

Vahetustega töökoha valgustusest



Tiiu Tamm,
Tiiu Tamm
Inseneribüroo OÜ

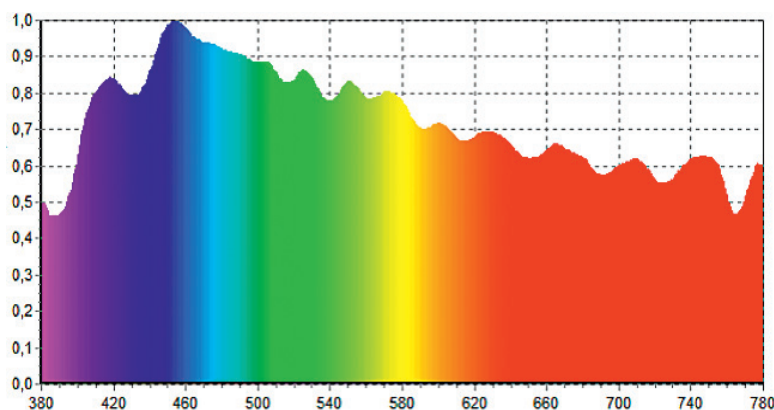
vahetustega töötajate töötingimusi ega ärkveloleku valgustust, kuid rahvusvahelistes standardites on need juba mitu aastat olemas ning neid kasutatakse ka Well hoonesertifikaadi väljastamisel, mis näitab kogu hoonet või üksuse terviklikku ja inimsõbralikku lahendust, mille üheks osaks on ka valgustus.

Kasutades teadlaste uurimistööde tulemusi ning reaalses elus teostatud katsetusi, püüan selgitada tänaste teadmiste alusel, milline peaks olema valgustus öösel töötavatele inimestele, sest valgustus mõjutab otseselt ööpäevarütmi ning selle kaudu kogu organismi tervikuna. Ajul on valguse suhtes mälu efekt. Ööpäevarütmi jaoks on keha mälu efekt 24 tundi, kuid teiste nähtamatute mõjude puhul on mälu tunduvalt pikem. Uuringute kohaselt kulub 1 tunni magamatuse kompenseerimiseks 1 ööpäev, 2 tunni kompenseerimiseks 2 ööpäeva jne. Töö ajal tekitatud väsimusel ei ole mõju keha bioloogilistele rütmidele. Kahjulik mõju tekib siis, kui kasutate valgust produktiivse ja aktiivse aja pikendamiseks.

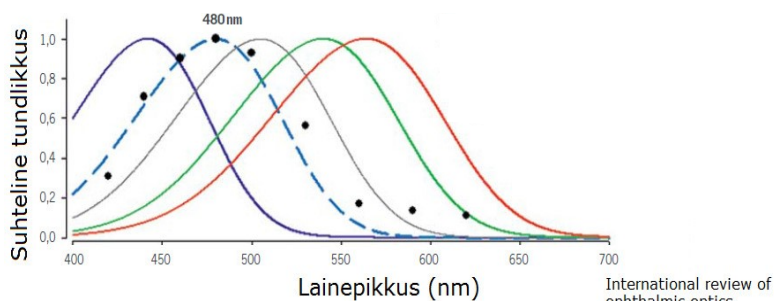
Arenenud maades töötab üks viiendik inimestest öösiti. Nende hulgas on meedikuid, päästeteenistujaid, politsei-, transpordi-, meelelahutus-, juhtimiskeskuste jt töötajaid. Vahetustega töötajad, kes töötavad ka öösiti, on kindlasti märganud oma elukvaliteedi langust – pinnapealne uni, pidev väsimus, ärritatakse sageli jne. Kuna teema puudub viiendikku töötajaist, siis on teadlased otsinud aastaid lahendusi, kuidas ka nende töötajate töökeskkonda ja elukvaliteeti parandada. Käesolevas artiklis vaatleme ainult valgustusega seotud teemasid, kuid tuleb teada, et valgustus on sellest ainult üks osa, samas väga tähtis osa.

Vahetustega töötajate jaoks peetakse parimaks vahetuse pikkuseks 12 tundi, sest siis satub öisele ajale nädalas vaid kaks öist vahetust ja ka vägu tehakse tunduvalt vähem.

Sageli lahendatakse vahetustega töötajate valgustus hämardatavana, kus öises vahetuses hoitakse madalamat valgustustihedust lootuses, et nii tagatakse väiksem kahju tervisele. Riskianalüüsi käigus mõeldakse tavaliselt vaid valgustustihedust töölaudade pinnal täisvalguses, ning kui see on nõuetele vastav, siis rohkemale ei panustatagi. Paraku ei anna ainult töölauda pinnal mõõdetav valgustustihedus reaalistest töötingimustest aimu. Euroopa standardid ei käsitle veel



Joonis 1. Tüüpiline päevavalguse spekter suhtelise väärtusena nähtava valguse osas



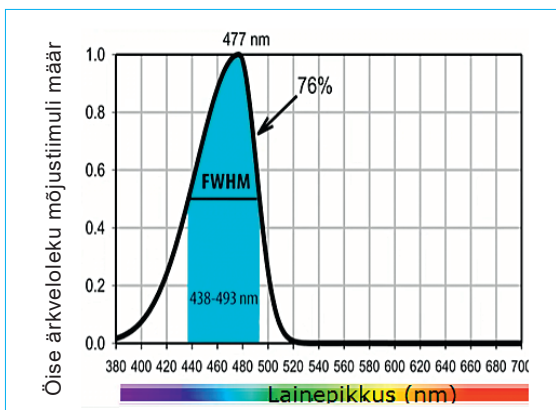
- sinisetundlikud kolvikesed
- - - melanopsiini sisaldavad ipRGC
- kepikesed
- rohelisetundlikud kolvikesed
- punasetundlikud kolvikesed
- melatoniini mahasurumine

Joonis 2. Teada olevate valgustundlike retseptorite mõjuala inimsilmas

Joonisel 1 on näha, et päevavalgus on pideva spektri-ga. Inimsilmas on tänaseks teada viit liiki valgustundlik-ke retseptoreid, mis on toodud joonisel 2. Kuna joonis 2 pärineb meditsiinivaldkonna uuringutest, hõlmab see lainepikkusala 400–700 nm, samal ajal kui valgustusteh-nikas loetakse nähtavaks valguseks 380–780 nm.

Joonisel 2 toodud punktidega tähistatud graafik näitab melatoniini (unehormooni) mahasurumist valguse erinevate lainepikkuste alal. Kahjuks on seda põhjustavad valgustundlikud retseptorid veel avastamata. Punktide graafik on üles võetud erinevate inimkatsete tulemuse-na. Seetõttu põhinevad tänased soovitusel melanopsiini sisaldavate ganglionrakukeste (ipRGC) tundlikkusel.

Joonisel 3 märgistatud sinine ala hõlmab kõvera poolel laiusel ja poolel kõrgusel lainepikkusala, mis mõjutab öö-sel ärkvelolekut kõige enam – 76%, st lainepikkusala 55 nm vahemikus 438 – 493 nm mõjutab ärkvelolekut enim. Professor Martin Moore-Ede, üks paljudest teadlastest, kes tegelevad ööpäevarütmi valgustusega, toob välja, et vahetustega töötajatel rikub ööpäevarütmi just see valgu-se spektris olev sinispektri suur kogus. Joonisel 3 märgis-tatud sinispektriala kirjeldatakse kui puhta sinise taeva spektrit. Kui vaadata nutiseadmete ja arvutite spektrit, siis see ala on alati kõige tugevamalt esindatud. Ka üld-valgustuses kasutatavate leedvalgustite spekter on selles alas tugevalt esindatud. Selleks, et tuua töötajad päeva-rütmi, on väidetavalt vajalik, et see kitsas lainepikkusala



Joonis 3. Öist ärkvelolekut mõjutav spektriosa

oleks päevatöötajatel hommikuti üle 20% kogu valguse spektrist. Õhtuses ja öises vahetuses ei tohiks selle lai-nepikkusala osatähtsus ületada 2%, mida väljendatakse ka väärtusena $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($2 \text{ mW}/\text{m}^2$). Ka rahvusvahelised standardid mainivad seda, et öösel töötavate inimeste valgustusest tuleks elimineerida külmad lainepikkusalad. USA-s näiteks tähistatakse valgustid, mille sinispektriosa osatähtsus on alla 2%, vastava märgisega.

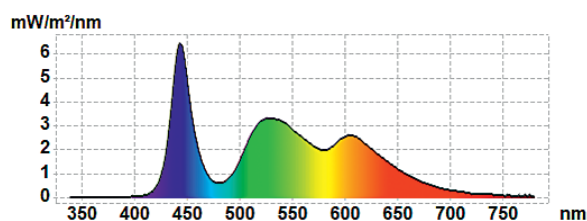
Valgus, mis langeb silma võrkkestale, annab ajukesku-sele impulsi, kas ärkvelolekuks on valgust piisavalt või tuleks melatoniinitaset vereringes tõsta. See sõltub val-guse spektrist ja valgushulgast, mis silma langeb. Seda mõõdetakse mitte tööpinnal, vaid vertikaalselt silme ees. Kuigi äratusfunktsioon on kogu valguse spektril, siis vastavalt uuringutele lõhub ööpäevarütmi ainult sini-

spektri osa. Kogu ülejäänud spektriala äratav, kuid ei tee ööpäevarütmi nii palju kahju. Ühes katses öövahe-tusega mittekohanevatele haiglaõdedele anti sinispektrit blokeerivad prillid. Üllatus – unisus ei suurenenud. Kuigi teadusajakirjad keeldusid seda uuringut avaldamast, kin-nitasid ka teiste teadlaste uuringud samasugust tulemust.

Milline siis peaks olema öise vahetuse valguse spekter? Siin on teadlastel erinevad arvamused, kuid võimalik, et ühtele sobib üks variant ja teistele teine. Näiteks *Lighting Research Center*, *LRC* (nüüd *Light and Health Research Center*; *LHRC*) soovib öisel ajal lisada üld-valgustusele punast valgust, sest ka vähene punane valgus hoiab ärkvel, kuid ei riku ööpäevarütmi. *LRC* teadlased leidsid oma katsetes, et küllastunud punane on tugevalt äratav – valgus mõjus öisel ajal kui tass kohvi. Samuti mõjub ka sinivalgus. Kuid nende erinevus seisneb selles, et kui sinine valgus surub melatoniini alla, siis punane seda ei tee. *LRC* on testinud oma avastusi kõikjal – allveelae-vades, hooldekodudes, haiglates ja isegi USA saatkonnas Riias. Puhas monokroomne valgus üksinda kasutamiseks ei sobi, seda tuleks kombineerida koos üldvalgusega. Punast valgust on läbi aegade tõlgendatud kui põgene või võitle reaktsiooni. Kuigi joonise 2 graafikust on näha, et punane valgus ei hoi sama moodi ärkvel nagu sinine osa, siis reaalsuses on märgatud, et punane siiski stimuleerib ärkvelolekut nii pealelõunasel kui ka öisel ajal ning vähen-dab reaktsiooniirust, kuid ei riku ööpäevarütmi.

Professor Martin Moore-Ede (*Circadian Light Inc*) soovib aga öises vahetuses asendada valguse sinispektri osa pigem violetse osaga, millel on samuti äratav mõju, kuid ei põhjusta nii tugevaid ööpäevarütmi häireid, kui seda teeb lainepikkusala 438 – 493 nm. Isegi madal vio-letse lainepikkusala valgustase näiteks 420 nm juures stimuleerib ärkvelolekut rohkem kui 420 nm ja 600 nm vahelise ala kõrgem valgustase.

Erinevad teadlaste rühmad on töötanud välja metoo-dikaid, kuidas mõõta seda, kas tööks vajalik valgustus on äratuseks piisav või mitte. Teada on kolm erinevat metoodikat – melanoopiline valgustustihedus *EML*, tsirkadiaanstimul (*circadian stimulus*) *CS* ja päevaval-guse (D65) valgustustiheduse melanoopiline ekvivalent *m-EDI*. Standarditesse on jõudnud neist ainult viimane – *m-EDI* ja kahjuks ainult rahvusvahelisse standardisse CIE S026:2018 „*CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light*”. Kõiki neid parameetreid saab tänapäevaste laborimõõ-teriistadega mõõta. Mõõdetakse seda, kui palju valgust langeb inimese silma, ja sõltub see nii valguse spektrist kui ka intensiivsusest. Ärkvelolekuks peaks vertikaalne valgustus silme ees olema vastavalt metoodikale kas 150 melanoopilist luksit, tsirkadiaan stimulus vähemalt 0,3 või päevavalguse (D65) valgustustiheduse melanoopiline ekvivalent vähemalt 250 lx. Artikli autor on kasutanud kõiki kolme metoodikat ja võib lisada, et kui ühe metoo-dika järgi mõõdetud tulemus ei vasta äratuseks vajalikele nõuetele, siis sama kinnitavad ka teised mõõtemetoo-dikad. Kas neid parameetreid peaks ka öises vahetuses mõõtma, ei kirjelda kahjuks teadaolevalt ükski uuring.



Joonis 4. Tüüpiline arvutiekraani spekter alla hämardatuna

Arvutiekraanid on normaalselt valguse värvsüsteemiga 6000 – 6500 K, mis saavutatakse just tugeva sinispektri osaga. Kui öises vahetuses seisneb töö arvutiekraani jälgimises, siis ekraaniheleduse allahämardamine või üldvalgustuse hämardamine tegelikult efekti ei too. Arvutiekraani jaoks on netist allalaetav tasuta programm f.lux (<https://justgetflux.com/>), mis muudab vastavalt geograafilisele asukohale arvutiekraani peale päikeseloojangut kollasemaks, st tõmbab sinispektrit maha, kuid sageli ei lubata võõraid programme ettevõtte arvutisse.

Vahel soovitatakse öises vahetuses kasutada kollase klaasiga prille, mis filtreerivad valguse spektrist sinise osa välja, kuid mõõtmised erinevate prilliklaasidega on näidanud, et vastav võime on väga väheste tootjate päikesepillide klaasidel.

Jamie Zeitzer Stanfordi Ülikoolist: “Me võime muuta inimese bioloogilist kella valgustuse abil, kuid me ei saa muuta inimeste käitumist.” Ta tõi välja, et palju sõltub sellest, millises valguses on eelnevalt olnud. Näiteks olles väga madala valgustasemega ruumis pikka aega ja siis sattudes tugevalt valgustatud alasse, võib ööpäevarütm rikkumine toimuda juba üle 100 lx valgustuse korral. See teadmine võib aidata vahetustega töötajail peale õhtust või öist vahetust otsustada, kas koju minnes kasutada sinivalgust blokeerivaid prille kuni magamaminekuni.

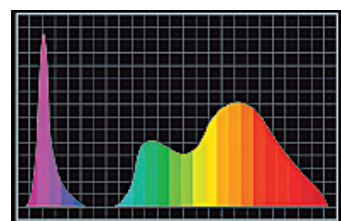
Teadlased on üksmeel, et ööpäevarütmihäiretest tingitud magamatus viib kroonilise väsimuseni, põhjustab keskendumisraskusi, halvendab mälu. Öine valgustus suure sinispektri komponendiga suurendab rinna-, käärsoole- ja eesnäärmevähi tekke võimalust. Vähirakud arenevad 2–3 korda kiiremini ajal, mil melatoniinitase on alla surutud. Juba ainult 2 ööd valguses tõstavad kehas insuliiniresistentsust. Veelgi enam – ööpäevarütm rikkumine rikub pankrease beetarakkudest insuliini vabastamist. Uinumis/ärkamistsükli segadus põhjustab kolm korda rohkem depressioonide kasvu, kaks korda rohkem rasvumisrisiki. Öötöö põhjustab naistel kaks korda sagedamini rinnavähki, meestel kolm ja pool korda enam eesnäärmevähki. Professor David Blask, Tulane Meditsiini ülikoolist on 30–40 aastat uurinud Tulane Vähi keskuses ööpäevarütm mõju vähihaigusele. Blask: „Valgus on vähihaigele just kui kaheteraline mõök. Kui sinisega rikastatud valgus on päeva varajastel tundidel tervislik, aga öisel ajal ööpäevarütm rikkuv, siis melatoniin on nii ööpäevarütm signaal kui ka antivähihormoon, mis kutsus esile vähivastaseid efekte.“

Blask ütles, et öine valgustus mitte ainult ei aita kaasa vähirakkude kiiremale arengule, vaid vähirakud muutuvad resistentseks tamoxifeni suhtes. Nende tiim katsetas ka teisi kemoterapiaid, kuid jõudis samale tulemusele.

Ööpäevarütm on paljuski seotud keha temperatuuriga. Madalaim kehatemperatuur on enamikel inimestel kella 4–5 paiku hommikul astronoomilise kellaaja järgi. Mida lähemal keha minimaalsele temperatuurile meid valgusega mõjutatakse, seda tugevamalt mõjutab see ka ööpäevarütmi. Nädalavahetuse hilisel magamaminekul lükatakse magamistsükkel hilisemaks. Kui esmaspäevahommikune ärkamisvalgus tekib enne kehatemperatuuri miinimumi jõudmist, võib keha seda mõista hoopis kui õhtuvalgust.

Haiglata intensiivravis on patsientidel valgus peal ööpäevaringselt, mistõttu nendel inimestel on väga madala amplituudiga ööpäevarütm, mis paneb aluse justkui deliiriumis olekule. See on intensiivravi põhilisi surmapõhjuseid, sest inimese organism ei suuda sellega toime tulla, kuigi operatsioon oli väga õnnestunud. Omakorda pikendab ööpäevane valguses olek ka intensiivravis olemise vajadust ja kulutab rohkem maksumaksjate raha. Ka anesteesia võib rikkuda ööpäevarütmi.

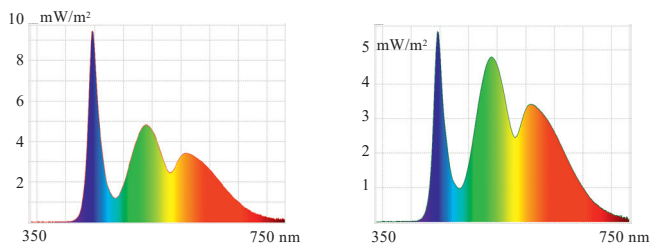
Kuidas siis lahendada öötöötajate valgustusvajadust? Selge on see, et sinise spektrikomponendi vähendamisega üldvalgustuses saab ära teha paljugi. Juba mõned aastad tagasi töötati Soraas välja Sora Healthy leed, milles puudus sinispektriosa peaaegu täielikult. Autoril ei õnnestunud siiski seda retrofitlampi Euroopa versioonis tellida. Nüüd on Sora turule tulemas uue nn Zeroblue™ leediga ning selle baasil valmistatud retrofitlampidega, mille spektris on samuti sinispekter asendatud violetsega. Kuna värviesitus selle all ei kannatanud, siis olekski see suund üheks lahenduseks õhtuse ja öise valgustuse otsimisel. Kõik $CRI > 90$ spektriga leedid põhinevad nii sinisel kui violettsel osal. Kui tootjad võimaldaksid oma



Joonis 5. Sora Healthy leed 2700 K spektraaljaotusdiagramm, millel puudub sinispektriosa peaaegu täielikult.

Mida aga teha arvutitega, mille sinivalguse komponent otse silme ees sööb ära üldvalgustuse hea mõju? Turule on toodud ka uuenduslikke arvutite monitore, mille sinispektri komponent on tavapärasest väiksem. Artikli kirjutamise ajal sai hangitud üks selline monitor ja selle spekter on toodud joonisel 6.

Nagu jooniselt 6 on näha, on uuema tehnoloogiaga monitoridel ekraaniheledus viidud nii kõrgeks, et erilist vahet ei ole, kas kasutada vanemat tüüpi monitore alla hämardatuna või silmasõbralikumate ekraani minimaalse sinispektriga. Õnneks on sinispektri tipp sellest kõige olulisemast lainepikkusalast veidi lühema lainepikkusala poole nihutatud, kuid katab siiski olulise ala ärkveloleku lainepikkusest. Küll aga on monitori valikus ka režiimid



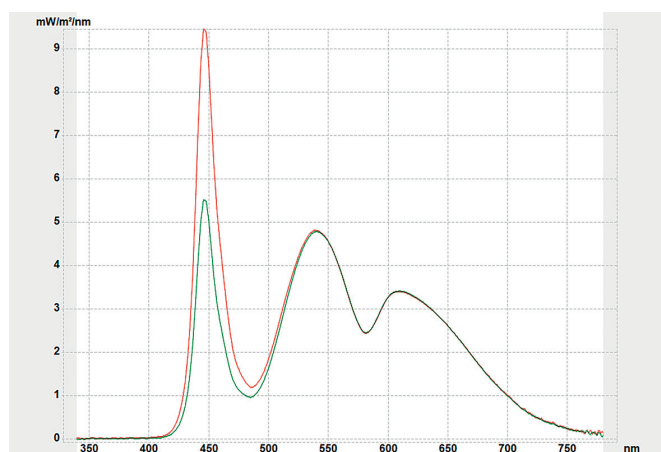
reading mode, mis viib sinispektri piigi veidi üle 3 mW/m^2 ning *dark room mode*, mille puhul on sinispektri piik juba veidi alla 3 mW/m^2 . Mõlemal juhul jõuab arvutiekraanilt silma, mis on ekraanist kaugemal, alla 2 mW/m^2 , mis peaks õhtuses ja öises vahetuses töötajate ööpäevarütmi vähem häirima. Kui ka valgustus lahendatakse silmasõbralikult, peaks vahetustega töötajate olukord tunduvalt paranema, eriti kui lisada öisesse töövalgustesse punast ja veidi ka pikema lainepikkusega rohelist valgust.

Artikli kirjutamise ja toimetamise järgselt saabunud lisainfo

Autori ühe valgustuse valdkonnas konsulteeritava ööpäevaringse tööga juhtimissaalis paigaldati ühte tööarvutisse katsetamiseks eelpool mainitud f.lux programm. Töötaja mainis juba hommikul öise vahetuse järgselt, et olukord läks tunduvalt paremaks ja ta ei ole nii väsinud kui tavaliselt. Seejärel paigaldati ka teistesse arvutitesse sama programm ning ka teised töötajad märkasid olukorra paranemist. Kas tegemist võis olla platseebo efektiga või oli sel tõepõhi all? Tuli võtta ette mõttmised oma hangitud ASUS monitoriga, et leida vastus.

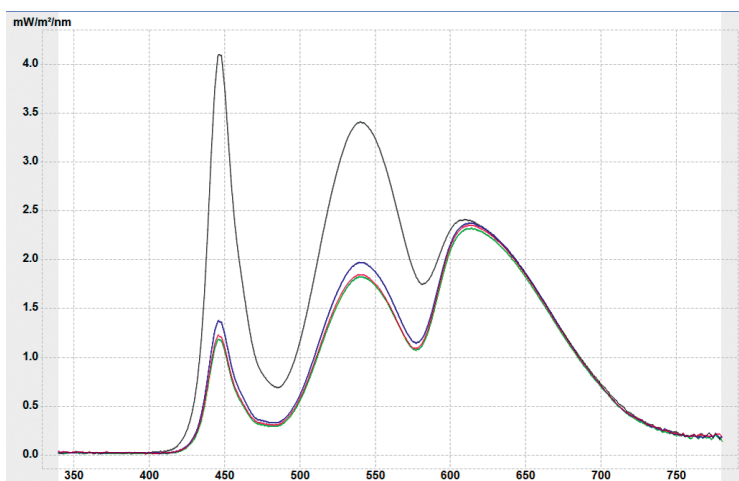
F.lux programm võimaldab valida erinevaid versioone õhtuseks päikeseloojangu järgseks ajaks ja öiseks ajaks. Mõttmisi teostas nendest kõikide versioonidega ja kõige hämmastavamad tulemused sain *classic*, *reduced eyestrain* ja *recommended colours* versioonis. Mõttmised on tehtud ekraani pinnal.

Joonise 7 graafikult on näha, et kõik f.lux programmi valitud režiimid vähendavad oluliselt ekraani valguse sinist piiki ja mingil määral ka rohelist lainepikkusala. Loomulikult saab iga kasutaja valida ka oma soovide järgi parameetrid väljaspool välja töötatud standardrežiime. Tulemuse tegi aga eriti huvitavaks see, et mu 74 Hz monitori töösagedus muutus 74-lt hertsilt 4000 Hz f.lux programmi käivitumisel, sealjuures on väreusprotsent ise väga väike – kõikides sõltuvalt režiimist 1,8 ja 3% vahel. Valguse väreuse sageduse mõjusid tervisele vaadeldakse vastavalt teadlaste tänastele teadmistele ainult kuni 2000 Hz-ni, sealjuures üle 1000 Hz sageduse korral vähenevad tervisemõjud kiiresti. Kuigi väreusprotsent oli ka enne f.lux programmi käivitust sama väike, võib siiski töötajate paremat



Joonis 6. ASUS Eye Care monitori spekter maksimaalse ja minimaalse sinispektri korral ning mõlema graafiku absoluutväärtus teineteise peal

enesetunnet eelkõige seostada sellega, et 4000 Hz korral ei väsinud nende silmad, mis sageli põhjustab ka peavalusid ja kindlasti väsimust. Sinise piigi vähenemise osa ei saa kahjuks selles katses arvestada, sest hämardatud üldvalgustus, mis pealegi asus töötajate selja taga, ei taganud tööks vajalikku valgustaset töökohal. Ettevõtte planeerib järgmisel aastal rekonstrueerida kogu ruumi valgustuse tagamaks oma töötajale võimalikult paremad töötingimused erinevate vahetuste ajaks vastavalt ööpäevarütmile. Siis teostatavad mõttmised annavad kindlasti koos töötajate küsitlusega huvitavaid tulemusi.



Joonis 7. Arvuti monitori spekter ilma f.lux programmita (hall, kõige kõrgem sinine piik) ja f.lux kolme erineva režiimiga – *reduced eyestrain* (sinine), *recommended colours* (punane) *classic* (roheline, kõige väiksem sinine piik)

Kasutatud kirjandus

1. Martin Moore-Ede, Anneke Heitmann ja Rainer Guttkuhn (Circadian Light Research Center, Circadian ZircLight, Inc) poolt avaldatud artiklile ajakirjas Journal of Biological Rhythms, Vol 35 No4, augustis 2020.
2. Lighting for Health and Wellbeing Conference, 2017 materjalid.
3. Luc Schlangen, Dr. Vanja Hommes. The effect of light on our sleep/wake cycle”, mille materjalid on võetud 66 erinevast uurimistööst.