulacijo in frekvenco.
- Priporočilo se lahko uporablja tudi za razvrščanje svetlobnih virov in nevarnih učinkov, povezanih z njihovim utripanjem.



Izsledki raziskav o vidnem in nevidnem zaznavanju utripanja svetlobe

1. Zaznavanje vidnega utripanja in kritične frekvence

- Kdaj ljudje zaznavamo vidno utripanje?
- Ali je utripanje odvisno od spola?
- Ali so osebe zaznavale vidne nepravilnosti?
- Pri katerih frekvencah se najpogosteje zaznava vidno utripanje?

2. Odziv človeka na nevidno utripanje

- Kdaj ljudje zaznavajo nevidno utripanje?
- Ali so sposobnosti zaznavanja in delovnih nalog zmanjšane?
- Ali so se pojavili neželeni stranski učinki?
- Pri katerih frekvencah je nevidno utripanje najbolj izrazito in povzroča največ težav?

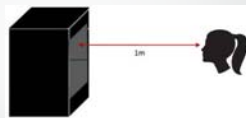
1. Zaznavanje vidnega utripanja in kritične frekvence

- Raziskava je bila izdelana na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.
- S pomočjo eksperimentalne škatle z vgrajenimi LED-sijalkami, s katerimi je mogoče spreminjati utripanje svetlobnega toka, se je izvajal poskus, pri katerem smo določali kritično frekvenco posameznikov.
- Z več barvnimi ozadji smo določali tudi vpliv barve na zaznavanje utripanja svetlobe.



Izvajanje eksperimenta

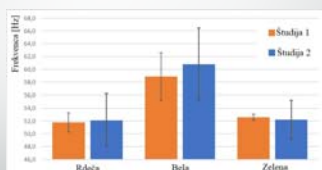
- Fiksni parametri:
 - enobarvno ozadje,
 - pravokotni signal s 50% delovnim ciklom,
 - centralni vid,
 - povsem temen/skoraj temen prostor.



- Spremenljivi parametri:
 - frekvenca utripanja svetlobnih virov (med 100 Hz in 49 Hz).
- Dve študiji:
 - 12–17 let stari udeleženci, 28 udeležencev (14 M, 14 Z); OS, SS,
 - 22–35 let stari udeleženci, 53 udeležencev (53 M, 2 Z); UNL.

Rezultati študije

- Najvišji prag zaznavanja je na beli barvi.
- Pri rdeči in zeleni barvi so zaznavanja mnogo nižja.
- Najvišja frekvenca zaznavanja je bila pri beli podlagi, in sicer 66,6 Hz.
- Najkasneje pa je bilo utripanje zaznано pri 55,6 Hz na beli podlagi, pri ostalih barvah pa nekateri tudi pri najnižji vrednosti eksperimentalne škatle (49 Hz) niso zaznali utripanja.



- Ugotovljeno je bilo tudi, da ženske zaznavajo utripanje kasneje kot moški, a ne vedno.
- Osebe, ki so bolj občutljive na fliker pri rdeči barvi, so nanj bolj občutljive tudi na zeleni ali beli podlagi.
- Starejše osebe ga zaznavajo kasneje kot mlajše osebe.
- Kritična frekvenca je odvisna od vsakega posameznika.
- Dolgotrajnejša izpostavljenost vidnemu utripanju je izvajalcem poizkusa povzročila glavobole in utrujenost.

2. Odziv človeka na nevidno utripanje

- Raziskava je bila opravljena na Nacionalnem raziskovalnem inštitutu v Kanadi (NRCC, Ottawa, Canada).
- Opazovali so odziv ljudi na različne TLA v območjih nad kritično frekvenco utripanja.
- Izvedli so 9 poizkusnih modelov z različnimi parametri in primerjali odzive.
- Raziskave so temeljile na modulaciji in ne na delovnem ciklu ter obliki signala.

- Preko devetih iteracij poskusa so ocenjevali bralno sposobnost, prepoznavanje barve na ekranu izpisane besede in vidnost fantomskega efekta.
- Poskus so izvedli na 50 osebah. Vsem osebam so predhodno preverili, da nimajo zdravstvenih težav z vidom.
- Osebe so bile posedene na stol in so opravljale vidne delovne naloge tako, da so gledale v eksperimentalno škatlo.



Ugotovitve druge študije

- Utripanje pri frekvenci 100 Hz do 150 Hz lahko povzroča dezorientacijo, zmedenost, glavobole, hitro premikanje oči, draženje oči in utrujenost.
- Pri 50% delovnem ciklu in 100% modulaciji za frekvence 100 Hz in 500 Hz se povečuje aktivnost oči in možganov v primerjavi z utripanjem pri 0 Hz.
- Uspešnost izvajanja nalog pri frekvenci 500 Hz je v nasprotju s frekvenco 100 Hz narastla.
- Pri frekvenci 500 Hz so pri poskusu vidnosti fantomskega pojava zaznali pomanjšane zenice.
- Izboljšanje bralne natančnosti pri frekvenci 1000 Hz.

Zaključek

- Tako vidno kot nevidno utripanje je za človeka lahko nevarno.
- Flaker povzroča kratkotrajne in dolgotrajne zdravstvene težave.
- V vsakdanu je vse bolj pogost in izrazit.
- V izogib tem pojavom je treba biti pazljiv pri izdelavi napajalnih in regulacijsko-zatemnilnih modulov.
- Starejšo in iztrošeno razsvetljavo je potrebno zamenjati z novejšo in učinkovitejšo.

Hvala za pozornost

Vaša vprašanja?
